



**IschiaGeoTermia S.r.l.**

Codice Fiscale e Partita IVA 07730051211 • Capitale sociale: Euro 100.000 i.v.  
 Attività di Direzione e Coordinamento: ASTA S.p.A.  
 Sede: Via Piffetti, 15 • 10143 Torino • Tel 011 4737401 • Fax 011 480476

**PERMESSO DI RICERCA PER RISORSE GEOTERMICHE  
 FINALIZZATO ALLA SPERIMENTAZIONE DI IMPIANTI PILOTA  
 DENOMINATO “FORIO”**

**[ID:3033] Risposte alle Richieste di Integrazioni  
 (Sito “Serrara Fontana”)**

**ALLEGATO 9: Risultati Preliminari Indagine MagnetoTellurica**

<b>Progettazione Specialistica e Monitoraggio</b>		<b>Progettazione</b>		
 <p align="center"><b>INGV</b>          ISTITUTO NAZIONALE DI GEOFISICA E          VULCANOLOGIA          Via Diocleziano, 328          80124 Napoli</p>		 <p align="center"><b>STEAM</b>          SISTEMI ENERGETICI AMBIENTALI          Via Ponte a Piglieri, 8          I – 56122 Pisa</p>		
<b>DATA</b>	<b>CODICE PROGETTO</b>		<b>REVISIONE</b>	
Octobre 2016	P16_GAV_027		REV.0	
<b>Progetto</b>	<b>Redatto da</b>	<b>Visto da</b>	<b>Approvato da</b>	<b>DATA</b>
P16_GAV_027	PB	RC	RC	10/10/2016



**INGV**  
terremoti  
vulcani  
ambiente

ISTITUTO NAZIONALE  
DI GEOFISICA E VULCANOLOGIA

Sezione di Napoli  
OSSERVATORIO VESUVIANO

**Relazione tecnica preliminare inerente le prospezioni  
magnetotelluriche realizzate presso l'isola d'Ischia  
nell'ambito del contratto di ricerca  
INGV-Ischia GeoTermia s.r.l.**

Operatori Geofisici:  
Dott. Antonio Troiano  
Dott. Maria Giulia Di Giuseppe

Estensore Relazione:  
Dott. Stefano Carlino

## **1 - PREMESSA**

Su incarico e per conto della società Ischia GeoTermia s.r.l. è in corso di realizzazione da parte dell'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV), Sezione di Napoli "Osservatorio Vesuviano" una prospezione geofisica con misure magnetotelluriche (MT) presso l'isola d'Ischia. Tale indagine è stata eseguita al fine di determinare le caratteristiche elettriche dei litotipi presenti nelle aree investigate e, conseguentemente, valutare i volumi in cui sono presenti fluidi geotermali e individuare zone di discontinuità legate a processi vulcano-tettonici (faglie, fratture). La campagna di misure, tutt'ora in corso, terminerà alla fine di ottobre e prevedrà l'esecuzione di un ulteriore profilo, perpendicolare al precedente, lungo la direzione Est-Ovest, con centro nell'area del potenziale serbatoio geotermico individuato nella relazione Allegato 1 del Progetto Definitivo "Serrara Fontana".rogetto.

La Magnetotellurica è una metodologia geofisica ElettroMagnetica (EM) a larga banda che consente di studiare le variazioni della resistività elettrica del sottosuolo. Questo è il parametro essenziale per la caratterizzazione degli ambienti geotermici, in generale costituiti da una regione schematizzabile come un sistema di rocce con diversa porosità e di faglie e fratture riempite di fluidi che, a causa delle alte concentrazioni di sali disciolti e della temperatura mostrano valori di conducibilità elettrica superiori a quella delle rocce circostanti. Inoltre anche le alterazioni dei minerali argillosi derivanti dai processi idrotermali che avvengono nelle aree geotermiche hanno come caratteristica un'elevata conducibilità. Per tali motivi la Magnetotellurica è ormai diventata lo standard industriale per l'individuazione e la caratterizzazione delle risorse geotermiche (Wright et al 1985).

## 2 – IL METODO MAGNETOTELLURICO

La Magnetotellurica utilizza i campi EM naturali generati dalle variazioni temporali dell'attività solare e dell'attività temporalesca nella ionosfera per stimare la resistività elettrica del sottosuolo. La profondità di penetrazione delle onde EM sorgenti è inversamente proporzionale alla loro frequenza e direttamente proporzionale alla resistività delle formazioni attraversate dalle onde stesse. Poiché con un sondaggio MT è possibile rilevare frequenze su una banda estremamente larga, la profondità d'investigazione che caratterizza tale metodologia risulta molto variabile, coprendo un arco che va da poche decine di metri fino a decine di chilometri (Vozoff, 1991).

Un singolo sondaggio MT consiste nella registrazione delle variazioni temporali delle componenti orizzontali ( $H_x$ ,  $H_y$ ) del campo magnetico, mediante bobine a induzione, e di quello elettrico ( $Ex$ ,  $Ey$ ), mediante dipoli (coppie di elettrodi non polarizzabili). Le bobine e i dipoli elettrici vengono usualmente posizionate sul terreno in direzione N-S e W-E e l'acquisizione presenta durata variabile dalle decine di minuti a diverse ore, a seconda della banda di frequenza di interesse (Figura 1).

