

**ALCUNE TECNICHE DI ELABORAZIONE DEI DATI RICAVATI DA SONDAGGI ELETTRICI APPLICATI A RICERCHE IDROGEOLOGICHE IN AREE PARTICOLARMENTE COMPLESSE**

INDICE

RIASSUNTO	pag.	115
ABSTRACT	"	115
GENERALITA'	"	115
INQUADRAMENTO GEOLOGICO DELL'AREA	"	115
CONSIDERAZIONI STRUTTURALI	"	115
PROSPEZIONI GEOFISICHE	"	115
INDAGINI IDROGEOLOGICHE	"	116
METODOLOGIA	"	117
CONCLUSIONI	"	119
BIBLIOGRAFIA	"	121

RIASSUNTO

Si descrive una ricerca di acque minerali effettuata a mezzo di rilevamento geologico di dettaglio e sondaggi elettrici verticali.

A seguito delle indagini vengono discussi i parametri necessari ad evidenziare la situazione idrogeologica sia relativamente al tipo di "venuta a giorno delle acque" sia la loro mineralizzazione.

ABSTRACT

Prospecting for mineral waters by detailed geological mapping and vertical electrical soundings are described.

As a result of this investigation, the parameters needed to reveal the hydrogeological situation are discussed, both in relation to the emergence of the waters and of their mineralization.

PAROLE CHIAVE: Geoelettrica applicata, Idrogeologia, Formazioni arenaceo-pelittiche.

KEY WORDS: Geoelectric for Hydrogeology, arenaceous-pelitic Rocks.

GENERALITA'

L'area in cui è stata eseguita la ricerca in oggetto è la zona attigua alle terme in località Carignano Terme prov. di Pesaro (F 109 I SE-II NE Tav. Pesaro-Cartoceto).

Le acque della zona sono conosciute ed utilizzate da lungo tempo sia a scopo commerciale che terapeutico; ciò è dovuto al fatto che in un'area molto ristretta si trovano sia acque di tipo bicarbonato-calciche, sia di tipo solfureo, che di tipo salso-jodico.

La presente ricerca si propone di chiarire i motivi ed i rapporti per acque così diversamente mineralizzate.

(\*)Istituto di Geologia, Università di Camerino.

(\*\*)Progetto Finalizzato Conservazione del Suolo - Sottoprogetto Fenomeni Fransi - Pubblicazione n. 228.

INQUADRAMENTO GEOLOGICO DELL'AREA

Il rilevamento geologico dell'area (Fig. 1), è stato finalizzato principalmente ad una conoscenza di carattere idrogeologico piuttosto che geologico-stratigrafico.

Nell'area in esame sono presenti le seguenti unità:

— *litofacies arenaceo-pelittica*

essa è composta da arenarie scarsamente cementate a granulometria media in strati da medi a spessi con intercalazioni di livelli argillosi. Il rapporto sabbia-argilla risulta generalmente elevato.

— *litofacies pelittico-arenacea*

essa è composta da argille, argille marnose ed argille sabbiose con intercalazioni di arenarie in strati sottili. Il rapporto sabbia-argilla è nettamente inferiore ad uno.

L'età delle suddette *litofacies* è riferita al Miocene superiore.

— *unità argilloso-sabbiosa*

essa è costituita da argille, argille marnose ed argille sabbiose con intercalazioni di sabbie in strati da medi a spessi. Il rapporto tra sabbia e argilla è di gran lunga inferiore ad uno.

L'età di quest'ultima *litofacies* è riferita al Pliocene.

— *depositi continentali quaternari*

essi sono presenti in gran parte dell'area studiata e sono costituiti da sedimenti fluviali, coltri detritiche e materiali di frana.

Il torrente Arzilla ed il Fosso Bevano incidono un'ampia piana alluvionale posta a circa 3-4 m sull'attuale talweg; la piana alluvionale rappresenta l'unico ordine di terrazzamento presente nell'area.

CONSIDERAZIONI STRUTTURALI

Dall'esame degli affioramenti sembra che il passaggio Miocene-Pliocene sia di tipo stratigrafico. Da considerazioni di carattere idrogeologico e geofisico si può ipotizzare la presenza di una dislocazione tettonica in corrispondenza del Fosso Bevano avente direzione ENE-WSW. Tale discontinuità non ha riscontro in superficie poiché sepolta dai sedimenti alluvionali del torrente Arzilla. Altra faglia con direzione NE-SW si rinviene presso C.se Beltrame dove il contatto brusco tra una *litofacies* arenacea ed una arenaceo-pelittica è visibile sul terreno.

