

A T T I
DELLA
SOCIETÀ TOSCANA
DI
SCIENZE NATURALI
RESIDENTE IN PISA

MEMORIE - SERIE A

VOL. LXXXVI - ANNO 1979

I N D I C E

<p>NARDI R., PUCCINELLI A., PATELLA D. - Applicazione del metodo del sondaggio dipolare profondo lungo una sezione dalle Alpi Apuane all'Appennino pistoiese <i>The deep dipolar electric sounding method application along a section from the Alpi Apuane to the Apennines, north Pistoia</i></p>	Pag. 1
<p>BAGNOLI G. - Segnalazione di Conodonti Devoniani nel Paleozoico della Maremma senese (Nota preliminare) <i>First discovery of Devonian Conodonts in the Paleozoic Basement of the Siena Region (Tuscany) (Preliminary report)</i></p>	» 23
<p>TORRE D. - Orientamenti attuali della tassonomia <i>Recent views on the Taxonomy</i></p>	» 27
<p>DE MUNNO A., BERTINI V. - Action of N-bromosuccinimide on 3-methyl-1,2,5-thiadiazole <i>Azione della N-bromosuccinimide sul 3-metil-1,2,5-tiadiazolo</i></p>	» 43
<p>MENESINI E. - Echinidi fossili dell'Arcipelago maltese. I. <i>Maltese Fossil Echinoids. I.</i></p>	» 51
<p>RAPETTI F., VITTORINI S. - Il deflusso liquido e torbido del T. Roglio (Bacino dell'Arno), relativi al 1977, in relazione ai processi di erosione nelle argille plioceniche <i>Liquid and solid transport in the T. Roglio (Arno Basin) of the year 1977, related to the processes of erosion into pliocenic clays</i></p>	» 65
<p>SALA B. - La faune pré-würmienne des grands Mammifères de la Grotte du Poggio (Marina de Camerota, Salerne) <i>Le faune prewürmiane a grandi Mammiferi della Grotta del Poggio (Marina di Camerota, Salerno)</i></p>	» 77
<p>MORELLI I., CATALANO S., SCARTONI V., PACCHIANI M., MARSILI A. - Boron trifluoride-catalysed rearrangements of some tetrasubstituted neotriterpene epoxides. V - Fragmentation of 21,22-epoxy-A'-neogammaceranes <i>Trasposizioni catalizzate da trifluoruro di boro di alcuni epossidi neotriterpenoidici tetrasostituiti. Nota V. Frammentazione dei 21,22-epossi-A'-neogammacerani</i></p>	» 101
<p>CARMIGNANI L., GIGLIA G. - Large scale reverse « drag folds » in the late alpine building of the Apuane Alps (N. Apennines) <i>Pieghe di trascinamento a grande scala e a simmetria inversa nell'edificio alpino tardivo delle Alpi Apuane (Appennino Settentrionale)</i></p>	» 109
<p>DALLEGNO A., GIANELLI G., LATTANZI P., TANELLI G. - Pyrite deposits of the Gavorrano area, Grosseto <i>I depositi di pirite della zona di Gavorrano (Grosseto)</i></p>	» 127
<p>GRAZZINI M. - Identification et analyse de petits globes dans certaines brèches ophiolithiques <i>Identificazione e analisi di globuli in breccie ofiolitiche</i></p>	» 167

- FRAVEGA P., VANNUCCI G. - Facies di retroscogliera nei calcari giurassico-cretacei di Punta Garavano (Balzi Rossi - Ventimiglia)
Back-reef facies in Punta Garavano limestones (Balzi Rossi - Ventimiglia) » 177
- GIUSTIZIA F. - Il deposito musteriano nel riparo i Grottoni presso Calascio (L'Aquila). Nota preliminare
The mousterian deposit of « I Grottoni » rock shelter near Calascio (L'Aquila, Italy). Preliminary report » 189
- RADMILLI A. M., MALLEGNI F., LONGO E., MARIANI R. - Reperto umano con industria acheuleana rinvenuto presso Roma
Human femoral fragment with acheulean industry discovered near Rome » 203
- SAITTA M. - Automatizzazione della elaborazione dei dati relativi ad un sistema di analisi di routine in campioni di rocce
Automatic processing of data produced in a system of routine analyses of rock samples » 215
- LEONI L., ORLANDI P. - La thaumasite della miniera del Temperino (Campiglia M.ma)
Thaumasite from Temperino mine (Campiglia M.ma) » 241
- ORLANDI P., CHECCHI F. - L'ulmannite del M.te Corchia (Alpi Apuane).
Ulmannite from Apuan Alps » 245
- MARTINI F. - Segnalazione di un'industria musteriana presso Impruneta (Firenze)
A Mousterian lithic industry found near Impruneta (Florence) . . . » 249
- BORGOGNINI TARLI S., PALMA DI CESNOLA A. - Su alcuni resti umani rinvenuti nel deposito Gravettiano della Grotta Paglicci nel Gargano
Human skeletal remains from the Gravettian layers of Pagli cave (Gargano headland, Foggia, Italy) » 261
- CIONI O., GAMBASSINI P., TORRE D. - Grotta di Castelcivita: risultati delle ricerche negli anni 1975-77
Results of recent researches (1975-77) in the Castelcivita Cave (Salerno) . . . » 275
- GALIBERTI A., BARTOLI G. - Proposta di una scheda tipo per la classificazione e lo studio dei bifacciali del Paleolitico inferiore mediante elaborazione meccanografica
Proposal of a standard card for the study of handaxes of lower paleolithic by mechanographic elaboration » 297
- BARGAGLI R., GALIBERTI A., ROSSI C., SARTI L. - Il giacimento musteriano di Montemileto (Avellino)
The mousterian site of Montemileto (Avellino, Italy) » 341
- RADI G. - Resti di un villaggio neolitico a Villa Badessa (Pescara)
Remains of a neolithic village found near Villa Badessa (Pescara) . . . » 405
- PENNACCHIONI M. - Nuovi dati e precisazioni sull'insediamento preistorico di Torre Crognola (Vulci - Viterbo)
New data and specifications about the prehistoric settlement of Torre Crognola (Vulci, Viterbo, Italy) » 415
- ACCORSI C. A., AIELLO E., BARTOLINI C., CASTELLETTI L., RODOLFI G., RONCHITELLI A. - Il giacimento Paleolitico di Serino (Avellino): stratigrafia, ambienti e paleontologia
The paleolithic site of Serino (Avellino - Italy): stratigraphy, environment, palaethnology » 435

R. NARDI (*), A. PUCCINELLI (*), D. PATELLA (**)

APPLICAZIONE DEL METODO DEL SONDAGGIO DIPOLARE
PROFONDO LUNGO UNA SEZIONE DALLE ALPI APUANE
ALL'APPENNINO PISTOIESE (***)

Riassunto — Nell'intento di risolvere problemi di geologia regionale sono stati eseguiti cinque sondaggi elettrici dipolari, ubicati lungo una sezione geologica WE che attraversa le Alpi Apuane (Fornovolasco) e il Graben della Valle del Serchio fino a oltrepassare la struttura della Val di Lima.

