

La città di Roma e le sue falde acquifere: dalle criticità, alle opportunità di resilienza urbana

The City of Rome and its groundwater: from critical issues, to urban resilience opportunities

Francesco La Vigna, Isidoro Bonfà, Alessandro Gianni Coppola, Angelo Corazza, Cristiano Di Filippo, Gianluca Ferri, Simona Martelli, Carlo Rosa, Claudio Succiarelli

Riassunto: In questo articolo viene sottolineata l'importanza della risorsa idrica sotterranea di Roma sia relativamente alla sua tutela, sia relativamente alle problematiche ad essa connesse. Vi sono differenti tipi di interferenza tra presenza antropica e acque sotterranee nella città: si va dalla presenza di acque circolanti all'interno delle spesse coltri di riporti antropici, alla frequente contaminazione delle falde, dalla presenza di attività estrattive, alla presenza di patrimonio archeologico in sotterraneo, in ipogeo o in zone poco rilevate soggette ad allagamenti anche per via della risalita dei livelli freatici. Nonostante i diversi problemi che si riscontrano, la conoscenza delle risorse idriche sotterranee di Roma costituisce una importantissima base di partenza per valorizzarne la tutela e sfruttarne gli innumerevoli benefici volti anche ad incrementare la resilienza urbana.

Parole chiave: gestione delle acque urbane, idrogeologia urbana, riporti antropici, cave, siti contaminati, allagamenti urbani, patrimonio storico-archeologico.

Keywords: *water city management, urban hydrogeology, anthropogenic deposits, quarries, contaminated sites, urban flooding, bystorical and archaeological heritage.*

Francesco LA VIGNA 

Roma Capitale – Dip. Tutela Ambientale, Roma
francesco.lavigna@comune.roma.it

Isidoro BONFÀ

Cristiano DI FILIPPO

Simona MARTELLI

Roma Capitale – Dip. Tutela Ambientale, Roma

Alessandro Gianni COPPOLA

Politecnico di Milano

Angelo CORAZZA

Presidenza del Consiglio dei Ministri – Dipartimento Protezione Civile

Gianluca FERRI

Roma Capitale – Ufficio Extradipartimentale Protezione Civile

Carlo ROSA

Istituto Italiano di Paleontologia Umana

Claudio SUCCHIARELLI

Roma Capitale – Dipartimento Programmazione e Attuazione Urbanistica

Ricevuto: 31 dicembre 2015 / Accettato: 9 febbraio 2016

Publicato online: 29 febbraio 2016

This is an open access article under the CC BY-NC-ND license:
<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>

© Associazione Acque Sotterranee 2016

Abstract: *This paper emphasizes the importance of groundwater resources of Rome with regard to its protection, and the associated issues. There are different typologies of interference between human presence and groundwater in the city, ranging from the presence of water circulating inside the thick layers of anthropogenic deposits, the frequent contamination of groundwater, the presence of mining activities, the presence of archaeological heritage in underground or in low areas affected by flooding also induced by water table rising. Despite the various issues that are found, the knowledge of groundwater resources of Rome can be an important starting point to enhance its protection and take advantage of the related countless benefits also aim to increase urban resilience.*

Introduzione

Il mondo prevalentemente invisibile delle acque sotterranee è coinvolto in molti aspetti della vita cittadina: i sistemi di approvvigionamento idrico, le attività di drenaggio, le caratteristiche delle acque superficiali, la salute delle piante e degli alberi, il potenziale degli allagamenti, gli eventi di siccità etc., tutto è direttamente connesso alla presenza di acqua del sottosuolo. Recentemente, la conoscenza relativa all'acqua sotterranea è stata riconosciuta come una pietra miliare nella resilienza (ovvero la capacità di resistere agli stress e agli shock) delle città (Tanner et al. 2009). La copertura e/o la sostituzione di rocce naturali, del suolo e della vegetazione con marciapiedi, fondazioni, edifici, strutture metalliche, dighe, gallerie, e altre strutture ha un profondo impatto sull'idrologia di un territorio. Il sottosuolo cittadino è una rete complessa e in rapida evoluzione di gallerie, utenze sepolte, parcheggi e altre infrastrutture interrato che disturbano la naturale struttura del terreno e alterano la sua porosità e la sua conducibilità idraulica (Garcia-Fresca 2007). Inoltre, le attività umane possono esercitare una forte influenza sull'idrogeologia, a volte anche più forte di quelle direttamente connesse ai cambiamenti climatici (Taylor et al. 2013), provocando cambiamenti dello stato quantitativo e qualitativo delle acque superficiali e sotterranee. Di conseguenza, la gestione delle acque sotterranee cittadine pone non solo sfide scientifiche, ma anche tecniche, socio-economiche, culturali ed etiche (Freitas et al. 2015).

Il rapporto della Città di Roma con l'acqua, sia superficiale che sotterranea, ha origini millenarie. La leggendaria fondazione della stessa città avviene per volere di divinità fluviali e sulle sponde del fiume originariamente chiamato

Rìmon, oggi Tevere, sulle cui rive la leggenda fa arenare la cista che trasportava i gemelli fondatori, Romolo e Remo. Questo settore della valle del Tevere dove nacque la città risultava, e risulta ancora oggi, particolarmente ricco di acqua, non solo per la presenza del fiume stesso e del suo tributario principale Aniene, ma anche per la presenza di numerosissimi corsi d'acqua minori e di moltissime sorgenti (Corazza e Lombardi questo volume, 2005). L'acqua era così abbondante che una delle più importanti opere idrauliche costruite dai Romani in città fu la *Cloaca Maxima*, la cui funzione primaria contrariamente a quanto molti pensano, non era quella di collettore fognario, ma di drenaggio della falda acquifera caratterizzata da una bassissima soggiacenza.

La saggezza che caratterizzava gli antichi abitanti dell'Urbe, che per via delle magnifiche opere idrauliche realizzate le valsero il titolo di "*Regina Aquarum*", purtroppo sembra essersi persa nel tempo. Pur sorvolando sul basso stato di qualità raggiunto dai fiumi Tevere e Aniene, che nella prima metà del secolo scorso erano ancora balneabili, non si può non rimarcare lo "sfregio" che l'espansione urbanistica ha inflitto sul reticolo idrografico minore dell'area cittadina, trasformando, di fatto, in grigi collettori fognari, tutti i corsi d'acqua perenni che scorrevano in quelli che sarebbero diventati i nuovi quartieri. Roma, che avrebbe potuto continuare ad essere la "*Regina Aquarum*" anche nell'età contemporanea, dotata di un fitto reticolo di corsi d'acqua, spesso sorgivi, con tutto il loro corridoio ecologico ripariale (Capelli, questo volume), che oggi gli urbanisti definirebbero "*blue and green infrastructures*" (infrastrutture verdi e blu) si ritrova ad essere invece molto più piena di "*grey infrastructures*" (infrastrutture grigie – ovvero di cemento). Questa barbara pratica di cancellazione del reticolo idrografico minore, oltre a far perdere valore paesaggistico e pregio urbano, non ha considerato l'interruzione delle ovvie relazioni idrauliche di drenaggio tra corsi d'acqua e falde acquifere ad essi collegate.

Rispetto alle acque sotterranee, l'esigenza di dotare tutta la città di acqua di ottima qualità ha fatto propendere nel tempo (come gli stessi romani fecero) a ricercare gli approvvigionamenti idropotabili fuori dalla città, nei "lontani" Appennini. Questo ha fatto sì che le acque sotterranee abbiano rivestito un'importanza secondaria nello sviluppo della città, soprattutto in tempi recenti, andando a costituire una risorsa per lo più irrigua, mentre nei contesti più rurali del territorio di Roma Capitale tutt'ora riveste un ruolo di base.

Svestendola però della sua dote principale legata all'approvvigionamento, l'acqua sotterranea, e tutto il mondo ad esso collegato, costituisce comunque un importante settore da prendere in considerazione nell'ambito della vita cittadina. I problemi possono essere molteplici: falde troppo basse, falde troppo poco soggiacenti (allagamenti) e acque sotterranee contaminate da acqua salina (Manca et al. 2014; Manca et al. 2015) o da un ampio spettro di sostanze inquinanti urbane e industriali (Ellis 1999) prevalentemente appartenenti a composti metallici, idrocarburi e clorurati. In alcuni settori, la prospettiva può apparire desolante. Tuttavia, negli ultimi anni, si sono fatti molti passi avanti in idrogeologia urba-

na, e questa scienza si è sviluppata enormemente (Howard e Israfilow 2002). La base di conoscenze a Roma è più forte anche grazie alla nuova Carta Idrogeologica (La Vigna e Mazza 2015, La Vigna et al, questo volume) e vi sono moltissime tecnologie avanzate non solo per la conservazione e protezione delle risorse, ma anche per una corretta gestione in un'ottica di resilienza urbana.

Di seguito vengono descritti i differenti tipi di interferenza tra presenza antropica e acque sotterranee nella città di Roma, mentre per i dettagli circa l'assetto idrogeologico si rimanda al lavoro di Mazza et al. (questo volume) e alla Carta Idrogeologica di Roma (La Vigna e Mazza 2015).

