

Rapporti tecnici

INGV

**Tomografia di resistività elettrica
per l'individuazione di cavità nel
sottosuolo urbano:
un'applicazione nella città di Napoli**

313



Direttore Responsabile

Stefano Gresta

Editorial Board

Luigi Cucci - Editor in Chief (INGV - RM1)

Andrea Tertulliani (INGV - RM1)

Nicola Pagliuca (INGV - RM1)

Umberto Sciacca (INGV - RM2)

Alessandro Settimi (INGV - RM2)

Aldo Winkler (INGV - RM2)

Salvatore Stramondo (INGV - CNT)

Milena Moretti (INGV - CNT)

Gaetano Zonno (INGV - MI)

Viviana Castelli (INGV - BO)

Antonio Guarnieri (INGV - BO)

Mario Castellano (INGV - NA)

Mauro Di Vito (INGV - NA)

Raffaele Azzaro (INGV - CT)

Rosa Anna Corsaro (INGV - CT)

Mario Mattia (INGV - CT)

Marcello Liotta (INGV - PA)

Segreteria di Redazione

Francesca Di Stefano - Referente

Rossella Celi

Tel. +39 06 51860068

redazionecen@ingv.it

in collaborazione con:

Barbara Angioni (INGV - RM1)



Rapporti tecnici INGV

TOMOGRAFIA DI RESISTIVITÀ ELETTRICA PER L'INDIVIDUAZIONE DI CAVITÀ NEL SOTTOSUOLO URBANO: UN'APPLICAZIONE NELLA CITTÀ DI NAPOLI

Alessandro Fedele, Maria Giulia Di Giuseppe, Antonio Troiano, Renato Somma, Giuseppe Brandi,
Mario Dolce, Mauro A. Di Vito, Claudia Troise, Giuseppe De Natale

INGV (Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, Sezione di Napoli - Osservatorio Vesuviano)

313

Indice

Introduzione	7
1. Il metodo geoelettrico	8
2. Metodologia di indagine	11
3. Risultati e discussione	13
4. Conclusioni	16
Ringraziamenti	16
Bibliografia	16

Introduzione

La città di Napoli presenta un assetto morfologico molto articolato, inserito nella parte orientale dei Campi Flegrei (fig. 1a), che sono un campo vulcanico caratterizzato da eventi prevalentemente esplosivi e da centri distribuiti in un territorio molto vasto [Rosi e Sbrana, 1987; Orsi et al., 1996].

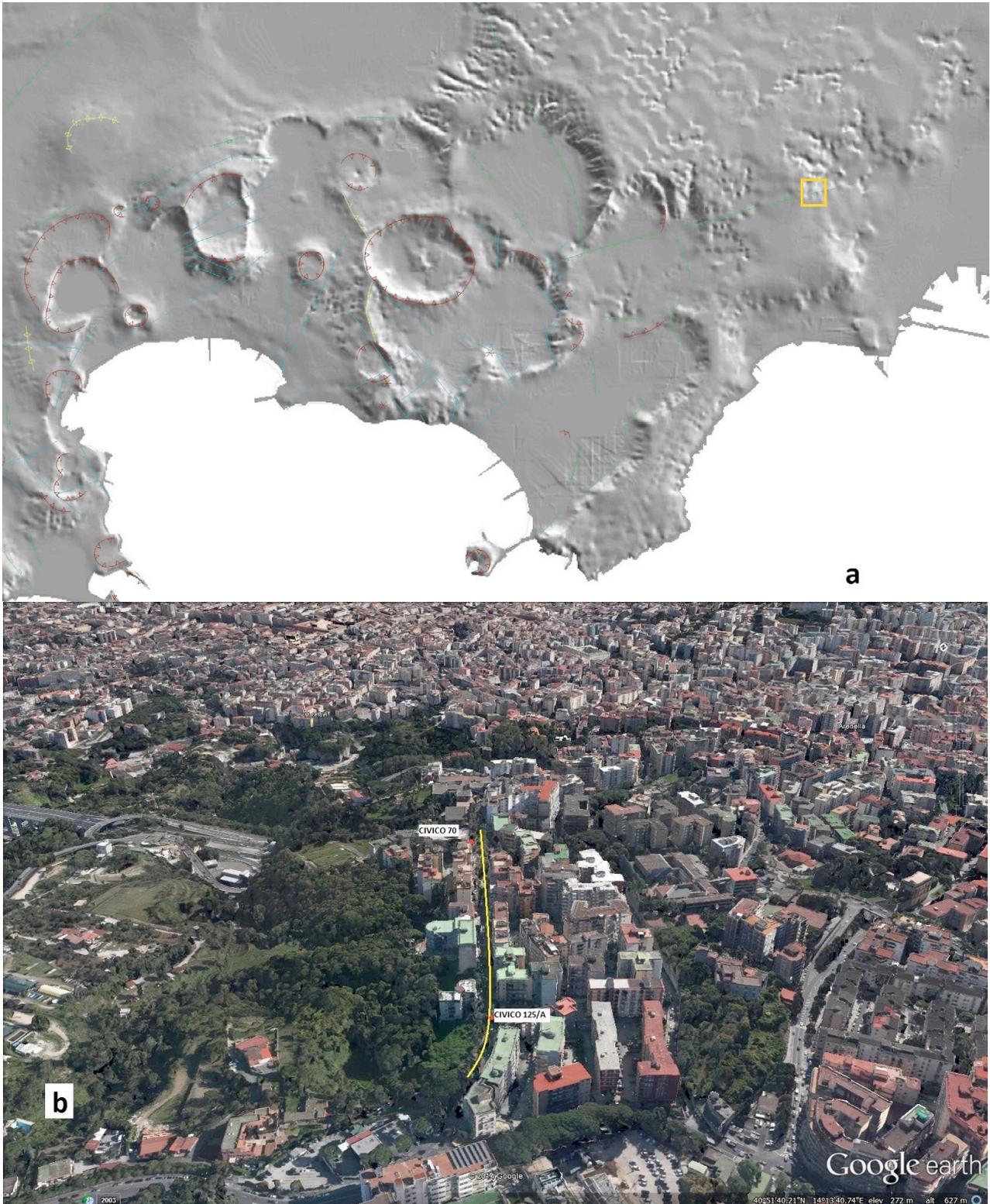


Figura 1. a) Mappa strutturale della caldera dei Campi Flegrei. Nel riquadro giallo, la collina del Vomero in cui è ubicata Via B. Cavallino. b) La linea del *survey* in Via B. Cavallino.

