



IschiaGeoTermia S.r.l.

Codice Fiscale e Partita IVA 07730051211 • Capitale sociale: Euro 10.000 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”**

**Relazione tecnica inerente le prospezioni magnetotelluriche
realizzate presso l'isola d'Ischia**

Progettazione



STEAM

SISTEMI ENERGETICI AMBIENTALI

Via Ponte a Piglieri, 8

I – 56122 Pisa

DATA	CODICE PROGETTO			REVISIONE
Gennaio 2017	P16_GAV_027			REV.0
Progetto	Redatto da	Visto da	Approvato da	DATA
P16_GAV_027	SC – AT - MGD	SC	RC	17/01/2017

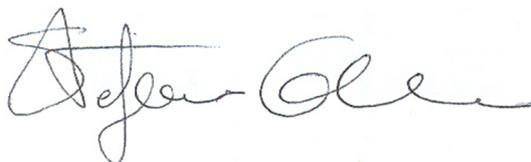
IL PRESENTE DOCUMENTO NON PUO' ESSERE COPIATO, RIPRODOTTO O ALTRIMENTI PUBBLICATO, INTUTO O IN PARTE, SENZA IL CONSENSO SCRITTO DELLA ISCHIAGEOTERMIA S.R.L. OGNI UTILIZZO NON AUTORIZZATO SARA' PERSEGUITO A NORMA DI LEGGE.
THIS DOCUMENT MAY NOT BE COPIED, REPRODUCED OR PUBLISHED, EITHER IN PART OR IN ITS ENTIRETY, WITHOUT THE WRITTEN PERMISSION OF ISCHIAGEOTERMIA S.R.L. UNAUTHORIZED USE WILL BE PROSECUTE BY LAW.

**Relazione tecnica 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. Maria Giulia Di Giuseppe
Dott. Antonio Troiano

Estensore Relazione:
Dott. Stefano Carlino



1 - PREMESSA

Nell'ambito del contratto di ricerca tra la società Ischia GeoTermia s.r.l. e l'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV), Sezione di Napoli "Osservatorio Vesuviano" è stata eseguita 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, evidenziando l'eventuale presenza di fluidi geotermali e di zone di discontinuità legate a processi vulcano-tettonici (faglie, fratture, ecc.) dell'isola.

La campagna ha previsto l'esecuzione di due profili di misura, approssimativamente perpendicolari tra loro, lungo le direzioni N-S e WSW-ENE, centrati nella zona di Ciglio presso il Comune di "Serrara Fontana".

La Magnetotellurica è una metodologia geofisica ElettroMagnetica (EM) a larga banda che consente di studiare le variazioni della resistività elettrica del sottosuolo. Questo è un 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 (E_x , E_y), 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).

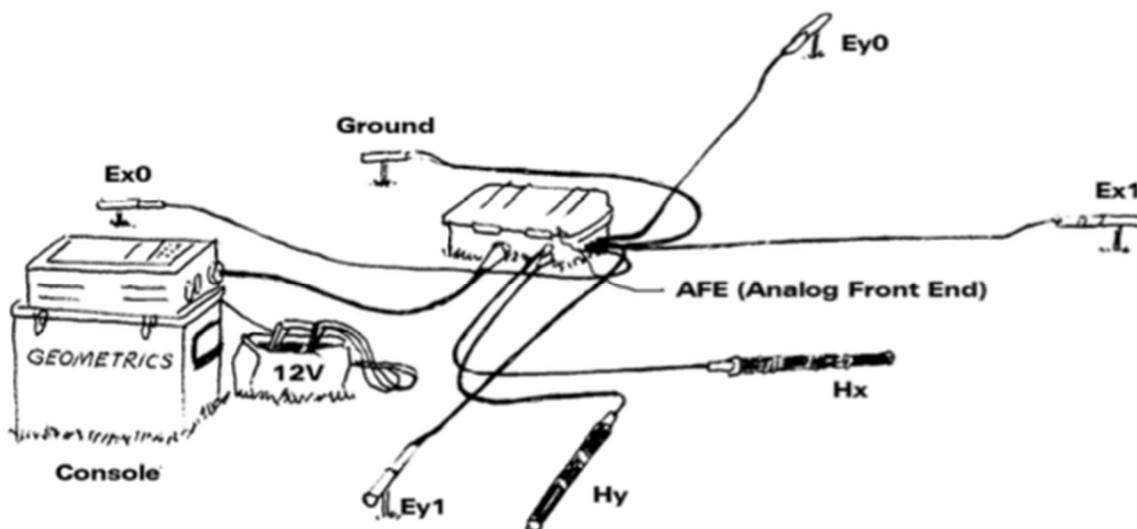


Figura 1. Schema essenziale della disposizione degli strumenti per un sondaggio MT

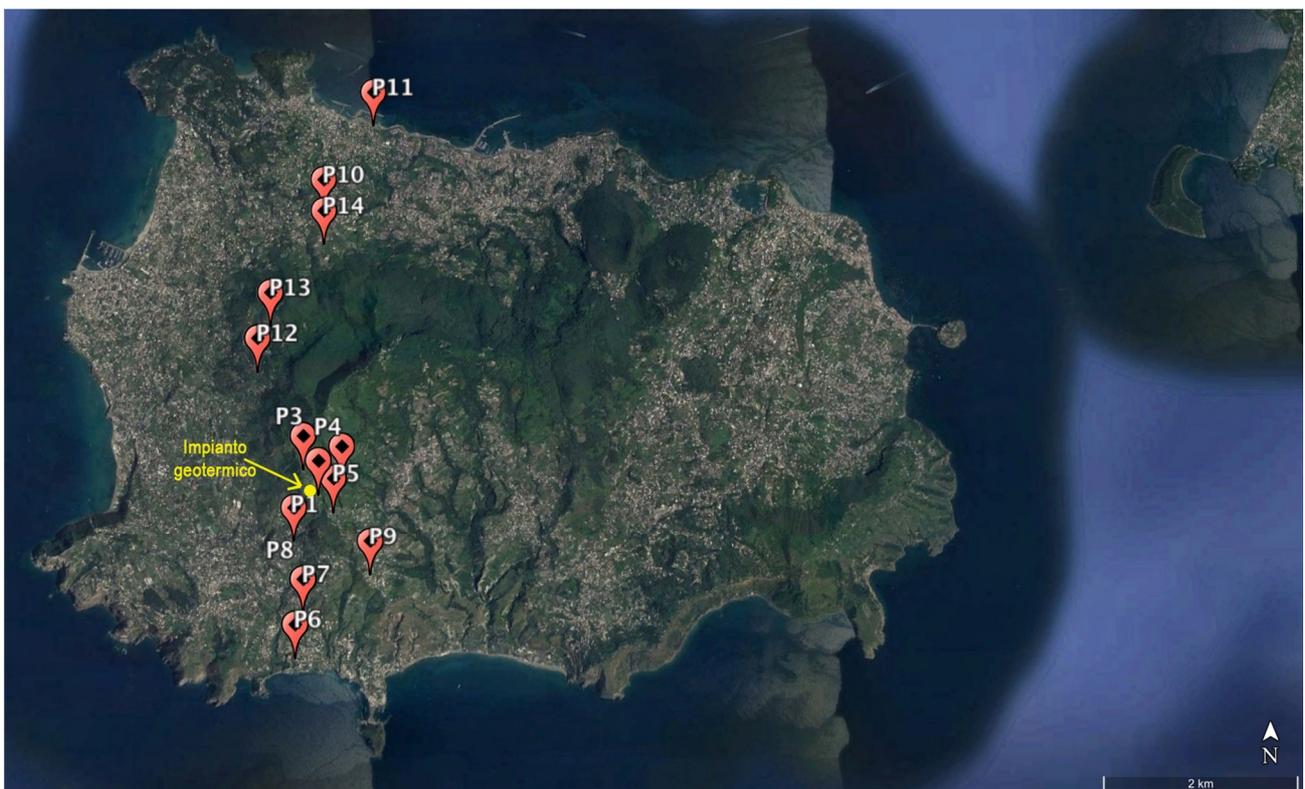
Dalle acquisizioni realizzate in campagna si ricavano i rapporti delle ampiezze e delle fasi delle componenti H_x/E_y e H_y/E_x ottenendo una stima della *resistività apparente* in funzione della frequenza per due polarizzazioni ortogonali (dette rispettivamente TM e TE).