Sui due lati della Valle del Serchio la geologia di superficie mostra una struttura plicativa unitaria, che interessa il complesso dei terreni della successione toscana (« Falda toscana » Auctt.), smembrata solo da un accidente tardivo (Graben del Serchio di età Pliocene e Quaternario).

In profondità invece, secondo l'indagine geofisica, si ottengono risposte tanto diverse sui due lati della valle (sondaggi AP2 e AP3) da far ipotizzare che la struttura metamorfica apuana non oltrepassi verso Est la valle stessa.

Summary — *The deep dipolar electric sounding method application along a section from the Alpi Apuane to the Apennines, north Pistoia.* In order to better know the structural and the paleogeographic relations among tectonic-stratigraphical units of Northern Apennines, five electric dipolar soundings have been placed along a geological section, with west-east direction, starting from the more eastern outcroppings of the Apuane metamorphic sequence (near Fornovolasco) then crossing the plio-quaternary Serchio valley Graben and, more eastward, the Val di Lima structure.

Superficial geological data show the Serchio valley as a relative recent Graben, locally disjoining the unitarian structural setting of tuscan nappe sequence, largely outcropping on both sides of the valley and then connected east-wards with the Val di Lima recumbent fold.

(*) Istituto di Geologia e Paleontologia dell'Università di Pisa, Via S. Maria, 53.

(**) Istituto di Geodesia e Geofisica e Osservatorio di Geofisica e Fisica Cosmica dell'Università di Bari, Via Crisanzio, 1.

(***) Studio eseguito e stampato nell'ambito del Progetto Finalizzato « Geodinamica » del C.N.R. (U.O. 5.2.19 e U.O. 5.2.9). Contributo n. 203.

On the contrary from geophysical data two very different deep geological situations may be deduced in the opposite sides of the Serchio valley: different and various geological solutions on deep structural setting of the Serchio area are then proposed and discussed; the authors very likely believe the Apuane metamorphic structural units not to pass more eastward of the Serchio valley.

Résumé — *Application de la méthode du sondage électrique dipolaire profond le long d'une coupe des Alpes apuanes jusqu'à l'Appennin pistoyen.* Dans le but de résoudre des problèmes de géologie régionale on a effectués cinq sondages électriques dipolaires, placés le long d'une coupe géologique qui traverse les Alpes apuanes (Fornovolasco), le graben de la vallée du Serchio jusqu'à dépasser la structure de la vallée de la rivière Lima.

Sur les deux côtés de la vallée du Serchio la géologie de surface indique une structure plissée et unitaire, qui comprend le complexe des terrains de la succession toscane (« Falda toscana » Auctt.), disjointe seulement par un accident tardif (graben du Serchio d'âge Plio-Quaternaire).

En profondeur au contraire, selon la recherche géophysique, on arrive à des réponses sur les deux côtés de la vallée aussi différentes qu'on peut imaginer que la structure métamorphique des Apuanes ne dépasse pas vers l'est la vallée du Serchio.

Key words: resistivity method; tectonics; Northern Apennines.

In questa nota sono presentati i risultati di n. 5 sondaggi elettrici dipolari, eseguiti lungo un profilo WE, che dalle Alpi Apuane orientali (zona di Fornovolasco) si estende alla Valle del Serchio (dintorni di Galliciano-Barga) fino alla Val di Lima e oltre (prov. di Lucca e Pistoia).

L'ubicazione di questi sondaggi (v. carta della tav. 1) è stata scelta nell'intento di risolvere problemi di geologia regionale con l'aiuto di mezzi di investigazione geofisica profonda.

Come è noto (cfr. DALLAN & NARDI, 1974), il nucleo delle Alpi Apuane rappresenta nella regione la zona tettonicamente più sollevata, che mette a giorno terreni metamorfici, indicati nella letteratura come Autoctono, Parautoctono, Unità di Massa e Unità delle Panie.

Le unità metamorfiche sono ricoperte tettonicamente dai terreni della successione toscana non metamorfica o Falda toscana, a loro volta sormontati dalle unità alloctone indicate come Unità subligure e Liguridi s.l. Più ad Est, oltre il crinale appenninico, al di sotto delle Liguridi si ritrovano le formazioni arenacee e siltoso-argillose, costituenti l'Unità del M. Cervarola.

Per quello che riguarda la stratigrafia delle varie unità ricor-

date, si rimanda alla sintesi schematica che segue, riassunta anche in funzione del diverso comportamento dei terreni nei riguardi dell'indagine geoelettrica.

Le formazioni geologiche più profonde, messe a giorno dalla culminazione tettonica delle Apuane, sono rappresentate da una serie scistoso-filladica (= « Verrucano » s.l.), che è esposta ad es. per oltre 1.000 metri nella Valle del Giardino, a Nord di Ruosina.

A questa segue un gruppo di formazioni prevalentemente carbonatiche con spessore medio di 800-1.000 metri (« grezzoni », « marmi », « calcari selciferi », « cipollini e calcescisti »), localmente sormontato da argilloscisti e arenarie con interstrati scistosi (spessore 300-400 metri: formazioni degli « scisti sericitici » e dello « pseudomacigno »).

Nella zona sud-orientale della finestra tettonica, tra le formazioni metamorfiche dell'unità « autoctona » e quelle non metamorfiche della Falda toscana si interpongono terreni metamorfici e sub-metamorfici, riferiti al Parautoctono di Stazzema e all'Unità delle Panie.

I primi sono rappresentati prevalentemente da « scisti sericitici » e arenarie « pseudomacigno » per uno spessore che nei dintorni della sezione geologica della tav. 1 raggiunge i 1.300 metri; i secondi invece da una serie carbonatica, che dove è meglio rappresentata si sviluppa per circa 1.000 metri di spessore. Questo elemento tettonico, però, appare confinato tra la valle della Turrîte di Gallicano e la valle della Turrîte Secca e procedendo verso Est sembra che esso rapidamente si riduca di spessore fino probabilmente a mancare del tutto appena qualche chilometro a oriente di Fornovolasco.

La sovrastante successione toscana non metamorfica presenta una serie prevalentemente carbonatica dal Trias sup. al Cretaceo inferiore (formazioni dei « calcari cavernosi e brecce poligeniche associate », « calcari e marne a *Rhaetavicula contorta* », « calcari massicci », « calcari rossi ammonitici », « calcari selciferi grigio-chiari », « marne a *Posidonia* », « calcari selciferi grigio-scuri », « diaspri », « maiolica »: spessore complessivo tra i 1.200 e i 2.500 metri), poi argillosa con lenti calcaree dal Cretaceo all'Eocene (« scaglia rossa » e « calcareniti a *Nummuliti* »: spessore fra 200 e 400 metri), infine arenacea con interstrati argilloso-siltosi (« macigno ») per grandi spessori che possono raggiungere 2.000-2.500 metri.