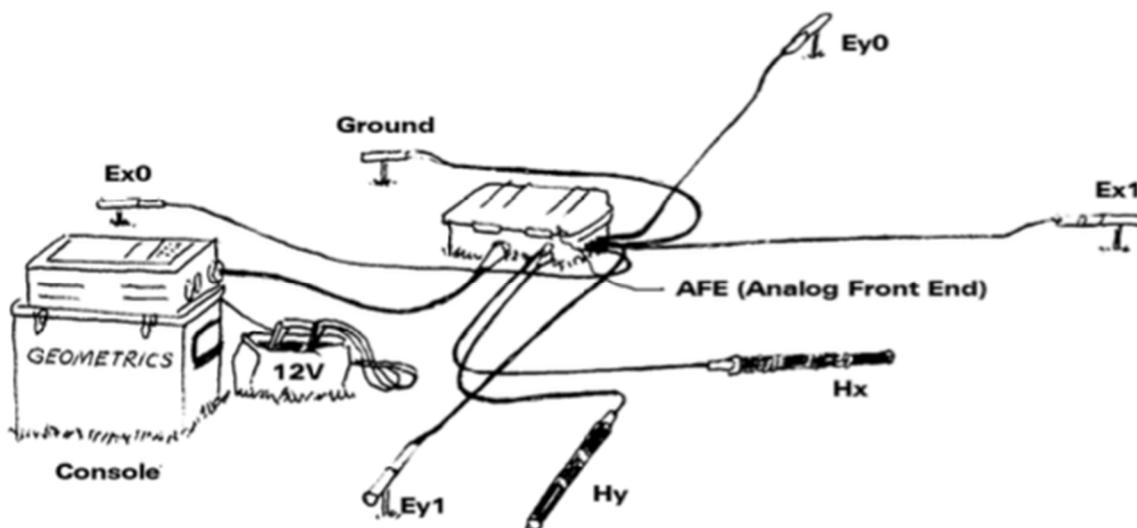


Figura 1. Schema essenziale della disposizione degli strumenti per un sondaggio MT

Dalle acquisizioni realizzate in campagna si ricavano i rapporti delle ampiezze e delle fasi delle componenti  $H_x/E_y$  e  $H_y/E_x$  ottenendo una stima della *resistività apparente* in funzione della frequenza per due polarizzazioni ortogonali (dette rispettivamente TM e TE). La resistività

apparente è definita come la resistività di un semispazio elettricamente omogeneo ed isotropo che presenti rapporti tra componenti del campo magnetico e del campo elettrico pari a quelli misurati sulla struttura realmente in esame. Il parametro stimato viene usualmente rappresentato tramite le quattro curve che ne descrivono l'andamento in modulo ed in fase nelle polarizzazioni TM e TE. Tali curve rappresentano il risultato finale delle misure e vengono successivamente interpretate tramite tecniche di inversione del dato, per ricostruire l'andamento della resistività reale del sottosuolo in funzione della profondità. Per una descrizione più dettagliata dei principi generali della metodologia e delle tecniche di indagine si rimanda a Troiano et al. (2009) ed alla relativa bibliografia.

### 3 – INDAGINI EFFETTUATE

Per caratterizzare l'area da un punto di vista EM è stata prevista la realizzazione di due profili di misure MT lungo due linee approssimativamente ortogonali, ognuna di lunghezza di circa 3 km, anche con parziale sovrapposizione dei punti sondaggio (fermo restando un numero finale di almeno 20 *survey*). Alla data di presentazione di codesta relazione preliminare sono stati realizzati 14 punti di misura nelle posizioni mostrate in Figura 2 e riportate in tabella 1.

Vista la richiesta da contratto di ottenere un *imaging* che caratterizzi le strutture sepolte fino ad almeno 1-1,5 km di profondità rispetto al livello del mare, le registrazioni sono state realizzate su bande di frequenza estese ( $10^{-1}$ - $10^3$  Hz). L'utilizzo delle alte frequenze permette anche di garantire la rimozione del cosiddetto fenomeno dello *static shift*, cioè dello spostamento delle curve di resistività apparente collegato al particolare sito, che spesso affligge i dataset MT. Tale rimozione è stata ottenuta tramite l'utilizzo di particolari algoritmi proprio sui tratti di curva a frequenze più elevate (Jones, 1988).

