

**CARTA  
IDROGEOLOGICA  
DI ROMA**



*Hydrogeological  
Map of Rome*

## Coordinamento scientifico / *Scientific coordination:*

F. LA VIGNA<sup>1</sup>, R. MAZZA<sup>2</sup>

## Responsabili dei gruppi di lavoro / *Working group management:*

M. AMANTI<sup>3</sup>, C. DI SALVO<sup>4</sup>, F. LA VIGNA<sup>1</sup>, R. MAZZA<sup>2</sup>, M. PETITTA<sup>5</sup>, L. PIZZINO<sup>6</sup>

## Elaborazione dati idrogeologici / *Hydrogeological data processing:*

R. MAZZA<sup>2</sup>, F. LA VIGNA<sup>1</sup>, A. PIETROSANTE<sup>2</sup>, C. DI SALVO<sup>4</sup>, L. MARTARELLI<sup>3</sup>, G. CAPELLI<sup>2</sup>, M. AMANTI<sup>3</sup>, A. DEL BON<sup>7</sup>, L. MASTRORILLO<sup>2</sup>, G. M. MONTI<sup>3</sup>, M. PETITTA<sup>5</sup>, A. SILVI<sup>3</sup>

## Elaborazione dati relativi alla Superficie di tetto dell'aquicluda basale / *Basal aquicluda top surface data processing:*

M. DIMASI<sup>2</sup>, G. CIOTOLI<sup>4</sup>, M. MANCINI<sup>4</sup>, F. STIGLIANO<sup>4</sup>

## Elaborazione dati chimico-fisici / *Physico-chemical data processing:*

L. PIZZINO<sup>6</sup>, D. CINTI<sup>6</sup>, M. PROCESI<sup>6</sup>, A. SCIARRA<sup>6</sup>, G. CIOTOLI<sup>4</sup>

## Elaborazione dati relativi alle modificazioni antropiche / *Anthropogenic modification data processing:*

I. BONFÀ<sup>1</sup>, F. LA VIGNA<sup>1</sup>, S. MARTELLI<sup>1</sup>, C. SUCCHIARELLI<sup>8</sup>

## Elaborazione dati termo-pluviometrici e idrometrici / *Thermo-pluviometric and hydrometric data processing:*

G. CONTE<sup>3</sup>, R. M. GAFÀ<sup>3</sup>, F. LA VIGNA<sup>1</sup>

## Elaborazione delle sezioni idrogeologiche / *Hydrogeological cross-section processing:*

A. DEL BON<sup>7</sup>, M. DIMASI<sup>2</sup>, A. LACCHINI<sup>7</sup>, L. MARTARELLI<sup>3</sup>

## Allestimento Cartografico / *Cartographic editing:*

S. FALCETTI<sup>3</sup>, M. ROMA<sup>3</sup>

## Elaborazione GIS / *GIS processing:*

A. PIETROSANTE<sup>2</sup>, M. ROMA<sup>3</sup>

## Campagna di rilevamento 2014-2015 / *Survey campaign 2014-2015:*

F. LA VIGNA<sup>1</sup>, L. PIZZINO<sup>6</sup>, I. BONFÀ<sup>1</sup>, S. MARTELLI<sup>1</sup>, F. CIOTOLI<sup>7</sup>

## Base Dati Geologici / *Geological data base* – Carta Geologica del Comune di Roma – Scala 1:50.000 –

Coordinamento Scientifico: R. FUNICIELLO, G. GIORDANO, M. MATTEI

Banca dati idrogeologici a supporto / *Hydrogeological data base* – Database del Laboratorio di Idrogeologia Numerica e Quantitativa Università Roma TRE – Responsabile: R. MAZZA

Dati termo-pluviometrici ed idrometrici / *Thermo-pluviometric and hydrometric data* – Agenzia Regionale di Protezione Civile -Centro Funzionale - Regione Lazio

## Rappresentanti degli Enti firmatari / *Involved institution representatives*

«Protocollo d'Intesa per la realizzazione della Carta Idrogeologica di Roma Capitale in scala 1:50.000»:

F. BOZZANO<sup>5</sup>, C. CAMPOBASSO<sup>3</sup>, S. GRESTA<sup>6</sup>, L. MASSIMIANI<sup>1</sup>, P. MESSINA<sup>4</sup>, S. MOBILIO<sup>2</sup>

## Ente promotore dell'iniziativa - Roma Capitale / *Promoter of the initiative - Municipality of Rome*

Assessorato all'Ambiente e Rifiuti - Assessore / *Councillorship for Environment and Waste - Councillor:* ESTELLA MARINO

Dipartimento Tutela Ambientale - Direttore / *Environmental Protection Department - Director:* LUISA MASSIMIANI

<sup>1</sup> Roma Capitale – Dipartimento Tutela Ambientale

<sup>2</sup> Università degli Studi Roma TRE – Dipartimento di Scienze

<sup>3</sup> ISPR – Dipartimento Difesa del Suolo – Servizio Geologico d'Italia

<sup>4</sup> CNR – IGAG Istituto Geologia Applicata e Geingegneria

<sup>5</sup> CERI – Centro di Ricerca per la Previsione, Prevenzione e Controllo dei Rischi Geologici dell'Università "La Sapienza" di Roma

<sup>6</sup> INGV – Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia

<sup>7</sup> Università di Roma "La Sapienza" – Dipartimento di Scienze della Terra

<sup>8</sup> Roma Capitale - Dipartimento Programmazione e Attuazione Urbanistica

## Prefazione

### Preface

*ESTELLA MARINO - Assessore Ambiente e Rifiuti di Roma Capitale*  
*ESTELLA MARINO - Councillor for Environment and Waste of Rome*

La storia millenaria di Roma è indissolubilmente legata al rapporto della città con l'acqua. Roma città di acquedotti, di terme e di fontane, di fiumi e di mare, rinsalda oggi il suo legame con le acque sotterranee consegnando al mondo scientifico, professionale e a tutti i cittadini che vorranno liberamente usufruirne la sua nuova Carta Idrogeologica.

Per questo ed altri motivi, sono particolarmente fiera del percorso intrapreso e del risultato raggiunto. La nuova carta è frutto della collaborazione tra l'Amministrazione di Roma Capitale ed una vasta rappresentanza del mondo scientifico. Una collaborazione, tengo a sottolineare, del tutto inedita e non onerosa in termini economici in quanto nata con la volontà condivisa, istituzionalizzata con un protocollo d'intesa, di mettere a disposizione della collettività le più rilevanti conoscenze del settore.

I dati messi a disposizione dai Dipartimenti "Tutela Ambientale" e "Programmazione ed Attuazione Urbanistica" di Roma Capitale sono confluiti nell'ampio bagaglio di conoscenze del mondo universitario e della ricerca, così da conferire alla nuova Carta Idrogeologica di Roma un indubbio carattere sperimentale da un lato, e molteplici elementi di innovatività dall'altro, anche grazie all'utilizzo della più aggiornata cartografia geologica di Roma come base e di nuovi rilievi in sito.

Tengo poi ad evidenziare che l'elaborazione di questa nuova carta nasce e si affianca ad una serie di ulteriori progetti in tema di acque sotterranee che ho sempre sostenuto sin dall'inizio del mio mandato, e che sono in corso di realizzazione presso il Dipartimento Tutela Ambientale di Roma Capitale, a testimonianza di un rinnovato impegno di questa Amministrazione in tema di tutela delle acque e sostenibilità nell'impiego della risorsa. Progetti tutti caratterizzati da forti interconnessioni e molteplici finalità di utilizzo, ai quali la predisposizione di questa carta darà sicuramente un grande impulso.

Con questo strumento di base sarà da oggi più semplice acquisire informazioni preliminari utili, ad esempio, a definire la migrazione di eventuali sostanze inquinanti che dovessero interessare le falde acquifere, ma sarà anche più facile affrontare con maggiore consapevolezza le nuove sfide che lo sviluppo delle opere in sotterraneo della città pone ogni giorno. Il documento inoltre è un'utile base conoscitiva per potenziare politiche di sfruttamento di risorse energetiche rinnovabili quali quelle dell'energia geotermica a bassa entalpia. Nell'ambito della strategia di resilienza poi, che questa Amministrazione sta pianificando, un intero filone tematico riguarda l'acqua, intesa in tutte le sue manifestazioni, superficiali e sotterranee. La Carta Idrogeologica costituisce un elemento informativo di base importantissimo per questo scopo.

Un esempio virtuoso quindi ed un grande contributo per la nostra città per cui mi sento di ringraziare vivamente tutti quanti vi hanno contribuito ed in particolare, oltre al Servizio Bonifica Siti Inquinati e Geologia Ambientale e gli altri Uffici di Roma Capitale, il Dipartimento di Scienze dell'Università degli Studi Roma Tre, il Servizio Geologico d'Italia - ISPRA, il CNR-IGAG, il CERI - Sapienza e l'INGV.

*The millenary history of Rome is inextricably linked to the relationship of the city with the water. Rome city of aqueducts, of spas and fountains, rivers and sea, today strengthens its ties with groundwater delivering to the scientific and professional world and to all citizens who want to freely use, its new Hydrogeological Map.*

*For this and other reasons, I am particularly proud of the path taken and the achieved result.*

*The new map is fruit of the collaboration between the Administration of Roma Capitale and a wide representation of the scientific world. A partnership, I want to emphasize, entirely new and not onerous in economic terms, as born with the shared will (institutionalized with a protocol agreement) of providing the community the most relevant industry insights.*

*Data provided by the "Environmental Protection" and "Urban Planning" Departments of Roma Capitale flowed in the large store of knowledge of the academic and research world, so to confer to the new Hydrogeological map of Rome an undoubted experimental character, on one hand, and multiple innovative elements the other, also thanks to the use of the most recent geological map of Rome as the base, and new site surveys.*

*I want then to highlight that drawing up this new map is born and joins to a series of other projects in the field of groundwater that I have always supported from the beginning of my mandate, and that are being implemented at the Environmental Protection Department of Roma Capitale, testifying to a renewed effort of this Administration in terms of water protection and sustainability in the use of the resource. All these projects are characterized by strong interconnections and multiple purposes of use, to which the predisposition of this map will surely give a great impulse.*

*With this basic tool is now easier to acquire preliminary useful information for example to define the migration of any contaminant that may affect groundwater, but it will also be easier to deal with greater awareness the new challenges that the development of underground works of the city puts each day. The document is also a useful knowledge base for policies to enhance the exploitation of renewable resources such as low enthalpy geothermal energy. Within its strategy of resilience that the Administration is planning, an entire thematic strand relates the water, seen in all its manifestations, from surface to groundwater. The Hydrogeological Map constitutes a basic informative element important for this purpose.*

*A virtuous example and therefore a great contribution to our city for which I would sincerely thank all those who have contributed and in particular, in addition to the Contaminated Sites Remediation and Environmental Geology Service and the other offices of Roma Capitale, the Science Department of RomaTRE University, Geological Survey of Italy - ISPRA, the CNR-IGAG, the CERI - Sapienza and the INGV.*



## Presentazione del lavoro, dati, metodi e guida alla lettura della Carta *Work presentation, data, methods and reading guide of the Map*

ROBERTO MAZZA, FRANCESCO LA VIGNA

### PRESENTAZIONE DEL LAVORO

La nuova Carta Idrogeologica di Roma è stata realizzata con l'intento di sintetizzare, in un unico prodotto cartografico, l'insieme di tutte le conoscenze idrogeologiche pregresse, unitamente a una verifica, su base sperimentale, degli attuali livelli piezometrici in foro.

### DATI

La base di riferimento delle informazioni geologiche, cartografia e sezioni geologiche, è costituita dalla Carta Geologica del Comune di Roma alla scala 1:50.000 (FUNICIELLO *et alii*, 2008). Per il presente lavoro, le formazioni geologiche sono state ridefinite in complessi idrogeologici, caratterizzati ognuno per le medesime capacità trasmissive e di immagazzinamento, nonché per analogo significato idrogeologico rispetto alla circolazione idrica sotterranea alla scala dell'intero territorio di studio. Tale scelta è stata dettata dal fatto che la stessa costituisce la più recente cartografia geologica completa esistente per tutto l'areale di Roma Capitale, basata sui dati del progetto CARG (Cartografia Geologica). Questa base geologica, inoltre, ha determinato anche la scelta della base topografica alla quale questo prodotto fa riferimento, ossia la carta topografica IGM in scala 1:50.000. In effetti, questa base topografica, essendo ormai datata sull'area di Roma, non corrisponde con estremo dettaglio all'evoluzione del rilievo e del tessuto urbano della città, specialmente nei settori periferici e dove siano presenti attività estrattive. Ciò potrebbe comportare in alcuni settori eventuali difformità delle quote e/o degli elementi riportati in carta topografica (strade, manufatti, etc.).

Le differenze potrebbero essere evidenti principalmente in alcuni settori dei profili idrogeologici.

I dati piezometrici in foro sono stati rilevati con opportune campagne di rilevamento nel periodo luglio 2014 - maggio 2015, all'interno della "Rete di monitoraggio ufficiale delle acque sotterranee di Roma Capitale", che conta attualmente 101 tra pozzi e piezometri. Nello stesso periodo è stato, inoltre, eseguito uno specifico rilevamento idrogeologico di campagna in tutto il settore di Roma Capitale posto in riva destra del Fiume Tevere, all'interno di pozzi e/o piezometri di privati e, relativamente al settore costiero, all'interno della rete di monitoraggio della Tenuta Presidenziale di Castel Porziano gestita dalla "Sapienza" Università di Roma. Per la definizione delle linee isopiezometriche, inoltre, sono state considerate centinaia di misure di pozzo realizzate negli anni precedenti ed archiviate nella banca dati del Laboratorio di Idrogeologia Numerica e Quantitativa (LinQ) dell'Università degli Studi "RomaTRE".

I dati chimico-fisici (T, Conducibilità Elettrica, pH, pCO<sub>2</sub>) delle acque sotterranee sono stati misurati in sito a seguito di prelievo di campioni tramite pompa sommersa o dove necessario attraverso prelievo con *bailer*.

I dati termometrici, pluviometrici ed idrometrici sono stati forniti per il periodo 1984-2014 dal Centro Funzionale dell'Agenzia Regionale di Protezione Civile della Regione Lazio. Sulla base della continuità e dei periodi di funzionamento delle varie stazioni sono stati presi in considerazione solo i dati relativi al periodo 1994-2014.

I dati delle sorgenti lineari sono stati reperiti tramite la banca dati del LinQ dell'Università degli Studi "RomaTRE".

L'ubicazione e, dove presenti, i dati delle sorgenti puntuali derivano

### WORK PRESENTATION

*The new hydrogeological map of Rome is built with the intention of putting together the know-how coming from previous studies concerning the hydrogeological system of the city along with a check, on an experimental basis, of the piezometric levels.*

### DATA

*Basic geological informations, whether for the cartography that for cross sections, is the Geological Map of Rome Municipality, Scale 1: 50.000 (FUNICIELLO *et alii*, 2008) that was hydrogeologically reinterpreted. This choice was dictated by the fact that it is the most recent and complete geological map existing throughout the area of Rome Municipality, based on CARG (Italian Geological Cartography Project) data. This geological basis, however, determined the mandatory choice of the topographic base map to which this refers, which is the IGM (Military Geographic Institute) topographic map scale 1: 50,000. This topographic base, now outdated for the area of Rome, obviously does not match extremely in detail with the relief and the urban fabric evolution of the city, especially in periphery sectors and where there are current or ancient quarry activities. This could lead in some areas any not correspondence in elevation values and/or in the information sketched in the topographic map (streets, buildings, etc.). This mismatch might be evident mainly in a few sectors of the hydrogeological profiles.*

*The piezometric data were detected during a survey along the period July 2014 - May 2015 within the "Official groundwater monitoring network of Rome Municipality" which currently numbers 101 between wells and piezometers. In the same period was also performed a widespread hydrogeologic survey in private wells and/or piezometers across the area of the Municipality of Rome placed in the right bank of the Tiber River, and in the monitoring network of the Castel Porziano Presidential Estate managed by Sapienza University. In order to reconstruct potentiometric surface and then draw piezometric lines, hundreds of measures of wells performed in previous survey campaigns, stored in the Numerical and Quantitative Hydrogeology Laboratory of RomaTRE University (LinQ) database were also used.*

*Groundwater physical-chemical characterization (T, Electric Conductivity, pH, pCO<sub>2</sub>) were performed onsite by means of portable datalogger and pump sampling or, where necessary, by means of bailer withdrawal.*

*Thermometric, pluviometric and hydrometric gauging data were provided for the period 1984-2014 by the Regional Civil Protection Agency of Latium Region. Based on the data continuity and working periods of the stations they were taken into account only the data for the period 1994-2014.*

*Linear springs' data have been sketched out by the LinQ database.*

*The location and, where measured, the springs data comes in part from the LinQ database, in part from surveys conducted by INGV, in part from the used base geological map.*

4 in parte dalla banca dati del LinQ del già menzionato Ateneo, in parte dai rilievi condotti dall'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV) e in parte dalla carta geologica di base utilizzata.

## METODI

L'elaborazione delle piezometrie è stata condotta a mano tramite triangolazione, senza l'ausilio di alcun prodotto impostato su uno specifico algoritmo. Infatti, l'articolazione del rilievo, la presenza di aree fortemente modificate antropicamente, la presenza di sorgenti lineari, rendono l'interpolazione tramite strumenti informatici di difficile applicazione su un territorio così vasto.

Le litologie della carta geologica sono state associate in complessi idrogeologici facendo quanto più possibile riferimento sia al loro comportamento nei confronti dell'acqua, prettamente connesso agli aspetti litologici (permeabilità relativa), sia alla capacità del complesso di costituire corpi acquiferi in base all'assetto stratigrafico e geometrico.

## GUIDA ALLA LETTURA

La lettura della carta è piuttosto semplice per gli addetti ai lavori e non necessita particolari accortezze. È però necessario in alcuni settori porre maggiore attenzione ai diversi tematismi che si sovrappongono. Nel settore Albano, ad esempio, in alcune zone sono riportate tre circolazioni, distinte con colori differenti, che assieme alle linee di flusso, ai punti di misura piezometrica ed altri tematismi, possono rendere più complessa la lettura.

In alcuni settori falde differenti assumono valori di quota piezometrica simili andando quasi a raccordarsi. Questa rappresentazione mostra la tipica circolazione sotterranea degli stratovulcani, che prevede falde sovrapposte che, scorrendo verso quote minori, vanno a confluire in una falda unica. Poiché, però, questa separazione o unione di due circolazioni non avviene di sicuro in un punto ben preciso, ma in porzioni di territorio più ampie, si è deciso di tratteggiare il primo tratto delle isolinee più superficiali nel tratto più prossimo alle altre isolinee (Fig.1). Questo avviene anche nelle sezioni idrogeologiche.

Relativamente alle sorgenti lineari rappresentate in carta, è importante sottolineare che le stesse sono solo quelle di cui si dispone di dati misurati sperimentalmente. Appare quindi evidente come in alcuni settori, pur non essendo rappresentate sorgenti lineari, l'assetto piezometrico metta in evidenza altrettanti fenomeni di drenanza dei corsi d'acqua.

## METHODS

*The water table contours' elaboration was conducted by hand by means triangulation method. The variability of the relief, the presence of heavily anthropogenic modification areas, the presence of linear springs, in fact, make the automatic interpolation not properly applicable.*

*The lithologies of the geological map were associated in hydrogeological complexes considering as much as possible both their behavior towards water related to lithology (relative permeability), and the the capability of the complex to constitute aquifers.*

## READING GUIDE

*Consulting the map is quite simple for experts and involves no special precautions. However, in some areas is necessary to pay more attention to several overlapping information layers. In Alban Hills sector, for example, in some areas three overlapped water tables are mapped with different colors, which, together with the flow path arrows, the piezometric points and other themes can make more complex the comprehension.*

*In some areas different water tables of superimposed aquifers have the same elevation value and go to join.*

*This kind of representation shows the typical groundwater circulation of stratovolcanoes, where superimposed aquifers, flowing towards lower odds, merge into a single one. However, since this separation (or union) of two circulations not happen for sure in a particular spot but in larger undefined areas, it was decided to outline the first section of the more shallow circulation contour from the splitting point by means of dotted lines (Fig. 1). This also occurs in hydrogeological cross sections.*

*Regarding the sketched linear springs, it is important to highlight that they are those which have been experimentally surveyed. It is thus clear that in some places, even if no linear springs are sketched, the water table pattern highlight the drain effect of streams and rivers.*

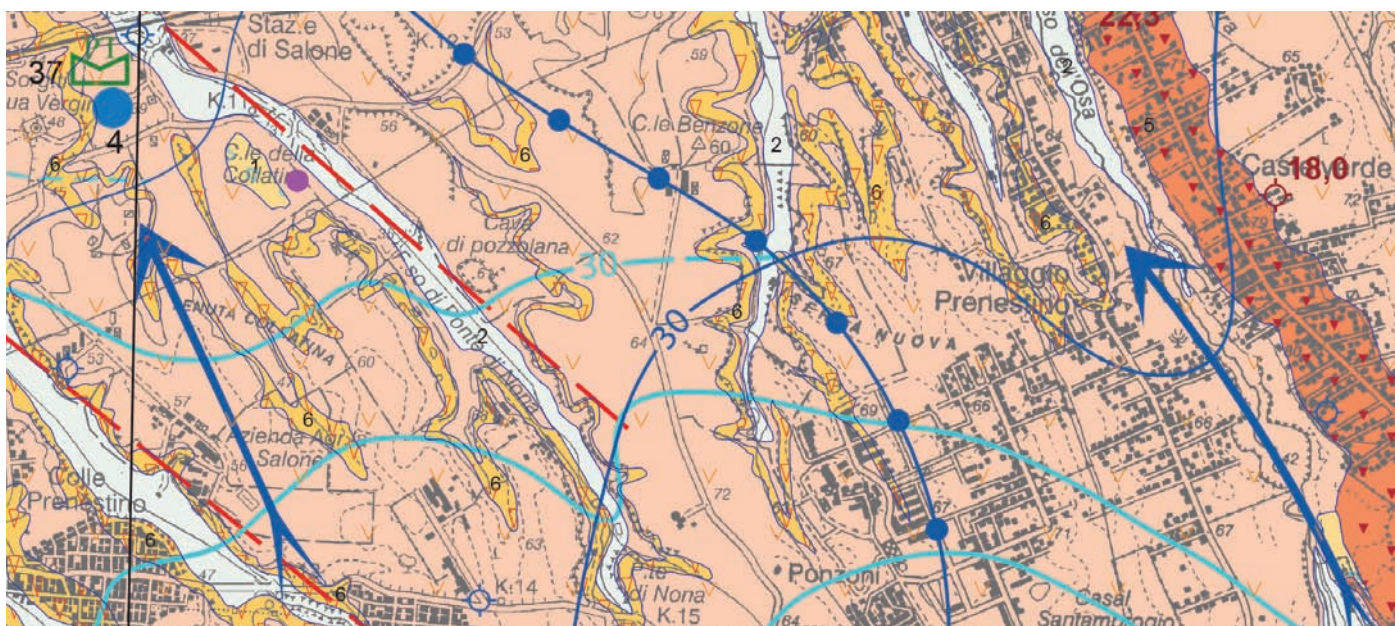


Fig. 1 - Stralcio della Carta Idrogeologica (ingrandimento 1,5x). Sdoppiamento della linea piezometrica di quota 30 m s.l.m. nell'area di Ponte di Nona.  
- Hydrogeological map sketch (zoom 1.5x). Piezometry splitting (30 m a.s.l.) in the Ponte di Nona location.

## La rappresentazione cartografica idrogeologica The hydrogeological cartographic representation

MAURO ROMA, SILVANA FALCETTI, LUCIO MARTARELLI

Le informazioni idrogeologiche rappresentate in Carta, fanno riferimento a una base topografica dell'IGM già elaborata e impiegata per la Carta Geologica di Roma (FUNICIELLO *et alii*, 2008). In questa occasione, la stessa base topografica è stata utilizzata nelle applicazioni GIS collocandola nel sistema di riferimento geografico WGS84; le coordinate metriche, riportate in prossimità dei vertici dello spazio di rappresentazione, appartengono al fuso 33N di proiezione.

### SIMBOLOGIA PUNTUALE E LINEARE

La simbologia idrogeologica impiegata ha preso spunto dalle indicazioni delle Linee Guida Quaderno n.5 (Servizio Geologico Nazionale, MARI *et alii*, 1995) e dalle successive proposte e sperimentazioni intervenute nel tempo in ambito di cartografia tematica idrogeologica (ROMA & VITALE, 2008; TARRAGONI *et alii*, 2011) il tutto finalizzato all'immediata comprensione e lettura degli elementi idrogeologici nel loro insieme.

Una particolare soluzione riguarda la simbologia degli elementi naturali o antropici legati alla medesima falda sotterranea; gli elementi puntuali o lineari, infatti, sono classificati anche su base qualitativa, oltre che quantitativa, consentendo una diretta connessione con una delle quattro falde sotterranee individuate in questo territorio. Come esempio si riporta uno stralcio della Carta dove compaiono con lo stesso colore le sorgenti, linee isopiezometriche e pozzi legati alla medesima falda (Fig. 1).

Anche le sorgenti lineari assumono colore diverso in base alla falda che origina l'apporto in alveo. Pertanto, uno stesso alveo interessato da apporto sotterraneo di differenti falde sovrapposte è rappresentato con i relativi differenti colori: in questo caso la sorgente lineare ha un tratto di monte rappresentato con stesso colore di rappresentazione di quella data falda superiore e un tratto di valle di un altro colore, in prosecuzione del medesimo elemento lineare dal punto in cui, approssimativamente, inizia il contributo idrico della falda sottostante (Fig. 2).

*The hydrogeological information has been referred to a version of an IGM topographical map specifically edited for the Geological Map of Rome (FUNICIELLO *et alii*, 2008). The same topographical map supports the GIS applications of the present work, referred to the WGS84 geographical reference system; the metric coordinates reported close to the vertices framing the study area are in the 33N projection zone.*

### POINT AND LINEAR SYMBOLOGY

*The hydrogeological symbology used in the map arose from the Italian official Guidelines for hydrogeological survey and representation (Servizio Geologico Nazionale, MARI *et alii*, 1995) and the following experimental tests and proposals of implementation (ROMA & VITALE, 2008; TARRAGONI *et alii*, 2011) aimed to an immediate understanding and readability of the hydrogeological element overview.*

*A peculiar symbology has been adopted for the natural and anthropogenic elements related to the same identified aquifer; in fact, both point and linear elements have been associated, according to both their quantitative and qualitative features, to one of the four aquifers outlined in the roman area. As a consequence, the map detail reported in figure 1 shows that springs, water table or wells have been displayed with the same color of the aquifer which they are related to.*

*Linear springs are as well reported along the flowing stream course sector with the color of the related source aquifer. Therefore, a stream course section interested by a linear spring deriving from different superposed aquifers is represented with a given color in the upper sector and, in the lower sector, the same linear element continues with a different color from the point where the spring, approximately, begins to have a hydraulic contribute from a different aquifer (Fig. 2).*



Fig. 1 - Stralcio della Carta Idrogeologica (ingrandimento 1,5x). Sorgente, linee isopiezometriche, direzioni di deflusso e pozzi sono rappresentati con lo stesso colore (blu) della falda alla quale sono relazionati.

- Hydrogeological map sketch (zoom 1.5x). Springs, water table, groundwater flowpaths and wells are represented with the same color (blue) of the aquifer which they are related to.