La vulcano-tettonica dell'area è dominata da due collassi calderici legati alle due eruzioni di Ignimbrite Campana e Tufo Giallo Napoletano e da ulteriori eventi deformativi di minore entità che hanno ulteriormente dislocato le sequenze di rocce dell'area napoletano-flegrea a varie quote. Inoltre l'area è caratterizzata da un vistoso fenomeno di risorgenza che ha dislocato in blocchi il fondo della caldera e determinato, tra l'altro, il significativo sollevamento del terrazzo marino de La Starza [Cinque et al., 1985]. Questo contesto ha portato alla presenza di rilievi collinari, in prevalenza tufacei, ricoperti dalla sequenza di prodotti delle eruzioni recenti (<15 ka) dei Campi Flegrei [Di Vito et al., 1999]. Il tufo che costituisce il substrato nell'area in studio è il Tufo Giallo Napoletano, prodotto dall'eruzione omonima avvenuta 15.000 anni fa. Lo spessore di tale formazione è di decine di metri e il grado di litificazione è, nell'area, generalmente alto. Questo tufo, più o meno litoide, risulta sovrastato da sequenze costituite da un'intercalazione di strati di piroclastiti sciolte (pomice e cenere) di vario spessore e granulometria, intercalate a livelli a vario grado di umificazione. In particolare la Collina del Vomero, nella parte centro-orientale della città (fig. 1b), è caratterizzata da una sequenza superiore post-tufo giallo dell'ordine di 15-20 m con ispessimento anche maggiore di 30 m in corrispondenza di depressioni strutturali o antiche incisioni. In questi casi sono incluse anche vulcanoclastiti rimaneggiate da processi alluvionali e/o colluviali [Scherillo, 1954; Cinque et al., 2011].

Le infrastrutture collegate alla rete di sottoservizi urbani della città, aggiunte all'elevato sfruttamento del sottosuolo da cui nel passato venivano ricavati i materiali da costruzione comunemente utilizzati per l'edificazione (tufi, lave e "pozzolana") hanno indotto la diffusa presenza di pozzi, gallerie e cunicoli nel sottosuolo. Tali cavità, di geometria e andamento spesso non noti, danno frequentemente origine a vari fenomeni di instabilità, quali sprofondamenti, voragini o amplificazione delle vibrazioni meccaniche dovute all'attività urbana. Per determinare i litotipi presenti nel sottosuolo e le loro caratteristiche fisiche e per individuare la presenza di eventuali anomalie stratigrafiche (cavità e fratture) e la loro geometria la tomografia di resistività elettrica (ERT) rappresenta lo strumento ideale. Essa è in grado di individuare le strutture geologiche sepolte e le anomalie di origine naturale o antropica presenti nel sottosuolo, che possono presentarsi come isolate variazioni di resistività. La ERT garantisce un ottimo potere risolutivo ed una notevole profondità di investigazione rispetto a metodi di tipo sismico, con l'utilizzo di una sorgente artificiale che garantisce la qualità del dato pur non presentando effetti invasivi incompatibili con l'ambiente urbano.

1. Il metodo geoelettrico

Le rocce naturali sono formate da minerali o associazioni di minerali che possono presentare conducibilità di tipo elettrolitico. Esse infatti, a temperatura ambiente, sono permeate da una certa quantità di acqua.

La presenza di fluidi nel sottosuolo fa sì che rocce e terreni, attraversati dalla corrente, si comportino relativamente come dei buoni conduttori di elettricità; al contrario le strutture con scarso contenuto di fluidi come rocce asciutte non fratturate e cavità naturali o di natura antropica si comportano come dei resistivi.

Immettendo nelle rocce un flusso di corrente artificiale, le geometrie sepolte rispondono in funzione del parametro fisico che regola tale comportamento: la resistività elettrica ρ ($\Omega \cdot m$) che risulta, per quanto detto in precedenza, funzione del contenuto d'acqua nelle rocce, della loro porosità e della quantità di sali disciolti [Reynolds, 1997]. Naturalmente, la resistività per un dato litotipo non può essere definita da un valore univoco, ma da un intervallo più o meno ampio entro il quale essa può variare. Inoltre, come si può notare dalla Tabella 1, gli intervalli di resistività che caratterizzano i vari tipi di rocce e di terreni spesso si sovrappongono. In ogni caso, la ricostruzione della distribuzione della resistività elettrica in profondità può fornire informazioni sulla natura e sulla struttura del sottosuolo. A questo scopo è stato sviluppato il Metodo della Tomografia di Resistività Elettrica, che studia la risposta del terreno all'immissione di corrente elettrica artificiale. La strumentazione per l'esecuzione di questo tipo di misure comprende due sezioni: la prima, energizzante, serve ad immettere la corrente elettrica artificiale nel terreno attraverso due elettrodi (A e B); la seconda, ricevente, serve alla misura della differenza di potenziale indotta tra due elettrodi di tensione (M e N) (Fig. 2).