PROSPEZIONI GEOFISICHE

L'ubicazione dei SEV e delle sezioni elettrostrati-

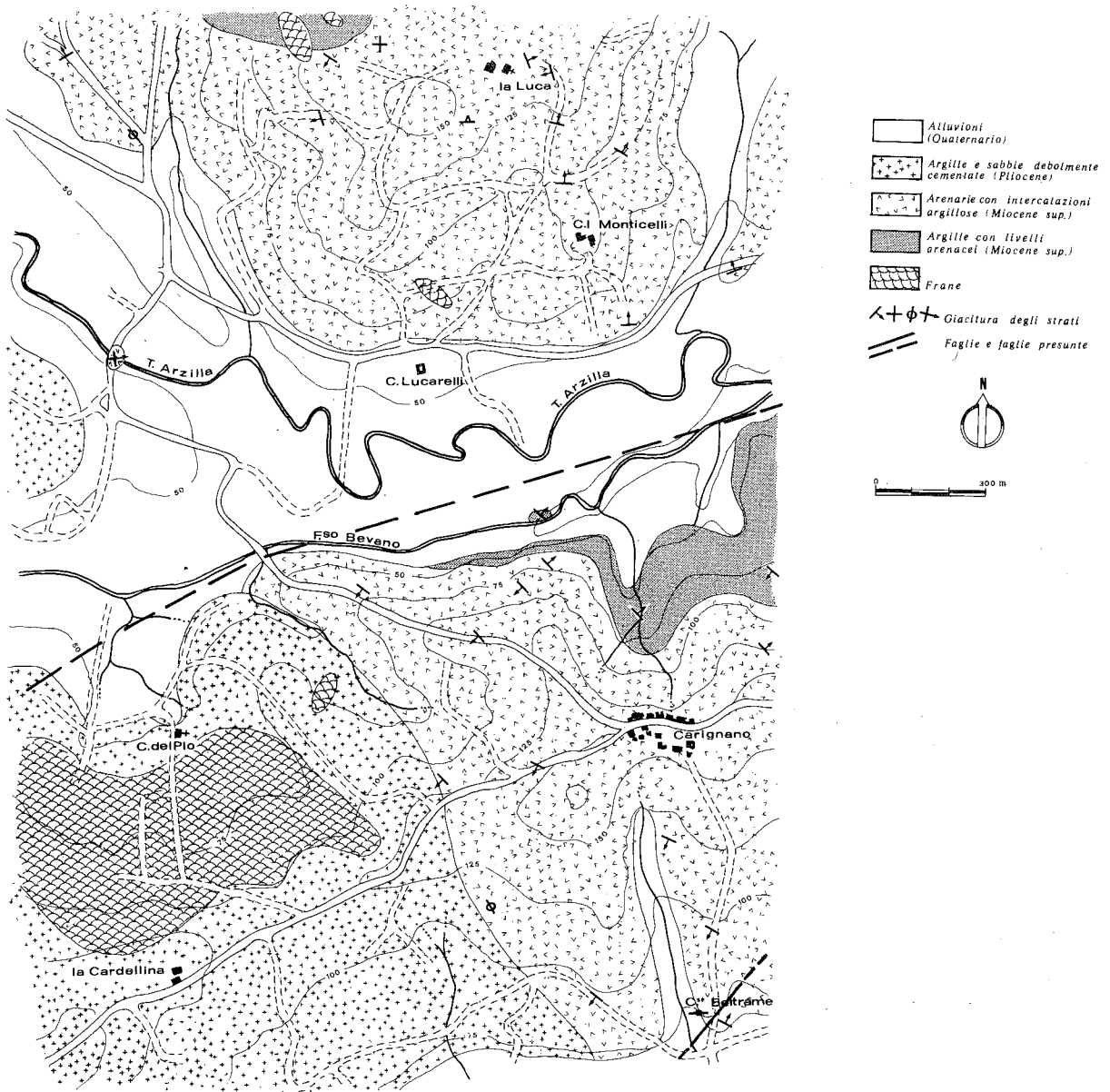


Fig. 1 - Carta Geologica delle Terme di Carignano

grafiche compare in Fig. 2. I SEV sono stati eseguiti con dispositivo di tipo "Schlumbergr" ed apertura elettroica massima  $AB/2 = 250$  m.

