

Sprofondamenti in aree urbane: il caso del parco “Ytzhak Rabin” (via Panama, Roma)

Subsidence in urban areas: the “Ytzhak Rabin” park (via Panama, Roma) case history

ARGENTIERI A. (*), CECCHINI F. (****), CHIAPPINI M. (**), DE BELLIS S. (*),
DE RITIS R. (**), DI FILIPPO M. (***), DI NEZZA M. (**), MARGOTTINI S. (****),
MATERNI V. (**), NARDI A. (**), PIRO M. (*), ROTELLA G. (*)

RIASSUNTO - All'interno del Parco Ytzhak Rabin, contiguo al comprensorio di Villa Ada nell'area urbana di Roma, è stata rilevata nel Settembre 2012 la prima evidenza di fenomeni di sprofondamento, sino ad allora non censiti. In tutta la zona è però ampiamente documentata la presenza di estese reti caveali sotterranee (catacombe) sviluppate ai margini della via Salaria.

Il dissesto, segnalato tempestivamente alle autorità competenti, merita particolare attenzione in quanto ubicato a breve distanza da un'area giochi situata in un settore della villa intensamente frequentato. Parallelamente al monitoraggio periodico dei fenomeni, che hanno mostrato una significativa evoluzione e propagazione a seguito delle intense precipitazioni del gennaio-febbraio 2014, è stata avviata una campagna di indagini geofisiche (metodi geoelettrici, gravimetrici e georadar), di concerto con la Direzione Protezione Civile di Roma Capitale, che ha contestualmente posto in essere le prime misure di sicurezza tramite recinzione dell'area e apposizione di segnaletica provvisoria. I dissesti ad oggi censiti sono 28, distribuiti lungo un allineamento circa WNW-ESE, e sono espressione superficiale dei crolli localizzati della volta di una rete di cavità ipogee, verosimilmente analogo ai sistemi di catacombe ben noti nei dintorni della via Salaria. Le prospezioni geofisiche preliminari sono state sperimentate in un'area campione di limitata estensione, allo scopo di testare l'applicabilità dei metodi e impostare la sistematica esplorazione indiretta del sottosuolo dell'intero Parco Rabin. Una volta definito il quadro conoscitivo, da integrarsi tramite perforazioni geognostiche e/o esplorazioni dirette della rete caveale, si potrà valutare lo stato di conservazione di volte e pilastri e quindi individuare, in funzione del relativo grado di pericolosità, gli idonei interventi di messa in sicurezza dell'area per restituirla nuovamente alla piena fruizione.

PAROLE CHIAVE: cavità sotterranee, Roma, ambiente urbano, prospezione geofisica, sprofondamento

ABSTRACT - In Rome urban area, within the garden dedicated to Ytzhak Rabin (a portion of the Villa Ada park), occurrence of a few collapses has been observed for the first time in September 2012. In the surroundings, presence of underground cavities- mainly catacombs- is conversely well documented by previous studies.

Local authorities were immediately informed of sinkholes formation, because collapses occurred very close to a playground located in a highly frequented sector of the garden. Propagation processes of the phenomena, periodically monitored since their first observation, significantly fastened after a period of heavy rainfalls on Rome area in January-February 2014. Thus, multidisciplinary geophysical investigations have been started in agreement with Civil Protection of Rome Municipality, who has taken preliminary safety measures (installation of fences and danger signals). Hitherto, 28 sinkholes have been identified, aligned along a WNW-ESE trending zone, testifying localized collapses of the roof of underground cavities, probably belonging to the palaeocristian catacomb systems dug nearby Via Salaria. Preliminary geophysical prospections have been performed in a small test area, in order to verify methods applicability and thus program a systematic survey of the whole garden. Drillings, and direct exploration of the accessible galleries, will complete the reconstruction of underground geometry and conservation state of vaults and pillars. Once completed the hazard assessment, the planning of urgent works is expected in order to restore the complete use of the garden.

KEY WORDS: underground cavities, Rome, urban environment, geophysical exploration, collapse

(*) Città Metropolitana di Roma Capitale - Dipartimento IV Servizio 1 Difesa del Suolo, viale di Villa Pamphili, 84, 00152, Roma

(**) Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, via di Vigna Murata, 605, 00143, Roma

(***) Sapienza - Università di Roma, Dipartimento di Scienze della Terra, piazzale Aldo Moro 5, 00185, Roma

(****) Geologia - Prospezioni geofisiche - Topografia, Roma

1. - INTRODUZIONE

Il Servizio Difesa del Suolo - Provincia di Roma (dal 2015 Città Metropolitana di Roma Capitale) e l'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, nell'ambito di un protocollo d'intesa finalizzato alla "Caratterizzazione geologico - tecnica e geofisica di siti interessati da sinkholes e da eventi franosi nell'ambito del territorio provinciale di Roma", hanno avviato una serie di campagne di indagini multidisciplinari, congiuntamente al Dipartimento di Scienze della Terra- "Sapienza" Università di Roma, in siti soggetti a sprofondamenti di origine sia naturale che antropica.

Un caso di particolare rilevanza è quello del Parco Yitzhak Rabin, nell'area urbana di Roma Capitale (Municipio II), dove nel settembre 2012 è stata da noi osservata la prima evidenza di due sprofondamenti, sino ad allora non censiti nell'area, rivelatisi fenomeni precursori di un processo più ampio tuttora in evoluzione. Il presente studio illustra i risultati preliminari del monitoraggio dei dissesti e della prima fase di prospezioni geofisiche in un'area test, avviate di concerto con la Direzione Protezione Civile di Roma Capitale, finalizzate a ricostruire geometria, natura e genesi delle cavità sotterranee che hanno dato origine alle voragini. Tale base conoscitiva è funzionale alla programmazione di rilievi geofisici estesi all'intera superficie del parco e di una successiva fase di esplorazione diretta degli ipogei; la definizione del quadro generale permetterà così di valutare stato di conservazione e grado di pericolosità della rete caveale e quindi di individuare idonei interventi di messa in sicurezza dell'area.

2. - INQUADRAMENTO AMBIENTALE DELL'AREA

Agli inizi del XX secolo lo sviluppo urbanistico di Roma capitale del Regno d'Italia contemplava a Nord-Est un vasto sistema di ville urbane e suburbane di pregio, estese da Villa Borghese fino alla confluenza dell'Aniene con il Tevere. Tra queste la "Villa Reale" (oggi sede dell'Ambasciata della Repubblica Araba d'Egitto), sita all'interno della Villa Savoia, residenza della Casa sabauda dal 1872 e poi successivamente riacquistata nel 1904 da Vittorio Emanuele III, che la destinò a residenza reale insieme al parco ed ai giardini. Il piano regolatore del 1909 di Edmondo Sanjust di Teulada elaborò previsioni di espansione compatibili con la presenza del sistema di ville (DI GIOVINE *et alii*, 1996). Nel 1929 venne ultimata la realizzazione di via Panama, arteria di

collegamento tra la via Salaria e il quartiere Parioli, che con la concomitante urbanizzazione delle aree circostanti, determinatasi in attuazione del piano regolatore del 1931, interruppe la continuità del comprensorio rispetto a Villa Borghese e agli altri parchi (fig. 1). Conclusa la Seconda guerra mondiale, l'area divenne dichiarata parco pubblico nel 1951; dal 1957 si avviò il percorso tendente ad introdurre il comprensorio tra le ville pubbliche del Comune di Roma che finalmente si compì, dopo alterne vicende legate a un contenzioso tra lo Stato e la famiglia Savoia, con la conferma di tale destinazione nel piano regolatore del 1965 (DI GIOVINE *et alii*, 1996).

L'attuale superficie di Villa Ada, inserita all'interno del contesto urbano di Roma nord, supera i 160 ettari, in maggior parte di proprietà pubblica; seppur composto da settori con diverse destinazioni d'uso, il comprensorio costituisce prevalentemente un grande parco di origine antropica, con una residuale presenza di comunità vegetali seminaturali. I vari interventi pianificati e realizzati nel tempo dal Servizio Giardini e dall'Ufficio Tutela Ambiente del Comune di Roma hanno favorito il mantenimento di una copertura arborea per l'80% della superficie, con impianti a pino domestico (*Pinus pinea*) e sughera (*Quercus suber*), boschetti spontanei dominati dal leccio (*Quercus ilex*) e alloro (*Laurus nobilis*), "invasivi" aggruppamenti di robinia (*Robinia pseudoacacia*), nonché presenza di esemplari arborei notevoli sia per età sia per provenienza geografica, anche esotica, quale ad esempio la *Metasequoia glyptostroboides* (DI GIOVINE *et alii*, 1996). L'intero comprensorio della villa ospita un popolamento animale piuttosto ricco e vario funzionale al mantenimento di un collegamento faunistico con la Valle del Tevere e la Riserva Naturale della Valle dell'Aniene.

Il sito di studio coincide con il parco intitolato allo statista israeliano Yitzhak Rabin, area verde allungata in direzione circa E-W che si sviluppa in contiguità al limite meridionale di Villa Ada, tra il muro di cinta originario a Nord e via Panama a Sud. Si tratta di un giardino intensamente frequentato dagli abitanti dei circostanti quartieri, e quindi degno di grande attenzione per gli aspetti di tutela del territorio e di prevenzione dei fenomeni di dissesto.

3. - CARATTERI IDROGEOMORFOLOGICI E GEOLOGICI

Dal punto di vista morfologico Villa Ada si sviluppa sui rilievi collinari posti in sinistra idrografica del fiume Aniene, in prossimità della



Fig. 1 – Inaugurazione di via Panama il 10 Ottobre 1929 a Roma, alla presenza del Governatore della città Francesco Ludovisi Boncompagni e del Ministro degli Esteri del paese centramericano (Archivio Istituto Luce; <http://www.mediatecaroma.it/>).

– Rome Governor Francesco Ludovisi Boncompagni and Panama's Foreign Minister attending via Panama's opening in Rome on October, 10th 1929 (<http://www.mediatecaroma.it/>).

confluenza con il Tevere (fig. 2). Si tratta delle forme risultanti dalla modellazione del *plateau* vulcanico costituito dai prodotti del Complesso Sabatino, sovrainposti alle sequenze sedimentarie continentali del Pleistocene medio (FUNICIELLO *et alii*, 1995; FUNICIELLO & ROSA, 1995; FUNICIELLO *et alii*, 2008; MARRA *et alii*, 1995; MARRA & ROSA, 1995; SUCCHIARELLI, 2003). L'area sommitale a morfologia tabulare, che raggiunge quote massime comprese tra i 50 e i 60 m s.l.m. (Colle Finanziaria, Colle delle Cavalle Madri, Colle Roccolo), è solcata da due incisioni vallive a decorso meridiano convergenti verso Nord; le acque ruscellanti alimentano, con portate modeste, il lago artificiale realizzato negli anni '70 del secolo scorso, nella piana alle pendici meridionali di Monte Antenne (68 m s.l.m.). Come visibile nella sezione geologica di figura 2, i rilievi di Villa Ada - Monte Antenne sono bordati a NE da una presunta faglia diretta presunta, a decorso NW-SE, che ribassa verso il quadrante nordorientale il settore depresso in cui oggi si sviluppa il tratto terminale del fiume Aniene (SERV. GEOL. D'IT., 2008).

