

Alcune esperienze su formazioni acquifere con i metodi della polarizzazione indotta e della resistenza adoperando un dispositivo di misura bipolare

G. PETRUCCI e S. COPPOLINO (*)

Ricevuto il 7 Giugno 1961

Il metodo di prospezione della polarizzazione indotta è in fase di sviluppo. Molti sono i geofisici che si occupano dell'argomento, sia dal punto di vista teorico che dal punto di vista sperimentale.

S. Coppolino⁽²³⁾ ha pubblicato una nota compilativa nella quale riassume i principali risultati ottenuti con tale metodo da alcuni autori.

L. V. Patella⁽²⁷⁾, recentemente, ha fatto il punto sull'argomento, rivendicando i precedenti europei ed italiani su tale nuovo metodo di prospezione. In Italia, A. Belluigi si è occupato estesamente del problema, sia dal punto di vista strumentale che dal punto di vista teorico^(1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8).

Nella bibliografia sono riportate le memorie venute fuori in questi ultimi anni.

La possibilità della prospezione di strati acquiferi è stata messa in vista da Vacquier V., Holmes C. R., Kintzinger P. R., Frische R. H., Lavergue M. nei due lavori pubblicati in « Geophysics » nel 1956⁽¹²⁾ e nel 1957⁽¹⁴⁾, e da A. Belluigi⁽⁶⁾ nel 1956. In questo lavoro viene mostrata la possibilità della prospezione degli strati acquiferi per mezzo di un nuovo metodo messo a punto da G. Petrucci ed N. Orilia, descritto in « Geofisica Pura ed Applicata »^(13, 15, 16).

Oltre alle prove di sondaggi elettrochimici (P. P.) dell'acqua, sono stati fatti altri rilievi nelle formazioni argillose, nelle alluvioni e nei tufi

(*) Istituto di Geodesia Università di Palermo Via Archirafi.

calcarei, in alcune località della provincia di Palermo, tendenti a rilevare le curve:

$$Ep = f(i) \quad \text{per } t = \text{costante}$$

cioè le curve della f. e m. di polarizzazione in funzione della corrente polarizzante i per lo stesso tempo t di carica.

Tali curve, che per piccoli valori di i — cioè lontani dai valori di saturazione — sono delle rette, permettono una misura della costante di polarizzazione della formazione ⁽¹²⁾, infatti è:

$$Ep = K i \quad \text{per } t = \text{costante}$$

quindi il rapporto direttivo delle rette ottenute sperimentalmente per ciascun mezzo dà la costante di polarizzazione del mezzo stesso. La costante di polarizzazione pertanto può servire a differenziare le formazioni geologiche del sottosuolo. I risultati di queste ultime prove sono stati pubblicati in « Geofisica e Meteorologia » (1960) ⁽²⁸⁾.

ATTREZZATURA STRUMENTALE E DISPOSIZIONE DELLE SONDE DI MISURA.

L'attrezzatura strumentale impiegata è stata analoga a quella riportata nella pubblicazione ⁽¹³⁾, apportandovi delle modifiche per aumentarne la precisione di misura.

Le misure sono state fatte *usando i due elettrodi di corrente anche come elettrodi potenziometrici.*

Come è noto, V. Vacquier e C ⁽¹⁴⁾, F. Sumi ⁽²⁴⁾ ed altri adoperano due sonde di corrente e due potenziometriche distinte, usando una disposizione tipo Wenner come quella per l'esecuzione dei S. E. col metodo della resistività.

La ragione della nostra preferenza per la prima disposizione è dipesa dal fatto che proprio in corrispondenza delle *sonde di corrente si ha la massima f. e m. di polarizzazione*; basta spostarsi di poco da tali sonde per avere una forte diminuzione della f. e m. di polarizzazione.

Naturalmente il campo che viene a stabilirsi nel sottosuolo è quello relativo alla differenza di potenziale applicata alle sonde di corrente (dipolo) e pertanto la polarizzazione sarà una funzione di tale distribuzione, il cui effetto massimo si manifesterà proprio su di esse. In questo

caso, inoltre, si ha un effetto di prospezione in profondità più grande che nel caso della disposizione Wenner. Le misure sono state eseguite con impulsi di corrente continua di frequenza 16 H.