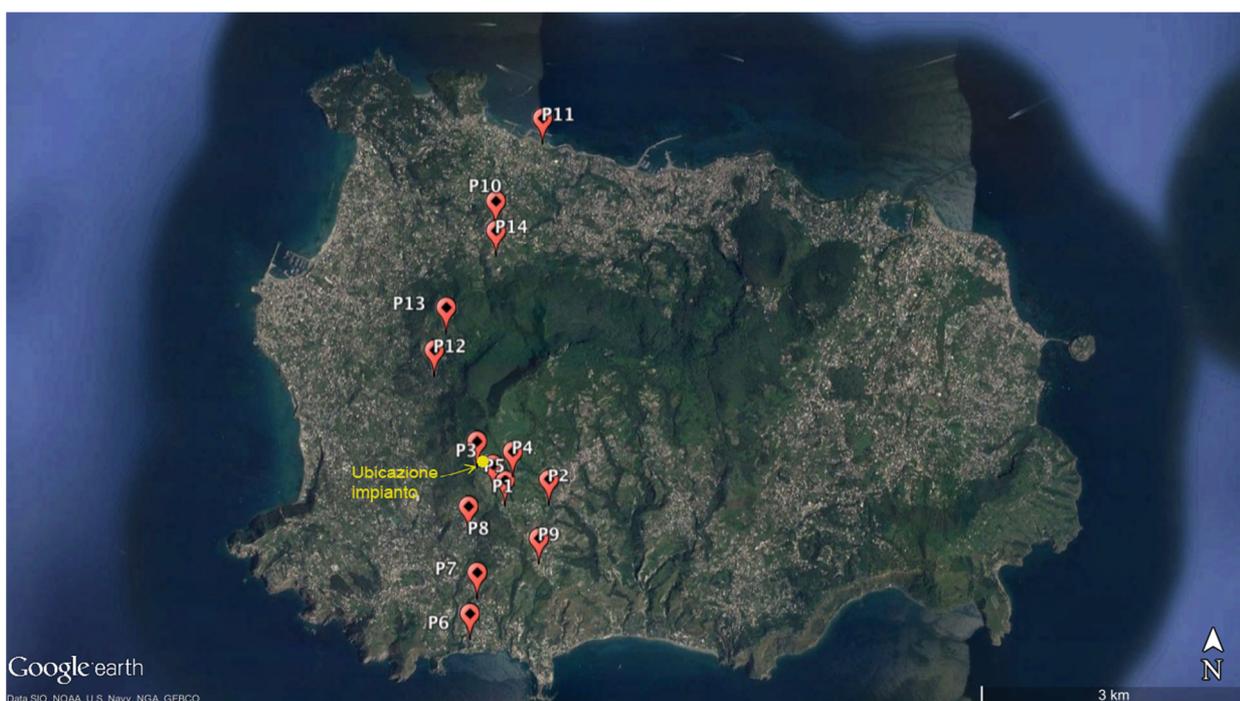


Figura 2. Posizione dei 14 punti di misura MT attualmente realizzati

Sondaggio	E (m)	N (m)	quota (m)
ISCHIA 01	405959	4507887	519
ISCHIA 02	406587	4507709	467
ISCHIA 03	405781	4508155	563
ISCHIA 04	406183	4508035	543
ISCHIA 05	406092	4507706	505
ISCHIA 06	405676	4506198	61
ISCHIA 07	405764	4506662	104
ISCHIA 08	405676	4507412	246
ISCHIA 09	406466	4507041	364
ISCHIA 10	406028	4510871	135
ISCHIA 11	406568	4511802	13
ISCHIA 12	405313	4509189	319
ISCHIA 13	405453	4509668	395
ISCHIA 14	406026	4510537	191

*Tabella 1. delle posizioni dei punti sondaggio MT attualmente realizzati*

I dati attualmente raccolti sono stati elaborati e le curve di resistività apparente e di fase relative alle polarizzazioni TM e TE, sono riportate in Figura 3 in forma di plot del *contouring* dei valori di resistività apparente in funzione del periodo (pseudosezioni). Questo è un mezzo conveniente per rappresentare i dati in forma compatta, pur avendo una relazione solo approssimativa con l'effettivo *pattern* della resistività reale del terreno in funzione della profondità.

