

**PRIME MISURE MAGNETOTELLURICHE EFFETTUATE  
IN ZONE DI INTERESSE DEL CROP 03**

**RIASSUNTO**

Nell'aprile del 1991 è stata eseguita in Umbria una prima serie di misure magnetotelluriche in aree di interesse del profilo CROP 03. Sono state utilizzate 2 differenti strumentazioni: l'una acquisita presso l'IIRG del CNR di Pisa e l'altra presso il Dipartimento di Geofisica e Vulcanologia dell'Università di Napoli.

In questa nota vengono illustrate le peculiarità della magnetotellurica nell'ambito del progetto CROP sia in relazione all'individuazione del basamento cristallino che a quella di eventuali serbatoi energetici. Infine vengono presentati i primi dati relativi all'elaborazione di quattro sondaggi effettuati nell'area di Umbertide (PG).

**ABSTRACT**

In April of 1991 a first series of MT soundings took place in Umbria region, in areas covered by the CROP 03 profile. Two different MT systems were used, one belonging to CNR and used by the International Institute for Geothermal Researches of Pisa; the other one owned by the Geophysics and Volcanology Department of the University of Naples.

This paper considers some features of the MT method used in the CROP project relative to the detection of both the crystalline basement and of any reservoirs or deposits present. The preliminary results of the four soundings in the Umbertide area (PG) are also presented.

**PAROLE CHIAVE:** Magnetotellurica, Basamento.

**KEY WORDS:** Magnetotelluric soundings, Basement.

**INTRODUZIONE**

Come è noto, il metodo magnetotellurico (MT) consiste nella determinazione della distribuzione della resistività elettrica nel sottosuolo mediante la misura in superficie del campo elettromagnetico naturale. Le variazioni temporali dei campi elettrico e magnetico ( $E_x$ ,  $E_y$ ,  $H_x$ ,  $H_y$ ,  $H_z$ ) in ciascun sito vengono registrate simultaneamente su un ampio intervallo di frequenze.

\* Istituto Internazionale di Ricerche Geotermiche, CNR, Pisa.

\*\* Dipartimento di Geofisica e Vulcanologia, Università di Napoli "Federico II", Napoli.

\*\*\* Istituto Geomare Sud, CNR, Napoli.

Quest'ultimo condiziona la profondità di investigazione del sondaggio: essa, infatti, aumenta al diminuire delle frequenze in gioco, ma è invece direttamente proporzionale alla resistività delle rocce interessate. Le componenti del campo elettrico naturale (E) e quelle del campo magnetico (H) sono in relazione lineare nel modo seguente:

$$E(w) = Z(w) \times H(w) \quad (1)$$

dove Z, la funzione di trasferimento, è il tensore impedenza ed è una matrice 2x2 che contiene tutte le informazioni sulla distribuzione di resistività del sottosuolo. L'impedenza calcolata mediante la (1) si riferisce al sistema di coordinate nel quale la misura viene effettuata; in generale essa dipende fortemente dalla geometria locale delle strutture. Quando questa è unidimensionale (1-D), tutte le direzioni sono equivalenti e in ogni sistema di coordinate otteniamo la stessa stima. Quando il terreno è bidimensionale (2-D), esiste un solo sistema di coordinate principale e cioè quello nel quale uno degli assi è parallelo alla direzione principale (*strike*) e l'altro è perpendicolare. Uno dei momenti chiave dell'interpretazione dei dati è perciò quello di individuare la direzione di *strike*. Nel sistema di riferimento così determinato si stimano le componenti della diagonale principale del tensore impedenza ( $Z_{xy}$  e  $Z_{yx}$ ) e i valori di resistività apparente ad esse connesse. In tabella 1 sono riassunte in maniera schematica le principali grandezze fisiche stimate mediante un sondaggio MT.

