

Studio in ambiente urbano in sedimenti piroclastici soggetti a sprofondamento localizzato mediante impiego di prospezioni geofisiche di tipo geo-elettrico. Comune di Mentana, Roma

*Study in an urban environment in pyroclastic sediments involved in localized subsidence through the use of geophysical electrical surveys.
Town of Mentana, Roma*

STRAGAPEDE F. (*), LEONASI G. (**), SANACORI C. (***)

RIASSUNTO - Il caso di studio illustra attività professionale sviluppata per un cedimento in area urbanizzata su Via Moscatelli in Mentana (RM), per verificare le condizioni di rischio.

L'area interessata dal cedimento del terreno e dall'apertura di una cavità, presentava pericolosità per il transito e la stabilità dei fabbricati. L'estensione della cavità, non rilevata nelle concitate fasi di primo intervento di colmamento, necessitava di una sua definizione areale.

La tecnica di investigazione è individuata in relazione alla natura dei terreni, costituiti da tufi stratificati ed argillificati con paleosuoli intensamente alterati ed interessati da una permanente circolazione idrica.

La singolarità dell'evento deriva dall'assenza, nella zona e nel contesto geologico locale, di altri eventi simili, in assenza di perdite da sottoservizi specifici, di attività estrattive sotterranee o di cavità antropiche, che avrebbero potuto costituire indizi sulle cause dello sprofondamento del terreno.

La campagna geognostica programmata tiene conto della disponibilità economica e della efficienza nella valutazione della effettiva entità ed estensione dello sprofondamento ed è condotta mediante rilievo geoelettrico con analisi tomografica dei dati.

Tale tecnica di indagine, permette di descrivere con il sufficiente dettaglio le zone che presentano condizioni predisponenti o in essere di instabilità, in quanto è individuata nella resistività elettrica la grandezza di misurazione utile a discriminare le porzioni del sottosuolo soggette a sprofondamento e quelle che potevano essere interessate ad una progressione delle instabilità.

La tipologia di investigazione supera i limiti di agibilità e di operatività strumentale dei luoghi, che in ambito urbano costituiscono un primo fattore di limitazione, e forniscono indicazioni dove concentrare l'attenzione con più onerose e/o invasive tecniche di indagine.

La lettura delle informazioni su sezioni individuali è stata restituita interpolando sezioni di resistività a quota differente dal piano campagna e restituendo mappe di resistività. Le mappe di resistività descrivono l'andamento areale del parametro misurato e forniscono informazioni sull'estensione e sull'andamento planimetrico delle aree caratterizzate da mag-

giore criticità, qualificate per l'area di studio da quelle con maggiore resistività rispetto ai terreni circostanti.

La definizione delle problematiche puntuali sono state risolte con indagini penetrometriche, che hanno validato i dati di indagine: in assenza di ulteriori cavità, nelle aree di criticità geo-elettrica è stata verificata la presenza di volumetrie con scarso grado di addensamento.

La circolazione idrica nel sottosuolo conferma la presenza di deflussi idrici che, canalizzandosi, allontanano i materiali più fini e producono un effetto di "svuotamento" dello scheletro del suolo.

Nella profondità di criticità di m 4 tale processo di degrado produce cedimenti e densificazione del suolo e sprofondamento ed apertura di voragini, pur in assenza di fenomeni antropici o naturali nel sottosuolo.

Saggi di scavo accertano condizioni di sicurezza degli edifici, con quota di fondazione a profondità superiore a quella di criticità.

PAROLE CHIAVE: cavità sotterranea, dolina di sprofondamento, rilevamento elettrico, penetrometrie, ambiente urbano, valutazione di rischio, depositi piroclastici

ABSTRACT - The case history illustrates professional activities linked with a collapse in an urbanized area of Via Moscatelli in Mentana (RM), to verify the conditions of risk.

The area affected by land subsidence and the opening of a cavity, was dangerous for the transit and the stability of the buildings. The extension of the cavity, not detected in the exciting phases of first filling intervention, needed a detailed assessment.

The technique of investigation is identified according to the nature of the soil, consisting of stratified tuffs and clayed paleosols with intensely altered and affected by a permanent water circulation.

The singularity of the event is a consequence of the absence, in the same area and in the local geological context of other similar events, in the absence of leaks from specific underground installations, of mining underground or man-made

(*) Geologo – libero professionista – Via Catavoli n.124 – 51034 - Casalguidi (PT)

(**) Geologo – libero professionista – Piazza de' Pitti n.10 – 50125 - Firenze

(***) Geologo – libero professionista – Via Mameli n.42/D – 00015 - Monterotondo (RM)

cavities, which could constitute evidence of the causes of the collapse of the ground.

The programmed surveys take into account the economic availability and efficiency in the evaluation of the actual amount and extent of the sinkhole and is performed by geoelectrical survey with tomographic analysis of the data.

Such a survey technique allows to describe with sufficient details the areas with predisposing conditions of instability or be really unstable. In fact the electrical resistivity is identified as the reference measurement useful to discriminate portions of the subsoil subject to sinking and those which could be exposed to instability progression:

The investigation exceeds the limits of practicability and operational instrument, that in urban areas constituted a first limiting factor, and gives guidelines on where to focus attention on more costly and / or invasive investigation techniques.