SONDAGGI COL METODO DELLA POLARIZZAZIONE INDOTTA PER LA PROSPEZIONE DEGLI STRATI ACQUIFERI DEL SOTTOSUOLO.

Sono stati scelti dei casi conosciuti dal punto di vista geidrologico per l'esistenza di pozzi o perchè già studiati col metodo della resistenza; precisamente un caso in cui gli strati acquiferi si trovano in terreni alluvionali in vicinanza di un torrente e due casi in cui gli strati acquiferi si trovano in seno a dei tufi calcarei del quaternario. Un sondaggio è stato fatto in corrispondenza di una formazione di argille eoceniche affioranti.

Tutti i sondaggi elettrochimici sono stati eseguiti mantenendo costante l'intensità della corrente polarizzante (40 mA) e spostando una sonda di corrente, mantenendo l'altra fissa. La durata della corrente polarizzante è stata per ogni misura di 1'.

Le variazioni della f. e. m. di polarizzazione, dovute ai cambiamenti locali, superficiali del terreno, in direzione della sonda mobile, sono state eliminate con misure rispetto ad una terza sonda posta a distanza relativamente grande⁽²⁵⁾ e pertanto le variazioni riscontrate nelle misure sono da attribuire alle variazioni di costituzione degli strati in profondità.

Operando in questo modo vengono valutate ed eliminate anche le polarizzazioni parassite che insorgono nelle sonde stesse e nel terreno vicino ad esse assieme a quelle da mettere in vista, delle quali giustamente si è preoccupato A. Bellugi fin dai primi lavori pubblicati sull'argomento.

SONDAGGIO ELETTROCHIMICO P. P. IN UNA FORMAZIONE ARGILLOSA.

Il sondaggio elettrochimico è stato eseguito in corrispondenza di una formazione di argille eoceniche affioranti, esistenti nel territorio di Misilmeri (Palermo). Tale formazione è molto estesa a Nord, ad Est e a Sud di Misilmeri.

Il diagramma del sondaggio elettrico è stato riportato nella fig. 1. Esso mostra un piccolo massimo in corrispondenza della profondità di 1 m dovuto all'esistenza di infiltrazioni acquifere in seno al terreno vegetale, constatate attraverso l'esistenza di un pozzetto superficiale.

Il diagramma mostra poi un andamento parallelo all'asse delle ascisse denotando un andamento costante della polarizzazione da attribuire alla formazione di argille eoceniche.

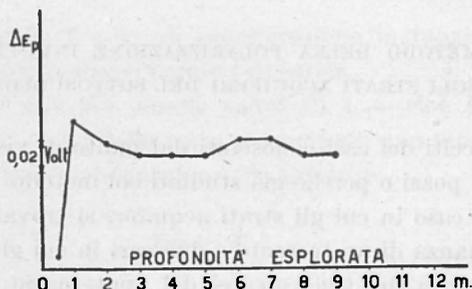


Fig. 1. - Diagramma di sondaggio col metodo della polarizzazione indotta in argille eoceniche affioranti, Misilmeri, (Palermo).

STRATI ACQUIFERI IN TERRENI ALLUVIONALI POGGIANTI SU ARGILLE EOCENICHE.

Il sondaggio elettrochimico è stato eseguito in contrada Ballestrero, proprietà Aggiusti, Misilmeri (Palermo), in una valletta. In tale località era stata fatta una ricerca col metodo diretto della resistenza apparente di G. Petrucci (2^a) ed era stato individuato uno strato acquifero dell'ordine di 3 litri/sec., e riscontrato con un pozzo eseguito dopo la prospezione.

Nella fig. 2 sono stati riportati sia il diagramma relativo al metodo diretto della resistenza (diagramma in basso), sia il digramma relativo al sondaggio col metodo della polarizzazione provocata P. P. (diagramma in alto).