La geologia dell'area di Villa Ada è caratterizzata dalla presenza, nei settori topograficamente

più elevati, di lembi dell'Unità dei Tufi Stratificati Varicolori di La Storta (416 ± 6 Ka; KARNER *et alii*, 2001), alternanze di piroclastiti primarie cineritico lapillose, scorie grigie, pomice da ricaduta e livelli vulcanoclastici rimaneggiati con orizzonti pedogenizzati (SERV. GEOL. D'IT., 2008). Al di sotto di questa unità affiorano, nelle porzioni intermedie dei versanti, i Tufi Stratificati Varicolori di Sacrofano, di età Pleistocene medio p.p. (488 ± 2 Ka; KARNER & RENNE, 1998; KARNER *et alii*, 2001). Questi prodotti da ricaduta, ascritti alla struttura calderica di Sacrofano (Distretto Vulcanico Sabatino) ed estesamente rappresentati in quasi tutto l'areale del Foglio 374 "Roma" della Carta Geologica d'Italia scala 1: 50.000 (SERV. GEOL. D'ITALIA, 2008), sono stati depositi nell'arco di un lungo intervallo di tempo, come testimoniato dalla frequente presenza, a varie altezze stratigrafiche, di paleosuoli e depositi intercalati rimaneggiati (FUNICIELLO & GIORDANO, 2008).

Nella successione stratigrafica dei rilievi di Villa Ada le piroclastiti di Sacrofano poggiano sull'Unità del Palatino, di provenienza albana (533 ± 5 Ka; KARNER & RENNE, 1998; KARNER *et alii*, 2001), a sua volta sovrainposta alle sequenze sedimentarie

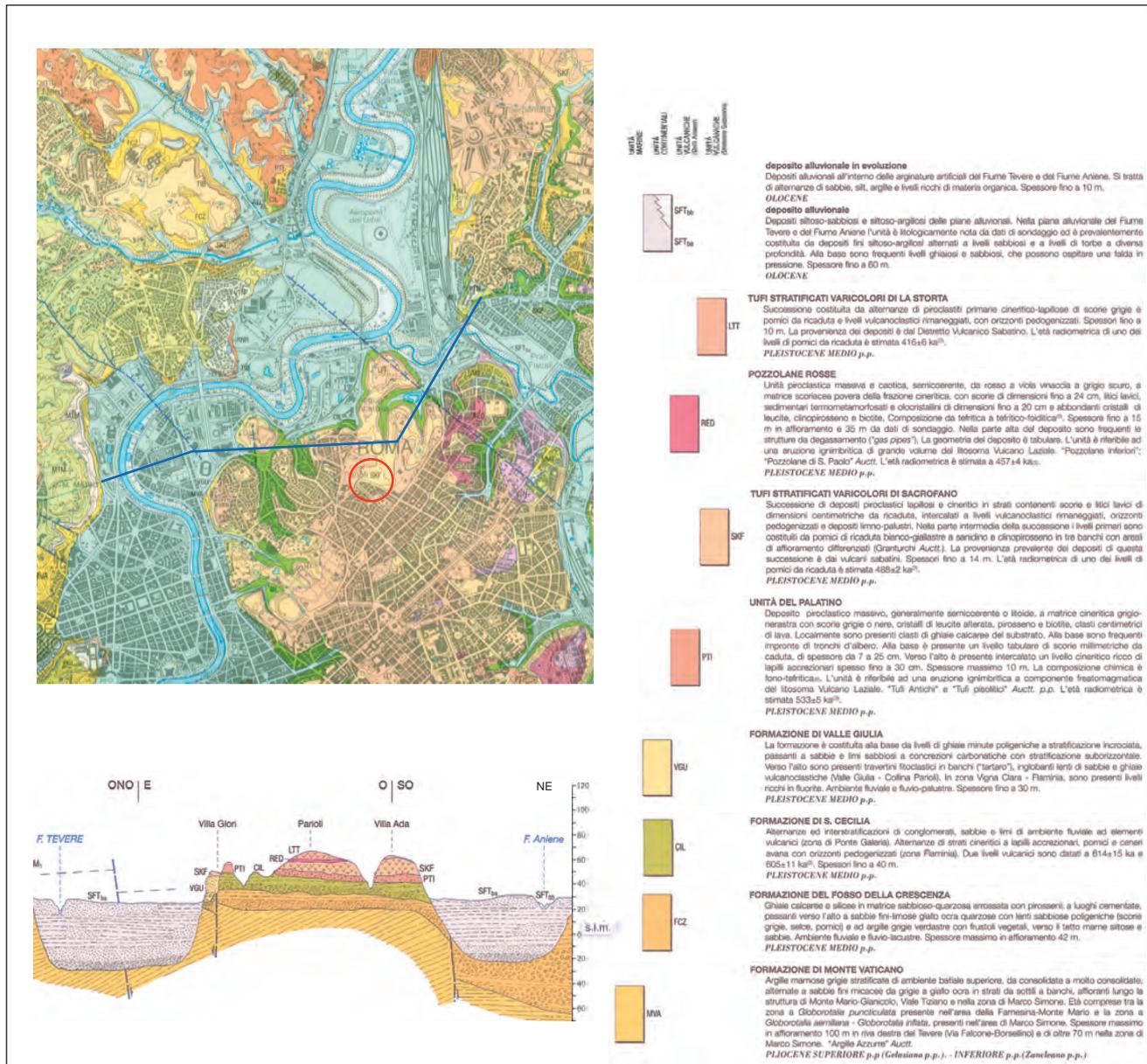


Fig. 2 – Stralcio della carta geologica in scala 1:50.000 – Foglio n. 374 Roma (SERV. GEOL. D'IT., 2008), con relativa sezione geologica e indicazione in rosso dell'area di studio.

– Detail of the Rome geological map (SERV. GEOL. D'IT., 2008) and relative geological cross-section; red circle shows the study area.

continentali di ambiente fluviale ascrivibili alla Formazione di S. Cecilia, di età Pleistocene medio p.p. (SERV. GEOL. D'IT., 2008).

Nello specifico il Parco Ytzhak Rabin si colloca nella zona di testata del reticolo idrografico precedentemente descritto. La successione stratigrafica locale, visibile in un vicino ed imponente scavo realizzato nel 2012 per la realizzazione di un parcheggio interrato (fig. 3), è composta da un'alternanza di depositi piroclastici, lapilli, cineriti, orizzonti vulcanoclastici rimaneggiati e livelli decimetrici di pomici intercalati nei paleosuoli riconducibili alla citata Unità di Sacrofano. Nella zona sommitale del plateau gli affioramenti sono

assai rari e circoscritti, a causa della presenza di copertura vegetale, di orizzonti pedogenizzati, o localmente di coltri di terreni di riporto.

4. - RETI CAVEALI E OPERE IN SOTTERRANEO NELLE ZONE CIRCOSTANTI LA VIA SALARIA

La particolare morfologia del territorio della città di Roma ed i caratteri geolitologici del sottosuolo hanno consentito, nel corso della sua storia millenaria, lo sviluppo di estese e complesse strutture sotterranee di gallerie e cunicoli di natura an-



Fig. 3 – Panoramica del grande scavo di via Panama per la realizzazione di un parcheggio interrato (foto marzo 2014).
 – Overview of the via Panama great excavation in the ground for the foundations of a parking (March 2012 photo).

tropica, riconducibili a due funzioni principali: coltivazione in sotterraneo di materiali da costruzione (cave di pozzolana, tufi litoidi e sabbie e ghiaie) oppure gallerie cimiteriali e catacombe sviluppate principalmente lungo le vie consolari. Il sottosuolo cittadino è inoltre attraversato da opere idrauliche antiche quali acquedotti, fognature e cunicoli drenanti (CRESCENZI *et alii*, 1995), o da opere sotterranee recenti quali gallerie, trafori.

Molti Autori hanno analizzato nel tempo gli aspetti di interesse sia culturale (archeologico, storico, artistico, religioso) che geologico-applicativo o idraulico delle reti caveali del sottosuolo urbano romano (DE ROSSI M.S., 1864; DE ROSSI G.B., 1864, MARUCCHI, 1900; DE ANGELIS D'OSSAT, 1930-32, 1931, 1932, 1939, 1945a, 1945b); furono però gli studi di VENTRIGLIA (1971, 2002) a impostare una moderna catalogazione sistematica dell'intero territorio cittadino, con definizione delle zone con presenza accertata o probabile di vuoti ipogei.

In particolare nel settore cittadino circostante la via Salaria sono localizzate alcune fra le catacombe più importanti di Roma (CORAZZA *et alii*, 2002; CRESCENZI *et alii*, 1995; LANCIANI, 1918; LEMBO FAZIO & RIBACCHI, 1990; NISIO, 2010; TESTINI, 1964; VENTRIGLIA, 1971, 2002; VENTRIGLIA & SCIOTTI, 1970). Questo vasto reticolo di gallerie, sviluppato nei depositi vulcanici pleistocenici (tufi e pozzolane) riferibili ai Tufi Stratificati Varicolori di Sacrofano), riutilizza a volte parti di vecchie cave in sotterraneo, scavate a partire dall'epoca romana, e presumibilmente ancora sporadicamente frequentate nel periodo medievale. Nella figura 4 (tratta da VENTRIGLIA 2002, cui si rimanda per le informazioni di dettaglio) è rappresentata la distribuzione degli ipogei censiti nelle vicinanze dell'area di studio, brevemente elencate di seguito.

Nelle immediate vicinanze di via Panama sono segnalate le Catacombe di Trasone, lungo la via Salaria, presso l'intersezione con via Taro, le cui gallerie attraversano la stessa strada estendendosi sotto Villa Ada in almeno due piani, scavati nei vari livelli dei Tufi Stratificati Varicolori di Sacrofano e probabilmente anche nelle pozzolane nere e nel tufo terroso. Sono inoltre menzionate le Catacombe dei Nuovi Gordiani, con ingresso in via Anapo, sviluppate in due livelli nei Tufi Stratificati Varicolori di Sacrofano. È altresì descritto un pozzo scavato su via Salaria tra via di Villa Ada, via Taro e via Anapo, che ha incontrato fra quota -10 m e -16 m dal p.c. tre ordini di gallerie scavate nel tufo, che potrebbero essere messe in relazione con le catacombe citate (VENTRIGLIA, 2002). Poco più a Nord si aprono, con ingresso sempre su via Salaria, le Catacombe di Priscilla, una delle più antiche strutture cimiteriali cristiane romane e la più famosa di questo settore cittadino; tali catacombe estese in più livelli sotto Villa Ada per oltre 13 km complessivi, le catacombe si approfondiscono per almeno 20 metri, anche in questo caso all'interno dell'unità dei Tufi Stratificati Varicolori di Sacrofano.

Spostandosi invece verso il centro città lungo la via Salaria si trovano le Catacombe di S. Saturnino, ubicate tra via Salaria angolo via Yser, che si estendono al di sotto di Villa Grazioli Lante con ingresso a 61 m s.l.m. e si approfondiscono per 6-7 m sempre all'interno dei Tufi Stratificati Varicolori di Sacrofano (VENTRIGLIA, 2002). Inoltre all'incrocio tra via Salaria e via Panama viene segnalata la presenza di una cava nelle piroclastiti sabatine (CRESCENZI *et alii*, 1995).