Dati

Per la sua storia millenaria e per il particolare contesto geologico e idrogeologico le interferenze tra tessuto antropico e acque sotterranee possono essere analizzate a partire dalle caratteristiche dei terreni di riporto che sono particolarmente sviluppati in tutta la città, dalla presenza di attività estrattive antiche e attuali, dall'impermeabilizzazione della superficie e dalla bassa soggiacenza di falda che localmente danno luogo ad allagamenti, dalla presenza di numerosi siti contaminati e dalla presenza di un immenso patrimonio storico-archeologico nei primi metri di sottosuolo e talvolta in ipogeo.

Riporti

Gli interventi umani realizzati nel corso degli oltre 2500 anni della storia di Roma hanno creato un manto di terreni di riporto, che in alcune zone del centro storico supera anche i 20 metri di spessore e che ha determinato spesso il seppellimento di emergenze idriche che originariamente si trovavano in superficie (Corazza e Lombardi questo volume).

Nei terreni di riporto, che a tutti gli effetti rappresentano il primo livello stratigrafico di gran parte del territorio romano, si riscontra frequentemente la presenza di acqua, anche in cospicua quantità, che nelle zone pianeggianti della città assume il carattere di vera e propria circolazione idrica sotterranea.

La permeabilità di tali terreni può essere considerata media ma varia fortemente, sia in senso orizzontale che verticale, in relazione alla loro estrema eterogeneità e al diverso grado di compattazione. L'accumulo di acqua in questi materiali è possibile perché essi poggiano prevalentemente su terreni geologici dotati di scarsa o nulla permeabilità e perché, specie dove la coltre antropica è più antica e spessa, la loro parte basale è più compattata e quindi meno permeabile. La giacitura dei terreni di riporto condiziona fortemente la continuità di tali accumuli che possono anche andare a costituire tasche di volume definito.

Le falde idriche nei riporti raggiungono una certa consistenza in particolare nella pianura del Tevere e nelle valli secondarie, oggi obliterate da questi terreni. Le modalità di circolazione sotterranea sono fortemente influenzate dall'eterogeneità della coltre antropica e dalla presenza di strutture murarie sepolte.

In alcune zone della città la circolazione mostra delle potenzialità elevate e si deve ritenere che all'infiltrazione diretta

ad opera delle precipitazioni (resa minima dall'impermeabilizzazione dei suoli dovuta all'urbanizzazione) si aggiunga un'alimentazione da parte delle antiche sorgenti, oggi sepolte dai riporti, e, soprattutto, da parte di perdite nella rete acquedottistica e/o fognaria.

Infatti, ogni qualvolta si esegue uno scavo, in particolare nelle aree centrali e nelle pianie alluvionali, si rinvencono riporti ricchi d'acqua, tanto che spesso per mantenere all'a-

sciutto dei locali o per proseguire gli scavi archeologici si è obbligati a mettere in opera sistemi di pompaggio per l'aggottamento dell'acqua, acqua che certamente non doveva essere presente a quelle quote all'epoca della costruzione degli edifici romani.

Nella Piana Tiberina i dati dei livelli d'acqua nei riporti hanno permesso di ricostruire, con sufficiente attendibilità, la superficie piezometrica della falda (Fig.1) (Corazza et al. 1999).

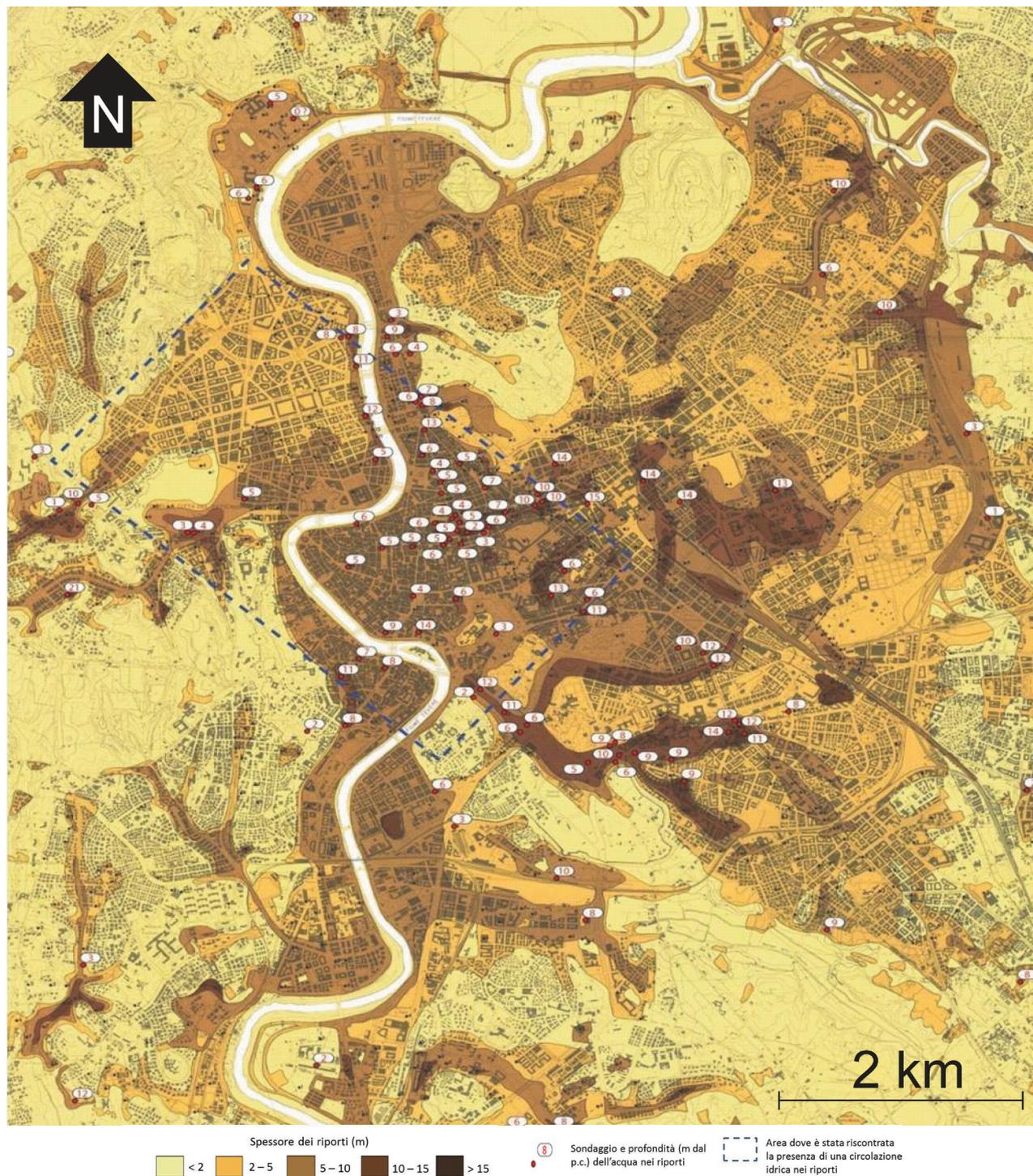


Fig. 1 - Carta delle spessori dei terreni di riporto con indicazione dei punti con acqua (modificato da Corazza et al 2005).

Fig. 1 - Anthropogenic deposits thickness map with detected water table (modified from Corazza et al 2005).

I livelli piezometrici nelle zone vicine al Tevere possono seguire le oscillazioni del livello del fiume mentre nelle zone lontane da esso mostrano oscillazioni che vanno ricondotte, con tutta probabilità, all'alimentazione prevalentemente antropogenica di questa falda, dovuta principalmente alle perdite delle reti idriche, le cui dinamiche non seguono gli andamenti naturali di ricarica.

I dati sulla composizione chimica delle acque circolanti nei riporti sono molto scarsi. Le poche analisi disponibili in letteratura (Corazza e Lombardi 1995) conducono ad una classificazione delle acque come bicarbonato-alcalino-terrose, che tuttavia non può essere considerata quella di tutte le acque circolanti nei riporti, vista la diversità delle caratteristiche qualitative degli apporti.

Relativamente alla qualità delle acque all'interno dei terreni di riporto è da considerare che essendo questo il primo orizzonte saturo che spesso si incontra in profondità, nei casi in cui sia presente una fonte di inquinamento superficiale, risulta essere nella maggior parte dei casi sede della maggior concentrazione di contaminanti.

Siti contaminati

Parlare delle falde acquifere della città di Roma comporta, inevitabilmente, una riflessione sulla qualità delle acque di falda e sullo stato attuale delle conoscenze dei fenomeni di contaminazione, anche solo potenziale, presenti in ambito urbano.

I siti censiti nella città di Roma sono riconducibili, per tipologia di fonte, essenzialmente a due grandi categorie: la prima comprende siti inquinati da fonti localizzate e la seconda siti che presentano alterazioni di fondo di origine naturale, con l'eccezione di un certo numero di siti la cui fonte di contaminazione resta tuttora di chiarire da parte della Città Metropolitana di Roma capitale, Ente preposto alle indagini.