L'Unità subligure e le Liguridi s.l., che presentano facies pre-

valentemente argillose, non rientrano tra i terreni attraversati dall'indagine geoelettrica per la loro posizione geometrica.

I terreni dell'Unità del Cervarola, nella località cui si riferisce l'indagine effettuata, poggiano sul « macigno » della Falda toscana; essi hanno alla base un orizzonte (spessore 200-250 metri) di argille con blocchi calcarei (olistostroma), seguito da argilliti e marne siltose. Questo orizzonte è sovrinmontato da una formazione arenacea, simile al « macigno » (« arenarie de Le Lari », correlabili con le « arenarie di M. Modino ») (spessore 700-900 metri).

In situazioni stratigrafiche indisturbate, a queste arenarie seguono marne, silts, arenarie e di nuovo marne, per uno spessore complessivo superiore al migliaio di metri, che rappresentano le formazioni note in letteratura come « marne di Pievepelago », « arenarie del M. Cervarola » e « marne di M. San Michele » (fP₂, aC, fP₃ della tav. 1).

* * *

L'indagine geoelettrica profonda è stata effettuata nella zona in esame, poiché si è ritenuto che in corrispondenza di questa trasversale si potesse tentare di verificare alcune possibili soluzioni dei problemi sottoelencati, che rappresentano dei punti chiave per l'interpretazione strutturale dell'Appennino settentrionale:

- I) conoscere se continua e quanto continua verso Est la successione toscana metamorfica, la più profonda che affiora in corrispondenza delle Apuane, oltre gli affioramenti più orientali costituiti dalla finestra tettonica di Fornovolasco e dal suo prolungamento settentrionale oltre la Valle della Turrîte Secca (« limite orientale di affioramento della successione metamorfica ») (tav. 1);
- II) conoscere se continua e quanto continua verso oriente la successione toscana non metamorfica (Falda toscana Auctt.) a livello di formazioni mesozoiche, oltre gli affioramenti della Val di Lima.

Con riferimento alla carta geologica e alla sezione della tav. 1, a oriente del limite di affioramento dei terreni metamorfici si possono individuare tre settori contigui, che presentano longitudinalmente strutture continue, rilevabili sul terreno per decine di chilo-

metri, anche se interessate da ondulazioni assiali che possono localmente mascherarne l'evidenza. Questi settori costituiscono delle fasce allungate in direzione NW-SE, individuabili geograficamente nelle seguenti zone:

1) *Area compresa tra Fornovolasco e il margine occidentale della Valle del Serchio.* Vi affiora la successione toscana non metamorfica (che poggia su quella metamorfica di Fornovolasco) con andamento trasversale caratterizzato da una zona ad ampia sinclinale, cui succede verso Est un'anticlinale (con asse nel Canale del Folle), che mette a giorno i terreni più profondi (Trias) della successione non metamorfica.

2) *La Valle del Serchio in senso stretto.* Essa corrisponde ad una fossa tettonica, nella quale affiorano i termini più alti della successione toscana non metamorfica (« macigno ») e le coltri del ricoprimento « liguride » s.l. e localmente terreni neogenici fluvio-lacustri (conca di Barga-Gallicano e di Castelnuovo Garfagnana). In questa area la parte superiore della serie carbonatica (tetto della « maiolica ») al centro del Graben è ipotizzabile ad una profondità variabile tra 2.000 e 3.000 metri circa.

3) *L'area tra il margine orientale della Valle del Serchio e i nuclei della Val di Lima e della Pania di Corfino compresi.* Questa area è caratterizzata dai terreni della successione toscana non metamorfica, che riaffiorano con gli stessi caratteri di quelli presenti sulla sponda destra della Valle del Serchio (fascia 1): ad una struttura ad anticlinale, con nucleo di « maiolica » o « scaglia rossa » (anticlinale dei dintorni di Barga e di Fosciandora) segue verso Est una struttura negativa, ampiamente occupata dalla formazione del « macigno », cui succede la struttura sollevata della Val di Lima o, più a Nord, della Pania di Corfino.

Nella anticlinale della Pania di Corfino affiorano come terreni più profondi quelli del Trias; nella Val di Lima la struttura è più sollevata e permette di vedere che sotto le formazioni triassiche esiste un fianco rovesciato della stessa struttura, che viene a giorno per uno spessore di circa 250 metri.

Oltre il settore 3, verso Est, si osserva in affioramento il rovesciamento dell'anticlinale della Val di Lima, che si accavalla su unità più esterne (Unità del M. Cervarola), ricoperte a loro volta tettonicamente dalle Liguridi,

Con riferimento al problema indicato al punto II, se cioè la successione toscana non metamorfica a livello di formazioni mesozoiche termini o meno verso oriente con la struttura ad anticlinale coricata della Val di Lima, che secondo alcuni autori potrebbe rappresentare il fronte della Falda toscana, sul terreno si osserva un accenno, confinato però alla formazione della « scaglia rossa », a che la serie mesozoica prosegue verso Est; infatti, a Sud della loc. Tana Termine, sul versante sinistro della Val di Lima, in una zona tettonicamente complessa, si osserva che la formazione suddetta, attraverso una stretta sinclinale, raccorda il fianco rovesciato dell'anticlinale con un fianco diritto più esterno che immerge sotto il « macigno » (v. sezione della tav. 1).

Quanto descritto sopra risulta più in dettaglio nella sezione geologica della tav. 1, che è stata costruita passando per i punti di ubicazione dei sondaggi elettrici: il tracciato della sezione era pertanto vincolato alle necessità di accesso per i mezzi e gli strumenti necessari e pertanto essa risulta eseguita per ampi tratti lungo il fondo valle (Turrite di Galliciano e Val di Lima); una sua ubicazione attraverso le alture circostanti avrebbe permesso di visualizzare maggiormente la geologia dei settori 1 e 3, che tuttavia è indicata con il disegno delle strutture, proiettate al di sopra della superficie morfologica.

* * *

In conclusione, i problemi indicati ai punti I e II investono in sostanza i rapporti strutturali e paleogeografici fra le successioni toscane (Autoctono e Falda toscana) e l'Umbria, secondo le seguenti due ipotesi:

a) il bacino di sedimentazione della successione « autoctona » toscana è da ubicare in una posizione intermedia tra quello della Falda toscana e quello umbro (ipotesi classica degli autori neofaldisti: ELTER, 1960; GIANNINI, NARDI & TONGIORGI, 1962; BALDACCI, ELTER, GIANNINI, GIGLIA, LAZZAROTTO, NARDI & TONGIORGI, 1967; etc.);

b) la successione « autoctona » è da considerare paleogeograficamente interna alla Falda toscana, mentre questa sarebbe contigua al bacino umbro (ipotesi negli ultimi tempi accennata come possibile da diversi autori, ed espressa sinteticamente da DALLAN & NARDI, 1978).

METODOLOGIA E RISULTATI GEOFISICI

Descrizione del metodo del sondaggio dipolare

Come è noto, nell'esplorazione geoelettrica l'uso dei dispositivi e delle tecniche dipolari, nel metodo del sondaggio verticale, trova largo consenso per la possibilità di condurre investigazioni profonde, altrimenti non affrontabili con i convenzionali dispositivi quadripolari simmetrici del tipo Schlumberger o Wenner.