**ACQUISIZIONE DATI**

In Fig. 1 sono riportati in un diagramma a blocchi gli elementi essenziali richiesti per una stazione di rilevamento MT. La campagna magnetotellurica in oggetto è stata effettuata con due differenti sistemi di acquisizione dati. Il primo è un sistema completo di acquisizione dati della Phoenix gestito dall'IIRG del CNR di Pisa, mentre il secondo è composto di sensori elettrici e magnetici, nonché di relativi sistemi di amplificazione, della EMI e di un apparato di registrazione realizzato con un computer 386 corredato di scheda A/D a 16 bit, realizzato presso il Dipartimento di Geofisica e Vulcanologia dell'Università di Napoli. L'intervallo di frequenze utilizzabile dalle due strumentazioni ( $10^{-3}$  Hz -  $5 \times 10^2$  Hz) ben si adatta alla definizione della distribuzione della resistività elettrica caratterizzante le strutture profonde della crosta. In questa fase

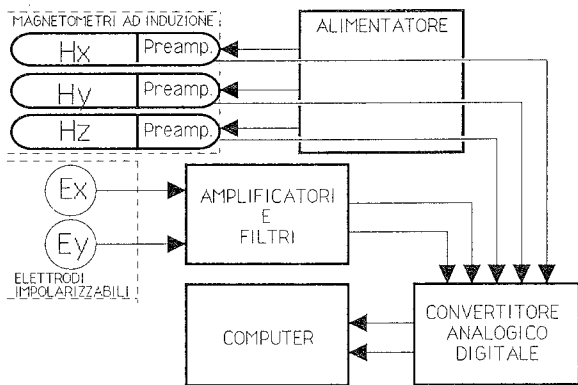


Fig. 1 - Schema a blocchi della strumentazione MT.

di partenza della ricerca è sembrato opportuno procedere ad una reciproca taratura delle due strumentazioni MT, per cui ciascun sondaggio è stato eseguito con entrambe.

#### FINALITA' DELLA MAGNETOTELLURICA NELL'AMBITO DEL CROP

Cercheremo ora di evidenziare le specifiche competenze e possibilità di questa metodologia, con particolare riferimento all'individuazione del basamento cristallino e a quella di eventuali serbatoi energetici nel ricoprimento sedimentario, siano essi petroliferi o geotermici. Per quanto riguarda il primo punto, è stato già ricordato precedentemente che, almeno in via preliminare, il range di frequenze studiato in questa campagna consente lo studio delle strutture caratterizzanti l'intero spessore crostale: l'individuazione di un orizzonte ad alta resistività è l'indicazione magnetotellurica che può metterci in condizione di definire la profondità del basamento. Per quanto attiene invece il secondo punto, sono ben noti i risultati ottenuti da questa prospezione geofisica; qui pare opportuno ricordare nuovi aspetti applicativi che sono stati messi a punto e che possono rivelarsi decisivi sia in ambienti di interesse petrolifero che geotermico. Ci si riferisce alla possibilità di evidenziare la presenza di effetti di polarizzazione indotta. A questo proposito mostriamo ora un esempio relativo ai Campi Flegrei (NA), in cui il confronto fra un sondaggio geoelettrico e uno magnetotellurico ha permesso di mettere in evidenza la presenza di fenomeni di polarizzazione indotta imputabili alla presenza di fluidi caldi nel sottosuolo (PATELLA *et al.*, 1991). La presenza del fenomeno della dispersione in una roccia fa sì che la resistività al suo interno vari al variare della frequenza delle onde che l'attraversano. Ciò si ripercuote sulle curve magnetotelluriche il cui andamento è proprio in funzione della frequenza, ma non influenza le curve geoelettriche, che si ottengono con correnti continue. L'eventuale confronto fra sondaggi DC e MT nello stesso sito consente

quindi di evidenziare il fenomeno stesso. L'esempio considerato si riferisce ad un sondaggio geoelettrico dipolare (FEDI *et al.*, 1987) vicino al lago d'Averno (localizzato a circa 2 km a Nord dell'area di perforazione di Mofete dove sono state rilevate temperature superiori ai 300°C a circa 1300 m di profondità), cui corrisponde una stazione MT (HUNSCHE *et al.*, 1981). Va precisato preliminarmente che l'analisi dei parametri dimensionali indicata dagli autori è tale da consentire con buona approssimazione un'interpretazione unidimensionale. In Fig. 2 sono riportati dei diagrammi di resistività e fase apparente (ampiezze in Ohm-metro in Fig. 2a e fasi in gradi in Fig. 2b) in funzione della radice quadrata del periodo (in secondi). Le croci e i cerchi si riferiscono ai valori sperimentali dei dati MT (da MUSMANN & HUNSCHE, 1977). Le linee continue sono le curve sintetiche di ampiezza e fase non dispersive dedotte da un'interpretazione estesa dei dati ge-

