

Indagini geofisiche di un *sinkhole* di origine antropica presso l'abitato di Montelibretti (Roma)

Geophysical investigations of an anthropogenic sinkhole in the Montelibretti village (Rome, central Italy)

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

RIASSUNTO - Nel territorio della bassa Sabina si è aperta a maggio del 2010, in concomitanza con intense precipitazioni, una voragine al margine della Strada Provinciale “Carolano” presso l'abitato di Montelibretti (Roma). Lo sprofondamento è posto in corrispondenza del km 1+200, all'interno di una curva ad “U” della carreggiata, che si sviluppa nella parte centrale della valle digradante in direzione NNW da località “*Vignetta*” e Colle Canale verso il Fosso Carolano. Allo scopo di ottenere dati sull'assetto geologico del sito in cui si è verificato il fenomeno e analizzare rischi potenziali per l'infrastruttura viaria, sono state eseguite prospezioni gravimetriche ed indagini sismiche ed elettriche, integrate da informazioni sia di letteratura che desunte da fonti e cartografie storiche. Le intense precipitazioni degli ultimi anni hanno provocato una rapida evoluzione del *sinkhole*, la cui genesi è probabilmente da collegarsi all'alterazione della circolazione idrica superficiale a causa delle attività antropiche. D'intesa tra i proprietari del terreno, il Dipartimento VII “Viabilità ed Infrastrutture viarie” della Città Metropolitana di Roma Capitale (già Provincia di Roma) ed il Comune di Montelibretti, è stata pertanto disposto, quale misura precauzionale, il riempimento della voragine con idoneo materiale, per evitare che una ulteriore propagazione del fenomeno in direzione della struttura viaria potesse generare problemi alla pubblica incolumità. In questo lavoro, sulla base delle indagini preliminari svolte, si delineano i possibili interventi di ripristino del naturale deflusso superficiale delle acque nel sito e nelle aree poste a monte.

PAROLE CHIAVE: sinkhole antropico, indagini geofisiche, pericolosità.

ABSTRACT - On May 2010, due to heavy rainfall, a sinkhole developed in correspondence of the S.P. Carolano roadway (1+200 km, Montelibretti, Roma), in the southernmost sector of the Sabina area. The collapse is located in correspondence of a “U like” shaped profile of the roadway crossing the central sector of a NNW trending valley. In order to obtain a more complete geological characterization of the sinkhole phenomenon, gravity, seismic and electrical investigations have

been carried out on the base of previous detailed studies, historical sources and maps. Due to recent propagation of the sinkhole, probably related to the anthropogenic alteration of the superficial drainage network in previous times and recently triggered by heavy rains, local authorities decided to promptly fill the sinkhole with arid material, in order to preserve public safety. In this study is suggested the restoration of the natural runoff of the water flow in the area.

KEY WORDS: anthropogenic sinkhole, geophysical surveys, hazard

1. – INTRODUZIONE E INQUADRAMENTO DELL'AREA

Nel maggio 2010 (fig. 1a), in concomitanza con intense precipitazioni che hanno innescato diversi fenomeni franosi nella sabina romana e reatina, si è aperta una voragine a pozzo quasi verticale, con sezione trasversale approssimativamente circolare, avente un diametro di circa 1.5 metri ed una profondità di circa 9 metri.

L'area in esame ricade a SW dell'abitato di Montelibretti, alcune decine di chilometri a NE della città di Roma, sulla sinistra orografica della media valle del Tevere, e comprende un'ampia fascia collinare con quote inferiori ai 300 metri, appoggiata verso E alle strutture carbonatiche meso-cenozoiche dei Monti Lucretili (COSENTINO & PAROTTO, 1986; 1991). L'ampio settore collinare compreso tra i Monti Lucretili e la valle del Tevere ospita depositi sabbioso-limosi in *facies* marina e salmastra con spessori che raggiungono diverse

(*) Città Metropolitana di Roma Capitale- Dipartimento IV “Servizi di Tutela e Valorizzazione dell'Ambiente”- 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



Fig. 1 - Recente evoluzione della voragine sulla S.P. Carolano a) maggio 2010; b) agosto 2013; c) 16 maggio 2014; d) luglio 2014.
 - Recent evolution of anthropogenic sinkhole at Carolano road a) may 2010; b) 14th August 2013; c) 16th May 2014; d) 14th July 2014.