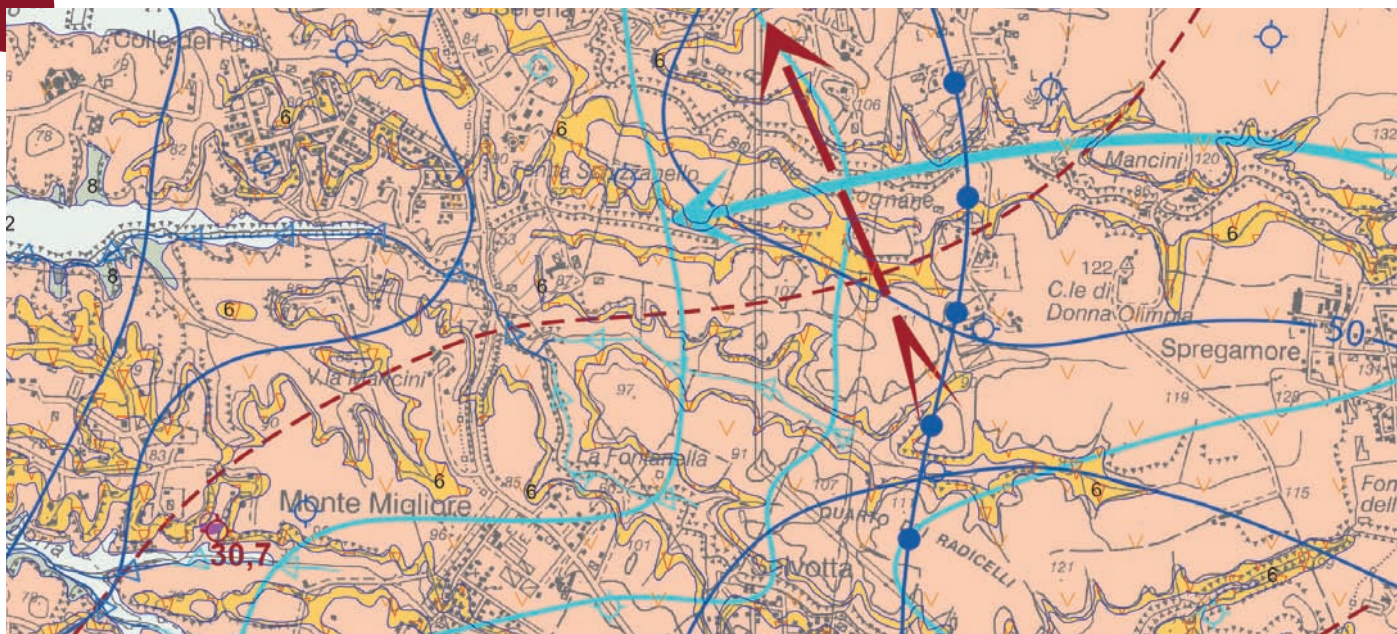


Fig. 2 - Stralcio della Carta Idrogeologica (ingrandimento 1,5x). Sorgenti lineari, scaturite da falde diverse sovrapposte, sono rappresentate da tratti consecutivi del colore indicativo della falda che le alimenta.

- Hydrogeological map sketch (zoom 1.5x). Linear springs, originated from different superposed aquifers, assume the color of the different related source aquifers.

#### SIMBOLOGIA AREALE

La simbologia areale adottata per i complessi idrogeologici, come già sperimentato in passato, mette in risalto mediante colori variabili tra il rosso e l'arancio i complessi con alta e media permeabilità relativa, mentre con toni del verde o grigio i complessi con permeabilità scarsa o bassissima. Il timbro cromatico evidenzia invece le aree potenzialmente a maggiore vulnerabilità alla contaminazione in quanto costituiscono delle possibili aree di ricarica degli acquiferi; le tonalità, più chiare o più scure del timbro cromatico, sono state scelte su determinati complessi per evidenziare aree rispettivamente più o meno estese. Il sovrassegno (*pattern*) nel simbolo areale differenzia i vari complessi idrogeologici altamente o mediamente permeabili sulla base delle proprietà litologiche.

#### SEZIONI IDROGEOLOGICHE

I quattro profili idrogeologici sono stati elaborati sulle stesse tracce della citata cartografia geologica del 2008; il profilo CC' è stato ulteriormente prolungato con un tratto in direzione circa N-S fino alla linea di costa.

I profili interessano la quasi totalità dei complessi idrogeologici individuati; sono stati infatti intersecati in varia misura, in superficie o in profondità, 16 dei 17 complessi idrogeologici totali, così come gli orizzonti ghiaiosi presenti alla base delle alluvioni e dei depositi lacustri e quelli presenti all'interno del complesso della formazione di S. Cecilia, che sono stati intercettati solo in sezione.

La base dati al momento consta di differenti *shapefile* che, nel prossimo periodo, saranno fatti confluire in un database geografico dedicato al momento in fase sperimentale (MARTARELLI *et alii*, 2015 in prep.).

#### BIBLIOGRAFIA - REFERENCES

- FUNICIELLO R., GIORDANO G. & MATTEI M. (2008) - *Carta geologica di Roma*. Mem. Descr. Carta Geol. d'It., **80**.
- 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.
- MARTARELLI L., ROMA M., SCALISE A.R., VENTURA R., BATTAGLINI L., CARTA R. & LETTIERI M.T. (2015) - *The hydrogeological geodatabase by the Geological Survey of Italy*. 42° International Congress AQUA 2015, Rome, September 13-18<sup>th</sup>, in prep.
- ROMA M. & VITALE V. (2008) - *Strumenti e metodologie informatiche per l'idrogeologia: dai dati alla rappresentazione cartografica*. In: "Studi sperimentali finalizzati alla cartografia idrogeologica". A.R. SCALISE, L. MARTARELLI (Eds.). Mem. Descr. Carta Geol. d'It., **81**, 47-58.
- TARRAGONI C., MARTARELLI L., PIERDOMINICI S., ROMA M. & BONI C.F. (2011) - *A proposal for compiling quantitative hydrogeological maps*. Rend. Online Soc. Geol. It., **14** (2011), pp. 75-85, 6 figs, 1 tab., 4 pl. DOI: 10.3301/ROL.2011.07.

#### AREAL SYMBOLOGY

The areal symbology for the representation of hydrogeological complexes, as experimented in former mapping tests, has been adopted to evidence with red to orange shades of color the complexes with high to intermediate relative permeability, while greenish to grayish shades of color characterize scarce to very low relative permeability complexes. The chosen chromatic shades immediately highlight the potential aquifer recharge areas, and suggest potential vulnerability to contamination; the lightest or darkest shade of color has been selected for each complex to evidence the minor or major extent, respectively, of the related cropping out area. Patterns on the areal symbology have been also used to show the lithological features of the high and intermediate relative permeability complexes.

#### HYDROGEOLOGICAL SECTIONS

Four hydrogeological sections have been elaborated along the positions of the corresponding geological section of the previously cited Geological Map of Rome Municipality dated 2008; the former C-C' section has been extended with a N-S trend toward the Tyrrhenian coastline.

The sections crosscut 16 out of 17 total distinguished hydrogeological complexes and also the gravelly horizons located at the base of the alluvial and lacustrine deposit complex and within the S. Cecilia formation complex, actually only visible in cross-sections.

The database is at the moment constituted of different *shapefiles* which, in the near future, will be integrated in a geographical specifically built database in testing stage (MARTARELLI *et alii*, 2015 in prep.).



## Le rappresentazioni cartografiche idrogeologiche di Roma nel corso del tempo *The hydrogeological cartographic representation of Rome over time*

GIUSEPPE CAPELLI, ROBERTO MAZZA

La storia di Roma e la civiltà che da essa si è generata sono legate in maniera imprescindibile all'acqua. Nella mitologia furono celebrate le acque del Fiume Tevere e le sue piene. Successivamente assunsero grande importanza quelle presenti sul suo territorio, che regimate ed in parte captate andarono ad alimentare numerosi acquedotti che, ancora oggi, riforniscono l'Urbe. Questa abbondanza di risorse idriche consentì la realizzazione di architetture (fontane e terme) che portarono a quel fenomeno definibile come "Trionfo dell'Acqua".

Dopo un periodo di decadenza, le architetture che celebravano i restaurati acquedotti (mostre dell'acqua), quelle poste al servizio dei cittadini e quelle che arredavano piazze, palazzi e ville crearono uno scenario urbano che ha pochi eguali al mondo.

In questo contesto e per queste necessità è stata prodotta nei secoli, a partire dal 98 d.C., data di produzione dell'opera fondamentale di Sesto Giulio Frontino "*De aquaeductu urbis Romae*" (FRONTINO, 1997), una grande quantità di scritture che descrivono gli acquedotti e le opere idrauliche che li caratterizzano.

Gli ingegneri dell'antichità, già dalla realizzazione del primo acquedotto, quello Appio e del primo collettore fognario, la Cloaca Massima, nello scavo delle gallerie idrauliche, intercettarono spesso acque sotterranee che saturavano i depositi terrigeni vulcanici e/o alluvionali su cui è impostato il territorio romano. Il fenomeno si ripresentò nello scavo, per vari scopi, dell'immensa rete caveale su più livelli, che ancora oggi è presente ed in parte esplorabile sotto il territorio su cui si apre la Città, anche al di fuori delle mura aureliane (VENTRIGLIA, 1971). Pur possedendo una conoscenza empirica delle acque sotterranee per i tecnici dell'antichità non era ancora possibile realizzare delle espressioni organiche di questo sapere.

*Rome's history and the civilization it has generated are inexorably tied to the water. In the mythology the waters of the Tiber river and its floods were celebrated. Later, all waters present throughout Rome's territory assumed great importance and were caught for feeding several aqueducts that, even today, are supplying the City. This abundance of water allowed the realization of architectures (fountains and thermal baths) that led to the phenomenon which can be defined as "Triumph of Water".*

*After a period of decline, the architectures that celebrated the restored aqueducts, both those at the service of citizens and those that furnished squares, palaces and villas, created a cityscape that has few equals in the world.*

*In this context and for these necessities, for centuries, since AD 98, date of issue of the crucial work by Sesto Giulio Frontino "*De aquaeductu Urbis Romae*" (FRONTINO, 1997), a large quantity of documents describing the aqueducts and their hydraulic engineering works have been produced.*

*The ancient engineers, since the construction of the first aqueduct (the Aqua Appia) and the first sewer (the Cloaca Maxima), often intercepted and drained the water table during the excavation of galleries. The phenomenon recurred during excavation, for various purposes, of the wide and multi-layer galleries network, which is still present and sometimes accessible in the underground of the City and even outside of the Aurelian walls (VENTRIGLIA, 1971). Although ancient technicians had empirical skill with groundwater problems, it was not still possible to create exhaustive representation of this knowledge.*

*We must wait the nineteenth century to obtain the production and printing of organic hydrological and hydrogeological studies, when ZOPPI (1891) and PERRONE et alii (1899), on behalf of the Ministry of Agriculture, Industry and Trade, produced the first "Hydrographic Map of Italy", after springs and linear springs' survey (Fig. 1). With this work*

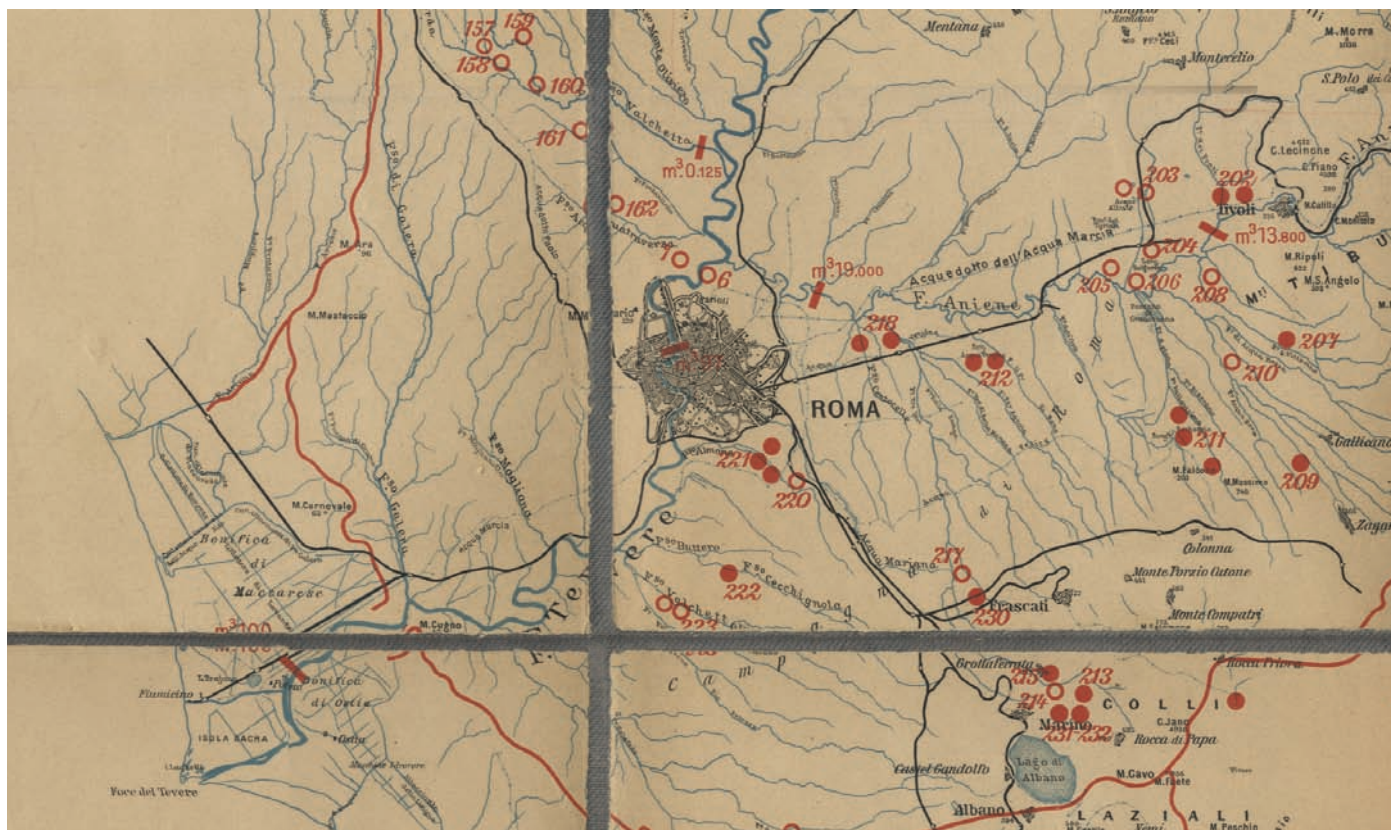


Fig. 1 - Carta Idrografica d'Italia - Bacino del Tevere (PERRONE & ZOPPI, 1899).  
- Hydrographic Map of Italy - Tiber Basin (PERRONE & ZOPPI, 1899).

Per la realizzazione e stampa di studi organici sull'idrologia e idrogeologia, bisogna attendere il XIX° secolo quando ZOPPI (1891) e PERRONE *et alii* (1899), per conto del Ministero dell'Agricoltura, Industria e Commercio produssero la prima "Carta Idrografica d'Italia", avendo rilevato sistematicamente le sorgenti sia puntuali che lineari di subalveo (Fig. 1). Con quest'opera si introdusse, su base quantitativa, il concetto per cui i corsi d'acqua, per dei tratti, sono anch'essi dei fenomeni sorgivi e quindi la portata del loro flusso è alimentata dalle acque sotterranee sostenute dall'infiltrazione, oltre che da quelle piovane attraverso il ruscellamento. I dati forniti da questo attento studio sulle magre ordinarie ed estreme definiscono, di fatto, un riferimento fondamentale sulle potenzialità delle risorse idriche sotterranee alla fine del secolo XIX°. La pionieristica e immensa opera di questi due studiosi determinò una vera rivoluzione nel mondo delle acque, spostando la questione verso l'approccio idrogeologico.

Nei primi decenni del secolo XX°, nel territorio romano, le acque sotterranee e gli acquiferi in cui esse erano ospitate, furono studiati

*the concept for which some parts of streams and rivers can be considered as springs themselves was introduced. Data provided on ordinary and extreme flow measures by this study define, in fact, a fundamental reference about the potential of groundwater resources at the end of the nineteenth century. The immense and pioneering work of these two scholars fixed a real revolution in the water knowledge, shifting the discussion to the hydrogeological approach.*

*In the early decades of the twentieth century, groundwater and aquifers of Roman area were studied mostly in relation to local problems. Since the '50s, the Hydrogeology of Rome finally gains in importance, with more organic and modern science-based criteria and by the help of many scholars, among which: MANFREDINI (1958), MARTINI et alii (1961), ALBANI et alii (1972), CAMPONESCHI & NOLASCO (1982), CARBONI et alii (1991), CORAZZA & LOMBARDI (1995). These works are accompanied by detailed maps and often, by census of water points, wells and springs, other thematic maps, circulation patterns and piezometric surfaces were elaborated as well (Fig.2).*

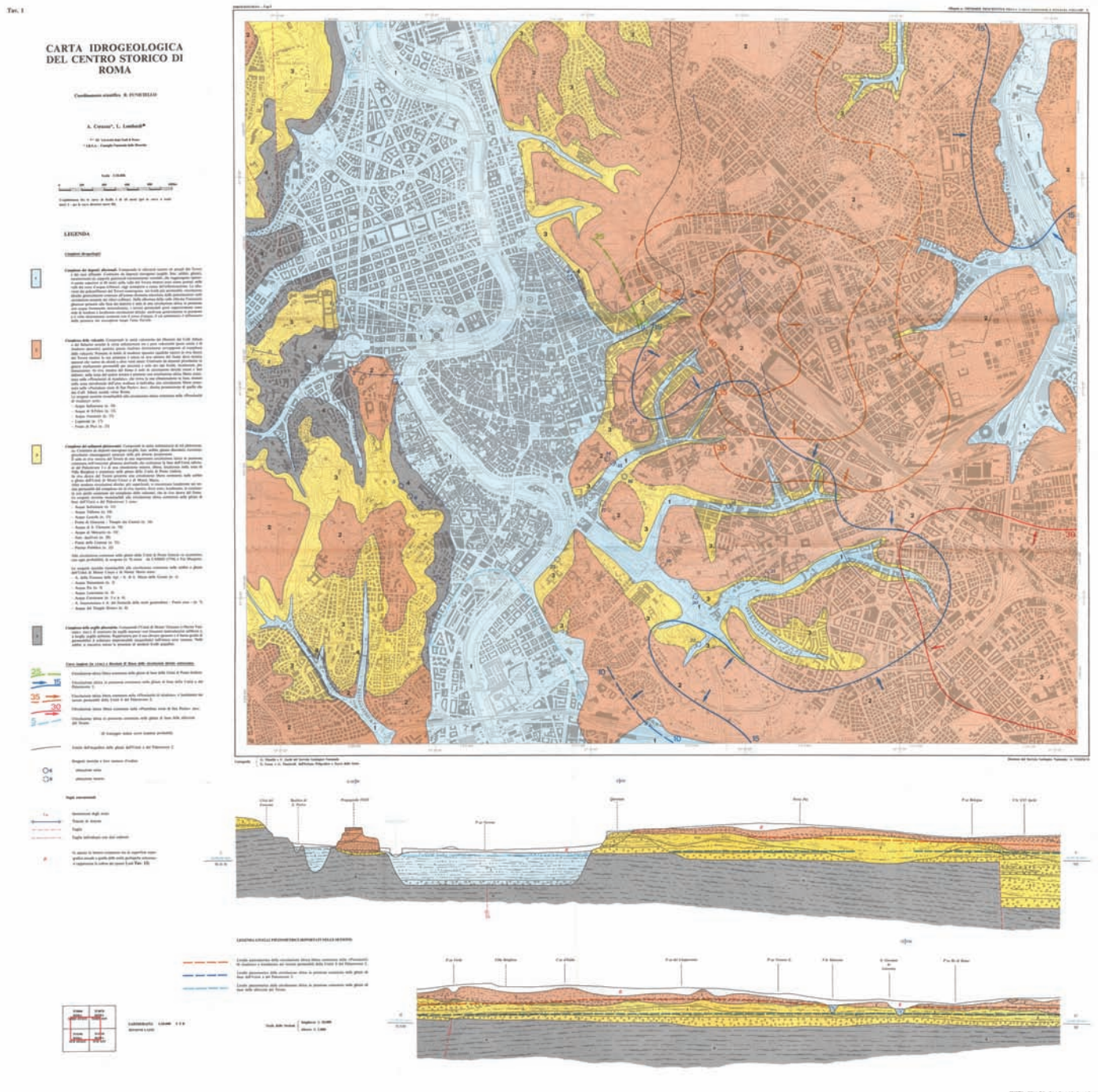


Fig. 2 - Carta Idrogeologica del Centro Storico di Roma (CORAZZA & LOMBARDI, 1955).  
- Hydrogeological Map of Hystrotical Centre of Rome (CORAZZA & LOMBARDI, 1955).

più che altro in relazione a problemi locali. A partire dagli anni '50, finalmente si torna ad affrontare il tema dell'Idrogeologia di Roma, con criteri più organici e su basi scientifiche più moderne, grazie al contributo di molti studiosi, tra cui ricordiamo: MANFREDINI (1958), MARTINI *et alii* (1961), ALBANI *et alii* (1972), CAMPONESCHI & NOLASCO (1982), CARBONI (1991), CORAZZA & LOMBARDI (1995). Le loro opere sono corredate di cartografie dettagliate e spesso, oltre al censimento di punti d'acqua, pozzi e sorgenti, vengono allegate anche carte tematiche, schemi di circolazione, piezometrie (Fig. 2).

UGO VENTRIGLIA con le sue opere edite tra il 1971 ed il 2002 (VENTRIGLIA, 1971, 1990, 2002), delinea per la prima volta uno scenario idrogeologico, fortemente supportato da elementi quantitativi a vari livelli di scala e di contenuti, arrivando ad abbracciare l'intero territorio provinciale (Fig. 3).

Tuttavia si deve osservare che questi studi meritevoli hanno ancora un approccio limitato e non entrano mai in maniera esaustiva nelle questioni di circolazione idrica sotterranea, nella definizione della ricarica, delle riserve e delle risorse e quindi del bilancio idrogeologico.

Negli anni '80 CARLO BONI ed il suo gruppo di lavoro (BONI *et alii*, 1986, 1988) definirono le unità idrogeologiche su cui si estende il territorio di Roma, aggiornarono i dati associati ai punti d'acqua e definirono, per la prima volta su base quantitativa, i parametri di bilancio per ogni unità.

Nel 2003 fu pubblicata dal Comune di Roma una rappresentazione di dati di base idrogeologici (14 fogli in scala 1:20.000/25.000 a cura di L. LOMBARDI) e successivamente

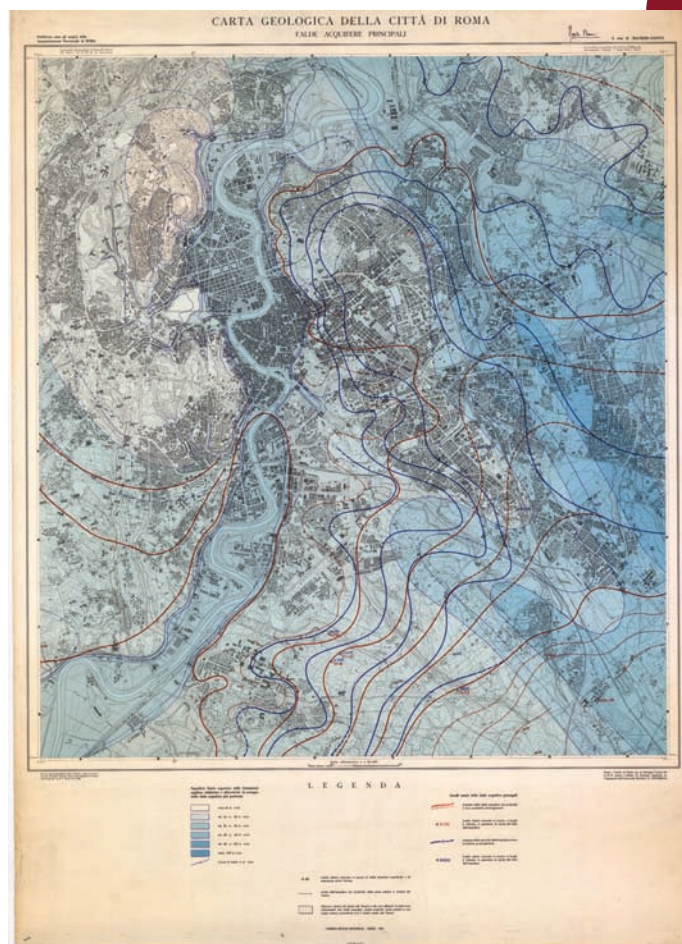


Fig. 3 - Carta Idrogeologica della Città di Roma (VENTRIGLIA, 1971).  
- Hydrogeological Map of the City of Rome (VENTRIGLIA, 1971).

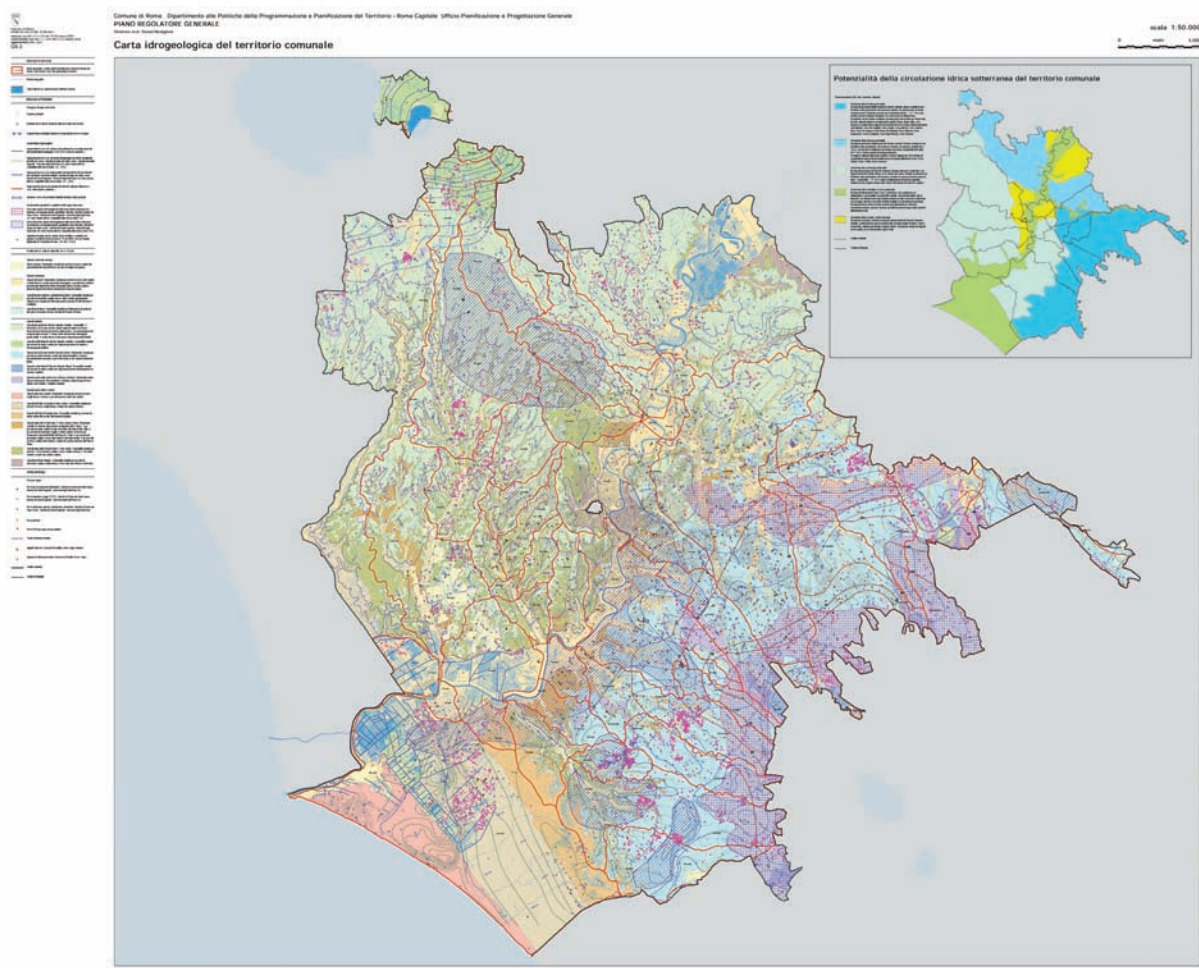


Fig. 4 - Carta Idrogeologica del Comune di Roma (SUCCHIARELLI & D'OTTAVIO, 2008)  
- Hydrogeological Map of Rome Municipality (SUCCHIARELLI & D'OTTAVIO, 2008).