The information on individual sections have been obtained interpolating sections of electrical resistivity at different depth from the ground level and producing resistivity maps. The resistivity maps describe the areal trend of the measured parameter and provide information on the extent and trend map showing the areas with the most critical, qualified for the study area than those with higher resistivity than the surrounding land.

The definition of the localized problems have been resolved by penetration tests, which have validated the survey data: in absence of further cavities, in the areas of electrical anomalies the presence of low degree soil densification zones has been verified.

The presence of water in the subsoil confirms the subsistence of runoff water that through channels moves away the finest materials and produce an effect of "hollowing out" of the structure of the soil.

In the critical depth of m 4 from the ground level, this degradation process produces sagging and densification of the soil and sinking and opening of sinkholes, even in absence of natural or anthropogenic phenomena in the subsoil.

Excavations ensure safety conditions for buildings, with foundation lower than the critical level.

KEY WORKS: underground cavities, electrical surveys, sinkholes, penetration tests, urban environment, risk assessment, volcanoclastics

1. - PREMESSA

Il caso di studio in esame consiste in attività professionale di investigazione e di analisi, condotta sinergicamente dai redattori del presente contributo, e sviluppata in conseguenza ad un cedimento di un'area di disimpegno a comune di alcune palazzine, con accesso da Via Moscatelli del Comune di Mentana (Roma), già destinata all'accesso carrabile ed al parcheggio, nell'ambito della proprietà condominiale, per la quale veniva richiesto supporto professionale a verifica delle locali condizioni di rischio.

L'area interessata dal cedimento del terreno e dall'apertura di una cavità, rendeva impraticabile l'area di disimpegno carrabile comune, produceva condizione di pericolosità per il transito pedonale e minacciava la stabilità sia delle opere al confine che di alcuni alberi presenti lungo il perimetro della proprietà.

L'estensione della cavità, la cui origine risultava al momento ignota e la cui estensione non è stata rilevata al momento delle concitate fasi di primo intervento, quando un rapido quanto inopportuno colmamento ha inteso conferire all'area la parvenza di una soluzione agli effetti di sprofondamento, necessitava di una oggettiva quantificazione sulla estensione verticale ed orizzontale nel sottosuolo, che consentisse di validare professionalmente l'effettivo colmamento e il raggiungimento delle richieste condizioni di sicurezza.

La necessità di effettuare una oggettiva validazione degli interventi di sistemazione già completati e di accertare eventuali ulteriori condizioni di criticità per la frequentazione dell'area interessata dal cedimento del terreno, sia per la stabilità dei manufatti nell'ambito della proprietà che delle strutture presenti nelle proprietà adiacenti alla zona interessata dallo sprofondamento, portava a programmare una campagna geognostica che consentisse, con un disponibilità economica limitata, di valutare la effettiva entità ed estensione dello sprofondamento, di ipotizzarne la sua origine e di individuarne le principali concause.

Lo studio è quindi stato condotto attraverso:

- la collocazione dell'area di sprofondamento rispetto alle strutture antropiche più vicine, alla possibile presenza di manufatti interrati, sottoservizi o alla presenza di strutture sepolte di qualsiasi origine;

- la caratterizzazione geotecnica ed idrogeologica dell'area (ALBANI *et alii*, 1973; BONI *et alii*, 1988), che evidenzia la sensibilità dei terreni ad effetti di degrado delle caratteristiche geotecniche in presenza di acqua ovvero alla presenza di deflussi idrici sotterranei o canalizzati;

- la definizione di parametri fisici discriminanti lo stato del sottosuolo nei riguardi degli effetti di sprofondamento rilevati nell'area di studio (AGRILLO *et alii*, 2004; BRUNAMONTE *et alii*, 1996);

- il rilievo dei parametri prima indicati per la zonazione dell'area di studio in relazione al potenziale grado di pericolosità per ulteriori sprofondamenti.

2. - CARATTERISTICHE GEOLOGICHE ED IDROGEOLOGICHE DELL'AREA IN ESAME

L'area in esame risulta individuata in ambito urbano e collocata nel tessuto del Capoluogo del Comune di Mentana (Roma) (fig. 1), consiste in un complesso abitativo di due palazzine, che si articolano nella porzione occidentale dell'estensione della proprietà, e rispetto alle quali la cavità risulta aperta nell'area orientale della zona comune, in adiacenza della proprietà attigua.



Fig. 1 – Localizzazione area in esame su stralcio CTR Lazio elemento n.365160.

- Location site of interest on the regional technical cartography extract of the element n.365160.

L'intensa urbanizzazione che ha interessato il centro di Mentana ha profondamente modificato quelli che erano gli aspetti fisiografici e morfologici naturali. Le caratteristiche dell'intero settore rimangono comunque quelle di un ambiente basso-collinare con quote topografiche massime di poco superiori ai 200 metri s.l.m.. Le forme dei rilievi sono generalmente dolci e sub-arrotondate con versanti piuttosto acclivi in relazione all'affioramento di litotipi limoso-argillosi facilmente erodibili, che in sommità presentano estesi affioramenti di terreni piroclastici riferibili al ciclo eruttivo sabatino del Pleistocene medio superiore.