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.

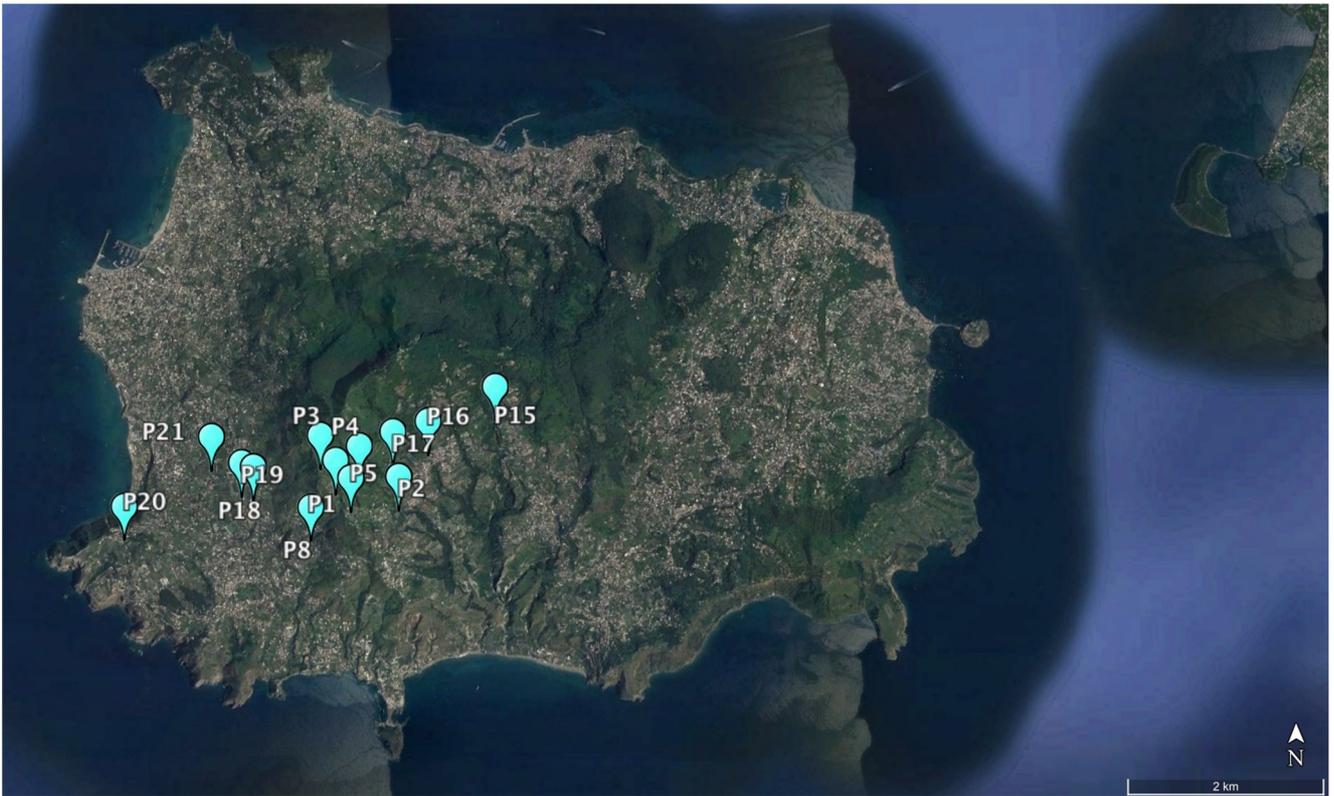
3 – INDAGINI EFFETTUATE

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 almeno 3 km, anche con parziale sovrapposizione dei punti di sondaggio (fermo restando un numero finale di almeno 20 *survey*). Al termine delle operazioni di misura sono stati realizzati 21 *survey* indipendenti le cui coordinate sono riportate in Tabella 1. I dati collezionati sono stati suddivisi in due profili di misura, indicati nel seguito con Profilo A e Profilo B, allineati nel modo riportato nella Figura 2.

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).



Profilo A



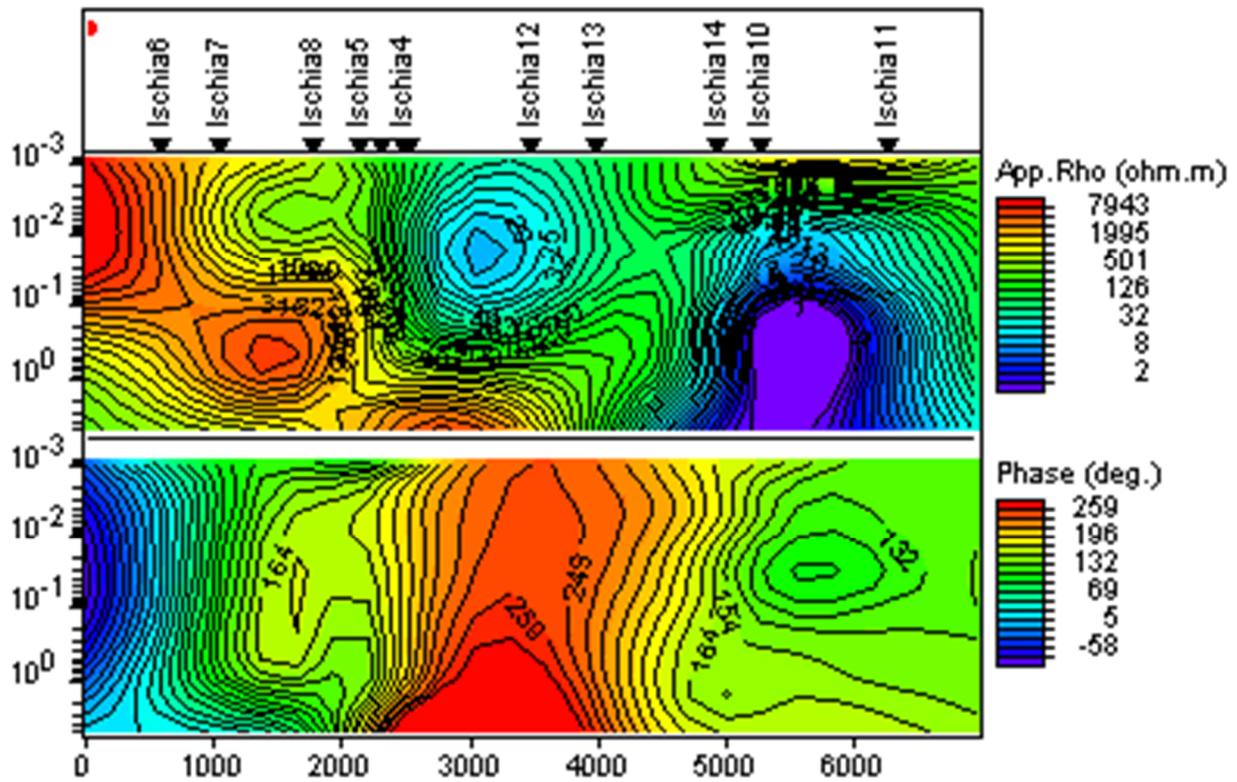
Profilo B

Figura 2. Disposizione dei due profili di misura A e B, realizzati lungo le direttrici N-S e WSW-ENE rispettivamente. La lunghezza del profilo A è di circa 5km, quella del profilo B è di circa 3km.