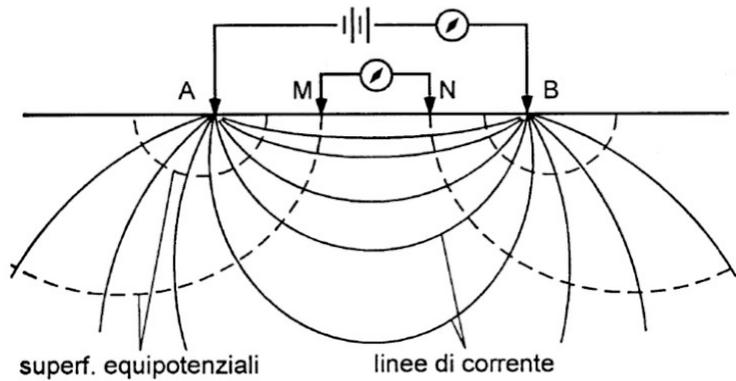


Figura 2. Linee di corrente e superfici equipotenziali per una coppia di elettrodi A e B in un semispazio omogeneo.

Per introdurre la teoria alla base del metodo geoelettrico è possibile considerare la distribuzione di potenziale dovuta ad un singolo elettrodo di corrente; da questa, per sovrapposizione, può essere ricostruito l'effetto di una coppia di elettrodi o di ogni altra combinazione.

Immettendo nel terreno, approssimato come un mezzo omogeneo ed isotropo semi-infinito, una corrente continua di intensità I attraverso una sorgente puntiforme A sita sulla superficie, il potenziale in un generico punto del mezzo sarà dato da:

$$U = \rho \frac{I}{2\pi r} \quad (1)$$

Dove:

U = potenziale [Volt];

ρ = resistività del mezzo [$\Omega \cdot m$];

r = distanza dall'elettrodo [m];

I = intensità di corrente immessa [Ampere].

Se si considera invece una coppia di elettrodi, A e B , in cui si immette rispettivamente una corrente I e $-I$, il potenziale è dato dalla somma algebrica dei singoli contributi:

$$U = \rho \frac{I}{2\pi r_A} - \rho \frac{I}{2\pi r_B} = \rho \frac{I}{2\pi} \left[\frac{1}{r_A} - \frac{1}{r_B} \right] \quad (2)$$

dove r_A e r_B sono le distanze del punto dagli elettrodi A e B .

Se si considera, infine, una coppia di elettrodi di misura, M e N , la differenza di potenziale risulta così definita:

$$V = U_M - U_N = \frac{\rho I}{2\pi} \left[\frac{1}{AM} - \frac{1}{BM} + \frac{1}{BN} - \frac{1}{AN} \right] \quad (3)$$

dove U_M e U_N sono i potenziali in M e N ; AM , BM , BN e AN sono le distanze effettive tra gli elettrodi. La quantità tra parentesi quadra, funzione della spaziatura tra gli elettrodi, può essere indicata come $1/K$, il che permette di ricavare l'espressione per la resistività in funzione dei valori misurati di V , I e dal fattore geometrico K , funzione unicamente della disposizione elettrodica.

$$\rho = 2\pi K \frac{V}{I} \quad (4)$$

In questo modo, la resistività apparente risulta funzione della corrente applicata tra gli elettrodi di immissione, della differenza di potenziale tra gli elettrodi di misura e della disposizione geometrica degli elettrodi.

Rocce e minerali metallici	Resistività (Ωm)
Sedimentarie	
Calcere chalk	50 ÷ 150
Argilla (clay)	1 ÷ 100
Ghiaia (gravel)	100 ÷ 5000
Calcere (limestone)	50 ÷ 10 ⁷
Marna (marl)	1 ÷ 100
Quarzite (quartzite)	10 ÷ 10 ⁸
Argilla (shale)	10 ÷ 1000
Sabbia (sand)	500 ÷ 5000
Arenaria (sandstone)	1 ÷ 10 ⁸
Igne e Metamorfiche	
Basalto	10 ÷ 10 ⁷
Gabbro	10 ³ ÷ 10 ⁶
Granito	10 ² ÷ 10 ⁶
Marmo	10 ² ÷ 10 ⁸
Scisto	10 ÷ 10 ⁴
Ardesia	10 ² ÷ 10 ⁷
Minerali e minerali metallici	
Argento	1,6 · 10 ⁻⁸
Grafite (giacimento massivo)	10 ⁴ ÷ 10 ⁻³
Galena (Pbs)	10 ⁻³ ÷ 10 ²
Magnetite di giacimento	1 ÷ 10 ⁵
Sfalerite (ZnS)	10 ³ ÷ 10 ⁶
Pirite	10 ²
Calcopirite	10 ⁵ ÷ 0,3
Quarzo	10 ¹⁰ ÷ 2 · 10 ¹⁴
Salgemma	10 ÷ 10 ¹³
Acque ed effetto del contenuto in sale	
Acqua pura	10 ⁶
Acque naturali	1 ÷ 10 ³
Acqua di mare	0,2
Sale 20%	5 · 10 ⁻²
Granito 0% di acqua	10 ¹⁰
Granito 0,19% di acqua	10 ⁶
Granito 0,31% di acqua	4 · 10 ³

Tabella 1. Intervalli di resistività (ρ).

Nel tempo, sono stati introdotti differenti disposizioni degli elettrodi ognuno caratterizzato da una serie di vantaggi e svantaggi. In particolare nel dispositivo Dipolo-Dipolo Assiale il dipolo di corrente ed il dipolo di potenziale presentano la stessa distanza e sono disposti secondo lo schema riportato in figura 3.