centinaia di metri, lasciati dall'ingressione conseguente alla tettonica distensiva plio-pleistocenica (fig. 2); (DI FILIPPO *et alii*, 1991; DI NEZZA *et alii*, 2012; FACCENNA, 1994; MAXIA, 1954). L'area in cui si è creato il *sinkhole*, è caratterizzata da affioramenti di terreni pleistocenici costituiti da sabbie gialle, talvolta concrezionate con livelli conglomeratici più o meno cementati e da sabbie argillose (SERV. GEOL. D'It., 1975), mentre la valle in esame è colmata da terreni rimaneggiati dall'attività agricola.

Il *sinkhole*, posto ad una quota di circa 185 metri s.l.m. in corrispondenza del km 1+200 circa della s.p. Carolano, è localizzato nella parte centrale della valle che digrada in direzione NNW da località "Vignetta" e Colle Canale verso il Fosso Carolano; ricade al margine della strada provinciale, all'interno di una curva ad "U" (fig. 3), e non era mai stato censito in precedenza (AA. VV., 2004; MELONI *et alii*, 2012; NISIO, 2008).

Il sito è stato oggetto di un monitoraggio periodico speditivo a cura del Servizio Difesa del Suolo

della Città Metropolitana di Roma Capitale a partire dalla sua prima osservazione. Una significativa variazione è stata riscontrata nell'agosto del 2013 (fig. 1b) con l'ampliamento dello sprofondamento. Il 16 maggio 2014 (fig. 1c), la voragine è stata ispezionata con la videocamera. La parete del *sinkhole* risulta essere composta da materiali sabbioso-limosi, con la presenza di un livello di piccola breccia alla quota di una strozzatura che ha conferito alla sezione longitudinale dello sprofondamento una forma a clessidra. Il 2 luglio 2014 (fig. 1d) si è potuto constatare un repentino ampliamento delle porzioni più superficiali della voragine in direzione della sede stradale della s.p. Carolano: la cavità si è allargata fino a sotto il manto di asfalto, mentre intorno all'imbocco della voragine, nella parte interna del tornante, sono comparse numerose fratture circolari; tale accelerazione del fenomeno sembra ricollegarsi alle intense precipitazioni verificatesi nel mese di giugno 2014.

L'analisi della cartografia d'epoca (I.G.M., 1879; 1925; 1936), confrontata con la morfologia attuale,

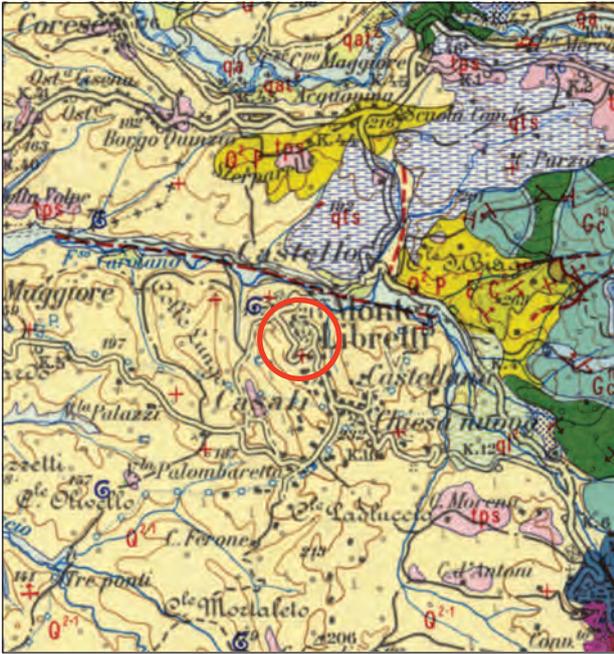


Fig. 2 – Stralcio della Carta Geologica d'Italia in scala 1 : 100.000 - Foglio 144 "Palombara Sabina" (SERV. GEOL. D'IT., 1975). Il cerchio rosso evidenzia l'area in esame.