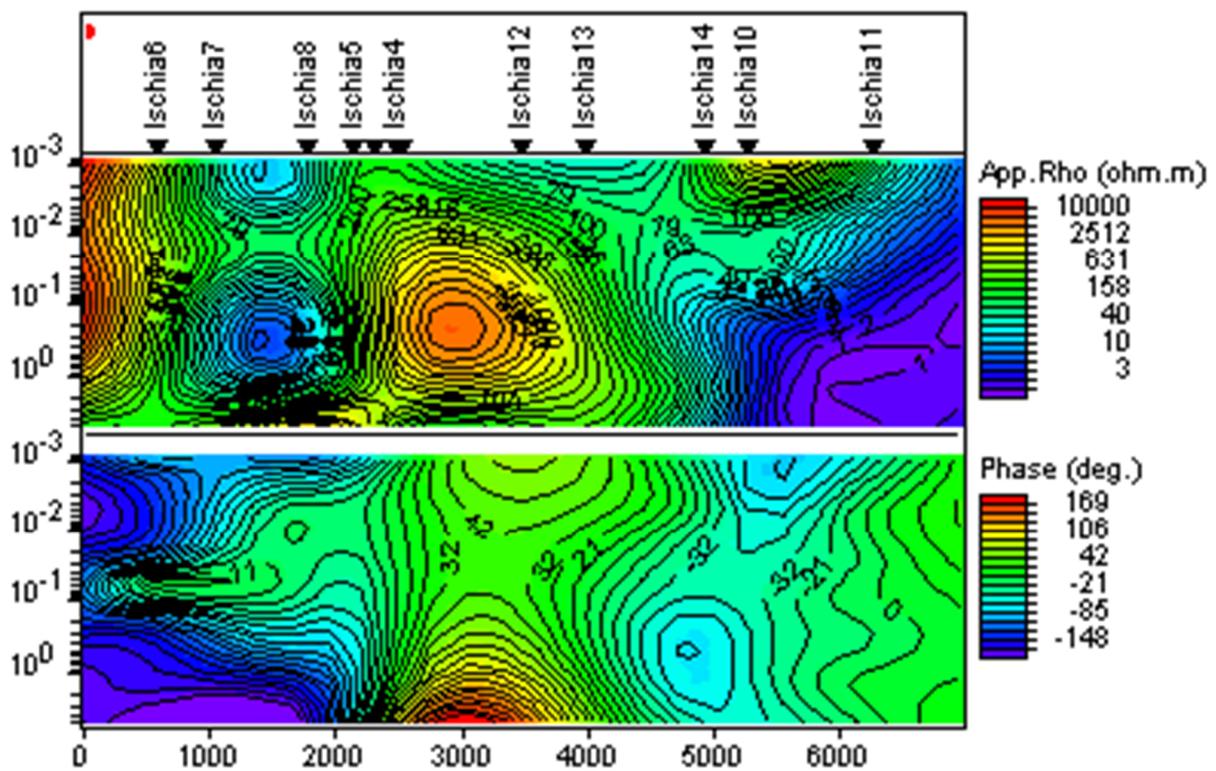
Sondaggio	E (m)	N (m)	quota (m)
ISCHIA 01	405959	4507887	519
ISCHIA 02	406587	4507709	467
ISCHIA 03	405781	4508155	563
ISCHIA 04	406183	4508035	543
ISCHIA 05	406092	4507706	505
ISCHIA 06	405676	4506198	61
ISCHIA 07	405764	4506662	104
ISCHIA 08	405676	4507412	246
ISCHIA 09	406466	4507041	364
ISCHIA 10	406028	4510871	135
ISCHIA 11	406568	4511802	13
ISCHIA 12	405313	4509189	319
ISCHIA 13	405453	4509668	395
ISCHIA 14	406026	4510537	191
ISCHIA 15	407603	4508621	448
ISCHIA 16	406899	4508276	458
ISCHIA 17	406533	4508175	500
ISCHIA 18	405085	4507842	162
ISCHIA 19	404963	4507889	142
ISCHIA 20	403749	4507466	175
ISCHIA 21	404652	4508168	121

Tabella 1. Coordinate (UTM) e quote altimetriche dei punti sondaggio MT realizzati.

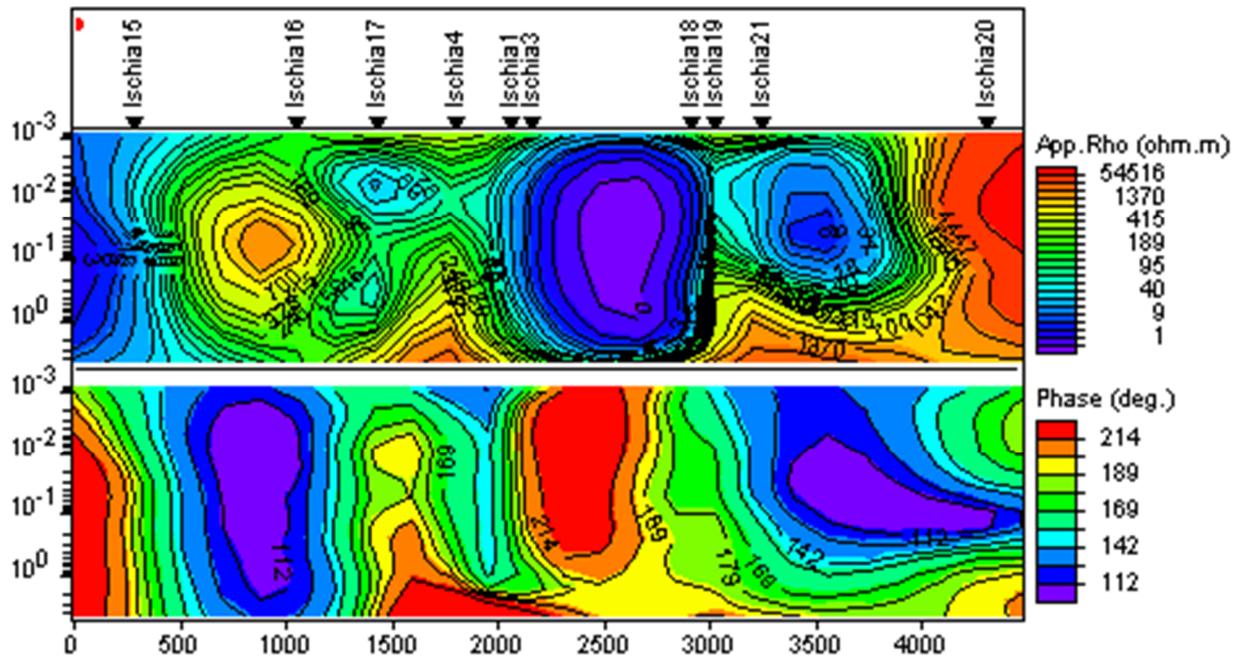
I dati raccolti sono stati elaborati e le curve di resistività apparente e di fase, relative alle polarizzazioni TM e TE, sono riportate per entrambi i profili nella seguente Figura 3, in forma di plot del *contouring* dei valori di resistività apparente in funzione del periodo (*pseudosezioni*). Questo 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.



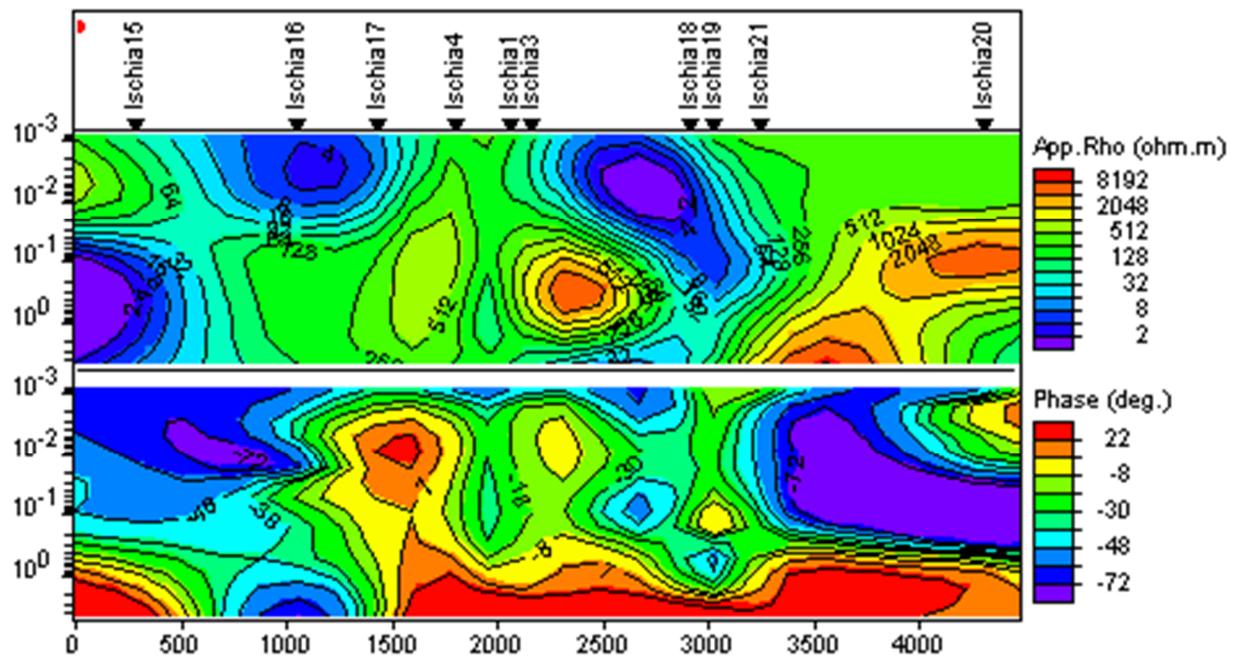
a)



b)



c)



d)

Figura 3. Pseudosezioni di resistività apparente e di fase in funzione del periodo per il profilo A (a-b) e per il profilo B (c-d) riguardanti le polarizzazioni TM (sinistra) e TE (destra).