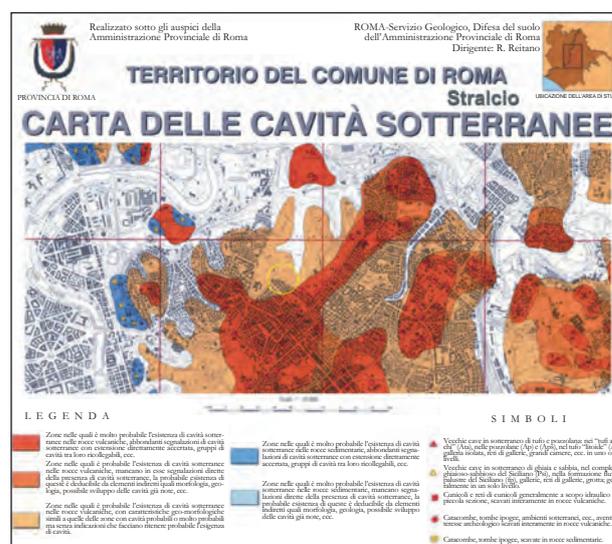


Fig. 4 – Stralcio della Carta delle cavità sotterranee della città di Roma (VENTRIGLIA, 2002), con indicazione in giallo dell'area di studio.
 - Detail of the Rome underground cavities map (VENTRIGLIA, 2002); yellow circle shows the study area.

Infine una campagna di sondaggi realizzati in via Panama, ad alcune centinaia di metri dal sito di studio, ha intercettato vuoti sotterranei di grandi dimensioni, interpretati come antiche cave di pozzolana, poste a profondità variabili tra 5 e 12 m dal p.c., nei Tufi Stratificati Varicolori di Sacrofano (VENTRIGLIA, 1971 e 2002).

Il sottosuolo di Villa Ada è inoltre attraversato dall'“Acquedotto Vergine” (*Acqua Virgo*), inaugurato nel 19 a.C. da Marco Vipsanio Agrippa, genero di Augusto. Si tratta della sesta opera idraulica romana in ordine di realizzazione e dell'unica ininterrottamente in funzione sino ad oggi; l'acquedotto, captate le sorgenti di Salone sulla via Collatina e raccolti altri contributi lungo un articolato percorso attraverso i settori orientali e settentrionali della città, recapitava le acque nel Campo Marzio, presso il Pantheon e le Terme di Agrippa (ASHBY, 1935; LUGLI, 1938; DE ROSA *et alii*, 1989; www.romasotterranea.it). La profondità dell'opera idraulica sotterranea raggiunge un massimo di 43 m nel tratto sotto viale Romania, ad assai breve distanza dal sito di studio, dove giunge dopo aver attraversato Villa Ada.

In prossimità della Palazzina Reale fu costruito, durante la Seconda guerra mondiale, un rifugio sotterraneo per la protezione del sovrano e della sua famiglia. Il “bunker di Villa Ada”, scavato nei livelli piroclastici fra il 1941 e il 1942, oggi si presenta in buono stato di conservazione, ma in totale abbandono e colonizzato, come molti altri spazi sotterranei della capitale, da persone senza fissa dimora. L'accesso è situato nelle vicinanze della prima scuderia (www.romasotterranea.it). Residenti della zona hanno fornito notizia della realizzazione nello stesso periodo di rifugi anche nell'area del Parco Rabin, dove dopo i bombardamenti di Roma del luglio 1943 furono realizzati manufatti precari usati come rifugio dagli sfollati.

In epoche recenti un intervento di radicale trasformazione del territorio ha avuto luogo al margine della zona di studio, dal lato opposto di via Panama rispetto al civico 62, dov'è presente un grande scavo realizzato, tra il 2010 e il 2011, su una superficie di oltre di proprietà privata, per la costruzione di un parcheggio interrato multipiano su una superficie di oltre 9.000 m² di proprietà privata; l'attuazione dell'intervento è ad oggi interrotta per il sequestro giudiziario dell'area avvenuto nel 2011 (<http://www.paesesera.it>, 19/12/2011). Lo sbancamento è posto al margine occidentale del Parco Rabin, a breve distanza dall'area giochi attrezzata, ed è confinato sui lati ovest, est e nord (lungo via del Canneto) da una imponente palificata (v. fig. 3). Acquisendo informazioni presso alcuni residenti della zona si è appreso infine che durante le operazioni di

realizzazione delle palificate è stato intercettato una condotta sotterranea di adduzione idrica, con cospicue venute d'acqua che hanno allagato l'adiacente via Panama.

5. - GLI SPROFONDAMENTI DI VILLA ADA - PARCO YITZHAK RABIN

I fenomeni di sprofondamento costituiscono eventi sempre più ricorrenti nell'area urbana di Roma, le cui cronache locali riportano con crescente frequenza il verificarsi di questa tipologia di dissesti nei territori di diversi municipi della capitale (CIOTOLI *et alii*, 2013). Più rare sono le informazioni su fenomeni di subsidenza mineraria e crolli verificatisi in tempi remoti, in quanto la rapida espansione del tessuto urbano negli ultimi decenni può aver mascherato eventuali morfologie ad essi ricollegabili.

A seguito di dissesti avvenuti in diversi settori della città sono stati negli anni condotti studi e ricerche metodologiche e conoscitive sulle cavità sotterranee del territorio comunale di Roma (BERNABINI *et alii*, 1966; COMUNE DI ROMA-RIPARTIZIONE V LAVORI PUBBLICI, GEOSONDA, ITALCONSULT, 1981; SCIOTTI, 1982; LEMBO FAZIO & RIBACCHI, 1990; CRESCENZI *et alii*, 1995; SANTORO & FEDERICI, 1999; TORO & DI FILIPPO, 1999; VENTRIGLIA, 2002; CORAZZA *et alii*, 2002; SANTORO & FEDERICI, 2002; SUCCHIARELLI, 2004; SUCCHIARELLI & DI STEFANO, 2004; FIORE & LANZINI, 2007; MAZZA *et alii*, 2008; CORAZZA, 2010; NISIO, 2010; SUCCHIARELLI *et alii*, 2010). Un primo censimento generale delle diverse tipologie di dissesto a Roma fu realizzato nel 1993 con il Progetto AVI del CNR; successivamente il Dipartimento Nazionale della Protezione Civile nel 2004-2009 ha aggiornato il repertorio degli eventi di sprofondamento (CORAZZA 2004; 2010). Nel 2008 è stato avviato dal Dipartimento di Difesa del Suolo dell'ISPRA uno studio dettagliato su diversi centri urbani (NISIO, 2010), che per Roma ha previsto la realizzazione di un nuovo *database* comprendente tutti i lavori precedenti, le cronache storiche e le voragini di nuova formazione aggiornate al 2011; su questi presupposti è stata analizzata la suscettibilità del territorio urbano agli sprofondamenti di origine antropica (CIOTOLI *et alii*, 2013).

All'interno del comprensorio di villa Ada, presso l'ingresso carrabile dalla Salaria all'altezza dell'omonima via di Villa Ada, è presente una voragine, da noi osservata per la prima volta nell'anno 2000, sita a breve distanza dall'edificio della Villa Reale (oggi sede dell'Ambasciata della Repubblica Araba d'Egitto), oggi divenuta di

notevoli dimensioni e da anni adeguatamente recintata con apposizione di specifica segnaletica di pericolo (fig. 5).

Le cronache giornalistiche riportano un episodio di sprofondamento risalente al 1998, segnalato per la caduta di due cavalli (poi salvati) all'interno di una voragine in un terreno adibito a pascolo all'interno della Villa (LA REPUBBLICA, 22/3/1998), di cui non si hanno informazioni precise sull'ubicazione.

Nel Parco Yitzhak Rabin sono stati invece recentemente osservati, nel settembre 2012, fenomeni di sprofondamento che meritano particolare attenzione in quanto ubicate a breve distanza da un'area giochi attrezzata e comunque di un settore intensamente frequentato. La prima osservazione del settembre 2012, casualmente effettuata da uno degli Autori della presente nota, concerneva la voragine N° 1 (fig. 6) dalla forma allungata- con diametro maggiore circa 3 m, minore 1 m e profondità 40 cm- ed un avvallamento poco distante, tempestivamente segnalati alla Direzione Protezione Civile di Roma Capitale e subito delimitati in maniere provvisoria. Nei mesi successivi alla prima segnalazione ne è stata osservata l'evoluzione tramite sopralluoghi periodici, constatando l'ampliamento delle prime voragini di forma subellittica e la formazione di altre lungo una direttrice circa WNW-ESE; ad oggi ne sono state censite e mappate 28, di cui almeno 6 con diametro di oltre 2 m. A seguito delle intense precipitazioni del febbraio 2014 i fenomeni del Parco Rabin hanno mostrato una significativa accelerazione (fig. 7).

6. - METODI DI INDAGINE

In un contesto urbano e geologico così complesso come quello romano, il riconoscimento dei fattori predisponenti e delle cause innescanti



Fig. 5 – La voragine presso l'ingresso dalla via Salaria di Villa Ada, in prossimità della Via omonima (foto: febbraio 2014).
– Collapse located close to Villa Ada entrance from via Salaria (photo: February 2012).



Fig. 6 – La prima voragine osservata nel Parco Rabin (foto settembre 2012), individuata col numero 1 in figura 8.
– First sinkhole of Rabin Park (September 2012 photo) identified as n° 1 in figure 8.



Fig. 7 – La prima voragine del Parco Rabin (n° 1 in figura 8) come si presentava nel marzo 2014.
– First sinkhole of Rabin Park (n° 1 in figure 8) as observed in March 2014.

gli sprofondamenti e la previsione della possibile evoluzione dei fenomeni non può essere in gran parte dei casi effettuato con l'applicazione di una sola metodologia di indagine indiretta, soprattutto in mancanza di dati geognostici del sottosuolo.

Nell'area del Parco Rabin è stato effettuato, a partire dalla prima manifestazione, il censimento e il monitoraggio speditivo periodico delle forme

superficiali riconosciute, a cui ha fatto seguito nel maggio 2014 il rilievo topografico di dettaglio di tutte le voragini (fig. 8). In precedenza, nel marzo 2014, su richiesta della Direzione Protezione Civile di Roma Capitale, è stata avviata una campagna di indagini geofisiche multidisciplinari in un'area test di piccola superficie, nel settore prossimo al parco giochi e limitrofo ai primi sprofondamenti osservati (fig. 9). Tale fase preliminare era finalizzata a verificare l'applicabilità e l'attendibilità dell'approccio metodologico, ed a fornire indicazioni alla Direzione Protezione Civile di Roma Capitale per le opportune valutazioni finalizzate sia al completamento del quadro conoscitivo, sia alle adozioni delle misure di sicurezza.

Nel caso in studio, tenendo conto del diverso grado di risoluzione in funzione della profondità, sono state impiegate quattro diverse metodologie di prospezione: microgravimetrica, geoelettrica, georadar e sismica.