– Extract of the 1 : 100.000 scale Geological Map of Italy, sheet n.° 144 "Palombara Sabina" (SERV. GEOL. D'IT., 1975). The red circle shows the study area.

ha mostrato che oggi a valle ed a monte del *sinkhole* non è presente un reticolo di drenaggio delle acque (fig. 3): la valle al suo centro si presenta abbastanza pianeggiante; il suo profilo trasversale ha una forma ad U e non a V, come sarebbe invece naturale in questo contesto geomorfologico. La forma a V del profilo trasversale viene invece mantenuta dagli alvei degli altri affluenti della zona: questa differenza può essere imputata all'attività agricola, che nel secolo scorso ha modellato questa valle modificandone la forma della sezione trasversale senza curare il drenaggio delle acque meteoriche, in epoche non eccessivamente piovose e confidando probabilmente sulla permeabilità dei terreni affioranti.

Scopo delle indagini geofisiche eseguite, è stata l'acquisizione di elementi conoscitivi utili alla ricostruzione del modello geologico del sottosuolo del sito in cui si è verificato il fenomeno descritto, per l'individuazione di possibili interventi di messa in sicurezza dell'infrastruttura viaria di pertinenza provinciale.

2. - METODI

Per accertarne la genesi e determinare la struttura del *sinkhole* sono state utilizzate tecniche geofisiche classiche quali la prospezione gravimetrica, per individuare eventuali cavità sotterranee; la prospezione sismica a rifrazione e a riflessione per delineare la morfologia della valle al di sotto della copertura recente e individuare inversioni di velo-

cià; la tomografia elettrica per delimitare zone a resistività anomala rispetto al contesto.

L'esiguità dello spazio a disposizione nella zona pianeggiante, delimitata da versanti molto acclivi all'interno della curva ad U della strada provinciale, non ha permesso l'esecuzione di tomografie sismiche e elettriche lungo profili abbastanza lunghi da investigare profondità di almeno alcune decine di metri.

D'altra parte, anche per quanto riguarda la prospezione microgravimetrica, il calcolo della correzione topografica ha richiesto un modello digitale del terreno abbastanza dettagliato in relazione alla forte acclività dei versanti della valle.

2.1. - PROSPEZIONE MICROGRAVIMETRICA

Le misure gravimetriche sono state eseguite nell'area lungo un profilo ad andamento ENE-WSW per un totale di 11 stazioni con una spaziatura di 3 metri (traccia A-B, fig. 4). Le misure sono state acquisite mediante circuiti chiusi con controllo periodico della deriva strumentale sulla stazione base; le stazioni sono state connesse alla Stazione Gravimetrica Assoluta di S. Angelo Romano (DI NEZZA, 2007; D'AGOSTINO *et alii*, 2008) posizionata sugli affioramenti carbonatici meso-cenozoici dei Monti Cornicolani. Per la correzione topografica e di Bouguer è stato utilizzato un valore medio di den-

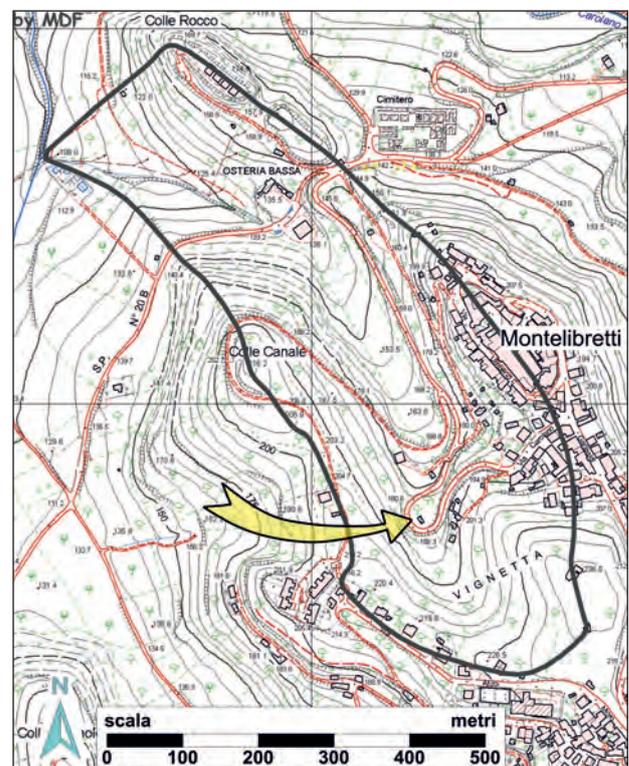


Fig. 3 - Stralcio planimetrico con l'ubicazione dell'area e del bacino idrografico di valle Vignetta.