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. La ricostruzione di tali simmetrie è uno *step* fondamentale per valutare il tipo d'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.

4 – INVERSIONE DEI DATI

Per realizzare l'inversione del dataset, per ognuno dei due profili 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).

In questo modo è stato possibile ricostruire l'andamento della resistività elettrica sia in corrispondenza del profilo A, disposto lungo un asse che taglia approssimativamente l'isola di Ischia in direzione N-S estendendosi per più di 5 km di lunghezza, che del profilo B, disposto all'incirca in direzione SW-NE per circa 3 km.

Le sezioni di resistività elettrica in funzione della profondità ottenute sono riportate in Figura 5 e in Figura 6 per il Profilo A e per il Profilo B, rispettivamente.

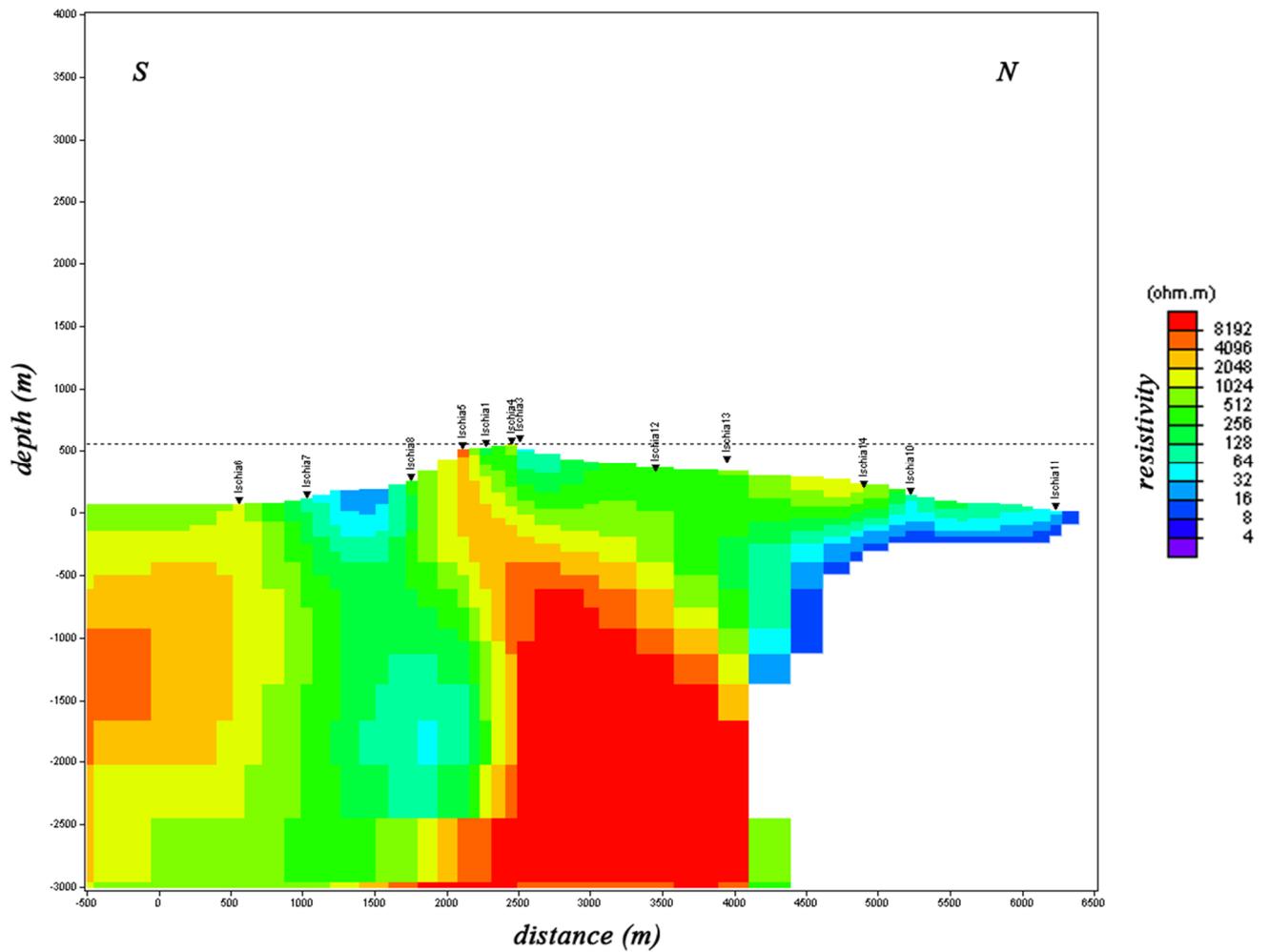


Figura 5. Modello 2D di resistività relativo al profilo Nord-Sud. Il contour della resistività elettrica in funzione della profondità viene rappresentato utilizzando la scala di colori riportata. Sono individuabili nel settore sud-ovest dell'isola, tra i punti di misura 6 e 8 (vedi figura 4 per localizzazione),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