La disposizione elettrodica dipolare consta di due dipoli separati: il dipolo di energizzazione per inviare corrente nel sottosuolo e il dipolo di ricezione per la valutazione di una componente del campo elettrico che si genera. Tra le varie possibilità di orientazione mutua dei due dipoli, la disposizione radiale, e in particolare quella assiale, derivabile dalla prima (fig. 1), trova ampia applica-

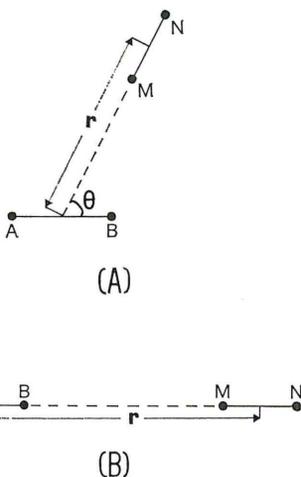


Fig. 1 - Due particolari dispositivi dipolari: (A) dispositivo radiale; (B) dispositivo assiale, derivabile dal primo riducendo a zero l'angolo azimutale θ .

zione per una serie di vantaggi che, globalmente, portano a cospicui risultati di efficienza operativa e interpretativa (ALFANO, 1974a; PATELLA, 1974; PATELLA, ROSSI & TRAMACERE, 1979). Tralasciando in questa sede di fornire tutti i dettagli sugli aspetti tecnici e pratici della conduzione del sondaggio dipolare (per un'ampia discussione, v. PATELLA, ROSSI & TRAMACERE, 1979), riteniamo invece opportuno soffermarci sui seguenti due argomenti per una migliore

comprensione dei risultati sperimentali che verranno forniti in seguito:

- a) valutazione del segnale utile al dipolo di ricezione;
- b) criterio d'interpretazione quantitativa dei diagrammi dipolari.

a) *Valutazione del segnale utile al dipolo di ricezione*

Nelle misure dipolari, tre fattori contribuiscono a deteriorare il rapporto segnale/rumore:

- 1) presenza di forti disturbi tellurici naturali e/o artificiali (rumore);
- 2) rapida diminuzione del segnale utile al crescere della distanza fra i centri dei dipoli (spaziatura);
- 3) presenza nel sottosuolo di estesi livelli conduttori, che già di per sé causano in superficie segnali utili di bassa entità.

L'evento concomitante di questi tre fattori provoca serie difficoltà nella registrazione, al dipolo di ricezione, del segnale di tensione, che generalmente viene a trovarsi completamente mascherato dal disturbo tellurico. Per superare queste difficoltà vi sono due possibilità: 1) aumento della potenza elettrica erogata, e assorbita dal terreno, mediante generatori di grosso calibro (potenze utili maggiori di 20 kWatts), oppure 2) uso di convenzionali generatori di bassa potenza (dell'ordine di 2 kWatts) e conseguente miglioramento delle tecniche di ricezione del segnale, mediante accorgimenti pratici, quali filtraggio e amplificazione elettronica del segnale, e mediante procedimenti di analisi spettrale di misure effettuate sotto forma di registrazioni temporali digitali di appropriata lunghezza.

Durante l'esecuzione dei sondaggi dipolari, i cui risultati saranno di seguito descritti, abbiamo preferito adottare il secondo criterio, per motivi di maggiore praticità e speditezza nelle operazioni di campagna e soprattutto perché forti di precedenti positive esperienze in situazioni ambientali decisamente più critiche, quali quelle incontrate durante lo studio del campo geotermico di Travale (PATELLA, ROSSI & TRAMACERE, 1979). Pertanto, più in particolare, il procedimento di misura è consistito: 1) nell'inviare nel terreno, attraverso il dipolo di energizzazione, una serie di onde quadre di corrente con periodo di 60 sec e per un tempo compreso

tra 10 e 30 min; 2) nel registrare contemporaneamente al dipolo di misura il segnale di tensione, comprendente il segnale utile e il disturbo tellurico, sotto forma digitale, con un intervallo di campionatura di 5 sec, e dopo una amplificazione di circa dieci volte e il filtraggio attraverso un filtro attivo passa banda centrato sul periodo di lavoro di 60 sec. La fig. 2 mostra la prima parte di una registrazione di tensione, ottenuta durante l'esecuzione del sondaggio AP3, in particolare alla spaziatura $r = 7.500$ m fra i centri dei due dipoli, lunghi rispettivamente 1.500 m (quello di energizzazione) e 200 m (quello di ricezione). Come si nota dalla figura, la

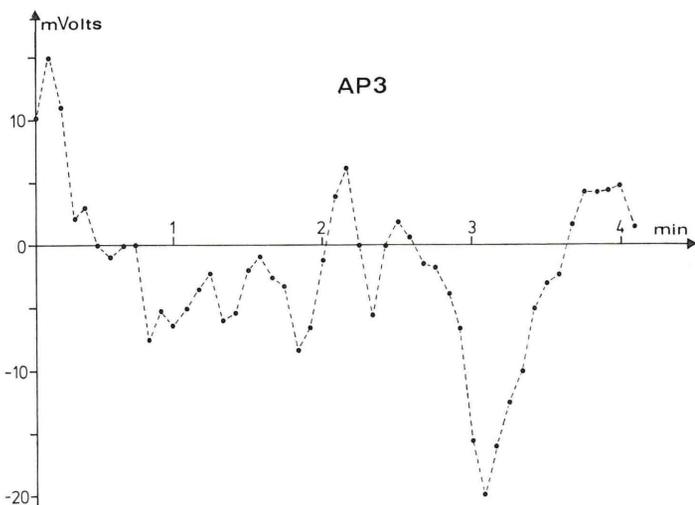


Fig. 2 - Prima porzione di una registrazione di tensione al dipolo di misura, ottenuta durante l'esecuzione del sondaggio AP3.

registrazione si presenta come una sequenza di oscillazioni molto irregolari; inoltre la presenza del disturbo casuale tellurico non permette affatto di estrarre direttamente il segnale utile con un certo grado di attendibilità. A tale scopo, abbiamo quindi adottato il metodo di analisi spettrale di « Maximum Likelihood », i cui fondamenti teorici e le modalità applicative sono stati già diffusamente descritti in un precedente lavoro (LODDO & PATELLA, 1977). La fig. 3 mostra il risultato dell'analisi spettrale sulla registrazione della figura precedente. Come si nota, il picco spettrale appare centrato perfettamente sul periodo di lavoro di 60 sec e presenta lobi laterali

rapidamente decrescenti a dimostrazione dell'elevato potere risolutivo del metodo nei riguardi del segnale utile. Dalla potenza spettrale corrispondente al picco, è poi possibile valutare facilmente l'ampiezza del segnale utile di tensione, necessaria per il calcolo della resistività apparente. Detto procedimento, indispensabile per poter condurre speditamente e rigorosamente un sondaggio geoelettrico a elevate profondità, è stato utilizzato per tutti i cinque sondaggi eseguiti lungo il profilo in studio (per l'ubicazione dei centri del dipolo fisso di misura e per la direzione di propagazione del dipolo mobile di energizzazione, v. la carta di tav. 1).