Il diagramma relativo alla P. P. presenta un andamento che corrisponde a quello della resistenza. Infatti presenta un primo tratto, fino a circa 5 m di profondità, con valori costanti della f. e. m. di P. P. attribuibile a strati alluvionali asciutti e poi si hanno due massimi successivi in corrispondenza delle due variazioni del digramma della resistenza, cioè in corrispondenza dello strato acquifero.

Dalla profondità di 11 m e fino a 16 m, la P. P. si mantiene elevata con oscillazioni intorno ad un certo valore medio attribuibile alle argille;

infatti il diagramma della resistenza a partire da 11 m indica, col suo andamento, l'esistenza della formazione di argille plioceniche (cioè di una formazione a resistenza specifica bassa) (26).

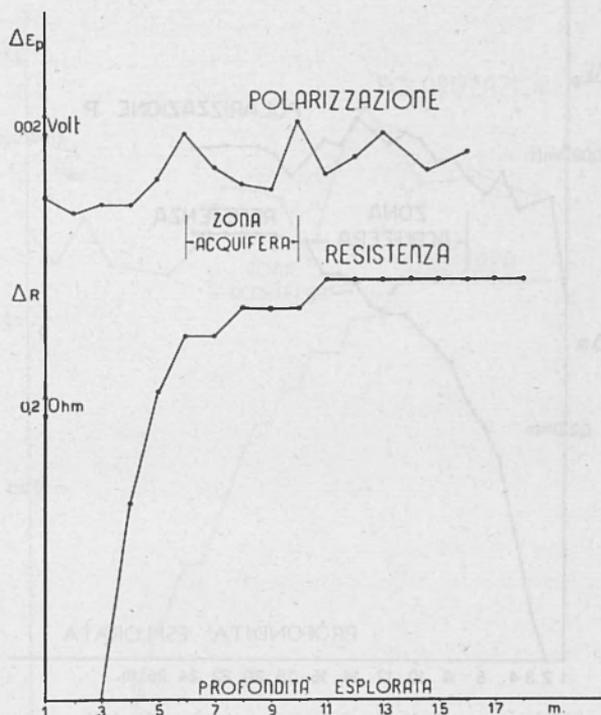


Fig. 2. - Diagrammi di sondaggi con i metodi della polarizzazione indotta e della resistenza in terreni alluvionali acquiferi, Contrada Ballestrero, Misilmeri, (Palermo).

STRATI ACQUIFERI IN SENO AI TUFI CALCAREI DELLA PIANA DI PALERMO, POGGIANTI SU ARGILLE (Ginolfo).

Il caso riportato è stato rilevato nella proprietà Spanò a Romagnolo (Palermo). Gli strati del sottosuolo sono costituiti da qualche metro di terreno vegetale e da tufi calcarei quaternari della piana di Palermo, poggianti su Ginolfo. Entro i tufi calcarei scorrono degli strati acquiferi dell'ordine di 12 litri/sec., accertati mediante pozzo.

Lo spessore degli strati di tufo acquiferi va da 7 a 16 m di profondità.

Nella fig. 3 sono stati riportati il diagramma rilevato col metodo della polarizzazione indotta (sopra) e quello della resistenza (sotto). Il diagramma elettrochimico presenta un ampio intervallo di massimo pro-



Fig. 3. - Diagrammi di sondaggi con i metodi della polarizzazione indotta e della resistenza in tufi calcarei acquiferi. Romagnolo, Palermo.

prio in corrispondenza della zona acquifera. Anche le piccole variazioni lungo il diagramma si possono, grosso modo, mettere in relazione con quelle esistenti nel diagramma della resistenza in corrispondenza degli stessi strati acquiferi. Anche in questo caso, a partire da 16 m., cioè dall'inizio del Ginolfo, la f. e. m. di P. P. si mantiene elevata, ma più piccola del valore massimo raggiunto in corrispondenza dello strato acquifero.