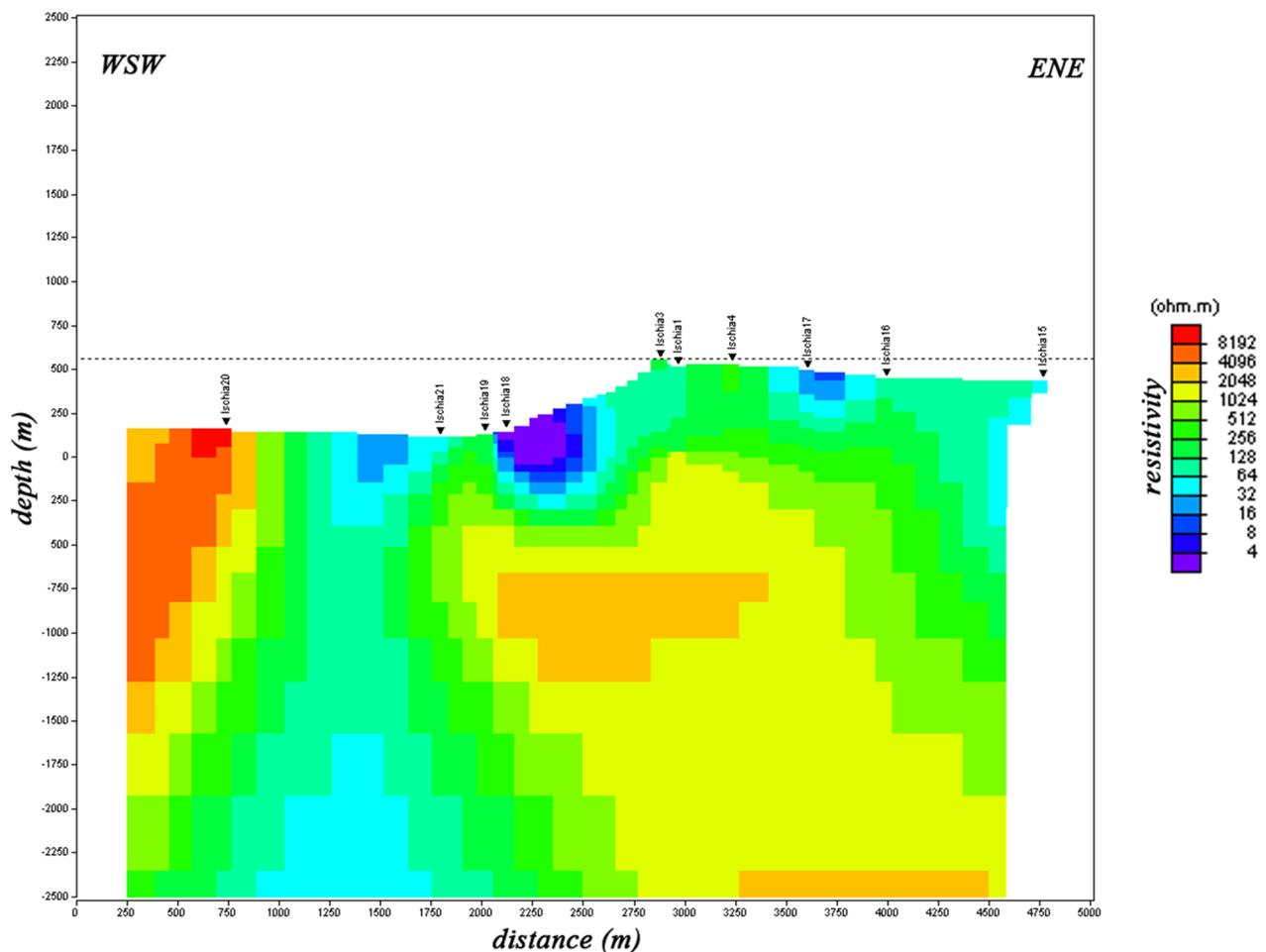


Figura 6. Modello 2D di resistività relativo al profilo WSW-ENE. Il contour della resistività elettrica in funzione della profondità è rappresentato utilizzando la scala di colori riportata. La croce (X) in figura indica l'ubicazione dell'impianto

5 – INTERPRETAZIONE DEI DATI

L'elaborazione e l'inversione dei dati ha consentito di individuare preliminarmente la presenza di diversi orizzonti a bassa resistività (alta conduttività), che in prima analisi possono correlarsi alle zone di accumulo dei fluidi geotermali all'interno di rocce relativamente permeabili. Dal Profilo A di resistività, lungo la direttrice N-S (Lacco Ameno-Sant'Angelo) si identifica una prima anomalia su scala più ampia, nella parte Sud del profilo, compresa tra i punti di misura 6 e 8, con valori di resistività compresi tra 128-258 Ω -m, e con una differenza di resistività rispetto alle zone di contrasto limitrofe pari a circa 768 Ω -m (Figura 7). L'estensione orizzontale N-S di quest'anomalia è pari a circa 1.500 m, mentre verticalmente questa si sviluppa per l'intera profondità di indagine pari a 3.000 m.

Geologicamente questa prima anomalia si sviluppa lungo la zona che è gradatamente ribassata rispetto al blocco centrale del Monte Epomeo, ed è strutturalmente delimitata dalle faglie bordiere del blocco sollevato (verso Nord) e dagli allineamenti tettonici lungo i quali si è impostato il collasso della caldera di Ischia (verso Sud). L'intera anomalia può essere interpretata come una

zona con maggiore permeabilità per porosità, rispetto al mezzo circostante. Nel settore Sud del profilo si rileva, almeno apparentemente, l'assenza di interferenze (tipo orizzonti particolarmente conduttivi) associabili all'ingressione del mare verso l'interno dell'isola. Questo fenomeno è invece ben osservabile a Nord, tra Lacco Ameno e Casamicciola, dove si identifica una superficie freatica in accordo con il livello medio del mare. Tale superficie tende ad approfondirsi verso l'interno secondo un andamento parabolico che è funzione della permeabilità del mezzo e della viscosità del fluido (Bear, 1972). L'effetto di ingressione del mare nel settore Sud, potrebbe tuttavia essere mascherato dagli elevati gradienti geotermici che si registrano in quest'area, che tenderebbero ad omogeneizzare il mezzo attraversato dai fluidi a elevata temperatura. Nel settore Sud dello stesso profilo s'identificano due ulteriori anomalie (segnate in figura 7 con i numeri 1 e 2), una prima superficiale (1), con sviluppo verticale tra il livello del suolo e 500 m sotto il livello del mare (l.m.), e una seconda (2) localizzata tra 1.200 m e 2.500 m di profondità rispetto al l.m. L'anomalia 1 presenta valori di resistività tra 64 e 8 $\Omega \cdot m$ e un'estensione orizzontale (N-S) pari a circa 580 m. La seconda anomalia (2) presenta valori di resistività tra 32 e 64 $\Omega \cdot m$ e ha un'estensione massima orizzontale (N-S) di circa 750 m. All'interno di questa si individua una zona meno resistiva (segnata come 2a nella figura 7), con spessore di circa 300 m. Le zone di anomalia 1 e 2 appaiono, lungo la sezione N-S, idraulicamente separate da uno strato probabilmente a minore permeabilità, con estensione verticale di circa 700 m. Va tenuto presente che i fluidi idrotermali tendono generalmente a ridurre i valori di resistività anche per effetto dell'aumento della salinità e dell'incremento della temperatura per convezione. Le suddette anomalie, dunque, possono essere interpretate come zone di accumulo di fluidi idrotermali (allo stato di vapore + acqua a seconda delle condizioni di pressione e temperatura del sistema) la cui circolazione convettiva avviene nelle zone in cui la permeabilità è verosimilmente correlata a presenza di fratture, connesse alla vulcano-tettonica dell'isola sviluppatasi negli ultimi 33.000 anni (Carlino, 2012), e osservate alla base delle lave rinvenute nel pozzo Ischia3.

Dal profilo di resistività WSW-ENE (Profilo B in figura 2), lungo la direttrice Punta Imperatore-Ciglio si identifica un'area piuttosto estesa (tra i punti di misura Ischia20 e Ischia19) con resistività relativamente bassa (16-32 $\Omega \cdot m$) che si sviluppa verticalmente fino a 2.500 m di profondità, interrotta da un canale a resistività leggermente superiore tra profondità di 400 m e 1300 m di profondità sotto il l.m. La parte più superficiale di questa anomalia, tra il piano campagna e circa 370 m sotto il l.m. (indicata come 3 in figura 8) è caratterizzata da valori minimi di resistività intorno ai 16 $\Omega \cdot m$. Un secondo livello con resistività tra 16 e 32 $\Omega \cdot m$ (indicato come 4 in figura 8) è individuato a una profondità di circa 1.600 m dal l.m. fino a 2.500 m. L'intera anomalia (tra 0 e 2.500 m) può essere interpretata come un'ampia zona di risalita di fluidi, con due zone a maggiore permeabilità, la prima più superficiale impostata nei depositi tufacei rimaneggiati (mediamente porosi) e la seconda, profonda, in cui la circolazione dei fluidi avviene con molta probabilità in aree mediamente fratturate, al limite delle discontinuità tra i depositi in posto del Tufo Verde del Monte Epomeo (al tetto) e le sottostanti lave trachitiche.

Immediatamente a monte del punto di misura Ischia18 è presente una forte anomalia con bassa resistività, impostata tra i sistemi di faglie che bordano il settore occidentale del Monte Epomeo. Questa anomalia coincide con un'area dell'isola caratterizzata da importanti manifestazioni fumaroliche (Bocca di Serra, fumarole Donna Rachele) la cui composizione di gas è prossima alla

composizione all'equilibrio del liquido puro. Ciò indica un'elevata frazione di separazione del vapore e suggerisce la presenza di un sistema idrotermale profondo altamente energetico. L'area di emissioni fumaroliche è di circa $0,80\text{km}^2$ con un output totale di CO_2 pari a circa 9td^{-1} (volume) e un flusso di calore stimabile intorno ai 40MW_T (termici) (Chiodini et al., 2004).

Le quote e la posizione dei potenziali acquiferi dedotti dalle indagini MT, specie per quanto concerne il profilo A, sono in accordo con quanto riportato nei modelli geochimici e geofisici dell'isola d'Ischia (vedi Di Napoli et al., 2009, 2011 e riferimenti interni), con scostamenti in termini di profondità degli orizzonti acquiferi di circa $100\text{-}200\text{ m}$ pari alla indeterminatezza dovuta alla risoluzione dell'indagine geofisica.