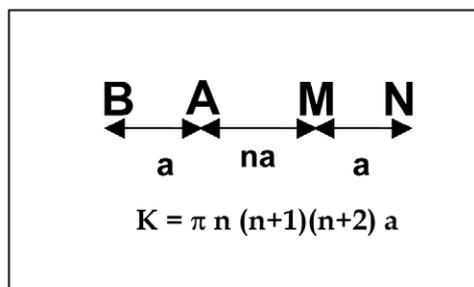


Figura 3. Dispositivo Dipolo-Dipolo.

Tale dispositivo si definisce assiale poiché i due dipoli si spostano lungo lo stesso profilo. Visto che i dipoli di corrente sono separati da quelli di potenziale e visto che il potenziale misurato sulla superficie risulta rappresentativo della resistività di strati man mano più profondi all'aumentare della distanza tra AB ed MN, questa tipologia di dispositivo risulta caratterizzata da una maggiore profondità di penetrazione rispetto alle altre configurazioni elettrode. Questo rende il dipolo-dipolo uno dei dispositivi più utilizzati in letteratura sia per le misure di resistività che di polarizzazione indotta [Samouëlian et al., 2005; Loke,

2001; Griffiths and Barker, 1993]. Il parametro n rappresenta il rapporto tra la distanza fra gli elettrodi A - M e la distanza elettrodoica a .

Le distanze tra gli elettrodi di corrente e quelli di potenziali aumentano seguendo, in questo schema, multipli interi di n . Il Dipolo-Dipolo assiale risulta esser maggiormente adatto per la individuazione di dicchi e cavità e meno adatto per la ricostruzione di strutture orizzontali quali ad esempio livelli sedimentari. I dati dei rilievi geoelettrici sono usualmente presentati in forma di valori di resistività apparente, definita come la resistività di un semispazio elettricamente omogeneo ed isotropo che presenti gli stessi rapporti misurati tra la corrente applicata e la differenza di potenziale per una data disposizione e spaziatura degli elettrodi.

2. Metodologia di indagine

In data 5/8/2014 sono state eseguite due prospezioni geoelettriche in Via B. Cavallino, nel quartiere Vomero della città di Napoli. I *survey* sono stati effettuati al fine di determinare le caratteristiche elettriche dei litotipi presenti nell'area investigata, ricostruire la loro geometria e individuare presunte discontinuità riconducibili a cavità nel sottosuolo. In particolare, le indagini geoelettriche sono state eseguite con un'acquisizione multielettrodo in configurazione Dipolo-Dipolo per un totale di 1971 misure per il primo profilo e 1754 per il secondo. Per agevolare l'inserimento degli elettrodi sulla pavimentazione stradale sono stati effettuati dei fori con trapano da parte della squadra tecnica di pronto intervento del Comune di Napoli (Fig. 4b1 e b2).

La fase di acquisizione è stata preceduta dalla verifica delle resistenze di contatto, ovvero quei valori di resistenza che non dipendono dal mezzo da investigare ma dagli effetti di uno scadente contatto elettrodo-terreno. Generalmente, per migliorare questo accoppiamento vengono utilizzati fluidi conduttivi, bentonite o impasti semifluidi di argilla. Nel caso specifico è stato sufficiente il ricorso ad una soluzione salina per ottenere resistenze di contatto dell'ordine di pochi $k\Omega$. Per il primo profilo sono stati utilizzati 70 elettrodi con spaziatura di 5 m per un totale di 345 m di stendimento multielettrodoico (Fig. 4a). Per il secondo profilo sono stati utilizzati 66 elettrodi con spaziatura di 5 m per un totale di 325 m di stendimento multielettrodoico.



Figura 4. (a) Stendimento lungo via B. Cavallino; (b1) foratura e (b2) inserimento elettrodi.

L'acquisizione di profili geoelettrici lungo singole linee, utilizzando quindi una modellazione 2D, comporta l'implicita assunzione che la resistività del terreno rimanga costante nelle direzioni ortogonali e che le sue variazioni avvengano soltanto lungo il profilo e con la profondità. Nella realtà la corrente scorre nelle tre dimensioni e le variazioni laterali non possono essere totalmente definite dalla tomografia 2D, mentre queste possono influenzare il *pattern* elettrostratigrafico della sezione. Nonostante si cerchi generalmente di ovviare a questo limite effettuando più sezioni parallele ed ortogonali, nel caso specifico gli importanti vincoli logistici hanno limitato questa possibilità. Via B. Cavallino risulta, per altro, una importante via di comunicazione che collega la zona ospedaliera della città con la collina del Vomero e di conseguenza esiste una forte incompatibilità tra la normale viabilità urbana e le attività connesse ai rilievi geofisici. Questo in particolare ha comportato la necessità di limitare al minimo la durata delle misure.

La strumentazione a disposizione, in aggiunta, ed in particolare il numero di canali di acquisizione disponibili, permette di realizzare, dato il livello di dettaglio necessario, profili lunghi al massimo 350 m. Questo ha comportato la necessità di eseguire le due linee sfalsate, in parziale sovrapposizione, in modo tale da ottenere la maggior risoluzione e profondità di penetrazione in corrispondenza del tratto centrale di Via B. Cavallino. La realizzazione di altri dispositivi, quali il Wenner-Schlumberger, ad esempio, avrebbe sicuramente fornito informazioni complementari utili all'interpretazione della parte più superficiale ma le limitazioni di cui sopra hanno imposto la scelta di una sola configurazione elettrodica, e la dipolo-dipolo risulta adatta a rilevare variazioni orizzontali di resistività, quali quelle che sarebbero connesse a cavità sotterranee. Essa permette inoltre una maggiore profondità di penetrazione rispetto alle altre configurazioni. Questa ultima caratteristica, necessaria visto che erano richiesti studi che caratterizzassero diverse decine di metri del substrato, è stata inoltre salvaguardata invertendo separatamente le due linee invece di utilizzare una configurazione di tipo *roll-along*.