6.1. – RILIEVO TOPOGRAFICO DELLE VORAGINI

Il rilievo topografico di dettaglio è stato effettuato utilizzando lo strumento GPS Leica GS 15 “Viva”, in dotazione al Servizio Difesa del Suolo della Città Metropolitana di Roma Capitale, che usa un sistema satellitare globale di navigazione GNSS. Nel mese di maggio 2014 sono stati rilevati tutti gli sprofondamenti sino a quella data conosciuti, individuando complessivamente 28

depressioni, per ognuna delle quali è stato tracciato il perimetro acquisendo coordinate e quote sia di punti sul bordo, sia nel punto più basso, al fine di poter effettuare comparazioni tra livellamenti successivi. La restituzione del rilievo è rappresentata nella figura 8.

Durante il rilievo è stato ubicato anche un piezometro (v. fig. 8), probabilmente realizzato nell'ambito delle indagini realizzate a supporto della progettazione del parcheggio, che raggiunge la profondità di -15,40 m dal p.c.; il piezometro è stato misurato il 20/5/2014, rilevando la presenza di un livello idrico a -14,90 m dal p.c.; nella successiva misura del 20/6/2014 il piezometro era invece secco. Poiché nella medesima data veniva ultimata la riparazione (nel punto indicato come “presa d'acqua” in figura 8) di una vicina conduttura interrata nel giardino, si è ipotizzato che la contenuta perdita della rete di adduzione potesse saturare temporaneamente il circostante volume di sottosuolo.

6.2. - PROSPEZIONE MICROGRAVIMETRICA

Le misure gravimetriche sono state eseguite sull'area test individuata, che è stata suddivisa da una griglia rettangolare costituita da sei filari più lunghi, ad andamento NE-SW circa ortogonale all'asse di via Panama, per un totale di 103 stazioni con una spaziatura di 4 metri (v. fig. 9). Le misure sono state acquisite mediante circuiti chiusi con controllo pe-



Fig. 8 – Ubicazione degli sprofondamenti censiti nel Parco Rabin (rilievo topografico di dettaglio del maggio 2014), con numerazione da 1 a 18 (la lettera contraddistingue voragini contigue prossime alla coalescenza).

– Detailed mapping of sinkholes (topographic survey performed in may 2014), numbered from 1 to 18 (letters mark contiguous features next to coalescence).

riodico (ogni ora) della deriva strumentale sulla stazione base; quest'ultima è stata posta in un punto fisso georiferito, che consentirà l'eventuale ripetizione del rilievo nel tempo. Per la correzione topografica e di Bouguer è stato utilizzato un valore medio di densità pari a $1,8 \text{ g/cm}^3$, desunto dai dati geotecnici di letteratura per i Tufi stratificati vari-

colori di Sacrofano (VENTRIGLIA, 1971).

Per l'individuazione delle variazioni di densità superficiali, utili alla identificazione di cavità sotterranee, sono state calcolate le anomalie residue (fig. 10), sottraendo il campo regionale (ottenuto attraverso una superficie polinomiale di secondo grado) alle anomalie di Bouguer.

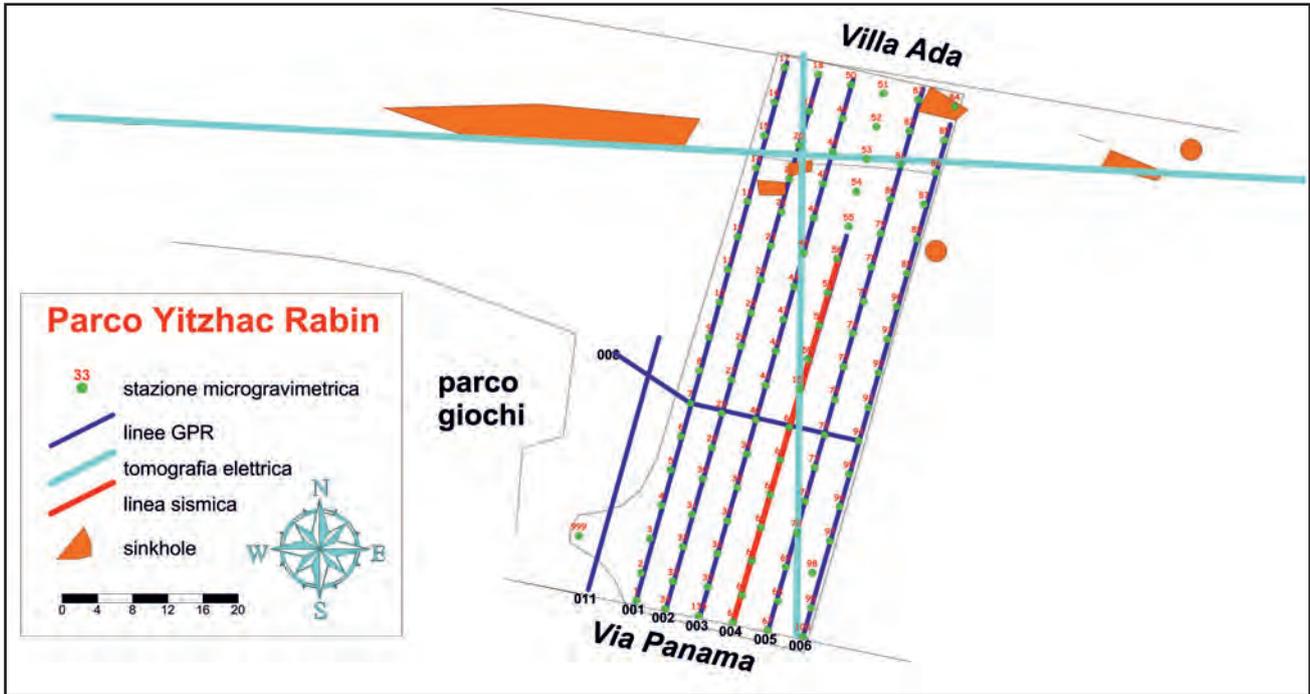


Fig. 9 – Schema dell'area test con ubicazione delle singole stazioni e dei tracciati utilizzati per i vari metodi di indagine geofisica.
 – Test area sketch, with location of single measurement points and tracks of different geophysical prospections.

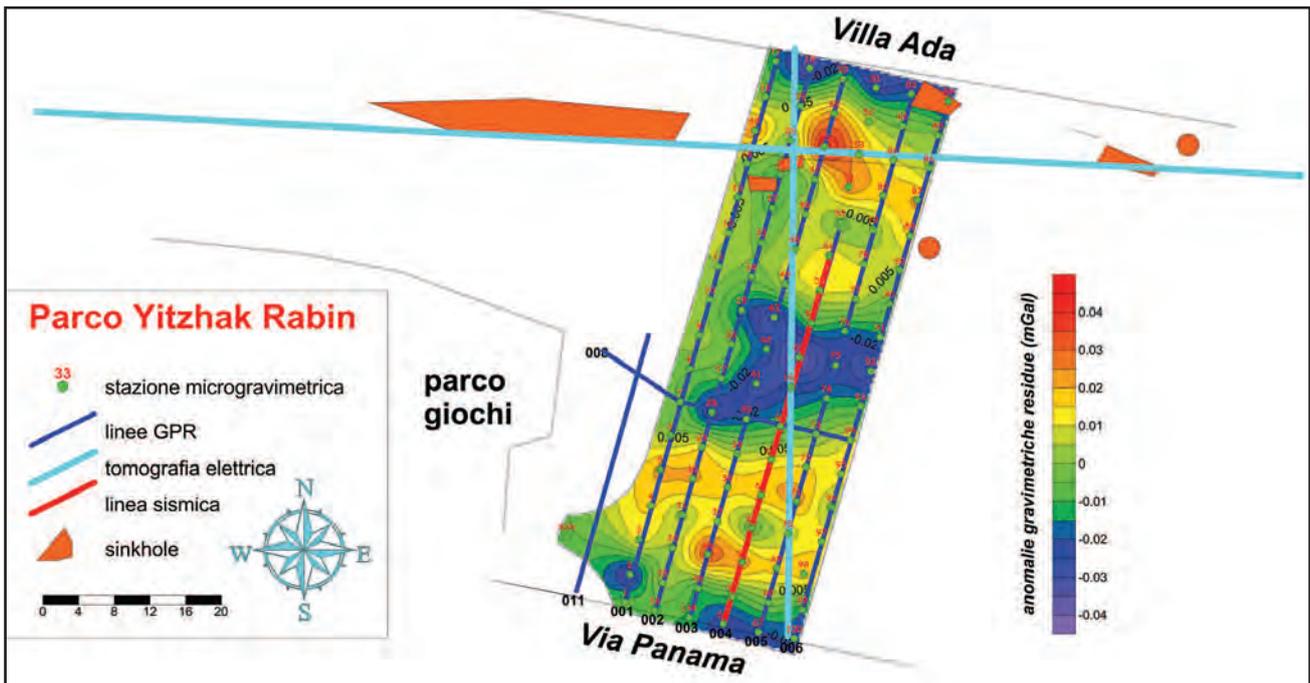


Fig. 10 – Carta delle anomalie gravimetriche residue sovrapposta allo schema di figura 9.
 – Residual anomalies gravity map overimposed to the test area sketch represented in figure 9.

6.3. - PROSPEZIONE GEOELETRICA

Al fine di verificare la possibile presenza di cavità, fatturazioni e discontinuità sono state effettuate delle misure di resistività 2D con strumentazione MAE A6000E. Sono stati eseguiti due profili con configurazione Wenner-Schlumberger: il primo ortogonale alla traccia del modello gravimetrico, con un arrangiamento di 48 elettrodi e spaziatura di 1,5 m, posizionato in prossimità delle mura del parco di Villa Ada e parallelo a via Panama (profilo 1, fig. 11), il secondo parallelo alla traccia del modello gravimetrico ma con 32 elettrodi e spaziatura 2 m (profilo 2 di figura 12). L'elaborazione dei dati è stata effettuata tramite il *software* RES2DINV (LOKE, 2000).

6.4. - PROSPEZIONE GEORADAR

Per individuare eventuali strutture antropiche poste a modeste profondità, quali relitti di costruzioni, sottoservizi di varia natura o volte di cavità naturali e/o antropiche, è stato eseguito anche un rilievo GPR, tenuto conto degli interventi di trasformazione dell'area intervenuti durante la Seconda guerra mondiale descritti nel paragrafo 4.

L'acquisizione dei dati è avvenuta utilizzando un'apparecchiatura Georadar GSSI con frequenze di impulsi elettromagnetici da 400 MHz ed odometro; la costante dielettrica media è risultata di $\epsilon_r = 4$, utile per definire il grado di saturazione dei terreni posti ad una profondità fino ai 2,6 metri.

I tracciati delle linee georadar (001 ÷ 006) sono stati posizionati in coincidenza dei filari di maggiore lunghezza adottati per la prospezione microgravimetrica (v. fig. 9); altri due sono stati eseguiti al di fuori della griglia della prospezione: una linea georadar (011) per evidenziare eventuali perturbazioni connesse a cause superficiali in prossimità del minimo gravimetrico ubicato all'entrata del parco situato in via Panama (stazione 2) e non circoscritto spazialmente; un'altra linea georadar (008) perpendicolarmente ai filari più brevi nella zona dove si riscontrava una maggiore alternanza di anomalie gravimetriche.