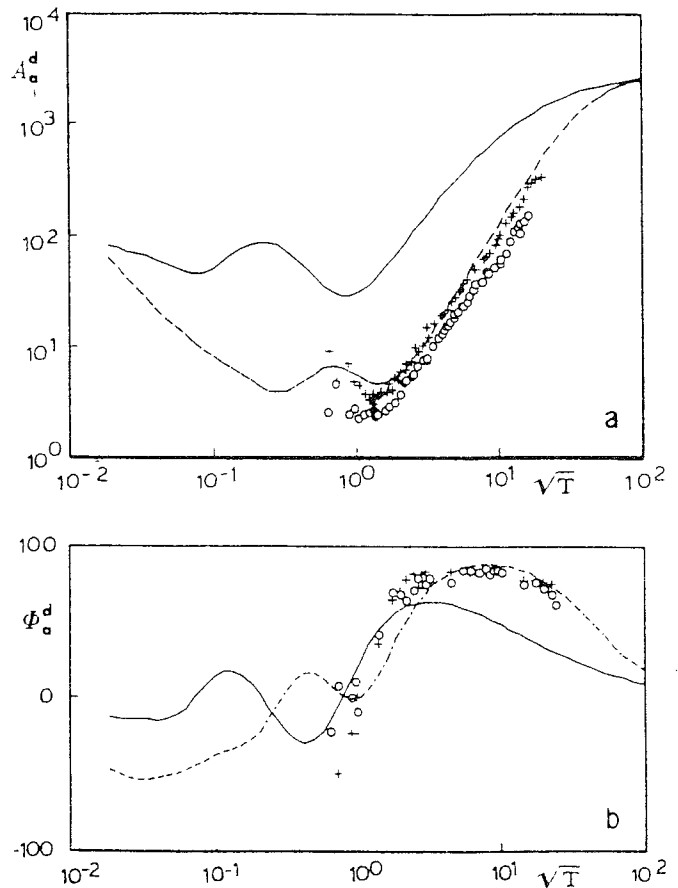


Fig. 2 - Diagrammi MT relativi al sondaggio MT-10 nell'area vulcanica dei Campi Flegrei (le ampiezze in Fig. 2a sono in Ohm.m e le fasi in Fig. 2b sono in gradi) in funzione della radice quadrata del periodo (in secondi). Le croci e i cerchi si riferiscono ai dati di campagna originali nelle due direzioni ortogonali (da MUSMANN & HUNSCHE, 1977). Le linee continue nelle Figg. 2a e 2b sono le curve sintetiche di ampiezza e fase non dispersive dedotte da un'interpretazione estesa dei dati geoelettrici. Le linee tratteggiate sono i diagrammi di ampiezza e fase dispersive che interpretano i dati osservati. (Cfr. PATELLA *et al.*, 1991).

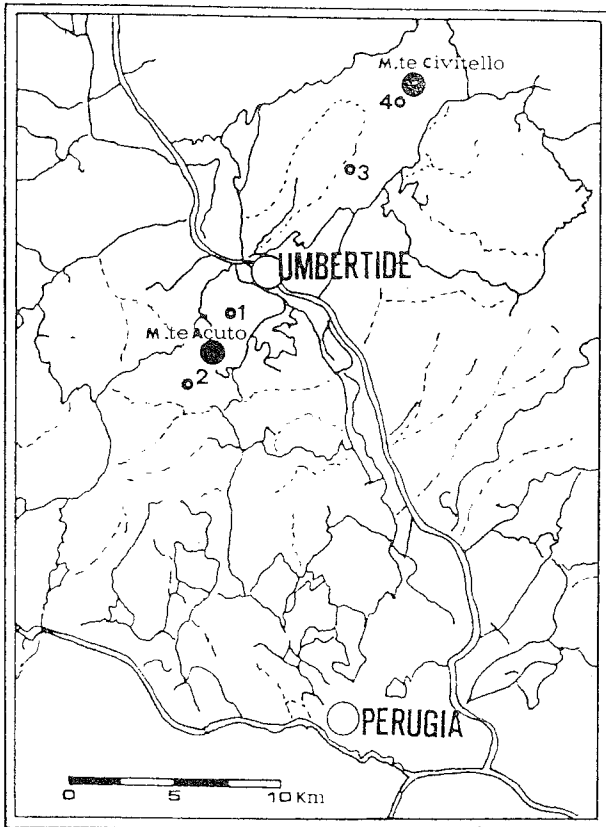


Fig. 3 - Ubicazione dei sondaggi MT effettuati nella zona di Umbertide. I siti sono contrassegnati da un cerchio vuoto con il relativo numero d'ordine.