Con riguardo alla prima categoria, la maggior parte degli episodi di contaminazione a Roma deriva da fonti localizzate: linee di distribuzione e serbatoi interrati o fuori terra, sversamenti accidentali, abbandoni di rifiuti, attività commerciali o industriali comunemente diffuse su tutto territorio urbanizzato. Predominano numericamente i casi di contaminazione da sostanze di origine idrocarburica derivanti da perdite della rete dei punti vendita carburanti. In secondo ordine, ma non per rilevanza dei fenomeni, sono presenti diversi casi di contaminazione della falda da composti clorurati soprattutto nel quadrante est della città. Nella figura 2 è rappresentato lo schema di propagazione in falda delle due categorie di contaminanti riscontrate più frequentemente: composti idrocarburici e composti clorurati. Mentre i composti idrocarburici (Fig.2a) meno densi dell'acqua hanno un comportamento surnatante sulla superficie freatica, quelli clorurati (Fig.2b), più densi, migrano verso fondo dell'acquifero rendendo più complicato individuare l'eventuale prodotto in fase separata depositato alla base e l'intercettazione del plume della contaminazione.

Con riguardo alla seconda categoria di siti, le concentrazioni naturali di talune sostanze nelle acque di falda possono risultare più elevate delle concentrazioni soglia di contaminazione stabilite dal D.Lgs. 152/2006 per effetto della circolazione delle acque in terreni di origine vulcanica (distretto Sabatino e distretto dei Colli Albani) e del mescolamento con acque provenienti dai circuiti idrotermali. La circostanza è ormai nota alle Amministrazioni che operano nel settore, grazie ai numerosi studi che il modo scientifico per talune porzioni di territorio di Roma ha prodotto (La Vigna et al, 2014). Ad oggi, tuttavia, mancano uno studio organico sui valori di fondo naturale di tutto il territorio della città di Roma ed una conseguente successiva determinazione regionale che fissi, per le sostanze interessate da valori anomali di fondo naturale, nuovi valori delle concentrazioni soglia di contaminazione. In

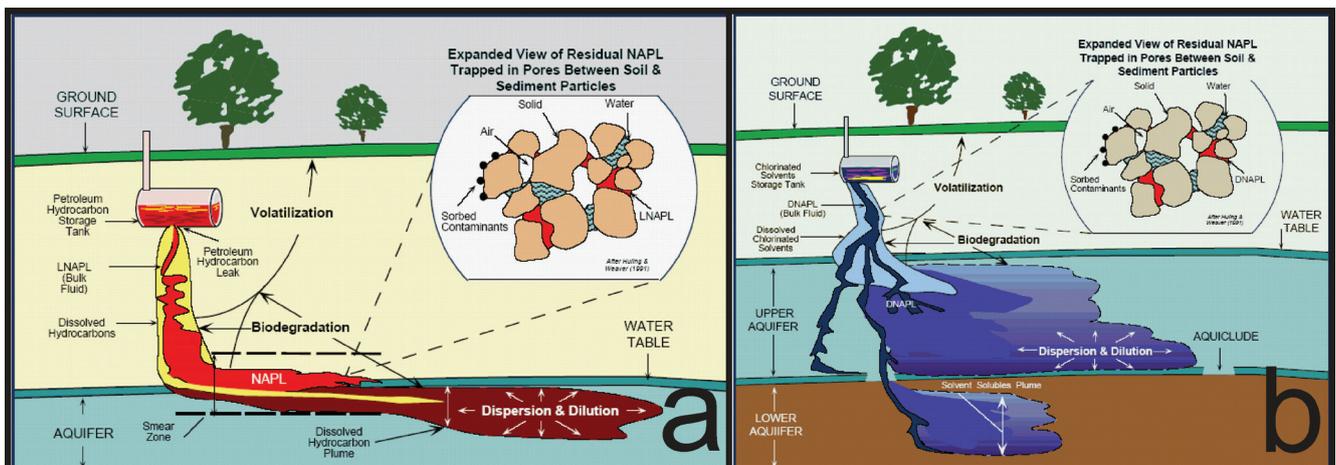


Fig. 2 - Schema di propagazione in falda delle due categorie di contaminanti riscontrate più frequentemente nelle aree urbane (da <http://oceanworld.tamu.edu/resources/environment-book/groundwaterremediation.html>): a) composti idrocarburici meno densi dell'acqua che galleggiano sulla superficie freatica (LNAPL); b) composti clorurati, più densi dell'acqua (DNAPL), che affondando rendono più complicato individuare l'eventuale prodotto in fase separata depositato alla base dell'acquifero e l'intercettazione del relativo plume di contaminazione.

Fig. 2 - Schematic representation of two categories of pollutants frequently detected in major urban areas (from <http://oceanworld.tamu.edu/resources/environment-book/groundwaterremediation.html>): a) hydrocarbon compounds less dense than water floating on the groundwater table (LNAPL); b) chlorinated compounds, more dense than water (DNAPL), sinking so that make it more difficult to identify the contamination in separate phase deposited at the base of the aquifer and the interception of its plume.

carezza della determinazione di tali valori, il numero dei siti notificati a Roma continua erroneamente ad incrementarsi anche di quei casi in cui i superamenti riscontrati (ad esempio per sostanze quali fluoro, arsenico e manganese) sono dovuti unicamente alla presenza di valori di fondo naturalmente superiori ai valori soglia normati.

Un accenno alla possibilità di solubilizzazione di sostanze normalmente poco solubili (come taluni metalli) indotta dalla contaminazione antropica nel momento in cui quest'ultima determina variazioni delle condizioni redox locali: in tali situazioni fenomeni di contaminazione secondaria da metalli possono sovrapporsi alle alterazioni di carattere naturale complicando il quadro ambientale del sito ed introducendo criticità gestionali nell'ambito dei procedimenti amministrativi di bonifica.

Ad oggi i siti notificati sul territorio della città di Roma dal 1999, molti dei quali riguardanti episodi di potenziale contaminazione del solo suolo e non delle acque di falda, sono oltre 300, solo in minima parte bonificati e certificati o auto-certificati (Fig.3).

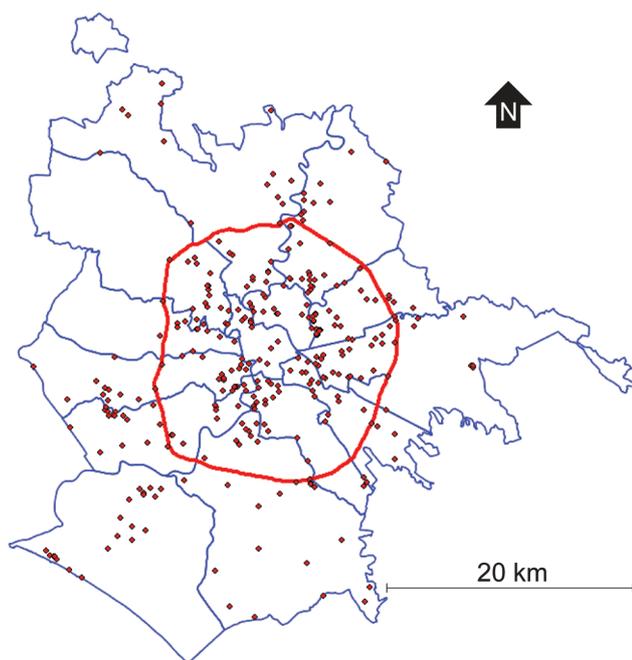


Fig. 3 - Distribuzione degli oltre 300 siti notificati secondo la normativa in materia di bonifica dei siti contaminati dal 1999 ad oggi nel territorio di Roma Capitale. Non tutti i siti sono effettivamente contaminati e non tutti interessano la matrice falda acquifera.

Fig. 3 - Distribution of more than 300 notified sites according to current regulations since 1999 in the Municipality of Rome. They are not all effectively contaminated and not all of those interest groundwater.

Attività estrattive

Le principali interferenze della coltivazione di cave a cielo aperto sulle falde acquifere sono in genere dovute a:

- processi di sovraescavazione, con intercettazione della superficie freatica che causa affioramento della falda e, nel caso di presenza di più livelli acquiferi interessati dagli scavi, la messa in comunicazione di falde sovrapposte;

- emungimento diretto dalla falda sia per necessità di dewatering sia per necessità di acqua utile all'attività di cava.

Gli effetti di tali interferenze possono essere sia quantitativi che qualitativi:

- dal punto di vista quantitativo il principale aspetto da considerare è l'alterazione del naturale flusso delle acque sotterranee, inteso sia dal punto di vista direzionale (interruzioni o deviazioni) che di possibili variazioni positive o negative dei livelli piezometrici;
- dal punto di vista qualitativo l'affioramento in superficie della falda espone le acque sotterranee ad una potenziale contaminazione diretta da parte di sostanze inquinanti immesse attraverso il contatto con acque superficiali o dall'attività umana.

È noto che sin dai tempi antichi la tipologia prevalente di attività estrattive nell'area romana abbia riguardato le cave in sotterraneo, come testimoniato dall'esteso reticolo di cavità che caratterizza il sottosuolo della città di Roma, la cui distribuzione geografica è legata alla presenza di alcuni litotipi che nel passato hanno rappresentato un'utile e disponibile fonte di materiale da costruzione (in prevalenza tufi a carattere litoide e pozzolane più o meno coerenti).

Nel recente passato le attività si sono svolte pressoché esclusivamente in superficie, mediante la coltivazione di cave a cielo aperto, secondo una distribuzione areale concentrata in alcune zone dove, soprattutto nel corso della seconda metà del secolo scorso, la presenza in affioramento di alcuni litotipi, in concomitanza con la crescente richiesta di materiali conseguente allo sviluppo edilizio, ha favorito l'apertura di cave, che si è cercato successivamente di regolarizzare mediante l'introduzione di criteri pianificatori e/o l'introduzione di norme di settore.