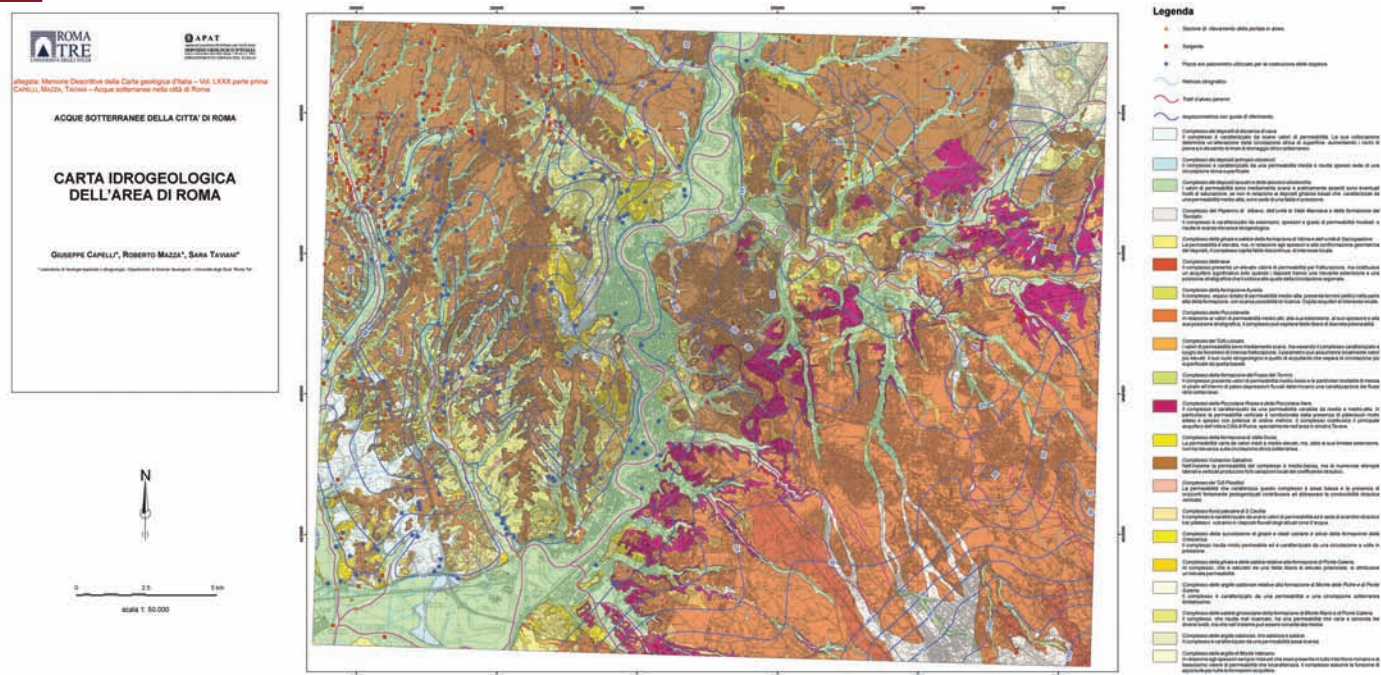


Fig. 5 - Carta Idrogeologica dell'area di Roma (CAPELLI *et alii*, 2008).  
- Hydrogeological Map of the area of Rome (CAPELLI *et alii*, 2008).

fu realizzata, tra il 2006 e 2007, la *Carta idrogeologica del territorio comunale*, in scala 1:50.000 (Fig. 4) e in scala 1:20.000 (11 fogli) (SUCCHIARELLI & D'OTTAVIO, 2008).

I ricercatori del Laboratorio di Idrogeologia numerica e quantitativa dell'Università Roma Tre, sotto il coordinamento di G. CAPELLI e R. MAZZA, nei primi 15 anni del 2000 (CAPELLI *et alii*, 2005/a/b/c; CAPELLI *et alii*, 2008, 2012), utilizzando le nuove tecnologie numeriche associate all'uso del computer (progetti GIS, modelli di calcolo numerico, etc.), unitamente all'impegno nel rilevare estesamente e ripetitivamente pozzi e sorgenti, riuscirono a produrre nuove cartografie idrogeologiche e tematiche vettoriali, archivi numerici, sezioni idrogeologiche, bilanci idrici (Fig. 5).

Recentemente i ricercatori di Roma Tre in collaborazione con l'IGAG-CNR hanno prodotto, inoltre, simulazioni numeriche degli scambi tra il complesso degli acquiferi alluvionali e quelli delle altre unità idrogeologiche ricadenti nell'area comunale (DI SALVO *et alii*, 2012, 2014). Le cartografie piezometriche associate alle varie note a stampa prodotte nel periodo citato, pur considerando i dati pregressi, furono costruite sulla base di rilievi originali organizzati per campagne realizzate nell'arco di circa 10 anni.

È oramai dimostrato che nel sottosuolo del Comune di Roma sono presenti acquiferi importanti, sia in falda libera che confinata (LA VIGNA *et alii*, 2008, 2009). Alcuni di essi sono ben rialimentati costituendo una risorsa idrica assai diffusa, spesso di qualità, ma sfruttata senza criterio e poco controllo (CAPELLI *et alii*, 2005). Pur essendo nota questa potenzialità idrogeologica di Roma, essa va meglio conosciuta affinché possa essere gestita dalla comunità.

Per un approfondimento sullo stato delle conoscenze sull'Idrogeologia di Roma sarà necessario operare nell'acquisizione di sempre più stazioni di monitoraggio permanenti in foro, su una migliore definizione dei parametri idrogeologici degli acquiferi, sul miglioramento delle conoscenze della geologia del sottosuolo e nel passaggio dal regime permanente a quello transitorio nelle simulazioni del comportamento degli acquiferi.

In quest'ottica la recente istituzione della "Rete di monitoraggio ufficiale delle Acque Sotterranee di Roma Capitale", che è riportata in questa Carta, e che conta più di 100 punti di misura delle acque di falda distribuiti nell'area urbana, costituisce un grandissimo balzo in

UGO VENTRIGLIA with his works published between 1971 and 2002 (VENTRIGLIA 1971, 1990, 2002) outlines, for the first time a hydrogeological scenario strongly supported by quantitative elements at different scale and content, covering the whole Province of Rome territory (Fig.3).

However it must be pointed out that these deserving studies have still a limited approach and never enter exhaustively in the issues of groundwater flow, definition of recharge, storage, resources and therefore water budget.

During the '80s CARLO BONI and his working group (BONI *et alii*, 1986, 1988) defined the hydrogeological units on the territory of Rome, updated the data associated with water points and defined, for the first time on a quantitative basis, the budget parameters for each aquifer.

In 2003 a representation of hydrogeological base data (14 sheets 1:20.000/25.000 by L. LOMBARDI) was published by the Municipality of Rome and later, between 2006 and 2007, was built the first Hydrogeological map of Rome, scale 1:50.000 (Fig. 4) and 1:20.000 (11 sheets) (SUCCHIARELLI & D'OTTAVIO 2008).

Researchers of the Numerical and Quantitative Hydrogeology Laboratory of Roma Tre University, under the coordination of professors G. CAPELLI and R. MAZZA, in the first 15 years of the 2000s (CAPELLI *et alii* 2005 / a / b / c, CAPELLI *et alii*, 2008, 2012), using the digital technologies associated with the use of computers (GIS applications, groundwater numerical modeling, etc.) and together with a strong effort of surveying extensively and repeatedly wells and springs, were able to produce new hydrogeological maps, databases, hydrogeological sections, water balances (Fig. 5).

Recently, Researchers of Roma Tre University, in collaboration with the CNR-IGAG produced also groundwater models simulating the exchange between the alluvial aquifers of Rome and the other hydrogeological units (DI SALVO *et alii*, 2012, 2014). The piezometric maps associated to each paper produced in the mentioned period, even if considering also previous data, were realized by means of original survey carried out over about 10 years.

It is now known that in the underground of the City of Rome there are important aquifers, both in unconfined and confined condition (LA VIGNA *et alii*, 2008, 2009). Some of them are well recharged and constitute a good and widespread groundwater resource, but are often exploited without any control (CAPELLI *et alii*, 2005). Although this hydrogeological potential of Rome is known, it needs to be known much better so that it can be managed by the community.

avanti verso una maggiore consapevolezza ed un uso più sostenibile della risorsa idrica.

La nuova Carta Idrogeologica di Roma, agganciata a contenuti che vanno oltre la mera rappresentazione grafica, si inserisce in questo contesto e costituisce, quindi, un'importante innovazione su questo tema così importante dal punto di vista applicativo e per il progresso della Città.

*In order to increase the state of hydrogeological knowledge of Rome it will be necessary to realize more and more permanent groundwater monitoring stations, to better define the hydrogeological parameters of aquifers, to improve the base geological knowledge of the subsurface and to improve existing steady state numerical groundwater models to transient state.*

*In this perspective, the recent establishment of the "Official groundwater monitoring network of Rome Municipality", which is sketched in the map, and which counts more than 100 groundwater measuring points well distributed in the urban area, is a great leap forward towards greater awareness and a more sustainable use of water resources.*

*The new Hydrogeological Map of Rome, linked with contents that go beyond the mere graphic representation, fits into this context and is, therefore, an important innovation on this important matter, from the point of view of both the technical applications and the City progress.*

## BIBLIOGRAFIA - REFERENCES

- ALBANI R., LOMBARDI L. & VICINANZA P. (1972) - *Idrogeologia della Città di Roma*. Ingegneria Sanitaria, **20** (3), Roma.
- BONI C., BONO P. & CAPELLI G. (1986) - *Schema Idrogeologico dell'Italia centrale: Carta Idrogeologica dell'Italia centrale (scala 1:500.000), Carta dei bilanci idrogeologici e delle Risorse Idriche sotterranee (scala 1:000.000)*. **35** - parte seconda, Società Geologica Italiana. Roma.
- BONI C., BONO P. & CAPELLI G. (1988) - *Carta Idrogeologica del Territorio della Regione Lazio (Scala 1:250.000)*. Regione Lazio, Assessorato alla Programmazione, Ufficio Parchi e Riserve Naturali - Università degli Studi "La Sapienza" - Dipartimento di Scienze della Terra, Roma.
- CAMPONESCHI B. & NOLASCO F. (1982) - *Le risorse naturali della Regione Lazio: Roma e i Colli Albani*. Regione Lazio, **7**, Roma.
- CAPELLI G., MAZZA R. & GAZZETTI C. (Eds) (2005) - *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 Editrice.
- CAPELLI G. & MAZZA R. (2005/a) - *Caratteristiche idrogeologiche dell'area Romana* - Atti del Convegno -Ecosistema Roma- 14/16 aprile 2004. Accademia Nazionale dei Lincei, **218**, pp. 325-334, 9 figg.
- CAPELLI G. & MAZZA R. (2005/b) - *Individuazione dei bacini idrogeologici. Analisi della circolazione idrica sotterranea (dominio vulcanico laziale)*. In: "Strumenti e strategie per la tutela e l'uso compatibile della risorsa idrica nel Lazio - Gli acquiferi vulcanici". Quaderni di Tecniche di Protezione Ambientale. Protezione delle acque sotterranee, **78**. Pitagora Editrice Bologna, pp. 41-80.
- CAPELLI G. & MAZZA R. (2005/c) - *Schema idrogeologico della Città di Roma - Gestione della risorsa idrica e rischio idrogeologico*. In: Atti del Convegno - La IV Dimensione - Lo spazio sotterraneo di Roma. Supplemento **4/2005**, Geologia dell'Ambiente. Periodico della SIGEA, pp. 47-58.
- CAPELLI G., MASTRORILLO L., MAZZA R. & PETITTA M. (2012) - *Carta delle Unità Idrogeologiche della Regione Lazio (scala 1:250.000)*. Regione Lazio, Roma.
- CAPELLI G., MASTRORILLO L., MAZZA R., PETITTA M., BALDONI T., BANZATO F., CASCONI D., DI SALVO C., LA VIGNA F., TAVIANI S. & TEOLI P. (2012) - *Carta Idrogeologica del territorio della Regione Lazio (4 fogli scala 1:100.000)* Regione Lazio. Roma.
- CAPELLI G., MAZZA R., GAZZETTI C., SARANDREA P. & VENTURA G. (2005) - *Valutazione e localizzazione della criticità della risorsa idrica (dominio vulcanico laziale)*. In: "Strumenti e strategie per la tutela e l'uso compatibile della risorsa idrica nel Lazio - Gli acquiferi vulcanici". Quaderni di Tecniche di Protezione Ambientale. Protezione delle acque sotterranee, **78**. Pitagora Editrice Bologna, pp. 127-142.
- CAPELLI G., MAZZA R. & TAVIANI S. (2008) - *Acque sotterranee nella città di Roma*. Mem. Descr. Carta Geol. d'It., **80**, pp. 221-245, Roma - ISSN: 0536-0242.
- CARBONI G., FUNICIELLO R., PAROTTO M., MARRA F., SALVI S., CORAZZA A., LOMBARDI L. & FEROCI M. (1991) - *Geologia e idrogeologia del centro storico di Roma* - Progetto Strategico Roma Capitale. C.N.R. - Univ. Studi Roma "La Sapienza" - Istituto Nazionale di Geofisica.
- CORAZZA A. & LOMBARDI L. (1995) - *Idrogeologia dell'area del centro storico di Roma*. Mem. Descr. Carta Geol. d'It., **50**. Presidenza del Consiglio dei Ministri, Dipartimento dei Servizi Tecnici Nazionali, Servizio Geologico Nazionale.
- DI SALVO C., DI LUZIO E., MANCINI M., MOSCATELLI M., CAPELLI G., CAVINATO G.P. & MAZZA R. (2012) - *GIS-based hydrostratigraphic modeling of the city of Rome (Italy): analysis of the geometric relationships between a buried aquifer in the Tiber Valley and the confining hydrostratigraphic complexes*. Hydrogeology Journal, 2012, **20**, Issue 8, pp. 1549-1567.
- DI SALVO C., MOSCATELLI M., MAZZA R., CAPELLI G. & CAVINATO G.P. (2014) - *Evaluating groundwater resource of an urban alluvial area through the development of a numerical model*. Environmental Earth Sciences, 2014, **72**, Issue 7, pp. 2279-2299.
- FRONTINO S.G. (1997) - *Gli acquedotti di Roma* - ARGO p.s.c.r.l. - Lecce - ISBN 88-8234-001-5.
- LA VIGNA F., CIADAMIDARO S., MAZZA R. & MANCINI L. (2009) - *Water quality and relationship between superficial and ground water in Rome (Aniene River basin, central Italy)*, Environmental Earth Sciences, Springer. DOI 10.1007/s12665-009-0267-2.
- LA VIGNA F., CAPELLI G. & MAZZA R. (2008) - *Assetto idrogeologico del settore terminale del bacino del fiume Aniene*. In: FUNICIELLO R. & GIORDANO G. (Eds) Mem. Descr. Carta Geol. d'It., **80**, Roma - ISSN: 0536-0242.
- LOMBARDI L. (a cura di) (2003) - *Idrogeologia del territorio comunale*, scala 1:50.000. *Idrogeologia del territorio municipale*, scala 1:20.000/25.000, 14 fogli, Comune di Roma, Dipartimento VI - Politiche del Territorio, Ufficio Nuovo Piano Regolatore, Roma.
- MANFREDINI A. (1958) - *Ricerca di falde idriche nel sottosuolo (Roma e campagna romana)*. Boll. Serv. Geol. D'It., **73**, Roma.
- MARTINI P., ALBANI R., MOUTON J. & CURLI G. (1961) - *Contribution à la connaissance de l'hydrogéologie de la région de Rome a la suite de recherches exécutées par l'Azienda Comunale Elettricità ed Acque di Roma (ACEA)*. Mem. AIH Napoli, 1961.
- PERRONE E. & ZOPPI G. (1899) - *Tevere*. Min. di Agr., Ind. E Comm., Mem. Illustrative della Carta Idrografica d'Italia, **26**, Roma.
- SUCCHIARELLI C. & D'OTTAVIO D. (2008) - *Carta idrogeologica del territorio comunale*, scala 1:50.000, 1 foglio, scala 1:20.000, 11 fogli. Comune di Roma, Dipartimento VI - Politiche della Programmazione e Pianificazione del Territorio - Roma Capitale, U.O. 2 Pianificazione e Progettazione Generale, Roma.
- VENTRIGLIA U. (1971) - *La Geologia della Città di Roma*. Amm. Prov. di Roma.
- VENTRIGLIA U. (1990) - *Idrogeologia della Provincia di Roma*. Provincia di Roma. Ass. LL.PP. Viab. E Trasp., Roma.
- VENTRIGLIA U. (2002) - *Geologia del territorio del Comune di Roma*. Amm. Prov. Di Roma, Servizio Geologico, Difesa del Suolo, Roma.
- ZOPPI G. (1891) - *L'Aniene*. Min. di Agr., Ind. E Comm., Mem. Illustrative della Carta Idrografica d'Italia, **4**, Roma.

## Unità Idrogeologiche del territorio romano e modello concettuale di circolazione *Hydrogeological Units of roman area and groundwater conceptual model*

FRANCESCO LA VIGNA, ROBERTO MAZZA, ANDREA PIETROSANTE, LUCIO MARTARELLI, CRISTINA DI SALVO

L'assetto idrogeologico e lo schema di circolazione delle acque sotterranee nel territorio di Roma sono condizionati dall'assetto strutturale, dai rapporti di scambio idrico tra cinque diverse Unità Idrogeologiche e dalla presenza di due importanti corsi d'acqua perenni (CAPELLI *et alii*, 2008).

Le depressioni e le elevazioni strutturali, unitamente alle differenti permeabilità che caratterizzano alcuni principali complessi idrogeologici, determinano i limiti tra i grandi acquiferi e le linee di flusso delle acque sotterranee in essi presenti.

Nel territorio di Roma Capitale si incontrano domini geologici diversi, che danno luogo a cinque Unità Idrogeologiche (cfr. "Unità Idrogeologiche" in Carta):

- Unità Idrogeologica dei Monti Sabatini
- Unità Idrogeologica dei Colli Albani
- Unità Idrogeologica dei depositi continentali prevulcanici
- Unità Idrogeologica dei depositi alluvionali recenti e attuali
- Unità Idrogeologica del Delta del Fiume Tevere

I molteplici acquiferi presenti in queste idrostrutture hanno una circolazione complessa che tende a raccordarsi con le quote dei livelli di base fondamentali, costituiti dai fiumi Tevere, Aniene ed il mare.

Le Unità Idrogeologiche del territorio romano sono limitate inferiormente dal substrato a bassa permeabilità (cfr. "Unità Idrogeologiche" in Carta) costituito da un Complesso argilloso-sabbioso basale (formazione di Monte Vaticano, di Monte delle Picche e dai livelli inferiori della formazione di Monte Mario) che funge da acquicluda (cfr. DIMASI *et alii*, questo volume).

Gli acquiferi vengono in parte ricaricati anche da aree esterne all'ambito territoriale rappresentato in carta. Il tetto dell'aquicluda basale presenta una superficie fortemente articolata, derivante dalle condizioni morfo-strutturali e dall'azione di modellamento del reticolo idrografico antecedente alla messa in posto dei depositi vulcanici. Nella figura in Carta "Superficie di tetto dell'aquicluda basale" si possono notare due incisioni principali; la prima è costituita da una depressione controllata da tettonica ad andamento "appenninico" collocata in corrispondenza dei settori orientali della Città (Graben del Paleotevere Auct.), la seconda è costituita dall'incisione del Fiume Tevere avvenuta durante un periodo di basso stazionamento marino durante l'ultima era glaciale (fase Würmiana). La circolazione delle acque sotterranee, negli acquiferi maggiormente profondi, è ovviamente influenzata dalla presenza di questo substrato a bassissima permeabilità.

Di seguito vengono descritte le caratteristiche principali delle Unità Idrogeologiche citate.

### UNITÀ IDROGEOLOGICA DEI MONTI SABATINI

Il drenaggio dell'Unità Sabatina verso il settore tiberino, su cui si estende la Città di Roma, pur costituendo un'interessante risorsa, non è molto consistente, anche a causa del modesto spessore dei depositi e della loro discontinuità, soprattutto nella parte più prossima al centro abitato. Nei settori più periferici dei Municipi XIV e XV invece, lo spessore del Complesso Vulcanico Sabatino aumenta e di conseguenza assumono maggiore importanza idrogeologica.

Sulla riva destra del Tevere, l'alto strutturale di Monte Mario, formato prevalentemente dalle litologie costituenti il substrato a bassissima permeabilità, determina una divergenza del flusso idrico sotterraneo verso sud-ovest e verso nord-est.

*The hydrogeological conceptual model and groundwater circulation in the area of Rome municipality are driven by the structural setting, by the relationship of groundwater exchange between the five hydrogeological Units and by the two main rivers flowing in the study area (CAPELLI et alii, 2008). The tectonic horsts and grabens, together with the different permeabilities, which characterize some of the principal hydrogeological complexes, define the hydrogeological boundaries and the groundwater directions of the main aquifers. Inside the municipal boundary of Rome, five hydrogeological units can be recognized (see "Hydrogeological Units" on the Map):*

- Sabatini Mts Hydrogeological Unit
- Alban Hills Hydrogeological Unit
- Pre-volcanic and continental sedimentary deposit Hydrogeological Unit
- Recent and actual alluvial deposit Hydrogeological Unit
- Tiber River Delta Hydrogeological Unit

*A complex groundwater circulation, flowing toward the base level of Tiber and Aniene rivers and the Tyrrhenian Sea characterizes the aquifers hosted in these units. The hydrogeological units of the Rome Municipality are limited at the base by a low-permeability bedrock ("Hydrogeological Units" on the Map), formed by a basal clayey-sandy complex (Monte Vaticano, Monte delle Picche and lower levels of Monte Mario formations) and acting as an aquicluda (see DIMASI et alii, this volume).*

*Aquifers are partially recharged also through areas external to the territory represented in the map. The top of the clayey-sandy basal complex is strongly irregular; this is due to the morfo-structural conditions and to the river network erosion, antecedent to the deposition of volcanic units. In the "Top surface of the basal aquicluda" on the Map, it's possible to observe two main incisions that can be recognized: the first runs along a tectonic depression with "apennine" direction, in the eastern sectors of the city (Paleotevere Graben Auct.). The second is constituted by the Tiber River incision, occurred during a low sea-level stand during the last glacial age (Würmian age). The groundwater circulation in the deepest aquifers is influenced by the presence of this low-permeability bedrock. Here follows a description of the main characteristics of the cited hydrogeological units.*

### SABATINI MTS HYDROGEOLOGICAL UNIT

*The groundwater circulation from Sabatini Mts unit toward the Tiber sector, where the territory of Rome Municipality extends, though representing an important resource is not abundant, also because of the volcanic deposit scarce thickness and diffuse discontinuity, especially in the area around the urban central area. Otherwise, in the peripheral sectors of XIV and XV districts the thickness of Sabatini volcanic complex increases and assumes, as a consequence, a higher hydrogeological importance.*

*On the right bank of Tiber river, the structural horst of Monte Mario, mainly constituted by low-permeability lithologies belonging to the hydrogeological aquicluda, induces a diversion of groundwater flow toward south-west and north-east directions.*

*Previous studies (CAPELLI et alii, 2005), recognize three different hydrogeological basins in the Sabatini Mts:*

- 1) hydrogeological basin of Sabatini Mts. to the south of Tolfa Mts;
- 2) Eastern Sabatini Mts. hydrogeological basin;
- 3) North-western Sabatini Mts. hydrogeological basin.

*Groundwater flow coming from basin 1) feeds the southern sectors of Galeria and Magliana creeks, whereas the groundwater circulation*

Studi precedenti (CAPELLI *et alii*, 2005) hanno riconosciuto nei Monti Sabatini tre bacini idrogeologici:

- 1) Bacino Idrogeologico dei Monti Sabatini a sud dei Monti della Tolfa;
- 2) Bacino Idrogeologico dei Monti Sabatini orientali;
- 3) Bacino Idrogeologico dei Monti Sabatini nord occidentali.

Il flusso proveniente dal bacino 1) alimenta i settori più meridionali dei Fossi Galeria e Magliana, mentre la circolazione sostenuta dal bacino 2) determina il flusso di base dei Fossi della Mola (Cremera - Valchetta) e dell'Acquatrasversa. I drenaggi verso questi ultimi corsi d'acqua risultano decisamente superiori ai precedenti e possono raggiungere portate ordinarie complessive di circa 800 L/s.

#### UNITÀ IDROGEOLOGICA DEI COLLI ALBANI

Ben diverso potenziale offre l'Unità Idrogeologica Albana su cui il territorio di Roma Capitale si estende ampiamente. In questo dominio, essendo il substrato argilloso prevulcanico mediamente molto depresso come quota, gli acquiferi risultano caratterizzati da elevato spessore e drenano verso i fiumi Tevere e Aniene e verso il Fosso di Malafede nell'ambito rappresentato in carta, senza trovare particolari ostacoli alla circolazione idrica sotterranea. Nell'ambito della realizzazione di questa carta l'analisi dei dati sperimentali ha individuato in questo settore almeno tre circolazioni prevalenti che sono state rappresentate in modo distinto. Nel territorio i corsi d'acqua perenni alimentati dalle falde acquifere dei Colli Albani (cfr. sorgenti lineari in carta) sono numerosi e di portata sostenuta. Tra i principali vanno ricordati i fossi di: Malafede, Vallerano, Acqua Acetosa, Cecchignola, Vigna Murata, Tor Carbone, Almone, Acqua Mariana, Caffarella, Giardino, Centocelle, Tor Sapienza, Osa. Oltre al drenaggio nei corsi d'acqua sopra riportati l'Unità Albana sostiene anche parte del deflusso dei fiumi Tevere e Aniene.

#### UNITÀ IDROGEOLOGICA DEI DEPOSITI CONTINENTALI PREVULCANICI

L'Unità Idrogeologica dei depositi continentali prevulcanici comprende sia i depositi della successione di Ponte Galeria, sia quelli presenti nel settore centro orientale del territorio rappresentato in carta, costituiti dalle formazioni di Santa Cecilia e del Fosso della Crescenza.

Il settore di Ponte Galeria riceve la sua alimentazione a partire dalle unità sabatine a Nord del bacino idrografico, alimentazione che sostiene le circolazioni perenni del Rio Galeria e del Fosso della Magliana (cfr. sorgenti lineari in carta). Nella porzione più meridionale è interessato da forte disturbo antropico (cfr. livello "Area caratterizzata da forte modifica antropica" in Carta), sia a causa della imponente attività estrattiva che negli ultimi decenni ha "consumato" gran parte dei corpi acquiferi ghiaioso-sabbiosi, sia a causa della prevalente destinazione industriale cui è stato vocato questo settore di territorio e che ha inevitabilmente intaccato le matrici ambientali locali.

Le altre formazioni che compongono questa unità idrogeologica e che invece sono presenti nei settori più a est, costituiscono forse la più importante e produttiva circolazione sotterranea della città (LA VIGNA *et alii*, 2008). L'acquifero presente all'interno del Complesso della formazione del Fosso della Crescenza e nel Complesso delle ghiaie della formazione di Santa Cecilia, si sviluppa su grandi spessori in corrispondenza della depressione ad andamento "appenninico" nota come "Graben del Paleotevere". Questi corpi acquiferi, le cui circolazioni si raccordano con quelle più superficiali in corrispondenza dei corsi d'acqua principali, esistono anche al di sotto delle vulcaniti albane, fin sotto le pendici dell'edificio. La falda che risiede in queste unità sedimentarie, nel settore del "Graben del Paleotevere" e sotto l'edificio vulcanico è stata rappresentata solo come informazione puntuale e si caratterizza per un basso gradiente e quote piezometriche che oscillano attorno ai 20m s.l.m., nel settore posto più a ovest invece è stato possibile rappresentare alcune linee piezometriche relative alla falda residente in questi acquiferi.