L'indagine è stata effettuata con GEORESISTIVIMETRO IRIS SyscalPro, acquisitore digitale modulare per prospezione geoelettrica multielettrodo, con massimo voltaggio di output di 800 V e massima corrente erogata di 2 A. Il Georesistivimetro è dotato di un sistema di gestione automatica degli elettrodi, in grado cioè di commutare gli elettrodi disposti lungo la sezione da investigare in elettrodi di immissione di corrente (punti di energizzazione del terreno) e in elettrodi di misura del potenziale elettrico con tutte le possibili combinazioni quadripolari.

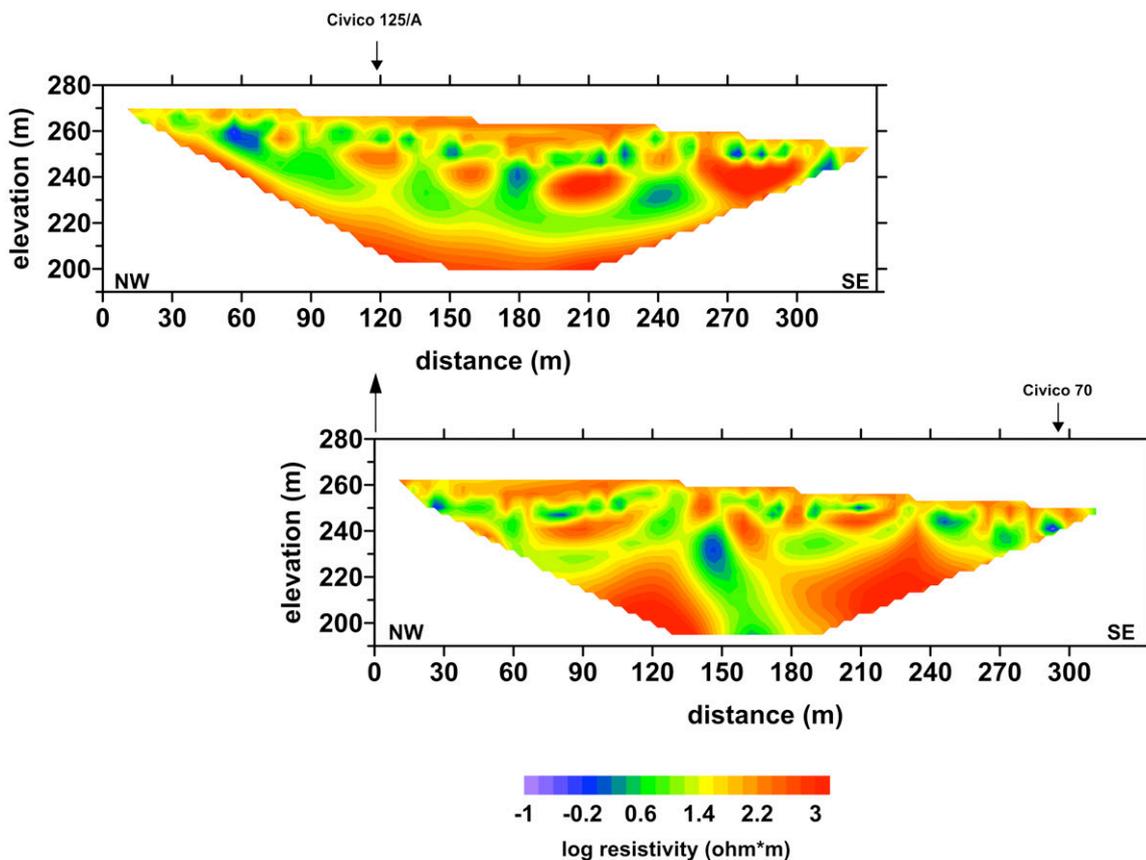


Figura 5. Tomografie 2D di resistività elettrica ($\Omega \cdot m$) relative ai due stendimenti elettrodici effettuati.

I dati ottenuti in fase di acquisizione, invertiti tramite software di inversione RES2DINV della GEOTOMO INTERNATIONAL, hanno restituito la distribuzione di resistività elettrica del mezzo investigato (Fig. 5). L'effetto della topografia è stato preso in considerazione. Tenendo conto del contesto in cui si sono svolti i rilievi, l'RMS ottenuto, di circa 7, è stato considerato accettabile. Tale configurazione ha consentito di determinare l'elettrostratigrafia del terreno fino alla profondità di 60 m dal p.c..

3. Risultati e discussione

Di seguito si riporta la tomografia 2D di resistività elettrica congiunta ottenuta dalle indagini geoelettriche eseguite (Fig. 6).

