

## LA STRUTTURA DELL'AREA DEL MONTE DI VEZZI, ISOLA D'ISCHIA, DA DATI GEOFISICI\*

## THE STRUCTURAL SETTING OF THE MONTE DI VEZZI AREA, ISCHIA ISLAND (ITALY), DERIVED FROM GEOPHYSICAL DATA\*

VALERIA PAOLETTI(\*), ANTONIO RAPOLLA(\*,\*\*) & MANUELA SECOMANDI(\*\*)

(\*) C.U.G.R.I. sede di Napoli, Viale Kennedy, 5 - 80125 Napoli, e c/o Dipartimento di Scienze della Terra, Laboratorio di Geofisica, Complesso Universitario di Monte Sant'Angelo, Via Cintia, Edificio 7, 80126 Naples, Italy, Email: paoletti@unina.it, Tel: (+39) 081679293

(\*\*) Dipartimento di Scienze della Terra, Università degli Studi di Napoli Federico II, Largo San Marcellino, 10 - 80138 Naples, Italy, Email: rapolla@unina.it, masecoma@unina.it, Tel: (+39) 081679293-4

### RIASSUNTO

In questo lavoro è presentato uno studio della struttura dell'area di Monte di Vezzi, nell'Isola d'Ischia, effettuato attraverso l'analisi di un nuovo 'data set' aeromagnetico ad alta risoluzione e di precedenti dati gravimetrici. L'indagine aeromagnetica ha coperto l'intera Isola d'Ischia, con linee di volo separate 300 m ed una distanza dal piano campagna di 300 m. L'analisi dei dati magnetici, effettuata attraverso la riduzione al polo ed il calcolo della derivata orizzontale dei dati, ha permesso una chiara identificazione della sorgente dell'anomalia posta in corrispondenza del Monte di Vezzi ed ha consentito la localizzazione dei principali lineamenti magnetici dell'area. Lo studio è stato completato dal 'modeling' 2D dei dati aeromagnetici e gravimetrici, che ha portato alla definizione di un modello di densità e magnetizzazione del monte, consentendo di ottenere nuove informazioni sulle caratteristiche geo-vulcanologiche e strutturali dell'area.

**TERMINI CHIAVE:** Anomalie Aeromagnetiche, 'Modeling' Magnetico e Gravimetrico, 'Boundary Analysis'

### INTRODUZIONE

Il 30 aprile 2006 si sono innescati lungo il versante settentrionale del Monte di Vezzi, Isola d'Ischia, cinque fenomeni gravitativi di tipo superficiale. I fenomeni rientrano nella casistica delle frane per scorrimento-colata rapida che interessano i terreni piroclastici sciolti posti su un substrato roccioso di natura vulcanica. Nonostante le frane del Monte di Vezzi abbiano coinvolto spessori generalmente inferiori ad 1 m, una completa comprensione della fenomenologia e una corretta programmazione degli interventi sui versanti non possono prescindere da un'analisi volta alla valutazione delle caratteristiche geologico-strutturali generali dell'area del Monte di Vezzi.

In quest'ottica l'analisi delle anomalie magnetiche e gravimetriche di un'area può fornire informazioni utili circa la distribuzione di magnetizzazione e densità delle strutture del sottosuolo, rappresentando un valido contributo alla comprensione delle principali caratteristiche geo-strutturali e vulcanologiche di un'area. In particolare, le indagini magnetiche e gravimetriche si sono dimostrate utili in

\* - I dati magnetici sono stati acquisiti durante l'indagine finanziata dal contratto INGV: Project 'V3\_3 - Ischia' ad uno degli autori (AR)

### ABSTRACT

We present a magnetic and gravimetric study of the structural setting of the Monte di Vezzi area, in the Ischia Island. The study was performed carrying out an analysis of a new high-resolution aeromagnetic data set and a previous gravity data set. The aeromagnetic survey covered the entire area of the island with a flight line spacing and a clearance of 300 meters. The analysis of the magnetic data set, that included reduction to the pole and computation of the horizontal derivative of data, lead to the location of the source of the anomaly measured over Monte di Vezzi and allowed mapping the main magnetic lineaments of the area. A 2D simultaneous magnetic and gravity modeling yielded the definition of a model of the mount in terms of density and magnetization, bringing new insights into the geo-vulcanological and structural characteristics of the area.

**KEYWORDS:** Aeromagnetic Anomaly, Magnetic and Gravity Modeling, Boundary Analysis

### INTRODUCTION

On the 30<sup>th</sup> of April 2006 five landslides were triggered on Monte di Vezzi, Ischia Island, Italy. The phenomena can be classified as debris flows and involved pyroclastic soils covering a volcanic bedrock. Despite the shallowness of the landslides, which were characterized by a maximum depth of one meter, an exhaustive understanding and characterization of these events can only be achieved through an overall study of the geological and structural characteristics of the Monte di Vezzi area.

In this frame, the study of the magnetic and gravity field of an active volcanic region can provide useful information about the subsurface magnetization and density distribution, allowing significant insights into the geo-structural and volcanological characteristics of the area. More specifically, magnetic and gravimetric surveys have proven very useful in several applications regarding regional and near surface investigations, such as mapping of lineaments and faults and modeling of volcanic, outcropping or buried,

\* - The magnetic data were acquired during a survey financed by the INGV contract: Project 'V3\_3 - Ischia' to one of the authors (AR)

diverse applicazioni, sia a scala regionale sia locale, come l'individuazione di lineamenti e faglie ed il 'modeling' di sorgenti vulcaniche affioranti o sepolte.

Nonostante la pericolosità che caratterizza l'isola vulcanica d'Ischia, sono attualmente disponibili solo poche informazioni sul suo assetto geo-strutturale. Quindi, alla luce della mancanza di dati magnetici dettagliati dell'area, nell'Ottobre 2005 è stata eseguita nell'isola una nuova campagna di misure aeromagnetiche ad alta risoluzione (Aeromagnetic Survey of the Ischia Island, Neapolitan Volcanic District, Italy, in prep.). L'indagine ha coperto l'intera area dell'isola estendendosi anche nelle aree marine immediatamente circostanti, allo scopo di rendere possibile l'unione del nuovo 'data set' con dati precedentemente acquisiti, sia a mare che a terra, nella regione napoletana (PAOLETTI *et alii*, 2005).

Scopo di questo lavoro è quello di presentare uno studio dell'assetto strutturale magnetico e gravimetrico dell'area di Monte di Vezzi attraverso l'analisi di dati ad alta risoluzione. L'analisi è stata compiuta nell'ambito di uno studio geo-vulcanologico, strutturale e morfologico eseguito nell'area dal Gruppo di Lavoro del Dipartimento di Scienze della Terra dell'Università degli Studi di Napoli Federico II.

## INQUADRAMENTO GEO-VULCANOLOGICO DELL'ISOLA D'ISCHIA

L'Isola d'Ischia (Fig. 1) è posta a nord-ovest del Golfo di Napoli e costituisce il più antico complesso vulcanico dell'area napoletana. L'isola è composta principalmente di vulcaniti Pleistoceniche con composizione delle lave che va dai trachibasalti, alle trachiti alcaline, alle fonoliti (CAPALDI *et alii*, 1985). La sua struttura geologica fu descritta per la prima volta da RITTMANN (1948), che interpretò il Monte Epomeo come un horst vulcano-tettonico sollevato dall'intrusione di magma in una camera magmatica superficiale. L'horst, composto di Tufo Verde, ha la forma di un quadrilatero ed è limitato da un sistema di faglie con direzione N-S ed E-O, lungo le quali si è sviluppata l'attività vulcanica. Datazioni K-Ar su campioni prelevati in diverse aree dell'isola (GILLOT *et alii*, 1982; CAPALDI *et alii*, 1985) e studi geologici (CHIESA & VEZZOLI, 1983) suggeriscono un complesso sviluppo geologico dell'isola, caratterizzato da quattro fasi. Circa 130,000 anni fa un complesso vulcanico più vasto dell'attuale isola subì un collasso e si instaurarono flussi di lava lungo faglie radiali in corrispondenza dei duomi di Castello, Monte di Vezzi, S. Angelo e Monte Vico. Dopo circa 50,000 anni di inattività il Tufo Verde fuoriuscì dai margini della precedente caldera, nel settore meridionale dell'isola, riempendola per uno spessore di circa 200 m. Nel periodo tra i 40,000 e i 33,000 anni fa, l'attività piroclastica si concentrò nella parte sud-occidentale dell'isola, mentre la parte settentrionale dell'isola fu coperta dal mare. Nella terza fase, tra 28,000 e 15,000 anni fa, l'attività, sia piroclastica che lavica, continuò nel settore sud-occidentale dell'isola, mentre una parte del settore sud-orientale dell'isola subì un collasso lungo faglie orientate NE-SO. In questa fase l'horst di Monte Epomeo cominciò a sollevarsi a causa dell'intrusione di un corpo plutonico a bassa profondità. ORSI *et*

body sources.