STRATI ACQUIFERI IN SENO AI TUFII CALCAREI DELLA ZONA DI TERRASINI (Palermo) POGGIANTI SU ARGILLE (Ginolfo).

I diagrammi riportati sono relativi ad una formazione di tufi calcarei quaternari poggianti su una estesa formazione di Ginolfo.

In seno ai tufi esistono degli importanti strati acquiferi provenienti da monte, ove esistono dei rilievi montuosi di calcari mesozoici che costituiscono un grande bacino di raccolta.

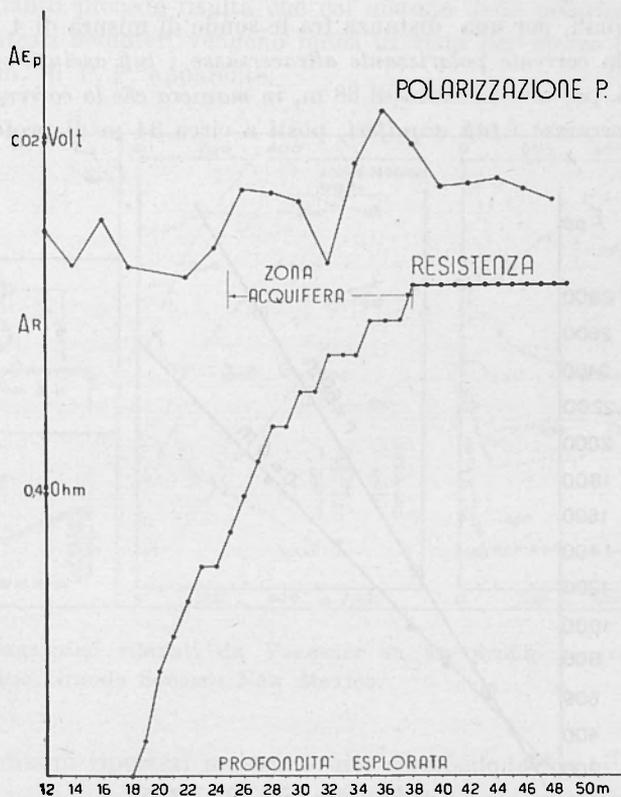


Fig. 4. - Diagrammi di sondaggi con i metodi della polarizzazione indotta e della resistenza in tufi calcarei acquiferi. Terrasini, Palermo.

Il diagramma della resistenza, fig. 4, presenta, dalla profondità di circa 23 m e fino alla profondità di circa 38 m, delle variazioni dovute agli strati acquiferi esistenti nella formazione di tufi calcarei. In corrispondenza di tale intervallo il diagramma delle f. e. m. di P. P. presenta una ampia zona di massimo con un minimo molto stretto intorno alla profondità di 34 m. Lateralmente alla zona di massimo si hanno delle f. e. m. di polarizzazione più basse e però il valore medio a profondità elevata risulta più grande di quello a profondità piccole, come negli altri casi.

In tale zona sono state rilevate due curve:

$$E_p = f(i) \quad \text{per } t = \text{costante}$$

una delle quali, per una distanza fra le sonde di misura di 4 m, in maniera che la corrente polarizzante attraversasse i tufi asciutti superficiali, ed un'altra, per una distanza di 68 m, in maniera che la corrente polarizzante attraversasse i tufi acquiferi, posti a circa 34 m di profondità.