Attualmente le attività estrattive nel territorio di Roma Capitale si concentrano principalmente nei due bacini estrattivi (Fig.4) individuati dal Piano Regionale delle Attività Estrattive (P.R.A.E.) approvato con D.C.R. n. 7/2011:

- bacino Rio Galeria – Magliana, nel quale si estraggono sabbie e ghiaie presenti a vari livelli nella sequenza sedimentaria pleistocenica rappresentata nell'area dall'Unità di Ponte Galeria;
- bacino Ardeatina – Laurentina, caratterizzato da produzione di materiali dalle unità piroclastiche originate dal complesso vulcanico dei Colli Albani (Pozzolane Rosse, Pozzolane Nere, Tufo Lionato, Villa Senni), nonché dalle colate laviche in esse intercalate a più livelli.

In relazione a tale distribuzione areale si osserva che le attività producono effetti differenti sulle falde acquifere a seconda del bacino di riferimento.

Nel bacino Rio Galeria – Magliana le caratteristiche della serie geologico-stratigrafica locale, caratterizzata da alternanze di livelli più permeabili con altri poco permeabili, favoriscono la presenza di più livelli acquiferi sovrapposti (in genere piccole falde di modesta entità, sovrastanti una falda regionale di maggiore produttività contenuta nei livelli ghiaioso-sab-

Legenda

- Sorgente s.s.
- # Sorgente lineare
- ⌋ Sorgente lineare (subacquea)
- ⋄ Manifestazione termale

- ▭ limiti Città Metropolitana
- ▭ limiti comunali

**strutture idrogeologiche
tipologia**

- Complessi a bassa permeabilità
- alluvionale
- carbonatico
- costiero
- eterogeneo
- vulcanico

- Poli estrattivi regionali

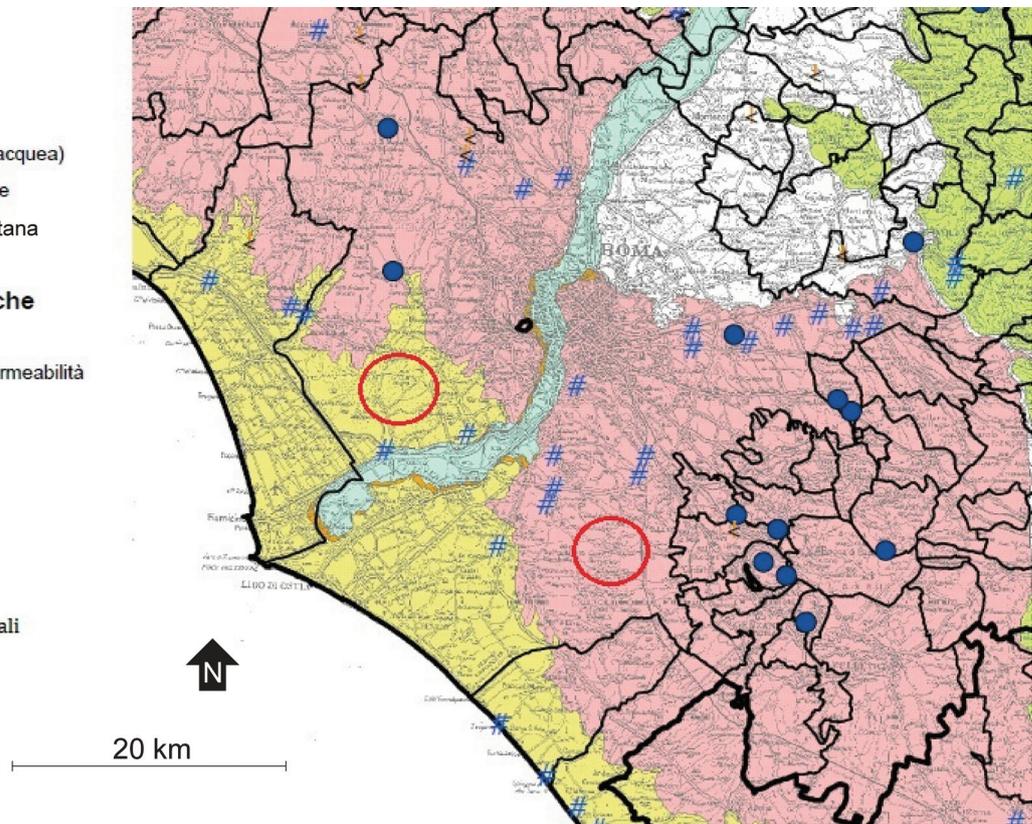


Fig. 4 - Ubicazione dei principali bacini estrattivi nel territorio di Roma Capitale. Il bacino Galeria-Magliana a Ovest e il bacino Ardeatino-Laurentino a Sud.

Fig. 4 - Location of main quarry areas in the Municipality of Rome. The Galeria-Magliana area Westward and the Ardeatino-Laurentino Southward.

biosi del Pleistocene inf. e sostenuta dalle argille basali plio-pleistoceniche).

Poiché tutti i livelli contenenti potenziali acquiferi sono costituiti da materiali identificati come risorsa utile estraibile, in molti casi gli scavi, oltre ad intercettare le falde superiori, si spingono fino alla falda regionale, causandone l'affioramento (Fig.5).



Fig. 5 - Falda affiorante in un lago di cava nel bacino Galeria-Magliana.

Fig. 5 - Water table in a quarry lake of the Galleria-Magliana quarry area.

Nel bacino Ardeatina – Laurentina i depositi ospitanti la Falda regionale non affiorano mai e pertanto non vengono intercettati dalle attività estrattive. Pertanto si osservano sporadicamente fenomeni di affioramento di acque appartenenti prevalentemente alla “Falda superiore del settore albano” (La Vigna e Mazza 2015).

La normativa vigente (L.R. n. 17/2004) non prevede forme di tutela che impediscano o limitino le attività di scavo in

presenza di falde acquifere. A ciò si è cercato di porre rimedio introducendo nei piani di settore prescrizioni a tutela dei corpi idrici sotterranei. In particolare il P.R.A.E. prevede, oltre a opportuni sistemi di monitoraggio ai sensi della D.G.R. n. 222/2005, che gli scavi possano spingersi fino ad una distanza dalla falda principale tale da non interferire con le condizioni preesistenti dell'acquifero; nel Piano stralcio delle Attività Estrattive per il bacino Rio Galeria – Magliana tale limite è poi ulteriormente quantificato in almeno 2 m dal tetto delle argille di base, al fine di mantenere uno spessore minimo per il deflusso della falda principale e consentire almeno il parziale sfruttamento del cosiddetto “sottobanco” delle ghiaie alla base della Formazione di Ponte Galeria, che costituisce il livello di maggior pregio come inerte da calcestruzzi.

Allagamenti urbani

Una delle problematiche riguardanti il rischio geologico-idraulico che interessa il territorio di Roma Capitale è costituito dagli allagamenti che, in modo particolare nell'ultimo decennio, hanno prodotto gravi problematiche nella gestione del territorio e ingenti danni economici.

Nell'ambito del territorio di Roma Capitale i fenomeni di allagamento possono essere suddivisi in tre tipologie di processo:

- per esondazione dei flussi idrici del reticolo idrografico naturale distinto in: principale (Tevere e Aniene), secondario (affluenti del Tevere e Aniene) e minore;

- per esondazione del reticolo idrografico artificiale costituito dai canali di bonifica agraria;
- per deflusso idrico di acque meteoriche non regimate in un sistema di smaltimento fognario urbano a rete.

Gli allagamenti per esondazione del reticolo idrografico principale, secondario e minore riguardano le parti del territorio delle pianure alluvionali, sia interessate da insediamenti urbani che da attività agricole. La causa principale è costituita dall'aumento di portata prodotta dagli afflussi meteorici a scala di bacino. Subordinatamente per entità di fenomeni, sempre a scala di bacino, l'apporto delle superfici urbane impermeabili contribuisce all'incremento di quella portata del reticolo sottratta ai processi naturali di infiltrazione e di ricarica delle falde idriche sotterranee. Inoltre, in queste aree di piana alluvionale, l'innalzamento del livello delle falde acquifere contribuisce ad una diminuzione della possibilità di infiltrazione idrica favorendo le condizioni di allagamento.

Gli allagamenti per esondazione del reticolo idrografico dei canali di bonifica agraria colpiscono principalmente le aree alluvionali e della foce del Tevere, sia urbanizzate che agricole, di cui molte ricadono nell'ambito del Municipio 10.

Le cause sono costituite dall'incremento degli afflussi idrici

nei canali per l'aumento progressivo delle superfici urbane impermeabilizzate che, negli ultimi 30 anni, hanno interessato gli ambiti di alcuni sottobacini (Acque Alte, Medie e Basse) ubicati in sinistra idrografica del Tevere (Infernetto, Stagno di Levante, Bagnoletto) e della parte destra (insediamenti di Piana del Sole).