Despite the hazard that characterizes the Ischia volcanic island, few information about its structural setting is available. Therefore, in light of the lack of detailed geophysical data set on Ischia, a new high-resolution aeromagnetic survey was carried out in the area in October 2005 (Aeromagnetic Survey of the Ischia Island, Neapolitan Volcanic District, Italy, in prep.). The survey covered the entire area of the island extending also in the near surrounding seas to make it possible a seamless union with aeromagnetic and marine data sets previously acquired in the Neapolitan region (PAOLETTI *et alii*, 2005).

In this paper we present a study of the magnetic and gravimetric structural setting of the area of Monte di Vezzi carried out by the analysis of high resolution data. The analysis was performed in the frame of a geo-vulcanological, structural and morphological study carried out in the area by a Working Group of the Department of Earth Science (Naples University).

## GEO-VULCANOLOGICAL FRAMEWORK OF THE ISCHIA ISLAND

The Island of Ischia (Fig. 1) is placed northwest of the Gulf of Naples and is the oldest volcanic complex in the Neapolitan area. It consists mainly of Pleistocene volcanics with a chemical composition of lavas ranging from trachybasalts to alkali-trachyte and phonolite (CAPALDI *et alii*, 1985). Its geological structure was first described by RITTMANN (1948), who interpreted Mt. Epomeo as a volcanic-tectonic horst uplifted because of magma intrusion in a shallow magmatic chamber. This horst, composed of Green Tuff, is quadrilateral shaped and bounded by a system of N-S and E-W faults along which volcanic eruptions occurred. K-Ar dating on several samples corresponding to different area of the island (GILLOT *et alii*, 1982; CAPALDI *et alii*, 1985) and geologic studies (CHIESA & VEZZOLI, 1983) suggest a complex geologic development of the island, characterized by four stages. Around 130,000 years ago a volcanic complex more extended than the present island collapsed and lava flows came along radial faults of the sinking domes of Castello, Monte di Vezzi, S. Angelo and Mount Vico. After about 50,000 years of inactivity Green Tuff was erupted from the margin of the previous caldera, in the southern sector of the island, filling the caldera to a thickness of about 200 m. In the period from 40,000 to 33,000 years ago the pyroclastic activity was concentrated in the south-western part of the island while its northern part was covered by the sea. In the third stage, between 28,000 and 15,000 years ago, the activity, both pyroclastic and lavic, continued in the south-western sector of the island, while a part of the south-eastern sector of the island collapsed along a NE-SW fault. In this stage the Mount Epomeo horst began to rise

*et alii* (1991) hanno ipotizzato a tal riguardo l'esistenza di una camera magmatica superficiale ed hanno presentato un modello dinamico del sollevamento del Monte Epomeo, che rappresenterebbe la parte più alta di un blocco limitato da faglie sub-verticali inclinate verso l'interno. La quarta fase, che comprende gli ultimi 10,000 anni, fu caratterizzata da diverse eruzioni nel settore nord-orientale dell'isola. L'attività fu limitata verso ovest da faglie N-S delimitanti il Monte Epomeo e verso sud-est da faglie NE-SO (Fig. 1). L'ultima eruzione, il flusso di lava dell'Arso, avvenne nel 1301-1302 d.C. Da quest'ultima eruzione l'attività è stata limitata a fenomeni fumarolici ed idrotermali.

La storia sismica dell'isola può essere fatta risalire al 1228, da quando sono disponibili notizie storiche sufficientemente attendibili. In quell'anno una grossa frana attribuita ad un terremoto in località Casamicciola si distaccò dal Monte Epomeo. Nei secoli successivi si sono verificati diversi terremoti che hanno provocato ingenti danni. Gli eventi sismici di maggiore rilievo, con effetti disastrosi, risalgono tuttavia al 1881 e 1883. Il terremoto del 4 Marzo 1881 provocò gravi danni a Casamicciola e a Lacco Ameno e fu avvertito anche in altre località. Il terremoto del 28 Luglio 1883 fu l'evento più catastrofico avvenuto sull'isola negli ultimi secoli. Il sisma distrusse gran parte della cittadina di Casamicciola e fu distintamente avvertito in tutta l'isola con particolare intensità a Lacco Ameno e Forio. Questo terremoto, avvertito anche a Napoli, fu seguito da numerose repliche.

because of the intrusion of a magma pluton to shallow depth. *ORSI et alii* (1991) hypothesised the existence of a shallow magmatic chamber and presented a dynamic model of the Mt. Epomeo uplift, which should be the highest part of a block bounded by sub-vertical faults inclined toward inner. The fourth stage, between 10,000 and the present, was characterized by several eruptions in the north-eastern sector. The activity was limited on the west by N-S faults of the Mount Epomeo horst and, on the southeast by a NE-SW fault (Fig. 1). The last eruption, the Arso lava flow, occurred in 1301-1302 AD. From the last eruption the only volcanic activity in the island is fumarolic and hydrothermal. Reliable information about the seismic history of the island go back to 1228, when an earthquake triggered a landslide on Mt. Epomeo. In the following centuries several earthquakes were registered, but the most important events were in 1881 and 1883. The earthquake of March 4<sup>th</sup>, 1881 caused serious damages in Casamicciola and Lacco Ameno. The earthquake of July 28<sup>th</sup>, 1883 was the most destructive event registered in the island in the last centuries. It caused the almost total destruction of the village of Casamicciola and was felt all over the island and in Naples.