*sustained by basin 2) feeds the basal flow of Mola (Cremera-Valchetta) and Acquatrasversa creeks. The groundwater fluxes toward the two latter creeks is strongly higher than fluxes to Galeria and Magliana creeks, with total average ordinary flow rate around 800 L/s.*

#### ALBAN HILLS HYDROGEOLOGICAL UNIT

*This Unit widely extends throughout the Rome municipality area. In this domain, being the prevolcanic clayey substratum on average largely depressed, aquifers are characterized by huge thickness and flow without substantial barriers to groundwater circulation toward Tiber and Aniene Rivers and toward the Malafede creek. In the framework of the hydrogeological map of Rome, the analysis of experimental data allowed to identify at least three main groundwater circulations, which are represented in the map. In the municipal territory, many perennial streams drain the Alban Hills groundwaters (cfr. linear springs on the map) with considerable flow rates: Malafede, Vallerano, Acqua Acetosa, Cecchignola, Vigna Murata, Tor Carbone, Almone, Acqua Mariana, Caffarella, Giardino, Centocelle, Tor Sapienza, Osa.*

*Beyond the drainage of the rivers mentioned above, the Alban Hills unit partially feeds the base flow of Tiber and Aniene rivers.*

#### HYDROGEOLOGICAL UNIT OF PRE-VOLCANIC AND CONTINENTAL SEDIMENTARY DEPOSIT

*The Hydrogeological Unit of pre-volcanic and continental sedimentary deposit includes both the Ponte Galeria sequence deposits and those extending in the central-eastern sector of the territory represented in the map, constituted by the Santa Cecilia and Fosso della Crescenza formations.*

*The Ponte Galeria sector receives its recharge from the Sabatini Mts hydrogeological units, located at the North of the hydrographic basin; this recharge feeds the base flows of Rio Galeria and Magliana Creek (cfr. linear springs on the map). In the southern portion, it is interested by intense anthropic modification (see layer "Area with heavy anthropogenic modification" on the map), both for the huge quarry activity which during the last years consumed the main part of gravel-sandy aquifers, and for the industrial destination of this sector, which inevitably affected the local soil and groundwater.*

*The other formations within this hydrogeological unit, occurring in the Eastern sectors, probably constitute the most important and productive groundwater circulation in the city area (LA VIGNA *et alii*, 2008). The aquifers hosted in the complex of Fosso della Crescenza formation and in the Gravelly Santa Cecilia formation Complex display large thicknesses in the sector of the "Paleotevere Graben" tectonic depression with "apennine" direction. These aquifers, linked to the surficial circulation through the main rivers, also exist under the Alban Hills volcanic deposits, reaching the base of the volcanic flank. The piezometric head of aquifer hosted in those sedimentary units below the volcano structure, represented in the Map as punctual information in the "Paleotevere Graben" sector, attains around 20m a.s.l. and shows low hydraulic gradient; otherwise, in the Western sector it was possible to represent few piezometric lines relatively to these aquifers.*

#### HYDROGEOLOGICAL UNIT OF RECENT ALLUVIAL DEPOSITS

*The Tiber Valley in the Rome urban area is mainly hosted within the basal aquiclude. The thicknesses of the Tiber alluvium, which is part of the "Alluvial and lacustrine deposit complex", ranges between 40 and 80 meters.*

*The texture is overall characterized by silty-sandy filling deposits, nevertheless sandy or gravelly layers are also present (DI SALVO *et alii*, 2012). A gravel layer is distinguished at the base of the Tiber alluvial valley deposits with thickness ranging from 5 to 10 meters. Close to the*

## UNITÀ IDROGEOLOGICA DEI DEPOSITI ALLUVIONALI RECENTI E ATTUALI

La Valle del Fiume Tevere, all'interno del centro urbano di Roma, è prevalentemente incisa nel substrato a bassissima permeabilità. Gli spessori del complesso tiberino, incluso nel Complesso delle alluvioni e dei depositi lacustri, sono compresi tra i 40 e gli 80 metri. La serie è essenzialmente limoso-sabbiosa, ma presenta anche livelli sabbiosi e ghiaiosi (DI SALVO *et alii*, 2012). Alla base della serie è presente un "materasso" ghiaioso piuttosto continuo e con spessori da 5 a 10 metri, che nel settore del centro città si trova quasi sempre isolato idraulicamente da circa 20 metri di argille torbose al tetto e dalle argille plioceniche del substrato al letto e lateralmente (LA VIGNA *et alii*, 2013; LA VIGNA & DI SALVO, 2013). Esso ospita una importante falda confinata (falda in pressione delle ghiaie di base delle alluvioni recenti, in Carta), caratterizzata da una notevole produttività. È plausibile che questo orizzonte sia ricaricato lateralmente dalle unità idrogeologiche incise dal Tevere nel settore del "Graben del Paleotevere"; la stessa situazione si ritrova anche in altri corsi d'acqua minori, come il Rio Galeria (cfr. piezometria in Carta).

### UNITÀ IDROGEOLOGICA DEL DELTA DEL FIUME TEVERE

Il delta tiberino è il maggiore della costa tirrenica italiana e presenta un'area emersa di 150 km<sup>2</sup> che si estende da Palo a nord, fino a Tor Paterno a sud, mentre la superficie dell'area sommersa è prossima ai 500 km<sup>2</sup>, con uno spessore massimo del corpo deltizio di 80 metri. Come l'Unità dei depositi alluvionali, anche l'Unità dei depositi deltizi presenta acquiferi di vario tipo e potenziale (cfr. MASTRORILLO & MAZZA, questo volume).

### Modello concettuale di circolazione

In sintesi il modello concettuale di circolazione dell'area romana prevede un'alimentazione di differenti falde acquifere sovrapposte (almeno tre nel settore Albano) che dalle zone più periferiche e ad elevazione maggiore del territorio rappresentato fluiscono verso il recapito finale dei Fiumi Tevere e Aniene (Fig. 1). È infatti evidente dall'assetto piezometrico rappresentato, come da un punto di vista generale la circolazione sotterranea segua le medesime linee di flusso della circolazione superficiale, rappresentando di conseguenza una corrispondenza piuttosto fedele tra bacini idrografici e bacini idrogeologici.

Si nota inoltre come le circolazioni sovrapposte tendano a raccordarsi tra loro con il diminuire della quota, restituendo, almeno nel settore albano una differenziazione di falde più evidente nei settori topograficamente più elevati. Questo è coerente con l'assetto geologico tipico di uno stratovulcano, quale è il Vulcano dei Colli Albani.

Di seguito viene descritta più nel dettaglio la circolazione nei diversi settori della Carta.

### SETTORE IN RIVA DESTRA DEL FIUME TEVERE

Questo settore si estende a partire dalla periferia più settentrionale del territorio di Roma Capitale e comprende anche un lembo isolato di territorio del Municipio XV compreso tra i Laghi di Bracciano e Martignano. Come è possibile constatare dalle Unità idrogeologiche appena descritte (cfr. schema "Unità Idrogeologiche" in Carta), in questo settore l'Unità Idrogeologica dei depositi continentali prevulcanici prevale rispetto all'Unità Idrogeologica dei Monti Sabatini verso il centro abitato, mentre i depositi vulcanici si inspessiscono verso nord, avvicinandosi ai centri eruttivi. Dai rilievi effettuati e dall'analisi dei dati progressi in questo settore è stata riscontrata una sola circolazione rappresentabile alla scala di questa cartografia. L'andamento delle linee isofreatiche si raccorda con i corsi d'acqua, pressochè tutti drenanti e che contribuiscono a luoghi ad elevare il gradiente idraulico. Nella parte

*central sector of Rome, an overlying peat deposits about 20 meters in thickness, together with bottom and lateral Pliocenic clays, hydraulically confine the basal gravel layer (LA VIGNA *et alii*, 2013; LA VIGNA & DI SALVO, 2013). This layer hosts a confined aquifer (confined aquifer within the basal gravel of recent alluvial deposits, on the Map) with very good productivity. Moreover, that aquifer could be hydraulically recharged by complexes hosted in "Paleotevere Graben". Similar hydrogeological setting can be observed in lesser rivers and streams (e.g. Rio Galeria).*

### HYDROGEOLOGICAL UNIT OF TIBER RIVER DELTA

*The Tiber delta emerged area, that is the major of Italian Tyrrhenian coast, covers approximately 150 km<sup>2</sup> extending from Palo in the north to Tor Paterno in the south, whereas submerged area is about 500 km<sup>2</sup>; the maximum thickness of river delta deposits is 80 meters. The Tiber Delta Unit, as well as recent alluvial deposits Unit, hosts aquifers showing a wide texture types and hydraulic potential (see MASTRORILLO & MAZZA, this volume).*

### Groundwater flow conceptual model

*The conceptual model of the groundwater flow in the roman area is represented by four aquifers, three of which being overlapping aquifers. These aquifers flow from peripheral sectors of the study area toward Tiber River and Aniene River (Fig.1). Isopotential lines in the map highlight that groundwater flowpaths are similar to surface water flowpaths so that hydrological basin and hydrogeological basins are quite similar.*

*In areas of higher elevations, as along the flanks of Alban Hills, the overlapped aquifers can be well defined and distinguished; otherwise, at lower elevations, the overlapped aquifers tend to converge and become one single aquifer. That is consistent with geological setting of a typical stratovolcano as Alban Hills Volcano is.*

*In the next sections we are going to describe in detail hydrogeology and groundwater flow respectively for right bank and left bank of the Tiber River.*

### TIBER RIVER RIGHT BANK SECTOR

*This area extends from the northern administrative boundary of Rome Municipality also including an isolated area of XV district that extends between Bracciano and Martignano Lakes. Within Tiber River right bank it is possible to observe that Hydrogeological Unit of Sabatini Mounts is prevailing northward, with increasing thickness toward the eruptive centers. On the contrary, the Hydrogeological Unit of Pre-Volcanic Continental Deposits largely outcrops in most central area (see sketch of "Hydrogeologic Units" in the Map). New hydrogeological surveys and previous hydrogeological data show the existence of one single aquifer at right bank of the Tiber River. Isopièzometric lines highlight that streams act as linear springs close to which hydraulic gradients generally increase. A clear increasing of the hydraulic gradient could be observed northward where the Hydrogeological Unit of Pre-Volcanic Continental Deposits are found to become thinner while the deposits of the Hydrogeological Unit of Sabatini Mounts become thicker. Furthermore, northward areas in which hydraulic gradient increase also show a shallower basal aquiclude top surface (see "Top surface of the basal aquiclude" on the Map). The basal aquiclude also outcrops at "Monte Mario" horst, from which a groundwater divide, having a trend similar to the hydrographic divide, follows Trionfale and Cassia Ways. This groundwater divide separates the groundwater circulation in two hydrogeological basins: the first one, which flows westward, is drained by Galeria and Magliana streams; the second one, which flows northward and eastward, is drained by Acqua Traversa, Crescenza and Cremera-Valchetta streams.*

*Moreover, the groundwater flow toward east also contributes to recharge the aquifers hosted in the NW-SE trending rift (Paleotevere Graben) which crosses the XV district of Rome.*



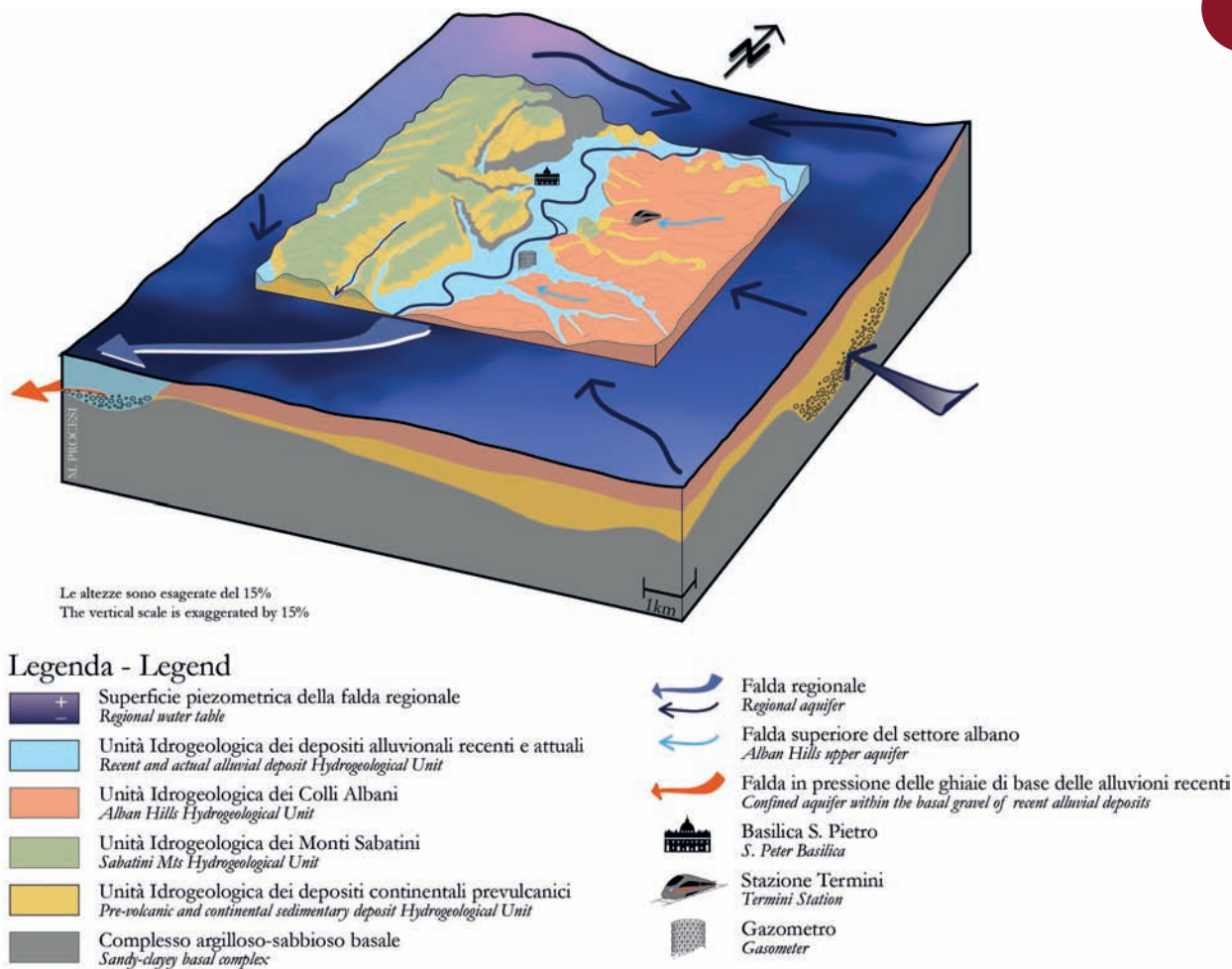


Fig. 1 - Modello concettuale idrogeologico del territorio di Roma Capitale (disegno di MONIA PROCESI).  
- Hydrogeological conceptual model of Rome Municipality (drawing by MONIA PROCESI).

setentrionale di questo settore si può notare un brusco aumento di gradiente della piezometria che avviene dove l'Unità Idrogeologica dei depositi continentali prevulcanici tende a chiudersi in favore dell'Unità Idrogeologica dei Monti Sabatini e dove la superficie di tetto dell'aquicluda basale (in Carta) mostra un'importante risalita di questa superficie. Uno spartiacque sotterraneo, pressoché coincidente con quello superficiale, percorre indicativamente la Via Trionfale, a partire dall'alto di Monte Mario, dove affiora il substrato a bassa permeabilità, e poi la S.S. Cassia. Questo spartiacque separa la circolazione di questo settore in due bacini principali, il primo che drena verso Ovest in favore del Rio Galeria e del Fosso della Magliana, il secondo che drena verso nord e est, in favore dei fossi Acqua Traversa, Crescenza, Cremera Valchetta. La circolazione drenante verso la parte più orientale di questo settore contribuisce inoltre ad alimentare l'acquifero presente nel "Graben del Paleotevere" che come è possibile vedere dalla superficie di tetto dell'aquicluda basale (in Carta), attraversa con la sua profonda incisione ad andamento appenninico la zona del Municipio XV.

Come accennato precedentemente, ulteriore particolarità di questo settore è quella di costituire da oltre mezzo secolo area di produzione di inerti per l'edilizia. Lo sfruttamento minerario ha determinato una perdita di cubatura di acquifero, essenzialmente di natura ghiaioso-sabbiosa, maggiore di 200 Mm<sup>3</sup> (CAPELLI *et alii*, 1999), con una mobilitazione di cubature ancora maggiori dei termini più pelitici della serie che sono stati riversati nelle depressioni di cava, in sostituzione degli originari termini ghiaiosi. Questa pratica, attuata su un'estensione di circa 70 km<sup>2</sup>, ha determinato il completo sconvolgimento del sistema idrogeologico, con forti modifiche dei flussi ipogei e dello stato di confinamento delle falde più profonde.

*From about fifty years Tiber River right bank sector is also characterized by a widespread quarry activity exploiting clastic sediments as source of several building material. This exploitation led to the losing of over 200 Mm<sup>3</sup> (CAPELLI *et alii*, 1999) of clastic sediments, mainly sand and gravel, in which an aquifer was hosted, while clayey and silty sediments were used to fill quarry excavations. Due to this exploitation activity in an area of about 70 km<sup>2</sup>, hydrogeological system has been deeply modified with regard to groundwater flowpaths and confined aquifers.*

TIBER RIVER LEFT BANK SECTOR

*This sector comprises the coastal areas, Alban Hills Volcano slope up to Aniene River and the areas in the right bank of the Aniene River.*

*All Hydrogeological Units previously described are found in this sector. Three partially overlapped groundwater circulations were identified.*

*The first one is hosted in the shallower volcanoclastic deposits of the Alban Hills Hydrogeological Unit. Radial groundwater flowpaths characterize the circulation within the Volcano edifice. In the study area, piezometric head values range between 100 m a.s.l. and 25 m a.s.l. The first groundwater circulation (Alban Hills upper aquifer, on the Map) merges with the underlying groundwater circulation (i.e. the second groundwater circulation) at about 25 m a.s.l. isopotentiometric line. Along Volcano edifice this groundwater flow is strongly drained by stream system.*

*The second groundwater circulation (Regional aquifer, on the Map) is widespread all over the left bank sector of the Tiber River, showing piezometric heads ranging between 60 m a.s.l. and the lower values corresponding to the main rivers base flow levels and to the sea water level.*

## SETTORE IN RIVA SINISTRA DEL FIUME TEVERE

Questo settore comprende la costa, i versanti del Vulcano dei Colli Albani fino al fiume Aniene e la porzione di territorio che è posta in riva destra del fiume Aniene. Il settore comprende in pratica parte di tutte le unità idrogeologiche precedentemente descritte.

Come è possibile osservare in Carta, le circolazioni riscontrate in questo settore sono diverse e vengono di seguito descritte.

La prima circolazione (Falda superiore del settore albano, in Carta), relativa alle vulcaniti più superficiali dell'Unità Idrogeologica dei Colli Albani, ha un andamento centrifugo rispetto all'edificio vulcanico e parte da quote piezometriche attorno ai 100 m s.l.m. fino a quote di circa 25 m s.l.m. dove si raccorda con la falda sottostante. Lungo i fianchi dell'edificio vulcanico, la circolazione viene drenata dai corsi d'acqua.

La seconda (falda regionale, in Carta) è una circolazione che si riscontra in modo continuo su tutta l'area e che può essere identificata come circolazione a carattere regionale. Parte dai settori più periferici con quote attorno ai 60 m s.l.m. e si raccorda con i livelli di base dei corsi d'acqua principali e con il mare lungo la costa.

La terza ed ultima circolazione si riscontra solo al di sotto delle vulcaniti a profondità molto elevate. È caratterizzata da gradiente idraulico molto basso, con quote che si aggirano attorno ai 20 m s.l.m.. Non essendo possibile una sua ricostruzione sull'intera area di studio è rappresentata in carta da alcune linee piezometriche tratteggiate nel settore ovest, e dai soli valori puntuali di quota nei settori nord orientali.

Nell'ambito della circolazione regionale, è possibile definire alcuni limiti di potenziale che separano di fatto tre sottozone. Il primo limite è il Fosso di Malafede che separa l'Unità Idrogeologica dei Colli Albani dall'Unità Idrogeologica del Delta del Fiume Tevere; il secondo è il Fiume Aniene che separa la zona prettamente vulcanica da un settore, dove le Unità Idrogeologiche vulcaniche si interdigitano, assumendo meno importanza in favore dell'Unità dei depositi continentali prevulcanici. In questo settore infatti il "Graben del Paleotevere" ha condizionato l'assetto stratigrafico permettendo l'accumulo di grandi quantità di ghiaie e sabbie che di conseguenza condizionano in parte l'assetto piezometrico. Le linee isofreatiche di carattere regionale infatti in corrispondenza dell'asse del Graben del Paleotevere diminuiscono il loro gradiente idraulico testimoniando la maggiore disponibilità di spazio intergranulare disponibile.

Il settore costiero presenta un assetto piezometrico che degrada dai rilievi dei depositi dunari verso il mare e che in alcuni settori presenta valori anche al di sotto del livello marino. Questo è dovuto alla presenza di zone di bonifica, che avendo quote topografiche al di sotto dello zero marino necessitano di frequente attività delle idrovore, che tengono il livello freatico al di sotto del piano campagna.

*The third groundwater circulation (Alban Hills deep aquifer, on the Map) is found below volcanic deposits of Alban Hills Volcano at higher depth. It has lower hydraulic gradients and piezometric heads values around 20 m a.s.l. It was not possible to reconstruct third piezometric surface all over the left bank sector so that only some isolines were plotted in the western area (i.e. dotted isolines in the map) while in the eastern area of the sector were plotted only groundwater measured points.*

*Within the regional groundwater circulation it is possible to distinguish three subzones separated by Malafede stream and Aniene River. The Malafede stream separates the Alban Hills Unit from Delta Tiber Unit. The Aniene River separates Alban Hills Unit from an area in which both volcanic and pre-volcanic units are found, the latter widely outcropping.*

*The stratigraphic setting in this sector was strongly affected by the "Paleotevere Graben" geometry, so that large amount of sand and gravel sediments were transported and then deposited within this tectonic depression also affecting piezometric setting. Along "Paleotevere Graben" central axis, hydraulic gradients decrease due to intergranular spaces increasing.*

*The piezometric setting of the coastal subzone shows piezometric heads decreasing from dune deposits towards the sea. In some coastal areas the water table is below sea level due to the nowadays activity of draining pumps in previously reclaimed land.*

## BIBLIOGRAFIA - REFERENCES

- CAPELLI G., MAZZA R. & TAVIANI S. (2008) - *Acque sotterranee nella città di Roma*. In: FUNICIELLO R. & GIORDANO G. (Eds). Mem. Descr. Carta Geo. d'It., **80**, Roma. ISSN: 0536-0242.
- CAPELLI G., MAZZA R. & GAZZETTI C. (Eds) (2005) - *Strumenti e strategie per la tutela e l'uso compatibile della risorsa idrica nel Lazio - Gli acquiferi vulcanici*. Quaderni di Tecniche di Protezione Ambientale. **78**. Pitagora Editrice, 216 pp., 4 tavv. f.t., 21 tavv. f.t. su CD-ROM allegato.
- CAPELLI G., FUNICIELLO R., IORIO D. & SALVATI R. (1999) - *Loss of groundwater resources following major quarrying activity in urban areas: the Galeria-Magliana quarry basin (Rome, Italy)*. Impacts of Urban Growth on Surface Water and Groundwater Quality, Proceedings of IUGG 99 Symposium HS5, Birmingham, July 1999, IAHS Publ. **259**, pp. 169-175.
- DI SALVO C., DI LUZIO E., MANCINI M., MOSCATELLI M., CAPELLI G., CAVINATO G.P. & MAZZA R. (2012) - *GIS-based hydrostratigraphic modeling of the city of Rome (Italy): analysis of the geometric relationships between a buried aquifer in the Tiber Valley and the confining hydrostratigraphic complexes*. Hydrogeology Journal. DOI: 10.1007/s10040-012-0899-2.
- LA VIGNA F., DEMIRAY Z. & MAZZA R. (2013) - *Exploring the use of alternative groundwater models to understand the hydrogeological flow processes in an alluvial context (Tiber River, Rome, Italy)*. Environmental Earth Science. DOI 10.1007/s12665-013-2515-8.
- LA VIGNA F. & DI SALVO C. (2013) - *Understanding the hydrogeological flow processes in the Holocene alluvial aquifers of Tiber River (Rome)*. Rendiconti online della Società Geologica Italiana, **24**.
- LA VIGNA F., CAPELLI G. & MAZZA R. (2008) - *Assetto idrogeologico del settore terminale del bacino del fiume Aniene*. In: FUNICIELLO R. & GIORDANO G. (Eds). Mem. Descr. Carta Geo. d'It., **80**, Roma. ISSN: 0536-0242.

## Superficie di tetto dell'Aquiclude basale *Top surface of the basal Aquiclude*

MICHELE DIMASI, MARCO MANCINI, ROBERTO MAZZA

La ricostruzione della superficie di tetto dell'aquiclude basale (STAB) nel territorio della città metropolitana di Roma è basata su una raccolta e validazione di dati di sondaggio (immagazzinati nei database di RomaTre, CNR-IGAG, Roma Capitale) e sulla consultazione e analisi di numerose pubblicazioni scientifiche sull'argomento. Partendo dal lavoro di FUNICIELLO & GIORDANO, (2008), sono stati considerati come elementi che costituiscono la STAB le formazioni di Monte Vaticano (MVA), il membro di Farneto della Formazione di Monte Mario (MTM<sub>1</sub>) e la formazione di Monte delle Picche (MDP).

La prima parte di questo lavoro ha riguardato la raccolta e la validazione di 707 stratigrafie di pozzo intercettanti la STAB. In seguito sono state analizzate sezioni geologiche pubblicate (CAPELLI *et alii*, 2008; DI SALVO *et alii*, 2012; FUNICIELLO & GIORDANO, 2008; MARRA & ROSA, 1995; MARRA & FLORINDO, 2014; MILLI *et alii*, 2013) dalle quali sono stati estratti valori di quota s.l.m. della STAB. L'ultima fase di elaborazione dei dati ha riguardato l'analisi e la validazione di ricostruzioni del substrato a bassa permeabilità già pubblicate (BUCCI & GRILLINI, 2008; DI SALVO *et alii*, 2012; MILLI *et alii*, 2013; MARRA & FLORINDO, 2014). Con l'insieme di tutti i punti validati si è passati all'elaborazione delle isobate del tetto del substrato con un'equidistanza di 25 metri (tra 100 e - 100 m s.l.m.) e di 100 metri (per valori superiori a - 100 m s.l.m.). Con l'insieme di punti quotati (s.l.m.) e delle isobate (s.l.m.) si è passati all'interpolazione dei dati in ambiente GIS tramite la funzione "topo to raster" per la realizzazione della "Superficie di tetto dell'aquiclude basale" (figura in Carta).

Nell'area del territorio di Roma la STAB è presente in affioramento con la Formazione di Monte Vaticano (MVA- questa e le successive sigle fanno riferimento alle sigle delle litologie riportate nella carta geologica del Comune di Roma, FUNICIELLO *et alii*, 2008) nel centro storico nei pressi di Monte Mario, lungo la Valle dell'Inferno e alla base dei colli Gianicolo e Vaticano, e nella porzione settentrionale dell'area urbana lungo le incisioni dei fossi di San Giovanni, Ornale, Orneto e le Spallette di Santa Margherita. Il membro di Farneto della Formazione di Monte Mario (MTM<sub>1</sub>) affiora sul versante orientale di Monte Mario, mentre la Formazione di Monte delle Picche (MDP) è presente con limitati affioramenti in riva destra del Fosso Galeria.

L'andamento della STAB è in primo luogo condizionato da elementi strutturali con andamento prevalentemente appenninico, NW-SE e N-S, la cui attività ha avuto inizio verso la fine del Pliocene inferiore in seguito alla progressiva migrazione del fronte appenninico verso est. Inoltre, lo sviluppo di sistemi fluviali ed estuarini, tra cui il Tevere e l'Aniene, cui si associa una intensa azione erosiva e deposizionale in concomitanza al vulcanismo, ha contribuito nel Quaternario a complicare l'assetto morfologico sepolto della STAB, con la definizione di aree di alto e basso morfologico, ovvero valli e aree di interfluvio sepolte.