#### INDAGINI IDROGEOLOGICHE

Relativamente alle acque sono state eseguite misure di resistività ed esattamente:

campione 1	(pozzo 1)	acqua solfurea, salso-jodica	= 5,9	Ohm x m
campione 2	(pozzo 1)	acqua solfurea	= 3.43	Ohm x m
campione 3	(pozzo 1)	acqua salso-jodica, solfurea	= 0.25	Ohm x m
campione 4	(pozzo 1)	acqua bicarbonato-calcica	= 5.99	Ohm x m
campione 5	(pozzo 2)	acqua salso-jodica	= 0.16	Ohm x m
campione 6	(pozzo 3)	acqua salso-jodica	= 0.17	Ohm x m
campione 7	(F. Bevano)		= 7.61	Ohm x m
campione 8	(pozzo 4)	acqua ferruginosa	= 7.2	Ohm x m
campione 9	(galleria)	acqua bicarbonato-calcica	= 11.3	Ohm x m

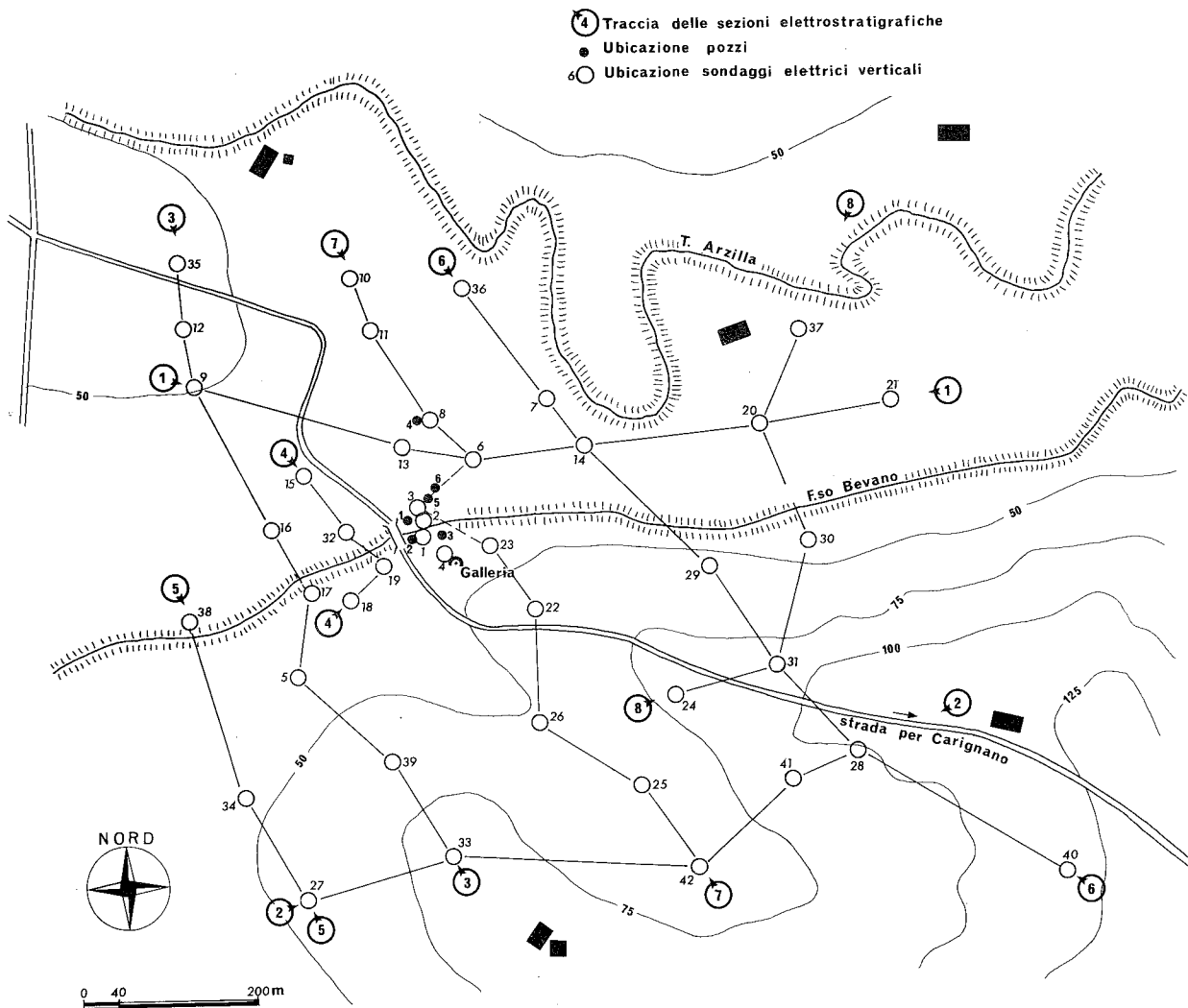


Fig. 2 - Planimetria

L'acquifero relativo a tutti i prelievi, ad eccezione dei campioni 7 ed 8, è rappresentato dalle formazioni mioceniche.