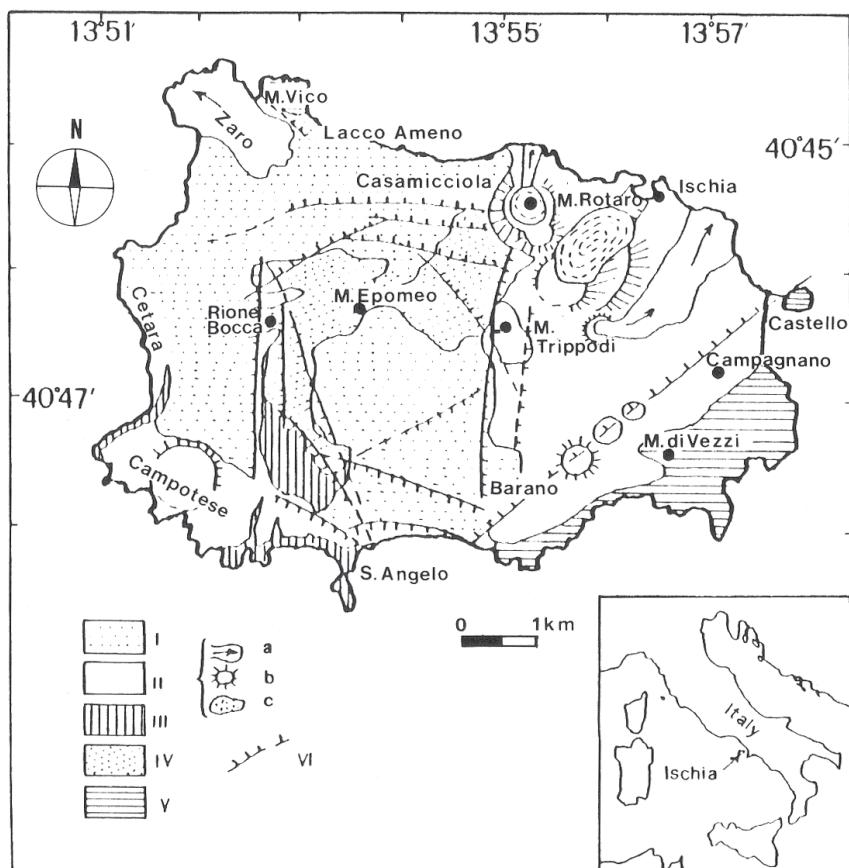


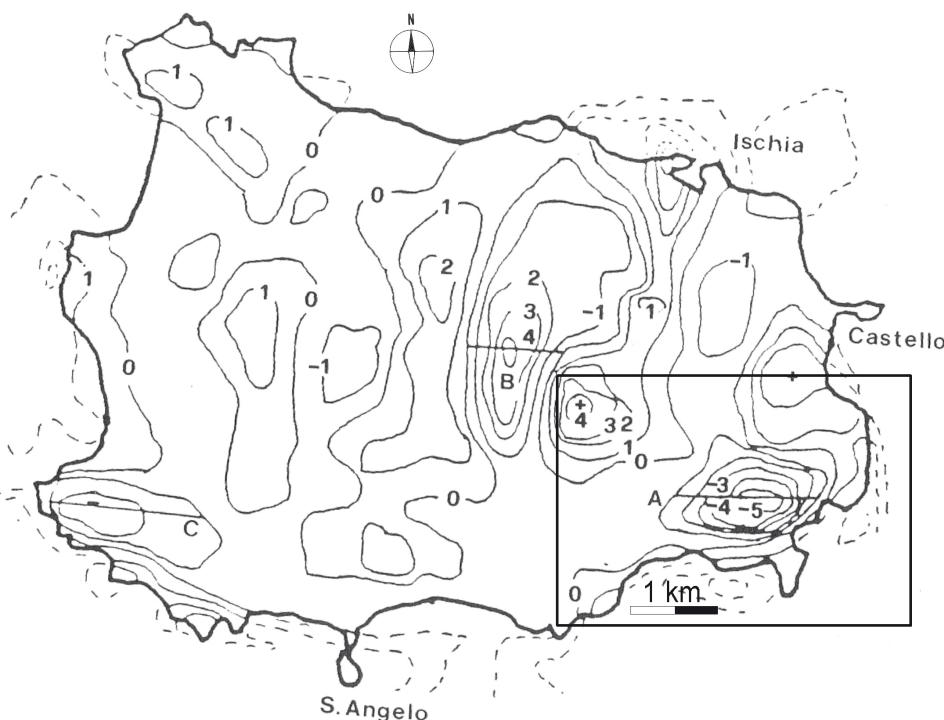
Fig. 1 - Mappa geologica dell'Isola d'Ischia (da GILLOT *et alii*, 1982). I = Brecce e colate di fango; II = Unità vulcaniche più recenti di 30,000 yr, a-flusso lavico, b-crater, c-dome; III = Tufo di Cetara; IV = Tufo Verde di Monte Epomeo; V = Formazioni del primo complesso vulcanico, smantellate; VI = Faglie.

- Geological sketch map of the island of Ischia (from GILLOT *et alii*, 1982). I = scree and mud-flows; II = volcanic units younger than 30,000 yr, a-lava flow, b-crater, c-dome; III = Cetara Tuff; IV = Mt. Epomeo Green Tuff; V = Formations of the first volcanic complex, dismantled; VI = Faults

## STUDI GEOFISICI DELL'AREA DI MONTE DI VEZZI

NUNZIATA & RAPOLLA (1987) hanno effettuato uno studio dei campi di potenziale, gravimetrico e magnetico, dell'Isola d'Ischia mostrando la presenza di un campo gravimetrico caratterizzato da anomalie locali sovrapposte ad un'anomalia più ampia con gradienti verso il centro dell'isola. Gli autori hanno analizzato e modellato le principali anomalie gravimetriche e magnetiche dell'isola ipotizzando la presenza di uno strato superficiale di natura piroclastica ( $\rho = 2.0 \text{ g/cm}^3$ ) contenente duomi e flussi di lava locali di più alta densità e suscettività magnetica e con uno spessore di poche centinaia di metri. Queste strutture giacciono su un basamento trachitico che può essere interpretato come una struttura ellissoidale allungata in direzione E-O e con una profondità minima di 1000 m sotto il livello del mare.

Per quanto riguarda l'area di Monte di Vezzi i dati gravimetrici con piccola lunghezza d'onda ( $\lambda < 2.8 \text{ km}$ ) evidenziano un minimo significativo (Fig. 2) con un'ampiezza di circa 6 mGal e una larghezza di circa 2 km nella direzione E-O. Secondo uno studio di CHIESA & VEZZOLI (1983), dopo la formazione del duomo di Monte di Vezzi circa 28,000-15,000 anni fa, una parte del bordo sud-orientale dell'isola crollò lungo faglie NE-SO e tutta la regione orientale dell'isola fu ricoperta da cineriti bianche eruttate da un vulcano sottomarino. Un 'modeling' 2D del minimo gravimetrico misurato in corrispondenza dell'area di Monte di Vezzi effettuato da NUNZIATA & RAPOLLA (1987) ha mostrato la presenza di una struttura da collasso con un profondità massima di circa 800 m al di sotto del livello del mare riempita di materiale più leggero - con molta probabilità cineriti bianche - rispetto al materiale piroclastico al contorno ( $\rho = -0.6 \text{ g/cm}^3$ ) (Fig. 3).



## GEOPHYSICAL STUDIES OF THE MONTE DI VEZZI AREA

A study of potential fields (gravity and magnetic field) of the Ischia Island carried out by NUNZIATA & RAPOLLA (1987) showed a gravity field characterized by very local anomalies superimposed on a wider anomaly with gradients towards the centre of the island. The authors analysed and modelled the main gravity and magnetic anomalies of the island and hypothesized the presence of a shallow structure of pyroclastic nature ( $\rho = 2.0 \text{ g/cm}^3$ ) containing local domes and lava flows of higher density and susceptibility with a thickness of a few hundreds of meters. These structures lie on a trachytic basement that can be interpreted as an ellipsoidal structure elongated in the E-W direction and with a shallowest depth of about 1000 m b.s.l..

The gravity data measured in the area of Monte di Vezzi show the presence of a meaningful low, which is clearly outlined in the short period gravity field ( $\lambda < 2.8 \text{ km}$ ) (Fig. 2) and has an amplitude of about 6 mGal and a breadth of about 2000 m in the E-W direction. Following CHIESA & VEZZOLI (1983), after the formation of the Mount Vezzi dome around 28,000-15,000 years ago, a part of the south-eastern border of Ischia collapsed along a NE-SW fault and white ashes, erupted by a submarine volcano, covered all the eastern part of the island. A 2D interpretation modeling of the low performed by NUNZIATA & RAPOLLA (1987) resulted in a collapsed structure filled with light material - very likely white ashes - having a density smaller than the pyroclastic surroundings ( $\rho = -0.6 \text{ g/cm}^3$ ) and with a greatest depth of about 800 m b.s.l. (Fig. 3).

Fig. 2 - Componente del Campo Gravimetrico dell'Isola d'Ischia con lunghezza d'onda  $\lambda < 2.8 \text{ km}$ . Il riquadro indica l'area di Monte di Vezzi (da NUNZIATA & RAPOLLA, 1987, modificata)  
- Short-period gravity field component ( $\lambda < 2.8 \text{ km}$ ) of the Ischia Island. The square shows the Monte di Vezzi area (from NUNZIATA & RAPOLLA, 1987, modified)

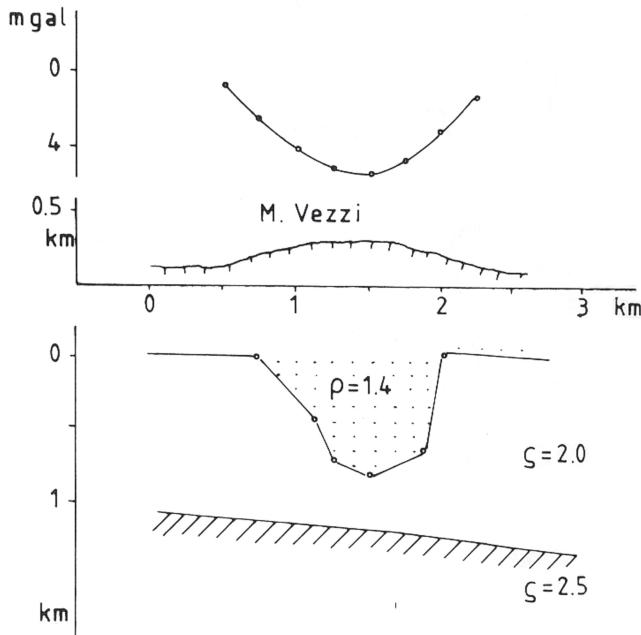
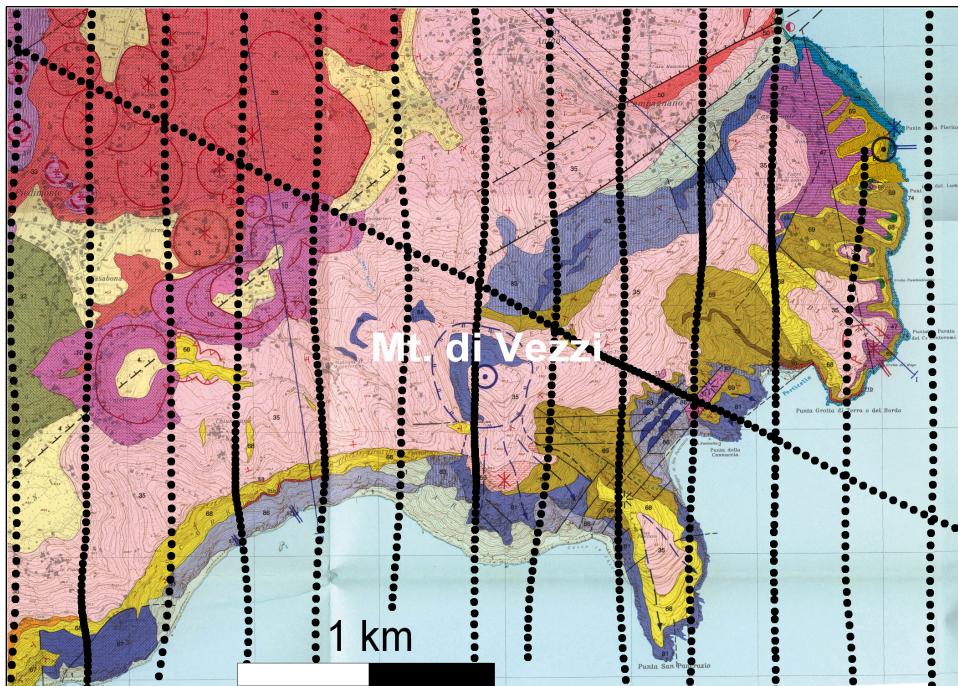


Fig. 3 - Interpretazione 2D dell'anomalia gravimetrica misurata lungo il profilo A di Figura 2 (da NUNZIATA & RAPOLLA, 1987)  
- 2D Interpretation of the anomaly measured along profile A of Figure 2 (from NUNZIATA & RAPOLLA, 1987)

## CARATTERISTICHE DELL'INDAGINE AEROMAGNETICA E CORREZIONE DEI DATI

### Logistica dell'indagine

L'indagine è stata eseguita nell'Ottobre 2005 secondo una superficie di volo parallela alla topografia dell'area (con distanza dal piano campagna di circa 300 m) lungo linee di volo separate 300 m. Il passo di campionamento lungo ogni linea è stato di circa 50 m. In figura 4 è mostrato un dettaglio delle linee di volo nell'area di Monte di Vezzi.