I terreni sub-affioranti nell'area, sotto coperture e riporti comunque di locale spessore poco significativo, sono rappresentati dai Tufi Stratificati Variocolori de La Storta (VENTRIGLIA, 1990; VENTRIGLIA, 2002), costituiti da un complesso di tufi stratificati da semicoerenti ad incoerenti, in parte argillificati e con alternanze di strati formati da sole scorie e pomice. La presenza di paleosuoli intercalati a vari livelli all'interno della formazione, conferma che questi tufi appartengono a più fasi distinte dell'attività del loro centro di esplosione, mentre l'intensa alterazione dei componenti juvenili accerta la presenza di una permanente circolazione idrica, derivante presumibilmente dalle acque di prima infiltrazione delle piogge nelle aree a verde del tessuto urbano ovvero dalla dispersione nel sottosuolo da condotte e sottoservizi.

Dal punto di vista idrografico (VENTRIGLIA, 1990; BONI *et alii*, 1988) l'area resta individuata in zona di crinale del bacino imbrifero del Rio della Cassetta, affluente di secondo ordine in sinistra del Tevere; l'assetto idrografico locale si risolve nella rete fognaria delle acque bianche e delle canalizzazioni

antropiche di distribuzione di acqua potabile e di raccolta delle acque reflue. Non sono state rilevate, nei rilievi e nelle indagini preliminari di supporto allo studio, sottoservizi oggetto di recente intervento di riparazione né segnalazioni di perdite o interruzione della distribuzione idrica o raccolta fognaria.

3. - OSSERVAZIONI IN SITO AREA DI STUDIO

Le caratteristiche morfologiche dell'area di studio sono marcatamente condizionate dall'attività antropica, dall'edilizia urbana e dalle operazioni di posa in opera di sottoservizi e impianti; nella zona a nord dell'area di investigazione sono in corso interventi di escavazione a limitata profondità (m 0.5-1.0), a seguito di progetti di edificazione, ancora in corso, che consentono di verificare i sedimenti nell'immediato sottosuolo, il loro grado di tenacia e di alterazione.

La preliminare indagine storica e bibliografica (AGRILLO *et alii*, 2004; AQUATER, 2001; DI FILIPPO *et alii*, 2004; FACCENNA *et alii*, 1993; NISIO *et alii*, 2004) esclude la presenza, in corrispondenza dell'area di studio, di volumetrie interrato pertinenti la zona di sprofondamento ed escludono la presenza di attività antropiche sotterranee o di strutture sepolte o di sottoservizi dei quali possa esserci memoria.

Si registra la distribuzione areale delle volumetrie dell'edificato, la loro tipologia e periodo di realizzazione, escludendo la presenza di interrati tecnici alle abitazioni con accesso dall'area comune interessata dallo sprofondamento.

Si accerta la finitura della zona agibile agli accertamenti geognostici, la sua estensione e articolazione nell'ambito delle strutture abitative anche limitrofe, e di un intorno dell'area oggetto di sprofondamento di immediata e necessaria verifica di circa m 3 (pari alla presunta profondità di sprofondamento), e che ricomprende anche parte della limitrofa proprietà a sud-est.

La singolarità dell'evento deriva dall'assenza, nella zona e nel contesto geologico locale, di altri eventi simili, in assenza di perdite da sottoservizi specifici, in assenza di attività estrattive sotterranee o di cavità antropiche, quali cantine, seminterrati o resti archeologici, che in qualche maniera avrebbero potuto produrre effetti di scavamento e successivo sprofondamento del suolo.

4. - DEFINIZIONE DELLA CAMPAGNA GEOGNOSTICA DI PERIMETRAZIONE E DELIMITAZIONE DELL'EVENTO DI SPROFONDAMENTO

La impossibilità di un preciso rilievo dello sviluppo della cavità oggetto di colmamento, che nelle concitate fasi di emergenza (fig. 2) non veniva ispe-



Fig. 2 – Articolo quotidiano locale “Tiburno” – edizione 19 marzo 2013.
- Article of local press “Tiburno” – 19th march 2013 edition.

zionata per accertarne le dimensioni, e la necessità di verificare la eventuale presenza di ulteriori zone di criticità, nell’ambito delle stesse proprietà, sulla base dei dati preliminari acquisiti da fonti bibliografiche e documentali ha condotto gli scriventi a programmare una specifica campagna geognostica.

La natura dei terreni del sottosuolo, come rilevati dalla ricognizione delle aree non urbanizzate nell’intorno, sulla base dei dati disponibili in una area circostante significativa, ha ritenuto di individuare nel parametro della resistività elettrica dei terreni la grandezza di misurazione utile a discriminare le porzioni del sottosuolo soggette a sprofondamento (REGIONE LAZIO, 2002, NISIO *et alii*, 2004, DI FILIPPO *et alii*, 2004) e quelle che, per effetto di una riduzione della densità relativa o a conseguenza di effetti di dilavamento/dissoluzione/addensamento da parte di acque di filtrazione o canalizzate nell’immediato sottosuolo, potevano presentare caratteristiche predisponenti ad una progressione delle instabilità del terreno.