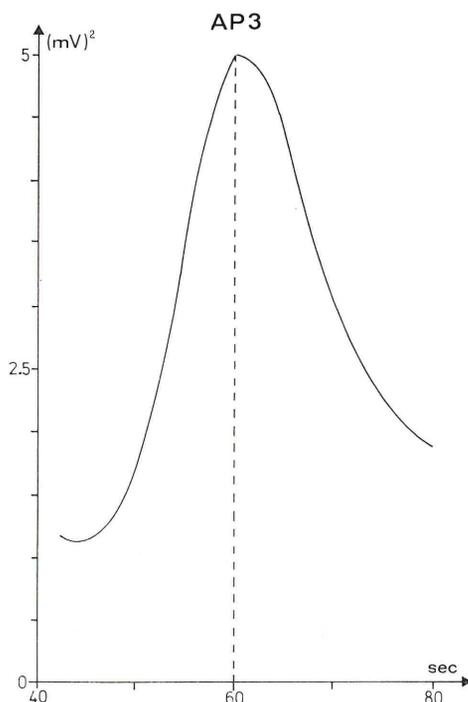


Fig. 3 - Analisi spettrale con il metodo di « Maximum Likelihood » della registrazione di fig. 2.

b) *Criterio d'interpretazione quantitativa dei diagrammi dipolari*

Adottando la tecnica operativa su descritta sinteticamente, sono stati ottenuti i diagrammi di resistività apparente dipolare in funzione della spaziatura. La fig. 4 mostra, come esempio, il dia-

gramma di resistività apparente del sondaggio AP4. Si deve far notare che la prima porzione a sinistra del diagramma, contrassegnata con SES (Sondaggio Elettrico Schlumberger), riporta dati ottenuti col classico dispositivo di Schlumberger, mentre la rimanente porzione, contrassegnata con SED (Sondaggio Elettrico Dipolare), quelli ottenuti col dispositivo dipolare assiale. Tale tecnica mista ha il notevole vantaggio di ridurre sensibilmente i tempi e i costi di esecuzione di un sondaggio, dal momento che l'uso del dispositivo di Schlumberger, fino a una spaziatura accessibile senza difficoltà e fino a quando il rapporto segnale/rumore è piuttosto

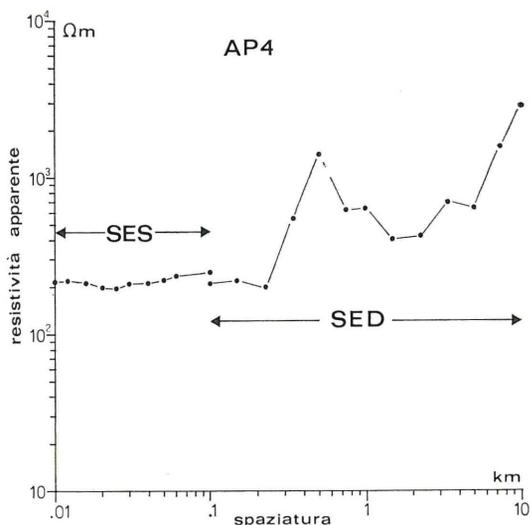


Fig. 4 - Diagramma di resistività apparente in funzione della spaziatura del sondaggio AP4. La porzione contrassegnata con SES si riferisce a dati ottenuti col dispositivo di Schlumberger, mentre quella contrassegnata con SED a dati ottenuti col dispositivo dipolare assiale.

elevato, consente operazioni di campagna molto speditive. Viceversa, l'uso del dispositivo dipolare alle più elevate spaziature consente di superare senza difficoltà pratiche di campagna tutta quella serie di ostacoli che rendono impraticabile il primo dispositivo. Da un punto di vista interpretativo, l'uso della tecnica mista non introduce alcuna complicazione, allorché si faccia uso del criterio interpretativo basato sulla *trasformazione* del grafico dipolare in grafico Schlumberger. Si intuisce che, con tale criterio di conversione,

il diagramma originale viene trasformato in un unico grafico di tipo Schlumberger, per il quale può adottarsi uno qualsiasi dei metodi d'interpretazione quantitativa attualmente esistenti per grafici « Schlumberger ».

Per i fondamenti matematici della trasformazione si rimanda a una precedente pubblicazione (PATELLA, 1974), mentre si coglie l'occasione per ricordare che tale trasformazione è possibile, purché si conosca, nel caso del dispositivo assiale, il comportamento asintotico a destra del grafico dipolare di campagna. Orbene, nella maggioranza dei casi, l'andamento dell'estrema porzione a destra del grafico dipolare non lascia intravedere un sicuro comportamento asintotico verso un valore di resistività ben definito, attribuibile alla presenza di un « basamento » elettrico nei limiti della massima profondità d'investigazione raggiunta. Pertanto, si deve ricorrere a un criterio di estrapolazione del grafico, onde consentire il processo di trasformazione. Un modo di affrontare questo problema è stato suggerito da ALFANO (1974 a; b). Esso consiste nell'assumere due situazioni estreme, corrispondenti l'una alla presenza di un ipotetico basamento perfettamente isolante, l'altra a quella di un basamento perfettamente conduttore. Con queste due ipotesi estreme, alle quali viene ora a corrispondere un ben definito comportamento asintotico estrapolato, sia pure ipotetico, è possibile la trasformazione e si ottengono, di conseguenza, due grafici trasformati « Schlumberger », che si raccordano da un certo punto in poi verso sinistra. L'analisi quantitativa della parte in comune è quella che risolve pienamente e correttamente il problema interpretativo e, in più, permette di ottenere una stima della massima profondità d'investigazione raggiunta col sondaggio dipolare (per maggiori dettagli, v. ALFANO, 1974a).

Le figg. 5, 6, 7, 8, 9 mostrano i grafici trasformati in Schlumberger dei cinque sondaggi eseguiti. In particolare, richiamiamo l'attenzione sulla trasformata del sondaggio AP4 (fig. 8) per un raffronto con l'originale diagramma dipolare di fig. 4. Come si può facilmente notare, il grafico della trasformata presenta una notevole attenuazione del campo di dispersione degli originali valori di resistività apparente dipolare. Che questi ultimi avessero un accentuato grado di dispersione era da attendersi, dal momento che, come è noto, il dispositivo dipolare, dato il carattere « differenziale » delle misure, è particolarmente sensibile a disturbi laterali di qualsiasi natura. Viceversa, la tecnica Schlumberger, dato

il carattere « integrale » delle misure, ha l'attitudine a smorzare e mediare notevolmente gli stessi effetti di disturbo, dando invece risalto a tutto ciò che, in grandi linee, ha un significato di natura geologico-strutturale (sequenza di strati orizzontali e paralleli, presenza di piani di discontinuità verticali o inclinati di notevole dimensione, e, più in generale, strutture bi- e tri-dimensionali con contrasti di resistività e dimensioni geometriche risolubili col metodo geoelettrico). Questa evidenza sperimentale ha qui il suo risvolto nel processo di trasformazione adottato, che riconduce, numericamente e graficamente, allo stesso risultato di « lisciamento ». Tutto ciò è da considerare come una delle caratteristiche più interessanti della trasformazione, dal momento che accomuna i vantaggi fondamentali dei due dispositivi: quelli tecnico-operativi del dipolare e quelli numerico-interpretativi dello Schlumberger, a tutto vantaggio di una maggiore oggettività del risultato interpretativo finale.