## AEROMAGNETIC SURVEY LAYOUTS AND DATA CORRECTION

### Logistical Characteristics of the Survey

The survey was carried out on October 2005 by an helicopter flying parallel to the topography of the area (with a clearance of about 300 m) along flight lines 300 m apart. The sample spacing along each line was about 50 m. In figure 4 it is shown a close-out of the area of Monte di Vezzi with the lines flew in the area during the aeromagnetic survey.

Fig. 4 - Dettaglio delle linee di volo nell'area di Monte di Vezzi. Le linee di volo sono sovrapposte alla carta geologica dell'area (da VEZZOLI, 1988)  
- Flight lines carried out in the Monte di Vezzi area. The flight lines are overlaid on the geologic map of the island (from VEZZOLI, 1988)

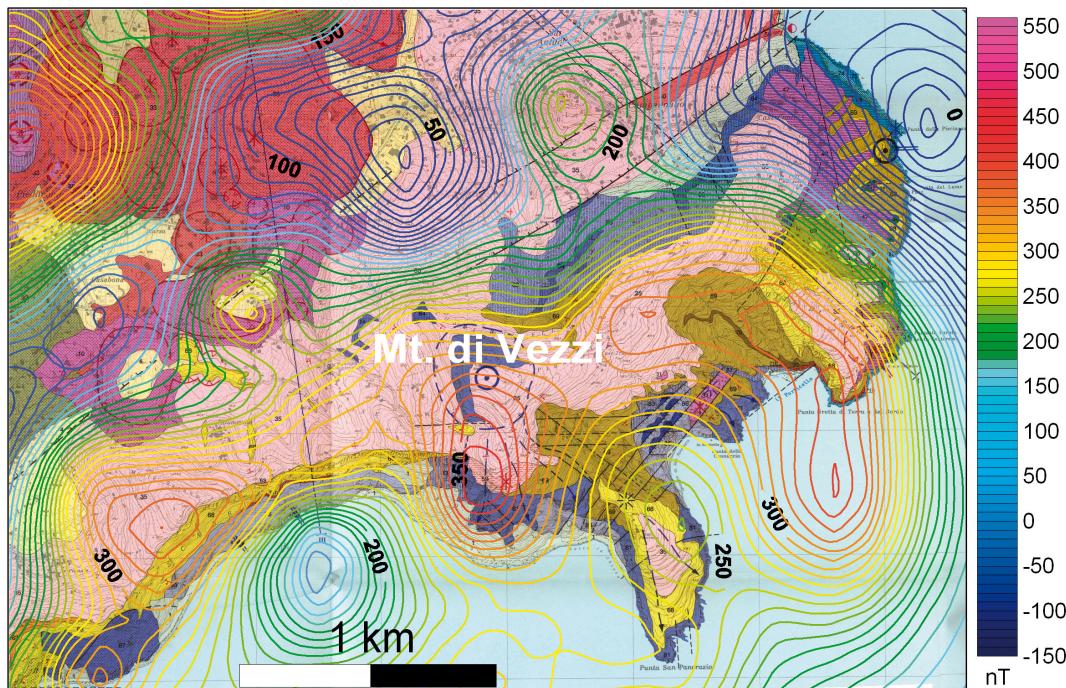
Gli strumenti usati per l'acquisizione dati sono stati forniti dal Servizio Geologico Austriaco e sono costituiti da una sezione di terra e una di bordo. Per quanto riguarda la sezione di terra, questa è costituita da una stazione base magnetometrica (magnetometro a protoni), per monitorare l'attività magnetosferica durante il volo, e da una stazione base GPS, per effettuare la correzione differenziale dei dati satellitari. La sezione di bordo consiste di: (i) un magnetometro ai vapori alcalini (precisione 0.01 nT) contenuto in un 'bird' posto a 30 metri al di sotto dell'elicottero; (ii) un sensore GPS per il posizionamento orizzontale dell'elicottero (precisione di  $\pm 1$  m, dopo la correzione differenziale); (iii) un laser-altimetro per il posizionamento verticale dell'elicottero (con un'accuratezza di 10 m); (iv) un computer di bordo e una telecamera.

## *Correzione dei dati*

Prima di essere analizzati ed interpretati i dati aeromagnetici sono stati corretti attraverso i seguenti passi: (1) rimozione di 'spikes' e piccoli 'gap' dai dati; (2) riposizionamento delle linee volate attraverso l'eliminazione di coordinate errate e record doppi, la correzione differenziale dei dati GPS ed il controllo dei dati relativi al laser-altimetro; (3) rimozione della variazione diurna attraverso l'impiego dei dati magnetici della stazione base; (4) rimozione del campo regionale teorico ('International Geomagnetic Reference Field'), necessaria per sottrarre l'effetto della variazione di intensità del campo magnetico con la latitudine e la longitudine; (5) 'leveling' statistico, consistente nella minimizzazione delle discrepanze tra i valori di campo misurati all'incrocio tra i profili e le 'tie lines'.

## **ANALISI DEL CAMPO AEROMAGNETICO DELL'AREA DI MONTE DI VEZZI**

La mappa aeromagnetica dell'area di Monte di Vezzi ottenuta



The equipment used for the survey was supplied by the Geological Survey of Austria and consisted of ground and flight instruments. Among the ground devices a magnetometer was used to monitor the external field activity during the flights and a GPS reference station used for the differential correction of satellite data. The flight section consisted of: (i) a cesium magnetometer having a precision of 0.01 nT, contained in a "bird" towed 30 m below the helicopter, (ii) a GPS sensor for the horizontal positioning, having a precision of  $\pm 1$  m after the differential correction, (iii) a laser-altimeter for the vertical positioning (with an accuracy of 10 cm); (iv) a computer and a video camera.

## *Data Correction*

The preprocessing relative to the aeromagnetic magnetic data included the following steps: (1) removal of spikes and gaps in the data; (2) flight path check and repositioning, which consisted in the removal of wrong coordinates and double records, differential correction of the GPS data, and check of the flight altitude; (3) Earth's magnetic field diurnal variation corrections, which were performed using the local base station; (4) removal of the International Geomagnetic Reference Field (IGRF); (5) statistical leveling, consisting in a minimization of the differences between the field values measured at the crossing points between flight lines and tie lines.

## **ANALYSIS OF THE AEROMAGNETIC FIELD OF THE MONTE DI VEZZI AREA**

The aeromagnetic map of the Monte di Vezzi area obtained after

g. 5 - Campo Aeromagnetico misurato nell'area di Monte di Vezzi. L'intervallo delle isolinee è di 10 nT  
 - *Aeromagnetic field measured in the area of Monte di Vezzi. Contouring is 10 nT*

dopo le correzioni è costituita da alcune interessanti anomalie caratterizzate da un'ampiezza di circa 300 nT e da un andamento complesso (Fig. 5).

Per individuare le sorgenti delle anomalie magnetiche i dati sono stati ridotti al polo usando, per i vettori del campo di induzione e del campo totale, la direzione dell'attuale campo di induzione magnetica dell'area (inclinazione = 60°; declinazione = 0°) (Fig. 6). La riduzione al polo è una ben nota trasformazione del campo eseguita nel dominio delle frequenze che semplifica la forma delle anomalie magnetiche misurate a latitudini intermedie, rendendola simile a quella che si misurerebbe in corrispondenza di una stessa sorgente posta al polo magnetico ed avente magnetizzazione verticale. Quando la direzione del vettore magnetizzazione totale è coincidente con quella del campo inducente la riduzione al polo provoca uno lo spostamento dell'anomalia al di sopra della sorgente. In figura 6 possiamo infatti notare uno spostamento verso nord dell'anomalia relativa al Monte di Vezzi rispetto all'anomalia in figura 5, con una chiara indicazione della posizione della sorgente magnetica di Monte di Vezzi.