– Map with area location and watershed of Vignetta valley.

sità di 2.1 g/cm^3 , valore attribuibile ai terreni pleistocenici costituiti da sabbie gialle affioranti in tutta la valle, come riportato dalla CARTA GEOLOGICA D'ITALIA (F°144, 1975).

2.2. - PROSPEZIONE SISMICA A RIFRAZIONE E A RIFLESSIONE

Sia l'indagine sismica a rifrazione che quella a riflessione, sono state effettuate in corrispondenza del profilo gravimetrico (traccia A-B, fig. 4). È stato utilizzato un sismografo Geode Geometrics; lo stendimento, lungo 30 metri è stato configurato con una spaziatura dei geofoni (Geofoni GS20DX verticali Geospace) pari a 3 metri e 10 *shots* interni allo stendimento. La frequenza utilizzata per l'acquisizione dei dati del profilo di sismica a rifrazione è stata di 14 Hz e di 40 Hz per quella a riflessione. L'energizzazione è stata effettuata utilizzando una mazza da 8 kg incidente su una piastra di alluminio.

Per quanto riguarda la sismica a rifrazione, il diagramma delle dromocroni e la corrispondente sezione tomografica sono state calcolate utilizzando il programma Seismager 2D (Oyo-Geometrics) basato su un algoritmo di inversione tomografica *Eikonal Tomographic* (SCHUSTER & QUINTO-BOSZ, 1993); per l'elaborazione dei dati relativi alla sismica a riflessione è stato utilizzato il Software ReflexW Sandmeier attraverso il quale sono stati elaborati i dati mediante l'applicazione di filtri passabanda, *gain function* e *section stacking*.

2.3. - PROSPEZIONE GEOELETTRICA

Lungo la linea CD (fig. 4) sono state eseguite tomografie elettriche 2D, con cui possono apprezzarsi variazioni di resistività, non solo in senso verticale, ma anche in senso orizzontale. Dato che la resistività del terreno può essere messa in relazione alle caratteristiche litologiche e/o di porosità e saturazione, questa metodologia di indagine si rivela particolarmente efficace a completamento e supporto delle altre indagini.

Per le prospezioni è stato utilizzato un georesistivimetro MAE A6000E, in dotazione al Servizio Difesa del Suolo della Città Metropolitana di Roma Capitale. Data la limitata superficie a disposizione per l'esecuzione delle indagini, lo strumento di acquisizione è stato attrezzato con un solo rotolo di multicavo a 16 mandate, in modo da poter gestire 16 elettrodi utilizzati sia come punti di immissione di corrente che come punti di misura della differenza di potenziale. È stato utilizzato un *array* del tipo Wenner-Schlumberger, per una lunghezza complessiva di 45 metri con una distanza interelettrodica di 3 metri.

Per l'inversione dei dati acquisiti è stato utilizzato il software RES2DINV (versione 3.58) della Geotomo Software (LOKE, 2000).