La scelta di un rilievo geo-elettrico in c.c., da sviluppare con una analisi tomografica dei dati, permette di descrivere con il sufficiente dettaglio le zone nell’ambito dell’area di investigazione che presentano condizioni predisponenti o in essere di in-

stabilità (DI FILIPPO *et alii*, 2004; SALVI *et alii*, 2005).

Il rilievo geo-elettrico costituisce l’indagine preliminare di tipo indiretto, attraverso la quale, mediante il rilevamento di particolari caratteristiche fisiche dei terreni nel sottosuolo, è possibile valutare situazioni correlabili con la presenza di cavità e/o di condizioni potenzialmente critiche per l’integrità delle strutture e la sicurezza umana.

Il rilievo geo-elettrico (figg. 3, 4, 5, 6), condotto con tecnica tomografica attraverso la misura del parametro resistività dei terreni, ha permesso di individuare, nei terreni piroclastici pozzolanici che caratterizzano il sottosuolo, le porzioni interessate da processi di argillificazione, che presentano più elevata conduttività, e porzioni poco addensate o interessate da potenziali cavità, qualificate da più elevati valori di resistività elettrica.

La scelta della tipologia di investigazione preliminare intendeva superare i limiti di agibilità e di operatività strumentale dei luoghi, che in ambito urbano e con la presenza di manufatti e finiture carrabili di non agevole demolizione, costituivano un primo fattore di limitazione, e fornire indicazioni areali sulle zone di eventuale criticità, dove concentrare l’attenzione attraverso l’esecuzione di ulteriori e più onerose e/o invasive tecniche di indagine.

A tale rilievo è seguita una campagna penetrometrica (figg. 7, 8), che ha validato le osservazioni estese alla proprietà attraverso la prospezione geo-elettrica, ed alcuni saggi di scavo in prospicenza ai fabbricati, che verificavano la sussistenza di tipologie e profondità fondali che consentivano l’esclusione di condizioni di rischio per la frequentazione e permanenza delle strutture.

4. - CARATTERISTICHE PECULIARI DELLA INDAGINE GEOELETRICA ESEGUITA

La prospezione geo-elettrica, condotta mediante direttrici multielettrodo, per acquisizioni per l’analisi tomografica dei dati, è stata sviluppata impegnando sia l’area già interessata dallo sprofondamento, che la restante porzione delle aree a comune, ed impegnando nell’indagine una porzione della limitrofa proprietà, limitatamente a quella immediatamente prospiciente la zona interessata dallo sprofondamento.

L’indagine è stata sviluppata operando con una maglia di stendimenti, sviluppati ortogonalmente tra loro nell’ambito delle direttrici agibili nell’ambito delle zone di investigazione preventivamente indicate (v. fig. 3).

La scelta della configurazione di rilievo tipo Wenner è stata dettata dalle finalità della prospezione, che intendeva discriminare arealmente e con il sufficiente dettaglio le zone a più elevata resistività elettrica, che presagiscono condizioni di scarso addensamento o la presenza di cavità occulte.