### METODOLOGIA

Circa la presenza di una discontinuità tettonica lungo il Fosso Bevano, quale spiegazione del contatto tra acque a così diversa mineralizzazione si è eseguita, in fase preinterpretativa, una sezione in resistività longitudinale differenziale, secondo la nota formula:

$$\rho_a = \frac{l_2 - l_1}{\frac{l_2}{\rho_2} - \frac{l_1}{\rho_1}}$$

Si evidenzia così la discontinuità ipotizzata. In Fig. 3 si nota come questa metodologia risulti ben risolutiva. Sempre nella medesima Fig. 3 vengono focalizzati livelli basso-argillosi a ridotta profondità, imputabili alla presenza di acque fortemente mineralizzate.

Poiché la resistività risulta sia funzione delle ca-

ratteristiche dell'acquifero sia e soprattutto della resistività delle acque contenute, il tipo d'acqua presente nei sedimenti risulterà non sempre di facile discriminazione.

E' noto che (ARCHIE) la resistività:

$$\rho = F \rho_a \quad \text{dove: } \rho = \text{resistività del complesso acquifero-acqua}$$

$$\rho_a = \text{resistività dell'acqua}$$

$$F = \text{fattore di formazione}$$

E' noto inoltre che:

$$F = \frac{\rho}{\rho_a} = \frac{1^{(1)}}{p^m} \quad \text{dove: } p = \text{porosità totale}$$

$$m = \text{coefficiente di cementazione o distribuzione dei vuoti}$$

<sup>(1)</sup>Si è preferito non considerare l'equazione più generale  $A/p^m$ , dove il termine A dipende dalle caratteristiche dei sedimenti all'atto della deposizione poiché le nostre considerazioni si riferiscono ad un'unica unità litostratigrafica.