Indicatore della dimensionalità	
$\text{skew} = \frac{ Z_{xx} + Z_{yy} }{ Z_{xy} - Z_{yx} }$	
Direzione di strike	
$\theta_0 = \tan^{-1} \frac{(Z_{xx} - Z_{yy})(Z_{xy} + Z_{yx}) + (Z_{xx} - Z_{yy})(Z_{xy} + Z_{yx})}{ Z_{xx} - Z_{yy} ^2 -  Z_{xy} + Z_{yx} ^2}$	
Resistività e fase apparente	
$\rho_{axy} = 0.2 T  Z_{xy} ^2$	$\phi_{axy} = \frac{\text{Imag}(Z_{xy})}{\text{Real}(Z_{xy})}$
$\rho_{ayx} = 0.2 T  Z_{yx} ^2$	$\phi_{ayx} = \frac{\text{Imag}(Z_{yx})}{\text{Real}(Z_{yx})}$

Tabella 1 - Quadro riassuntivo dei principali parametri geofisico-strutturali deducibili da un sondaggio MT, mediante il tensore impedenza.

oelettrici. Le linee tratteggiate si riferiscono invece all'interpretazione dispersiva dei dati osservati.

L'interpretazione è stata realizzata assegnando un

semplice modello di dispersione Cole-Cole al secondo strato, che potrebbe essere associato alla presenza di montmorillonite polarizzabile, e alla prima parte del quarto strato conduttore, dove abbondano zolfo, in particolare pirite.

Questo quadro evidenzia il contributo che l'indagine magnetotellurica può portare alle problematiche del CROP.

#### PRESENTAZIONE DEI DATI

In Fig. 3 è riportata l'ubicazione dei 4 sondaggi

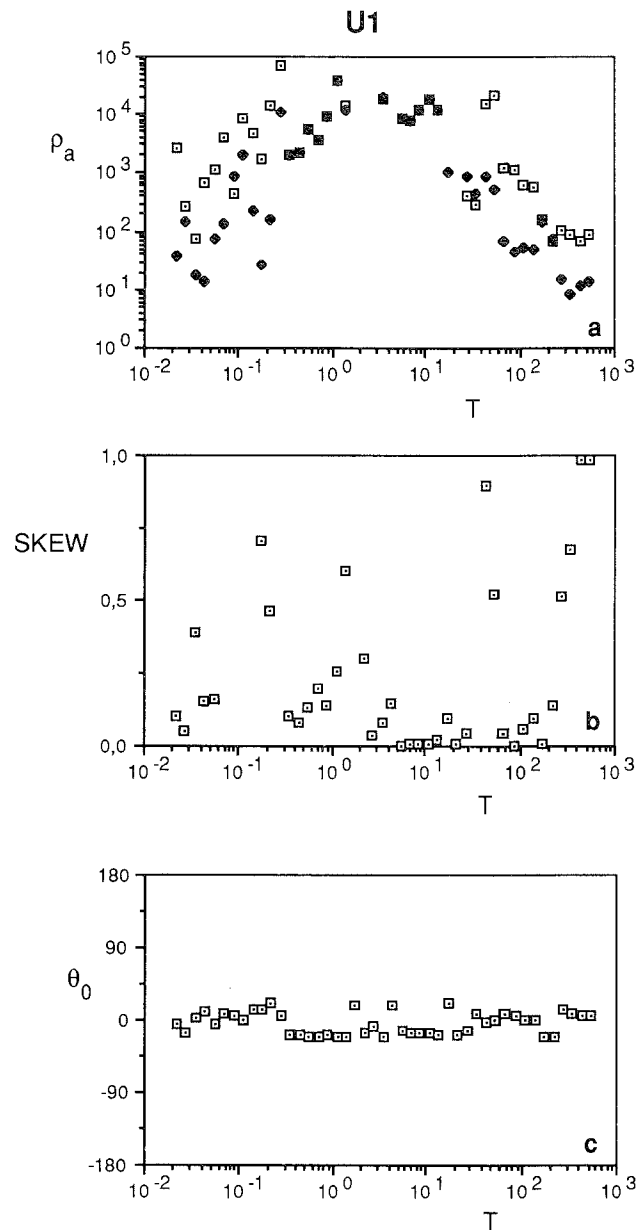


Fig. 4 - Diagrammi di: a) resistività apparente (in Ohm.m); b) skew (indice adimensionale); c) direzione di strike (in gradi). Sono tutti in funzione del periodo (in secondi). Si riferiscono al sondaggio 1 di figura 3. In Fig. 4a i quadrati si riferiscono a xy e i rombi a yx.