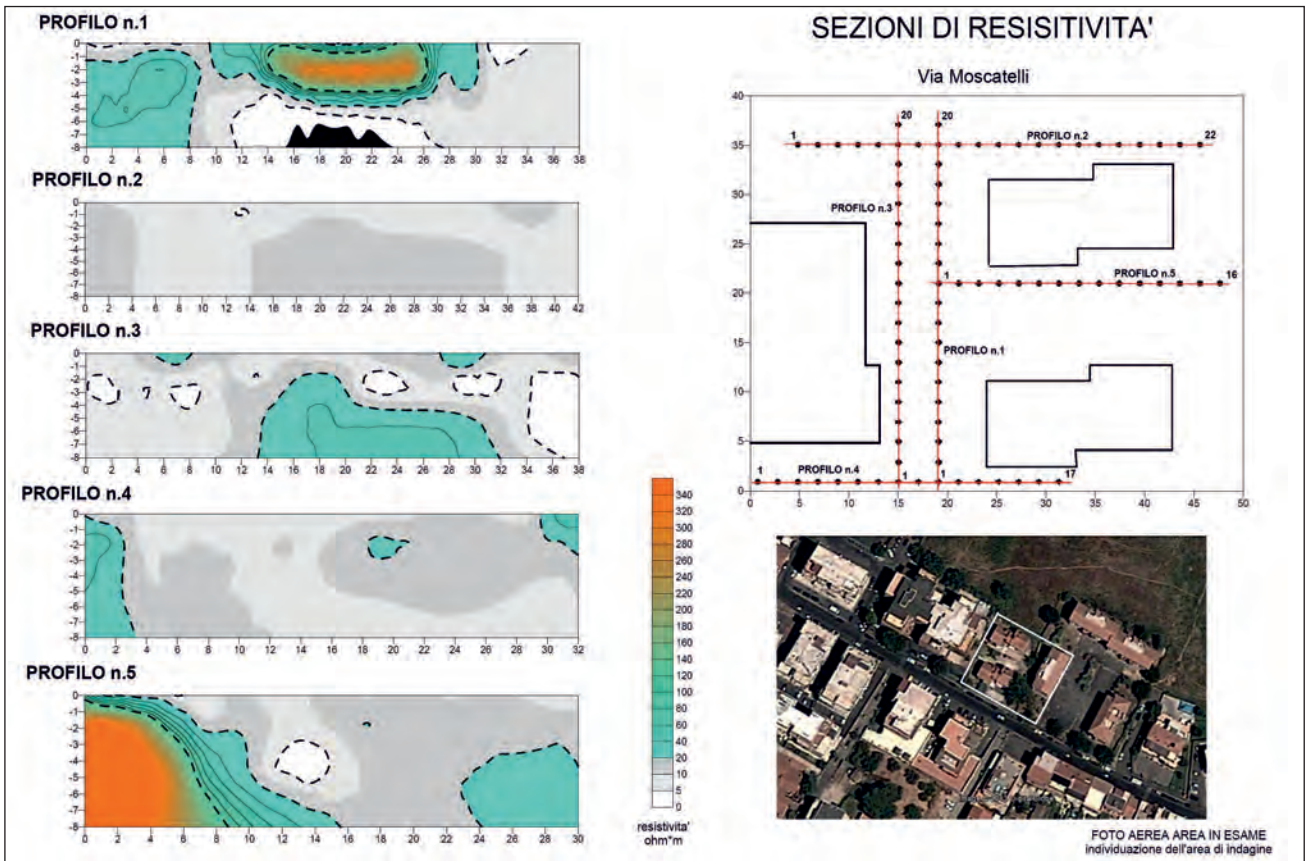


Fig. 3 – Ubicazione degli stendimenti geo-elettrici e restituzione tomografica dei rilievi.
 - Site of the geo-electrical arrays and tomographic restitutions of the survey sections.

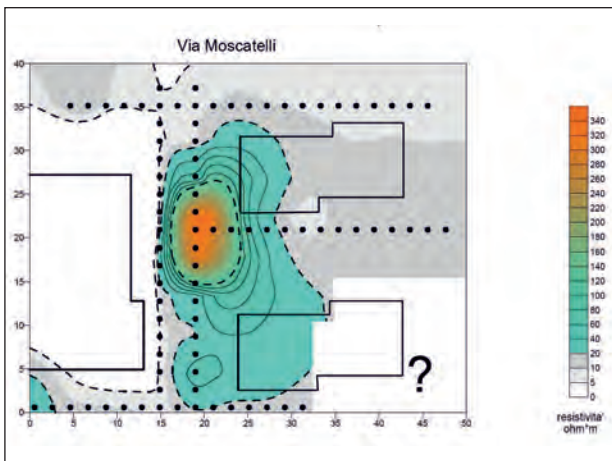


Fig. 4 – Isoplete di resistività elaborate dai rilievi tomografici alla quota di m 2.5 dal p.c.
 - Resistivity isopleth processed by the tomographic survey sections referring to m 2.5 below l.f.

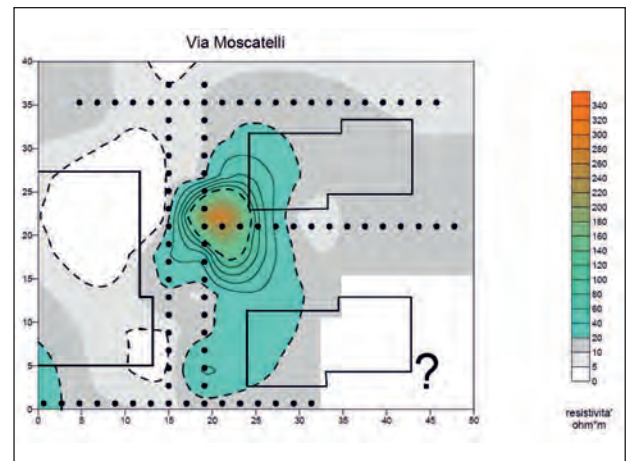


Fig. 5 – Isoplete di resistività elaborate dai rilievi tomografici alla quota di m 3.8 dal p.c.
 - Resistivity isopleth processed by the tomographic survey sections referring to m 3.8 below l.f.

Il rilievo con la configurazione di misura Wenner è stata ritenuta idonea a discriminare al meglio le variazioni verticali e laterali di resistività dei terreni e quindi a fornire un quadro delle variazioni delle caratteristiche dei terreni tufacei che caratterizzano il sottosuolo dell'area di interesse, e prevede la misurazione su coppie degli elettrodi

opportunamente disposti su una specifica geometria di acquisizione (fig. 9).

La restituzione delle sezioni è stata effettuata elaborando i dati di differenza di potenziale e intensità di corrente ai picchetti, registrati per una data posizione relativa degli elettrodi, calcolando la resistività apparente del volume di terreno inve-

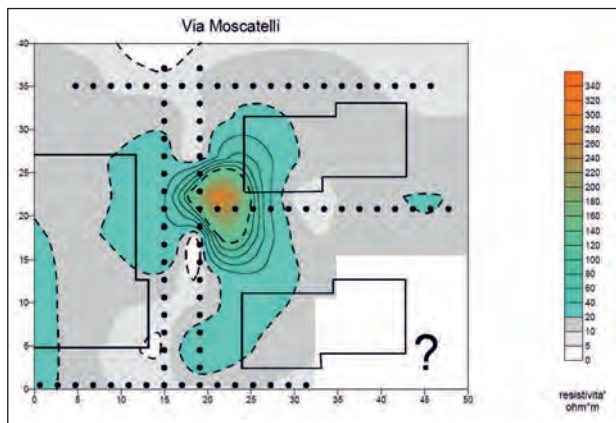


Fig. 6 – Isoplete di resistività elaborate dai rilievi tomografici alla quota di m 5,0 dal p.c.