Le condizioni della presenza di livelli di falda subaffioranti o poco profondi, caratteristiche delle aree lagunari deltizie, associate a situazioni morfologiche altimetriche prossimali alla quota zero s.l.m., rappresentano ulteriori fattori predisponenti per l'originarsi di condizioni di pericolosità e di rischio (*groundwater flooding*).

Gli allagamenti che si originano invece per deflusso di acque meteoriche non regimate da un adeguato sistema di smaltimento fognario, interessano molte aree urbanizzate del territorio della città di Roma, sia nelle zone centrali che in quelle periurbane e periferiche (Fig.6). La causa principale di questi fenomeni è dovuta essenzialmente, da una parte all'inadeguatezza e al sottodimensionamento infrastrutturale, dall'altra ad un cambiamento dei regimi pluviometrici degli ultimi anni (Conte et al, questo volume), entrambi associati ad una diffusa carenza di manutenzione sia delle reti di smal-

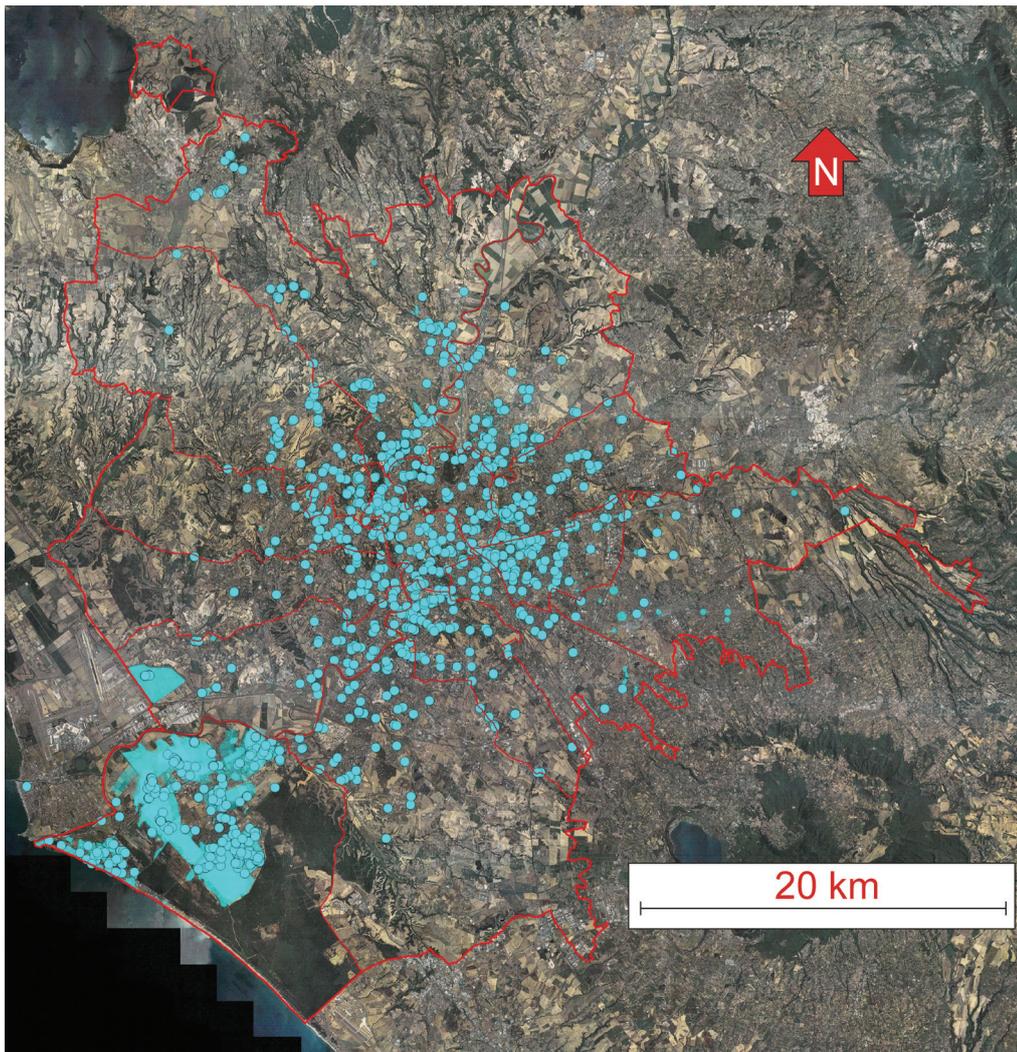


Fig. 6 - Zone di Roma Capitale interessate da allagamento urbano in seguito a forti piogge.

Fig. 6 - Areas affected by storm flooding in the Municipality of Rome.

timento che del territorio. Sempre più frequentemente, infatti, negli ultimi anni, si sono verificate crisi di funzionamento degli impianti di sollevamento acque, sia nell'area delizia del Tevere che in altre aree (Fosso di Pratolungo, Corcolle, Prima Porta etc.). Tali crisi si sono verificate per problemi gestionali di esercizio degli impianti, per portate superiori a quelle di progetto e, da ultimo, per i ridotti tempi di corrivazione dei bacini interessati (Fig.7).



Fig. 7 - Un esempio di area urbana allagata in seguito all'evento di pioggia eccezionale del 31 gennaio 2014 (da Repubblica.it).

Fig. 7 - An example of flooded area during the storm event of January 31 2014 (from Repubblica.it).

Patrimonio storico

In una città come Roma, che presenta una stratigrafia plurimillennaria spesso anche 18 metri ed oltre, grande attenzione deve essere prestata alle conseguenze che la falda acquifera può apportare al suo patrimonio storico-archeologico. Mentre con la costruzione dei muraglioni lungo il Tevere la città veniva praticamente affrancata dalle alluvioni, che sin dagli albori periodicamente ne invadevano i settori a quote più basse, proprio alla loro messa in opera, ed a quella dei due collettori fognari, in destra e sinistra idrografica, si deve una risalita sensibile della falda acquifera contenuta nei depositi alluvionali tiberini ed in quella dei suoi affluenti. Poiché il Tevere costituisce il livello di base locale della falda acquifera superficiale contenuta nei depositi misti antropico-alluvionali della piana tiberina, non riuscendo questa a immettersi nel Tevere come dovuto a causa della impermeabilizzazione dei suoi argini naturali, non le resta che aumentare la quota della sua superficie piezometrica andando ad allagare zone prima risparmiate da questa calamità.

Dando uno sguardo alla carta idrogeologica di Roma (La Vigna e Mazza 2015) si vede come gran parte del suo centro storico, e quindi del suo patrimonio archeologico, si trova posizionato sulla piana alluvionale esondabile del Tevere (Fig.8). Nel corso dei secoli quindi, questa piana esondabile ha subito un processo di aggradazione naturale ed in parte di aggrada-

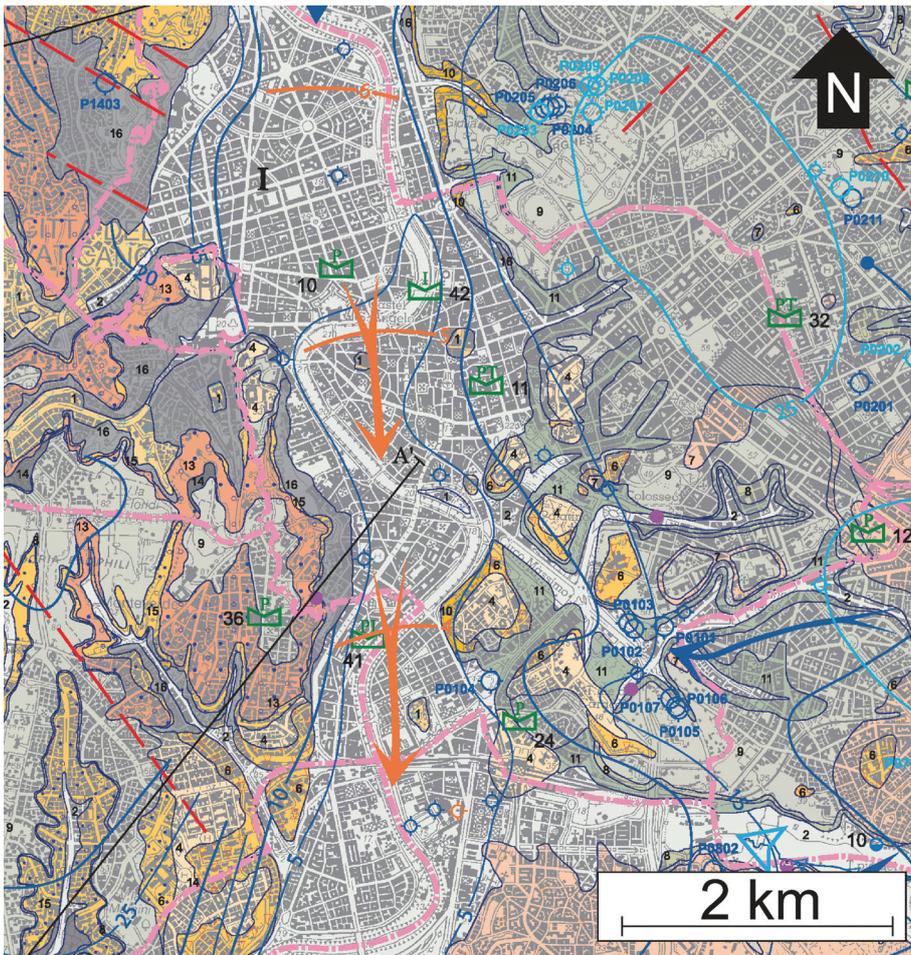


Fig. 8 - Stralcio della Carta Idrogeologica di Roma nell'area del centro storico.