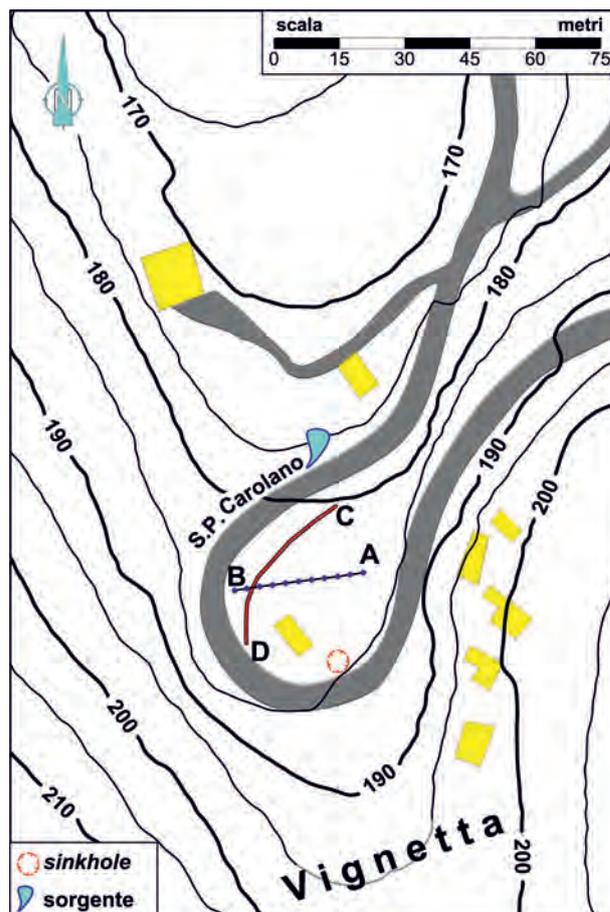


Fig. 4 - Stralcio planimetrico con le tracce delle sezioni dove sono stati determinati i valori geofisici e l'ubicazione dei *sinkhole*. A-B, sismica a rifrazione e riflessione, profilo gravimetrico; C-D, tomografia elettrica.

- Map with the track of sections which the geophysical values were evaluated and *sinkhole* location: gravity, seismic refraction and reflection depth model along the A-B profile; C-D electrical resistivity tomography profile.

3. - DISCUSSIONE DEI RISULTATI

Sebbene la morfologia dell'area sia mascherata da terreni di riporto (densità 1.6 g/cm^3), il modello gravimetrico mostra un minimo in corrispondenza delle stazioni 5, 6 e 7 (fig. 5, a1) tra i 4 ed i 5 m di profondità dal p.c., interpretabile come un possibile paleoalveo (fig. 5, a2).

Dall'inversione dei dati di tomografia del profilo sismico a rifrazione (fig. 5, b) risulta un ispessimento degli strati più superficiali (tra 0.26 e 0.34 km/s) proprio in prossimità del minimo gravimetrico, mentre la sismica a riflessione ha messo in evidenza una zona di impedenza acustica evidente (fig. 5, c) con un *bright spot* alla profondità di circa 4-5 m dal p.c. e in corrispondenza delle stazioni gravimetriche 4, 5, e 6.

Nel caso della tomografia elettrica, la profondità di indagine si è spinta fino ad un massimo di circa 9 m (fig. 6). Nella sezione risultante dall'inversione dei dati risulta evidente una zona a bassa resistività, con