- Resistivity isopleth processed by the tomographic survey sections referring to m 5,0 below l.f.

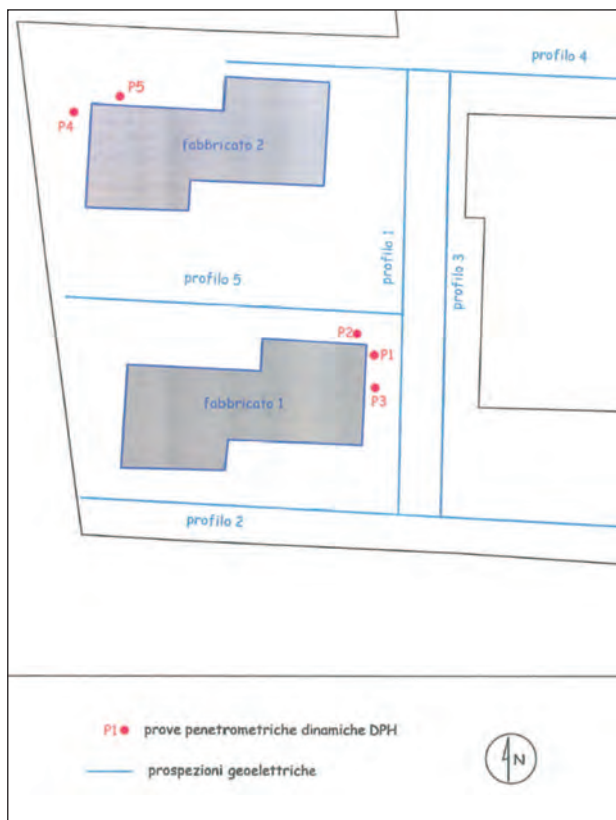


Fig. 7 – Ubicazione delle prove penetrometriche (DPH) eseguite nell'area di studio.

- Site of the dynamic penetrometric heavy tests (DPH) carried out the area of interest.

stigato: il valore viene riferito in prima istanza ad una profondità pari a ca $AB/2$, in corrispondenza della progressiva mediana tra i due elettrodi di corrente di misura.

Il rilievo viene quindi restituito attraverso le sezioni di resistività che illustrano, lungo la stesa di elettrodi di riferimento, l'andamento del valore di resistività dei terreni investigati nel sottosuolo (v. fig. 3).

La lettura delle informazioni su sezioni individuali è stata quindi restituita, nell'ambito del preliminare elaborato professionale, interpolando su sezioni a quota differente dal piano campagna di rilievo, i valori di resistività sulle sezioni di misura, restituendo quindi carte di resistività, dove le isoplete dei valori di interpolazione esprimono l'andamento areale della resistività nella zona di indagine (v. figg. 4, 5, 6).

Le mappe di resistività risultano peraltro una interpolazione dei dati riferiti alle direttrici di rilevamento e, pur evidenziando una areale correlazione dei dati tra le direttrici di rilevamento, presentano delle indeterminazioni intrinseche dei parametri di conducibilità.

5. - RISULTATI DELL'INDAGINE GEOELETTRICA RESTITUZIONE AREALE DELLE ISOPLETE DI RESISTIVITÀ

Le sezioni di resistività dei terreni evidenziano porzioni caratterizzate da resistività inferiori a 20 $\text{ohm} \cdot \text{m}$, correlabili con tufi alterati con un marcato comportamento conduttivo.

Resistività superiori a 120 $\text{ohm} \cdot \text{m}$ sono piuttosto correlabili con la presenza di sedimenti poco addensati e caratterizzati dalla presenza di vuoti e/o cavità; in corrispondenza dell'area interessata dallo sprofondamento, che ha prodotto la voragine poi colmata con materiale arido, i valori di resistività registrati superano ampiamente i 250 $\text{ohm} \cdot \text{m}$.

Valori di resistività compresi tra 20 $\text{ohm} \cdot \text{m}$ e 120 $\text{ohm} \cdot \text{m}$ sono da riferire a sedimenti e terreni mediamente addensati, che pur non presentando condizioni di criticità per scavamento a breve e medio termine, possono subire un locale degrado a lungo termine, ovvero possono costituire la direttrice di evoluzione di cavità sepolte, laddove siano correlabili con volumi sotterranei di maggiore evidenza geofisica.

Le geometrie rilevate nel sottosuolo (v. figg. 3, 4, 5, 6) evidenziano lo sviluppo "allungato" della voragine principale che caratterizza l'area di indagine, e che risulta impegnata per l'intero sviluppo del profilo n.1 tra le progressive m 14 e m 26. La stessa cavità si intercetta all'estremo iniziale del profilo n. 5, sino alla progressiva m 8; lo sviluppo massimo della zona di criticità viene pertanto ad impegnare lo sviluppo planimetrico dell'edificio prospiciente la viabilità di Via Moscatelli, interessandone lo spigolo nord-orientale.