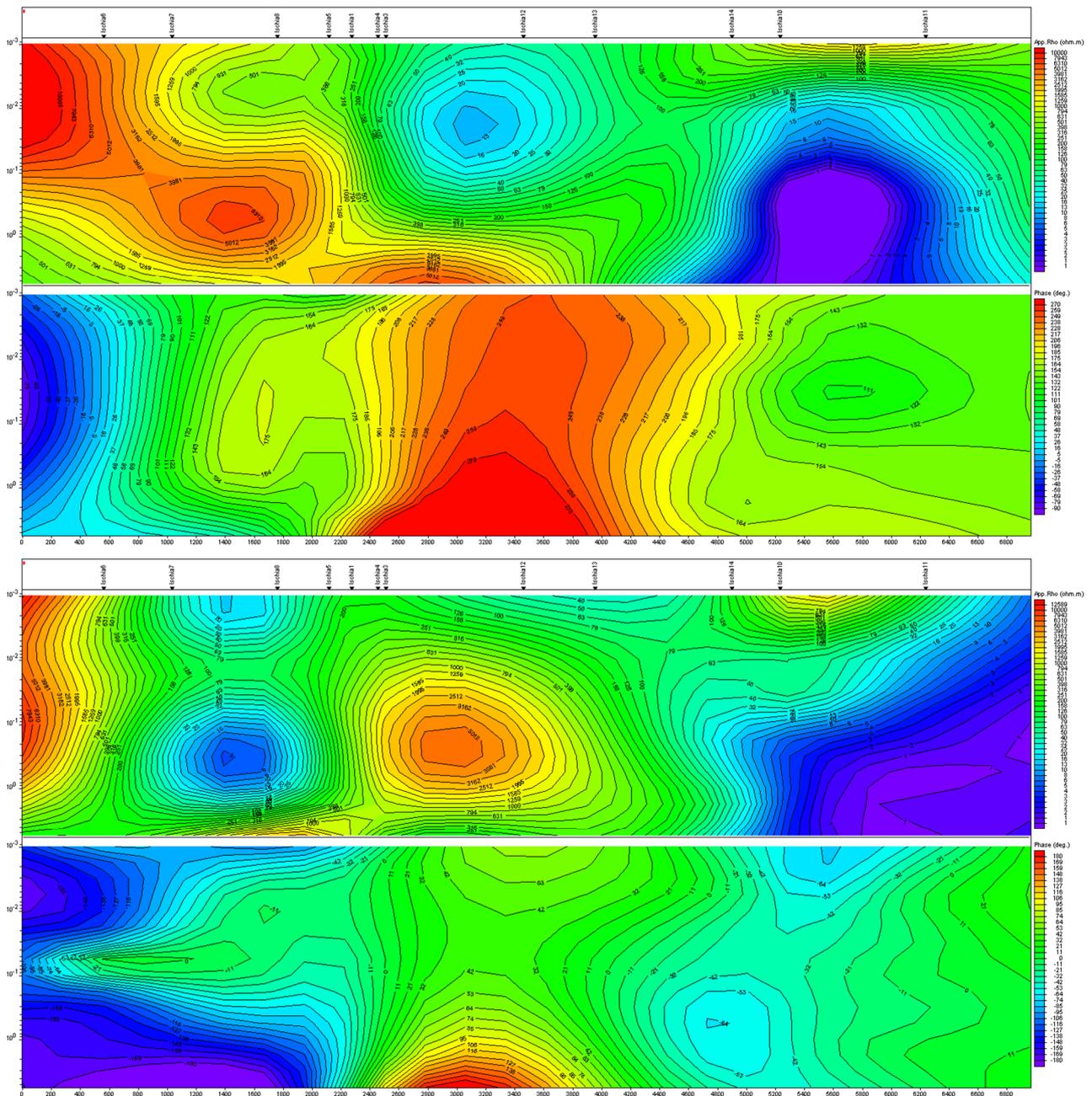


Figura 3. Pseudosezioni di resistività apparente e di fase in funzione del periodo per il dataset collezionato relative alle polarizzazione TM (in alto) e TE (in basso)

#### 4 – RISULTATI OTTENUTI

Il dataset raccolto è stato analizzato per stabilirne la dimensionalità. La presenza di allineamenti privilegiati nella disposizione delle strutture investigate si riflette infatti in particolari simmetrie nelle curve di resistività apparente e di fase ottenute. Ricostruire tali simmetrie è uno step fondamentale per valutare il tipo di inversione del dato da intraprendere. Nel caso in esame le analisi del parametro di Skew (Bahr, 1988) e del tensore di fase (Caldwell et al., 2004) permettono di valutare un adeguato grado di bidimensionalità del dato.

In seguito, i 12 sondaggi MT riportati in Figura 4 sono stati invertiti utilizzando una procedura descritta nel seguito. In questo modo è stato possibile ricostruire l'andamento della resistività elettrica nei primi 3 km di profondità rispetto al livello del mare lungo un asse che taglia l'isola di Ischia in direzione N-S estendendosi per più di 5 km di lunghezza.