Fig. 8 - Hydrogeological Map of Rome excerpt of the downtown.

zione antropica, in quanto le strutture abitative e monumentali venivano costruite via via sempre più in alto per sfuggire alle alluvioni del Tevere, innalzando il piano campagna con riporti che andavano ad unirsi e ad intersecarsi agli strati naturali di sedimenti (prevalentemente sabbie, limi-sabbiosi ed argille) depositi dagli eventi alluvionali. Si è passati così dalla quota media urbana in settori alluvionali di 7-7,5 metri s.l.m. di età Imperiale augustea fino ai 18-20 metri attuali. Ma al contempo, poiché il sistema fiume-piana alluvionale è in continuo equilibrio dinamico anche il letto del Tevere, che in età romana si trovava nella zona Ostiense-Marconi a quota media inferiore a 0 metri s.l.m. (Marcelli et al. 2009), è aggradato via via nel tempo fino a raggiungere i + 2,39 m. s.l.m. nel 1930, + 2,96 m. s.l.m. nel 1962 (Frosini 1977).

Se in corrispondenza del Tevere le situazioni archeologiche presentano numerose criticità, altrettanto avviene per i settori della piana alluvionale relativamente più lontani dal corso del Tevere ma che comunque ad esso sono legati in quanto livello di base locale della falda acquifera. Numerosi ambienti ipogei scavati nel passato sono costantemente al di sotto del livello della piezometrica e quindi continuamente allagati, a partire dall'Euripus ed il vicino sepolcro di Aulo Irzio, sotto il palazzo della Cancelleria (falda a 6,30 metri di profondità), alla meridiana dell'orologio solare di Augusto, rinvenuta a 10,80 metri s.l.m. in una cantina di via di Campo Marzio n. 48 (falda acquifera a circa 11 metri s.l.m.). Anche i recenti saggi di scavo effettuati nel Campo Marzio per la realizzazione della metropolitana C si sono dovuti arrestare a causa della presenza della falda acquifera situata a quota intorno agli 11-12 metri s.l.m. (Filippi 2011).

Citiamo a questo proposito lo scavo per il recupero dell'Ara Pacis Augustae nel 1938, in occasione del bi-millenario della nascita di Augusto. Trovandosi il monumento nel sottosuolo per circa 4 metri al di sotto della falda acquifera, venne approntata per l'epoca una ingegnosa metodologia criogenica. In pratica vennero congelati tramite azoto liquido i sedimenti attorno al monumento mediante una paratia di pali.

Attualmente anche l'area archeologica di Ostia antica si trova ad avere problemi con la falda acquifera, che non riesce a smaltire le acque piovane intense connesse con i fenomeni noti come "bombe d'acqua", che in tempi brevi fanno affluire alla falda un notevole volume di acqua, innalzandola in modo notevole (*groundwater flooding*) e rendendo interi settori dello scavo non visitabili a causa degli allagamenti (decumano, mitrei, foro, castrum).

Discussione

L'impatto sulle acque sotterranee all'interno di una specifica area urbana dipende sia dalla sua posizione geografica che dalla situazione economica della città stessa o del paese. Mentre per le città dei paesi in via di sviluppo gli interessi principali sono relativi alla quantità e alla qualità dell'acqua, nei paesi sviluppati, le acque sotterranee urbane rivestono importanza in termini prevalentemente economica e ambientale (Vazquez-Sune et al. 2005). Ad esempio utilizzare le acque sotterranee presenti nel proprio sottosuolo potrebbe ridurre la

pressione sulla rete di approvvigionamento convenzionale, per lo più per le acque ad uso non potabile, mentre, non utilizzare queste acque sotterranee potrebbe portare ad una troppo bassa soggiacenza e a danni strutturali a opere interrato (sistemi ferroviari sotterranei, cantine, parcheggi sotterranei, etc.) ma anche all'immenso patrimonio storico archeologico romano. Recentemente, diversi gruppi di ricerca hanno sviluppato metodologie per la valutazione delle risorse idriche sotterranee nelle aree urbane, per i quali sono necessarie le seguenti fasi:

1. identificare i fattori più significativi nel ciclo idrologico urbano;
 2. sviluppare metodologie per quantificare e controllare questi fattori;
- e a questi si può aggiungere:
3. mettere in atto strategie di adattamento cercando di trarre il massimo beneficio dalle risorse idriche sotterranee nell'ottica della sostenibilità ambientale e della resilienza urbana.

Come è stato precedentemente illustrato i fattori più significativi che interessano le acque sotterranee sono molteplici.

Per quello che riguarda le circolazioni idriche all'interno dei riporti, pur costituendo esse di fatto le falde con le quali interagisce prevalentemente l'ambiente urbano, non risultano ancora sufficientemente studiate, sia dal punto di vista idrogeologico che da quello delle valutazioni relative alle possibili interferenze con opere realizzate nel sottosuolo, come i parcheggi sotterranei. Tali interferenze (cd. "effetti barriera") possono infatti provocare modificazioni nel livello di falda con conseguenti variazioni delle tensioni efficaci che, se non adeguatamente considerate in sede di progettazioni, anche attraverso l'utilizzo di modellazioni, possono dare luogo a dissesti anche gravi agli edifici. Già in passato Ventriglia (1971) aveva proposto una mappatura dello spessore dei terreni di riporto in tutto il territorio di Roma Capitale. La sfida oggi è quella di aggiornare questa mappatura relativamente ai nuovi insediamenti urbani e di integrarla con i dati di circolazione idrica.

Per quanto concerne la contaminazione di queste acque e quelle delle falde più profonde, è lecito domandarsi se in un contesto gravato da problematiche che vanno dalla mancanza di risposte ad alcuni temi specifici (come precedentemente evidenziato relativamente al problema del fondo naturale), all'indeterminatezza temporale dei procedimenti amministrativi di bonifica, al diverso modo di interpretare le norme di settore da parte delle amministrazioni competenti e quanto altro, vi siano possibilità concrete di trasformare quelli che sono fattori di indiscutibile criticità per il territorio, come i siti contaminati, in occasioni di resilienza urbana. La risposta è affermativa.

Innanzitutto il numero e la disposizione spaziale dei dati disponibili, derivanti dagli esiti delle perforazioni realizzate nell'ambito, ad esempio, dei procedimenti di bonifica, consente di ricavare informazioni preziose per sviluppare approfondimenti specifici o accrescere il bagaglio di conoscenze su temi già noti; si pensi ad esempio allo sviluppo di correlazioni stratigrafiche di dettaglio, alla mappatura dei riporti e delle falde più superficiali presenti al loro interno, all'acquisizione

di informazioni circa la presenza di cavità sotterranee e di evidenze archeologiche da tutelare.

Si pensi inoltre alla possibilità, grazie alla mappatura dei siti contaminati, di garantire la realizzazione di interventi urbanistici e lavori pubblici senza interruzioni dovute a problematiche di natura ambientale che sopraggiungono in corso d'opera.

Un accenno al notevole apporto in termini di accresciuta resilienza urbana nei confronti delle acque sotterranee deriva dall'ultimazione di due ambiziosi progetti della città di Roma: il primo relativo alla realizzazione della già citata carta idrogeologica in scala 1:50.000 (La Vigna e Mazza 2015), il secondo relativo alla costituzione della prima rete di monitoraggio delle acque sotterranee di Roma (La Vigna et al. 2015), una rete costituita da un centinaio di soli pozzi pubblici estendibile a comprendere altri pozzi dell'Amministrazione Capitolina e pozzi di privati a determinate condizioni. Come si può intuire dalla figura 9, al verificarsi di un evento potenzialmente in grado di contaminare le falde acquifere di un sito, oggi si è in grado di individuare agevolmente, con l'ausilio di un unico strumento, sia la profondità della falda presente in sito che la presenza di pozzi della rete monitorabili nell'intorno del sito ai fini del controllo della diffusione della contaminazione. L'attività di monitoraggio della falda, eseguita in maniera sistematica, darà un prezioso contributo per ulteriori sviluppi futuri relativamente alle problematiche precedentemente citate. Ad esempio ad Ostia Antica è attualmente in corso uno studio in collaborazione tra il laboratorio di Idrogeologia dell'Università di Roma Tre e Soprintendenza Speciale per il Colosseo, il Museo Nazionale Romano e l'area archeologica di Roma per potere mettere in sicurezza l'area dagli allagamenti provocati dagli eventi meteorici estremi

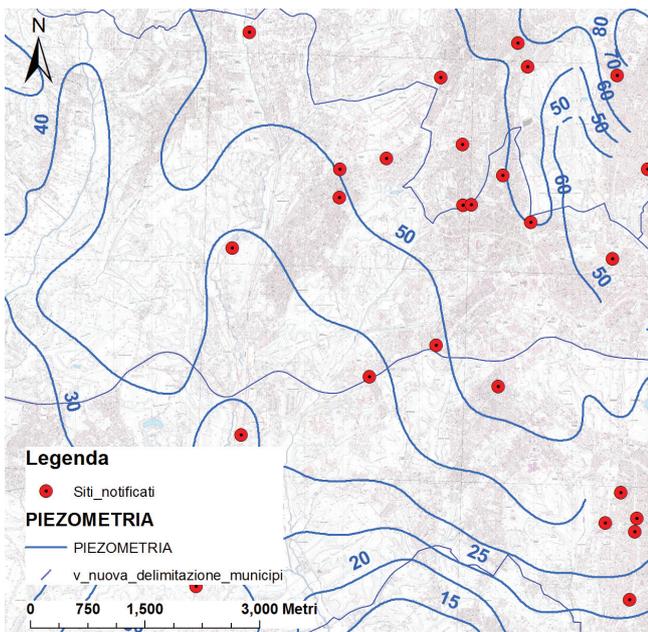


Fig. 9 - Stralcio di mappatura dei siti notificati ai sensi della norma sulle bonifiche di siti contaminati e piezometria locale.