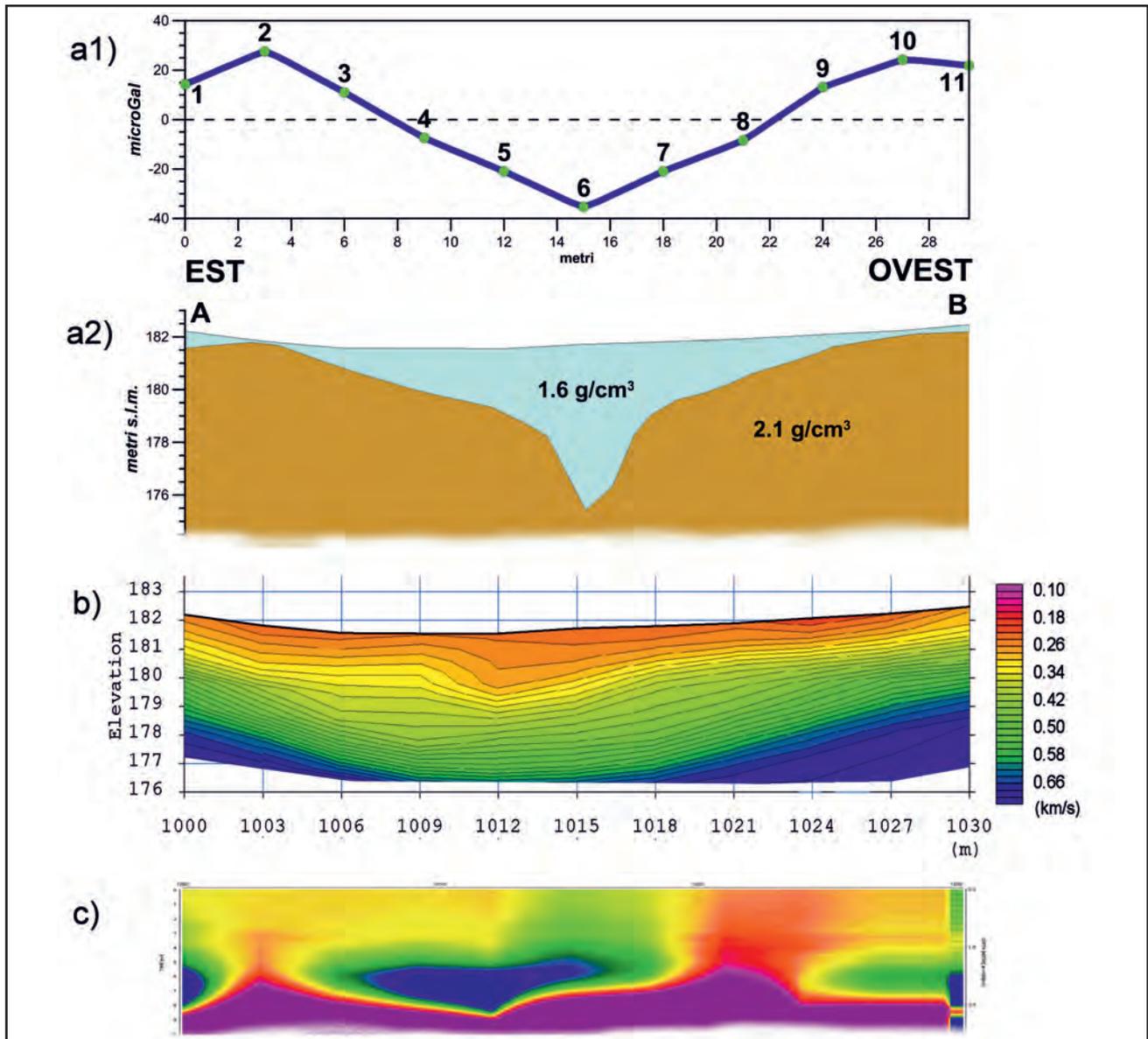


Fig. 5 - Sezione a1) anomalie di gravità; a2) modello gravimetrico; b) sismica a rifrazione; c) sismica riflessione lungo il profilo A-B.
 - a1) gravity anomalies; a2) 2 D gravity model; b) seismic refraction depth model; c) seismic reflection depth model along A-B profile.

valori intorno a $15 \Omega \cdot m$, collocata nella parte centrale e con il baricentro posto tra 4 e 5 metri di profondità. Il fianco Nord-Est (estremità C) presenta una piccola area con bassa resistività tra il piano campagna e 2 metri di profondità, mentre nella parte a Sud-Ovest (estremità D), si riscontrano i più alti valori di resistività, oltre $80 \Omega \cdot m$.

4. - CONCLUSIONI

In mancanza di indagini eseguite con metodi diretti che permettano di tarare i risultati delle proiezioni geofisiche eseguite, è possibile formulare ipotesi preliminari per spiegare la genesi della vo-

ragine in oggetto, integrando i risultati delle indagini geofisiche con i dati litostratigrafici ed idrogeologici di letteratura e con l'osservazione dell'assetto topografico (fig. 3) e geomorfologico. Allo stato attuale delle conoscenze, l'esistenza di terreni a minore densità, velocità, diversa impedenza sismica e minor resistività elettrica nelle porzioni centrali e profonde dei profili (fig. 5 e 6), potrebbe essere spiegata con la presenza di un maggiore contenuto d'acqua rispetto ai terreni circostanti, in un settore limitato che in sezione assume proprio una tipica forma a V: si tratterebbe della prosecuzione sotterranea di un alveo sepolto che si allungerebbe in direzione NNW dalla base del *sinkhole* verso la sorgente perenne situata a valle