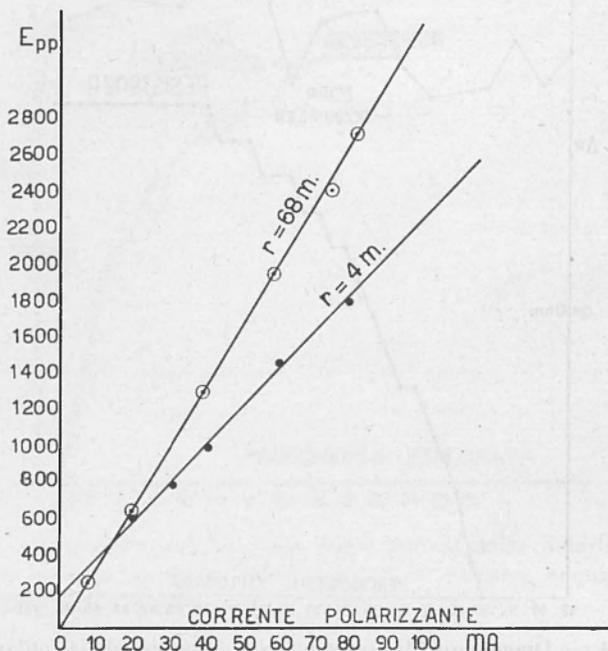


Fig. 5. - Curve di polarizzazione indotta in funzione della intensità della corrente di polarizzazione in tufi calcarei sterili ed in tufi calcarei acquiferi.

I risultati delle misure sono riportati nella fig. 5. I rapporti direttivi delle due rette mostrano che i tufi acquiferi presentano una polarizzazione più elevata di quelli sterili (tufi asciutti 23,87 Volt/Amp.; tufi acquiferi 31,66 Volt/Amp.).

Ciò conferma i risultati dei sondaggi, cioè la possibilità di individuare gli strati acquiferi in seno ai tufi calcarei per mezzo della polarizzazione indotta.

CONCLUSIONI.

Da quanto precede risulta che col metodo della polarizzazione indotta gli strati acquiferi vengono messi in vista per mezzo di massimi della f. e. m. di P. P. apparente.

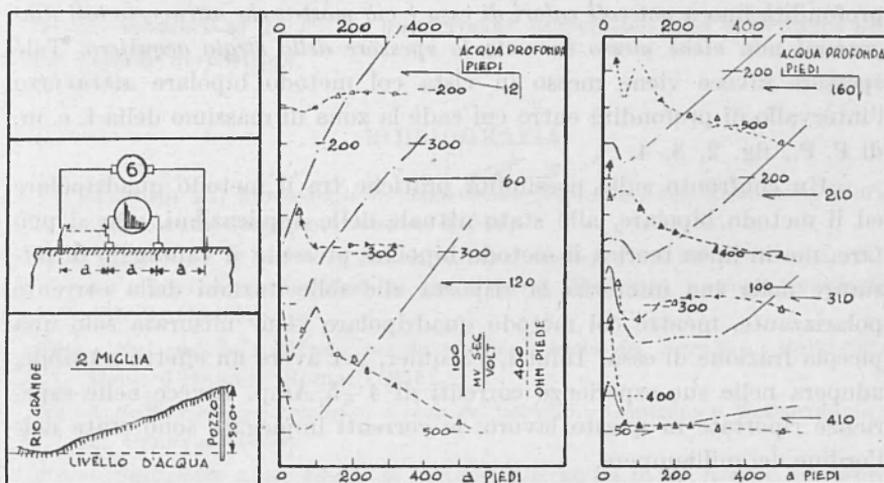


Fig. 6 - Diagrammi rilevati da Vacquier su un profilo trasversale alla valle Rio Grande Socorro New Mexico.

I diagrammi riportati mostrano una correlazione fra le variazioni riscontrate nei sondaggi eseguiti col metodo della polarizzazione provocata e quelle riscontrate col metodo della resistenza. Appare anche che col metodo delle P. P. si hanno maggiori ampiezze di variazione nei diagrammi rispetto a quelle ottenute col metodo della resistenza. Ciò lascia intravedere delle ottime possibilità d'impiego del metodo della P. P. nel campo delle ricerche idriche.

Naturalmente occorre ancora provare in corrispondenza di altre situazioni idrologiche, per avere una idea delle effettive possibilità del metodo.

Nella fig. 6 è riportata una serie di diagrammi rilevati da Vacquier e collaboratori^(12, 14) su un profilo trasversale alla valle Rio Grande Socorro New Mexico, dal fiume ad un pozzo profondo 500 piedi.