I limiti laterali delle sorgenti magnetiche dell'area sono stati individuati attraverso i massimi della derivata orizzontale del campo magnetico. CORDELL & GRAUCH (1985) hanno infatti dimostrato che i massimi della derivata delle anomalie gravimetriche o di quelle magnetiche ridotte al polo sono posti in corrispondenza dei cambi di densità e magnetizzazione. In figura 7 è mostrata la mappa 'shaded relief' della derivata orizzontale dei dati ridotti al polo. La mappa mostra chiaramente la presenza di diversi lineamenti magnetici delimitanti il duomo di Monte di Vezzi.

these corrections is characterized by a number of meaningful anomalies with amplitude of about 300 nT and characterized by a complex pattern (Fig. 5).

In order to locate the position of the sources of the magnetic anomalies of the area we computed the pole reduced map using for the induced and total magnetization vectors the direction of the present inducing field in the area (inclinazione = 60°; declinazione = 0°) (Fig. 6). The reduction to the pole is a well-known linear transformation of the original field performed in the frequency domain which simplifies the shape of magnetic anomalies measured at intermediate latitudes, making them similar to the anomalies that would be measured above the same sources having vertical magnetization at the magnetic pole. If the direction of total magnetization vector is coincident with those of the present inducing field, a pole reduced anomaly is characterized by a shift of the anomaly just above its source. In figure 6 we can indeed notice a shift northward, with respect to the field in the figure 5, of the anomaly relative to Monte di Vezzi, with a clear indication of the position of its magnetic source.

To locate the lateral boundaries limiting these magnetic sources and highlight the magnetic lineaments of the area, we used the location of maxima of the Horizontal Derivative of the magnetic field. CORDELL & GRAUCH (1985) showed that the maxima of the Horizontal Derivative of gravity or pole reduced magnetic anomalies are located above changes of density or magnetization. In figure 7 it is shown the shaded relief map of the horizontal derivative of the pole reduced data. The map clearly highlights the presence of several magnetic lineaments bounding the dome of Monte di Vezzi.

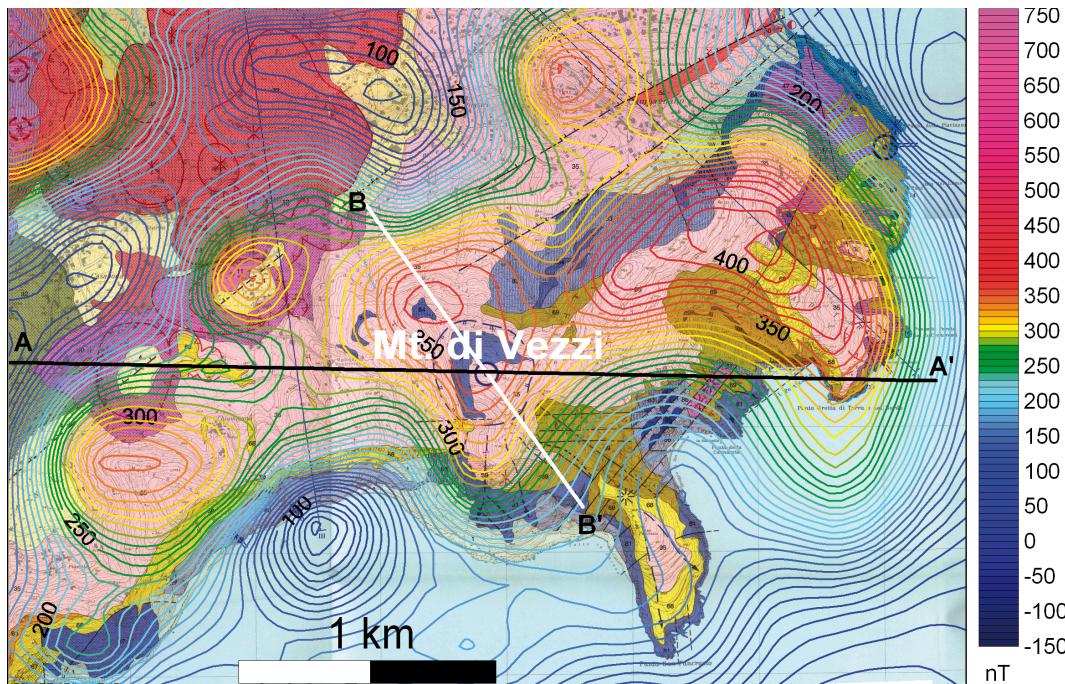


Fig. 6 - Mappa del campo magnetico ridotto al polo. L'intervallo delle isoline è di 10 nT. La linea nera indica il profilo interpretato in figura 8, la linea bianca il profilo interpretato in figura 9

- Map of the pole reduced magnetic data. Contouring is 10 nT. The black line shows the position of the profile interpreted in figure 8. The white line shows the position of the profile interpreted in figure 9

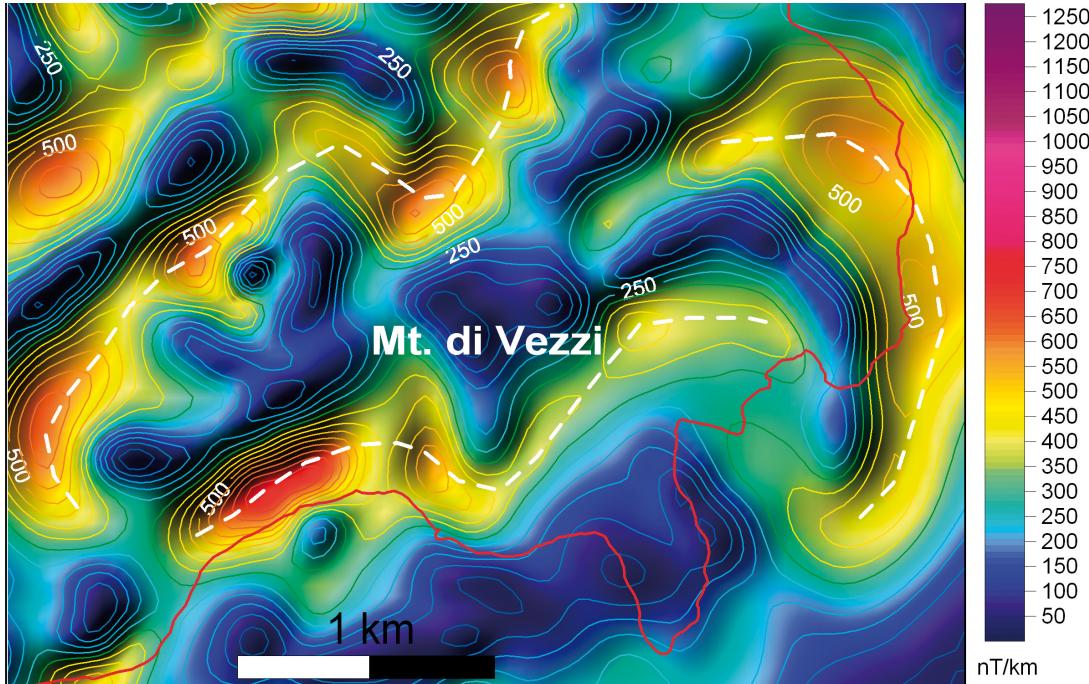


Fig. 7 - Mappa della derivata orizzontale dei dati magnetici ridotti al polo. Le linee tratteggiate indicano i lineamenti magnetici individuati  
- Map of the horizontal derivative of the pole reduced magnetic data. Dashed lines show the located magnetic lineaments

### 'MODELING' 2D MAGNETICO E GRAVIMETRICO DEL MONTE DI VEZZI

Allo scopo di ottenere informazioni sulle caratteristiche strutturali Monte di Vezzi abbiamo effettuato un 'modeling' 2D simultaneo dei dati magnetici e gravimetrici lungo due profili passanti entrambi per la cima del monte. Il primo profilo è orientato O-E e coincidente con quello gravimetrico interpretato da NUNZIATA & RAPOLLA (1987) (vedi Fig. 3), ma caratterizzato da una maggiore lunghezza, il secondo profilo è orientato NO-SE (Fig. 6).

Per quanto riguarda il 'data set' magnetico, sono stati utilizzati i dati ridotti al polo, mentre i dati gravimetrici sono stati digitalizzati dalla mappa delle anomalie con  $\lambda < 2.8$  km di NUNZIATA & RAPOLLA (1987), ottenuta dagli autori filtrando le anomalie di Bouguer pubblicate da MAINO & TRIBALTO (1971). Questi ultimi hanno calcolato le anomalie di Bouguer assegnando una densità di  $2.5 \text{ g/cm}^3$  alle trachiti,  $1.8 \text{ g/cm}^3$  al Tufo Verde di Monte Epomeo,  $1.6 \text{ g/cm}^3$  alle sabbie pomicee e  $1.5 \text{ g/cm}^3$  ai tufi trachitici, alle pomice sciolte, alle brecce e alle sabbie, e applicando la Correzione Geologica ai dati.