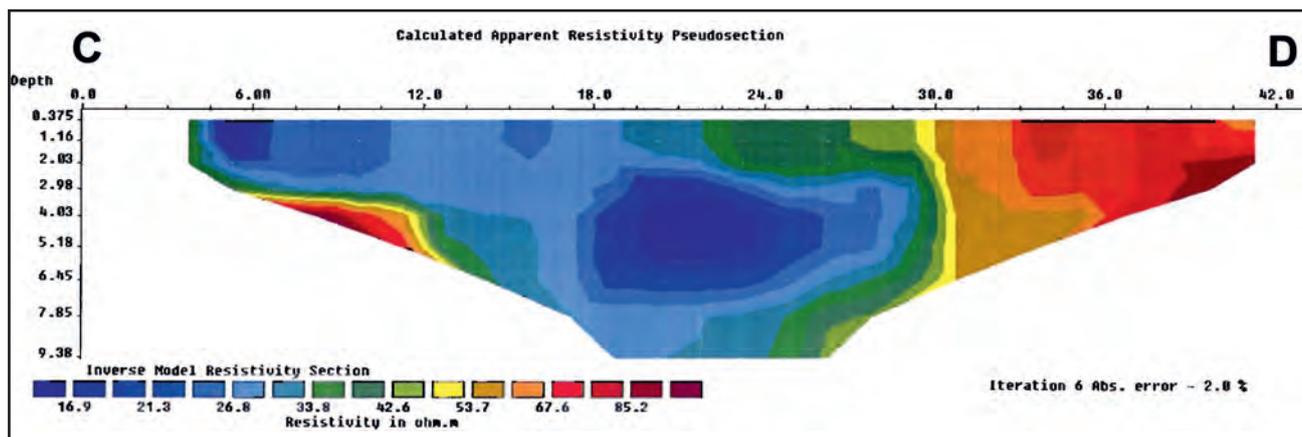


Fig. 6 - Tomografia elettrica lungo il profilo C-D.
- Electrical resistivity tomography along C-D profile.

della strada provinciale (fig. 3), ed il cui tracciato sarebbe indicato in superficie dalle zone a minimo gravimetrico, a bassa velocità sismica ed a bassa resistività elettrica.

La genesi del *sinkhole* sarebbe quindi riconducibile ad una circolazione delle acque di infiltrazione nel sottosuolo, lungo un antico alveo sepolto da terreni di riporto e di bonifica; queste acque sotterranee, che verrebbero a giorno in corrispondenza della sorgente citata, posta ai piedi della scarpata immediatamente a valle del tornante della s.p. Carolano, e presso la quale è presente un antico manufatto con funzioni di abbeveratoio e lavatoio, avrebbero causato un *piping sinkhole*: avrebbero cioè generato una cavità propagantesi verso l'alto all'interno dei materiali limoso-sabbiosi, fino al collasso in occasione degli eventi piovosi particolarmente intensi del maggio 2010.

Per evitare una possibile ulteriore evoluzione del fenomeno, che avrebbe messo a rischio la sicurezza della sede stradale, con pregiudizio della pubblica incolumità, si è ritenuto opportuno e necessario intervenire urgentemente per la sistemazione e messa in sicurezza del sito. L'intervento preliminare disposto dal Dipartimento VII "Viabilità ed Infrastrutture viarie" della Città Metropolitana di Roma Capitale, di concerto con il Sindaco e con la proprietà, è consistito nel riempimento della voragine con l'impiego di blocchi litoidi di pezzatura (fig. 7) tale da non ostacolare lo scorrimento delle acque sotterranee e da impedire il crollo delle pareti del *sinkhole* con l'allargamento della voragine in direzione della sede stradale.

Si ritiene comunque che per risolvere il problema in modo definitivo e scongiurare il verificarsi di altri sprofondamenti lungo il tracciato dell'alveo sepolto, risulta necessario progettare adeguati interventi di ripristino del naturale deflusso superficiale delle acque nel sito e nelle aree poste a monte.

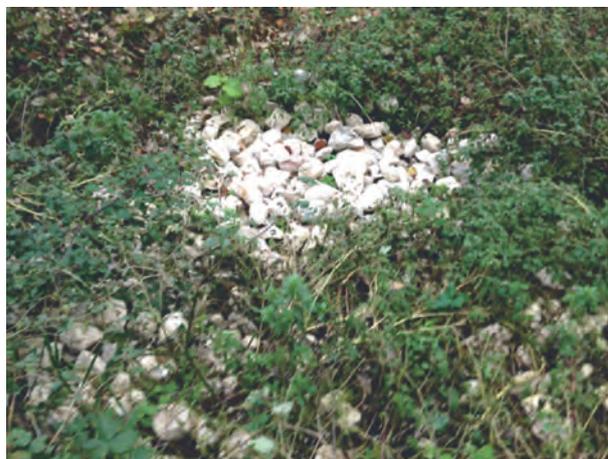


Fig. 7 - Aspetto della voragine nel novembre 2014 dopo gli interventi di riempimento.
- The anthropogenic sinkhole in november 2014 after its filling.