Fig. 9 - Map excerpt of notified sites according to remediation sites laws and local water table.

sempre meno eccezionali (Conte et al. questo volume) e le connesse risalite di falda.

Oltre che tramite questi monitoraggi, le problematiche relative agli allagamenti sono attualmente affrontate attraverso attività di studio e progetti infrastrutturali, in fase di realizzazione, mediante collaborazioni istituzionali e interistituzionali (Autorità di Bacino del Fiume Tevere, Consorzio di Bonifica Tevere e Agro Romano, Dipartimento di Ingegneria dell'Università Roma Tre, Roma Capitale). Gli studi stanno esaminando le zone critiche del delta del Tevere ricadenti nel Municipio Roma 10 per la definizione delle aree di pericolosità e di rischio e la redazione delle relative norme tecniche per la gestione delle attività di pianificazione urbanistica, manutenzione urbana e protezione civile di Roma Capitale (Succhiarelli et al. 2015a, 2015b).

Per quello che riguarda le aree caratterizzate dagli allagamenti per deflusso idrico di acque meteoriche (*storm flooding*), presso il Dipartimento Programmazione e Attuazione Urbanistica di Roma Capitale è in corso la raccolta, mediante un sistema GIS, di tutti gli eventi documentati di allagamento urbano, che consentirà in breve tempo di aggiornare, consultare ed elaborare i dati in ordine agli interventi insediativi e infrastrutturali.

Prendendo esempio da altre grandi città in Europa e nel mondo, le più approfondite conoscenze in ambito idrogeologico e l'attività di monitoraggio, assieme agli studi appena citati, potranno essere molto utili per progettare anche a Roma interventi volti, ad esempio a prevenire il problema degli allagamenti urbani e ad alleggerire la pressione sui sistemi di drenaggio artificiale quali, la "Ricarica degli Acquiferi in Condizioni Controllate" (MAR – *Managed Aquifer Recharge*) o lo Stoccaggio delle acque meteoriche (*Stormwater Harvesting*). Quest'ultimo prevede la realizzazione di grandi serbatoi interrati oppure di aree allagabili da utilizzare all'occorrenza di



Fig. 10 - Intervento per la mitigazione del rischio allagamenti in Praça da Bandeira (Rio De Janeiro, Brasile), costituito da una cisterna di 30 metri di diametro e 30 di profondità realizzata al di sotto di una piazza molto trafficata nella zona portuale della città.

Fig. 10 - Intervention for flooding risk mitigation in Praça da Bandeira (Rio De Janeiro, Brazil), consisting of 30 meters in diameter and 30 deep tank made under a busy square in the port area of the city.



Fig. 11 - La nota "water square" di Rotterdam (Paesi Bassi) in cui vengono convogliate le acque piovane durante eventi eccezionali diminuendo la pressione sul sistema di smaltimento delle acque.

Fig. 11 - The famous "water square" in Rotterdam (Netherlands) in which rainwater are conveyed during storm events in order to decrease the pressure on the water disposal network.

grandi eventi meteorici per evitare allagamenti; sono esempi emblematici di questo le città di Rio de Janeiro (Fig.10), Barcellona, Jakarta e Rotterdam (Fig.11) (Molenaar et al. 2013). Questo tipo di soluzioni potrebbero essere cruciali in settori quali il Municipio 10 di Roma, in particolar modo la zona di Stagni di Ostia.

Quando invece le condizioni idrogeologiche lo consentono, ovvero quando la permeabilità degli acquiferi è discreta e quando la soggiacenza della falda non è troppo prossima al piano campagna, allora si potrebbe ricorrere al primo tipo di intervento, ovvero la "Ricarica degli acquiferi". Questa soluzione prevede in generale che venga favorita l'infiltrazione efficace, favorendo quindi la ricarica contrariamente all'impermeabilizzazione messa in atto di norma dal tessuto urbano (Yang et al. 1999). Esistono molteplici tecniche a seconda delle condizioni idrogeologiche, ma ovviamente questo genere di soluzione deve essere sempre accompagnata da un'attenta valutazione volta a prevenire l'immissione di contaminanti nelle falde acquifere. Nell'ambito della città di Roma questo genere di soluzione potrebbe essere adottata in grandissima parte della città ma in particolare nei settori dei Municipi 2 e 3 (La Vigna et al. 2016), dove l'esistenza di diversi settori soggetti ad allagamento (Ombuen et al. 2008) corrisponde anche ad un assetto idrogeologico particolarmente favorevole. Infatti, la zona si trova al di sopra del più vasto ed importante corpo idrico sotterraneo presente in città, ovvero l'acquifero posto all'interno del cosiddetto Graben del Paleotevere, una depressione tettonica di oltre 100 metri di profondità e larga oltre 5 km, colmata prevalentemente dal complesso idrogeologico della formazione del Fosso della Crescenza (La Vigna et al. 2008, 2010; La Vigna e Mazza 2015; Mazza et al. 2015). La soggiacenza di questa falda nel settore e la buona permeabilità dei terreni sopra citati è tale da poter permettere, posto il

necessario benessere da parte degli enti preposti, l'immissione di acqua a caduta anche attraverso pozzi di iniezione, ovviamente a seguito di un filtraggio volto a contenere gli eventuali inquinanti dilavati sulla superficie urbanizzata (Australian Council 2009a, 2009b).

Infine, ma non ultimo in quanto ad importanza, il nuovo bagaglio di conoscenze sintetizzato sulle acque sotterranee di Roma potrà permettere l'implementazione più consapevole e controllata di sistemi di geoscambio per sistemi di climatizzazione geotermici a bassissima entalpia, sia a circuito chiuso (*closed loop*) sia a circuito aperto (*open loop*). Le temperature delle acque sotterranee di Roma, infatti, sono caratterizzate da valori particolarmente favorevoli all'uso di queste tecnologie e, se opportunamente dimensionate e ben distribuite sul territorio, potrebbero abbattere moltissimo non solo i consumi di energia, ma anche le emissioni di CO₂ e la diffusione di polveri sottili nell'aria. Relativamente a questo aspetto però bisogna purtroppo prendere atto che nella Regione Lazio, ormai da troppo tempo, mancano le norme che regolino questi impianti, rendendo quindi molto difficile ogni ipotetica pianificazione.

Conclusioni

Il rapporto esistente tra Roma e le acque ha origini millenarie. Nel corso dello sviluppo della città la saggezza che caratterizzava i fondatori nell'attenzione verso questo elemento si è andata perdendo e oggi, non essendo l'approvvigionamento idropotabile ricercato in sito, la risorsa idrica sotterranea locale da una parte subisce notevole pressioni dal sistema antropico, dall'altro essa stessa costituisce un elemento di pressione laddove la sua locale risalita interferisce con le strutture e/o con il patrimonio posto in ipogeo o in zone che si trovano in aree a quote altimetriche molto basse.

Le nuove conoscenze di base sull'idrogeologia locale, il controllo delle acque sotterranee attraverso la nuova rete di monitoraggio, assieme a diverse tecniche innovative, possono contribuire a far sì che le criticità idrogeologiche accentuate dai cambiamenti climatici in atto possano essere affrontate attraverso una strategia di adattamento volta ad incrementare la resilienza urbana.

L'inclusione di Roma Capitale nelle reti internazionali di 100 Resilient Cities e di C40 ha offerto rilevanti opportunità di accedere a esperienze internazionali innovative nell'ambito della gestione delle acque urbane, anche nella prospettiva del cambiamento climatico. In particolare, nell'ambito del processo di elaborazione della strategia di resilienza della città, tecnici dell'Amministrazione Capitolina ed altri stakeholder urbani hanno avuto l'opportunità di venire in contatto con progetti e strategie di gestione delle acque maturati nelle città di Rotterdam, New Orleans, Copenhagen, Vejile, Mexico City, Buenosaires, Surat, Norflk, Berkley, Bangkok, Johannesburg, Barcellona e Rio de Janeiro. Prendendo spunto dalle esperienze di queste ed altre città nel mondo, anche Roma necessita di affrontare questi problemi con un approccio integrato, essendoci per molti aspetti la soluzione, non davanti ai nostri occhi, ma sotto i nostri piedi.