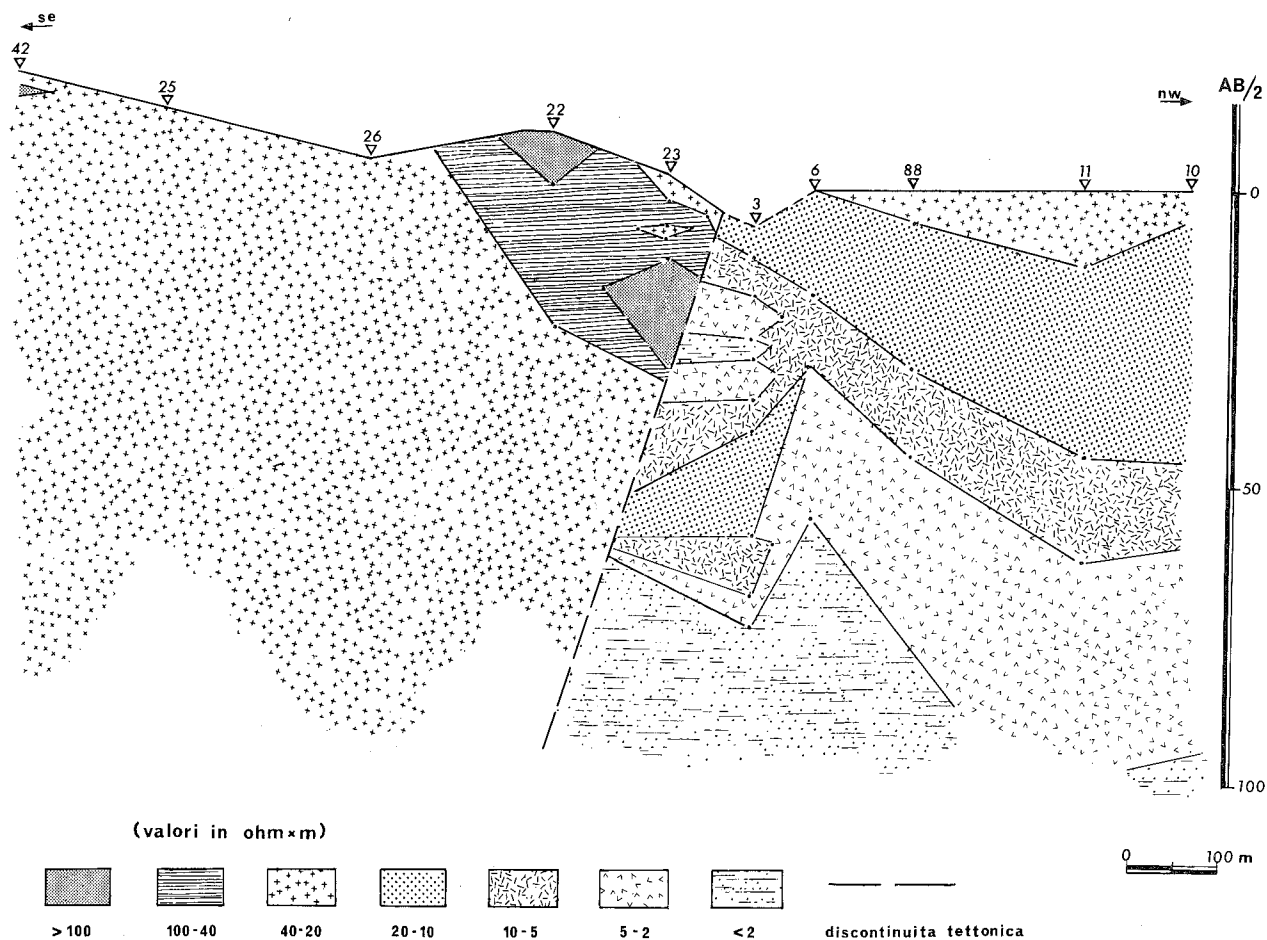


Fig. 3 - Sezione della resistività longitudinale differenziale

Per le formazioni non argillose i rapporti tra i tipi litologici, la porosità ed i relativi fattori di formazione sono visibili in Fig. 4<sup>(2)</sup>.

Relativamente alle formazioni argillose non esiste una correlazione diretta tra fattore di formazione e porosità; infatti la resistività di un livelletto argilloso dell'unità arenaceo-pelitica miocenica contenente acqua bicarbonato-calcica a resistività 11.3 Ohm x m è risultata 7 Ohm x m. E' chiaro che analizzando il dato avvalendoci della formula di ARCHIE si otterrebbe un fattore di formazione inferiore all'unità, quindi una porosità relativa maggiore del 100% (Fig. 4). E' da escludere che la matrice argillosa risulti più conduttiva dell'acqua, poiché questa, disidratata, risulta essere un mezzo fortemente resistivo mentre in presenza di acqua diminuisce la resistività del complesso, comportandosi quindi come un elettrolita. La conducibilità di un'argilla satura risulterà funzione dei seguenti fattori:

$$1) C_{ar} = \frac{1}{\rho_{ar}} = \frac{1}{F \rho_a} + K + B$$

$C_{ar}$  = conducibilità argilla  
 $\rho_{ar}$  = resistività argille

Il termine  $\frac{1}{F \rho_a}$  dipende da F fattore di formazione considerata l'argilla unicamente come roccia mobile con la sua relativa porosità e da  $\rho_a$  resistività dell'acqua contenuta nei pori.

Il termine K dipende dalla concentrazione di ioni positivi mobili che passano in soluzione con l'idratazione<sup>(3)</sup>.

Il termine B dipende dalla conducibilità del complesso pori saturati in acqua-matrice considerati come resistenze in serie.

L'analisi di questi termini ci permette una valutazione del comportamento elettrico delle formazioni argillose. Considerando infatti l'equazione 1) possono verificarsi 3 casi distinti dove i termini che influ-

<sup>(2)</sup>Questa figura, presa da "Geophysique Appliquée a l'Hydrogeologie" di J.L. ASTIER, è stata ricavata dai modelli statistici proposti da WILLYE, GARDENER ed altri AA.

I rapporti, fattore di formazione-porosità, relativi alle rocce addensate o scarsamente cementate risultano compresi nell'intervallo tra la retta 1 e 2 della figura.

<sup>(3)</sup>Nei processi di idratazione i granuli di argilla si caricano negativamente mentre ioni positivi (Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup>, Ca<sup>++</sup>, Mg<sup>++</sup>) passano in soluzione.