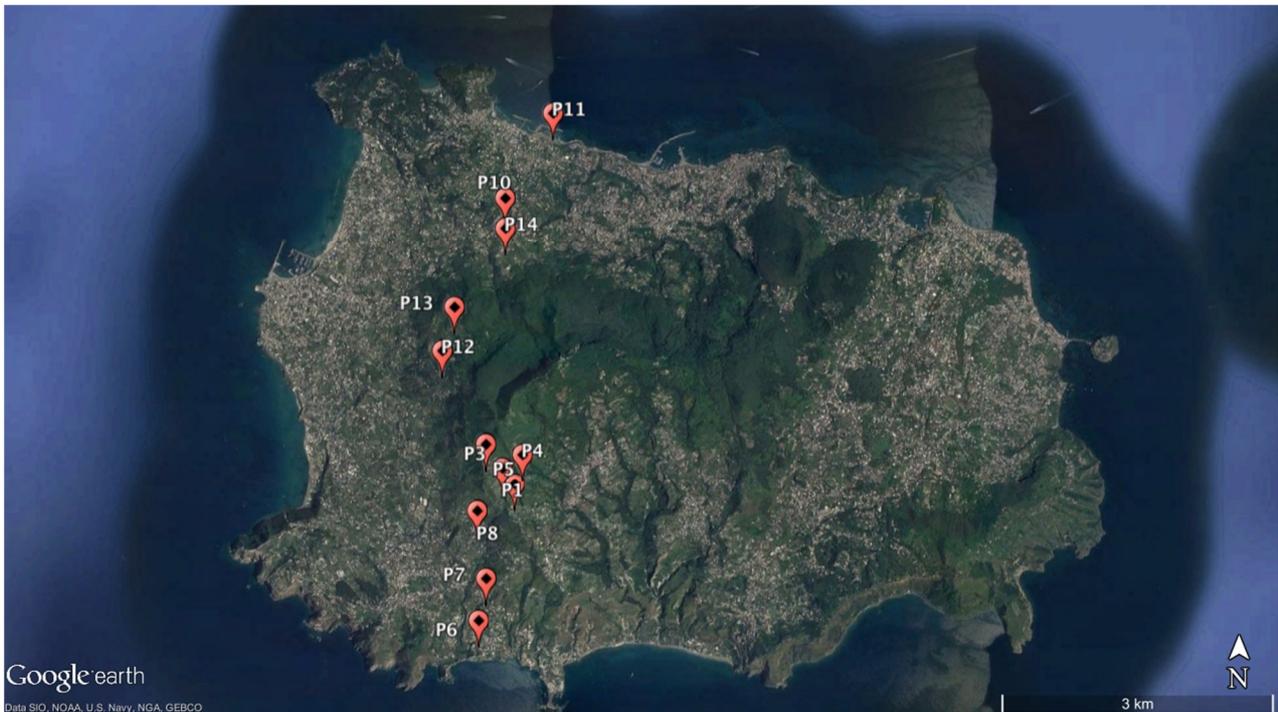


Figura 4. Mappa del profilo in direzione NS e punti di misura eseguiti fino al 3 ottobre 2016.

Per realizzare l'inversione del dataset è stato inizialmente considerato l'andamento del determinante del tensore impedenza (parametro legato alla resistività apparente). Tale quantità rappresenta un invariante rotazionale, cioè una quantità che non dipende da come è orientato il sistema di riferimento utilizzato durante le misure. Inoltre, esso condensa molte delle informazioni essenziali del dataset e per questo è utilizzato in molte applicazioni per una prima stima dell'andamento della resistività apparente da utilizzare come riferimento per l'inversione del dato (Ingham, 1988). Il determinante del tensore impedenza è stato invertito utilizzando un algoritmo 1D basato sul principio di Occam, secondo le tecniche presentate in letteratura da Constable et al. (1987). Il modello 1D ottenuto è stato utilizzato come modello iniziale per l'inversione 2D congiunta delle curve relative alle polarizzazioni TM e TE. Tale inversione è stata realizzata utilizzando l'algoritmo più noto in letteratura (Rodi e Mackie, 2001). La sezione di resistività elettrica in funzione della profondità ottenuta in tal modo è riportata in Figura 5.

L'elaborazione e l'inversione dei dati ha consentito di individuare preliminarmente la presenza di diversi orizzonti a bassa resistività (alta conduttività), corrispondenti alle zone di accumulo dei fluidi geotermali all'interno di rocce relativamente permeabili. Dal profilo di resistività riportato in Figura 5 si identifica una prima anomalia, compresa tra i punti di misura 6 e 8, con resistività di 60-100  $\Omega \cdot m$ , per una lunghezza orizzontale massima di circa 2.8km e una profondità massima di

circa 3km. All'interno di questa anomalia si individua un'ulteriore area a resistività più bassa (inferiore a  $60 \Omega \cdot m$ ) con lunghezza orizzontale pari a circa 1,5km e profondità fino a 2,0km. Le due aree, individuate come A e B in Figura 5 corrispondono nell'insieme a una zona di accumulo di fluidi, (allo stato di vapore + acqua a seconda delle condizioni di pressione e temperatura del sistema). In particolare, all'interno di quest'area è possibile individuare due livelli a elevata conduttività (bassissima resistività) assimilabili a due acquiferi separati (Figura 6).