Preventivamente è stata eseguita una ulteriore linea georadar, subito ad Ovest all'area test di indagine, orientata parallelamente alle altre (v. fig. 9) e alla scarpata del grande sbancamento. Tale linea è stata utilizzata quale mezzo di taratura per correlare i livelli individuate dai segnali georadar con i diversi orizzonti piroclastici messi a nudo dallo scavo. La taratura del segnale radar è infatti estremamente importante in aree fortemente antropizzate dove il substrato potrebbe essere stato modificato dalla azione antropica nei diversi periodi storici.

L'elaborazione dei radargrammi ha previsto una normalizzazione delle distanze percorse con 100 scansioni/metro e 512 campionamenti per scansione. La rappresentazione delle anomalie rilevate è stata effettuata utilizzando una apposita simboleggiatura e colori diversi in figura 13, come meglio specificato nel successivo paragrafo 7.

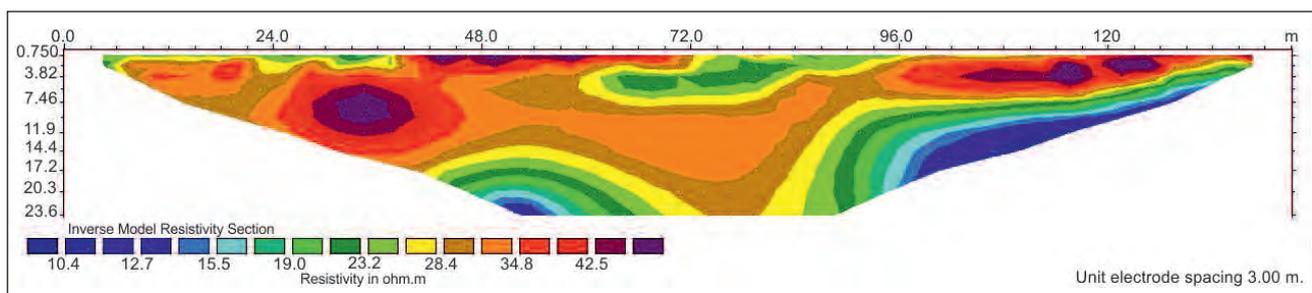


Fig. 11 - Sezione di tomografia elettrica lungo il profilo 1 parallelo a via Panama.
– Electric tomography section along profile N. 1 (parallel to via Panama direction).

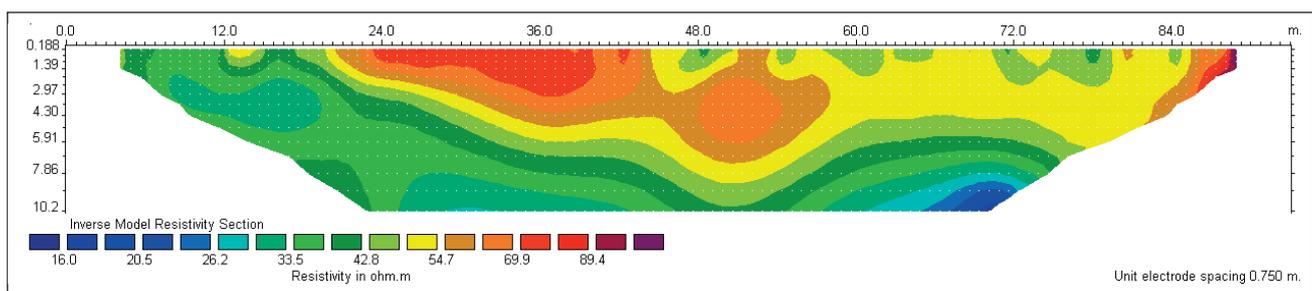


Fig. 12 - Sezione di tomografia elettrica lungo il profilo 2 ortogonale a via Panama.
– Electric tomography section along profile N. 2 (orthogonal to via Panama direction).

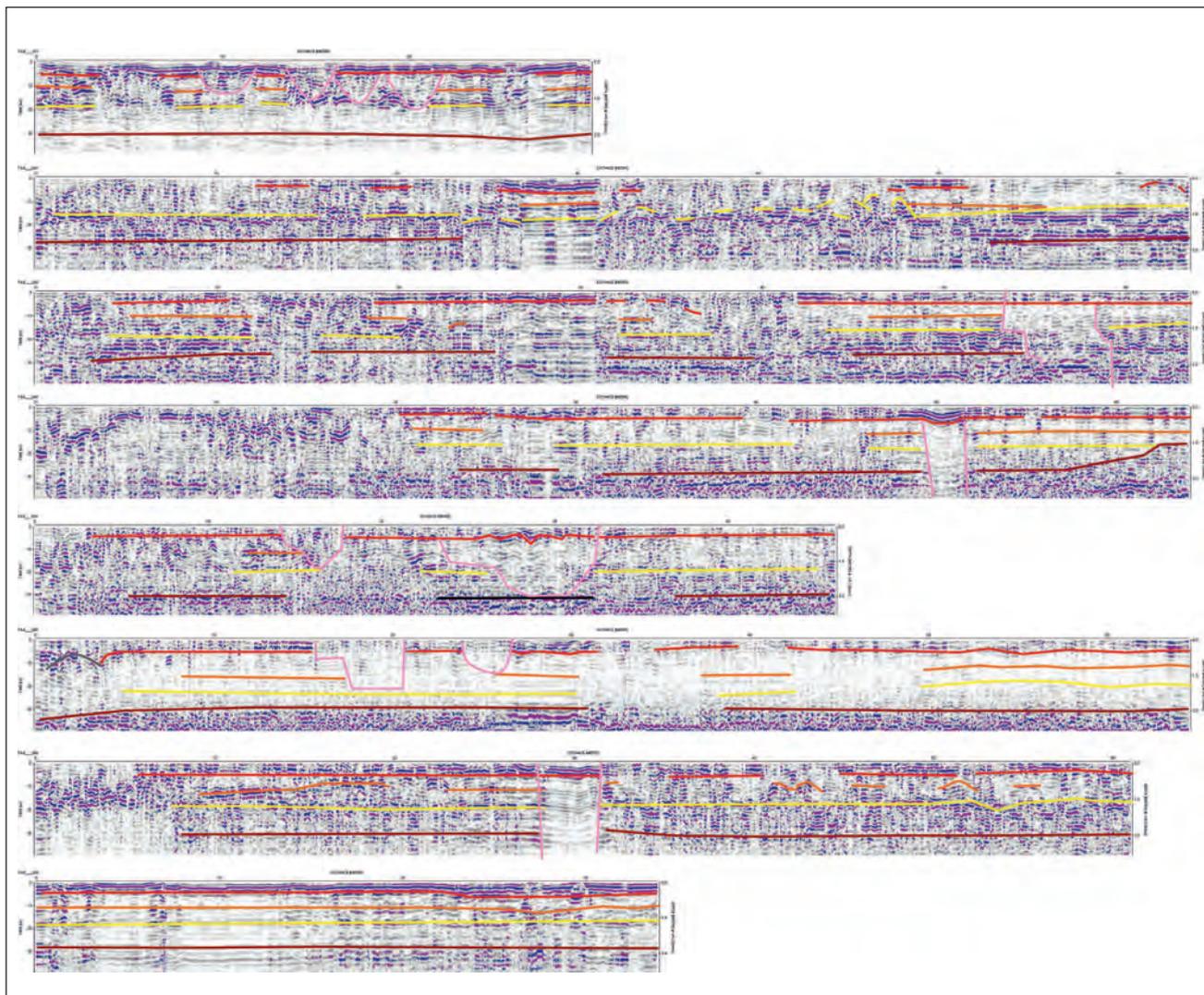


Fig. 13 - Sezioni georadar con rispettive interpretazioni.
 - Georadar sections and respective interpretations.

6.5. - PROSPEZIONE SISMICA A RIFRAZIONE E RIFLESSIONE

Per stimare le variazioni verticali ed orizzontali delle proprietà elastiche del substrato (TURKER, 2004; OTHMAN, 2005; TEZCAN *et alii*, 2006), sono state eseguite indagini sismiche a rifrazione e a riflessione utilizzando un unico stendimento corrispondente alla quarta linea del reticolo microgravimetrico, lungo la quale sono state riscontrate le anomalie gravimetriche più significative (v. fig. 8).

A tale scopo è stato utilizzato un sismografo Geode (Geometrics); lo stendimento, lungo 44 metri, è stato configurato con una spaziatura dei geofoni (Geofoni GS20DX verticali Geospace) pari a 4 metri e 11 *shots* interni allo stendimento. La frequenza di acquisizione del profilo a rifrazione è di 14 Hz mentre quella del profilo a

riflessione è di 40 Hz. L'energizzazione è ottenuta utilizzando una mazza da 8 kg incidente su una piastra di alluminio.

Le curve spazio/tempo e le corrispondenti sezioni delle onde P sono state stimate utilizzando il programma *Wavepath Eikonal Tomografia* (SCHUSTER & QUINTO-BOSZ, 1993) per la sismica a rifrazione; l'elaborazione dei dati della sismica a riflessione è stata effettuata utilizzando il Software *SeisImager/2D* e tomografia OYO/Geometrics (fig. 14).

7. - DISCUSSIONE DEI RISULTATI

Il modello diretto delle anomalie residue ha consentito la costruzione dei modelli gravimetrici bidimensionali con definizione di profondità e geometria delle sorgenti delle anomalie di gravità

