

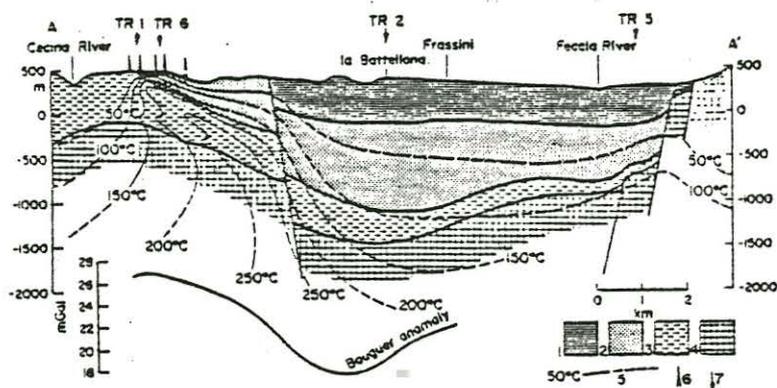
J. OTTEN, G. MUSMANN

"Aktive Audiomagnetotellurik bei Travale"

1. Einleitung

Im Herbst 1981 wurden über der geothermischen Anomalie von Travale in der Toscana Messungen nach der Methode der "Aktiven Audiomagnetotellurik" durchgeführt.

Die geothermische Anomalie ist seit Jahren bekannt; sie besteht aus einer von NW nach SE gerichteten Grabenstruktur. An den Rändern des Grabens steigt das Karbonatgestein auf, während der Graben mit Flysch und darauf liegendem Ton, Sand, Gips und Konglomerat aus der Zeit nach der Gebirgsbildung gefüllt ist (Abb. 1). Die heißen Wasser und Dämpfe werden am Westrand des Grabens erbohrt.

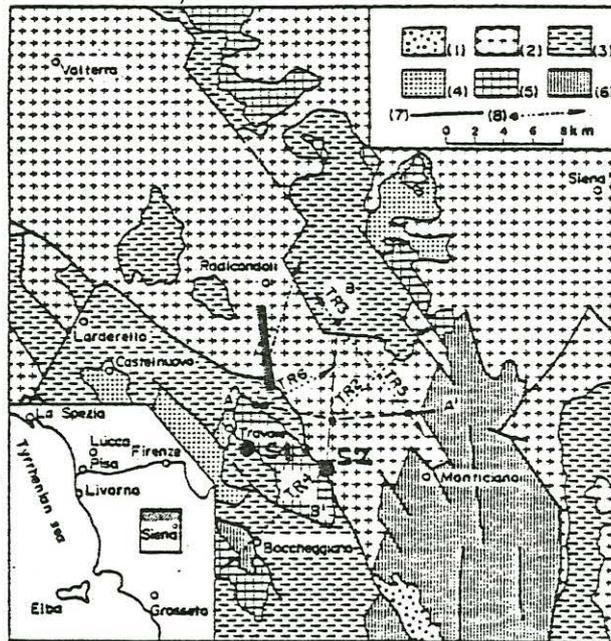


Schematic geological cross-section showing the isogeothermal trend obtained from geothermal well data or extrapolated from surface gradient values. The position and depth of the stratigraphic units in correspondence to the dipolar soundings were obtained from the interpretation of the resistivity diagrams or directly from the well stratigraphy. 1—Post-orogenic complex: clay, conglomerate, sand, gypsum; 2—Flysch-facies complex: shale, marl, sandstone, limestone; 3—Carbonate complex: mainly dolomite, anhydrite and limestone; 4—Metamorphic complex: phyllite, quartzite, quartzose conglomerate with intercalations of saccharoidal limestone and anhydrite; 5—Isogeothermal contour; 6—Wells; 7—Dipolar soundings.

Abb. 1: Geologischer Schnitt durch den Graben bei Travale.

(Aus [Patella, 1979])

Die vorliegenden Messungen wurden an 24 Punkten längs eines ungefähr nord-südlich verlaufenden Profils durchgeführt. Das Profil schneidet den westlichen Grabenrand (Abb. 2). Die Einspeisung des Meßsignals erfolgte an zwei Orten außerhalb des Grabenbereichs.