BIBLIOGRAFIA

- Australian Councils of Nat. Resource Management Ministerial, Environ. Protection and Heritage, Health and Medical Research (2009) Australian Guidelines 23 for Water Recycling: Managing health and environmental risks (Phase 2). Stormwater Harvesting and Reuse.
- Australian Councils of Nat. Resource Management Ministerial, Environ. Protection and Heritage, Health and Medical Research (2009) Australian Guidelines 24 for Water Recycling: Managing health and environmental risks (Phase 2). Managed Aquifer Recharge.
- Capelli G. (2016). La Marrana dell'acqua Mariana. Un corso d'acqua al servizio dei Papi. *Acque Sotterranee-Italian Journal of Groundwater*: 4/142: 79-82. DOI: 10.7343/AS-135-15-0162
- Conte G, Del Bon A., Gafà R.M., Martarelli L., Monti G.M. (2016). Analisi meteorologica del territorio di Roma nel periodo 1984-2014. *Acque Sotterranee-Italian Journal of Groundwater* 4/142, 33-45. DOI:10.7343/AS-130-15-0157
- Corazza A., Lombardi L. (2016). Le sorgenti storiche di Roma. *Acque Sotterranee-Italian Journal of Groundwater* 4/142, 71-73. DOI: 10.7343/AS-133-15-0160.
- Corazza A., Lombardi L. (1995). Idrogeologia dell'area del centro storico di Roma. Mem. Descr. Carta Geol. d'It., 50
- Corazza A., Lanzini M., Rosa C., Salucci R. (1999). Caratteri stratigrafici, idrogeologici e geotecnici delle alluvioni tiberine nel settore del centro storico di Roma. *Il Quaternario*. 12 (2)
- Corazza A., Lombardi L., Leone F., Brancaloni R., Lanzini M. (2005). Le acque sotterranee nei terreni di riporto della città di Roma. Atti dei Convegni dei Lincei, 218, Convegno "Ecosistema Roma", 14-16 aprile 2004
- Ellis B. (1999). Impacts of urban growth on surface water and groundwater quality. IAHS no. 259, IAHS, Wallingford, UK, 437 pp
- Filippi F. (2011). Le indagini in Campo Marzio occidentale. In: Archeologia e infrastrutture. Il tracciato fondamentale della linea C della metropolitana di Roma. Bollettino d'Arte, Volume Speciale, Olschki editore, pp.XVI-328.
- Freitas L., Pereira A.J.S.C., Afonso, M.J., Chaminè H.I. (2015). Urban groundwater mapping techniques: importance on urban water cycle. Congreso Internacional del Agua-Termalismo y Calidad de Vida. Campus de Aaga, Ourense, Spain
- Frosini P. (1977). Il Tevere. Le inondazioni di Roma e i provvedimenti presi dal governo italiano per evitarle. Accademia Nazionale dei Lincei. Commissione di Studio delle Calamità Naturali e della Degradazione dell'Ambiente-Vol. XIII.
- Garcia-Fresca B. (2007). Urban-enhanced groundwater recharge: review and case study of Austin, Texas, USA. In Howard KWC (Ed) *Urban Groundwater – meeting the challenge*. Taylor & Francis
- Howard KWC., Israfilow R. Eds. (2002). *Current Problems of Hydrogeology in Urban Areas, Urban Agglomerates and Industrial Centres*. NATO Sciences Series IV. Earth and Environmental Sciences.8. Springer-Science+Business Media, B.V. DOI 10.1007/978-94-010-0409-1
- La Vigna F., Martelli S., Bonfà I. (2016). Stormwater harvesting and Managed Aquifer Recharge (MAR) in the city of Rome: possible solution for a better management of stormwater and urban floods. Atti dei Convegni Lincei.
- La Vigna F., Mazza R., Amanti M., Di Salvo C., Petitta M., Pizzino L. (2016). The synthesis of decades of groundwater knowledge: the new Hydrogeological Map of Rome. *Acque Sotterranee -Italian Journal of Groundwater* 4/142,9-17. DOI: 10.7343/AS-128-15-0155.
- La Vigna F., Mazza R. (eds.) (2015). Carta Idrogeologica di Roma-Scala 1:50.000 "Hydrogeological Map of Rome- Scale 1:50.000". Roma Capitale. Edizioni POLI.GRAF. Pomezia.
- La Vigna F., Bonfà I., Martelli S. (2015) The Groundwater Monitoring Network of Rome. AQUA2015 Hydrogeology back to the future! 42° IAH Congress, Rome 13-18 September
- La Vigna F., Bonfà I., Martelli S. (2014). La determinazione dei valori di fondo naturale ed antropico nelle acque sotterranee dei grandi agglomerati urbani. *Acque Sotterranee – Italian Journal of Groundwater* 3/136, 57-58. DOI 10.7343/AS-074-14-0100
- La Vigna F., Ciadamidaro S., Mazza R., Mancini L. (2010). Water quality and relationship between superficial and ground water in Rome (Aniene River basin, central Italy). *Environmental Earth Sciences*, 60(6), DOI 10.1007/s12665-009-0267-2
- La Vigna F., Capelli G., Mazza R. (2008). Carta Idrogeologica del Settore Terminale del Bacino del Fiume Aniene (Roma) – Hydrogeological Map of the Lower Aniene River Basin. In Funicello, R., Giordano, G. e Mattei M. (Eds) Mem. Descr. Carta Geol. d'It., 80, Roma - ISSN -0242
- Manca F., Capelli G., La Vigna F., Mazza R. e Pascarella A. (2014). Wind-induced salt-wedge intrusion in the Tiber river mouth (Rome-Central Italy), *Environmental Earth Sciences* 72, 1083-1095 DOI 10.1007/s12665-013-3024-5
- Manca F., Capelli G., Tuccimei P. (2015). Sea salt aerosol groundwater salinization in the Litorale Romano Natural Reserve (Rome, Central Italy), *Environmental Earth Sciences* 73, 4179-4190. DOI: 10.1007/s12665-014-3704-9
- Marcelli M., Matteucci R., Sebastiani R. (2009). Il Sistema Informativo Territoriale per la gestione del patrimonio storico-archeologico del quartiere Ostiense-Marconi: uno strumento di ricerca e programmazione urbana. Suburbium II. Il suburbio di Roma dalla fine dell'età monarchica alla nascita del sistema delle ville (V-II secolo a.C.). *Collection de l'École française de Rome* 419, École française de Rome. pp.105-122.
- Mazza R., La Vigna F., Capelli G., Dimasi M., Mancini M., Mastroiello L. (2016). Idrogeologia del territorio di Roma. *Acque Sotterranee Italian Journal of Groundwater*: 4/142,19-30. DOI: 10.7343/AS-129-15-0156
- Molenaar A., Aerts J., Piet D., Ikert M. (2013) Connecting Delta Cities. Resilient cities and climate adaptation strategies. City of Rotterdam. ISBN 978-90-72498-00-7
- Ombuen S., Filpa A., Benelli F., Camerata F., Barbieri L., Pellegrini V., Borfecchia F., Caiaffa E., Pollino L., De Cecco L., Martini S., La Porta L. (2008) Climate Vulnerability map of Rome 1.0, DARC Roma Tre University and UTMEA Department of ENEA
- Succhiarelli C., Del Vecchio C., Cugola A., Ciuffreda M., Valeri F. (2015). Carta degli eventi di allagamento urbano di tipo meteorico e di esondazione dei canali artificiali di bonifica agraria del territorio del Municipio Roma X. Roma Capitale, Dipartimento Programmazione e Attuazione Urbanistica, Direzione Pianificazione Generale, scala 1:11.000, versione 1.0, carta tecnica interna, aprile 2015, Roma
- Succhiarelli C., Del Vecchio C., Cugola A., Ciuffreda M., Valeri F. (2015). Carta della pericolosità idraulica e delle zone colpite da eventi di allagamento del Municipio Roma X Roma Capitale, Dipartimento Programmazione e Attuazione Urbanistica, Direzione Pianificazione Generale, scala 1:11.000, versione 2.0, aggiornamento, carta tecnica interna, novembre 2015, Roma
- Tanner T., Mitchell T., Polack E., Guenther B. (2009). Urban Governance for Adaptation: Assessing Climate Change Resilience in Ten Asian Cities, IDS Working Papers DOI: 10.1111/j.2040-0209.2009.00315_2.x
- Taylor R., Scanlon B., Doll P., Rodell M., Van Beek R., Wada Y., Longuevergne L., Leblanc M., Famiglietti J., Edmunds M., Konikow L., Green T.R., Chen J., Taniguchi M., Bierkens M.F.P., MacDonald A., Fan Y., Maxwell R.M., Yehieli Y., Gurdak J.J., Allen D.M., Shamsudduha M., Hiscock K., Yeh P.J.F, Holman I., Treidel H. (2013) Groundwater and climate change. *Nature Climate Change* 3:322-329
- Vazquèz-Suñè E., Sánchez-Vila X., Carrera J. (2005). Introductory review of specific factors influencing urban groundwater, an emerging branch of hydrogeology, with reference to Barcelona, Spain. *Hydrogeology Journal* 13:522-533. DOI 10.1007/s10040-004-0360-2
- Ventriglia U. (1971) La Geologia della Città di Roma. Amm. Prov. di Roma
- Yang Y., Lerner D.N., Barrett M.H., Tellam J.H. (1999). Quantification of groundwater recharge in the city of Nottingham, UK. *Environmental Geology*, 38 (3), pp 183-198