Risultati dell'analisi quantitativa

SONDAGGIO AP1

La trasformata di questo sondaggio è mostrata in fig. 5. L'andamento della curva è notevolmente regolare su tutto lo spettro delle spazature adottate e pertanto suggerisce l'esistenza di una sequenza

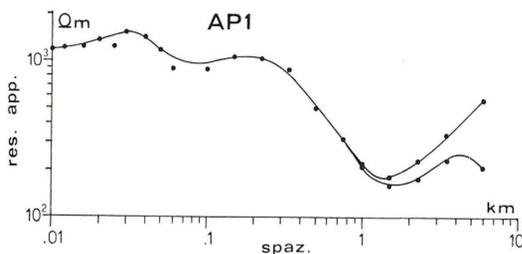


Fig. 5 - Grafico della trasformata in « Schlumberger » per il sondaggio AP1.

di sette strati con rapporti di resistività alternativamente maggiori e minori di uno. Nei limiti dell'equivalenza, si può fornire la seguente elettrostratigrafia:

resistività	spessori	profondità del letto dal p.c.
1° strato: $\rho_1 = 1.200 \Omega\text{m}$	$t_1 = 13 \text{ m}$	$h_1 = 13 \text{ m}$
2° » : $\rho_2 = 2.400 \Omega\text{m}$	$t_2 = 16 \text{ m}$	$h_2 = 29 \text{ m}$
3° » : $\rho_3 = 170 \Omega\text{m}$	$t_3 = 11 \text{ m}$	$h_3 = 40 \text{ m}$
4° » : $\rho_4 = 2.500 \Omega\text{m}$	$t_4 = 60 \text{ m}$	$h_4 = 100 \text{ m}$
5° » : $\rho_5 = 400 \Omega\text{m}$	$t_5 = 190 \text{ m}$	$h_5 = 290 \text{ m}$
6° » : $\rho_6 = 84 \Omega\text{m}$	$t_6 = 810 \text{ m}$	$h_6 = 1100 \text{ m}$
7° » : $\rho_7 \geq 750 \Omega\text{m}$	$t_7 \geq 1200 \text{ m}$	$h_7 \geq 2300 \text{ m}$

Poiché il centro del dipolo di misura è stato posto su un esteso affioramento di terreni metamorfici riferibili al Parautoctono di Stazzema (v. carta della tav. 1) si può ritenere, in accordo con quanto si deduce dalla geologia di superficie, che tutta la sequenza degli elettrostrati, qui osservata, sia associabile ai terreni metamorfici delle Alpi Apuane.

La sequenza dei primi cinque terreni, relativamente poco spessi (profondità massima pari a 290 m) e frutto dell'interpretazione delle ondulazioni presenti nei primi due terzi della curva, può essere configurata come una prima unità geoelettrica, mediamente resistiva, che si differenzia notevolmente dalla successiva unità, costituita dal solo 6° strato dell'elettrostratigrafia precedente, la quale si presenta relativamente conduttrice (84 Ωm) e con notevole spessore (810 m). Questa seconda unità si differenzia a sua volta dall'ultima, costituita dal 7° ed ultimo strato dell'elettrostratigrafia, che si presenta, almeno fino alla massima profondità d'investigazione raggiunta (2300 m) abbastanza resistiva, con resistività non precisabile univocamente, ma comunque non inferiore a 750 Ωm .

Riteniamo pertanto di associare, da un punto di vista litologico, la prima unità geoelettrica alla formazione dello « pseudomacigno », la seconda alle potenti intercalazioni di scisti che affiorano a Pomazzana-Stazzema entro l'unità parautoctona apuana.

SONDAGGIO AP2

La trasformata di questo sondaggio è mostrata in fig. 6. Anche in questo caso l'andamento della curva è abbastanza regolare e pertanto si può facilmente riconoscere una sequenza di quattro strati, i cui parametri sono qui di seguito riportati:

1° strato:	$\rho_1 = 270 \Omega\text{m}$	$t_1 = 20 \text{ m}$	$h_1 = 20 \text{ m}$
2° » :	$\rho_2 = 1.350 \Omega\text{m}$	$t_2 = 70 \text{ m}$	$h_2 = 90 \text{ m}$
3° » :	$\rho_3 = 87 \Omega\text{m}$	$t_3 = 110 \text{ m}$	$h_3 = 200 \text{ m}$
4° » :	$850 \Omega\text{m} \leq \rho_4 \leq 1.200 \Omega\text{m}$	$t_4 \geq 2200 \text{ m}$	$h_4 \geq 2400 \text{ m}$

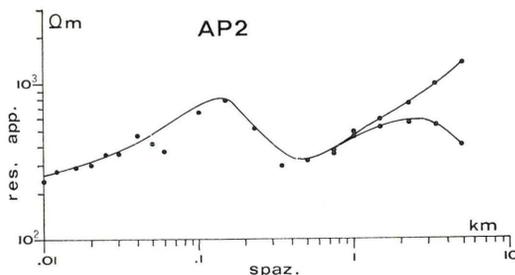


Fig. 6 - Grafico della trasformata in « Schlumberger » per il sondaggio AP2.

Questa volta il centro del dipolo di misura è stato posto nelle immediate vicinanze di un esteso affioramento di « calcari cavernosi », appartenenti alle formazioni più profonde (Trias) della successione toscana non metamorfica.

A parte il primo strato, poco profondo e associabile a terreni poco resistivi, permeabili e saturi d'acqua (alluvioni recenti del T. Turrite), anche in questo caso si può parlare di tre unità geoelettriche. La prima, comprendente il 2° strato, resistivo, è associabile alle formazioni carbonatiche del Trias e più precisamente ai « calcari cavernosi ». La seconda, comprendente il 3° strato, conduttore, presenta le stesse caratteristiche di resistività della seconda unità geoelettrica del sondaggio precedente; è plausibile quindi assumere la stessa interpretazione geologica e ritenere che si tratti ancora dell'unità parautoctona apuana.

Da questa interpretazione risulta che le formazioni della successione apuana si estendono, com'era da attendersi, fin sotto il centro di misura di questo sondaggio.

SONDAGGIO AP3

Il grafico della trasformata di questo sondaggio è mostrato in fig. 7. A differenza dei precedenti due sondaggi, questo grafico mo-

stra nella parte centrale un minimo molto meno vistoso e nella parte finale resistività apparenti notevolmente più elevate. L'andamento dei punti è nella parte centrale molto irregolare per effetto di disturbi verosimilmente provocati da disomogeneità superficiali.