Geological and structural sketch map of Travale - Radicondoli geothermal area. 1—Roccastrada rhyolites; 2—Post-orogenic complex: clay, conglomerate, sand, gypsum; 3—Flysch-facies complex: shale, marl, sandstone, limestone; 4—“Macigno-Scaglia” complex: quartzose sandstone and varicoloured shale; 5—Carbonate complex: dolomite, anhydrite, limestone, radiolarite, cherty limestone; 6—Metamorphic complex: phyllite, quartzite, quartzose conglomerate; 7—Main fault; 8—Dipolar sounding and trace of dipolar array; AA' and BB': traces of cross-sections.

Abb. 2: Meßgebiet. Die dicke Linie gibt das Meßprofil an.  
S1, S2: Einspeisungspunkte. (Aus [Patella, 1979])

## 2. Methode

Bei der Aktiven Audiomagnetotellurik (AAMT) werden die elektromagnetischen Felder, die zur Untersuchung des Untergrundes dienen, durch künstliche Anregung erzeugt. In der Toscana wurden dazu in zwei ungefähr orthogonale elektrische Dipole Wechselströme bis zu 10A mit einer Frequenz zwischen 0,1 und 2500 Hz eingespeist. Die Dipollänge betrug ca. 300m. Ungefähr 4-8 km entfernt wurde das elektromagnetische Wechselfeld gemessen, und zwar mit einem dreiachsigen Induktionsspulenmagnetometer sowie zwei orthogonalen elektrischen Dipolen (Abb. 3).

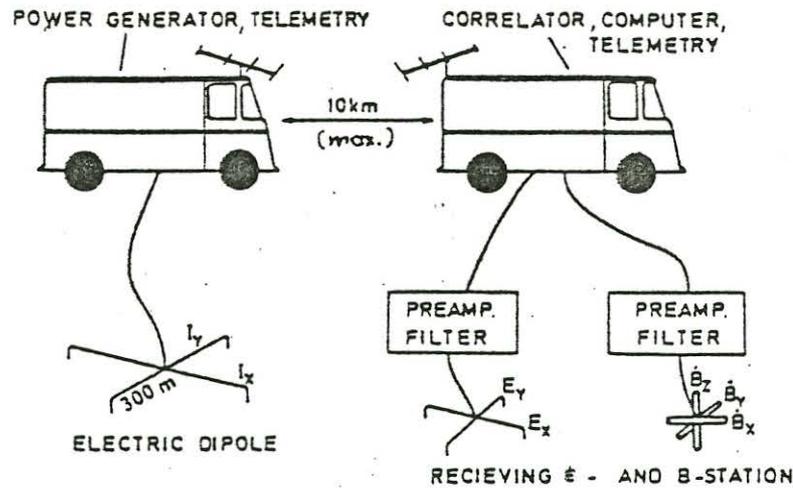


Abb. 3: Anlage zur Aktiven Audiomagnetotellurik. Links Sender mit elektrischen Dipolen zur Einspeisung der Wechselströme, rechts Empfangsanlage.

Aus den gemessenen Feldern wurde der scheinbare spezifische Widerstand berechnet nach

$$\rho_{xy} = \frac{\mu_0}{2\pi} \cdot T \cdot \left| \frac{E_x}{B_y} \right|^2 \quad (1)$$

$$\rho_{yx} = \frac{\mu_0}{2\pi} \cdot T \cdot \left| \frac{E_y}{B_x} \right|^2 \quad (2)$$

Die Gleichungen (1) und (2) sind die in der Magnetotellurik üblichen Formeln für den scheinbaren Widerstand, die jedoch zur Voraussetzung haben, daß der Abstand zwischen der anregenden Quelle und dem Meßort hinreichend groß ist. Dies ist bei der Aktiven Audiomagnetotellurik nur bei kurzen Perioden der Fall, bei langen Perioden wird diese Voraussetzung verletzt.