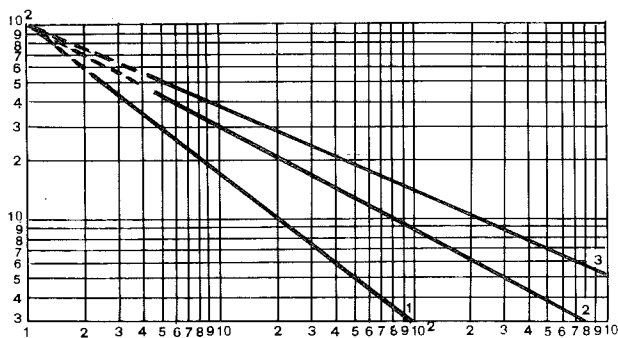


Fig. 4 - Abaco della porosità totale di una formazione acquifera, saturata, non argillosa in funzione del fattore di formazione F

- 1) Formazione mobile
- 2) Roccia consolidata a porosità per interstizi
- 3) Roccia consolidata a porosità per frattura

ranno maggiormente sulla conducibilità del complesso varieranno a seconda delle condizioni.

Nel caso che il termine  $\rho_{ar}$  (resistività del complesso argilloso) risulti inferiore a  $\rho_a$ , la conducibilità risulterà condizionata dal valore di K, tenuto conto che il fattore di formazione di un'argilla al 40% di porosità (considerata unicamente come roccia mobile) risulta circa uguale a 3 (Fig. 4).

Nel caso sopra esposto, risultando  $\rho_{ar} = 7 \text{ Ohm x m}$  e  $\rho_a = 11 \text{ Ohm x m}$ , l'influenza sulla conducibilità del termine  $1/F\rho_a$  risulterà essere circa l'8% contro il 92% del termine K<sup>(4)</sup>.

Poiché in questo caso la conducibilità del complesso dipende essenzialmente dal valore di K funzione della dissociazione elettrolitica, si può utilizzare l'equazione che regola la conducibilità nelle soluzioni senza incorrere in grave errore:

$$2) C_t = \frac{1}{\rho_t} = \frac{X}{\rho_{ar}} + \frac{1-X}{\rho_s}$$

- $C_t$  = conducibilità totale  
 $\rho_t$  = resistività totale  
 $\rho_s$  = resistività scheletro  
 $X$  = frazione percentuale

La possibilità di utilizzare questa equazione risulta di notevole importanza poiché, considerato un qualsiasi campione di sabbia o arenaria più o meno argillosa e ricavando di questa la resistività, la resistività dell'acqua, quella dell'argilla ed il rapporto sabbia-argilla, si potrà ottenere con una buona approssimazione il valore di  $\rho_s$  dove questo non rappresenta la resistività della sabbia bensì quella dello scheletro sabbioso o arenaceo e della relativa acqua interstiziale cioè il prodotto  $F_s\rho_a$ , dove  $F_s$  rappresenta il fattore di formazione che è funzione della porosità e del fattore di cementazione ( $F_s = 1/p^m$ ). E' chiaro che, noto  $F_s$ , si potrà prevedere con una buona approssimazione in base all'equazione 2) la resistività di

<sup>(4)</sup> Le percentuali si riferiscono sempre unicamente ai termini  $1/F\rho_a$  e K in quanto il termine B gioca sempre un ruolo subalterno.

un qualsivoglia complesso arenaceo-pelitico a seconda del tenore d'argilla, considerato ristretto il campo di variazione del fattore di formazione ( $F_s$ ) nella medesima unità litologica.

Diverso risulta il caso in cui la formazione sia impregnata di acqua salata a resistività molto bassa; in questo caso il termine principale sarà  $1/F\rho_a$ ; nel caso della nostra ricerca, in presenza di acque salso-jodiche a resistività 0.16-0.17 Ohm x m, oltre il 90% della conducibilità dipenderà da questo termine influenzando la componente argillosa unicamente in funzione della porosità.

Risulta in questo caso difficile prevedere il valore di resistività della formazione in funzione della percentuale di argilla, poiché questa può contribuire alla costituzione dello scheletro della struttura ed in tal caso diminuirà il fattore di formazione del complesso in virtù dell'aumentata porosità, oppure può occupare gli interstizi della matrice sabbiosa ed il fattore di formazione verrà aumentato a causa della minor quantità d'acqua presente.

In ogni caso si può dire che la presenza dell'argilla non eserciti un ruolo rilevante sul valore di resistività del complesso, soprattutto se la parte sabbioso-arenacea possiede una porosità elevata.