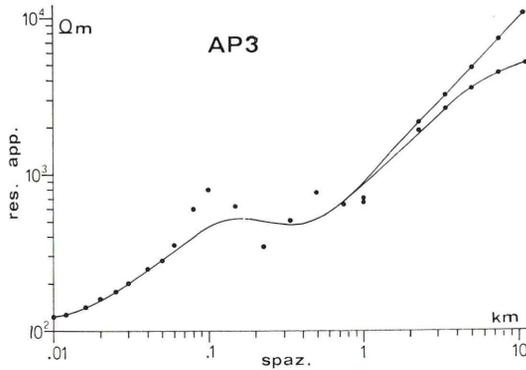


Fig. 7 - Grafico della trasformata in « Schlumberger » per il sondaggio AP3.

Il tratto di curva interpolante rappresenta, a nostro avviso, l'andamento indisturbato più probabile, ricavato soprattutto sulla base del comportamento, nella stessa fascia, del successivo sondaggio AP4, il cui grafico presenta, in linee generali, lo stesso andamento (v. fig. 8).

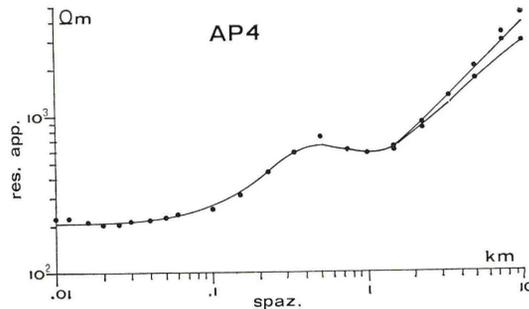


Fig. 8 - Grafico della trasformata in « Schlumberger » per il sondaggio AP4.

Un plausibile modello elettrostratigrafico può essere fornito dalla seguente interpretazione:

1° strato:	$\rho_1 = 120 \Omega\text{m}$	$t_1 = 15 \text{ m}$	$h_1 = 15 \text{ m}$
2° » :	$\rho_2 = 1.200 \Omega\text{m}$	$t_2 = 39 \text{ m}$	$h_2 = 54 \text{ m}$
3° » :	$\rho_3 = 350 \Omega\text{m}$	$t_3 = 346 \text{ m}$	$h_3 = 400 \text{ m}$
4° » :	$\rho_4 \geq 14.000 \Omega\text{m}$	$t_4 \geq 5000 \text{ m}$	$h_4 \geq 5400 \text{ m}$

Il primo strato, poco resistivo, è certamente da associare ai terreni della copertura alluvionale affiorante nell'area su cui è stato posto il dipolo di misura. Il secondo strato, resistivo, probabilmente alla formazione delle « calcareniti a Nummuliti », di cui si notano affioramenti immediatamente a occidente del centro di misura (v. tav. 1). Il terzo strato, dato il suo valore di resistività piuttosto moderato (350 Ωm), può essere associato alla serie argillosa con lenti calcaree della successione toscana non metamorfica (« scaglia rossa »). Infine il quarto strato, di notevole spessore e con elevatissima resistività, può essere attribuito verosimilmente alla sottostante serie carbonatica molto compatta della successione toscana non metamorfica. Per il notevole spessore ($\geq 5000 \text{ m}$) di questo strato, si vedano le ipotesi formulate nel capitolo « Conclusioni ».

SONDAGGIO AP4

Il grafico della trasformata di questo sondaggio è mostrato in fig. 8. Come già detto, esso si presenta con un andamento molto simile a quello del grafico del precedente sondaggio AP3. Non sono però presenti, questa volta, evidenti effetti di disturbi laterali.

Un modello elettrostratigrafico può essere fornito dalla seguente interpretazione:

1° strato:	$\rho_1 = 210 \Omega\text{m}$	$t_1 = 80 \text{ m}$	$h_1 = 80 \text{ m}$
2° » :	$\rho_2 = 1.470 \Omega\text{m}$	$t_2 = 150 \text{ m}$	$h_2 = 230 \text{ m}$
3° » :	$\rho_3 = 440 \Omega\text{m}$	$t_3 = 880 \text{ m}$	$h_3 = 1100 \text{ m}$
4° » :	$\rho_4 \geq 10.000 \Omega\text{m}$	$t_4 \geq 3390 \text{ m}$	$h_4 \geq 4500 \text{ m}$

Data l'ubicazione del centro del dipolo di misura (v. carta della tav. 1) e il tipo di affioramento nelle aree esplorate, riteniamo che tutti gli strati siano associabili alla serie carbonatica della successione toscana non metamorfica. In particolare, il primo strato, dato

il valore di resistività relativamente basso, può corrispondere al complesso dei « calcari cavernosi » e dei « calcari neri e marne »; il secondo strato, a resistività molto più elevata, con molta probabilità ai « calcari massicci », localmente fratturati e saturi d'acqua. Segue il terzo strato, che, ripresentando un discreto abbassamento della resistività, giustificherebbe la probabile presenza di grossi spessori di « calcari marnosi » e di « marne a Posidonia ». Infine, il quarto strato, notevolmente resistivo, può essere ancora associato alla serie carbonatica toscana non metamorfica, estremamente compatta. Il notevole spessore di questo strato (≥ 3400 m circa), il significato geologico attribuito ai precedenti strati e le indiscusse evidenze geologiche superficiali, già precedentemente descritte, giustificano certamente il raddoppio della serie carbonatica toscana non metamorfica in questa zona.

SONDAGGIO AP5

Il grafico della trasformata di questo sondaggio è mostrato in fig. 9. L'andamento dei punti è notevolmente regolare su tutto lo spettro delle spaziature adottate. Ciononostante, è evidente, nella parte finale del grafico, la presenza di un vistoso effetto laterale

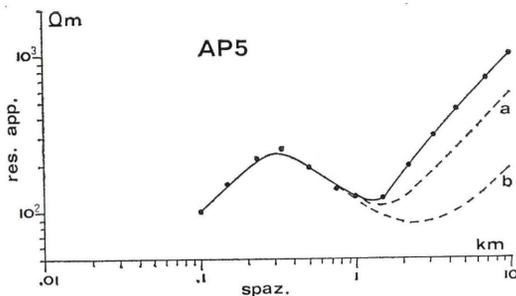


Fig. 9 - Grafico della trasformata in « Schlumberger » per il sondaggio AP5.

con piano di discontinuità non orizzontale separante globalmente due mezzi a notevole contrasto di resistività. Questo effetto laterale si manifesta con un gradiente di risalita dei punti, verso un substrato resistivo, superiore al massimo teoricamente possibile per successioni di strati orizzontali e paralleli. Più in dettaglio, può pensarsi all'esistenza di un piano di discontinuità sito a una distanza

valutabile intorno ai 4000 m dal centro del dipolo di misura e perpendicolare al verso di propagazione, rettilineo in prima approssimazione, del dipolo mobile di energizzazione. Da un punto di vista geologico dovrebbe trattarsi del contatto fra le formazioni, globalmente poco resistive, del « macigno » e quelle più resistive della serie carbonatica della successione toscana non metamorfica.