Nella parte sinistra della figura sono riportate le sezioni del terreno e lo schema di misura tipo Wenner. Nella parte destra sono riportati i

diagrammi rilevati; quelli punteggiati si riferiscono al metodo della resistività e quelli a tratto e punto al metodo delle P. P.

Per ciascun diagramma è segnata la profondità dello strato acquifero nel punto corrispondente. L'effetto dell'acqua è messo in vista con l'aumento della polarizzabilità a partire da una profondità vicina a quella dell'acqua.

Tutti i diagrammi mostrano che la polarizzabilità aumenta con la profondità fino a *notevoli valori di essa e ciò mostra che attraverso tali diagrammi non viene messo in vista lo spessore dello strato acquifero*. Tale spessore invece viene messo in vista col metodo bipolare attraverso l'intervallo di profondità entro cui cade la zona di massimo della f. e. m. di P. P., fig. 2, 3, 4.

Un confronto sulle possibilità pratiche fra il metodo quadripolare ed il metodo bipolare, allo stato attuale delle applicazioni, non si può fare, ma in linea teorica il metodo bipolare presenta il vantaggio di misurare nella sua interezza la risposta alle sollecitazioni della corrente polarizzante, mentre col metodo quadripolare viene misurata solo una piccola frazione di essa. Infatti, Vacquier, per avere un effetto sensibile, adopera nelle sue esperienze correnti di $4 \div 5$ Amp. Invece nelle esperienze riportate in questo lavoro, le correnti impiegate sono state dell'ordine dei milliampere.

Il metodo bipolare ha un effetto di prospezione in profondità circa $\frac{1}{2}$ della distanza elettroica fra le sonde di corrente, mentre nel metodo quadripolare col sistema Wenner l'effetto in profondità è circa $\frac{1}{3}$ di essa.

Col metodo bipolare e con l'applicazione della terza sonda (metodo Petrucci) ⁽²⁵⁾ è possibile eliminare le numerose polarizzazioni parassite agli elettrodi e le variazioni di f. e. m. di P. P. dovute alle inomogeneità superficiali del terreno in cui essi vengono infissi.

RIASSUNTO

Vengono eseguiti dei sondaggi col metodo della misura della resistenza apparente del terreno e col metodo della polarizzazione indotta, secondo lo schema di G. Petrucci ed N. Orilia ⁽¹³⁾, i quali confermano la possibilità della prospezione degli strati acquiferi col metodo della P. P. messa in vista da altri autori ^(12, 14, 16). In ultimo viene fatto un confronto fra il metodo che sfrutta per le misure di P. P. la disposizione quadripolare e quello che sfrutta la disposizione bipolare.

SUMMARY

Tests are carried out by the method of the measure of the apparent resistance of the soil and by the method of induced polarization, according to the scheme of G. Petrucci & N. Orilia⁽¹²⁾, which confirm the possibility of prospecting water-bearing strata already pointed out by other authors^(12, 14, 16). Finally a comparison is made between the method which uses for the measure of P. P. the quadripolar disposition and that which uses the bipolar disposition.