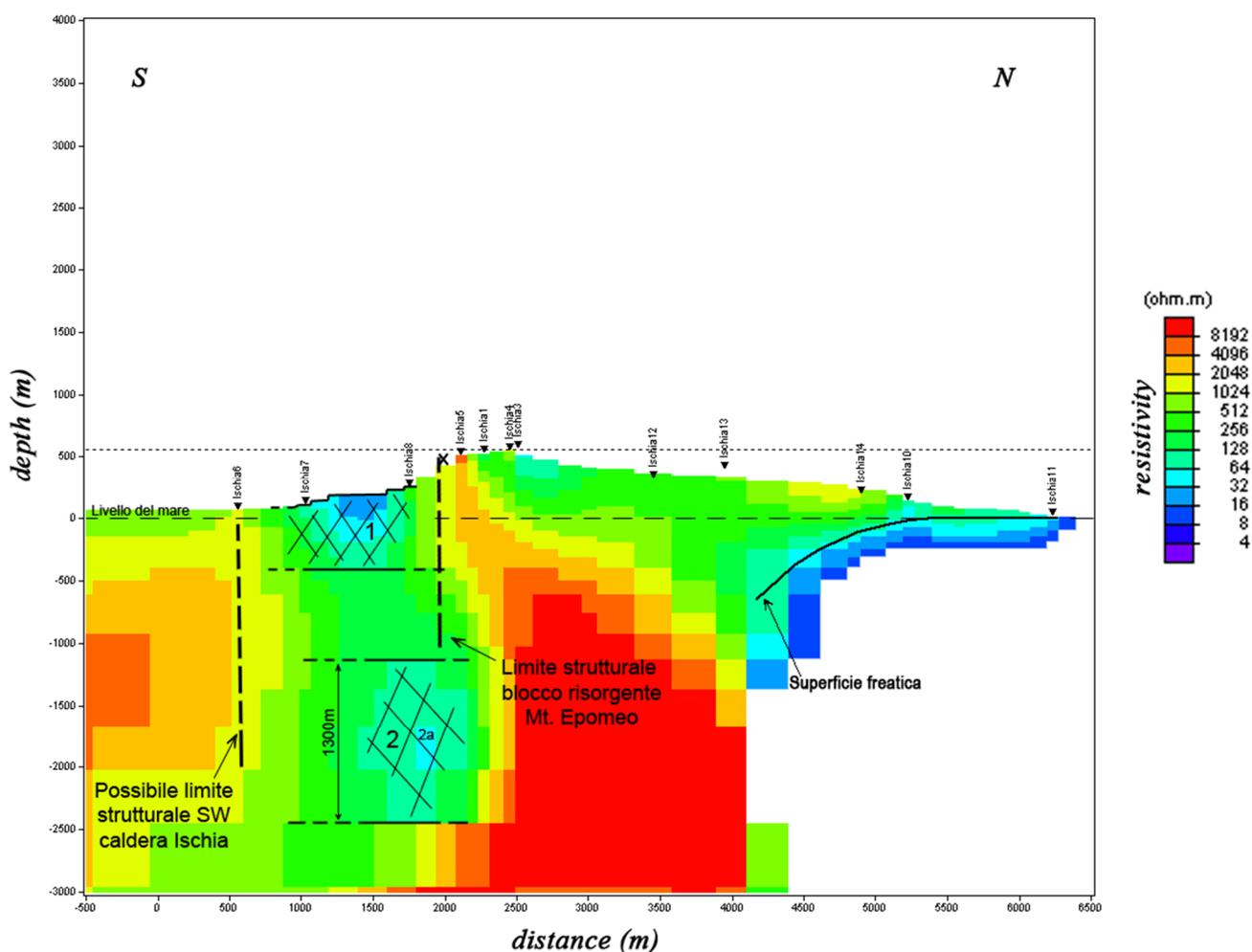


Figura 7. Modello 2D di resistività relativo al profilo Nord-Sud con individuazione dei due acquiferi (1 e 2) con potenze rispettivamente di circa 600m e 800m . Sono indicate le possibili strutture vulcano-tettoniche ricavate dai contrasti di resistività, e in particolare il limite della caldera nel 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.

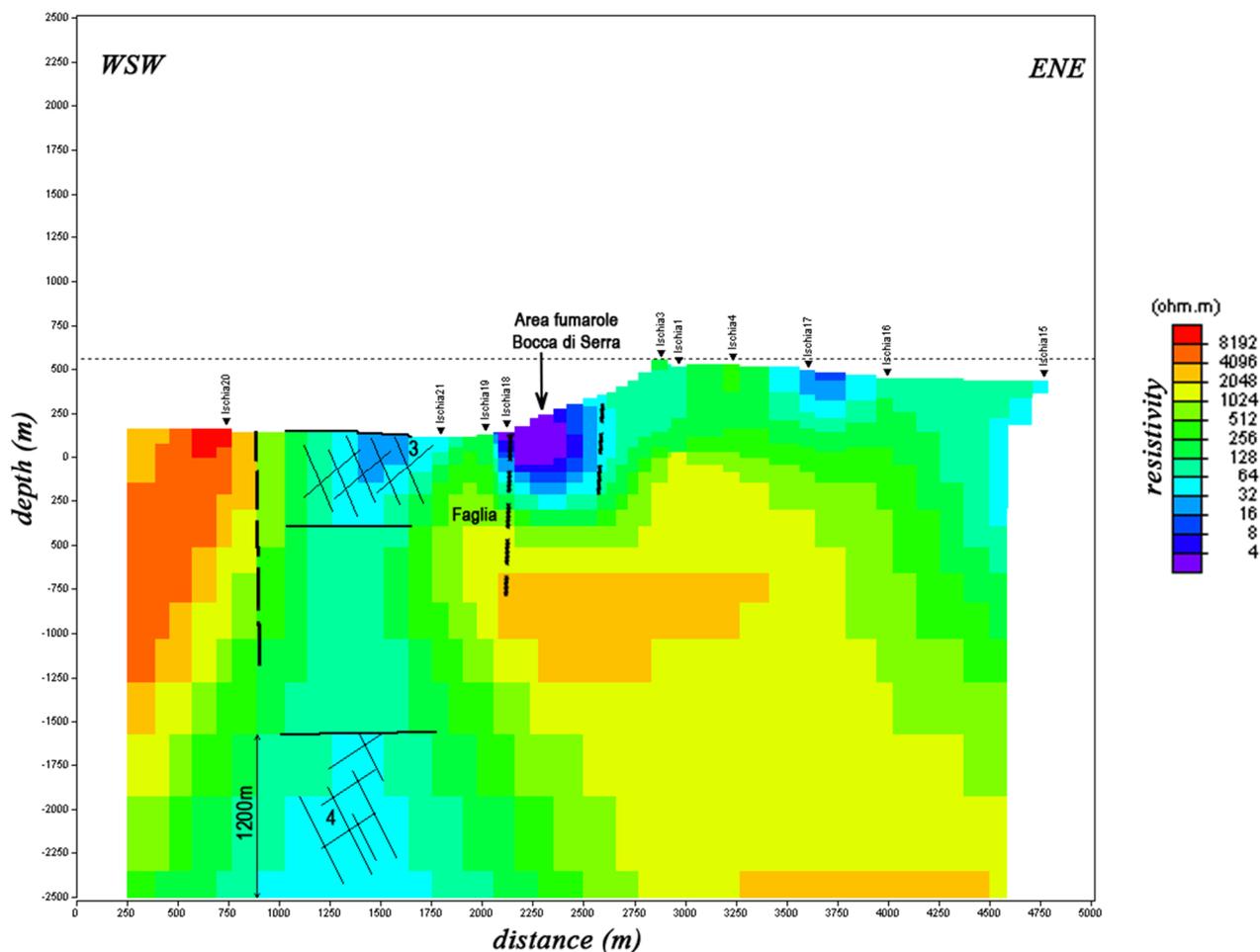


Figura 8. Modello 2D di resistività relativo al profilo WSW-ENE con individuazione dei due acquiferi (1 e 2) con potenze rispettivamente di circa 600m e 800m. Sono indicate le possibili strutture vulcano-tettoniche ricavate dai contrasti di resistività, e in particolare il limite

Per valutare un possibile riscontro tra l'andamento delle anomalie di resistività e la geologia più o meno profonda (fino a circa 500-1000m dal p.c.), i profili MT sono stati confrontati con due sezioni geologiche con lo stesso allineamento e localizzazione (N-S e WSW-ENE), estratte dalla Carta Geologica dell'isola d'Ischia scala 1:10000 (Regione Campania, 2011). Le informazioni geologiche dirette in questo caso sono disponibili per profondità massime di circa 1000 m dal piano campagna, sulla base delle stratigrafie dei pozzi SAFEN. Dal confronto del profilo WSW-ESE con la sezione geologica si evince che gli strati meno resistivi più superficiali, con spessori di 50-100 m, sono correlabili ai depositi di debris, mud flow e avalanches, caratterizzati da permeabilità relativamente elevata per porosità (Figura 9). La zona delle fumarole di Bocca di Serra coincide con allineamenti di faglia che facilitano la risalita di fluidi profondi, generando il campo fumarolico osservato in superficie. I contrasti di resistività rilevati proprio in quest'area, a monte e valle dei punti di misura Ischia18 e Ischia3, rispettivamente, evidenziano la presenza di

possibili discontinuità strutturali (faglie con rigetto quasi verticale), mentre la bassissima resistività è in accordo con la presenza del campo fumarolico (risalita di fluidi). Il contrasto di resistività rilevato in corrispondenza del punto Ischia20 (figura 9) potrebbe essere imputabile alle strutture vulcano-tettoniche definite nella fase di attività più antica dell'isola, con risalita di lave parzialmente intrusive e meno interessate dai fenomeni deformativi che hanno coinvolto prevalentemente il settore centrale dell'Epomeo.