La presenza di questo effetto laterale non permette una sicura interpretazione elettrostratigrafica come nei precedenti sondaggi. Si può però tentare di pervenire a un plausibile modello, ipotizzando, nella parte finale del grafico, andamenti indisturbati come quelli rappresentati in fig. 9 con le due curve a tratteggio *a* e *b*. In tal caso si avrebbe il seguente prospetto:

1° strato:	$\rho_1 = 10 \Omega\text{m}$	$t_1 = 9 \text{ m}$	$h_1 = 9 \text{ m}$
2° » :	$\rho_2 = 1.000 \Omega\text{m}$	$t_2 = 51 \text{ m}$	$h_2 = 60 \text{ m}$
3° » :	$\rho_3 = 77 \Omega\text{m}$	$1280 \text{ m} \leq t_3 \leq 3840 \text{ m}$	$1340 \text{ m} \leq h_3 \leq 3900 \text{ m}$
4° » :	$\rho_4 \rightarrow \infty \Omega\text{m}$	spessore e profondità indeterminabili.	

Il campo di variazione dello spessore del terzo strato deriva appunto dalla presenza delle due curve limite *a* e *b*. Si ritiene, per un motivo che verrà addotto nel successivo paragrafo conclusivo, che l'estremo superiore, corrispondente a un andamento indisturbato come quello della curva *b*, sia il più plausibile.

Per quanto concerne il significato geologico degli elettrostrati, a parte il primo strato di piccolo spessore, poco significativo per il nostro studio, il secondo strato, resistivo, sembra poter essere associato a un livello arenaceo compatto del « macigno », e il terzo strato, conduttore, alla formazione del « macigno », interessata dalla presenza di numerosi interstrati argilloso-siltosi, anche di non trascurabile spessore, tali da determinare il brusco e vistoso calo di resistività. Infine il quarto strato, di spessore indeterminabile e di resistività decisamente elevata ($\rightarrow \infty \Omega\text{m}$), può essere associato verosimilmente alla presenza di una serie carbonatica compatta.

CONCLUSIONI

Il dato più importante che emerge dalle indagini geofisiche è rappresentato dalla differente risposta che si ottiene sui due lati della Valle del Serchio:

— il sondaggio AP2 (lato occidentale) rivela la presenza probabile

delle strutture apuane al di sotto delle formazioni calcaree della Falda toscana, come era del resto prevedibile dalle indagini geologiche di superficie: nei pressi di Galliciano, cioè, sembra presente un substrato analogo a quello affiorante nella « finestra tettonica » di Fornovolasco, situata 4,5 km più ad ovest.

- Il sondaggio AP3 (lato orientale), invece, indica l'esistenza di rocce carbonatiche fino per lo meno a —5.400 m dal piano campagna. Le previsioni geologiche di superficie, nel caso che la struttura del fianco occidentale della Valle del Serchio si continuasse sul lato orientale, oltre il Graben, potevano immaginare di incontrare le strutture apuane ad una profondità dell'ordine di 2.000-2.500 m.

Questo dato non risolve completamente il problema indicato al punto I del capitolo iniziale, anche se orienta verso soluzioni che considerino le strutture apuane interrompersi all'altezza della Valle del Serchio.

Per quello che riguarda il punto II, i sondaggi AP3, AP4 e AP5 fanno rilevare una situazione caratterizzata dalla presenza di forti spessori di formazioni carbonatiche per tutta l'area esplorata.

Per la situazione mostrata dal sondaggio AP3 si potrebbe pensare all'estendersi verso occidente del raddoppio di serie toscana visibile all'altezza della Val di Lima, o, in alternativa, a una sovrapposizione della struttura ad anticlinale rovesciata della Val di Lima su un substrato carbonatico di tipo umbro, o di transizione, privo però delle formazioni flyschoidi terziarie.

Il sondaggio AP5, ubicato all'esterno della Val di Lima, anche se le risposte non sono ottimali, indica una serie carbonatica posta ad una profondità che non contrasta strutturalmente con un prolungamento verso Est della successione toscana che affiora in Val di Lima.

Questo fatto valorizza, secondo noi, la prima ipotesi espressa a proposito del sondaggio AP3.

BIBLIOGRAFIA

- ALFANO L. (1974a) - A first application of electrical dipole-dipole soundings to the calcareous formations in the central Apennines. *Riv. It. di Geofisica*, **23**, 101-117.
- ALFANO L. (1974b) - A modified geoelectrical procedure using polar-dipole arrays. An example of application to deep exploration. *Geophysical Prospecting*, **22**, 510-525.

- BALDACCI F., ELTER P., GIANNINI E., GIGLIA G., LAZZAROTTO A., NARDI R. & TONGIORGI M. (1967) - Nuove osservazioni sul problema della Falda toscana e sulla interpretazione dei flysch arenacei tipo « macigno » dell'Appennino Settentrionale. *Mem. Soc. Geol. It.*, **6**, 213-244.
- BELLINCIONI P. (1959) - Il nucleo mesozoico della Val di Lima (Appennino lucchese). *Boll. Soc. Geol. It.*, **78**, 44-73.
- DALLAN L. & NARDI R. (1974) - Schema stratigrafico e strutturale dell'Appennino settentrionale. *Mem. Acc. Lunigianese Sc. « G. Capellini »*, **42**, 1-212.
- DALLAN L. & NARDI R. (1978) - Il quadro paleotettonico dell'Appennino settentrionale: un'ipotesi alternativa. *Atti Soc. Tosc. Sc. Nat., Mem.*, serie A, **86**, 289-297.
- ELTER P. (1960) - I lineamenti tettonici dell'Appennino a NW delle Apuane. *Boll. Soc. Geol. It.*, **79**, 273-312.
- GIANNINI E., NARDI R. & TONGIORGI M. (1962) - Osservazioni sul problema della Falda toscana. *Boll. Soc. Geol. It.*, **81**, 17-98.
- LODDO M. & PATELLA D. (1977) - Spectral analysis of voltage measurements for the interpretation of dipole geoelectrical soundings in low resistivity geothermal areas. *Geothermics*, **6**, 227-235.
- NARDI R. (1961) - Geologia della zona tra la Pania della Croce, Galliciano e Castelnuovo Garfagnana (Alpi Apuane). *Boll. Soc. Geol. It.*, **80**, 257-334.
- PATELLA D. (1974) - On the transformation of dipole to Schlumberger sounding curves. *Geophysical Prospecting*, **22**, 315-329.
- PATELLA D., ROSSI A. & TRAMACERE A. (1979) - Primi risultati dell'applicazione del metodo del sondaggio geoelettrico dipolare all'area geotermica di Travale-Radicondoli (Toscana). *In corso di stampa*.

(ms. pres. il 31 gennaio 1979; ult. bozze il 28 giugno 1979)