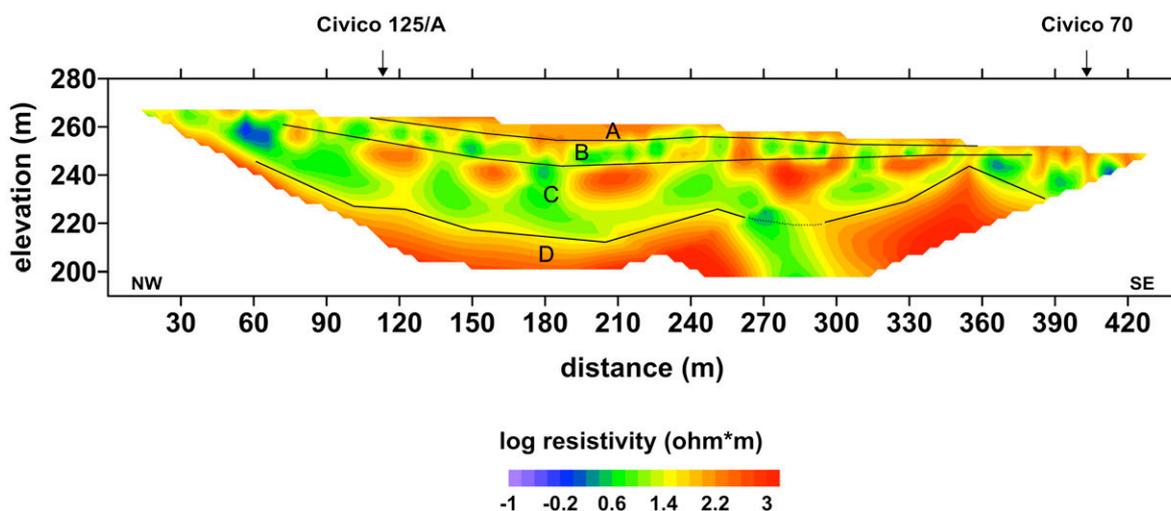


Figura 6. Tomografia 2D di resistività elettrica ($\Omega \cdot m$) relativa all'area sottoposta ad indagine.

Come si può osservare, dalla sezione emergono forti escursioni della resistività elettrica, che presenta valori variabili da pochi $\Omega \cdot m$ fino a un migliaio di $\Omega \cdot m$.

In particolare si rileva una sequenza di strati sovrapposti. Il primo strato (A), con valori alti di resistività elettrica (dell'ordine del migliaio di $\Omega \cdot m$), si approfondisce per pochi metri nella parte centrale del profilo e sovrasta uno strato (B) generalmente composto da materiali a resistività più bassa (dell'ordine della decina di $\Omega \cdot m$). Il terzo strato si presenta molto eterogeneo (C), con un'alternanza di anomalie resistive (dell'ordine del migliaio di $\Omega \cdot m$) intervallata in modo più o meno regolare da una serie di anomalie più conduttive (dell'ordine della decina di $\Omega \cdot m$). Il substrato risulta invece più omogeneo e caratterizzato da valori di resistività elettrica dell'ordine del migliaio di $\Omega \cdot m$, anche se va notata una forte anomalia conduttiva (dell'ordine della decina di $\Omega \cdot m$) nella seconda metà del profilo.

La sequenza evidenziata nella sezione è associabile all'alternanza di un primo livello di riporti antropici di spessore molto variabile, seguito da un livello di piroclastiti recenti (Figg. 6 e 9). Questa sequenza, dello spessore complessivo di circa 10 m, poggia su livelli generalmente associabili alla presenza di litologie tufacee (Tab. 1), legate al Tufo Giallo Napoletano in facies litoide, caratterizzato da elevato grado di litificazione. In effetti, i sondaggi nell'area e la cartografia geologica disponibile confermano le attribuzioni litologiche descritte e l'andamento del substrato resistivo (Comune di Napoli, 1967 e 1992) (Fig. 7).

Dall'analisi della Fig. 7 si nota infatti che il tufo è stato incontrato in perforazione a circa 10 m di profondità in corrispondenza del civico 125 e presenta una superficie molto articolata, evidenziata dalle curve del tetto del tufo, molto probabilmente per erosione che forma strutture vallive che si raccordano al vallone Gerolomini adiacente. Rispetto alle anomalie conduttive presenti nello strato C ed alla forte anomalia presente nello strato D, la mappa di Fig. 7 evidenzia la presenza di cavità sotterranee non censite (nn. 21 e

352) e di gallerie dell'acquedotto di Napoli. Un successivo sopralluogo ha messo in evidenza la presenza di almeno due gallerie nel volume di sottosuolo indagato. La prima (Fig. 8a) con imbocco sito tra -10 e -15 m dal piano di Via B. Cavallino e dunque compatibile con le anomalie riscontrate nello strato C. La seconda (Fig. 8b) con imbocco sito a -30 m dal piano della strada e dunque a profondità compatibili con l'anomalia che intervalla lo strato D.