Nella zona nord occidentale del territorio romano (Monti Sabatini), si nota un approfondimento della STAB fino a profondità di -600 m s.l.m., causato da un ampio collasso vulcano-tettonico. I dati utilizzati per quest'area derivano da perforazioni profonde ENEL condotte negli anni '80 a scopo di ricerca per la geotermia ad alta entalpia (FUNICIELLO & PAROTTO, 1994). Un'ulteriore area di approfondimento della STAB corrisponde all'antico corso del Tevere ("Paleotevere" in FUNICIELLO *et alii*, 1994), che in seguito al sollevamento dell'alto di Monte Mario - Cesano (Pleistocene inferiore) è stato deviato e costretto a scorrere ad est di Monte Mario (Graben del Paleotevere Auct.) con direzione NNW-SSE e poi N-S, erodendo fino a profondità di ca. -100 m s.l.m. la formazione di Monte Vaticano

*The reconstruction of the top surface of the basal aquiclude (TSBA), which is a relevant horizon of permeability contrast, in the urban area of Rome is based on collection and validation of borehole data (stored in the Roma Tre, CNR-IGAG, Roma Capitale databases), and on consultation and analysis of numerous scientific publications on this topic. Starting from the study of FUNICIELLO & GIORDANO, (2008), three formations were considered as the TSBA: the "Monte Vaticano" formation (MVA), the Farneto member of "Monte Mario" formation (MTM<sub>1</sub>) and the "Monte delle Picche" formation (MDP)*

*In the early stage of the present work, core stratigraphies from 707 continuous coring boreholes intercepting the top surface of the TSBA were collected and validated. Then, published geological cross sections (CAPELLI *et alii*, 2008; DI SALVO *et alii*, 2012; FUNICIELLO & GIORDANO, 2008; MARRA & ROSA, 1995; MARRA & FLORINDO, 2014; MILLI *et alii*, 2013) were analyzed, in order to extract, where present, the elevation values of the target surface. The last phase of data processing concerned the analysis and validation of already published reconstructions of the above mentioned surface (BUCCI & GRILLINI, 2008; DI SALVO *et alii*, 2012; MILLI *et alii*, 2013; MARRA & FLORINDO, 2014). All points with validated elevations were processed to obtain contours lines, with contour interval of 25 m (for elevation values ranging between 100 m above sea level and 100 m below sea level) or contour interval of 100 m (for elevations lower than 100 m b.s.l.). The dataset of point elevations and top contours lines were interpolated by means of the "topo to raster" tool in GIS environment, to obtain the raster "Top surface of the basal Aquiclude" (see figure on the Map).*

*In the territory of Rome, the TSBA crops out in the historical center near Monte Mario, along the "Valle dell'Inferno", at the base of Gianicolo and Vatican hills (Monte Vaticano formation, MVA - this and the following acronyms refer to the lithologies of the Geological Map of Rome Municipality, FUNICIELLO *et alii*, 2008); in the northern portion of the urban area, MVA outcrops along the river valleys of San Giovanni, Ornale, Orneto and Spallette di Santa Margherita. The Farneto member of Monte Mario formation (MTM<sub>1</sub>) outcrops only in the eastern slope of Monte Mario. Monte delle Picche formation (MDP) is present with limited outcrops on the right bank of the Galeria valley.*

*The elevation trend of the TSBA is driven by apenninic (NW-SE) and N-S trending structural elements (normal faults); the fault activity began in the late Early Pliocene, following the progressive migration of Apennine chain toward east. During the Quaternary, the development of river and estuarine systems, including the Tiber and Aniene rivers, associated to intense erosion and depositional processes concomitant with volcanism, contributed to complicate the morphology of the TSBA, with the definition of high and low morphological areas, buried valleys and interfluvies.*

*In the northwestern area of Rome (Monti Sabatini), the TSBA deepens up to 600 m b.s.l., due to a large volcano-tectonic collapse. Well logs used to elaborate this portion of the map come from ENEL deep drillings conducted in the '80s for high enthalpy geothermal exploration (FUNICIELLO & PAROTTO, 1994).*

*Another area of the TSBA deepening corresponds to the ancient Tiber River valley ("Paleotevere" in FUNICIELLO *et alii*, 1994); the ancient Tiber was deviated during the M.te Mario - Cesano horst uplift (Low Pleistocene) and changed his flow direction to the east of M.te Mario (Paleotevere Graben Auct.) in NNW-SSE and then N-S direction. Here, the Ancient Tiber River carved the M.te Vaticano formation (MVA) up to 100 metres b.s.l., and the resultant incised valley was then filled by the*

(MVA) con successiva deposizione della Formazione del Fosso della Crescenza (FUNICIELLO & GIORDANO, 2008; PAROTTO, 2008; MARRA & FLORINDO, 2014). Nella porzione sud-occidentale, in zona Cecchignola, si nota il graben della Cecchignola (MARRA & FLORINDO, 2014), con orientamento WNW-ESE, dove la STAB si approfondisce fino ad una profondità massima di ca. -50 m s.l.m.. Nella zona di passaggio da ambiente vulcanico ad ambiente deltizio, in riva sinistra del fosso di Malafede, la STAB tende a risalire fino a ca. 25 m s.l.m. con una direzione NW-SE in corrispondenza di un alto topografico. La dorsale del substrato idrogeologico costituisce qui lo spartiacque idrogeologico di Castelporziano: a nord di esso le acque di falda drenano verso il fosso di Malafede e verso il Tevere, a sud verso il mare (BUCCI & GRILLINI, 2001). Proseguendo verso costa la superficie tende ad approfondirsi fino a profondità di ca. -40 m s.l.m..

Un altro rilevante aspetto incidente sulla STAB è rappresentato dai corsi d'acqua recenti con le loro incisioni vallive avvenute durante la fase di basso stazionamento marino occorsa durante l'ultima età glaciale (fase Würmiana, Pleistocene superiore, tra 116 e 20 ka). Lungo la valle alluvionale del Tevere si registrano infatti forti approfondimenti della STAB: nella porzione assiale della valle, si rinviene fino a profondità di -50 m s.l.m. (DI SALVO *et alii*, 2012), diminuendo bruscamente procedendo verso i bordi della valle. Questo aspetto si ritrova, anche se in maniera meno accentuata, in altri corsi d'acqua recenti (Fosso Galeria e Fosso Magliana), dove si attesta intorno a profondità di -25 m s.l.m. nelle porzioni centrali delle valli.

*sedimentary Crescenza Creek formation (FCZ) (FUNICIELLO & GIORDANO, 2008, PAROTTO, 2008, DI SALVO et alii, 2012, MARRA & FLORINDO, 2014).*

*In the southwestern area (Cecchignola), the TSBA deepens up to 50 m ca. b.s.l. in the Cecchignola graben (MARRA & FLORINDO, 2014), oriented WNW-ESE. In the area of transition from volcanic environment to deltaic environment, along the left bank of Malafede Creek, the TSBA rises up to 25 m ca. a.s.l., with NW-SE direction along a topographic high. Here, The TSBA ridge marked the hydrogeological basin of Castelporziano (BUCCI & GRILLINI, 2001), diverting groundwater flow to the North, toward Malafede Creek and Tiber River, and to the South, toward the Tyrrhenian sea. In particular, toward the coast, the top of MVA complex deepens up to of about 40 m b.s.l..*

*Another important process affecting the trend of the TSBA is represented by the incision of late Pleistocene rivers valleys during the last glacial age (Würm phase); the TSBA is incised by the Tiber alluvial valley, reaching depths of 50 m b.s.l. in the central portions of the city (DI SALVO et alii, 2012). The same incision occurred, even if less pronounced, also by means of tributary streams (Galeria and Magliana creeks), where the top of MVA deepens up to 25 m b.s.l. in the central portion of the valleys.*

#### BIBLIOGRAFIA - REFERENCES

- BUCCI M. & GRILLINI M. (2001) - *Studi geologici, geomorfologici ed idrogeologici nella tenuta Presidenziale di Castelporziano (Roma). Elaborazione ed interpretazione dei dati piezometrici rilevati, dal 1995 al 2001, tramite una rete di pozzi di controllo appositamente realizzata nella Tenuta.*
- CAPELLI G., MAZZA R. & TAVIANI S. (2008) - *Acque sotterranee nella città di Roma. La geologia di Roma. Dal centro storico alla periferia II.* Mem. Descr. Carta Geol. d'It., **80**, Roma, pp. 221-245.
- DI SALVO C., DI LUZIO E., MANCINI M., MOSCATELLI M., CAPELLI G., CAVINATO G.P. & MAZZA R. (2012) - *GIS-based hydrostratigraphic modeling of the city or Rome (Italy): analysis of the geometric relationships between a buried aquifer in the Tiber Valley and the confining hydrostratigraphic complexes.* Hydrogeology Journal **20**, pp.1549-1567.
- FUNICIELLO R. & PAROTTO M. (1994) - *Aggiornamento delle caratteristiche geologiche di superficie e profonde del Lazio settentrionale.* ENEL-VDAG-URM Rapporto finale.
- FUNICIELLO R., GIULIANI R., MARRA F., & SALVI S. (1994) - *The influence of volcanism and tectonics on Plio-Quaternary regional landforms in the Southeastern Sabatinian area (Central Italy).* Mem. Descr. Carta Geol. d'It., **49**, pp. 323-332.
- FUNICIELLO R. & GIORDANO G. (2008) - *La nuova carta geologica di Roma: litostratigrafia e organizzazione stratigrafica.* La geologia di Roma. Dal centro storico alla periferia II. Mem. Descr. Carta Geol. d'It., **80**, Roma, pp. 39-85.
- MARRA F. & ROSA C. (1995) - *Stratigrafia e assetto geologico dell'area romana.* Mem. Descr. Carta Geol. d'It., **50**, I.P.Z.S., pp. 31-112.
- MARRA F. & FLORINDO F. (2014) - *The subsurface geology of Rome: Sedimentary processes, sea-level changes and astronomical forcing.* Earth - Science Reviews, **136**, pp. 1-20.
- MILLI S., D'AMBROGI C., BELLOTTI P., CALDERONI G., CARBONI M.G., CELANT A., DI BELLA L., DI RITA F., FREZZA V., MAGRI D., PICCHEZZI R.M. & RICCI V. (2013) - *The transition from wave-dominated estuary to wave-dominated delta: The Late Quaternary stratigraphic architecture of Tiber River deltaic succession (Italy).* Sedimentary Geology **284-285**, pp. 159-180.
- PAROTTO M. (2008) - *Evoluzione paleogeografica dell'area romana: una breve sintesi.* La geologia di Roma. Dal centro storico alla periferia II. Mem. Descr. Carta Geol. d'It., **80**, Roma, pp. 25-38.

## L'acquifero costiero del litorale romano *The roman coastal aquifer*

LUCIA MASTRORILLO, ROBERTO MAZZA

L'acquifero costiero del litorale romano, costituito dai sedimenti prevalentemente sabbiosi della porzione meridionale del Delta del Tevere, ospita una falda di acqua dolce con locali situazioni di salinizzazione. L'assetto idrogeologico, di seguito sinteticamente descritto, è il risultato della rapida evoluzione morfologica e sedimentaria della foce del Fiume Tevere su cui si sono sovrapposti gli effetti di un ininterrotto uso del territorio dal periodo pre-romano ad oggi.

L'evoluzione morfologica e sedimentaria dell'area, che ha portato l'originaria foce ad estuario del Pleistocene a modificarsi nell'Olocene in un delta (BELLOTTI *et alii*, 2007; 2011; MILLI *et alii*, 2013) ha determinato una marcata eterogeneità litologica che caratterizza le successioni sedimentarie dell'acquifero. La piana costiera costituisce, infatti, la zona di contatto fra i depositi di transizione infralitorali pleistocenici e i depositi costieri e alluvionali olocenici. Nel settore interno sono presenti successioni stratigrafiche costituite da irregolari alternanze di sabbie siltose, argille e ghiaie, depositate nel corso dei diversi cicli trasgressivi pleistocenici. Il settore esterno è caratterizzato da successioni oloceniche, composte prevalentemente da sabbie costiere ed eoliche, in continuità laterale con i depositi alluvionali prevalentemente siltosi e sabbioso argillosi del Tevere (FUNICIELLO *et alii*, 2008). Il contatto eteropico fra i depositi pleistocenici e quelli olocenici è sepolto dalla coltre dei sedimenti palustri (torba, silt e argilla) portati in affioramento dalle opere di bonifica. Le perforazioni più profonde hanno raggiunto, al disotto delle sabbie, un basamento argilloso continuo (cfr. "Superficie di Tetto dell'Aquicludale Basale", in Carta), che si approfondisce progressivamente verso mare, fino a profondità di almeno 50 m.

La diffusa eterogeneità litologica, complicata da frequenti eteropie di facies sia laterali che verticali, comporta un'oggettiva difficoltà di classificazione delle formazioni in ulteriori complessi idrogeologici, a cui associare un univoco ruolo idraulico. I complessi in affioramento contribuiscono alla ricarica della falda in misura proporzionale alla loro locale permeabilità. La ricarica della falda, esclusivamente di tipo zenitale, avviene infatti in corrispondenza degli affioramenti delle facies prevalentemente sabbiose, caratterizzate da maggiore infiltrazione efficace. La circolazione idrica sotterranea è sostenuta alla base dall'aquicludale costituito dal basamento a bassa permeabilità delle argille plio-pleistoceniche che presenterebbe un alto morfo-strutturale fra Acilia e Pomezia allungato in direzione NW-SE (CAPELLI *et alii*, 2007). Nel settore interno della piana la circolazione idrica sotterranea è attiva preferenzialmente negli orizzonti ghiaiosi delle formazioni pleistoceniche in condizioni di falda semi-confinata. La continuità idraulica di tale circolazione è garantita dalla diffusione e continuità spaziale dei livelli ghiaiosi intercalati alle litologie sabbiose e limose. Nella fascia costiera la circolazione idrica travasa nei depositi sabbiosi olocenici e assume le caratteristiche di una falda libera.

La superficie piezometrica presenta uno spartiacque sotterraneo nel settore più interno, con andamento pressoché parallelo alla costa, che assume localmente il ruolo di limite di potenziale dinamico dividendo il prevalente deflusso sotterraneo diretto a SO verso mare, dalla porzione di acquifero che contribuisce all'alimentazione della sorgente lineare del Fosso di Malafede. Lo spartiacque sotterraneo, con quote di saturazione massime comprese fra 50 e 30 m s.l.m., segue l'andamento sepolto dell'alto morfo-strutturale Acilia-Pomezia, che culmina verso SE a quote superiori a 30 m s.l.m., prossime a quelle di saturazione dell'acquifero.

La progressiva diminuzione del gradiente idraulico verso mare (da 1% a circa 0,3%) oltre ad essere giustificata dal raggiungimento del li-

*The roman coastal aquifer is a freshwater aquifer made mostly of sandy sediments deriving from the Tiber River Delta, with some isolated spots of saltwater contamination. The current hydrogeological setting is a result both of the Tiber Delta morphological and sedimentary evolution and of the continuous land-use development since the roman age.*

*With reference to the morphology and sedimentary evolution of the area, previous studies have shown that in the Pleistocene the river formed an estuary and it evolved in a delta only during Holocene times (BELLOTTI *et alii*, 2007; 2011; MILLI *et alii*, 2013) resulting in a highly heterogeneous sedimentary succession. The coastal plain coincides with the contact between the Pleistocene transitional midlittoral deposits and the Holocene coastal and alluvial deposits. In the inner sector of the plain, the stratigraphic composition is made of silty sands, clay and gravel deposited during several Pleistocene transgressive cycles. The outer part is characterized by Holocene deposits, mainly coastal and eolic sands, passing laterally to the alluvial sediments of the Tiber River (FUNICIELLO *et alii*, 2008). The eteropic contact between Pleistocene and Holocene deposits is buried under swamp deposits (peat, silt and clay) and it was exposed by the remediation activities. The deepest boreholes drilled in the area passed through the sands and reached the shale bedrock (see "Top Surface of the Basal Aquicludale", on the Map) at an approximate depth of 50 m and deepening towards the sea.*

*Due to the fact that the area is highly heterogeneous with regards to lithology and because of the presence of lateral and vertical eteropies, it is difficult to classify the formations in more specific hydrogeological complexes with a univocal hydraulic role. The outcropping lithologies contribute to the groundwater recharge as a function of their permeability. Groundwater recharge derives exclusively from precipitation and is ensured by the presence of permeable sands with a higher net infiltration. Groundwater flow is limited at the base by the low permeability aquicludale (Plio-pleistocene clay bedrock) which shows a NW-SE horst structure in the area of Acilia and Pomezia (CAPELLI *et alii*, 2007). In the inner part of the plain, groundwater flows preferentially in the gravel layers of the Pleistocene deposits in semi-confined conditions. The hydraulic connection of the groundwater is ensured by the spatial continuity of the gravel horizons interbedded with the sand and silty layers. In the coastal area the groundwater transfers to the Holocene sands and the aquifer becomes unconfined.*

*A groundwater shed in the inner area, parallel to the coastline, separates the flow that is directed towards the sea (South-west direction) from the aquifer portion that outflows in the Malafede Trench therefore assuming the role of dynamic potential boundary. The groundwater shed shows a saturation level between 50 and 30 m a.s.l. and follows the direction of the buried Acilia-Pomezia horst which shows an elevation similar to the aquifer saturation in the southeastern portion (30 m a.s.l.).*

*The progressive lowering of the hydraulic gradient towards the sea (from 1% to approximately 0.3%) is a consequence both of the baseflow level approach but it could also be related to the changes of the groundwater hydrodynamic conditions from an semi-confined to an unconfined state.*

*In the northwestern part of the area the groundwater level frequently changes its pattern, showing relatively low areas (-3 m a.s.l.) at the lower parts of the plain where the swamps used to be located (CAPELLI *et alii*, 2007). The depression of the groundwater table is kept by the current pumping activities for the Ostia Reclamation in order to keep the groundwater level below the ground level and to avoid the formation of swamps. In the reclaimed area the river flows in artificial canals which are usually located above the groundwater level, therefore in this portion of the territory the aquifer is probably fed by the river.*

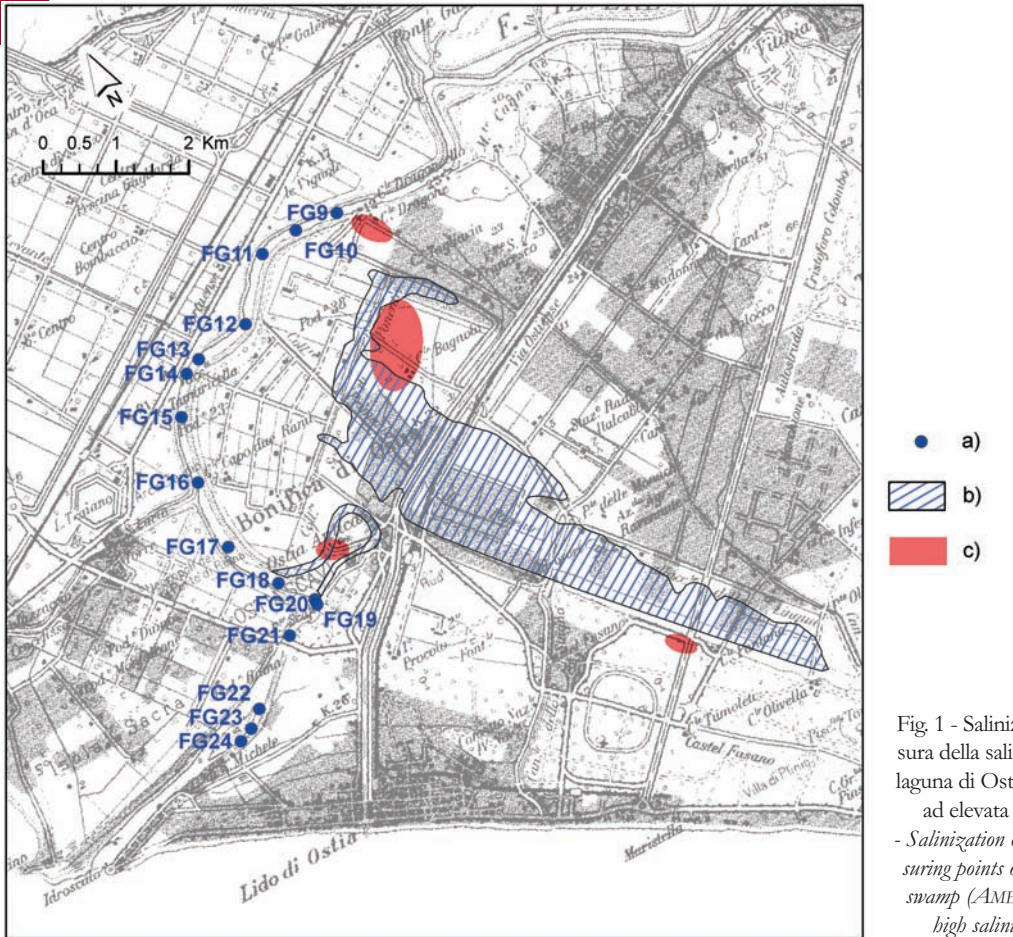


Fig. 1 - Salinizzazione delle acque di falda a) punti di misura della salinità nelle acque del fiume Tevere; b) paleo-laguna di Ostia (AMENDUNI, 1884); c) settori di acquifero ad elevata salinità (MASTRORILLO *et alii*, in stampa).  
- *Salinization of the groundwater a) groundwater salinity measuring points of the Tiber River; b) location of the old Ostia swamp (AMENDUNI, 1884); c) location of the groundwater high salinity areas (MASTRORILLO *et alii*, in press).*

vello di base della circolazione idrica, potrebbe essere messa in relazione anche con il mutamento delle condizioni idrodinamiche che da falda semi-imprigionata del settore interno passano a falda libera in prossimità della costa.

Nel settore nord occidentale, la piezometria assume un andamento più articolato con locali abbassamenti al di sotto del livello del mare (-3 m s.l.m.), in corrispondenza dei settori depressi della piana costiera, dove erano localizzate le aree paludose oggi bonificate (CAPPELLI *et alii*, 2007). Le depressioni piezometriche sono indotte dall'attuale pompaggio delle idrovore della Bonifica di Ostia, la cui funzione è proprio quella di mantenere il locale livello di falda al di sotto del piano campagna, per evitare l'impaludamento delle aree depresse. In questo settore è possibile ipotizzare un'alimentazione della falda da parte delle acque del Tevere che localmente scorrono all'interno di argini artificiali a quote superiori al livello di falda.

Alcune tappe dell'evoluzione geomorfologica e geologica del Delta del Tevere, per la cui trattazione esaustiva si rimanda alla letteratura scientifica (AMOROSI & MILLI, 2001; BELLOTTI *et alii*, 2007, 2011; MILLI *et alii*, 2013), hanno avuto un ruolo determinante nella strutturazione dell'attuale assetto idrogeologico.

Negli ultimi 3000 anni è stata stimata una progradazione totale del delta di circa 7 km, con velocità di avanzamento variabili nel tempo da 1 a 9 m/anno, corrispondenti ad una velocità media di 2,3 m/anno (BERSANI & MORETTI, 2008). L'ampliamento della terra emersa ha comportato un avanzamento della falda di acqua dolce verso il mare, con il conseguente innalzamento della superficie piezometrica nella zona interna. Questo meccanismo ha avuto come conseguenza l'arretramento del cuneo salino, sottostante la falda di acqua dolce e il progressivo innalzamento della superficie piezometrica nelle zone interne, dove ha favorito la permanenza delle lagune di retroduna, tipiche degli ambienti costieri. All'alimentazione delle aree paludose oggi bonificate contribuivano, infatti, anche le acque di falda che emerge-

*The Tiber Delta morphological and geological evolution stages have played a primary role in the current hydrogeological setting of the area. More detailed information on this subject are available in the scientific literature (AMOROSI & MILLI, 2001; BELLOTTI *et alii*, 2007, 2011; MILLI *et alii*, 2013).*

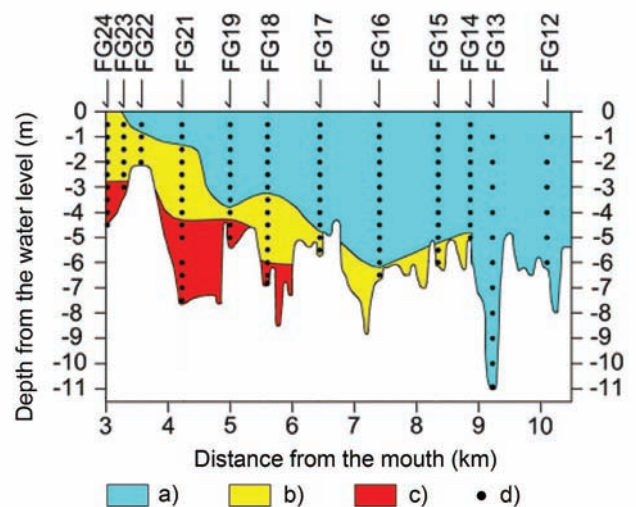


Fig. 2 - Profilo di salinità nell'alveo del Fiume Tevere (Fiumara Grande). a) Acqua dolce; b) acqua salmastra; c) acqua salata; d) posizione delle verticali di misura della salinità. L'ubicazione dei punti di misura lungo il corso del Tevere è riportata in Fig. 1 (MANCA *et alii*, 2014).  
- *Cross section of salinity distribution in Tiber River (Fiumara Grande branch). a) Freshwater; b) brackish water; c) seawater; d) vertical measurement locations. The location of the measurement points is indicated in Fig. 1 (MANCA *et alii*, 2014).*

vano nei punti in cui la superficie piezometrica veniva a trovarsi al di sopra della superficie topografica.

Alla dinamica idrogeologica descritta si sono sovrapposti gli effetti di una pressoché continua attività di produzione del sale (Saline di Ostia), perdurata dall'epoca pre-romana fino alla fine del '700 (ARNOLDUS HUYZENDVEL, 2014). Tale attività, concentrata soprattutto nella zona attualmente compresa fra Capo Due Rami e Ostia Antica (quartiere Saline), ha sicuramente avuto degli effetti sulla qualità delle acque della falda, che allo stato attuale non sono ancora del tutto esauriti.

Dal punto di vista qualitativo le acque di falda presentano valori di mineralizzazione molto variabili, compresi fra 0,35 e 7,5 g/L, in funzione soprattutto della concentrazione di cloruro di sodio. Viene, quindi, confermata l'origine "marina" della contaminazione, in linea con le caratteristiche chimico fisiche note per gli acquiferi costieri. La distribuzione spaziale della mineralizzazione presenta, però, alcune anomalie: le acque maggiormente saline non si rilevano in prossimità della costa, dove ci si aspetterebbero i primi effetti dell'intrusione salina, ma in punti più interni (Fig. 1). La causa della salinizzazione della falda nelle aree prossime alla sponda del Tevere (3,1 g/L) potrebbe essere ricercata negli scambi idrici falda-fiume. Nell'alveo del Tevere (Fiumara Grande), infatti, è stata rilevata una risalita delle acque marine, al disotto di quelle dolci, fino a circa 8 km dalla foce (Fig. 2) (MANCA *et alii*, 2014). Inoltre la quota di scorrimento del fiume nel tratto Capo Due Rami - Foce è di poco superiore (0,50 m circa) al locale livello di falda. È lecito, quindi, ipotizzare un travaso sotterraneo di acqua salata del fiume nella falda di acqua dolce. Nella zona delle antiche saline e di Ostia Antica le acque sotterranee evidenziano processi di miscelazione fra acque dolci e salate, con mineralizzazioni fino a 3,8 g/L da mettere in relazione con gli effetti sulla falda subaffiorante di una ininterrotta produzione "industriale" del sale durata circa 2500 anni. Un'altra causa di salinizzazione delle acque dell'acquifero costiero potrebbe essere attribuita agli effetti della velocità di progradazione del Delta del Tevere. La progradazione del delta, infatti, comporta un ampliamento verso mare dell'acquifero con conseguente avanzamento della falda di acqua dolce, che satura un sistema precedentemente occupato da acqua marina. Se la sostituzione di acque di natura differenti evolve molto velocemente, è possibile che alcune "sacche" residue di acqua salata non vengano completamente sostituite dall'acqua dolce. L'origine della marcata salinizzazione (7,5 g/L) rilevata in un pozzo della Pineta di Castelfusano, profondo circa 30 m, potrebbe essere attribuita all'intercettazione di una lente di acqua marina intrappolata nei sedimenti costieri più profondi (MASTRORILLO *et alii*, in stampa).

*In the last 3000 years a total delta progradation of approximately 7 km has been estimated with a rate of accretion between 1 and 9 m/year and a mean velocity of approximately 2,3 m/year (BERSANI & MORETTI, 2008). The progradation created new land and caused a shift of freshwater towards the sea thus generating some combined effects, such as an increase in the groundwater table level in the inner area and a backstepping of the saltwater interface. In the inner part of the area the groundwater rose above the ground surface contributing to the feeding of the back-dune swamps which at present are completely drained.*

*In addition to the hydrogeological framework previously discussed, it should be pointed out that since pre-roman age and until '700 the area between Ostia Antica and Capo Due Rami was also affected by continuous salt production activities (Saline di Ostia) (ARNOLDUS-HUYZENDVEL, 2014) causing effects on water quality that are not yet fully understood.*

*From a qualitative point of view the groundwater shows variable values of mineralization as a function of the sodium chloride concentration, ranging from 0.35 and 7.5 g/L. Therefore, consistent with other coastal aquifer physical-chemical properties, the groundwater contamination can be considered of "marine" origin. Nevertheless the spatial distribution of the mineralization shows some anomalies: the water with higher salinity was found in the inner portion of the area (Fig.1) and not by the coastline where we would normally expect it to rise due to the saltwater intrusion effects. The salinization of the groundwater near the Tiber river bank (3.1 g/L) is possibly caused by river-groundwater flux exchange processes. This hypothesis is supported by previous studies which found that the seawater in the river Tiber (Fiumara Grande) had risen up to 8 km from the delta (Fig.2) (MANCA *et alii*, 2014). Moreover, the river elevation in the area comprised between Capo Due Rami and the Delta is very similar to the groundwater table elevation (approximately 0.50 m higher). Considering these elements, it is fair to assume that the saltwater contained in the river flows into the freshwater. In the area of Ostia Antica and of the ancient saline basins the groundwater shows signs of a mixing between freshwater and saltwater with values of mineralization up to 3.8 g/L. This phenomena is possibly due to a contamination of the emerging groundwater table with the salt production activity that lasted approximately 2500 years.*

*Another cause of salinization could be due to the delta velocity of progradation as it brings freshwater where it was previously occupied by seawater. When the accretion and therefore the water mixing is fast it could possibly leave residual saltwater accumulations. This explains the case of high groundwater salinity (7.5 g/L) found in a 30 m deep well in the Pineta di Castelfusano (MASTRORILLO *et alii*, in press).*

#### BIBLIOGRAFIA - REFERENCES

- AMENDUNI G. (1884) - *Sulle opere di bonificazione della plaga litoranea dell'Agro Romano che comprende le paludi e gli stagni di Ostia, Porto, Maccarese e delle terre vallive di Stracciacappa, Baccano, Pantano e Lago dei Tartari*. Relazione del progetto generale 15/7/1880, Ministero Lavori Pubblici.
- AMOROSI A. & MILLI S. (2001) - *Late Quaternary depositional architecture of Po and Tevere river deltas (Italy) and worldwide comparison with coeval deltaic succession*. *Sedimentary Geology*, **144**, pp. 357-375.
- ARNOLDUS-HUYZENDVELD A. (2014) - *Le saline tirreniche*. www.digiter.it
- BELLOTTI P., CALDERONI G., CARBONI M.G., DI BELLA L., TORTORA P., VALERI P. & ZERNITSKAYA V. (2007) - *Late Quaternary landscape evolution of the Tiber River delta plain (Central Italy): new evidence from pollen data, biostratigraphy and C-14 dating*. *Zeitschrift für Geomorphologie*, **51**, (4), pp. 505-534.
- BELLOTTI P., CALDERONI G., DI RITA F., D'OREFICE M., D'AMICO C., ESU D., MAGRI D., MARTINEZ M.P., TORTORA P. & VALERI P. (2011) - *The Tiber river delta plain (central Italy): Coastal evolution and implications for the ancient Ostia Roman settlement*. *Holocene*, **21**, (7), pp. 1105-1116.
- BERSANI P. & MORETTI D. (2008) - *Historical evolution of the coastline near the Tiber River mouth*. *L'acqua*, **5**, pp. 77-88.
- CAPELLI G., MAZZA R. & PAPICCIO C. (2007) - *Saline intrusion in the Tiber Delta. Geology, hydrology and hydrogeology of the coastal plain of the roman sector*. *Giornale di Geologia Applicata*, **5**, pp. 13-28.
- FUNICIELLO R., GIORDANO G. & MATTEI M. (2008) - *Carta Geologica del Comune di Roma 1:50000*. S.EL.CA, Firenze.
- MANCA F., CAPELLI G., LA VIGNA F., MAZZA R. & PASCARELLA A. (2014) - *Wind-induced salt-wedge intrusion in the Tiber river mouth (Rome-Central Italy)*. *Environmental Earth Sciences* January 2014. DOI: 10.1007/s12665-013-3024-5.
- MASTRORILLO L., MAZZA R. & TUCCIMEI P. (in press) - *Assetto idrogeologico e salinizzazione dell'acquifero costiero del litorale romano (Ostia)*. Roma Tevere Litorale - CROMA-Ecole Française de Rome.
- MILLI S., D'AMBROGI C., BELLOTTI P., CALDERONI G., CARBONI M.G., CELANT A., DI BELLA L., DI RITA F., FREZZ V., MAGRI D., PICCHEZZI R.M. & RICCI V. (2013) - *The transition from wave-dominated estuary to wave-dominated delta: The Late Quaternary stratigraphic architecture of Tiber River deltaic succession (Italy)*. *Sedimentary Geology* **284**, pp. 159-180.

## Caratteristiche chimico-fisiche delle acque sotterranee nel territorio di Roma Capitale *Physico-chemical features of groundwater in the area of Rome Municipality*

LUCA PIZZINO, DANIELE CINTI, GIANCARLO CIOTOLI, MONIA PROCESI, ALESSANDRA SCIARRA

Nel periodo 2014-2015 è stata condotta una campagna di misura delle caratteristiche chimico-fisiche sulle acque sotterranee del territorio di Roma Capitale (cfr. tabella in Carta “Rete di monitoraggio ufficiale delle acque sotterranee di Roma Capitale”). Sono stati campionati 101 pozzi, in cui sono stati misurati: temperatura della falda (92 siti), pH, conducibilità elettrica, alcalinità (espressa come contenuto di  $\text{CaCO}_3$ ) e calcolata la  $p\text{CO}_2$  (pressione parziale di  $\text{CO}_2$ ) tramite il programma Phreeqc, in 61 siti. A implementazione della banca dati esistente, sono stati considerati ulteriori 279 valori di temperatura della falda riportati da varie fonti bibliografiche (tesi di dottorato, tesi di laurea, pubblicazioni scientifiche, *data-set* di Università e di enti pubblici, ecc.).

Per le metodologie di campionamento e di calcolo della  $p\text{CO}_2$  si faccia riferimento a PIZZINO (2015).

### RISULTATI E DISCUSSIONE

La temperatura della falda varia tra 11.1 e 26.2°C, con un valore medio di 17.8°C. Le variazioni stagionali di temperatura sono in genere limitate (meno di 1°C tra inverno ed estate), come evidenziato da sensori in continuo installati di recente dall'INGV in 5 pozzi di acqua ubicati nel settore settentrionale e meridionale dell'area urbana di Roma.

La distribuzione dei valori (cfr. figura in Carta “Distribuzione delle temperature della falda regionale”, 371 misure) evidenzia la presenza di acque con temperature  $\geq 18^\circ\text{C}$ , fino a raggiungere e superare i 20°C. Esse circolano: i) in un ampio settore ubicato a nord di Roma (sia fuori che entro il Grande Raccordo Anulare, da ora in poi indicato come G.R.A.); ii) nel settore ovest e sud-ovest della capitale; iii) nel settore sud-est, verso i Colli Albani (campione P0704) e iv) in un'area ristretta nel settore più meridionale del territorio considerato. Acque con temperature  $\leq 18^\circ\text{C}$  sono presenti nel settore nord-occidentale, orientale (compresa l'area urbana di Roma lungo il fiume Aniene) e in quello prospiciente il Mar Tirreno.

Alcuni dei settori sopra riportati (essenzialmente i e iii) sono stati ri-

*In 2014-2015, a geochemical survey of the physico-chemical parameters of the groundwater was carried out at 101 sampling points (private and public wells) in the Rome (see table: “Official groundwater monitoring network of Rome Municipality” on the Map). The following parameters were measured: temperature (at 92 sites), pH, electrical conductivity (i.e. salinity), as well as alkalinity (expressed as  $\text{CaCO}_3$  content) at 61 sites. Moreover, partial pressure of  $\text{CO}_2$  ( $p\text{CO}_2$ ) was calculated by the Phreeqc code using as input data water temperature, pH and alkalinity. Further 279 groundwater temperature data obtained from different sources (University and public authority data-sets, Ph.D and degree thesis, scientific papers), have been included.*

*For sampling methods and  $p\text{CO}_2$  calculation refer to PIZZINO (2015).*

### RESULTS AND DISCUSSION

*Groundwater temperatures ranges between 11.1 and 26.2°C, with an average value of 17.8°C. A continuous temperature measurement network has been recently installed by INGV in 5 wells located in the urban area of Rome, with the aim of monitoring the aquifer temperatures. First results highlight little seasonal variations, approximately within  $\pm 1^\circ\text{C}$ .*

*The distribution of the temperature values (see figure on the Map: “Temperature distribution of regional aquifer”, 371 measurements) points out the presence of groundwater with  $T \geq 18^\circ\text{C}$ : i) in a wide sector north of Rome (both inside and outside the G.R.A., the highway named “the ring”); ii) in the western and south-western sectors of Rome; iii) in the south-eastern sector, close to the Alban Hills volcano (sample 0704), and iv) in a narrow area in the southernmost sector of the study area. Conversely, groundwater with temperature  $\leq 18^\circ\text{C}$  occur in the north-western, eastern sectors (including the urban area of Rome along the Aniene river) and in the coastal area close to the Tyrrhenian Sea.*

*Some of the above-reported sectors (mainly i and iii) were recognised by PIZZINO (2015) as affected by upraise of slightly warm geothermal deep fluids, while sectors where waters show lower temperature values are close to the cold meteoric recharge areas (Sabatini volcano and Lucretili M.ts),*

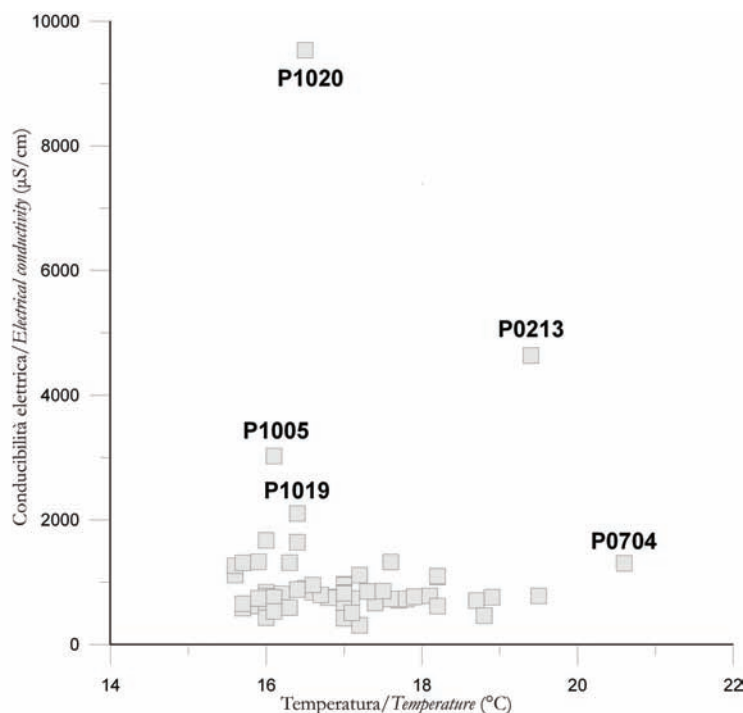


Fig. 1 - Temperatura vs. Conducibilità Elettrica nelle acque circolanti nel territorio di Roma Capitale (campagna 2014-2015, 61 misure).

*Temperature vs. Electrical Conductivity in the groundwater of the Rome. (2014-2015 survey, 61 measurements).*



conosciuti da PIZZINO (2015) come interessati da apporti di fluidi profondi debolmente termali di origine vulcanica, mentre le aree in cui circolano acque con temperature più basse sono molto vicine alle aree di ricarica meteorica fredda (Sabatini, M.ti Lucretili) o risentono dell'influenza dell'acqua marina essendo ubicate in prossimità della costa tirrenica.

La salinità delle acque campionate (espressa come conducibilità elettrica), che è il risultato dell'interazione tra l'acqua di origine meteorica che si infiltra nel terreno e un sistema a tre componenti che include le rocce (nell'area romana sia vulcaniche sia sedimentarie), i suoli e la fase gassosa presente nei pori del suolo, è generalmente compresa tra qualche centinaio e circa 1200-1300  $\mu\text{S}/\text{cm}$  (cfr. tabella in Carta "Rete di monitoraggio ufficiale delle acque sotterranee di Roma Capitale" e Fig. 1). Valori notevolmente superiori sono stati misurati lungo la costa tirrenica (campioni P1005, P1019 e soprattutto P1020) e a Roma nord (P0213). Per i primi, come già riportato, si possono ipotizzare fenomeni di miscelamento con acqua di mare o con lenti di acqua marina, fenomeno largamente riconosciuto negli acquiferi della zona costiera laziale (CAPELLI & MAZZA, 2008; SELLA *et alii*, 2014; CARAPEZZA *et alii*, 2015; MASTRORILLO & MAZZA, questo volume), mentre per il campione situato a Roma nord, considerando le sue caratteristiche chimiche e isotopiche, PIZZINO (2015) ha ipotizzato apporti di fluidi salini e termali provenienti dal basamento carbonatico profondo.

Alcuni settori dell'area investigata, come avviene di frequente nel versante tirrenico dell'Italia centrale (e.g. PIZZINO *et alii*, 2002; CINTI *et alii*, 2014) sono caratterizzati da elevati valori di  $\text{pCO}_2$  negli acquiferi. Il gas, di origine profonda (crosta e mantello) risale lungo le più importanti strutture tettoniche dell'area e si discioglie negli acquiferi più superficiali. L'analisi isotopica del carbonio, che mostra un arricchimento preferenziale in  $^{13}\text{C}$  e valori confrontabili con le manifestazioni gassose naturali presenti in altri settori dell'Italia centrale, è un valido supporto nella determinazione della sua origine profonda (e.g. PIZZINO, 2015).

Come risulta dall'analisi della tabella in Carta "Rete di monitoraggio ufficiale delle acque sotterranee di Roma Capitale" e dalla Fig. 2, le acque presentano una distribuzione di frequenza massima tra 0.1 e 0.2 bar, con una media pari a 0.16 bar, un valore doppio rispetto alle acque di sottosuolo mondiali (APPELO & POSTMA, 1996), evidenziando chiari processi di arricchimento in anidride carbonica. Nella Fig. 2 si distinguono tre gruppi di acque, caratterizzati da: i) bassi valori sia di  $\text{pCO}_2$  ( $\leq 0.15$  bar sia di conducibilità elettrica ( $\leq 600$   $\mu\text{S}/\text{cm}$ ), tipici di acque

or are located in the proximity of the Tyrrhenian shoreline where they could be affected by the cooling effect of seawater mixing (see after).

Saline content of the sampled waters (expressed as electrical conductivity) ranges between a few hundreds and around 1200-1300  $\mu\text{S}/\text{cm}$  (see table on the Map: "Official groundwater monitoring network of Rome Municipality" and Fig. 1). These high values could be the result of the interaction of infiltrating meteoric waters with rocks (volcanic and sedimentary), soil types and soil gases.

Higher salinity values were measured in groundwater circulating both along the Tyrrhenian coast (samples P1005, P1019 and, noticeably, in sample P1020) and in the northern sector of the urban area of Rome. For the first group, seawater mixing or interaction with residual saline water accumulations could be the possible explanations of their high saline content; this is a process widely recognized in the coastal sector of Latium (CAPELLI & MAZZA, 2008; SELLA *et alii* 2014; CARAPEZZA *et alii*, 2015; MASTRORILLO & MAZZA, this volume). Sample P0213 seems to be linked to saline and thermal fluids input originated in the deep carbonatic basement (PIZZINO, 2015).

Some sectors of the investigated areas, as largely recognized in the Tyrrhenian side of central Italy (e.g. PIZZINO *et alii*, 2002; CINTI *et alii*, 2014), have high  $\text{pCO}_2$  in groundwater. Carbon dioxide derives both from the mantle degassing and both from thermometamorphic processes in the deep carbonate basement and it is driven toward surface throughout faults and fracture networks, finally dissolving into the shallow aquifers. Carbon isotopic signature of  $\text{CO}_2$ , that shows a typical  $^{13}\text{C}$  enrichment, lies in a very narrow range (from -3 to +1.5  $\delta^{13}\text{C}$  ‰ vs PDB), emphasizing its deep (i.e. high temperature) origin.

The analysis of table on the Map: "Official groundwater monitoring network of Rome Municipality" and Fig. 2, highlights that frequency distribution of  $\text{pCO}_2$  in groundwater shows a maximum between 0.1 and 0.2 bar. The mean value is equal to 0.16 bar, doubled the value found in the world groundwater (APPELO & POSTMA, 1996), emphasizing the  $\text{CO}_2$  enrichment in the Roma Capitale district.

In Fig. 2 three groups of waters can be recognized: waters with low salinity ( $\leq 600$   $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) and  $\text{pCO}_2$  ( $\leq 0.15$  bar) values. These waters can be considered as immature and are typical of the early stage of interaction among infiltrating meteoric waters, rocks and soil. Generally, these waters dissolve a biogenic (i.e. shallow)  $\text{CO}_2$ , derived by the oxidation of organic matter (PIZZINO, 2015). Waters with moderate (samples P1003, P1004, P1005, P1007, P1008, P1010, between 1000 and 3000  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) to

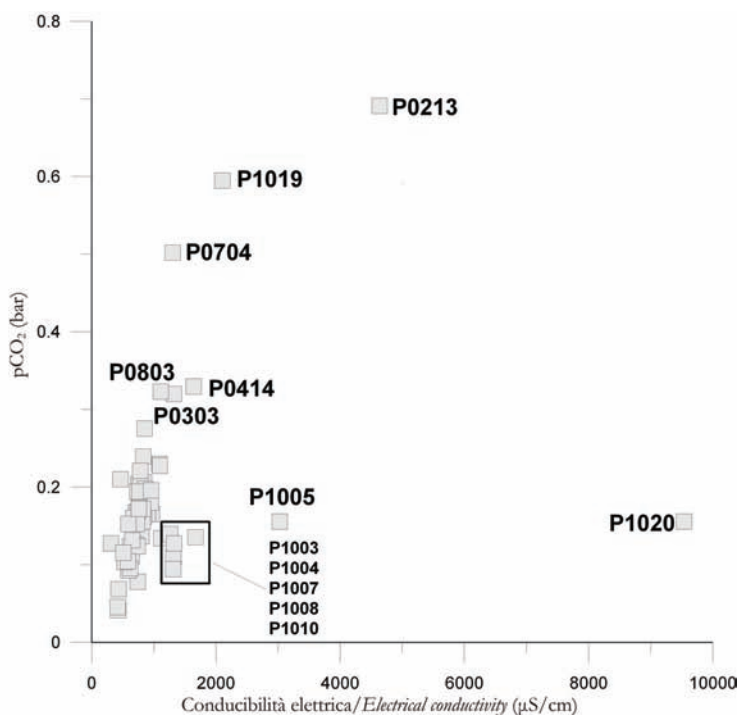


Fig. 2 - Conducibilità Elettrica. vs.  $\text{pCO}_2$  nelle acque circolanti nel territorio di Roma Capitale (campagna 2014-2015, 61 misure).

-Electrical Conductivity vs.  $\text{pCO}_2$  in the groundwater of the Rome (2014-2015 survey, 61 measurements).

immature caratterizzate da una limitata interazione con le rocce e i suoli con cui entrano in contatto durante il loro circuito idrologico. Queste acque disciolgono CO<sub>2</sub> di origine superficiale, dovuta prevalentemente all'ossidazione della sostanza organica contenuta nei suoli (PIZZINO, 2015); ii) bassi valori di pCO<sub>2</sub> ( $\leq 0.2$  bar) e alta conduttanza elettrica, fino a 10000 mS/cm, caratteristici delle acque circolanti nell'area costiera (campioni P1003, P1004, P1005, P1007, P1008, P1010, P1020). Queste acque hanno bassi valori di alcalinità e la CO<sub>2</sub> ha una prevalente origine superficiale (SELLA *et alii*, 2014); iii) valori di pCO<sub>2</sub> progressivamente più elevati ( $> 0.3$  bar) cui corrisponde un incremento nel contenuto salino ( $> 1000$   $\mu$ S/cm). Tale corrispondenza si osserva soprattutto nelle acque circolanti in rocce vulcaniche (campioni P0303, P0414, P0704, P0803), in cui la presenza di CO<sub>2</sub> in soluzione favorisce l'attacco chimico nei confronti dei minerali silicatici causandone la graduale dissoluzione (e.g. GAMBARDILLA *et alii*, 2005). Tali acque disciolgono anidride carbonica di origine profonda, come si rinviene anche in altri settori dell'Italia centrale, come ad esempio il margine peri-tirrenico (e.g. CINTI *et alii*, 2014; CARAPEZZA *et alii*, 2015).

Appartengono a quest'ultimo gruppo le acque che circolano nel settore orientale, sud-orientale (verso l'apparato vulcanico dei Colli Albani) e settentrionale dell'area urbana di Roma (verso l'apparato vulcanico dei Sabatini), dove PIZZINO (2015) ha evidenziato la presenza di acque ricche in CO<sub>2</sub> provenienti dal basamento carbonatico profondo. Localmente, lungo la costa tirrenica vi sono risalite di CO<sub>2</sub> profonda (e.g. SELLA *et alii*, 2014; CARAPEZZA *et alii*, 2015); il campione P1019 con pH 5.90 ed elevata alcalinità è rappresentativo proprio di questo tipo di circolazione.

#### QUALITÀ DELLE ACQUE

I pochi dati chimici e chimico-fisici a disposizione non permettono di definire un quadro approfondito sulla qualità delle acque di sottosuolo di Roma Capitale, disciplinata dal D.lgs. n. 27/2002 (che si riferisce alle acque destinate al consumo umano). I valori di pH e salinità sono generalmente entro i parametri indicati dalla legge, ma localmente possono raggiungere valori tali da compromettere la qualità delle acque, limitandone fortemente il loro utilizzo sia per uso umano sia per scopi agricoli. PIZZINO (2015), tramite uno studio estensivo della falda nell'area urbana di Roma, ha evidenziato che le maggiori criticità sono presenti, limitatamente ad alcuni elementi minori e in traccia (principalmente arsenico e fluoro), nelle acque che interagiscono con le vulcaniti (settore orientale, sud-orientale e settentrionale di Roma), mentre le acque del sedimentario (settore occidentale di Roma e quello compreso tra il G.R.A. e la costa) possono presentare contenuti in cloro, sodio, solfato e, localmente, in ferro, manganese e nitrati ben oltre i limiti previsti dalla normativa vigente.

#### BIBLIOGRAFIA - REFERENCES

- APPELO C.A.J. & POSTMA D. (1996) - *Geochemistry, Groundwaters and Pollution*. A.A. Balkema., Rotterdam, 536 pp.
- CAPELLI G. & MAZZA R. (2008) - *Intrusione salina nel delta del Fiume Tevere. Evoluzione del fenomeno nei primi anni del terzo millennio (in italiano)*. Mem. Descr. Carta Geol. d'It., **80**, pp. 237-260.
- CARAPEZZA M.L., TARCHINI L., GRANIERI D., MARTELLI M., GATTUSO A., PAGLIUCA N., RANALDI M., RICCI T., GRASSA F., RIZZO A., PIZZINO L. & SCIARRA A. (2015) - *Gas blowout from shallow boreholes near Fiumicino International Airport (Rome): gas origin and hazard assessment*. *Chemical Geology* **407-408**, pp. 54-65.
- CINTI D., TASSI F., PROCESI M., BONINI M., CAPECCHIACCI F., VOLTATTORNI N., VASELLI O. & QUATTROCCHI F. (2014) - *Fluid Geochemistry and Geothermometry in the Unexploited Geothermal Field of The Vicano-Cimino Volcanic District (Central Italy)*. *Chemical Geology* **371**, pp. 96-114.
- GAMBARDILLA B., MARINI L. & BANESCHI I. (2005) - *Dissolved potassium in the shallow groundwaters circulating in the volcanic rocks of central-southern Italy*. *Applied Geochemistry* **20**, pp. 875-897.
- PIZZINO L. (2015) - *Fluid geochemistry and Natural Hazard in the urban area of Rome (in Italian)*. Tesi di dottorato, Università degli Studi Roma 3, 152 pp.
- PIZZINO L., GALLI G., MANCINI C., QUATTROCCHI F. & SCARLATO P. (2002) - *Natural Gas Hazard (CO<sub>2</sub>, <sup>222</sup>Rn) within a quiescent volcanic region and its relations with tectonics: the case of the Ciampino-Marino area, Alban Hills Volcano, Italy*. *Natural Hazards* **27** (3), pp. 257-287.
- SELLA P., BILLI A., MAZZINI I., DE FILIPPIS L., PIZZINO L., SCIARRA A. & QUATTROCCHI F. (2014) - *A new-emerged (August 2013) artificially-triggered fumarole near the Fiumicino airport, Rome, Italy*. *J. Volcan. Geotherm. Res.* **280**, pp. 53-66.

high (sample P1020, 9536 mS/cm) salinity and a low pCO<sub>2</sub> ( $\leq 0.2$  bar) with a main biogenic origin (SELLA *et alii*, 2014). These waters were found along the Tyrrhenian coast. Waters with progressively higher saline ( $> 1000$   $\mu$ S/cm) and carbon dioxide contents (pCO<sub>2</sub>  $> 0.3$  bar), mainly interacting with volcanic rocks (samples P0303, P0414, P0704, P0803). The high content of dissolved CO<sub>2</sub> promotes the leaching of silicate minerals in an acidic environment (i.e. pH  $< 6.5$ ), thus favoring their dissolution (e.g. GAMBARDILLA *et alii*, 2005). CO<sub>2</sub> has a dominant deep origin, as found in other sectors of central Italy (e.g. CINTI *et alii*, 2014; CARAPEZZA *et alii*, 2015).

In this last group, waters circulating in the eastern, south-eastern (toward the Alban Hills volcano) and northern sectors of the urban area of Rome (toward the Sabatini volcano), occur. In these areas, the presence of CO<sub>2</sub>-rich waters rising up from the deep carbonatic basement was highlighted (PIZZINO, 2015). Sample P1019, having pH = 5.90 and high alkalinity, can be considered as representative of the groundwater circulation along the Tyrrhenian coast, where deep-derived CO<sub>2</sub> dissolves into aquifers (e.g. SELLA *et alii*, 2014; CARAPEZZA *et alii*, 2015).

#### WATER QUALITY

The few chemical parameters measured in groundwater are not enough to provide a wide scenario about water quality, as required by the Italian regulations in force (legislative decree n. 27/2002, referred to drinking waters).

Yet, some characteristics of groundwater can be drawn: pH and salinity are generally within the acceptable threshold values, even if they can be locally exceeded to heavily limit their use both for agricultural and drinkable purposes. This is the case of the waters interacting with volcanic rocks (acidic pH, generally  $< 6.5$ ) in the eastern, south-eastern and northern sectors of Rome, or both affected by saltwater contamination (Tyrrhenian coast) and contribution of saline waters issuing from the deep geothermal systems hosted in the carbonate basements (northern sector of Rome). Moderate and high saline waters can contain naturally occurring contaminants; they are present, for instance, in the volcanic rocks cropping out in the investigated area. As groundwater flows through them, potential toxic elements such as arsenic and fluorine (e.g. PIZZINO, 2015) are dissolved and may later be found in high concentrations in the groundwater, sometimes exceeding the regulation limits. Furthermore, waters interacting with sedimentary formations cropping out in the western sector of the Rome (between G.R.A. and the Tyrrhenian coast) can be enriched in chlorine, sodium, sulphate, iron, manganese and nitrate (PIZZINO, 2015), sometimes reaching concentrations above the regulation limits.

## Dati termo-pluviometrici ed idrometrici *Thermo-pluviometric and hydrometric data*

GIOVANNI CONTE, ROSSELLA MARIA GAFÀ, FRANCESCO LA VIGNA, LUCIO MARTARELLI, ANDREA DEL BON

Per descrivere i due principali parametri climatici, ovvero temperatura e precipitazioni atmosferiche, i quali influenzano i processi idrologici ed idrogeologici dell'area di Roma Capitale, in questa nota sono presentati in forma tabellare i dati delle stazioni (cfr. codice identificativo in Carta) termo-pluviometriche disponibili (Tabb. 1 e 2), di altezza idrometrica di alcuni corsi d'acqua principali (Tab. 3), una elaborazione spaziale dei valori di precipitazione e temperatura (Fig.1) e una coppia di diagrammi di sintesi dei dati termo-pluviometrici (Figg. 2 e 3).

L'arco temporale considerato copre il ventennio 1994-2014. Le interpolazioni spaziali riportate in Fig. 1 sono state ottenute applicando il metodo dell'interpolazione pesata sull'inverso della distanza (IDW) per le temperature medie annue, mentre è stato adottato il metodo Kernel per la media delle precipitazioni cumulate annue. Per tali elaborazioni sono stati utilizzati anche i dati di alcune stazioni ricadenti in un intorno significativo circostante il territorio di Roma Capitale.

Le isoterme (linee rosse in Fig. 1) sono state ottenute a partire dai valori medi annui registrati in 16 stazioni di misura, delle quali 8 appartenenti ad aree densamente urbanizzate, dove i valori di temperatura sono compresi tra 14 e 17°C.

Le isoiete (linee azzurre in Fig. 1) sono state ricavate elaborando i dati di 44 stazioni di misura, delle quali 26 ubicate in area urbana. Il valore medio annuo delle precipitazioni calcolato sulle 26 stazioni urbane è pari a circa 760 mm. Si noti come in pochi chilometri, dai primi contrafforti della catena appenninica (Morricone e Tivoli) proseguendo verso l'interno (Licenza), i valori delle isoiete crescano sino a raggiungere i 1400 mm/anno.