Il 'modeling' è stato effettuato utilizzando il software *GeoModel* 2.01, per la modellazione e l'inversione simultanea di dati gravimetrici e magnetici ([www.wits.ac.za/science/geophysics/gc.htm](http://www.wits.ac.za/science/geophysics/gc.htm)). Il 'modeling' è stato vincolato con le informazioni relative alla carta geologica dell'Isola d'Ischia in scala 1:10.000 di VEZZOLI (1988), e usando i tipici valori di densità e suscettività magnetica dei depositi dell'area (e.g., CARRARA *et alii*, 1974; NUNZIATA & RAPOLLA, 1987).

In figura 8 è mostrata l'interpretazione del profilo AA'. Come vediamo (Fig. 8A-B), mentre i dati magnetici sono caratterizzati da due massimi, di cui uno posto al di sopra del Monte di Vezzi, i dati gra-

### 2D MAGNETIC AND GRAVITY MODELING OF THE MONTE DI VEZZI AREA

In order to get insights about the structure of the Monte di Vezzi area we performed a 2D simultaneous magnetic and gravity modeling. The modeling was carried out along two profiles, a W-E profile coincident with the gravity profile interpreted by NUNZIATA & RAPOLLA (1987) (see Fig. 3), but characterized by a greater length, and a profile oriented NW-SE (Fig. 6). Both profiles cross the top of Monte di Vezzi. As regards the magnetic data, we used the reduced to the pole data set, while the gravity data were digitized from the short-period component map of NUNZIATA & RAPOLLA (1987), who filtered the Bouguer anomalies obtained by MAINO & TRIBALTO (1971). They computed Bouguer anomalies assigning a density of  $2.5 \text{ g/cm}^3$  to trachites,  $1.8 \text{ g/cm}^3$  to the Mt. Epomeo Green Tuff,  $1.6 \text{ g/cm}^3$  to pumiceous sands and  $1.5 \text{ g/cm}^3$  to trachytic tuffs and unconsolidated pumiceous, breccious and sandy material and by applying the Geological Correction to the data.

The 2D modeling was performed using the software *GeoModel* 2.01, for simultaneous magnetic and gravity modeling and inversion ([www.wits.ac.za/science/geophysics/gc.htm](http://www.wits.ac.za/science/geophysics/gc.htm)). The modeling was constrained by the information from the geologic map of the Ischia Island of VEZZOLI (1988), with scale of 1:10.000, and using the typical density and magnetic susceptibility values of the deposits of the area (see, e.g., CARRARA *et alii*, 1974; NUNZIATA & RAPOLLA, 1987).

In figure 8 it is shown the interpretation of profile AA'. As we can see (Fig. 8A-B), while the magnetic data are characterized two maxima, one of them placed above Monte di Vezzi, the gravity data show a clear minimum just above the mount. The resulting model

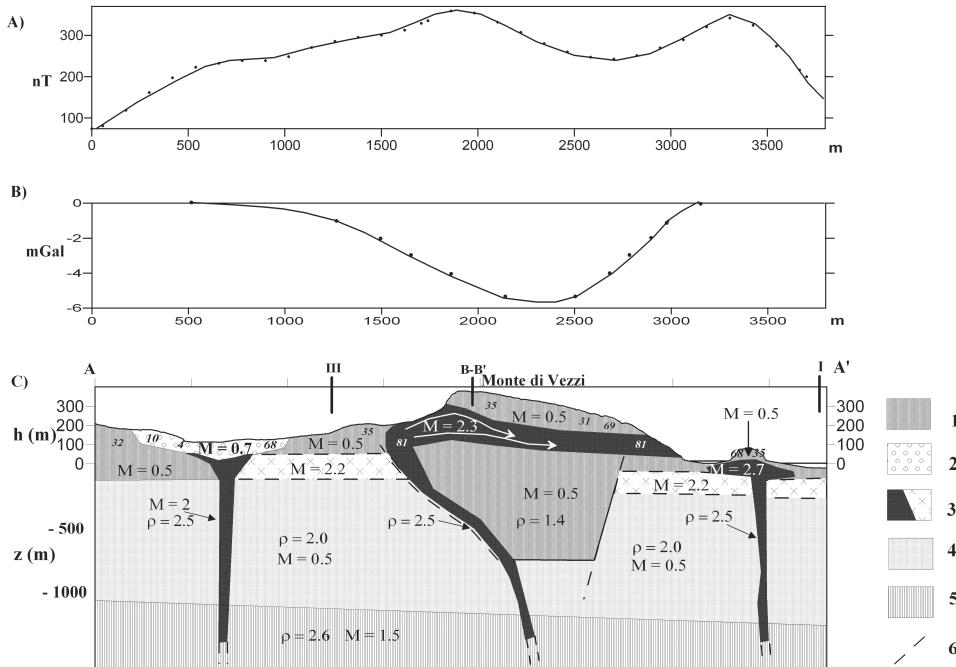


Fig. 8 - Modello interpretativo dell'area di Monte di Vezzi lungo il profilo AA'. La posizione del profilo interpretato è mostrata in figura 6. A) Dati magnetici ridotti al polo; B) Dati Gravimetrici. I punti mostrano i dati misurati mentre le curve mostrano i dati calcolati. C) Modello 2D di densità e magnetizzazione. La densità  $\rho$  è espressa in  $\text{g}/\text{cm}^3$ , la magnetizzazione  $M$  in  $\text{A}/\text{m}$ . Le densità dei mezzi al di sopra del livello del mare sono quelle relative alla Correzione Geologica dei dati gravimetrici (vedi testo). Topografia da IOVINO & PERRIELLO (questo volume). I numeri romani lungo il profilo indicano gli incroci con le sezioni della Carta Geologica di VEZZOLI (1988). Le frecce bianche indicano la direzione del flusso lavico. 1 = Depositi piroclastici da caduta, 2 = Scorie, 3 = Lave, 4 = Piroclastiti, 5 = Basamento Magmatico, 6 = Faglie. I numeri in corsivo fanno riferimento alle unità geologiche della Carta Geologica di VEZZOLI (1988)

- Interpretative model of the Monte di Vezzi area along the profile AA'. Location of the interpreted profile is shown in figure 6. A) Reduced to the pole magnetic data; B) Gravity data. Circles show the measured data, while solid line shows the computed data. C) 2D magnetization and density model. Density  $\rho$  is expressed in  $\text{g}/\text{cm}^3$ , magnetization  $M$  is expressed in  $\text{A}/\text{m}$ . The densities of the units above sea level are those relative to the Geological Correction of the gravity data (see text). Topography from IOVINO & PERRIELLO, (this issue). Roman numbers along the profile show the cross points with the sections of the Geologic Map from VEZZOLI (1988). White arrows show the direction of the lava flow. 1 = Various pyroclastic fall deposits, 2 = Scoriae, 3 = Lavas, 4 = Pyroclastics, 5 = Magmatic Basement, 6 = Faults. Italic numbers refer to geological units of the Geological Map from VEZZOLI (1988)

vimetrici evidenziano un chiaro minimo posto in corrispondenza del monte. Il modello di densità e magnetizzazione ottenuto dall'interpretazione profilo (Fig. 8C) è caratterizzato da cinque unità geofisiche attribuibili a diversi depositi geo-vulcanologici dell'area (vedi didascalia della figura 8). Le principali caratteristiche del modello ottenuto sono la presenza di: *i*) una struttura da collasso della larghezza di circa 1000 m posta al di sotto del monte, con una profondità massima pari a circa 750 m al di sotto del livello del mare, *ii*) un deposito da flusso lavico che risale lungo il bordo occidentale della struttura collassata ed affiora sul lato ovest del monte, con un massimo spessore di circa 120 m, *iii*) un basamento magnetico che si approfondisce verso est, posto a profondità superiori di 1000 m sotto il livello del mare.

In figura 9 è mostrata l'interpretazione del profilo BB'. I dati magnetici sono caratterizzati da un ampio massimo che si trova spostato a NO rispetto alla cima di Monte di Vezzi e al minimo gravimetrico (Fig. 9A-B). Il modello di densità e magnetizzazione ottenuto dall'interpretazione del profilo (Fig. 9C) mostra la struttura da collasso al di sotto di Monte di Vezzi già individuata nella precedente interpretazione. La struttura presenta lungo questo profilo una larghezza di circa 500 m e una profondità di circa 750 m sotto il livello

of the area in terms of density and magnetization (Fig. 8C) is characterized by five geophysical units that can be referred to different geo-volcanological deposits of the area (see caption of figure 8). The main features characterizing the model are the presence of: *i*) a collapse structure about 1000 m wide placed just below the mount and reaching a depth of about 750 m b.s.l., *ii*) a lava flow deposit rising along the western border of the sunken structure, outcropping in the W side of the mount and with a maximum thickness of about 120 m, *iii*) a magnetic basement dipping eastward and placed at a depth greater than 1000 m b.s.l..