Ringraziamenti

Hanno collaborato all'esecuzione delle misure ed al monitoraggio dei fenomeni Stefania De Bellis, Massimo Fabiani, Fernanda Liggio, Massimo Miozzi, Massimo Piacenza, Alessio Tranquilli.

BIBLIOGRAFIA

- AA.VV. (2004) - *Stato dell'arte sullo studio dei fenomeni di sinkholes e ruolo delle amministrazioni statali e locali nel governo del territorio*. APAT (2004).
- COSENTINO D. & PAROTTO M. (1986) - *Assetto strutturale dei Monti Lucretili settentrionali (Sabina): nuovi dati e schema tettonico preliminare*. Geol. Rom., **25**: 73-90.
- COSENTINO D. & PAROTTO M., 1991 - *La struttura a falde della Sabina (Appennino centrale)*. Geol. Cam., **1991/2** - CROP11: 381-387.
- D'AGOSTINO G., DESOGUS S., GERMAK A., ORIGLIA C., QUAGLIOTTI D., BERRINO G., CORRADO G., D'ERRICO V. & RICCIARDI G. (2008) - *The new IMGC-02 transportable absolute gravimeter: measurement apparatus and applications in geophysics and volcanology*. Ann. Geophys., **51** (1): 39-49.

- DI FILIPPO M., RUSPANDINI T. & TORO B. (1991) - *Evidenze di taglio N-S nella Sabina meridionale*. Studi Geologici Camerti, Vol. Spec. 1991/2 - CROP11, 67-71.
- DI NEZZA M. (2007) - *Struttura e dinamica del distretto vulcanico dei Colli Albani da misure gravimetriche: implicazioni geodinamiche e vulcanologiche*. PhD Thesis. Università "Sapienza" di Roma.
- DI NEZZA M., CECCHINI F., MARGOTTINI S. & DI FILIPPO M. (2012) - *La struttura dei Monti Cornicolani: un piccolo elemento di una grande struttura nascosta*. In: M. GIARDINI (a cura di) Atti: "Il Travertino. Aspetti naturalistici e sfruttamento industriale all'inizio del terzo millennio". Prov. di Roma: 80-90. Tivoli.
- FACCENNA C. (1994) - *Structural and hydrogeological features of Pleistocene shear zones in the area of Rome (Central Italy)*. Annali di Geofisica, **37** (1), 121 - 133.
- ISTITUTO GEOGRAFICO MILITARE (1879; 1925; 1936) - *Foglio Montelibretti 144 II NO in scala 1:25.000*. Firenze.
- LOKE M.H. (2000) - *Topographic modelling in resistivity imaging inversion*. 62nd EAGE Conference & Technical Exhibition Extended Abstracts, D-2.
- MAXIA C. (1954) - *La geologia dei Monti Cornicolani (Lazio)*. Pubbl. Ist. Geol. e Paleont. Univ. Studi Roma, 11: 1-98.
- MELONI F., NISIO S., CIOTOLI G., LIPERI L., TONELLI V. & ZIZZARI P. (2012) - *I Sinkhole nella Regione Lazio alla scala 1:250.000*. Catalogo 2011, in: Carta Geologica informatizzata della Regione Lazio (2012).
- NISIO S. (2008) - *I sinkholes nel Lazio*. In: *I fenomeni naturali di sinkhole delle aree di pianura italiane*. Mem. Descr. Carta Geol. d'It., **85**: 33 - 148.
- REGIONE LAZIO (2003) - *Carta Tecnica regionale della Regione Lazio alla scala 1:5.000*. 366051 Montelibretti, Roma.
- SCHUSTER G. & QUINTUS-BOSZ A. (1993) - *Wavepath eikonal travelttime inversion: Theory*. Geophysics **58** (9): 1314-1323
- SERVIZIO GEOLOGICO D'ITALIA - *Carta Geologica d'Italia in scala 1:100.000 - Foglio F^o144 Palombara Sabina, (1975)*. Roma.