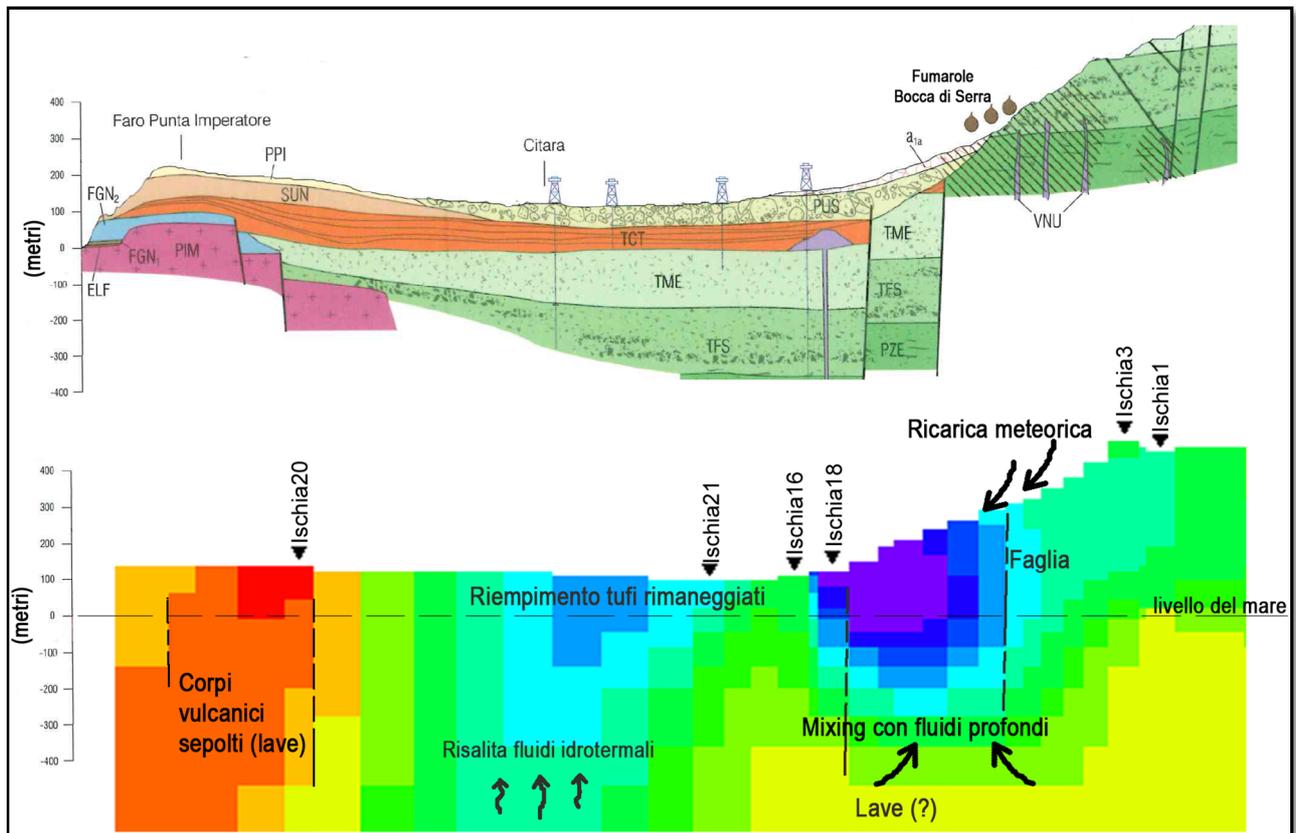


Figura 9. Confronto tra modello 2D di resistività (profilo WSW-ENE) e sezione geologica passante per lo stesso profilo (carta geologica Isola d'Ischia, Regione Campania). Si evidenzia una buona correlazione tra zone con bassa resistività (in blu) e fumarole di Bocca di Serra e tra zone ad alta resistività (rosso-arancio) e corpi vulcanici intrusivi sepolti. Legenda geologia: PZE: tufi di Pizzone (circa 61000 anni); TFS: tufi dei Frassitelli (circa 62000 anni); VNU: corpi sub-vulcanici tabulari; TME: tufo verde del monte Epomeo (circa 55.000 anni); PIM-FGN: lave antiche di Punta Imperatore (circa 117000 anni); ELF: depositi piroclastici de l'Elefante; TCT: tufi di Citara (circa 45.000 anni); SUN: depositi di debris and mud flow; PPI: piroclastiti di Punta Imperatore (circa 18.000); PUS: Punta Soccorso debris avalanche