In figure 9 we show the interpretation of profile BB'. The magnetic data are characterized a wide maximum that is shifted northwestward with respect to the top of the mount and to the gravity minimum (Fig. 9A-B). The resulting model of the area in terms of density and magnetization (Fig. 9C) shows the presence of the collapse structure below Monte di Vezzi already identified in the previous modeling. Its breadth along this profile is about 500 m and it reaches a depth of about 750 m b.s.l.. The Monte di Vezzi lava flow

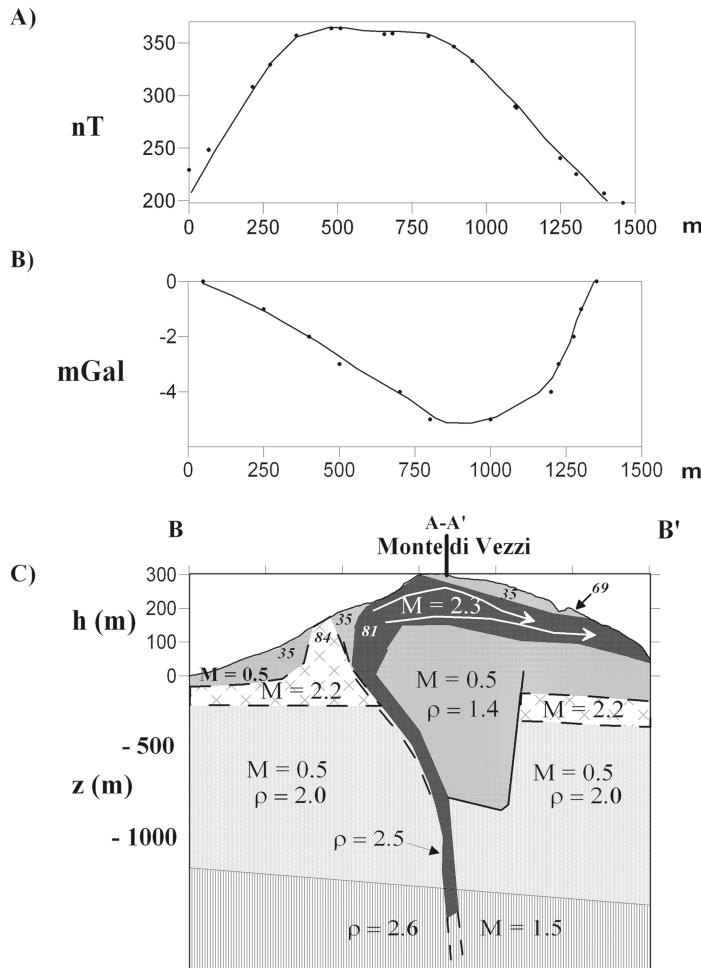


Fig. 9 - Modello interpretativo dell'area di Monte di Vezzi lungo il profilo BB'. La posizione del profilo interpretato e' mostrata in figura 6. A) Dati magnetici ridotti al polo; B) Dati Gravimetrici. I punti mostrano i dati misurati mentre le curve mostrano i dati calcolati. C) Modello 2D di densità e magnetizzazione. La densità  $\rho$  è espressa in  $\text{g}/\text{cm}^3$ , la magnetizzazione  $M$  in  $\text{A}/\text{m}$ . Le densità dei mezzi al di sopra del livello del mare sono quelle relative alla Correzione Geologica dei dati gravimetrici (vedi testo). Topografia da IOVINO & PERIELLO (questo volume). Le frecce bianche indicano la direzione del flusso lavico. Per la legenda relativa alle diverse unità geofisiche si veda la figura 8. I numeri in corsivo fanno riferimento alle unità geologiche della Carta Geologica di VEZZOLI (1988)

- Interpretative model of the Monte di Vezzi area along the profile BB'. Location of the interpreted profile is shown in figure 6. A) Reduced to the pole magnetic data; B) Gravity data. Circles show the measured data, while the solid line shows the computed data. C) 2D magnetization and density model. Density  $\rho$  is expressed in  $\text{g}/\text{cm}^3$ , magnetization  $M$  is expressed in  $\text{A}/\text{m}$ . The densities of the units above sea level are those relative to the Geological Correction of the gravity data (see text). Topography from IOVINO & PERIELLO, (this issue). White arrows show the direction of the lava flow. For the legend relative to the geophysical units see figure 8. Italic numbers refer to geological units of the Geological Map from VEZZOLI (1988)

del mare. Il modello interpretativo ottenuto mostra, inoltre, il deposito da flusso lavico di Monte di Vezzi già individuato nel profilo AA'. Tale deposito, il cui spessore è comparabile con quello trovato nella precedente interpretazione, risale lungo il bordo nord-occidentale della struttura collassata e affiora sul lato NO del monte. Infine notiamo la presenza di un basamento magnetico inclinato verso sud-est che sembra posto a profondità compatibili con quella individuata nel 'modeling' del profilo AA'.

## CONCLUSIONI

In questo lavoro abbiamo presentato uno studio dell'assetto strutturale dell'area di Monte di Vezzi, Isola d'Ischia, effettuato attraverso l'interpretazione di campi di potenziale. Lo studio è stato eseguito utilizzando sia dati gravimetrici già pubblicati (NUNZIATA & RAPOLLA, 1987) che nuovi dati aeromagnetici ad alta risoluzione misurati sull'isola nell'Ottobre 2005.

La mappa dei dati aeromagnetici ridotti al polo ha consentito di localizzare la sorgente magnetica posta in corrispondenza del Monte di Vezzi (vedi Fig. 6), mentre il calcolo della derivata orizzontale dei dati ha portato ad una chiara individuazione dei lineamenti magneti-

deposit is here also detected. This deposit rises along the north-western side of the collapsed structure and outcrops in the NW side of the mount. Its thickness is compatible with those found in the modeling of profile AA'. Finally the modeling shows a magnetic basement dipping south-eastward characterized by a depth which seems compatible with the depth found in the modeling of profile AA'.

## CONCLUSIONS

We presented a study of the structural setting of the area of Monte di Vezzi, Ischia Island, performed by the interpretation of potential fields. The study was carried out using a previous gravity data set (NUNZIATA & RAPOLLA, 1987) and a new detailed aeromagnetic data set measured in the island in October 2005.

The computation of the pole reduced map of the aeromagnetic data allowed locating the magnetic source placed in correspondence with Monte di Vezzi (see Fig. 6), while the magnetic boundaries and lineaments of the investigated area were clearly highlighted by the map of the horizontal derivative of the data (see Fig. 7). The study of

ci dell'area (vedi Fig. 7). Lo studio dell'assetto strutturale dell'area è stato poi completato dal 'modeling' 2D simultaneo dei dati gravimetrici e magnetici effettuato lungo due profili, uno orientato O-E, e uno orientato NO-SE (Figs. 8 and 9). I modelli interpretativi ottenuti hanno evidenziato nuovi elementi sulle caratteristiche strutturali dell'area mostrando una struttura da collasso di forma ellisoidale riempita di materiali con densità minore rispetto ai materiali circostanti e posta al di sotto del Monte di Vezzi. Questa struttura ha un'ampiezza di circa 1000 x 500 m e raggiunge la profondità di circa 750 m al di sotto del livello del mare.

L'interpretazione ha inoltre individuato un importante deposito da flusso lavico che risale lungo il limite nord-occidentale della struttura da collasso e che affiora sui lati N e O del monte. Tale deposito è caratterizzato da una magnetizzazione di 2.3 A/m e uno spessore massimo di 120 m. Infine entrambi i profili hanno evidenziato la presenza di un basamento magmatico con magnetizzazione di 1.5 A/m inclinato sia verso sud che verso est e posto ad una profondità maggiore di 1000 m sotto il livello del mare.

I risultati così ottenuti hanno portato alla formulazione di nuove ipotesi sull'evoluzione vulcanologica dell'area di Monte di Vezzi. E' infatti possibile ipotizzare che in corrispondenza dell'attività vulcano-tettonica che portò al collasso di una parte del limite sud-orientale dell'isola lungo faglie NE-SO, si venne a creare una struttura da sprofondamento al di sotto del Monte di Vezzi, seguita da un'intrusione terminale lungo il bordo della struttura stessa che portò alla messa in posto di un duomo lavico. Questo fu poi ricoperto da prodotti piroclastici da caduta. Tale modello evolutivo è ripreso e sviluppato da Di Nocera *et alii*, questo volume.

I principali elementi strutturali delineati dal nostro studio sono riassunti mostrati in figura 10, dove sono inoltre mostrate le strutture individuate da precedenti studi geo-vulcanologici (Orsi *et alii*, 2003).

Come vediamo, i lineamenti magnetici individuati delimitano il duomo di Monte di Vezzi e sono posti in corrispondenza del gruppo di faglie orientate NE-SO che caratterizza il settore sud-orientale dell'isola. La posizione di tali lineamenti sembra corrispondere grosso modo con quella delle faglie note dell'area individuate da precedenti studi vulcanologici (e.g., Vezzoli, 1988; Orsi *et alii*, 2003) e da più recenti indagini (vedi Ascione *et alii* e Di Nocera *et alii*, questo volume).