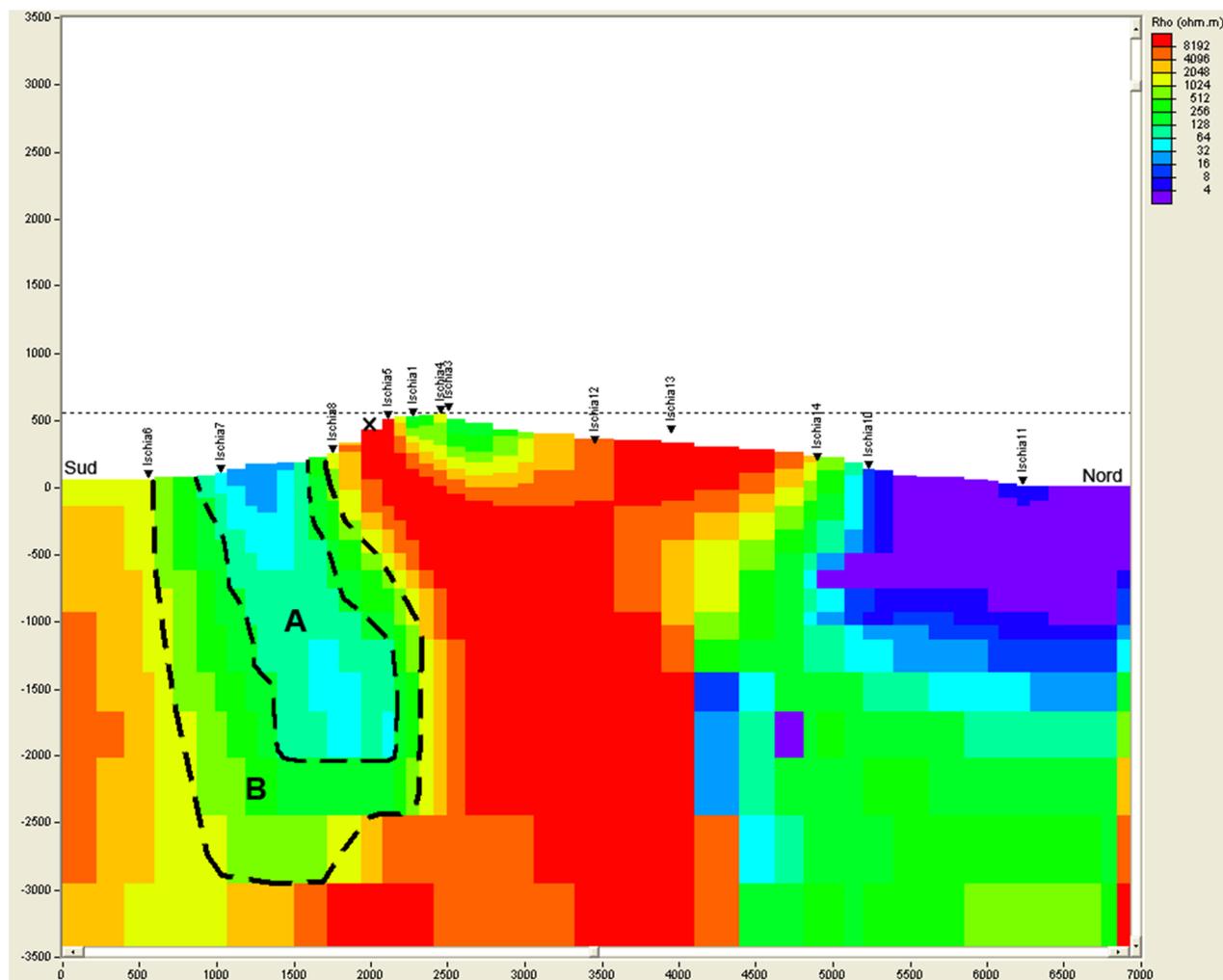


Figura 5. Modello 2D di resistività relativo al profilo Nord-Sud. Il contour della resistività elettrica in funzione della profondità viene rappresentato utilizzando la scala di colori riportata. Sono individuabili nel settore sud-ovest dell'isola, tra i punti di misura 6 e 8 (vedi figura 4 per localizzazione), delle anomalie a bassa resistività correlabili a zone di accumulo di fluidi. La croce (X) in figura indica l'ubicazione dell'impianto.

Il primo, più superficiale, si estende dal livello del suolo a una profondità di 500m sotto il livello del mare con una potenza di circa 600m. Il secondo acquifero sembra localizzarsi a una profondità poco superiore ai 1000m (sotto il livello del mare) per una potenza complessiva di circa 800m. Le quote e la posizione di questi acquiferi sono in accordo con quanto riportato nei modelli geochemici e geofisici dell'isola d'Ischia (vedi Di Napoli et al., 2009, 2011 e riferimenti interni) e con il modello definito in Allegato 1 di progetto, con scostamenti in termini di profondità degli orizzonti acquiferi di circa 100-200m pari alla indeterminatezza dovuta alla risoluzione dell'indagine geofisica.