Per una rappresentazione sintetica delle statistiche riguardanti le

*In order to describe the two main climate parameters, i.e. temperature and rainfall, which affect the hydrological and hydrogeological processes of the Rome Municipality area, data of several thermo-pluviometric (see id number on the Map) gauging stations (Tabs. 1 and 2), hydrometric stage of some main streams (Tab. 3), a sketch map representing a spatial interpolation of rainfall and temperature values (Fig.1) and a pair of diagrams summarizing the thermo-pluviometric data (Figs. 2 and 3) are reported in this section.*

*The considered time-series cover the period 1994-2014. The spatial interpolations shown in Fig. 1 were obtained by applying in a GIS system the method of the Inverse Distance Weighting (IDW) for the Annual Average Temperatures, while the Kernel method has been used for the Average Annual Precipitation. For these calculations, data of gauging stations suitably identified around the Rome Municipality area were also processed.*

*The isotherms (red lines in Fig. 1) were obtained as the outcome of the annual average values recorded in 16 gauging stations, 8 of which are located in densely urbanized areas, where the temperature values range between 14 and 17 °C.*

*The isohyets (blue lines in Fig. 1) has been drawn from the data of 44 gauging stations, 26 of which are located in urban areas. The annual average cumulated rainfall calculated on 26 urban stations is approximately 760 mm. It is important to observe that in a few kilometers, from the first foothills of the Apennines (Morricone and Tivoli) continuing inward (Licenza), the values of isohyets grow up to reach 1400 mm/year.*

*For a summary of statistics on temperature and precipitation for the territory of Rome, box and whiskers plots have been chosen in order*

Tab. 1 - Medie delle cumulate mensili delle precipitazioni (mm) registrate nelle stazioni pluviometriche ubicate nel territorio di Roma Capitale. Il codice progressivo corrisponde alla stazione ubicata in carta.

- Average monthly and annual cumulated rainfall (mm) recorded in rain gauge stations located in Rome Municipality. Codes correspond to the sketched stations on the map.

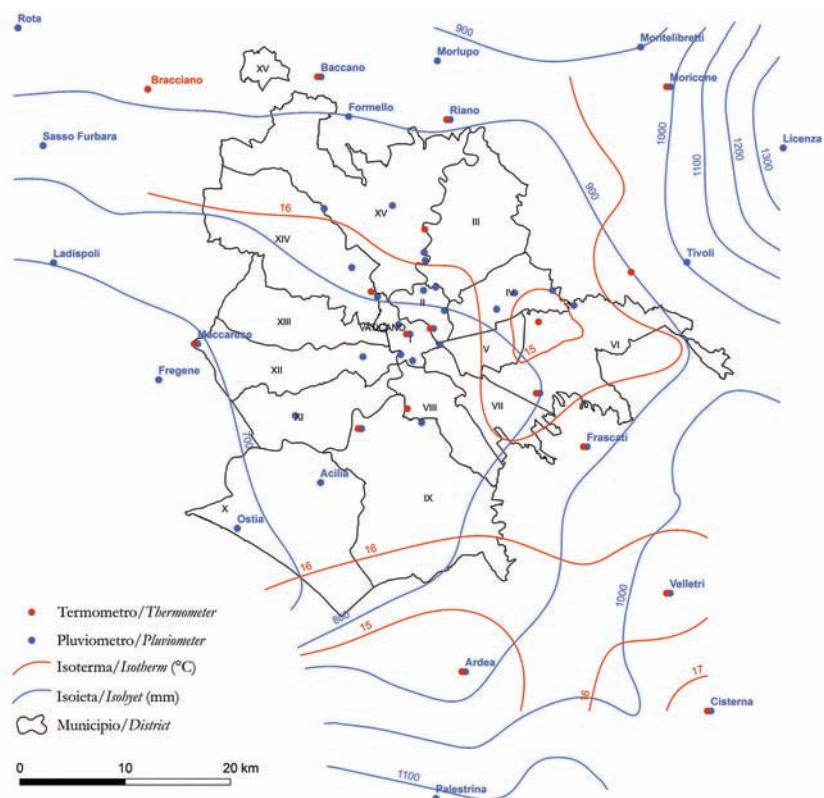
Codice/Code	Stazione/Station	Periodo funzionamento/Working time	Gennaio/January	Febbraio/February	Martzo/March	Aprile/April	Maggio/May	Giugno/June	Luglio/July	Agosto/August	Settembre/September	Ottobre/October	Novembre/November	Dicembre/December	Media delle cumulate annuali/Annual average
1	Acilia	1994-2014	74,3	62,1	54,6	61,4	42,4	22,8	14,9	20,9	67,6	98,4	135,0	105,8	758,1
2	Acqua Acetosa	1994-2014	78,7	70,2	61,9	73,5	56,3	30,0	20,2	30,7	69,6	83,4	121,1	98,6	794,1
3	Aniene a Lunghezza	1992-2014	66,8	71,0	56,2	74,9	62,7	33,9	32,1	37,2	64,9	75,8	111,1	96,3	784,8
4	Aniene a Ponte Salario	1992-2014	76,3	71,4	60,5	66,4	59,7	30,2	27,5	29,2	68,8	79,5	123,4	97,7	799,7
7	Aurelio	1994-2014	76,9	66,5	55,8	69,8	53,9	28,1	22,4	31,5	67,7	85,3	133,5	101,2	782,7
8	Capannacce	1995-2014	77,6	78,3	70,9	83,6	65,5	35,9	39,7	36,3	78,3	80,1	127,7	108,1	880,8
10	Cassiodoro	1994-2014	75,0	66,9	55,4	71,8	54,9	26,5	18,6	31,2	64,9	79,2	123,0	98,2	771,5
11	Collegio Romano	1984-2014	70,8	64,5	52,3	63,0	54,2	26,2	19,7	29,7	63,3	80,0	120,1	93,6	737,5
12	Eleniano	1995-2014	70,8	68,2	58,4	69,0	52,1	30,0	25,0	29,1	64,3	85,9	123,9	98,6	769,7
13	Eur	1995/2014	74,0	66,3	54,1	61,8	57,5	28,1	20,6	31,6	60,3	82,6	120,5	99,3	763,4
15	Flaminio	1994/2014	74,5	67,2	64,7	66,4	50,3	32,9	34,1	23,0	72,1	83,8	123,3	95,6	786,8
17	Fosso di Pratolungo	1998/2014	73,2	72,8	63,4	70,5	62,9	35,0	31,4	27,1	69,6	81,9	117,6	89,5	794,8
19	La Storta	1995-2014	78,8	73,1	66,5	71,6	53,6	29,3	26,3	35,9	76,5	97,1	128,3	104,9	845,9
22	Monte Mario	1994/2014	80,7	70,5	60,9	73,8	54,8	26,3	28,6	34,2	68,1	83,8	119,4	98,2	798,1
23	Ostia	1995/2014	69,8	57,4	48,1	51,5	30,6	19,0	9,7	14,5	66,1	87,4	113,5	87,5	658,2
24	Ostiense	1994/2014	73,7	73,9	55,1	70,9	55,0	32,1	21,4	28,7	63,9	89,9	117,3	98,9	784,4
25	Ottavia	1994/2014	82,0	69,7	61,8	74,0	48,4	27,1	33,3	33,3	73,4	92,9	130,5	105,2	833,6
26	Ponte Galeria	1994/2014	76,4	61,7	53,0	67,5	44,8	24,8	18,3	25,0	70,3	92,2	138,9	102,3	794,1
29	Roma Est	1994/2014	70,7	67,0	56,9	70,5	54,6	29,0	29,7	28,1	66,3	84,3	125,0	93,5	789,9
32	Roma Macao	1984/2014	74,1	70,9	59,4	70,3	60,4	28,5	23,3	26,8	65,9	83,6	122,9	98,3	784,3
34	Roma Nord	1995/2014	77,3	73,5	67,2	74,2	55,8	24,3	25,9	29,7	68,7	76,7	131,8	105,8	822,7
35	Roma Sud	1994/2014	74,1	69,2	56,7	64,1	48,7	26,9	19,5	26,4	70,6	95,7	127,9	103,3	796,8
39	Tevere a Fidene	2005/2014	92,0	77,2	69,2	50,2	62,2	27,4	29,9	21,9	72,1	77,1	141,2	93,3	791,5
41	Tevere a Porta Portese	1994/2014	73,2	70,9	60,2	72,1	48,8	28,8	21,1	21,5	61,7	75,2	126,0	96,4	794,5
45	Tor Vergata	1994/2014	68,4	62,9	56,5	63,1	58,4	30,9	22,2	24,7	67,7	85,3	115,9	93,4	761,5
46	Via Marchi	1995/2014	71,9	77,6	64,9	74,9	56,7	38,2	32,1	24,2	76,4	92,1	130,7	105,3	841,9

Tab. 2 - Medie mensili delle temperature minime, medie e massime (°C) registrate nelle stazioni termometriche ubicate nel territorio di Roma Capitale. Il codice progressivo corrisponde alla stazione ubicata in carta.

- Minimum, average and maximum monthly temperature values (°C) recorded in thermometric stations located in Rome Municipality. Codes correspond to the sketched stations on the map.

Codice/Code		11	21	30	31	32	33	35	37	38	45
Stazione Station		Collegio Romano	Massimina	Roma EU	Roma Flaminio	Roma Macao	Roma Monte Mario	Roma Sud	Salone	Tevere a Castel Giubileo	Roma Tor Vergata
funzionamento/Working		1994-2014	1996-2014	1994-2014	2002-2014	1994-2014	1995-2014	1996-2014	1995-2014	1994-2014	1996-2014
Gennaio January	Min.	0,6	-1,0	-1,3	-1,0	0,5	-0,4	-1,0	-6,6	-2,4	-4,0
	Media	9,2	9,0	8,1	8,0	9,0	8,0	8,5	6,4	7,5	6,8
	Max.	17,8	17,9	17,4	16,9	17,8	16,1	17,3	17,2	18,2	16,8
Febbraio February	Min.	1,1	-0,8	-1,1	-1,3	1,0	0,2	-0,9	-7,5	-2,1	-3,8
	Media	9,7	9,1	8,8	8,6	9,5	8,6	9,0	6,3	7,9	7,4
	Max.	19,0	19,1	18,7	19,3	18,6	17,6	18,3	18,9	18,1	17,9
Marzo March	Min.	3,2	1,2	1,1	1,4	2,9	2,2	1,0	-4,7	0,2	-1,7
	Media	12,6	11,7	11,9	12,0	12,3	11,6	11,5	9,5	10,9	10,3
	Max.	22,5	22,1	22,4	22,3	22,0	21,3	21,3	22,0	21,4	21,9
Aprile April	Min.	5,8	4,4	4,5	5,1	6,0	5,2	3,5	-1,9	2,8	1,8
	Media	15,5	14,4	14,8	15,1	15,2	14,4	14,2	12,7	13,9	13,7
	Max.	26,2	25,5	26,1	25,3	25,9	25,0	24,2	26,0	25,6	25,9
Maggio May	Min.	11,1	8,7	9,1	9,1	10,9	9,9	7,7	1,8	7,6	6,9
	Media	20,1	18,8	19,0	19,0	19,7	19,0	18,3	16,7	18,4	18,0
	Max.	31,3	29,9	29,9	29,9	30,7	29,9	29,4	30,5	29,8	30,0
Giugno June	Min.	14,2	12,0	12,5	13,0	14,1	12,7	11,8	7,1	11,5	10,1
	Media	24,1	22,8	22,8	23,5	23,8	22,9	22,3	21,3	22,3	22,1
	Max.	35,3	34,1	33,3	34,1	34,7	33,2	33,5	34,8	33,7	34,7
Luglio July	Min.	17,8	14,9	15,0	16,4	17,5	16,1	14,8	9,4	14,3	13,3
	Media	26,7	24,9	25,0	25,6	26,3	25,2	24,4	23,5	24,7	24,5
	Max.	37,0	35,5	35,3	35,4	36,4	35,3	34,9	36,4	35,6	36,8
Agosto August	Min.	17,8	15,9	16,4	16,8	17,6	16,8	14,5	10,1	15,1	13,3
	Media	26,9	25,6	25,6	25,9	26,6	25,6	24,7	23,7	25,1	24,5
	Max.	37,4	36,3	36,2	35,6	36,7	35,4	35,3	36,8	36,2	36,6
Settembre September	Min.	13,4	11,3	11,5	11,8	13,2	12,1	11,6	6,2	10,1	9,1
	Media	22,5	21,4	21,5	21,9	22,3	21,0	21,3	20,0	20,8	20,3
	Max.	32,6	31,7	31,7	32,4	32,0	30,9	30,8	33,3	31,3	31,8
Ottobre October	Min.	8,8	7,6	6,9	6,8	8,7	7,2	7,5	-0,1	5,1	4,5
	Media	18,6	17,8	17,8	17,3	18,4	17,2	17,5	15,5	16,8	16,3
	Max.	28,4	27,3	27,9	27,1	28,0	26,7	26,7	27,8	27,5	26,8
Novembre November	Min.	3,7	2,3	2,3	2,6	3,6	2,6	3,2	-2,8	0,9	-0,8
	Media	13,8	13,4	13,1	12,5	13,7	12,5	13,4	11,1	11,9	11,8
	Max.	23,4	23,2	23,2	21,9	23,3	21,5	22,6	22,8	22,2	22,6
Dicembre December	Min.	0,8	-1,6	-1,4	-1,6	0,7	-0,8	-0,8	-7,1	-2,4	-4,0
	Media	10,0	9,3	9,1	8,6	9,8	8,6	9,2	6,9	7,7	7,8
	Max.	18,4	18,7	18,2	17,6	18,2	16,3	18,0	18,0	17,5	18,0
Media ANNUA Annual average	Min.	8,1	5,9	5,5	5,6	8,1	6,7	6,4	-0,4	5,6	3,6
	Media	17,4	16,0	15,7	15,1	17,2	15,9	16,5	13,7	16,3	15,2
	Max.	27,4	26,2	25,9	24,9	27,0	25,5	26,3	26,1	27,1	26,5

Fig. 1 - Isotherme delle temperature medie annuali e isoiete delle medie delle precipitazioni cumulate annuali. Periodo di riferimento: 1994-2014.  
- Isotherms of yearly average temperature and isohyets of average yearly cumulated rain. Reference period: 1994-2014.



Tab. 3 - Medie delle altezze idrometriche minime, medie e massime (m) registrate nelle stazioni idrometriche collocate nel territorio di Roma Capitale. Il codice progressivo corrisponde alla stazione ubicata in carta.

- Minimum, average and maximum river/stream levels (m) recorded in hydrometric stations located in Rome Municipality. Codes correspond to the sketched stations on the map.

Codice/Code		38	43	42	41	40	16	20	17	3	4	5	27
Stazione Station		Tevere a Castel Giubileo	Tevere a Villa Spada	Tevere a Ripetta	Tevere a Porta Portese	Tevere a Mezzocamino	Fosso Cremera a Labaro	Marana di Prima Porta	Fosso di Pratolungo	Aniene a Lunghezza	Aniene a Ponte Mammolo	Aniene a Ponte Salario	Rio Galeria
funzionamento/ Working		2001-2014	1994-2014	1994-2014	2002-2014	1994-2014	1996-2014	1994-2014	1998-2014	1990-2014	1992-2014	1994-2014	1994-2014
Gennaio January	Min.	30,48	14,69	5,53	2,36	-0,11	13,07	16,57	20,79	24,53	13,38	7,81	2,72
	Media	30,91	15,98	6,72	3,64	0,81	13,26	16,77	21,00	25,33	14,07	8,73	2,98
	Max.	31,32	18,02	8,43	6,13	2,34	13,94	17,25	21,51	26,50	15,45	10,35	3,57
Febbraio February	Min.	30,81	14,76	5,59	2,55	-0,09	13,08	16,50	20,79	24,54	13,40	7,86	2,73
	Media	31,08	16,01	6,74	3,95	0,85	13,27	16,77	21,04	25,39	14,11	8,73	2,98
	Max.	31,38	17,74	8,23	6,31	2,17	13,78	17,21	21,70	26,64	15,39	10,11	3,44
Marzo March	Min.	30,79	14,70	5,55	1,93	-0,09	13,07	16,51	20,78	24,57	13,44	7,86	2,76
	Media	31,06	15,76	6,56	3,65	0,64	13,19	16,77	20,98	25,23	14,05	8,52	2,92
	Max.	31,33	17,27	7,87	6,11	1,79	13,56	17,14	21,56	26,40	15,44	9,73	3,31
Aprile April	Min.	30,83	14,65	5,49	1,69	-0,15	13,06	16,56	20,77	24,61	13,43	7,85	2,81
	Media	31,07	15,69	6,51	3,08	0,56	13,21	16,81	20,99	25,23	14,02	8,52	2,95
	Max.	31,31	16,94	7,64	4,79	1,41	13,48	17,16	21,51	26,08	15,12	9,46	3,17
Maggio May	Min.	30,81	14,59	5,41	1,89	-0,12	13,04	16,48	20,74	24,57	13,42	7,80	2,83
	Media	31,09	15,46	6,28	2,89	0,49	13,19	16,87	20,95	25,18	13,98	8,33	2,94
	Max.	31,30	16,66	7,40	4,46	1,31	13,51	17,41	21,52	26,15	15,35	9,27	3,17
Giugno June	Min.	30,85	14,51	5,34	1,75	-0,14	13,01	16,46	20,70	24,42	13,23	7,70	2,81
	Media	31,10	15,18	6,07	2,53	0,30	13,10	16,73	20,85	24,86	13,69	8,09	2,88
	Max.	31,29	16,10	7,01	3,56	0,86	13,27	17,06	21,30	25,44	14,57	8,71	3,04
Luglio July	Min.	30,83	14,47	5,31	1,75	-0,19	13,00	16,49	20,68	24,37	13,13	7,66	2,78
	Media	31,10	14,96	5,90	2,32	0,15	13,14	16,82	20,87	24,76	13,69	8,02	2,85
	Max.	31,30	15,72	6,76	3,46	0,57	13,43	17,16	21,28	25,18	14,59	8,59	3,06
Agosto August	Min.	30,83	14,47	5,07	1,71	-0,18	13,00	16,56	20,69	24,31	13,04	7,62	2,78
	Media	31,07	14,90	5,80	2,12	0,11	13,19	16,77	20,86	24,69	13,46	7,90	2,92
	Max.	31,29	15,53	6,55	2,96	0,49	13,52	17,11	21,16	25,11	14,17	8,34	3,15
Settembre September	Min.	30,81	14,45	5,32	1,70	-0,16	13,00	16,52	20,72	24,35	13,10	7,63	2,80
	Media	31,05	14,98	5,90	2,21	0,21	13,18	16,78	20,95	24,75	13,52	7,98	2,97
	Max.	31,29	15,72	6,68	3,20	0,65	13,58	17,39	21,61	25,31	14,85	8,72	3,33
Ottobre October	Min.	30,78	14,45	5,26	1,73	-0,15	13,01	16,51	20,75	24,36	13,09	7,63	2,82
	Media	31,05	15,18	6,02	2,30	0,35	13,24	16,78	20,96	24,91	13,62	8,12	3,05
	Max.	31,30	16,30	7,13	3,62	1,06	13,88	17,51	21,61	25,57	15,15	9,07	3,70
Novembre November	Min.	30,76	14,46	5,26	1,74	-0,15	13,04	16,52	20,77	24,37	13,09	7,65	2,77
	Media	31,06	15,60	6,40	2,81	0,65	13,31	16,84	20,99	25,08	13,82	8,47	3,17
	Max.	31,41	17,76	8,25	5,79	2,19	14,14	17,38	21,68	26,26	15,56	10,20	3,87
Dicembre December	Min.	30,75	14,39	5,49	2,13	-0,07	13,08	16,54	20,82	24,48	13,33	7,78	2,73
	Media	31,05	16,27	6,86	3,57	0,99	13,47	16,85	21,09	25,50	14,21	8,90	3,12
	Max.	31,33	18,68	8,81	6,48	2,73	14,52	17,52	21,76	26,98	15,96	10,87	3,98
Media ANNUA/Annual average	Min.	30,78	14,55	5,38	1,91	-0,13	13,03	16,52	20,75	24,46	13,25	7,74	2,78
	Media	31,06	15,49	6,31	2,92	0,51	13,22	16,80	20,96	25,08	13,85	8,36	2,98
	Max.	35,12	16,85	7,56	4,74	1,46	13,72	17,27	21,52	25,98	15,11	9,45	3,38

temperature e le precipitazioni relative al territorio di Roma si è optato per i diagrammi a “scatola e baffi” (box and whiskers plot) per tenere conto della variabilità a scala mensile di questi due parametri.

Nelle Figg. 2 e 3, i quartili 25 e 75 per cento dei dataset a disposizione sono rappresentati come gli estremi superiore ed inferiore dei rettangoli. La mediana è mostrata con una linea orizzontale all'interno di tali rettangoli. I “baffi” sono tracciati a partire dalla parte superiore delle “scatole” (“limite interno superiore”) fino al più grande valore dei dati inferiore a 1,5 volte le altezze dei rettangoli, analogamente si opera al di sotto delle scatole. I valori al di fuori dei limiti interni sono mostrati come circonferenze, valori oltre 3 volte l'altezza dei rettangoli sono indicati con asterischi.

Riguardo le temperature (Fig. 2), i mesi estivi sono caratterizzati da livelli termici relativamente stabili, con valori mediani (molto simili a quelli medi - cfr. istogrammi in Carta) più elevati ad agosto (circa 25 °C), mentre in inverno, il mese più rigido è gennaio, caratterizzato da un valore mediano di temperatura intorno a 8 °C.

Le precipitazioni (Fig. 3) sono concentrate nel periodo autunnale. I valori mediani più elevati si registrano in novembre (circa 115 mm/mese). Nei mesi invernali e primaverili, i valori oscillano intorno ai 65-70 mm/mese. I valori di precipitazione minimi si registrano a luglio (circa 26 mm/mese). I valori medi mensili di precipitazione risultano in genere più elevati di quelli mediani di circa 10 mm (cfr. istogrammi in Carta).

I dati di altezza di pioggia, temperatura e altezza idrometrica a scala mensile sono stati forniti dall'Agenzia Regionale di Protezione Civile - Centro Funzionale della Regione.

to account the variability of these two parameters at monthly scale.

In Figs. 2 and 3, the 25-75 percent quartiles are drawn using a box. The median is shown with a horizontal line inside the box. The whiskers are drawn from the top of the box up to the largest data point less than 1.5 times the box height from the box (the “upper inner fence”), and similarly below the box. Values outside the inner fences are shown as circles, values further than 3 times the box height from the box (the “outer fences”) are shown as stars.

With respect to temperatures (Fig. 2), the summer months are characterized by thermal values relatively stable, with the highest median values (very close to average values - see histograms on the Map) in August (about 25 °C), whereas in winter, the coldest month is January, characterized by an median temperature value of about 8 °C.

The rainfall (Fig. 3) is concentrated in the autumn. The highest median values are recorded in November (about 115 mm/month). During winter and spring, median values hover around 65-70 mm/month. The minimum rainfall values are recorded in July (about 10-20 mm/month). Rainfall monthly mean values are generally higher than those median of about 10 mm (see histograms on the Map).

The rainfall, air temperature and hydrometric monthly data are provided by the Regional Civil Protection Agency - Functional Centre.

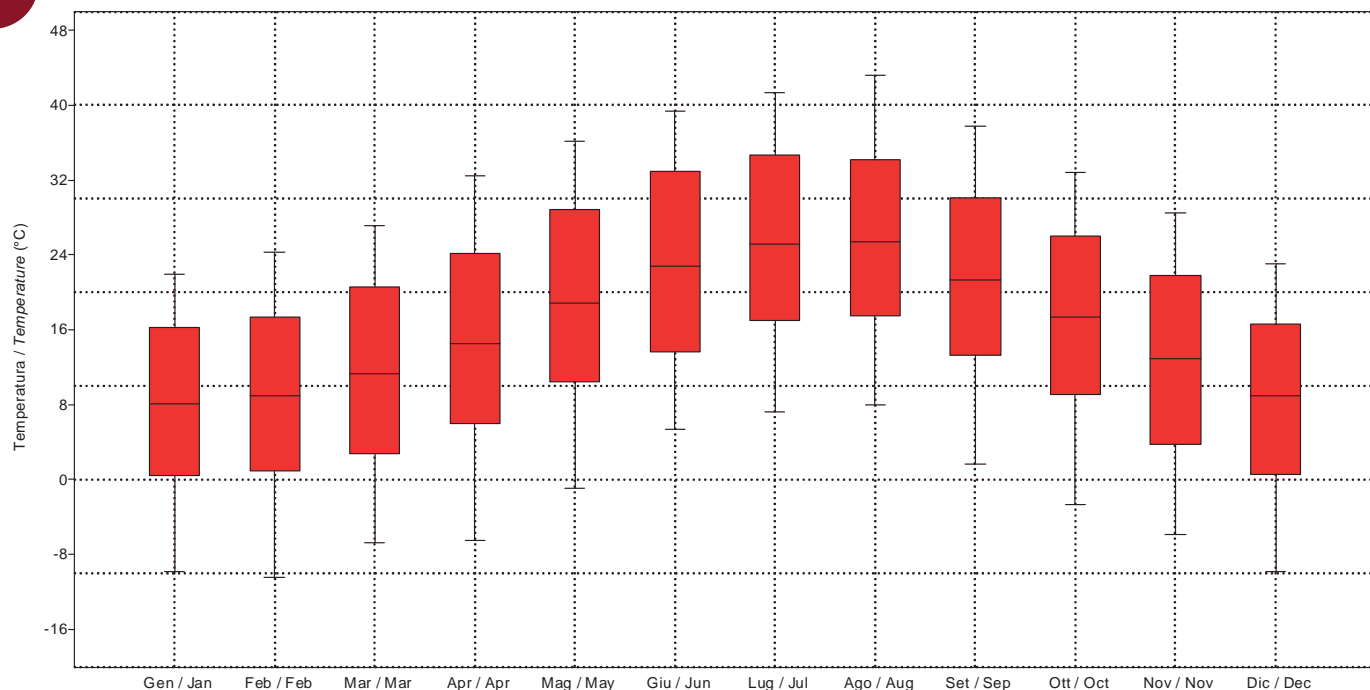


Fig. 2 - Diagramma a “scatola e baffi” delle temperature mensili. Dataset: temperature mensili delle 10 stazioni termometriche situate nel territorio di Roma Capitale. Periodo di riferimento: 1994-2014. I quartili 25 e 75 per cento sono rappresentati come gli estremi superiore ed inferiore dei rettangoli. La mediana è mostrata con una linea orizzontale all'interno dei rettangoli. I “baffi” sono tracciati a partire dalla parte superiore delle scatole (“limite interno superiore”) fino al più grande valore dei dati inferiore a 1,5 volte l'altezza dei rettangoli, analogamente al di sotto dei rettangoli.

- *Box and Whisker Plot of monthly temperatures. Dataset: temperature values of the 10 thermometric stations located in the territory of Rome Municipality. Reference period: 1994-2014. The 25-75 percent quartiles are drawn using a box. The median is shown with a horizontal line inside the box. The whiskers are drawn from the top of the box up to the largest data point less than 1.5 times the box height from the box (the “upper inner fence”), and similarly below the box.*

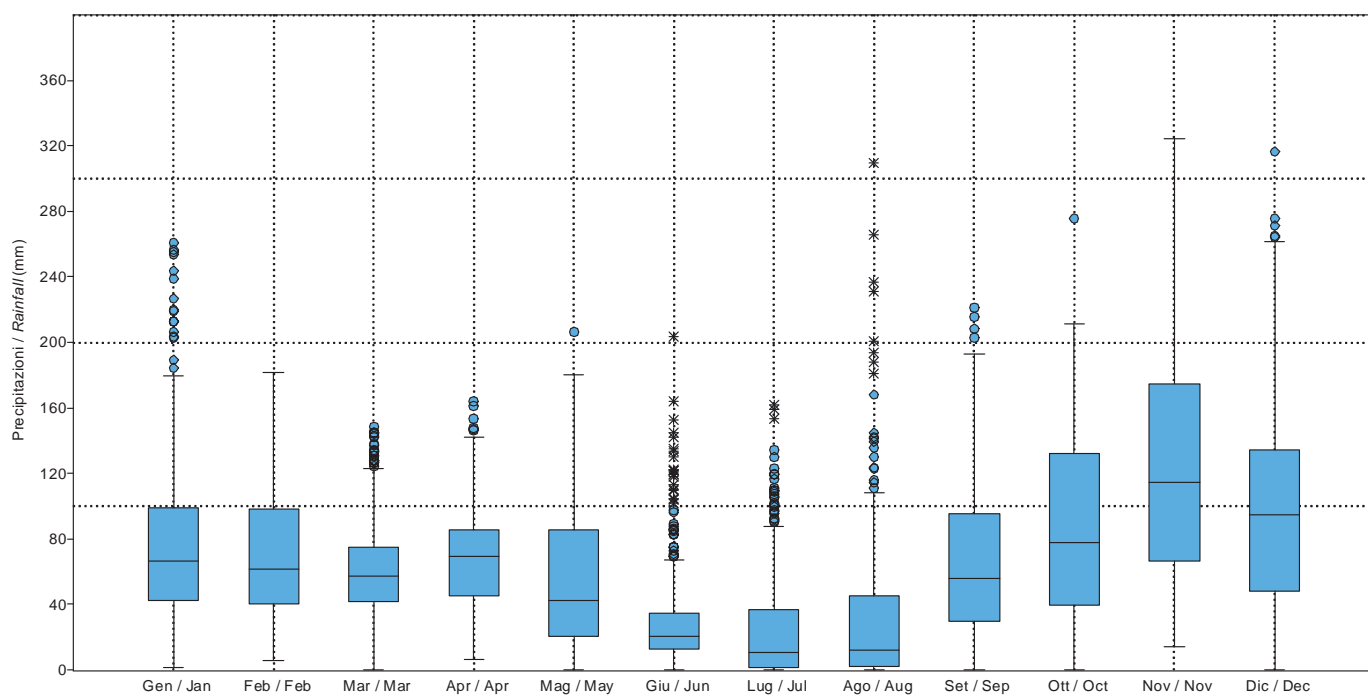


Fig. 3 - Diagramma a “scatola e baffi” delle precipitazioni mensili. Dataset: precipitazioni mensili delle 26 stazioni termometriche situate nel territorio di Roma Capitale. Periodo di riferimento: 1994-2014. I quartili 25 e 75 per cento sono rappresentati come gli estremi superiore ed inferiore dei rettangoli. La mediana è mostrata con una linea orizzontale all'interno dei rettangoli. I “baffi” sono tracciati a partire dalla parte superiore delle scatole (“limite interno superiore”) fino al più grande valore dei dati inferiore a 1,5 volte l'altezza dei rettangoli, analogamente al di sotto dei rettangoli. I valori al di fuori dei limiti interni sono mostrati come circonferenze, valori oltre 3 volte le altezze dei rettangoli sono indicati con asterischi.

- *Box and Whisker Plot of monthly rainfall. Dataset: rainfall values of the 26 rainfall gauge stations located in the territory of Rome Municipality. Reference period: 1994-2014. The 25-75 percent quartiles are drawn using a box. The median is shown with a horizontal line inside the box. The whiskers are drawn from the top of the box up to the largest data point less than 1.5 times the box height from the box (the “upper inner fence”), and similarly below the box. Values outside the inner fences are shown as circles, values further than 3 times the box height from the box (the “outer fences”) are shown as stars.*

## Pericolosità da allagamento nella città di Roma *Flood hazard in the city of Rome*

CRISTINA DI SALVO, MARCO MANCINI, GIANCARLO CIOTOLI, FRANCESCO STIGLIANO

Il processo di urbanizzazione comporta in generale un aumento del rischio idraulico, poiché causa una modifica del ciclo idrologico naturale (Fig. 1); infatti, l'impermeabilizzazione delle superfici originarie e il tombamento dei fossi in collettori artificiali riducono drasticamente l'evapotraspirazione vegetale, lo scambio tra acque superficiali e sotterranee e quindi l'infiltrazione, oltre a diminuire i tempi di deflusso superficiale (*runoff*) e peggiorare la qualità delle acque. Questi fattori determinano, in caso di eventi meteorici molto intensi, il sovraccarico della rete di smaltimento delle acque, che in alcuni casi non riesce ad assolvere alla sua funzione. Le aree urbane sono inoltre particolarmente vulnerabili a causa dell'alta densità abitativa e dell'alto valore esposto, legato alla presenza di edifici pubblici di primaria importanza tra cui scuole e ospedali, attività commerciali, e la presenza di beni culturali ed archeologici. L'alta vulnerabilità implica un'ingente potenziale danno economico e perdita di vite umane ogni qualvolta si verifica un evento pluviometrico intenso che provoca allagamenti.

La città di Roma rappresenta un'area particolarmente soggetta a pericolosità idrauliche di diversa tipologia. Negli ultimi 10 anni infatti si sono verificati almeno 40 eventi meteorologici che hanno provocato ingenti danni, blocco della circolazione stradale, e in alcuni casi la perdita di vite umane (DI SALVO *et alii*, 2014 in press). La stima dei danni per ogni singolo evento arriva a superare mediamente il milione di euro. I danni relativi agli allagamenti del 20 ottobre 2011 ammontano a 2 milioni di euro (CNA Roma, 2015).

La pericolosità da allagamento a cui è esposta la città di Roma può essere dovuta a tre cause principali: esondazione fluviale, innalzamento del livello di falda al di sopra del piano campagna, allagamenti da piogge intense. La pericolosità da esondazione fluviale ("river flooding"), interessa le valli dei principali corsi d'acqua come il Tevere e L'Aniene (caso 1 in Fig. 2); essa è stato oggetto di numerosi studi e modellazioni numeriche (CALENDA *et alii*, 97; NATALE & SAVI, 2007). Tale pericolosità è definita dalle fasce di rischio idraulico riportate nel Piano Stral-

*The urban development, generally, causes an increase of hydraulic risk, due to the modification of the natural hydrological cycle (Fig. 1). Moreover, the sealing of natural surfaces and the underground channeling of the natural drainage network into pipes or sewer abruptly reduce the evapotranspiration from plants, the water exchange between surface and underground water and, thus, the infiltration. These factors contribute to strongly reduce the times of surface water runoff and to deteriorate water quality. Furthermore, in the case of very intense rainfall, these factors determine the overwhelming of sewer network, which cannot drain excess water anymore. Urban areas are also particularly vulnerable because of the high population density and the high goods exposure, due to the presence of primary public buildings (i.e., schools and hospitals), commercial activities, as well as the presence of cultural and archeological heritages. This high vulnerability implies potential high economic and human lives losses in the case of floodings caused by heavy rainfall events.*

*The city of Rome represents an area particularly susceptible to different types of hydraulic hazard. In the last 10 years 40 heavy rainfall events caused huge damages, the block of traffic circulation and in some cases the loss of human lives (DI SALVO *et alii*, 2014 in press). The estimation of damages caused by every single event reaches about 1 million euros. The damages related to the floodings of 20<sup>th</sup> October 2011 reached about 2 millions euros (CNA Roma, 2015).*

*The hydrogeological hazard affecting the city of Rome is mainly due to: river flooding, groundwater flooding and pluvial flooding.*

*River flooding occurs along the valleys of Tiber and Aniene rivers (case 1, Fig. 2), and it is the subject of many studies and numerical modelling (CALENDA *et alii*, 1997; NATALE & SAVI, 2007). On the other hand, the coastal areas (i.e., Ostia, Casal Palocco and Acilia, case 2 in Fig. 2), close to or below the sea level and where groundwater level is controlled by draining pumps, are often affected by "groundwater flooding". This type of flooding is caused by intense rainfall and/or by the rising of the hydrometric level of the local stream network, which, in turn, determine a*

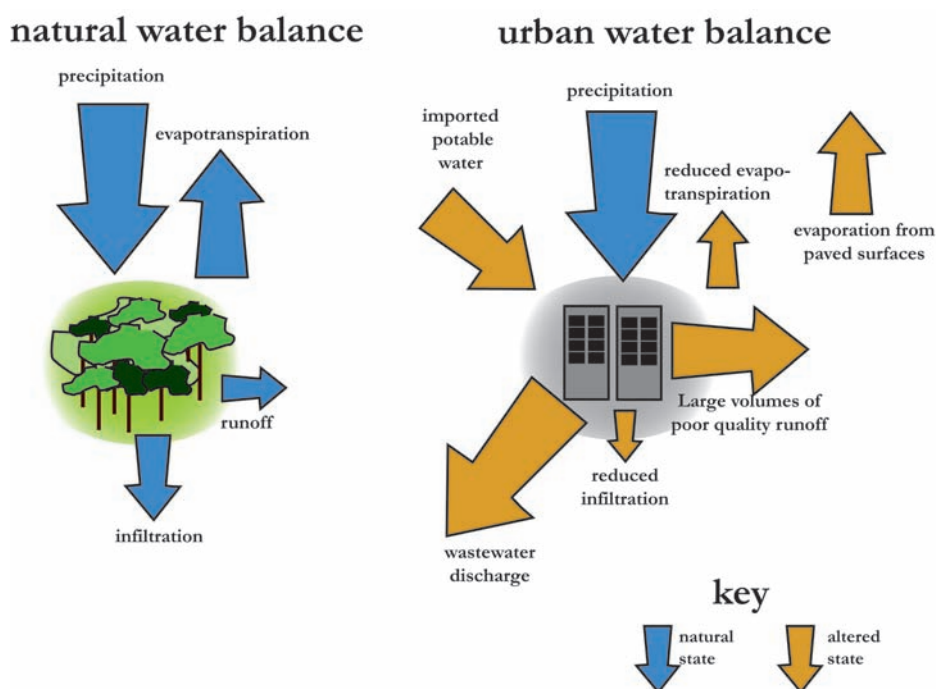


Fig. 1 - Bilancio idrologico prima e dopo lo sviluppo dell'urbanizzazione.  
- Water balance before and after urban development (Healy Waterways, 2014, modified).

cio di Assetto Idrogeologico (Autorità di Bacino del Fiume Tevere, 2006). Le zone costiere (come Ostia, Casal Palocco e Acilia, caso 2 in Fig 2), caratterizzate da quote topografiche prossime o al di sotto del livello del mare e il cui livello di falda è controllato dagli impianti idrovori, sono spesso soggette al fenomeno conosciuto come “groundwater flooding”. Questo tipo di allagamento è dovuto a piogge intense e/o all’innalzamento del livello idrometrico dei fossi, che causano un aumento del livello di falda, non compensato dal pompaggio degli impianti di bonifica. Gli allagamenti per accumulo di acque provenienti da piogge intense (denominati spesso “pluvial floodings” oppure “pondings”) costituiscono un fenomeno finora poco studiato, sebbene rappresenti una problematica sempre più presente nelle aree urbane. Mentre il river flooding e il groundwater flooding sono dovuti a fattori strettamente idrologici, il pluvial flooding è una diretta conseguenza del processo di urbanizzazione, e si riscontra perciò nelle aree con alta densità di strutture e superfici antropiche. L’aumento della frequenza e dell’intensità delle precipitazioni dovuto ai cambiamenti climatici comporta che, a fronte di un trend di precipitazioni annue in diminuzione (MANGIANTI & LEONE, 2008), si registra un aumento degli eventi meteorici brevi (della durata di qualche ora) ma con intensità elevate. Inoltre, nelle aree urbane questi fenomeni sono amplificati a causa dell’effetto “isola di calore” (COLACINO & LAVAGNINI, 1982; ABBATE, 2003), ovvero dell’aumento di temperatura e di evaporazione dovuto all’assenza di vegetazione e alla presenza di ampie coperture antropiche (asfalto, edificato, etc). Dal momento che

rising of the water table, not compensated by draining pumps. The floodings due to the ponding of excess water from heavy rainfall (“pluvial floodings” or “pondings”), constitute a scarcely documented phenomenon, although the frequency of its occurrence is rapidly increasing in urban areas. Due to climate changes, an increase of the number of short (few hours long) and intense rainfall events contrasts a decreasing trend of annual mean precipitation (MANGIANTI & LEONE, 2008).

While river and groundwater floodings are caused by strictly hydrological factors, pluvial flooding is a direct consequence of the urban development, and thus it mainly affects areas with high density of anthropogenic structures and surfaces. Moreover, in urban areas those phenomena are amplified by the “heat island” effect (COLACINI & LAVAGNINI, 1982; ABBATE, 2003), which consists in the rising of temperature and evaporation due to the wide extension of anthropogenic surfaces (e.g., asphalt, buildings, etc). Since the urbanization processes prevent the infiltration toward the aquifer, excess water tends to pond into topographic depressions (“sinks”), especially in the case of sewer overwhelming. The pluvial flooding phenomena are strictly linked also to the maintenance status of hydraulic infrastructures (i.e., manholes, draining channels, etc.), which should ensure the fast drainage of rainfall.

The first map of the distribution of pluvial flood prone areas has been reported in the work of areal census edited by Roma Capitale Civil Protection; it shows observed flooded areas in the period 2004-2007 (Comune di Roma, 2008), and is extremely useful to the comprehension of the phenomenon.

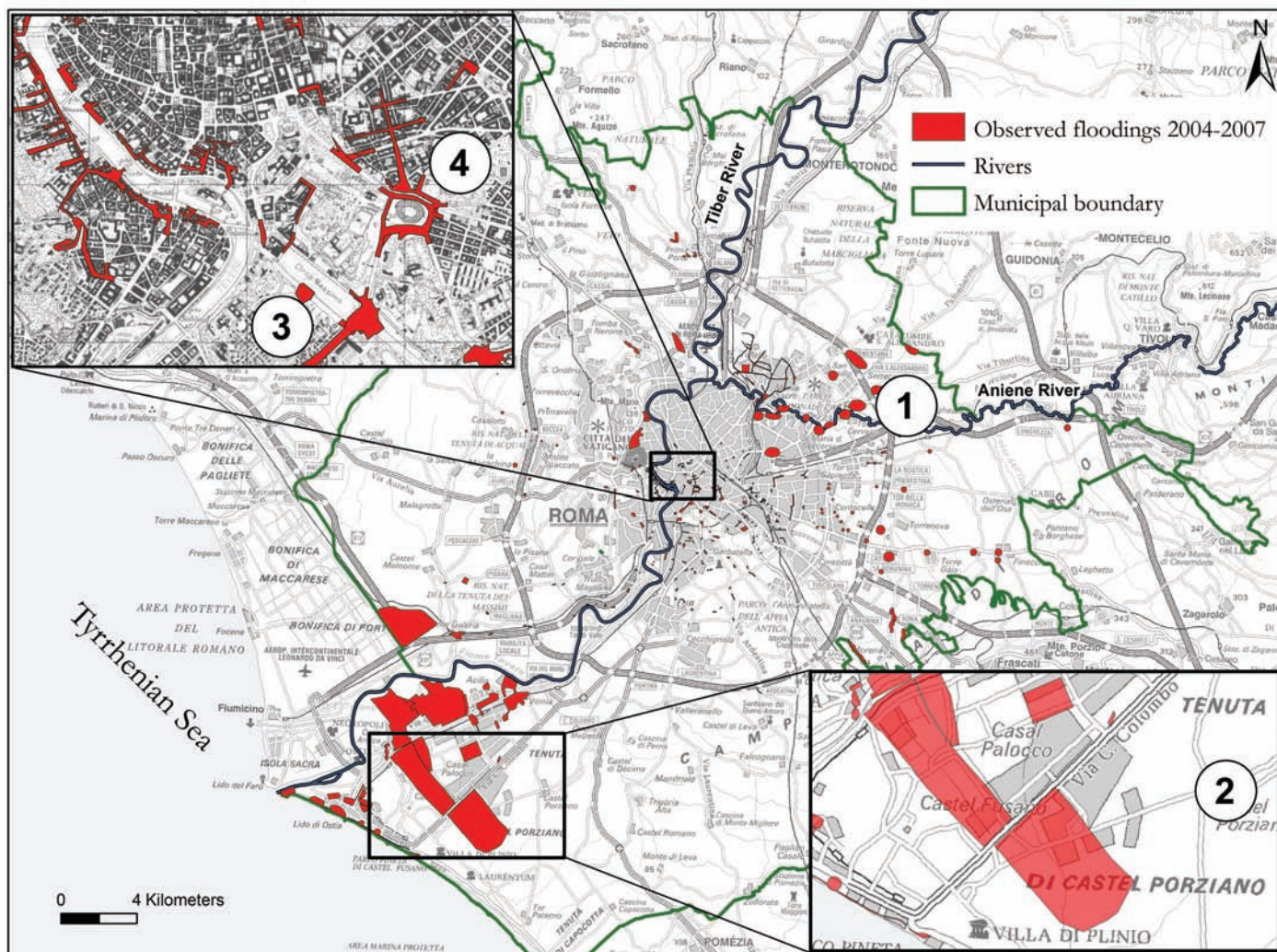


Fig. 2 - Allagamenti osservati tra il 2004 e il 2007; dati dal Comune di Roma, 2008. (1) aree suscettibili di “river flooding”; (2) aree suscettibili di “groundwater flooding”; (3) e (4) aree suscettibili di “pluvial flooding”.

- Floodings observed between 2004 and 2007; data from Comune di Roma, 2008. (1) areas susceptible to river flooding; (2) areas susceptible to groundwater flooding; (3) and (4) areas susceptible to pluvial flooding.



il tessuto urbano impedisce l'infiltrazione verso la falda, le acque in eccesso tendono ad accumularsi nelle depressioni topografiche ("sinks" o "ponds") in caso di sovraccarico della rete fognaria. Il fenomeno del pluvial flooding è strettamente legato anche allo stato di manutenzione delle opere idrauliche (quali caditoie, canalette di drenaggio) che devono assicurare il deflusso veloce delle acque meteoriche.

La distribuzione delle aree maggiormente colpite dal fenomeno degli allagamenti da forti piogge è stato riportato per la prima volta in un lavoro di raccolta informazioni e censimento areale effettuato dalla Protezione Civile di Roma Capitale, tra il 2004 e il 2007 (Comune di Roma, 2008). Il lavoro raccoglie gli allagamenti segnalati nel periodo indicato, ed è molto utile alla comprensione del fenomeno. Da questo studio si nota che le aree più suscettibili di allagamento sono posizionate in corrispondenza dei maggiori assi di drenaggio, ad oggi sostituiti da collettori spesso sottodimensionati, oppure in alcuni casi addirittura inesistenti. In alcuni casi, le zone allagate si sviluppano lungo "alvei-strada", ovvero lungo assi stradali che insistono su vecchi alvei fluviali (come nel caso della Valle Murcia-Circo Massimo, caso 3, Fig. 2). Aree particolarmente suscettibili risultano, inoltre, le zone di confluenza di più assi di drenaggio (ad esempio il Fosso Labicano-Colosseo, caso 4, Fig. 2).

È da notare che, nonostante l'aumento dei danni e del numero di vittime, si verificano ancora oggi situazioni in cui, precedentemente all'edificazione di nuovi quartieri, non viene effettuata una corretta valutazione delle fasce di rispetto dei fossi, anzi questi continuano spesso ad essere interrati senza un opportuno sistema di collettori, diventando così potenziali aree soggette ad allagamento.

L'ONU stima che entro il 2050 il 70% della popolazione mondiale si concentrerà nelle aree urbane; è fondamentale pertanto sviluppare strumenti per aumentare la resilienza e la capacità di adattamento della popolazione urbana a questo tipo di pericolosità. Il rischio da *pluvial flood* può essere drasticamente ridotto evitando nuove urbanizzazioni nelle posizioni a maggior rischio, investendo in sistemi di drenaggio e progettando schemi di gestione delle acque innovativi e sostenibili.

*The map highlights that most of the areas prone to flood are located along the main drainage axes, which currently correspond to sewer or pipes, often undersized, and sometimes non-existent. In some cases, flooded areas occur along "river streets", i.e., along streets built on the old creek axes (as in the case of Valle Murcia - Circo Massimo, case 3, Fig. 2). Particularly susceptible are also tributaries confluence areas (for example, Fosso Labicano-Colosseo, case 4, Fig. 2).*

*It is worth to note that, despite the rise of damages and the number of victims, currently a correct evaluation of hydraulic risk maps before the planning and building of new neighborhoods is still lacking. In many cases, rivers are still buried and are not replaced by an adequate sewer system, thus they become potential flood prone areas.*

*The UN estimates that within 2050, 70% of the world population will live in urban areas; therefore, it is fundamental to develop tools for increasing the resilience and the adaptation capacity of urban population to this type of hazard. The pluvial flood risk can be drastically reduced avoiding new building in flood prone areas, investing in drainage systems and adopting innovative and sustainable management plans.*

## BIBLIOGRAFIA - REFERENCES

- ABBATE G., FIUMI L., DE LORENZO C. & VINTILA R. (2003) - *Evaluation of Remote Sensing data for urban planning. Applicative examples by means of Multispectral and Hyperspectral data*. Proceedings URBAN, Berlin, May 22-23, pp. 201-205.
- AUTORITÀ DI BACINO DEL FIUME TEVERE, *Piano Stralcio di Assetto Idrogeologico*, Approvato con APCM del 10 novembre 2006.
- CALENDA G., DI MALTA L., MANCINI C.P. & UBERTINI L. (1997) - *Distribuzione di probabilità dei colmi di piena del Tevere a Roma*. L'Acqua, 5, pp. 13-22.
- CNA Roma, Confederazione Nazionale dell'Artigianato e della Piccola e Media Impresa, (2015) - <http://www.cnapi.org/>
- COLACINO M. & LAVAGNINI A. (1982) - *Evidence of the urban heat island in Rome by climatological analyses*. Arch. Met. Geoph. Biokl., Ser. B, 31, pp. 87-97.
- COMUNE DI ROMA, Piano Generale di emergenza di Protezione Civile (2008)- *Scenari di rischio predefiniti e procedure per l'attivazione e l'intervento dell'Ufficio Extradipartimentale della Protezione Civile e delle strutture operative comunali e di supporto*, deliberazione G.C.S: n. 19 del 4 aprile 2008.
- DI SALVO C., CIOTOLI G., CAVINATO G.P., PENNICA F., LEONE F., CORAZZA A. & FERRI G. (2014) - *GIS-based methodology for pluvial flood risk analysis: a case study in the urban area of Rome*. In: Resilienza delle città d'arte alle catastrofi idrogeologiche: successi e insuccessi dell'esperienza italiana. Atti del convegno, Accademia Nazionale dei Lincei, Roma 4-5 novembre 2014, in press.
- Healty Waterways (2014).
- MANGIANTI F. & LEONE F. (2008) - *Analisi climatica delle temperature e delle precipitazioni a Roma*. In: FUNICIELLO R., PRATURLON A. & GIORDANO G. (Eds) *La Geologia di Roma: dal centro storico alla periferia*. Mem. Descr. Carta Geol. d'It. 80. Roma, pp. 169-186.
- NATALE L. & SAVI F. (2007) - *Monte Carlo analysis of probability of inundation of Rome*. Environmental Modelling and software. vol 22, (10) pp. 1409-1416.



## Ringraziamenti / Acknowledgments

Desidero esprimere il mio sentito ringraziamento a quanti hanno reso possibile la realizzazione di questo importante ed innovativo progetto. Il risultato raggiunto supera di gran lunga le aspettative iniziali circa l'effettiva possibilità di pervenirvi nei ristrettissimi tempi prefissati; l'elevata professionalità dei singoli membri del gruppo e la capacità dimostrata nel coordinamento delle attività da parte del Servizio Bonifica Siti Inquinati e Geologia Ambientale del nostro Dipartimento Ambiente hanno fatto sì che tutto ciò potesse essere ottenuto.

Fin dalla prima presentazione dell'idea, ho ritenuto che questo progetto fosse in grado di produrre uno strumento di grande valore scientifico che potesse essere al contempo di grande utilità per i diversi settori dell'Amministrazione Capitolina e per il mondo professionale; non solo quindi per l'Ambiente e per tutti gli Uffici impegnati nella gestione del territorio, quali ad esempio Lavori Pubblici, Protezione Civile, Pianificazione Urbanistica, Uffici Tecnici Municipali, ma anche per coloro che operano nel mondo professionale in ambiti di progettazione, per i quali questa Carta Idrogeologica costituisce un utile e aggiornato riferimento.

Da ultimo confido che tale lavoro, che peraltro viene presentato nell'ambito del 42° Congresso Internazionale di Idrogeologia IAH, AQUA2015, possa costituire la base per lo sviluppo di futuri progetti di resilienza urbana.

Il Direttore del Dipartimento Tutela Ambientale di Roma Capitale

LUISA MASSIMIANI

*I wish to express my heartfelt thanks to all those who made possible the realization of this important and innovative project. The achieved results far exceeds initial expectations about the real possibility of achieving it in the very short time set; the high professionalism of every member of the group and the demonstrated ability in the activities coordination by the Contaminated Sites Remediation and Environmental Geology Service of our Environment Department have meant that everything could be obtained.*

*Since the first presentation of the idea, I thought this project was able to produce an instrument of great scientific value that could be both very useful for different sectors of Municipality of Rome and for the professional world; so not only for the Environment and for all involved offices in land management, such as Public Works, Civil Protection, Urban Planning, Municipal Technical Offices, but also for those working in the professional world in the areas of design, for which this map is a useful and updated hydrogeological reference.*

*Finally I am confident that this work, which, moreover, is presented during the 42<sup>nd</sup> IAH International Congress of Hydrogeologists, AQUA2015, could form the basis for the development of future projects of urban resilience.*

*The Director of Environmental Protection Department of Municipality of Rome*

LUISA MASSIMIANI

### Si ringrazia inoltre / Thanks also to

Per la collaborazione all'avvio del progetto / *For the collaboration in the launch of the project*

ROBERTO MARCELLI

Per la collaborazione nel censimento dei pozzi della rete di monitoraggio / *For the collaboration in the monitoring network wells census*

MARCO MAZZA

Per la collaborazione nell'ambito della gara per la stampa / *For the collaboration in the competitive tender procedure for printing*

DOMENICO TACCHIA

FILIPPO CALLIPARI

VITTORIO FOLINO

Per la collaborazione nell'accesso alle aree estrattive / *For the collaboration in the access to mining areas*

ALESSANDRA TRIGARI

Per la collaborazione nel rilevamento idrogeologico / *For the collaboration in hydrogeological survey*

SAMUELE FACCHINI

GIACOMO GIUJUSA

GABRIELE LEONI

CAROLINA MARINCOLA

MICHELE MARTIRE

GIULIA MORABITO

MARZIA ORTOLANI

NICOLA TIROZZI

Modalità di citazione bibliografica suggerita - Suggested references style

Per specifici argomenti - For specific topics:

e.g. DIMASI M., CIOTOLI G., MANCINI M. & STIGLIANO F. (2015) - *Elaborazione dati relativi alla Superficie di tetto dell'aquicluda basale / Basal aquicluda top surface data processing*. In LA VIGNA F. & MAZZA R. (Eds) *Carta Idrogeologica di Roma - Hydrogeological Map of Rome - Scala-Scale 1:50.000*.

Per la carta nel complesso - For the whole map:

La VIGNA F. & MAZZA R. (Eds) (2015) - *Carta Idrogeologica di Roma - Hydrogeological Map of Rome - Scala-Scale 1:50.000*.



## INDICE - INDEX

<b>Prefazione / Preface</b> .....	<b>1</b>
<b>Presentazione del lavoro, dati, metodi e guida alla lettura della Carta</b> <i>Work presentation, data, methods and reading guide of the Map</i> .....	<b>3</b>
<b>La rappresentazione cartografica idrogeologica</b> <i>The hydrogeological cartographic representation</i> .....	<b>5</b>
<b>Le rappresentazioni cartografiche idrogeologiche di Roma nel corso del tempo</b> <i>The hydrogeological cartographic representation of Rome over time</i> .....	<b>7</b>
<b>Unità Idrogeologiche del territorio romano e modello concettuale di circolazione</b> <i>Hydrogeological Units of roman area and groundwater conceptual model</i> .....	<b>12</b>
<b>Superficie di tetto dell' Aquiclude basale</b> <i>Top surface of the basal Aquiclude</i> .....	<b>17</b>
<b>L'acquifero costiero del litorale romano</b> <i>The roman coastal aquifer</i> .....	<b>19</b>
<b>Caratteristiche chimico-fisiche delle acque sotterranee nel territorio di Roma Capitale</b> <i>Physico-chemical features of groundwater in the area of Rome Municipality</i> .....	<b>22</b>
<b>Dati termo-pluviometrici ed idrometrici</b> <i>Thermo-pluviometric and hydrometric data</i> .....	<b>25</b>
<b>Pericolosità da allagamento nella città di Roma</b> <i>Flood hazard in the city of Rome</i> .....	<b>29</b>