The structural setting of the area was completed by a 2D joint magnetic and gravity modeling performed along two profiles, a W-E one and a NW-SE one (Figs. 8 and 9). The obtained interpretative models yielded new insights into the geo-volcanological and structural characteristics of the area showing the presence of a ellipsoidal collapsed structure filled with material lighter than the surroundings and placed below Monte di Vezzi. This structure is about 1000 x 500 m wide and reaches a depth of about 750 m b.s.l..

The modeling highlighted also the existence of a meaningful lava flow deposit rising along the north-western border of the collapsed structure and outcropping in the N and W side of the mount. This deposit is characterized by a magnetization of 2.2 A/m and by maximum thickness of 120 m. Finally a magmatic basement dipping both south- and eastward and with a depth greater than 1000 m b.s.l. and a magnetization of 1.5 A/m was also detected. These results led to new hypotheses about the volcanological evolution of the Monte di Vezzi area. We can in fact hypothesize that, due to the volcano-tectonic activity that lead to the sinking of a part of the south-eastern edge of the island along NE-SW faults, a collapsed structure was formed below Monte di Vezzi and a lava intrusion raised along the border of the structure. This caused the emplacement of a lava dome. The lava deposit was then covered by fall pyroclastics. This evolutive model is followed by Di Nocera *et alii*, this issue.

The outcome of our study is summarized in Fig. 10, where the structures located by previous geo-vulcanological studies (Orsi *et alii*, 2003) are also shown.

As we can see, the identified magnetic lineaments bound the dome of Monte di Vezzi and are placed along the NE-SW trend of faults that characterizes the south-eastern sector of the island. The position of these lineaments corresponds roughly with the position of the known faults of the area located by previous volcanological studies (e.g., Vezzoli, 1988; Orsi *et alii*, 2003) and by more recent analyses (see Ascione *et alii* and Di Nocera *et alii*, this issue).

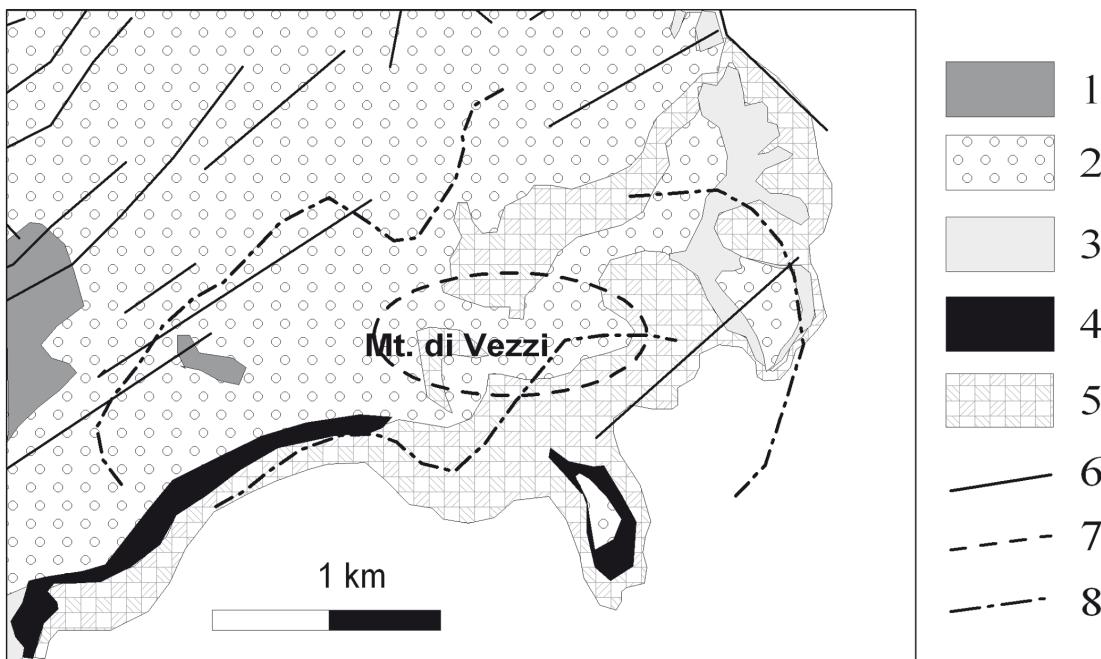


Fig. 10 - Lineamenti magnetici individuati in questo studio (linee tratteggiate) confrontati con i lineamenti riconosciuti da studi geo-vulcanologici (da ORSI *et alii*, 2003) (linee continue). L'ellisse tratteggiata mostra la posizione dei bordi superiori della struttura da collasso posta al di sotto di Monte di Vezzi ipotizzata dal nostro modello interpretativo. 1 = Colate di fango, 2 = Depositi più giovani di 10.000 anni, 3 = Depositi datati tra 28.000 e 18.000 anni, 4 = Tufo Verde dell'Epomeo (55.000 anni), 5 = Depositi più antichi di 55.000 anni, 6 = Faglie, 7 = struttura da collasso, 8 = lineamenti magnetici  
- Magnetic lineaments identified in this study (dash-dot lines) compared with the lineaments located by geo-vulcanological studies (from ORSI *et alii*, 2003) (solid lines). The dashed ellipse shows the upper borders of the collapsed structure below Monte di Vezzi hypothesized by our modeling. 1 = Mud-flows deposits, 2 = Deposits younger than 10.000 years, 3 = Deposits dated between 28.000 and 18.000 years, 4 = Epomeo Green Tuff (dated 55.000 years), 5 = Deposits older than 55.000 years, 6 = Faults, 7 = collapsed structure, 8 = magnetic lineaments

## OPERE CITATE / REFERENCES

- CAPALDI G., CIVETTA L. & GILLOT P. (1985) - *Geochronology of Plio-Pleistocene Rocks from Southern Italy*. Rendiconti Società Mineralogica Petrologica, **1**: 25-44.
- CARRARA E., IACOBUCCI F., PINNA E. & RAPOLLA A. (1974) - *Interpretation of gravity and magnetic anomalies near Naples, Italy, using computer techniques*. Bulletin Volcanologique, **XXXVIII-2**: 1-10.
- CHIESA S. & VEZZOLI L. (1983) - *Guida dell'escursione all'Isola d'Ischia*. Riunione Gruppo Vulcanico CNR (Comitato 05), MPI (Comitato 04).
- CORDELL L. & GRAUCH V.J.S. (1985) - *Mapping basement magnetization zones from aeromagnetic data in the San Juan basin, New Mexico*. In: HINZE W.J. (ed.) - The utility of regional gravity and magnetic anomaly maps, Society of Exploration Geophysics, pp. 181-197.
- GILLOT P.Y., CHIESA S., PASQUALE G. & VEZZOLI L. (1982) - < 33,000 yr K-Ar dating of the volcano-tectonic horst of the isle of Ischia, Naples. Nature, **299**: 242-244.
- IOVINO M. & PERRIELLO ZAMPELLI S. (2007) - *The April 30<sup>th</sup>, 2006, M. Vezzi landslides (Ischia Island, Italy) in the context of the sliding susceptibility of volcanic soils in Campania*. Italian Journal of Engineering Geology and Environment, questo volume.
- MAINO A. & TRIBALTO G. (1971) - *Rilevamento gravimetrico di dettaglio dell'Isola d'Ischia (Napoli)*. Boll. Serv. Geol. Ital., **92**: 109-123.
- NUNZIATA C. & RAPOLLA A. (1987) - *A gravity and magnetic study of the volcanic island of Ischia, Naples (Italy)*. Journal of Volcanology and Geothermal Research, **31**: 333-344.
- ORSI G., GALLO G. & ZANICHI A. (1991) - *Simple shearing block resurgence in caldera depressions. A model from Pantelleria and Ischia*. Journal of Volcanology and Geothermal Research, **47**: 1-11.
- ORSI G., DE VITA S., DI VITO M., ISAIA R., NAVI R. & HEIKEN G. (2003) - *Facing volcanic and related hazards in the Neapolitan area*. In: HEIKEN G., FAKUNDINY R. & SUTTER J. (eds.) - Earth Sciences in Cities, American Geophysical Union (Special Publication), Washington, pp. 121-170.
- PAOLETTI V., SECOMANDI M., FLORIO G., FEDI M. & RAPOLLA A. (2005) - *The integration of remote sensing magnetic data in the Neapolitan volcanic district*, Geosphere, **1**: 85-96.
- rittmann A. (1948) - *Origine e differenziazione del magma Ischitano*. Bulletin Suisse Mineralogy and Petrology, **28**: 643-698.
- VEZZOLI L. (1988) - *Island of Ischia*, Consiglio Nazionale delle Ricerche (CNR), Quaderni de 'La Ricerca Scientifica', **114**. Progetto Finalizzato Geodinamica, CNR, Rome, Italy, 134 pp.

Received October 2006 - Accepted February 2007