Definiert man z.B. nach Riordan u. Sunde [1933] als Skintiefe die Tiefe, bei der das elektromagnetische Feld - verglichen mit dem an der Erdoberfläche - auf den 1/e-ten Teil abgefallen ist, so erhält man:

$$d = \sqrt{\frac{2}{\omega \cdot \mu_0 \sigma}} \quad (3)$$

mit  $\omega = 2\pi f = 2\pi \cdot \text{Me\ssfrequenz}$

$\mu_0 = \text{Permeabilit\atskonstante}$

$\sigma = \frac{1}{\rho} = \text{Leitf\ahigkeit des Untergrundes}$

Benutzt man diese Skintiefe als "Entfernungsmesser" zwischen Sender und Empf\anger, so ist ein gegebener geometrischer Abstand bei langen Perioden - gemessen in Skintiefen - klein und bei kurzen Perioden gro\ss.

Daraus ergibt sich, da\ss Modellkurven, berechnet nach den Gleichungen (1) und (2), f\ur kurze Perioden identisch mit den Kurven sind, wie sie von Cagniard [1958] berechnet wurden; bei langen Perioden gibt es jedoch starke Abweichungen davon: Alle Modellkurven gehen in einen  $45^\circ$ -Anstieg \u00fber. Der \u00fcbergangsbereich, in dem dieses Verhalten einsetzt, liegt in einem Periodenbereich, bei dem die Entfernung zwischen Sender und Empf\anger 3-5 Skintiefen betr\agt, wobei bei Mehrschichtmodellen die gr\o\sste der einzelnen Skintiefen gew\ahlt wird. Ein Beispiel f\ur einen Zweischichtfall zeigt die Abb. 4.

### 3. Ergebnisse

Abb. 5 zeigt eine typische Modellkurve aus der Toscana. Fast alle dort gemessenen Kurven zeigen \u00e4hnliches Verhalten. Der Anfangswiderstand (Deckschicht) ist typisch  $10 \Omega\text{m}$ , dann folgt eine recht nieder-ohmige Schicht von ca.  $1 \Omega\text{m}$ . Der weitere Verlauf der Kurven ist schwierig zu interpretieren, da der  $45^\circ$ -Anstieg sowohl durch einen hoch-ohmigen Halbraum als auch durch einen geringen Sender-Empf\anger-Abstand erzeugt werden kann. Die notwendigen Mehrschicht-Modellrechnungen werden zur Zeit durchgef\uhrt, um den Anstieg mit Hilfe des bekannten Sender-Empf\anger-Abstandes eindeutig zu erkl\aren.