BIBLIOGRAFIA

- (¹) BELLUIGI A., *Fortschritte in elektrischen Aufsuchen von Petroleum*. World Petroleum Congress, London, (1933).
- (²) — *The need of revising the apparatus employed in the measurement of an electrochemical Effect of the Ground*. Beitrage z. ang. Geophysik, Bd. 9, (1940).
- (³) — *Sul metodo « Elflex » per la ricerca diretta del petrolio*. « Boll. Serv. Geol. d'Italia », Roma, (1955).
- (⁴) — *Sulla ricerca geoelettrica diretta del petrolio*. « Geofisica e Meteorologia », 3, Genova, (1955).
- (⁵) — *Sull'effetto e. m. diretto di emittori alternativi in un terreno omogeneo*. « Annali di Geofisica », 7, Roma, (1954).
- (⁶) — *Ricerche elettro-idrologiche con I. P.* « Annali di Geofisica » 9, Roma, (1959).
- (⁷) — *La ricerca geofisica dell'acqua tellurica*. Convegno dell'approvvigionamento idrico della Capitale, Roma, maggio 1957.
- (⁸) — *Das skalare für einen Rechteckigen Impuls in einem homogenen Medium erzeugte Potential*. « Zeit Geophysik » H. 6, (1958).
- (⁹) PETRUCCI G., *Possibilità applicative del metodo di prospezione elettrochimico (Polarizzazione provocata)*. « Atti del Congresso Minerario Italiano » (1948).
- (¹⁰) PETRUCCI G., PANFALONA V., *Sulla polarizzazione provocata in alcuni campioni di rocce e di minerali con particolare riguardo agli strati delle serie gessosa zolfifera della Sicilia*. « Rendiconti dell'Associazione Mineraria Sarda », 6, (1952).
- (¹¹) PETRUCCI G., ORILIA N., *Il comportamento di alcuni campioni di minerali dell'Inglesiente rispetto alla polarizzazione elettrica provocata*. « Rendiconti dell'Associazione Mineraria Sarda », I, (1955).
- (¹²) VACQUIER V., KINTZINGER P. R., HOLMES C. R., FRISCHE R. II., *Prospecting for Ground water by induced electrical polarization*. New Mexico Institute of Mining and Technology Research and Development Division, febbraio (1956).

- (13) PETRUCCI G., ORILIA N., *Su una attrezzatura adatta alla prospezione del sottosuolo col metodo elettrochimico*. « Geofisica Pura e Applicata » 33, (1956).
- (14) VACQUIER V., HOLMES C. R., KINTZINGER P. R., LAVERGUE M., *Prospecting for ground water by induced electrical polarization*. « Geophysics » 22, 3, (1957).
- (15) PETRUCCI G., ORILIA N., *La polarizzazione provocata nel cemento consolidato e nell'argilla*. « Geofisica e Meteorologia » 1/2, (1957).
- (16) — — *Lo studio della presa ed indurimento dei cementi per mezzo del fenomeno della polarizzazione provocata*. « Rivista Min. Siciliana », 46, 47 (1957).
- (17) FRISCHE R. H., and VON BUTTLAR H., *A teoretical study of induced electrical polarization*. « Geophysics » 22, 3 (1957).
- (18) WAIT James R., FRISCHE Richard H., VON BUTTLAR Ad Haro, *Duscussion on « A teoretical study of induced electrical polarization »* « Geophysics » 23, 1, (1958).
- (19) VON HENKEL H., *Some Theoretical consideration on induced polarization*. « Geophysics », 23, (1958).
- (20) SCHUFLE J. A., *Cation exchang and induced electrical polarization*. « Geophysics », 24, 1, (1959).
- (21) SEIGEL Garold O., *Mathematical formulation and type curves for induced polarization*. « Geophysics » 24, 3, (1959).
- (22) DONALD Y., MARSCHALL and Madlen Theodore R., *Induced polarization, a study of its causes*, « Geophysics », 24, 4 (1959).
- (23) COPPOLINO S., *Sulle modalità e possibilità d'impiego del metodo di prospezione elettrochimico (Polarizzazione Provocata)*. « L'industria Mineraria » Marzo (1959).
- (24) SUMI F., *Geophysical Exploration in Mininy By Induced Polarization*, « Geophysical Prospecting », 3, (1959).
- (25) PETRUCCI G., *Atti del Congresso Mondiale del Petrolio*. « Proceedings » Sez. 1, 573, Roma, (1955).
- (26) — *I sondaggi elettrici col metodo diretto di misura della resistenza elettrica del terreno. Teoria, Applicazioni Pratiche*. « Boll. del Servizio Geologico d'Italia », 4, 5, (1959).
- (27) PATELLA L. U., *I precedenti europei ed italiani sui nuovi metodi di prospezione geofisica*. « Overvoltage. « Meteorologia e Geofisica » (1960).
- (28) PETRUCCI G., COPPOLINO S., *La determinazione della costante di polarizzazione provocata e la sua applicazione alla prospezione delle formazioni geologiche*. « Meteorologia e Geofisica » (1960).