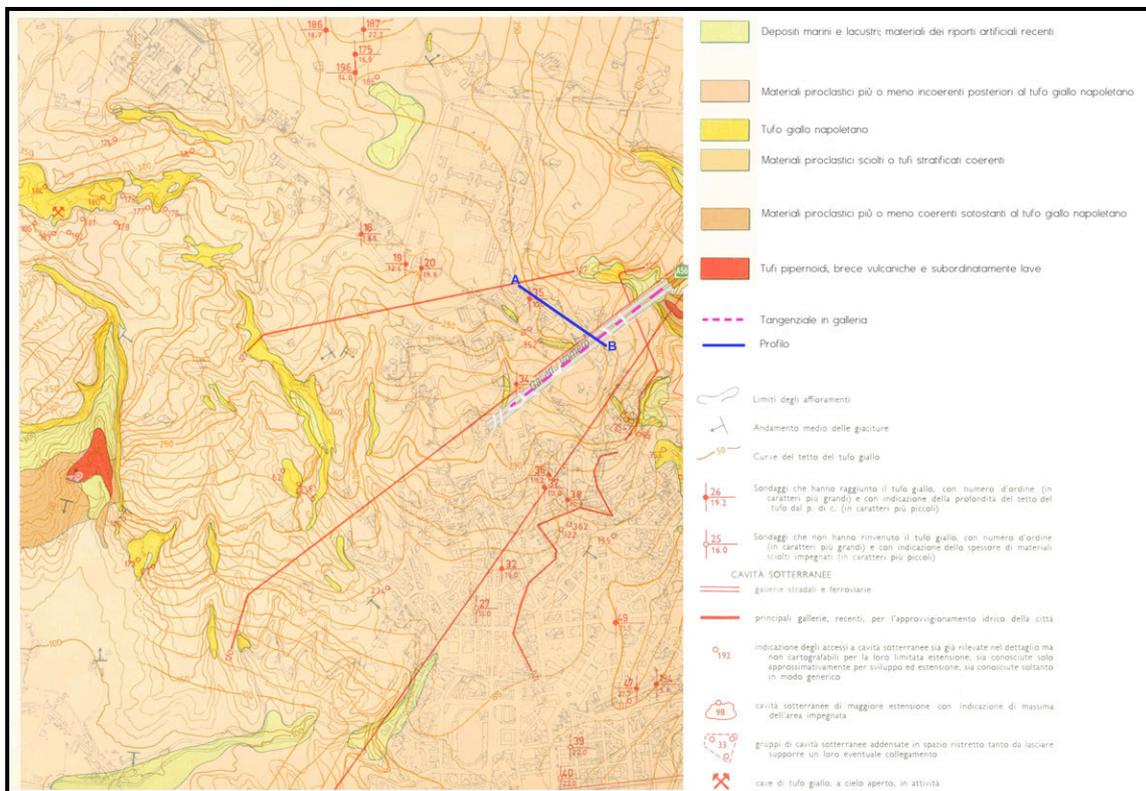


Figura 7. Carta geologica del Comune di Napoli (1967) con lo schema delle principali opere in sotterraneo presenti nell'area.



Figura 8a. Galleria presente tra i 10 e i 15 metri di profondità in corrispondenza del volume di sottosuolo indagato.



Figura 8b. Galleria presente a 30 metri di profondità in corrispondenza del volume di sottosuolo indagato.

Il sopralluogo ha fornito evidenze anche sull'andamento di queste opere in sotterraneo, solo schematizzato sulla carta geologica riportata in Fig. 7. La galleria più profonda taglia diagonalmente la sezione investigata (Fig. 6), in corrispondenza delle progressive 270 e 320 m, mentre la più superficiale, scavata nella parte superiore del tufo, sembra essere parallela a via Bernardo Cavallino. Da segnalare, inoltre, è anche il passaggio di una delle gallerie della Tangenziale di Napoli, ortogonalmente alla Via B. Cavallino, con un dislivello tra il piano stradale e quello della Tangenziale che risulta però di circa 90 m e cioè a quote più profonde rispetto all'area immaginata dalla sezione elettrotomografica.

La sezione tomografica, interpretata secondo le linee esposte in precedenza, è riportata in Fig. 9.

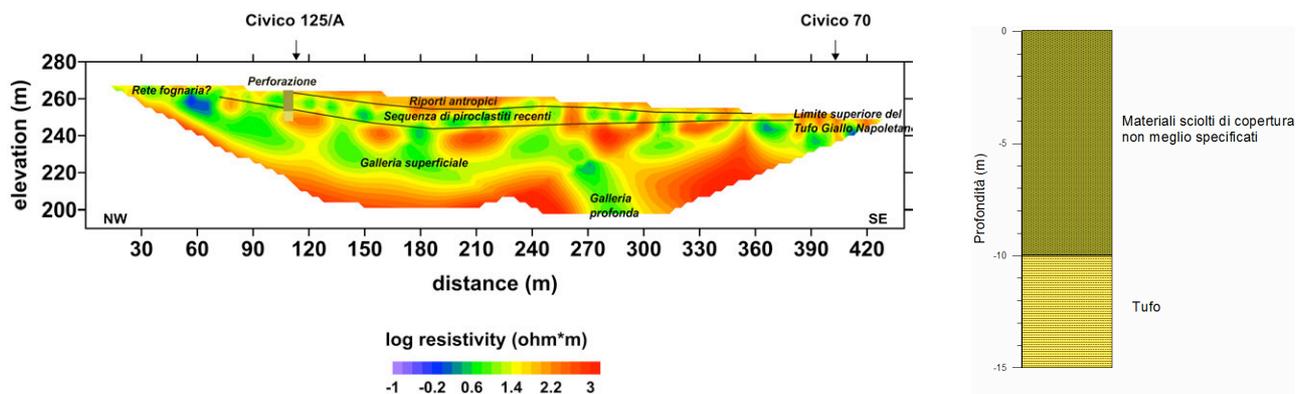


Figura 9. Tomografia 2D di resistività elettrica ($\Omega \cdot m$) relativa all'area sottoposta ad indagine interpretata e a destra log stratigrafico della perforazione n. 35 effettuata in corrispondenza del civico 125/A, riportato anche sulla sezione (descrizione integrale del log da [Comune di Napoli, 1967]).

4. Conclusioni

La sezione INGV di Napoli, Osservatorio Vesuviano, ha effettuato indagini sul sottosuolo corrispondente ad uno specifico tratto della via B. Cavallino situata sulla collina del Vomero, quartiere centro-orientale della città di Napoli. Tali sondaggi sono stati realizzati per individuare l'eventuale esistenza di cavità e fratture nel sottosuolo. Per questo tipo di indagine è stata realizzata una prospezione ERT. Questa tecnica si è mostrata particolarmente adatta ad un'area urbana caratterizzata dalla presenza di sotto servizi e di elevata complessità geologica per l'alta risoluzione e il carattere poco invasivo.

Le misure geoelettriche tomografiche hanno fornito una copertura estensiva e rapida a profondità di indagine di diverse decine di metri, ricostruendo il comportamento elettrico del sottosuolo in maniera utile per una sua caratterizzazione ambientale e geotecnica. Esse rappresentano dunque la scelta ideale per mirare o integrare indagini puntuali dirette quali sondaggi e prove geognostiche allo scopo di estendere sensibilmente la conoscenza della stratigrafia di terreni in aree soggette a caratterizzazione.