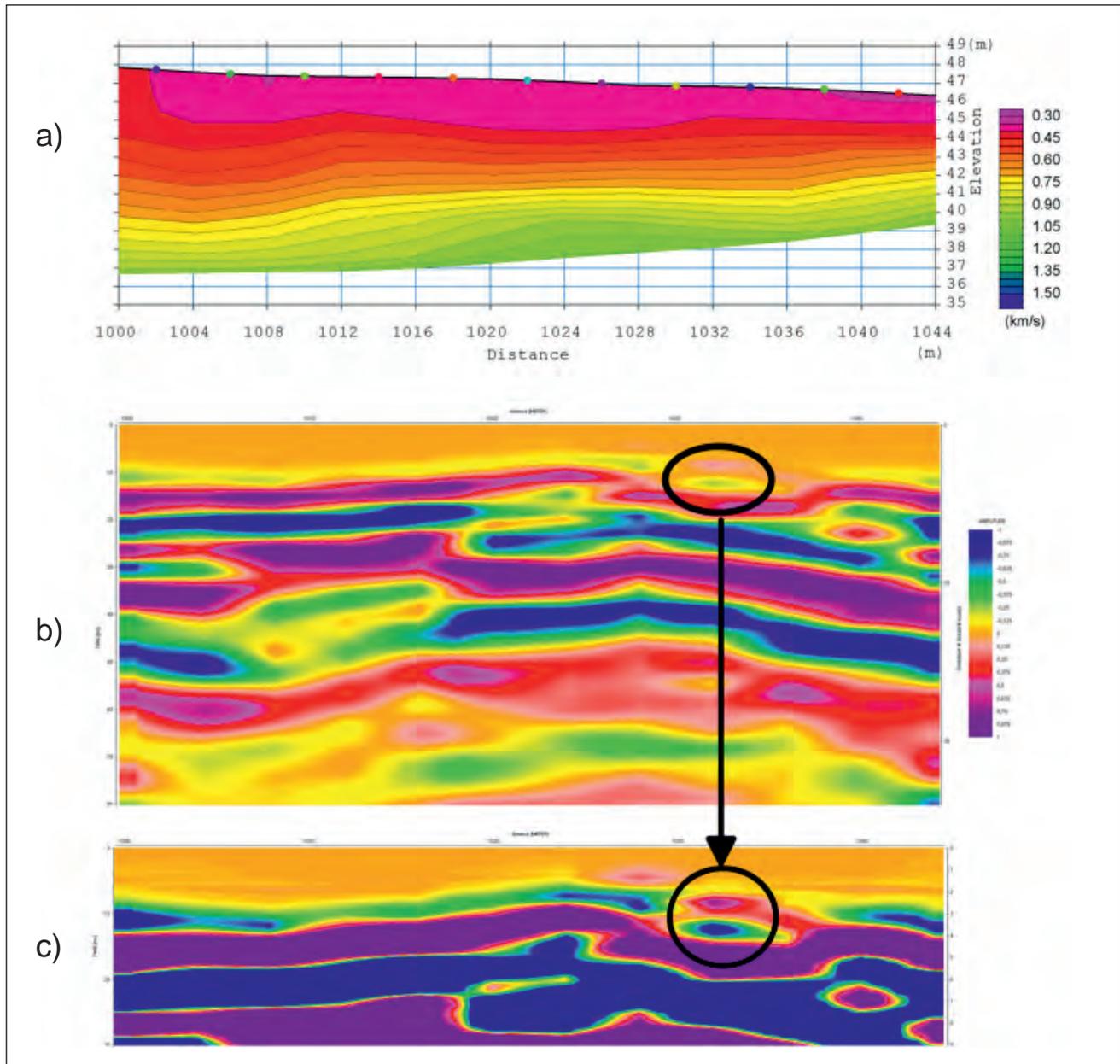


Fig. 14 – a) Tomografia sismica a rifrazione; b) Sismica a riflessione, dal piano campagna a 24 m di profondità; c) Sismica a riflessione, dal piano campagna a 9 m di profondità, con un netto *bright spot* evidenziato nel cerchio nero.

– a) *Seismic refraction tomography*; b) *Seismic reflection, from ground level to 24 m of depth*; c) *Seismic reflection, from ground level to 9 m deep, with a clear bright spot highlighted in the black circle.*

riportati in figura 15 (TALWANI *et alii*, 1959; 1961).

Dalla carta delle anomalie residue dell'area test (v. fig. 10) si possono evidenziare, in base alla forma ed intensità delle anomalie ottenute, tre zone di minimo gravimetrico così individuate:

- vicina alla recinzione del parco lungo il marciapiedi di via Panama (stazione 2, -0,030 mGal);

- in prossimità del muro di cinta di Villa Ada (stazioni 18, 51, 83, 84, -0,030 mGal);

- in prossimità della stazione 59 (-0,035 mGal), approssimativamente al centro della griglia di indagine.

Queste anomalie possono essere plausibilmente spiegate con i seguenti schemi interpretativi basati sull'integrazione e comparazione delle diverse prospezioni geofisiche. Le anomalie poste alle estremità dell'area test (B e C, fig. 10) possono essere riferite a morfologie sepolte- come evidenziato anche dai radargrammi (v. fig. 13; 001-006) e dal profilo di tomografia elettrica P1 (v. fig. 11)- aventi profondità di circa 2 metri e riempite da materiale di riporto. L'anomalia centrale (A, fig. 10) potrebbe essere interpretata con due ipotesi alternative, entrambe verificate attraverso la modellazione diretta delle anomalie residue e

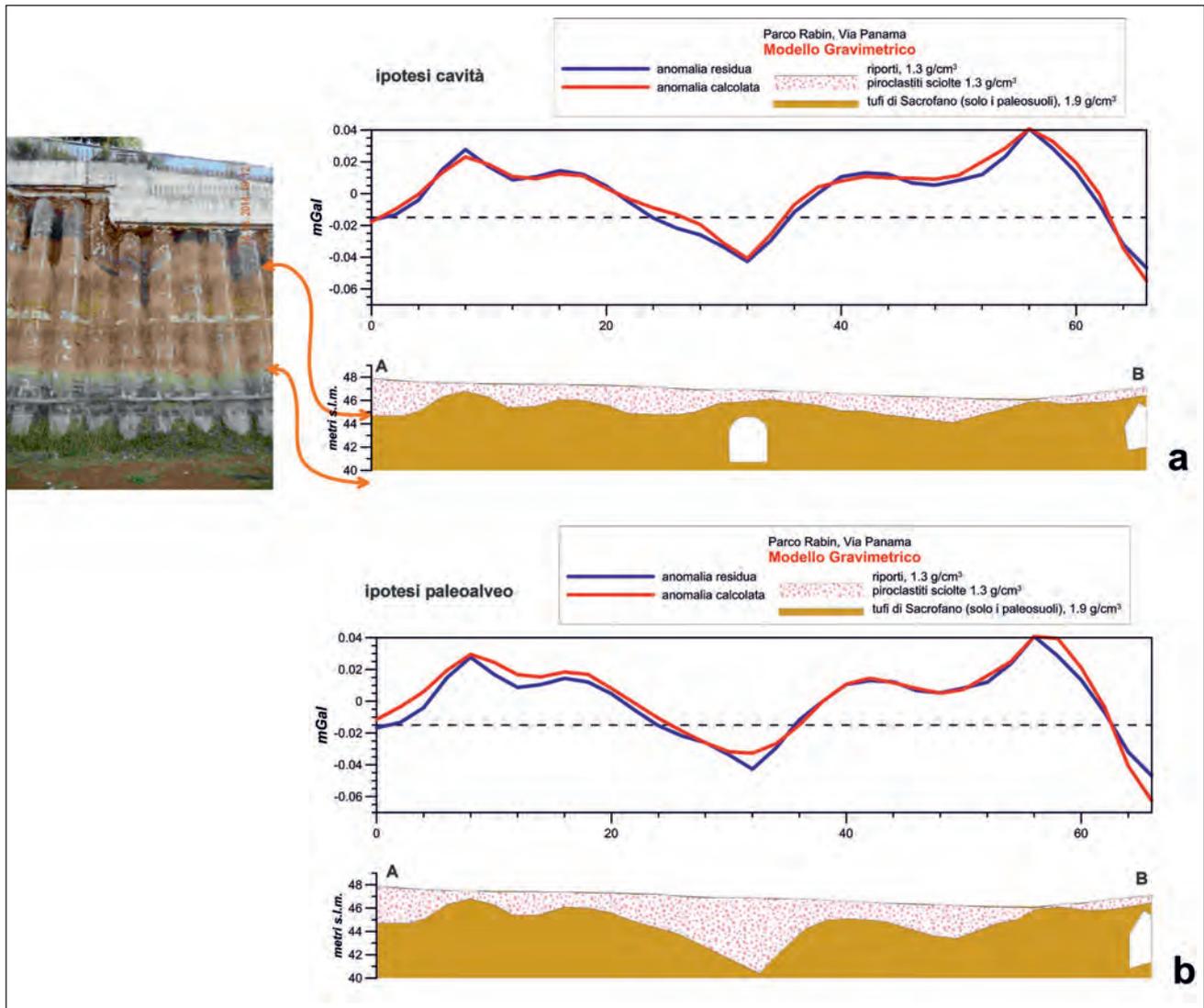


Fig. 15 - Modelli gravimetrici interpretativi: ipotesi di cavità sotterranea (a) o di paleoalveo sepolto (b) con relativo confronto tra anomalie residue e calcolate. – Interpretative gravimetric models: underground cavity (a) and buried riverbed (b) hypotheses, showing compared profiles of respectively residual and calculated anomalies.

coerenti con i dati rilevati (v. fig. 15):

- una cavità sotterranea posta a circa 4-5 metri di profondità e larga 2 metri;
- un paleoalveo sepolto.

I due modelli sono stati vincolati in base ai dati geologici disponibili e allo scarto tra anomalie sintetiche e quelle residue misurate, ipotizzando profondità e geometria della relativa sorgente in funzione del contrasto di densità. Nel primo modello (fig. 15a) è stata ipotizzata una differenza di densità di $-1,9 \text{ g/cm}^3$ tra la cavità riempita d'aria (0 g/cm^3) e i litotipi tufacei circostanti ($1,9 \text{ g/cm}^3$). Nel secondo modello (fig. 15b) è stata assunta un contrasto di densità di $-0,6 \text{ g/cm}^3$ tra i terreni di riporto ($1,3 \text{ g/cm}^3$) e i sottostanti Tufi Stratificati

Varicolori di Sacrofano ($1,9 \text{ g/cm}^3$). Inoltre nel modello di figura 15a è stata calcolata la profondità dal piano campagna del baricentro della cavità, considerata di forma cilindrica, utilizzando il metodo della semiampiezza⁽¹⁾.

Elementi a supporto della seconda ipotesi emergono dall'osservazione del modello digitale tridimensionale del terreno di Villa Ada e zone limitrofe (fig. 16), in cui sono rappresentati reticolo di drenaggio e relative linee di flusso (*Watershed Map, Vector Map*): l'area di studio risulta infatti posizionata proprio in corrispondenza di una delle principali direttrici del ruscellamento. Non essendo tali considerazioni risolutive rispetto al problema analizzato, si è perciò proceduto all'applicazione di

⁽¹⁾ Tale metodo si basa sull'algoritmo della componente verticale di gravità per il quale, assumendo il valore di tale componente uguale alla distanza X_{max} , risulta una profondità Z del baricentro uguale alla metà del valore massimo della distanza.

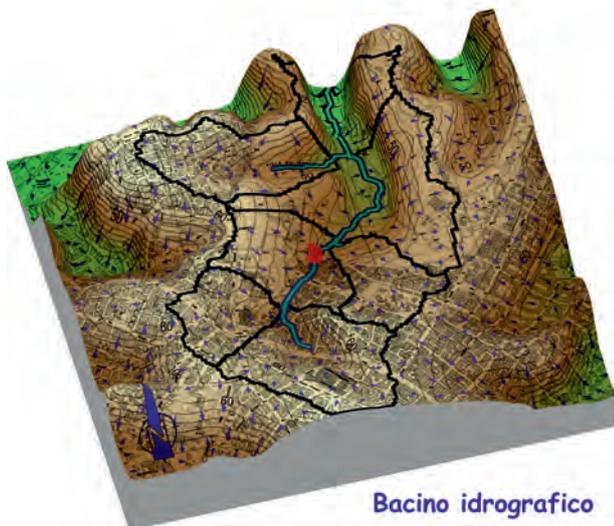


Fig. 16 - Modello digitale 3D del comprensorio di Villa Ada e dei quartieri limitrofi; in rosso è evidenziata l'area del Parco Rabin, in azzurro il tracciato dell'incisione principale del locale reticolo idrografico.

– Digital Elevation Model of Villa Ada Park and of its neighborhoods; red spot represents Park Rabin area, whereas light blue line tracks the main axis of local drainage network.

altri metodi geofisici. Sono stati quindi realizzati profili geoelettrici, appositamente ubicati in funzione di tipologia, ubicazione ed intensità delle anomalie gravimetriche rilevate e degli sprofondamenti individuati in superficie; tale configurazione mirava ad acquisire elementi ulteriori per avvalorare una delle due ipotesi alternative (cavità sotterranee o paleoalveo sepolto).

Le profondità investigate con il metodo geoelettrico sono state spinte rispettivamente fino ad un massimo di circa 23 m nel primo profilo (v. P1; fig. 11) e di circa 10 m nel secondo (v. P2; fig. 12). Il campo di resistività misurato in profondità risulta molto omogeneo, con valori intorno ai 50 Ω m. In nessuna delle due sezioni tomografiche sono stati riscontrati forti contrasti di resistività (come ci si attenderebbe in presenza di una cavità riempita d'aria scavata nella roccia circostante meno resistiva); inoltre la presenza di orizzonti pedogenizzati nelle sequenze piroclastiche innalza i valori di resistività del sottosuolo tanto da non permettere con tale metodo di prospezione l'individuazione di eventuali strutture sotterranee (cavità e/o paleoalveo). Si individuano però valori più alti di resistività in corrispondenza dei materiali di riempimento degli sprofondamenti identificati in superficie. Le evidenze che scaturiscono dai due profili di resistività sono pertanto correlabili con la morfologia superficiale: le zone maggiormente drenate, in cui sono presenti piccoli sprofondamenti profondi solo poco più di 50 cm, sono correlabili con valori più alti di resistività. Tuttavia non si evidenziano zone con valori di resistività compatibili con la presenza di cavità nel sottosuolo.

L'interpretazione dei risultati ottenuti dai radargrammi mostra l'alternanza, nella sequenza stratigrafica locale, di strati a diverso grado di umidità (strati di riporto e orizzonti pedogenizzati evidenziati con linee rosse, arancioni, gialle e marroni in figura 13). Si identificano nelle porzioni meno profonde piccole depressioni o paleoalvei superficiali colmati da terreni di riporto (linee rosa). È inoltre evidente come gli avvallamenti visibili in superficie continuino anche in profondità; la scarsa penetrazione del rilievo porta però a riconoscere nelle parti più profonde di alcuni radargrammi (v. fig. 13; 004 e 005) delle riflessioni paraboliche di modesta intensità.

In assenza di chiare segnature riconducibili a cavità sotterranee nel profilo georadar, anche con questo ulteriore metodo non è stato possibile dare una interpretazione univoca rispetto ai modelli proposti con la gravimetria. Pertanto sono state eseguite anche delle prospezioni sismiche a riflessione e rifrazione, con traccia del relativo profilo appositamente ubicata come rappresentato figura 8.

L'inversione tomografica relativa al profilo di sismica a rifrazione (v. fig. 14a) presenta una leggera distorsione degli strati in prossimità del minimo gravimetrico principale, che però non risulta così rilevante da poter essere presa in considerazione. Si sarebbero potuti ottenere risultati migliori se fosse stato possibile energizzare anche le porzioni di terreno oltre le due estremità del profilo, in *offset*, ma per questioni logistiche non è stato possibile né sul lato di via Panama, né sul lato di Villa Ada, per la presenza dell'alto muro di recinzione.

La sismica a riflessione ha messo in evidenza una zona di impedenza acustica evidente. La prospezione con un massimo di 180 ms è stata tagliata a 30 ms (v. fig. 14b, c), per poter evidenziare con questa operazione un riflettore che ha mostrato una chiara anomalia sismica (*bright spot*) alla profondità di circa 4-5 m all'altezza della stazione gravimetrica 59.

8. - CONCLUSIONI

Lo studio condotto ha permesso di censire e ubicare i recenti fenomeni di sprofondamento nell'area del Parco Ytzhak Rabin, sinora non conosciuti seppur trattandosi di un settore della città di Roma significativamente interessato dalla presenza di reti caveali ipogee e di opere sotterranee. Le attività hanno visto la partecipazione di diversi Enti pubblici e di ricerca adoperatisi di comune iniziativa- nell'ambito di accordi esistenti e senza specifici finanziamenti- per il monitoraggio dello stato del territorio e la prevenzione dei dissesti, con conciliando finalità scientifiche e di protezione civile.

Allo scopo di impostare un approccio metodologico multidisciplinare è stata effettuata una campagna di prospezioni geofisiche in un'area test di limitata estensione, comprendente i primi sprofondamenti manifestatisi nella zona. Sulla base delle informazioni ottenute con le indagini geofisiche, si può affermare che la principale anomalia gravimetrica negativa ubicata nella parte centrale dell'area test e l'anomalia (*bright spot*) rilevata nel profilo sismico a riflessione sono plausibilmente generati da una cavità (forse catacombe) con la volta posta a circa di profondità dal piano campagna. Con molta probabilità la cavità è celata, oltre che dagli strati tufacei, anche da uno spessore più o meno uniforme di riporto superiore a , come evidenziato dalla prospezione georadar, che rende difficile un'interpretazione univoca dei dati geofisici. L'ipotesi alternativa formulata, che contempla un paleoalveo sepolto, è invece avvalorata da considerazioni di carattere geomorfologico, poiché l'originario reticolo di drenaggio è stato solo in parte modificato e obliterato dall'intensa urbanizzazione attorno al comprensorio di Villa Ada. In mancanza di dati diretti di esplorazione geognostica del sottosuolo non si è perciò in condizioni di risolvere tale ambiguità.

In figura 17 è rappresentato lo schema preliminare della suscettibilità da sprofondamento dell'area test, desunta dai risultati dalle prospezioni geofisiche multidisciplinari, in cui sono rappresen-

tate in maniera schematica le aree potenzialmente suscettibili ad eventuali fenomeni di collasso. La carta è stata derivata dai dati geofisici integrati di microgravimetria, sismica a rifrazione, sismica a riflessione e georadar: si ipotizza il rischio massimo di sprofondamento nell'area campione dove sono presenti minimi gravimetrici con bassi valori di velocità delle onde P, insieme a una normale stratificazione superficiale data dal georadar, a cui si associa in profondità la presenza di un *bright spot*. Sulla base degli elementi forniti dal gruppo di lavoro durante la prima fase di studio, e nelle more di ulteriori approfondimenti, la Direzione della Protezione Civile di Roma Capitale ha posto in essere le misure urgenti di interdizione temporanea dei luoghi a tutela della pubblica incolumità (recinzione di sicurezza del settore del parco interessato dagli sprofondamenti; provvisoria segnaletica informativa di pericolo). Si auspica quanto prima il completamento delle indagini geofisiche in tutto il Parco Rabin, allo scopo di ricostruire lo sviluppo tridimensionale delle reti ipogee, anche tramite indagini geognostiche e eventuali esplorazioni dirette delle cavità; ciò consentirà di comprendere le cause dei recenti fenomeni di sprofondamento e conseguentemente di definire la pericolosità dell'area e i possibili interventi per la messa in sicurezza. Nella nostra visione, il ripristino della completa fruibilità dell'area verde, oltre che con l'esecuzione di opere di bonifica e consolidamento, può essere conseguito



Fig. 17 – Schema preliminare della suscettibilità da collasso dell'area test, desunta dai risultati dalle prospezioni geofisiche multidisciplinari (in giallo le aree a maggior suscettibilità da sprofondamento; la linea blu delimita il perimetro dell'area test). A Est del sito è visibile lo scavo realizzato per il parcheggio.
 – Preliminary collapse susceptibility scheme of the test area, derived from multidisciplinary geophysical prospection results (yellow spots represents areas susceptible to collapse occurrence; blue line marks the test area perimeter). Parking excavation is also visible to the west of the playground area.

anche tramite iniziative di informazione e sensibilizzazione - quali incontri e seminari informativi; pubblicazioni divulgative; potenziamento della segnaletica (fig. 18) per rendere la cittadinanza consapevole delle caratteristiche del proprio territorio e dei rischi connessi.



Fig. 18 – Segnaletica di pericolo apposta dal Comune di Roma anni addietro in alcuni punti di Villa Ada.

– Danger signal installed in Villa Ada by Rome Municipality years ago.

Ringraziamenti

Hanno collaborato all'esecuzione delle indagini geoelettriche e del rilievo topografico Massimo Fabiani, Antonio Gizzi, Fernanda Liggio, Massimo Miozzi, Patrizia Vitali. Mario Vallorosi e Gianluca Ferri, rispettivamente Direttore e Funzionario dell'Area Protezione Civile di Roma Capitale, hanno curato l'attuazione delle misure preliminari di sicurezza conseguenti alla segnalazione dei dissesti. Si ringrazia Giovanni Buccomino per la segnalazione dell'evento di sprofondamento del 1998 e per le informazioni di carattere naturalistico.

BIBLIOGRAFIA

- ASHBY T. (1935) – *The aqueducts of Ancient Rome*. (I.A. Richmond, ed.), Clarendon Press, Oxford.
- BERNABINI M., ESU F., MARTINETTI S. & RIBACCHI R. (1966) – *On the stability of the pillars in a underground quarry worked through soft pyroclastic rocks*. Proceedings of the 1st International Congress of Rock Mechanics (Lisboa, 1966), 285-291.
- CIOTOLI G., CORAZZA A., FINOIA M.G., NISIO S., SERAFINI R. & SUCCHIARELLI C. (2013) – *Sinkholes antropogenici nel territorio di Roma Capitale*. In: “*I sinkholes: metodologie d'indagine, ricerca storica, sistemi di monitoraggio e tecniche d'intervento. Centri abitati e processi d'instabilità naturale: valutazione, controllo e mitigazione*”, Mem. Descr. Carta Geol. D'Ital., **93**, 143-182.
- COMUNE DI ROMA, RIPARTIZIONE V LAVORI PUBBLICI, GEOSONDA, ITALCONSULT (1981) – *Studi e indagini geognostiche per il rilevamento delle gallerie esistenti in una zona del territorio della Circostrizione VI*. 3 relazioni e 21 elaborati grafici, Roma.
- CORAZZA A., MAZZA R., BERTUCCIOLI P. & PUTRINO P. (2002) – *Il Progetto “Cavità”, analisi del rischio dovuto a cavità sotterranee*. Atti dei Convegni Lincei, XIX Giornata dell'Ambiente “*Il dissesto idrogeologico. Inventario e prospettive*”, Roma 5 giugno 2001, 355-363.
- CORAZZA A. (2004) – *Il rischio di fenomeni di sprofondamento in Italia: le attività del Dipartimento della Protezione Civile*. Atti 1° Seminario “*Stato dell'arte sullo studio dei fenomeni di sinkholes e ruolo delle amministrazioni statali e locali nel governo del territorio*” (APAT, Roma, 20-21 Maggio 2004), 319-330.
- CORAZZA A. (2010) – *Individuazione di movimenti precursori di sprofondamenti nell'area urbana di Roma attraverso l'utilizzo dell'interferometria differenziale*. Atti 2° Workshop internazionale: “*I sinkholes. Gli sprofondamenti catastrofici nell'ambiente naturale ed in quello antropizzato*”, (ISPRA- Roma, 3-4 dicembre 2009), 685-702.
- CRESCENZI R., PIRO M. & VALLESI R. (1995) – *Le cavità sotterranee a Roma*. In: “*La geologia di Roma: il centro storico*”, Mem. Descr. Carta Geol. d'It., **50**, 249-278.
- DE ANGELIS D'OSSAT G. (1930-32) – *Le Catacombe Romane*. Mem. P. Acc. Sc. Nuovi Lincei, s. II, **14**, 125-65.
- DE ANGELIS D'OSSAT G. (1931) – *De geologia catacumbarum in via Salaria veteri*. Scientiarum nuncius radiophonicus/ Pontificia academia scientiarum Novi Lyncaei, **3**, 9-10.
- DE ANGELIS D'OSSAT G. (1932) – *De geologia catacumbarum in via Salaria nova*. Scientiarum nuncius radiophonicus/ Pontificia academia scientiarum Novi Lyncaei, **12**, 8-9.
- DE ANGELIS D'OSSAT G. (1939) – *De catacombe romane*. Pont. Ist. Archeol. Cristiana, Roma, 215 pp.
- DE ANGELIS D'OSSAT G. (1945a) – *Risultati principali dello studio geoidrologico sulle catacombe romane*. Boll. Soc. Geol. It., **64**, 6-7.
- DE ANGELIS D'OSSAT G. (1945b) – *Studi di geologia applicata alle catacombe romane*. Boll. Serv. Geol. d'It., **70**, fasc. 3, n. 1, 45-77.
- DE ROSA R., LIBERATI A.M. & PACE P. (1989) – *Gli acquedotti di Roma nell'epoca classica*. Provincia di Roma, Roma.
- DE ROSSI M.S. (1864) – *Analisi geologica ed architettonica delle Catacombe Romane - Roma sotterranea Cristiana*. Roma.
- DE ROSSI G.B. (1864) – *Roma sotterranea cristiana*. Roma.
- DI GIOVINE M., DELLISANTI R.M., ANCONA A., CERAVOLO S. & SPARACCA P. (1996) – *Villa Ada, il piano per l'acquisizione pubblica*. Quaderni dell'Ambiente, **4**, Comune di Roma, Ufficio Tutela Ambiente, 84 pp., Roma.
- FIORE A. & LANZINI M. (2007) – *Problematiche di valutazione del rischio di crollo di cavità sotterranee*. Geologia & Territorio, **4-2006/1-2007**, 35-45.
- FUNICIELLO R., MARRA F. & ROSA C. (1995) – *I caratteri geologico-stratigrafici*. In: “*L'ecosistema Roma: ambiente e territorio*”, 29-39.
- FUNICIELLO R. & ROSA C. (1995) – *L'area romana e lo sviluppo delle ricerche geologiche*. Mem. Descr. Carta Geol. d'It., **50**, 23-30, IPZS, Roma.
- FUNICIELLO R. & GIORDANO G. (2008) – *La nuova carta geologica di Roma: litostratigrafia e organizzazione stratigrafica*. Mem. Descr. Carta Geol. D'It., **80** (2008): 39-85, Firenze.

- FUNICIELLO R., GIORDANO G. & MATTEI M. (2008) – *Carta Geologica del Comune di Roma*. Mem. Descr. Carta Geol. d'It., **80**, Firenze.
- KARNER D.B. & RENNE P.R. (1998) – *40Ar/39Ar geochronology of Roman Volcanic Province tephra in the Tiber River valley: age calibration of middle Pleistocene sea-level changes*. Geol. Soc. Am. Bull., **110**, 6: 740–747, Boulder.
- KARNER D.B., MARRA F. & RENNE P.R. (2001) – *The history of the Monti Sbatini and Alban Hills volcanoes: groundwork for assessing volcanic-tectonic hazards for Rome*. Journ. Volcanol. Geotherm. Res., **107**: 185–219.
- LA REPUBBLICA (1998) - *Due cavalli inghiottiti da voragine a Villa Ada*. 22/03/1998.
- LANCIANI R. (1918) – *Delle scoperte di antichità avvenute nelle fondazioni degli edifici per le F.S. nella ex Villa Patrizi*. Agosto-settembre- ottobre, 1918, Roma.
- LEMMO FAZIO A. & RIBACCHI R. (1990) – *Problemi di stabilità di scarpate e cavità sotterranee in rocce piroclastiche*, Politecnico di Torino, MIR, **11**, 1-13.
- LOKE M.H. (2000) - *Electrical imaging surveys for environmental and engineering studies. A practical guide to 2-D and 3-D surveys*. Manuale RES2DINV, IRIS Instruments. (www.iris-instruments.com).
- MARRA F., CARBONI M.G., DI BELLA L., FACCENNA C., FUNICIELLO R. & ROSA C. (1995) – *Il substrato plio-pleistocenico nell'area romana*. Boll. Soc. Geol. It., **114**, 195-214.
- MARRA F. & ROSA C. (1995) – *Stratigrafia e assetto geologico-strutturale dell'area romana*. Mem. Descr. Carta Geol. d'It., **50**, 49-118, IPZS, Roma.
- MARUCCHI O. (1900) – *Guide des catacombes de Rome*. Roma.
- MAZZA R., CAPELLI G. & LANZINI M. (2008) – *Rischio di crollo di cavità nel territorio del VI Municipio del Comune di Roma*. In: “*La geologia di Roma. Dal Centro Storico alla periferia*”, Mem. Descr. Carta Geol. d'It., **80** (2), 149-170, Firenze.
- NISIO S. (2010) – *Fenomeni di sprofondamento in alcuni centri urbani*. Atti 2° Workshop internazionale: “*I sinkholes. Gli sprofondamenti catastrofici nell'ambiente naturale ed in quello antropizzato*” (ISPRA- Roma, 3-4 dicembre 2009), 845-864.
- LUGLI G. (1938) – *Acque urbane in Roma Antica. Fonti – sorgenti – acque – strutture*. Bardi editore, Roma.
- OTHMAN A. (2005) - *Constructed geotechnical characteristics of foundation beds by seismic measurements*. J. Geoph. Eng. 2, 126–138.
- SANTORO V.M. & FEDERICI V. (1999) – *Studi e indagini di un sistema di cavità sul Colle Aventino (Roma)*. In: Atti del Convegno “*Le cavità sotterranee nell'area urbana di Roma e nella Provincia. Problemi di pericolosità e gestione*”, Provincia di Roma e Società Italiana di Geologia Ambientale, Roma, 39–72.
- SANTORO V.M. & FEDERICI V. (2002) – *Studio del sistema di cavità nella zona di via Giosafat, sul colle Aventino a Roma: valutazione del rischio potenziale e scelta degli interventi di consolidamento per il ripristino della viabilità*. In: Atti del XXI Convegno Nazionale di Geotecnica, A.G.I., L'Aquila, 595–602.
- TESTINI P. (1964) – *Via Salaria Nuova*. In: “*Le Catacombe Cristiane a Roma*”. Arti Grafiche Vecchioni & Guadagno, Roma, pp. 77-86.
- TORO B. & DI FILIPPO (1999) – *Individuazione di cavità nel sottosuolo con metodi gravimetrici. Il caso di via Buie d'Istria*. In: Atti del Convegno “*Le cavità sotterranee nell'area urbana di Roma e nella Provincia. Problemi di pericolosità e gestione*”, Provincia di Roma e Società Italiana di Geologia Ambientale, Roma, 73–82.
- SCHUSTER G. & QUINTUS-BOSZ A. (1993) - *Wavepath eikonal traveltimes inversion: Theory*. Geophysics, **58** (9), 1314–1323.
- SCIOTTI M. (1982) – *Engineering Geological Problems Due to Old Underground Quarries in the Urban Area of Rome*. Proceedings of IV International Congress of I.A.E.G., New Delhi, pp. 211-225.
- SERVIZIO GEOLOGICO D'ITALIA – *Carta Geologica d'Italia in scala 1:50.000 – Foglio n. 374 Roma* (2008), Roma.
- SUCCHIARELLI C. (2003) – *Lineamenti geomorfologici del territorio romano interessato dal Piano Stralcio 5 del Bacino del Tevere*. Tevere, anno VIII, n. 23-24, 27-34.
- SUCCHIARELLI C. (2004) – *Rilevamento geomorfologico e carta di idoneità territoriale riguardante gli interventi pubblici n. 1, 1A, 2, 11 e 26 del Programma di Recupero Urbano “Corviale”*, Comune di Roma Dipartimento alle Politiche della Programmazione e Pianificazione del Territorio, U.O. n. 2 - Pianificazione e Progettazione Generale, S.C. Programmi Complessi, 1-11, Roma.
- SUCCHIARELLI C. & DI STEFANO V. (2004) – *Rilevamento di sinkholes di origine antropica e interventi urbanistici nel territorio di Monte delle Picche (Roma sud-ovest)*. In: Atti Conv. “*Stato dell'arte sullo studio dei fenomeni di sinkholes e ruolo delle amministrazioni statali e locali nel governo del territorio*”, (ISPRA, Roma 20-21 maggio 2004), 677-696.
- SUCCHIARELLI C., SCIACCA P., FUCCI F. & MARABOTTO F. (2010) – *Individuazione di un'area a rischio sinkholes interessata da un programma integrato di intervento urbanistico (pr.int. “Prima Porta”, Roma)*. In: Atti 2° Workshop internazionale: “*I sinkholes. Gli sprofondamenti catastrofici nell'ambiente naturale ed in quello antropizzato*” (ISPRA, Roma 3-4 dicembre 2009), 881-902.
- TALWANI M., WORZEL J.L. & LANDISMAN M. (1959) – *Rapid gravity computations for two-dimensional bodies with application to the Mendocino submarine fracture zone*. J. Geophys. Res. **64**, 49–59.
- TALWANI M., WORZEL J.L., EWING M. (1961) – *Gravity anomalies and crustal section across the Tonga trench*. J. Geophys. Res. **66**, 1265–1278.
- TEZCAN S.S., KECELI A. & OZDEMIR Z. (2006) - *Allowable Bearing Capacity of Shallow Foundations Based on Shear Wave Velocity*. J. Geotech. Geol. Eng. **24**, 203-218.
- TURKER E. (2004) - *Computation of ground bearing capacity from shear wave velocity*, In: BERGMAN D. & INAN E. (Eds.), Proceedings, Tenth International Symposium on Continuous Models and Discrete Systems10: Kluwer, Netherlands, 173-180.
- VENTRIGLIA U. & SCIOTTI M. (1970) – *Cavità sotterranee - Carta geologica della città di Roma*. LAC, Firenze.
- VENTRIGLIA U. (1971) – *La Geologia della città di Roma*. Amministrazione Provinciale di Roma, Roma.
- VENTRIGLIA U. (2002) – *Geologia del territorio del comune di Roma*. Amministrazione Provinciale di Roma, Roma.

WEBGRAFIA

- <http://www.mediatecaroma.it/>
<http://www.romasotterranea.it/>
<http://www.paesera.it>