Si accerterà successivamente che la quota di fondazione di tale fabbricato si spinge a profondità superiore quella di criticità, attraverso estensioni plintiformi che trasmettono i sovraccarichi a profondità superiore a m 3 dal p.c., pur non risultando nel

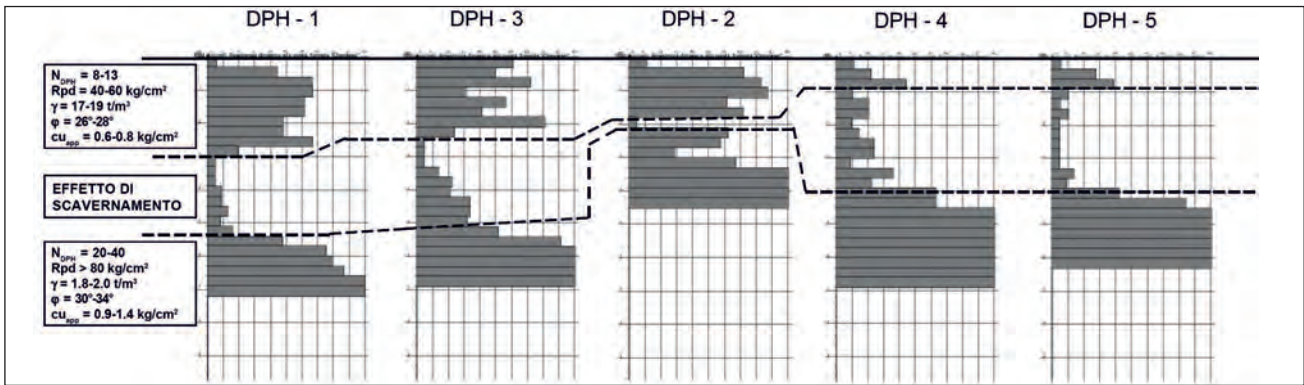


Fig. 8 – Sezione geotecnica elaborata dai risultati delle prove penetrometriche eseguite.
 - Geotechnical section processed by the Dynamic Penetrometric Hearty test results carried out.

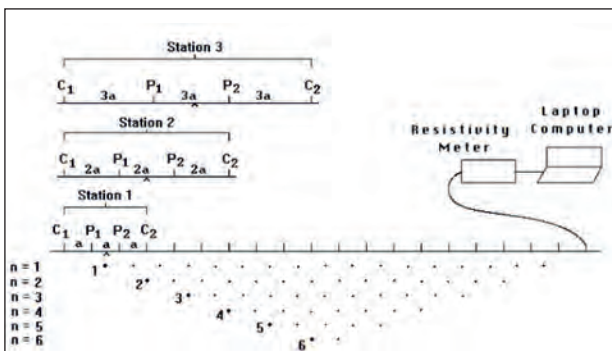


Fig. 9 – Disposizione elettroica Wenner adottata per il rilievo elettro tomografico.
 - Arrangement of the electrodes for the Wenner array used for the tomograph electrical survey.

sottosuolo alcuna volumetria che sia intesa a fruire dello spazio perimetrato dalle strutture fondali, e che portano a ritenere le condizioni di pericolosità in essere compatibili con il richiesto grado di sicurezza.

Il profilo n.3, parallelo al primo e sviluppato nell'adiacente proprietà, pur rilevando la vaga geometria della voragine che ha interessato il piazzale ad ovest, ne rileva la presenza solo da profondità di circa m 2 dal p.c.: le qualità geoelettriche caratterizzano a tale profondità una volumetria caratterizzata piuttosto da un minore grado di addensamento.

La restituzione dell'andamento areale della conducibilità del terreno su quote differenti dal piano di prova (v. figg. 4, 5, 6), e nello specifico a m 2.5, m 3.8 e m 5.0, mediante isopete di resistività, pur interpolando informazioni su aree effettivamente non interessate da investigazione, in quanto non accessibili alla misurazione con gli utensili impiegati nella prospezione, consentono di relazionare le informazioni acquisite lungo i singoli profili di rilievo e forniscono informazioni sull'estensione e sull'andamento planimetrico delle aree caratterizzate da maggiore criticità, qualificate da maggiore resistività rispetto ai terreni circostanti.

6. - CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA DEI TERRENI

La definizione delle problematiche puntuali non chiarite a livello di investigazione areale con le tecniche geofisiche utilizzate, sono state risolte con indagini geotecniche puntuali, qui opportunamente ubicate, costituite da prospezioni penetrometriche (v. figg. 7, 8).

Tali rilievi hanno validato i dati dell'indagine geo-elettrica, evidenziando le condizioni di criticità associate alle problematiche emerse nell'indagine preliminare ed accertate le condizioni di criticità.

In particolare è stato possibile confermare, pur in assenza di ulteriori cavità in essere, la presenza di volumetrie del sottosuolo nella profondità di circa m 2 dal piano di rilievo, caratterizzate da scarso grado di addensamento.