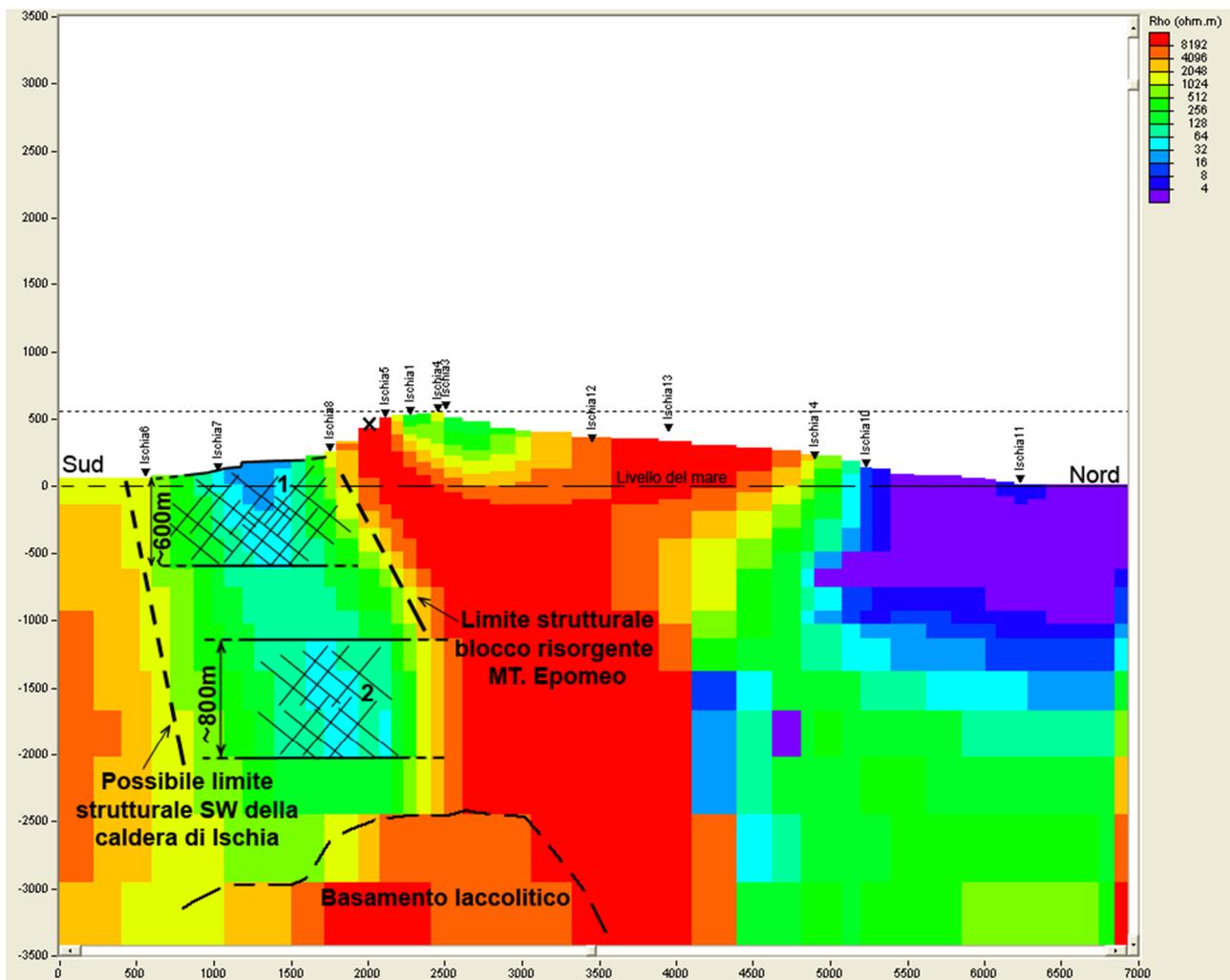


Figura 6. Modello 2D di resistività relativo al profilo Nord-Sud con individuazione dei due acquiferi (1 e 2) con potenze rispettivamente di circa 600m e 800m. Sono indicate le possibili strutture vulcano-tettoniche ricavate dai contrasti di resistività, e in particolare il limite della caldera nel settore Sud-Ovest e il limite strutturale del blocco risorgente del Mt. Epomeo. Viene inoltre individuata una struttura resistiva, assimilabile al basamento laccolitico previsto dai modelli vulcano-tettonici dell'isola, il cui top è localizzato intorno ai 2.3 km di profondità. La croce (X) in figura indica l'ubicazione dell'impianto.

Le indagini condotte fino a oggi hanno consentito di caratterizzare zone con forte contrasto di resistività, ed in particolare, una zona a sud, correlabile con le strutture tettoniche che hanno ribassato la caldera di Ischia e una alla base del Mt. Epomeo, che può essere associata alla presenza di un allineamento di faglie Nord-Sud che hanno dislocato il blocco del Mt. Epomeo (Figura 6).

In questa fase preliminare è stato infine confrontato il profilo di resistività del primo acquifero con la stratigrafia del pozzo Ischia 2, la cui localizzazione è corrispondente all'incirca con il punto di misura 8 (Figura 7). Dal confronto si evince che lo strato meno resistivo, tra il piano campagna e 250m di profondità, è correlabile alla presenza di depositi di brecce e tufo rimaneggiato, caratterizzati da elevata permeabilità per porosità. Mentre la zona tra il primo e il secondo acquifero è formata, almeno fino a fondo pozzo, dal Tufo Verde del Monte Epomeo.