Nel caso in cui i termini K e  $F\rho_a$  dell'equazione 1) risultino della stessa grandezza è impossibile una previsione del valore di resistività in funzione del contenuto argilloso.

## CONCLUSIONI

La metodologia di intervento proposta, pur con i limiti di precisione suddetti, può risultare estremamente utile nelle indagini delle formazioni sabbioso-argillose o arenaceo-pelitiche, qualora le acque permanenti risultino a resistività maggiore rispetto alla frazione argillosa presente.

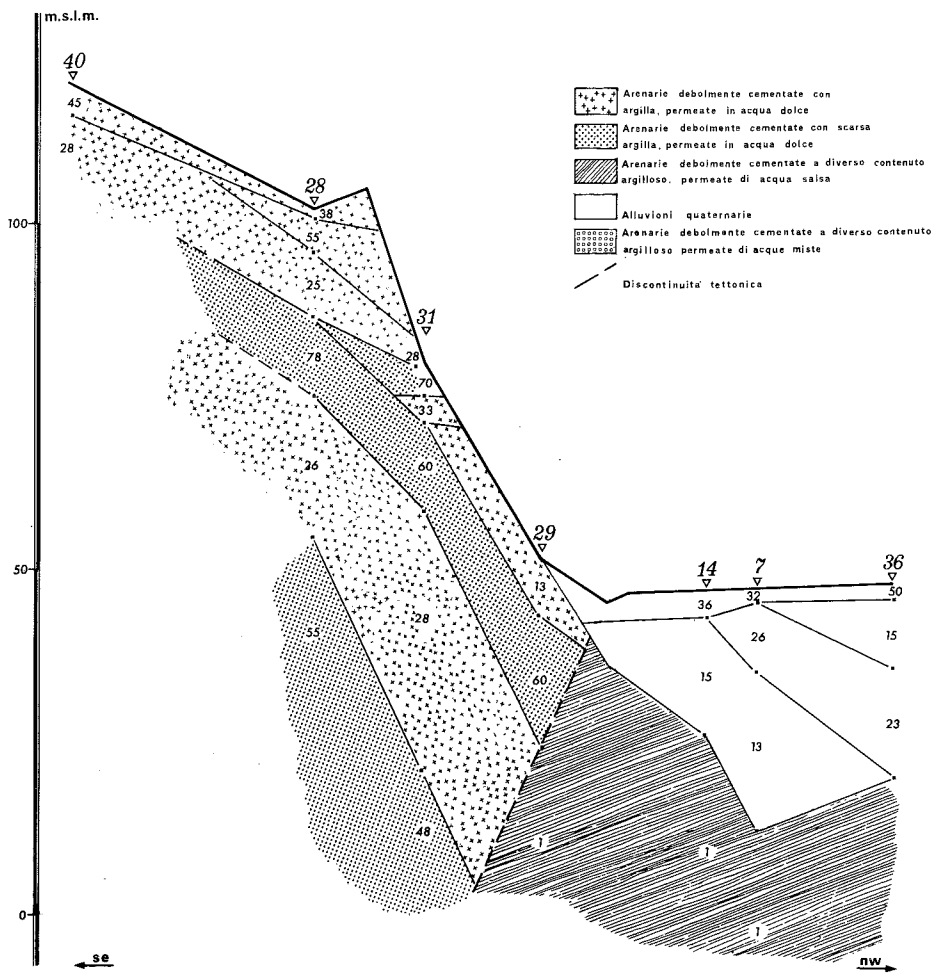
La presente ricerca è stata condotta impiegando la metodologia geoelettrica ed il rilevamento geologico di dettaglio eseguito in affioramento e nella galleria drenante. Sono stati inoltre considerati i dati ricavati dalle stratigrafie dei pozzi presenti nell'area. Per comparazione dei dati ricavati attraverso le due metodologie si è stimato che il complesso resistivo a 60-70 Ohm x m contenga una percentuale di argilla attorno al 5-10% mentre quello a 20-30 Ohm x m ne contenga circa il 30% (Fig. 5).

Sempre in Fig. 5 si può notare come, per l'intero complesso permeato di acqua salso-jodica, la resistività risulti di 1 Ohm x m, anche se la parte superiore di questa unità, dai dati di perforazione del pozzo n. 6, spinto a 77 m di profondità, risulta sensibilmente più argillosa della sottostante.