effettuati. Per ognuno di essi le serie temporali registrate sono state poi trasferite nel dominio della frequenza, dove mediante il classico trattamento dei minimi quadrati (SIMS *et al.*, 1971) si giunge alla determinazione dei parametri indicati in tabella 1.

In Fig. 4 sono riportati i seguenti diagrammi sperimentali relativi al sondaggio U1 (vedi per l'ubicazione la Fig. 3): a) la resistività apparente in funzione del periodo; b) lo *skew* in funzione del periodo; c) la direzione di *strike* in funzione del periodo. In questa fase non è stato ancora ultimato il trattamento dei dati mediante l'eliminazione delle sezioni di registrazione maggiormente inquinate dal rumore. E' per questo motivo che riportiamo i primi risultati di un solo sondaggio, in quanto le considerazioni che è possibile fare a questo stadio sono analoghe anche per gli altri sondaggi. Tali considerazioni, importanti ai fini del progetto CROP, sono per ora di tipo qualitativo. Innanzitutto un dato che emerge dal diagramma in Fig. 4c è l'individuazione di un angolo di *strike* di circa 25° nell'intervallo del periodo  $2 \times 10^{-1}$  s - 30 s. Data la stabilità di questo dato, e per le profondità associate al suddetto intervallo del periodo, si può, a buon diritto, supporre che vi sia un preciso asse strutturale con direzione N-NE S-SW. Questo comportamento è sostanzialmente riscontrabile in tutti i 4 sondaggi. Un'altra considerazione possibile dall'analisi del diagramma di resistività apparente è che l'intervallo di frequenze analizzato consente di rilevare un orizzonte altamente resistivo (probabilmente una successione di strati a resistività crescente) (vedi Fig. 4a), che può essere associato al basamento cristallino, per il quale sembra, in linea di principio, possibile definire anche lo spessore dal momento che per i periodi più lunghi ( $10^2$  s -  $10^3$  s) si nota chiaramente la discesa verso un buon conduttore.

Nel prosieguo della ricerca, una volta ottenute le curve finali per ogni parametro con la stima dei relativi

errori, sarà possibile effettuare un'interpretazione quantitativa dei sondaggi, che comunque necessita dell'integrazione di nuovi dati. In quest'area del CROP, perciò, abbiamo intenzione di effettuare un profilo a Nord di quello già realizzato in modo da poter meglio caratterizzare eventuali variazioni laterali della resistività.

#### BIBLIOGRAFIA

FEDI M., FIUME M.G., LAPENNA V.A., MONACO F., PATELLA D., RAPOLLA A., ROBERTI N., SATRIANO C. & SINISCALCHI A. (1987) - *Indagini geofisico-strutturali ed applicate per la modellizzazione della struttura flegrea. Parte III: Primi risultati dell'interpretazione quantitativa*. Atti del III Convegno "Bradisismo e fenomeni connessi", Napoli.

HUNSCHE U., RAPOLLA A., MUSMANN G. & ALFANO L. (1981) - *Application of magnetotelluric and DC electrical resistivity methods in the Neapolitan geothermal area*. J. Geophys., **49**, 26-34.

MUSMANN G. & HUNSCHE U. (1977) - *Geophysical measurements for geothermal prospecting in the area of the Phlegraean Fields, Italy. Magnetotelluric and geoelectric deep soundings. Preliminary results*. Inst. für Geophysik und Meteorologie, T.U. Braunschweig.

PATELLA D., TRAMACERE A., DI MAIO R. & SINISCALCHI A. (1991) - *Experimental evidence of resistivity frequency-dispersion in magnetotellurics in the Newberry (Oregon), Snake River Plain (Idaho) and Campi Flegrei (Italy) Volcano-geothermal areas*. Journal of Volcanology and Geothermal Research, **48**, 1/2.

SIMS W.E., BOSTICK F.X. Jr. & SMITH H.W. (1971) - *The estimation of magnetotelluric impedance tensor elements from measured data*. Geophysics, **36**, 938-942.