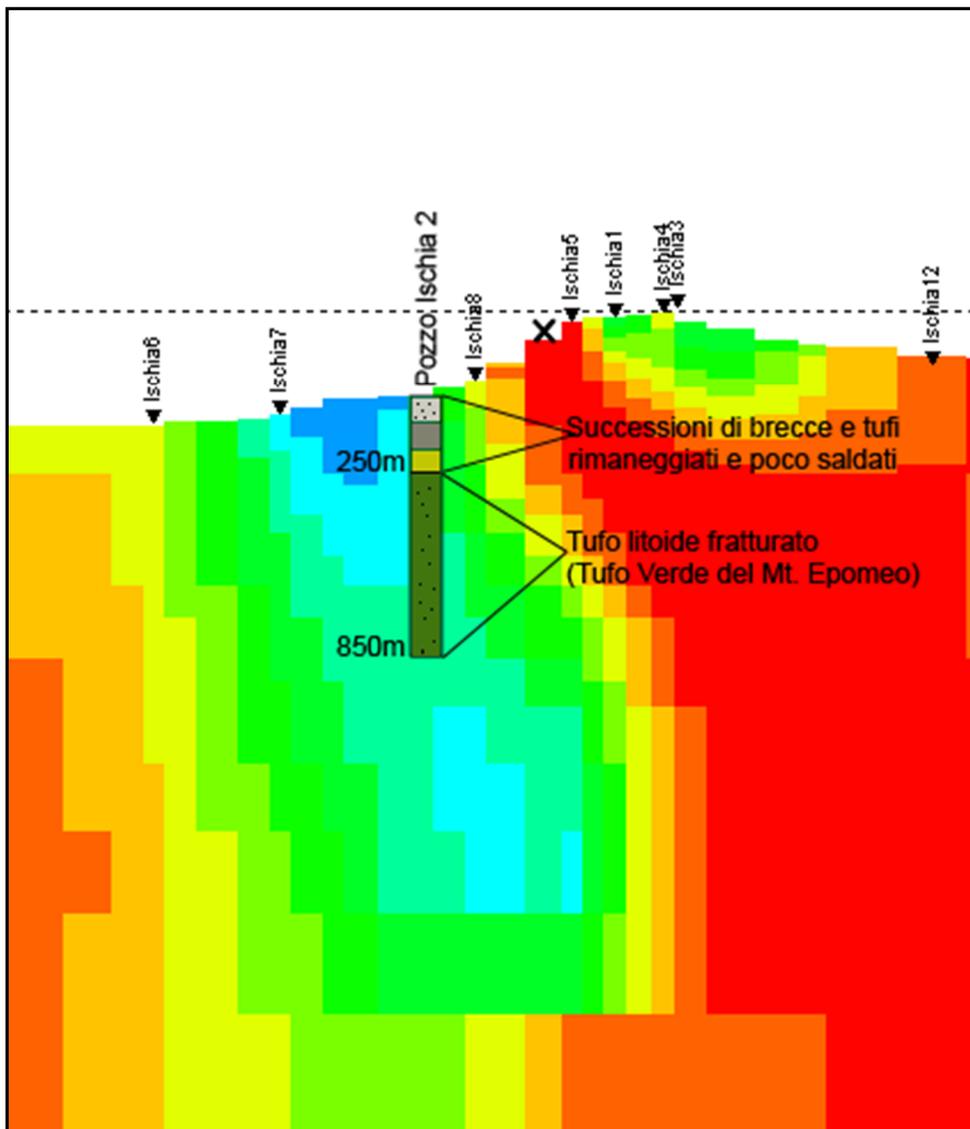


Figura 7. Modello 2D di resistività relativo al profilo Nord-Sud con localizzazione della stratigrafia del pozzo Ischia 2. La croce (X) in figura indica l'ubicazione dell'impianto.

## 5 – CONCLUSIONI SUI DATI PRELIMINARI

I dati preliminari ottenuti dal primo profilo di resistività evidenziano la presenza di una anomalia di resistività, nel settore Sud-Ovest dell'isola, tra Panza e le pendici occidentali del Mt. Epomeo. Lo studio di dettaglio di questa anomalia sembra confermare la presenza di due acquiferi, che si sviluppano a profondità di circa 0-500m e 1000-2000m. In considerazione dell'indeterminatezza dovuta alla risoluzione dell'indagine geofisica (circa 250 m negli strati più superficiali e variabile in funzione della profondità), il *range* di profondità osservato per gli orizzonti poco resistivi è in buon accordo con i dati riportati dagli studi di letteratura.

Da un punto di vista strutturale le indagini fino ad oggi eseguite evidenziano inoltre la presenza di alcune anomalie con elevato contrasto di resistività, correlabili con le strutture tettoniche che delimitano il bordo Sud-Occidentale della caldera di Ischia e con il blocco centrale del Mt. Epomeo, sollevatosi di circa 800-900m a partire da 55.000 anni fa.

Una migliore quantificazione in termini di estensione degli acquiferi e una più completa e dettagliata analisi relativa al sottosuolo dell'isola sarà eseguita una volta acquisito il secondo profilo di resistività, lungo la direzione Est-Ovest.

## 5 – BIBLIOGRAFIA

Bahr, K. (1988). Interpretation of the magnetotelluric impedance tensor: regional induction and local telluric distortion. *J. Geophys.*, 119-127

Caldwell, T. G., Bibby, H. M., & Brown, C. (2004). The magnetotelluric phase tensor. *Geophysical Journal International*, 158(2), 457-469

Constable, S. C., Parker, R. L., & Constable, C. G. (1987). Occam's inversion: A practical algorithm for generating smooth models from electromagnetic sounding data. *Geophysics*, 52(3), 289-300

Di Napoli R., Aiuppa A., Bellomo S., Brusca L., D'Alessandro W., Gagliano Candela E., Longo M., Pecoraino G., and Valenza M. (2009) A model for Ischia hydrothermal system: Evidences from the chemistry of thermal groundwaters, *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, 186, 133-159, doi: 10.1016/j.jvolgeores.2009.06.005; 133-159.

Di Napoli R., Martorana R., Orsi G., Aiuppa A., Camarada M., De Gregorio S., Gagliano Candela E., Luzio D., Messina N., Pecoraino G., Bitetto M., de Vita S., Valenza M. (2011) The structure of a hydrothermal system from an integrated geochemical, geophysical, and geological approach: the Ischia Island case study. *Geochemistry, Geophysics, Geosystems* Vol. 12, No 7, doi: 10.1029/2012GC003476; 1-25.

Ingham, M.R., 1988. The use of invariant impedances in magnetotelluric interpretation. *Geophys. J. Int.* 92, 165–169.

Jones, A. G. (1988). Static shift of magnetotelluric data and its removal in a sedimentary basin environment. *Geophysics*, 53(7), 967-978

Rodi, W., & Mackie, R. L. (2001). Nonlinear conjugate gradients algorithm for 2-D magnetotelluric inversion. *Geophysics*, 66(1), 174-187.

Troiano, A., Di Giuseppe, M. G., Petrillo, Z., & Patella, D. (2009). Imaging 2D structures by the CSAMT method: application to the Pantano di S. Gregorio Magno faulted basin (Southern Italy). *Journal of Geophysics and Engineering*, 6(2), 120

Vozoff, K. (1991). *Electromagnetic methods in applied geophysics*.

Wright, P. M., Ward, S. H., Ross, H. P., & West, R. C. (1985). State-of-the-art geophysical exploration for geothermal resources. *Geophysics*, 50(12), 2666-2696.