La circolazione idrica rilevata conferma la presenza di deflussi stagionali che possono canalizzarsi nelle aree a minore addensamento e derivarsi sui versanti del rilievo, alle quote più basse, allontanando i materiali più fini e producendo, pertanto un effetto di "svuotamento" dello scheletro del suolo; nella profondità di criticità individuata in circa m 2 dal p.d.p., si presentano effetti legati a cedimento ed addensamento del suolo con conseguente sprofondamento ed apertura di voragini, nelle condizioni di maggiore criticità, pur in assenza di fenomeni antropici o naturali puntuali e specificatamente localizzati nel sottosuolo.

L'indagine penetrometrica (v. figg. 7, 8) consente inoltre di pervenire alla caratterizzazione geotecnica dei terreni, a supporto delle progettazioni strutturali di consolidamento nell'area.

Saggi di scavo, sviluppati in adiacenza ai fabbricati nell'area di studio, accertano infine condizioni di sicurezza per i fabbricati, la cui quota di fondazione resta individuata a profondità superiore a quella di criticità, condizione non reperita nella documentazione disponibile.

BIBLIOGRAFIA

- AGRILLO E., BONO P., CASELLA L., D'ANDREA L. & CARAMANNA G. (2004) – *Cavità di collasso recenti ed antiche nel bacino lacustre di Posta Fibreno (Frosinone)*. Atti del Conv.: “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: 11-18.
- ALBANI R., LOMBARDI L. & VICINANZA P. (1973) – *Idrogeologia della città di Roma*. Atti del 2° Convegno Internazionale sulle acque sotterranee, Palermo.
- AQUATER (2001) – *Relazione relativa alla voragine ed alle indagini geofisiche effettuate nell’area di Pozzo Grande*. Elaborato società SNAM – ENI Group.
- BONI C., BONO P. & CAPELLI G. (1988) – *Carta Idrogeologica del territorio della Regione Lazio*. Regione Lazio, Università “La Sapienza”, Roma.
- BRUNAMONTE F. & SERANGELI S. (1996) – *Evoluzione naturale ed intervento antropico nello studio dei fenomeni di subsidenza nella Pianura Pontina*, Mem. Soc. Geol. It., **25**: 823-836.
- CARAMANNA G., CIOTOLI G., NISIO S. & VITA L. (2006) – *I fenomeni di sinkholes in Italia: inventario dei fenomeni naturali ed alcuni casi di studio*. Mem. Descr. Carta Geol. d’It., **71**, 123.
- DI FILIPPO M., NOLASCO F., RIZZO S. & TORO B. (2004) – *Indagini geofisiche per l’individuazione di aree a rischio sinkhole nella piana di San Vittorino (RI)*. Atti del Conv.: “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: 389-398.
- DI LORETO E., LIPERI L. & PIRO M. (1999) – *Riquilificazione ambientale del Geotopo di Lago Puzzo. Comune di Fiano Romano, Roma*. Mem. Descr. Carta Geol. d’It., **54**: 339-346.
- FACCENNA C. & FUNICIELLO R. (1993) – *Tettonica pliositocenica tra il Monte Soratte ed i Monti Cornicolani (Lazio)*. Il Quaternario, **6** (1): 103-118.
- NISIO S. (2003) – *I fenomeni di sprofondamento: stato delle conoscenze ed alcuni esempi in Italia Centrale*. Il Quaternario, **16** (1): 121-132.
- NISIO S. (2008) – *I fenomeni naturali di sinkhole nelle aree di pianura italiane*. Mem. Descr. Carta Geol. d’It., **85**.
- NISIO S., GRACIOTTI R. & VITA L. (2004) – *I fenomeni di sinkhole in Italia: terminologia, meccanismi genetici e problematiche aperte*. Atti del Conv.: “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: 557-572.
- NISIO S. & SALVATI R. (2004) – *Fenomeni di sprofondamento catastrofico. Proposta di classificazione applicata alla casistica italiana*. Atti del Conv.: “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: 573-584.
- REGIONE LAZIO (2002) – *Deliberazione Giunta Regionale 2/8/2002, n.1159: “Integrazione alla Deliberazione n.2649 del 18/5/1999 – Linee Guida e Documentazione per l’indagine geologica e vegetazionale – Normativa tecnica per le indagini da effettuare nelle zone indiziate di rischio sinkhole”*. BUR Lazio, **30**, parte I: 18-2.
- SALVI S., PIRRO M., STRAMONDO S., PAGLIUCA N.M., ATZORI S., COLINI L., TOLOMEI C., DOUMAZ F., GASPARINI C. & PETITTA M. (2005) – *Analisi multidisciplinare applicata allo studio dei fenomeni di subsidenza relativo al bacino delle Acque Albule (Lazio): confronto di dati provenienti da tecniche satellitari, di campagna, del sottosuolo e geofisiche*. GNGTS, Atti del 23° Conv. Nazionale / 01.05.
- VENTRIGLIA U. (1990) – *Idrogeologia della Provincia di Roma*. Amministrazione Provinciale di Roma.
- VENTRIGLIA U. (2002) – *La geologia del territorio del Comune di Roma*. Amministrazione Provinciale di Roma.