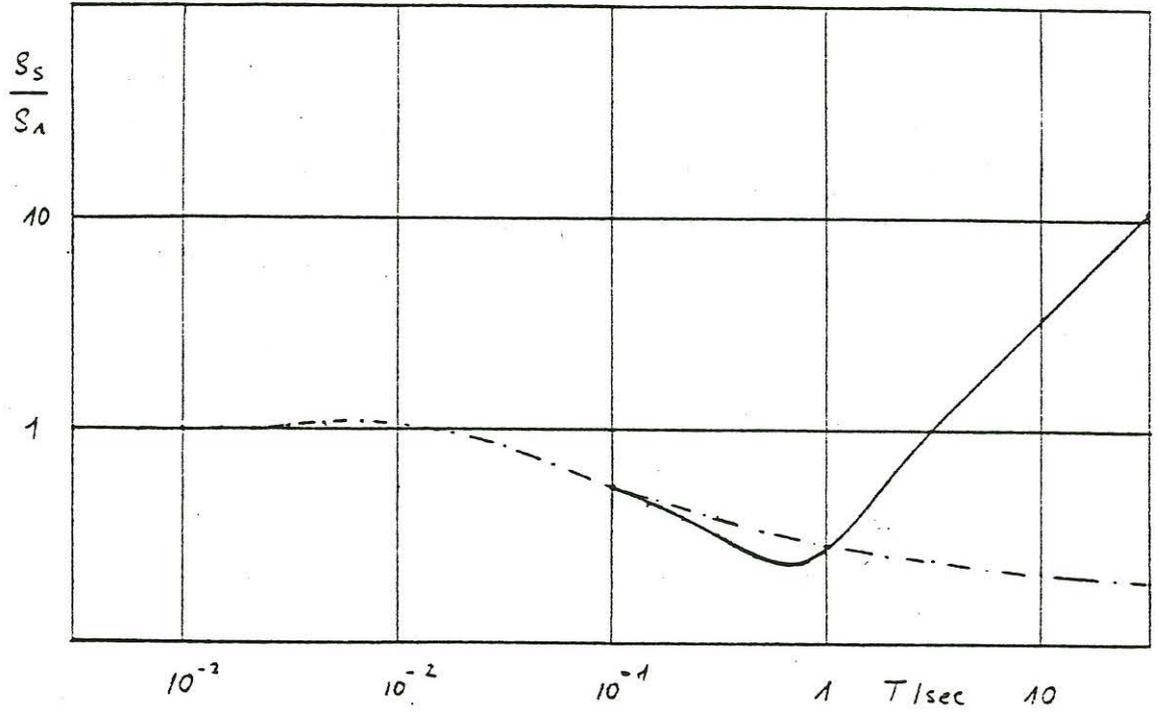


Abb. 4: Modellkurve für einen 2-Schichtfall. Ordinate: Scheinbarer spezifischer Widerstand normiert auf die Deckschicht. Abszisse: Periodendauer. Weitere Parameter:  $\rho_1 = 11 \Omega\text{m}$ ;  $\rho_2/\rho_1 = 0,1$ ; Entfernung Sender-Empfänger/Schichtdicke = 10. Schichtdicke = 177 m.

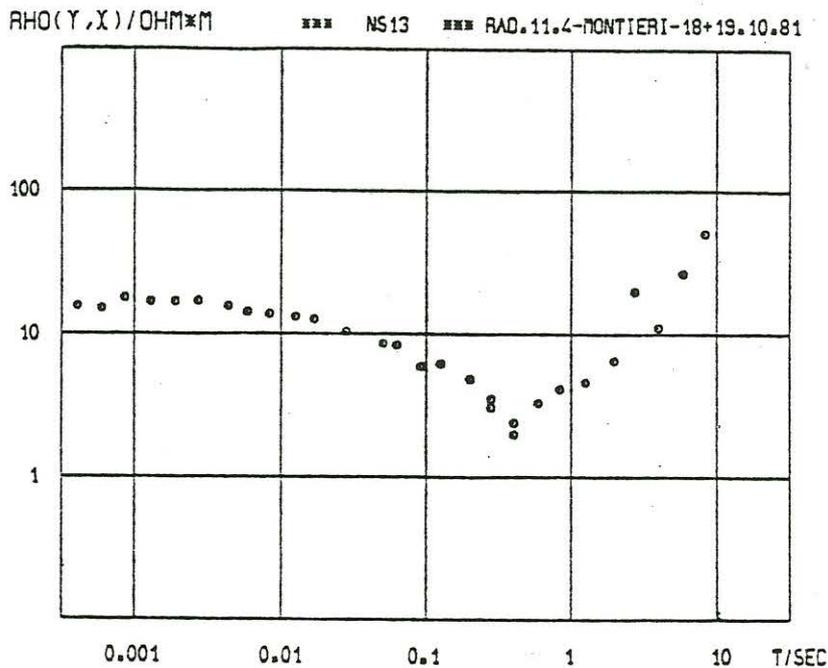


Abb. 5: Typische  $\rho_s$ -Kurven aus der Gegend von Travale.

Literatur:

Cagniard, L.: Basic Theory of the Magnetotelluric Method of Geophysical Prospecting. Geophysics, 18, 605-635, 1953.

Goldstein, M.A., D.W. Strangway: Audio-Frequency Magnetotellurics with a Grounded Electric Dipole Source. Geophysics, 40, 669-683, 1975.

Patella, D., A. Rossi: First Results of the Application of the Dipole Electrical Sounding Method in the Geothermal Area of Travale-Radicondoli (Toscany). Geothermics, 8, 111-134, 1979.