Si nota inoltre che il fattore di formazione F relativo al complesso impregnato di acqua dolce risulta uguale a 4, mentre risulta circa uguale a 7 in acqua salata, anche se la percentuale di argilla rimane pressoché costante (Fig. 5).

L'indagine elettrica ha dunque permesso di ben evidenziare la discontinuità tettonica al di sotto delle alluvioni anche indipendentemente dalle successive comparazioni con i sondaggi meccanici e con il rilevamento geologico (Fig. 3).

Pur non essendo stato risolto il problema dell'ori-



0 400 m

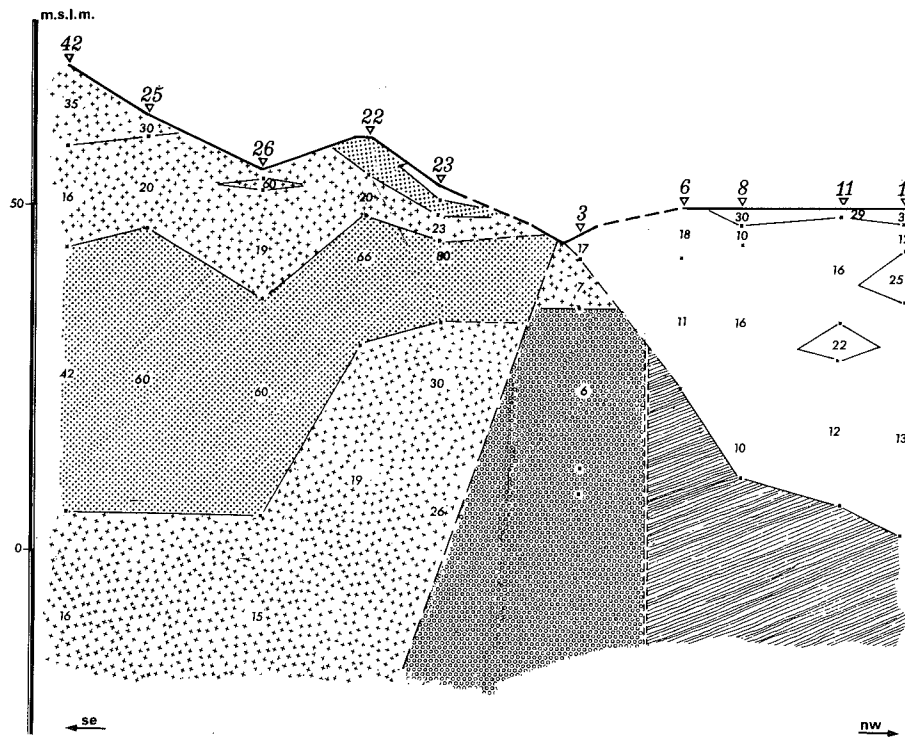


Fig. 5 - Sezioni elettrostratigrafiche

gine e della provenienza delle acque viene definitivamente chiarito il ruolo della discontinuità tettonica suddetta in rapporto alla venuta a giorno delle acque salse (Figg. 3, 5).

#### BIBLIOGRAFIA

ARCHIE G.E. (1942) - *The electrical resistivity log as an aid in determining some reservoir characteristics*. Petroleum Technology, **1**, 55-98.

ASTIER J.L. (1971) - *Geophysique Appliquée a l'Hydrogeologie*. Masson, Paris, 1-267.

GIORGETTI F. & SIGNANINI P. (1976) - *Nuovi contributi al problema delle relazioni tra parametri geofisici ed idraulici nello studio degli*

*acquiferi alluvionali*. Bollettino di Geofisica teorica ed applicata, **19**, 24-35.

JONES P.H. & BUFORD T.B. (1951) - *Electric logging applied to groundwater exploration*. Geophysics, **16**, 342-347.

LEBRETON F. (1958) - *Une mesure pratique du facteur de formation des roches*. Revue de l'I.F.P., **13**, 1538-1543.

MOSETTI F. & MARANZANA F. (1961) - *Sulla legge di variazione della conducibilità elettrica di un corpo poroso in funzione del contenuto in acqua*. Bollettino di Geofisica teorica ed applicata, **3**, 209-214.

SHOPPER J.R. (1966) - *A theoretic investigation on the formation factor-permeability-porosity using a network model*. Geophysical Prospecting, **14**, 301-341.

WILLYE M.R.J. (1963) - *The Fundamentals of Well Log Interpretation*. Academic Press, New York, London, 1-238.

*Manoscritto consegnato nel febbraio 1982*