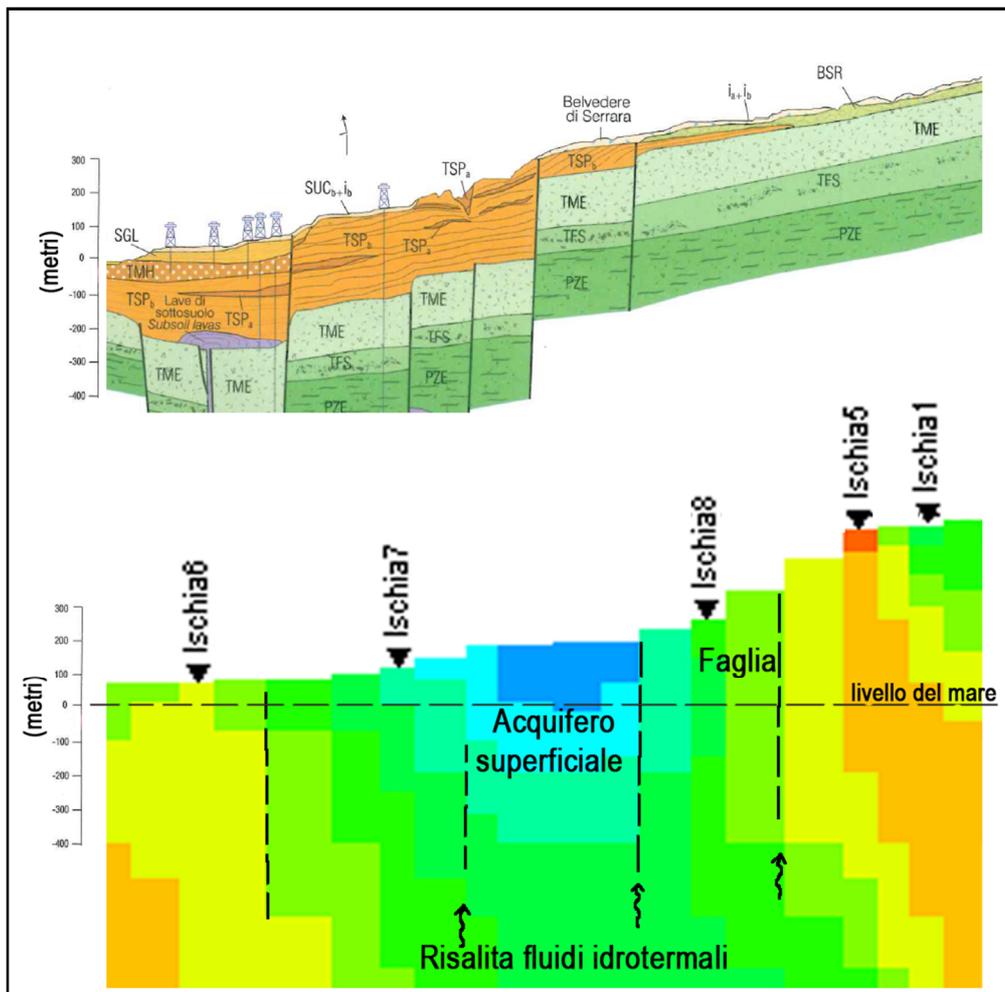


Figura 10. Confronto tra modello 2D di resistività (profilo N-S) e sezione geologica passante per lo stesso profilo (carta geologica Isola d'Ischia, Regione Campania). Le aree a maggiore resistività relativa (giallo-arancio) sembrano essere associate alla presenza del basamento del tufo verde del Monte Epomeo e dei tufi ad esso sottostanti. Legenda geologica: PZE: tufi di Pizzone (circa 61000 anni); TFS: tufi dei Frassitelli (circa 62000 anni); TME: tufo verde del monte Epomeo (circa 55.000 anni); TSP: tufi di Serrara Cava Petrella (circa 33000 anni); TMH: tufi di San Michele; SGL: tufi di Sant'Angelo; BSR: Bocca di Serra debris avalanches; i: depositi rimaneggiati di origine mista.

Il profilo di resistività N-S, confrontato con il profilo geologico passante per la medesima sezione è mostrato in figura 10. I contrasti di resistività sembrano impostarsi su alcuni dei lineamenti di faglia osservabili nella carta geologica. L'acquifero superficiale (area in blu) si imposta tra i depositi del tufo verde e dei tufi di Cava Petrella. Le zone del profilo laterali, a maggiore resistività, (in giallo-arancio) sembrano corrispondere rispettivamente ai tufi in posto del Monte Epomeo (a destra) e a tufi e lave del sottosuolo (a sinistra). La minore resistività dell'area centrale del profilo può essere correlata alla presenza di fluidi caldi nel basamento tufaceo dell'isola.

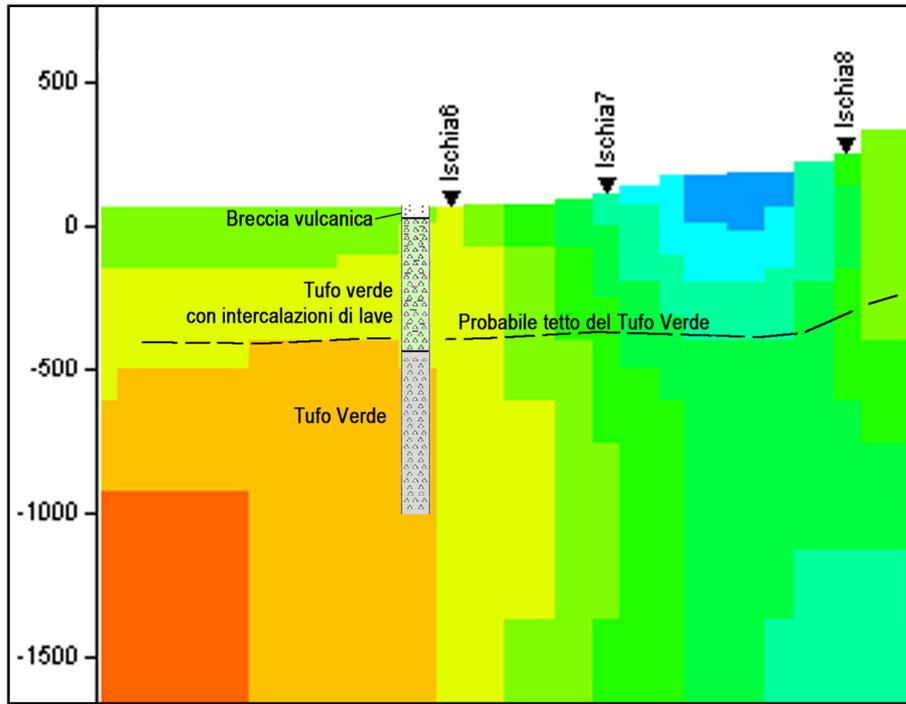


Figura 11. Confronto tra modello 2D di resistività (profilo N-S) e stratigrafia del pozzo Ischia6.

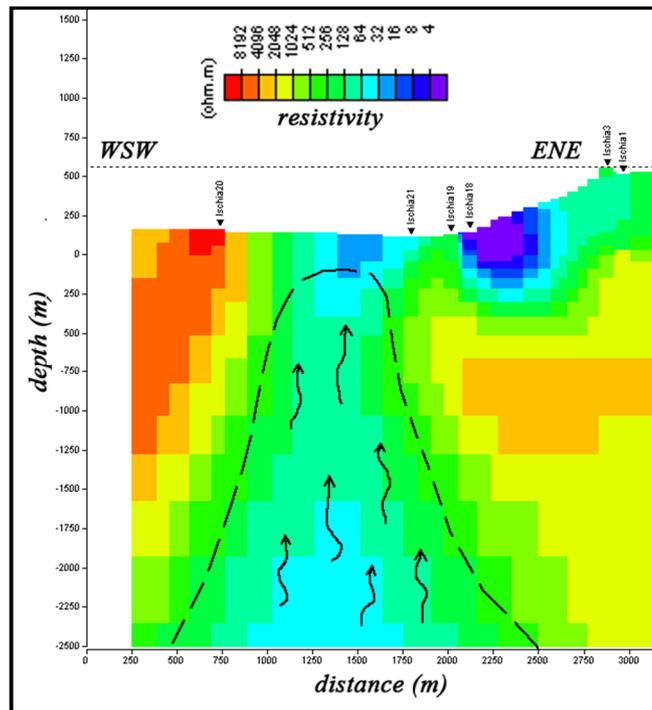


Figura 12. La linea tratteggiata rappresenta la possibile anomalia termica nel settore WSW dell'isola legata alla risalita di fluidi idrotermali.

5 – CONCLUSIONI

I dati ottenuti dai profili di resistività evidenziano la presenza di diverse anomalie, correlabili sia ai processi vulcano-tettonici che hanno interessato l'isola almeno negli ultimi 33.000 anni (Vezzoli, 1988) che alla circolazione dei fluidi nella crosta superficiale, fino a circa 2.5-3 km di profondità. Considerando che la resistività del mezzo è funzione anche della temperatura (in generale all'aumentare di quest'ultima diminuisce la resistività), il dato ottenuto dalle indagini evidenzia una possibile anomalia termica, da relazionarsi alla risalita verso la superficie dei fluidi idrotermali. La presenza di un sistema di circolazione parzialmente convettivo è individuabile dalle termometrie dei pozzi profondi perforati dalla società SAFEN (Penta e Conforto, 1951).

L'analisi dei contrasti di resistività evidenzia la presenza di due aree a bassa resistività nel settore WSW dell'isola, che si sviluppano a profondità variabili, tra circa 0-500 m e 1200-2000 m. 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 la presenza di due acquiferi separati, come riportato in diversi studi di letteratura (Di Napoli et al., 2009, 2011 e riferimenti interni).

Da un punto di vista strutturale le indagini eseguite evidenziano inoltre la presenza di alcune anomalie con contrasti di resistività relativamente alti, 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.

5 – BIBLIOGRAFIA

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

Bear, J. (1972) Dynamics of fluids in porous media. American Elsevier, New York, 764 pp.

Carlino S. (2012). The process of resurgence for Ischia Island (southern Italy) over the last 55 ka: the laccolith model and implications for eruption forecasting. *Bulletin of Volcanology*, doi: 10.1007/s00445-012-0578-0.

Carta Geologica dell'isola d'Ischia (2011). Regione Campania, Progetto CARG.

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

Penta F, Conforto B. (1951) Risultati di sondaggi e di ricerche geominerarie nell'isola d'Ischia dal 1939 al 1943 nel campo di vapore, delle acque termali e delle forze endogene in generale. *Annali di Geofisica* 1951;4:159-91.

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

Vezzoli, L. (1988) Island of Ischia. Progetto Finalizzato Geodinamica, Monografie Finali n.10, Consiglio Nazionale delle Ricerche, Roma.

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.