Ringraziamenti

Gli autori ringraziano l'Editor e due revisori anonimi per le loro osservazioni, che hanno permesso un miglioramento del testo. Il lavoro è stato realizzato grazie al parziale supporto dei progetti MIUR "PON01-1525 MONICA" e MIUR "PREMIALI ITEMS".

Bibliografia

- Amato L., Guastaferro C., Cinque A., di Donato V., Romano P., Ruello M.R., Zampelli S., Morhange C., Ermolli E.R., Irollo G., Carsana V. e Giampaola D., (2009). *Ricostruzioni morfoevolutive nel territorio di Napoli*. Méditerranée, Géarchéologie de la péninsule italienne, 112 (2009).
- Carrara E., Rapolla A., Roberti N., (1992). *Le indagini geofisiche per lo studio del sottosuolo: metodi geoelettrici e sismici*. Collana "Geofisica dell'ambiente e del territorio", Liguori editore, Napoli.
- Cinque A., Rolandi G., Zamparelli V., (1985). *L'estensione dei depositi marini olocenici nei Campi Flegrei in relazione alla vulcano-tettonica*. Bollettino della Società Geologica Italiana, 104, p. 327-348.
- Cinque A., Irollo G., Romano P., Ruello M.R., Amato L., Giampaola D., (2011). *Ground movements and sea level changes in urban areas: 5000 years of geological and archaeological record from Naples (Southern Italy)*. Quaternary International, 232, 45-55.
- Comune di Napoli, (1967). *Il Sottosuolo di Napoli*. Relazione della Commissione di Studio su sottosuolo di Napoli.
- Di Vito M.A., Isaia R., Orsi G., Southon J., de Vita S., d'Antonio M., & Piochi M., (1999). *Volcanism and deformation since 12,000 years at the Campi Flegrei caldera (Italy)*. Journal of Volcanology and Geothermal Research, 91(2), 221-246.
- Griffiths D.H., Barker R.D., (1993). *Two-dimensional resistivity imaging and modelling in areas of complex geology*. J. Appl. Geophys., 29 pp., 211-226.
- Loke M.H., (2001). *Tutorial: 2-D and 3-D electrical imaging surveys*. Course Notes for USGS Workshop 2-D and 3-D Inversion and Modeling of Surface and Borehole Resistivity Data, Torrs, CT.
- Loke M.H., (2014). *Tutorial: 2-D and 3-D electrical imaging surveys*. Geotomo Softwares, Penang. www.geotomosoft.com
- Orsi G., de Vita S. & Di Vito M., (1996). *The restless, resurgent Campi Flegrei nested caldera (Italy): constraints on its evolution and configuratio*. J. Volcanol. Geotherm. Res., 74: 179-214.
- Reynolds, J.M. (1997). *An introduction to applied and environmental geophysics*. John Wiley & Sons, London.
- Rosi M., Sbrana A., (1987). *Phlegrean Field*. Quaderni della ricerca scientifica, 114, 9: 60-79.
- Samouëlian A., Cousin I., Tabbagh A., Bruand A., & Richard G., (2005). *Electrical resistivity survey in soil science: a review*. Soil and Tillage research, 83(2), 173-193.
- Scherillo A., (1954). *La stratigrafia della zona Vomero-Arenella (Napoli)*. Boll. Soc. Nat. in Napoli, 63, 102-112.

Quaderni di Geofisica

ISSN 1590-2595

<http://istituto.ingv.it/l-ingv/produzione-scientifica/quaderni-di-geofisica/>

I Quaderni di Geofisica coprono tutti i campi disciplinari sviluppati all'interno dell'INGV, dando particolare risalto alla pubblicazione di dati, misure, osservazioni e loro elaborazioni anche preliminari, che per tipologia e dettaglio necessitano di una rapida diffusione nella comunità scientifica nazionale ed internazionale. La pubblicazione on-line fornisce accesso immediato a tutti i possibili utenti. L'Editorial Board multidisciplinare garantisce i requisiti di qualità per la pubblicazione dei contributi.

Rapporti tecnici INGV

ISSN 2039-7941

<http://istituto.ingv.it/l-ingv/produzione-scientifica/rapporti-tecnici-ingv/>

I Rapporti Tecnici INGV pubblicano contributi, sia in italiano che in inglese, di tipo tecnologico e di rilevante interesse tecnico-scientifico per gli ambiti disciplinari propri dell'INGV. La collana Rapporti Tecnici INGV pubblica esclusivamente on-line per garantire agli autori rapidità di diffusione e agli utenti accesso immediato ai dati pubblicati. L'Editorial Board multidisciplinare garantisce i requisiti di qualità per la pubblicazione dei contributi.

Miscellanea INGV

ISSN 2039-6651

<http://istituto.ingv.it/l-ingv/produzione-scientifica/miscellanea-ingv/>

La collana Miscellanea INGV nasce con l'intento di favorire la pubblicazione di contributi scientifici riguardanti le attività svolte dall'INGV (sismologia, vulcanologia, geologia, geomagnetismo, geochimica, aeronomia e innovazione tecnologica). In particolare, la collana Miscellanea INGV raccoglie reports di progetti scientifici, proceedings di convegni, manuali, monografie di rilevante interesse, raccolte di articoli ecc..

Coordinamento editoriale e impaginazione

Centro Editoriale Nazionale | INGV

Progetto grafico e redazionale

Daniela Riposati | Laboratorio Grafica e Immagini | INGV

© 2015 INGV Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia

Via di Vigna Murata, 605

00143 Roma

Tel. +39 06518601 Fax +39 065041181

<http://www.ingv.it>



Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia