

ASSOCIAZIONE GEOTECNICA ITALIANA
QUARTO CONVEGNO DI GEOTECNICA
Padova, Maggio 1959

POSSIBILITA' DI APPLICAZIONE DEI METODI GEOFISICI NEI PROBLEMI POSTI PER LO SCAVO DEI CANALI

J. MOUTON (*)

SOMMARIO - Lo scavo di un canale necessita lo spostamento di enormi volumi di terreno. Ci si deve allora assicurare che il tracciato scelto si trova nella zona dove questo spostamento è il più facile. Il migliore modo per la determinazione di una tale zona e per l'ubicazione delle perforazioni di ricognizione, il cui numero verrà notevolmente ridotto, è la prospezione geofisica, soprattutto mediante le sue tecniche elettrica e sismica a rifrazione. Si indica nella presente nota come i suddetti metodi possono applicarsi allo studio delle situazioni geologiche più correntemente incontrate nei problemi posti per lo scavo dei canali in Italia.

Infine, esempi di applicazione illustrano il contributo importante della geofisica ai progetti di canali della Valle del Rodano in Francia, nelle zone di Donzère Mondragon e Montélimar.

1 - Utilità della prospezione geofisica

Sia che si tratti della derivazione di un fiume per la costruzione di centrali idroelettriche, come della irrigazione di zone da bonifica oppure di apporto d'acqua ad una città, la scelta del tracciato di un canale è fatta con l'intento di realizzare il minor prezzo di costo pur rispettando un certo numero di imperativi tecnici, nelle condizioni proprie ad ogni problema particolare.

Lo scavo di un canale implica lo spostamento di un enorme volume di materiali ed è utile assicurarsi che il tracciato previsto corrisponda effettivamente alla zona in cui i lavori saranno più facilmente realizzabili; quella zona cioè in cui, per lo spessore di terreno interessato, le formazioni mobili sono le più sviluppate e le formazioni compatte ridotte al minimo.

E' utile anche assicurarsi che il tracciato non corrisponda ad una zona instabile, soggetta a frane, o a venute di acqua.

Per i canali che passano in gallerie su una parte del tracciato, bisognerà verificare che queste gallerie siano scavate in un terreno che regge ma che non sia però troppo duro ed evitare nello stesso tempo le formazioni in cui siano possibili delle forti venute d'acqua.

Se sono necessarie opere in montagna, bisognerà verificare che le loro fondazioni siano sicure.

Questi diversi problemi fanno sì che per scegliere in una data zona un tracciato definitivo si ricorre frequentemente, là dove le osservazioni geologiche di superficie non sono sufficienti, ad una campagna

di perforazioni o di scavi. Questi fori costano molto e la zona da loro battuta è obbligatoriamente limitata.

Vi è perciò, spesso, interesse a fare precedere queste perforazioni da uno studio geofisico delle condizioni del sottosuolo. Si otterrà in tal modo in una zona abbastanza vasta l'immagine completa della struttura del sottosuolo e si potrà così fissare il tracciato del canale con ogni cognizione di causa. Le perforazioni interverranno allora in numero molto più ridotto ed in punti scelti in funzione dei risultati della prospezione.

La più grande precisione con la minima spesa e la massima sicurezza saranno ottenute con questa associazione giudiziosa della prospezione geofisica e delle perforazioni.

Esamineremo quindi come i metodi di prospezione possono essere applicati allo studio dei terreni superficiali nelle zone previste per la costruzione di canali e daremo alcuni esempi di detta applicazione.

2 - Possibilità di applicazione

Esamineremo le principali situazioni geologiche che si possono incontrare in Italia nello scavo dei canali e per ogni caso le possibilità della geofisica per risolvere il problema posto.

a) Alluvioni su argille

Il canale è scavato in una piana o vallata alluvionale. Le alluvioni appoggiano su un substrato di argille scagliose, di argille mioceniche, plioceniche o calabriane. (Fig. 1).

E' questa una situazione che si incontra corren-

(*) Dott. Ing. Jean MOUTON.

temente negli Appennini, dal Nord al Sud della penisola come pure in Calabria ed in Sicilia.

Lo spessore di queste alluvioni e l'andamento del tetto delle argille sono agevolmente dati dai S.E. che presentano un ramo discendente corrispondente al passaggio alluvioni resistenti-argille conduttrici e che viene spostato a destra per spessore crescenti delle alluvioni.

Le variazioni di natura delle alluvioni sono d'altronde determinate dallo studio delle variazioni del-

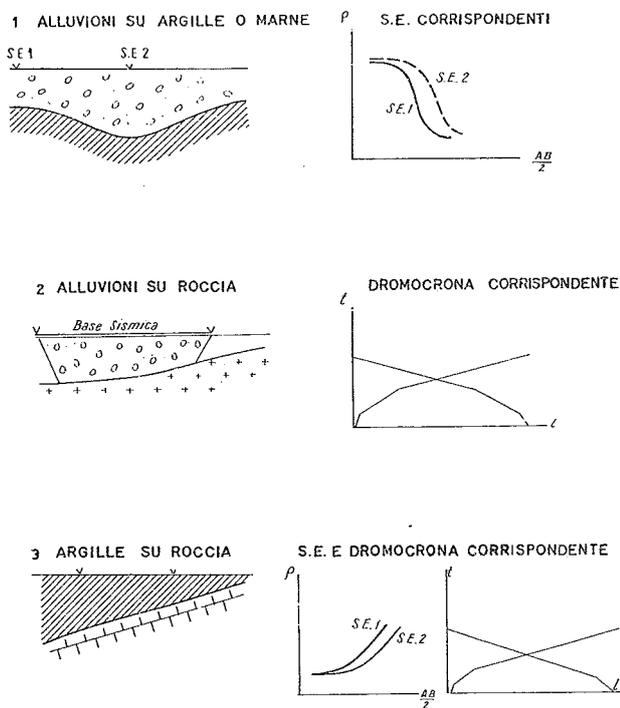


Fig. 1

la loro resistività che è tanto più elevata quanto la proporzione di elementi grossolani è più elevata.

Tali determinazioni sono correntemente eseguite nei problemi di ricerca idrologica e possono essere benissimo applicati agli studi di canali.

b) Alluvioni su roccia

Il canale deve essere scavato in una piana o vallata alluvionale le cui alluvioni permeabili appoggiano su un substrato roccioso (Fig. 1). Pensiamo alle rocce metamorfiche e granitiche della Liguria, della Sardegna, della Calabria e dei Monti Peloritani in Sicilia, nonché ai calcari degli Appennini, delle Puglie, della Sicilia. La profondità e l'andamento di questo substrato possono perfettamente essere dati mediante la sismica a rifrazione (vedi Fig. 1).

Alle alluvioni ed al substrato corrispondono infatti sulla dromocrona rami di pendenze decrescenti la cui posizione permette il calcolo dello spessore delle alluvioni.

c) Argille su rocce

Quando il ricoprimento del substrato roccioso è argilloso (Fig. 1) i S.E. ne possono determinare lo spessore — il ricoprimento essendo conduttore, il substrato resistente — si ottiene una curva con un ramo ascendente la cui posizione è funzione dello spessore del ricoprimento.

d) Canale scavato nelle formazioni piroclastiche

Il caso è abbastanza raro. Non lo si può tuttavia escludere data la sua grande estensione sul bordo occidentale dell'Italia dei vulcanici basaltici (Monti di Bolsena, Monti di Bracciano, Monti Cimini, Colli Albani, Monti di Roccamonfina - Vesuvio, Etna, zona di Lentini) e trachitici (Monte Amiata, Tolfa, Campi Flegrei).

Il tracciato del canale dovrà in tal caso essere ubicato di preferenza nelle zone di tufo terroso, i più facili da scavare ad esclusione delle zone di tufo litoide e di lave (ed eventualmente pozzolane).

In questo caso, la prospezione elettrica con la sua tecnica di profilo di resistività, a profondità costante di investigazione, permetterà di determinare l'estensione delle une e delle altre formazioni dato che sotto il ricoprimento i tufi terrosi hanno una resistività molto più bassa (20-40 ohm.m) dei tufi litoidei, delle pozzolane (50-100 ohm.m) e delle lave (più di 80 ohm.m) (vedi Fig. 2).

e) Determinazione in una formazione sedimentaria eterogenea della zona in cui i terreni sono i più mobili

Pensiamo, parlando di una tale formazione

1) al facies detritico del Pliocene o del Quaternario antico che comprende spesso una alternanza di calcareniti, arenarie, sabbie, argille.

2) alle formazioni mioceniche della serie gessoso solfifera dove alternano marne, gessi, calcari, arenarie e eventualmente sale.

3) alla formazione detta delle « argille scagliose » in cui si trovano in seno alle argille dei blocchi di calcari (alberese) di arenarie, di scisti.

La prospezione elettrica, anche lì, potrà permettere di stabilire con una serie di profili di resistività (vedi Fig. 2) delle carte geologiche a differenti profondità che mettono in evidenza l'estensione delle differenti formazioni.

f) Determinazione della zona di maggiore alterazione della roccia

Benchè non sia un caso corrente il canale (o galleria) può avere da attraversare una zona granitica o metamorfica. Le zone di queste formazioni maggiormente alterate e fessurate, cioè le più friabili, saranno facilmente messe in evidenza dalle misure sismiche (vedi Fig. 2). Le zone alterate presentano

una velocità debole, la roccia sana presenta invece una velocità elevata.

E' allora possibile stabilire una serie di sezioni ed una carta quotata del tetto della roccia sana.

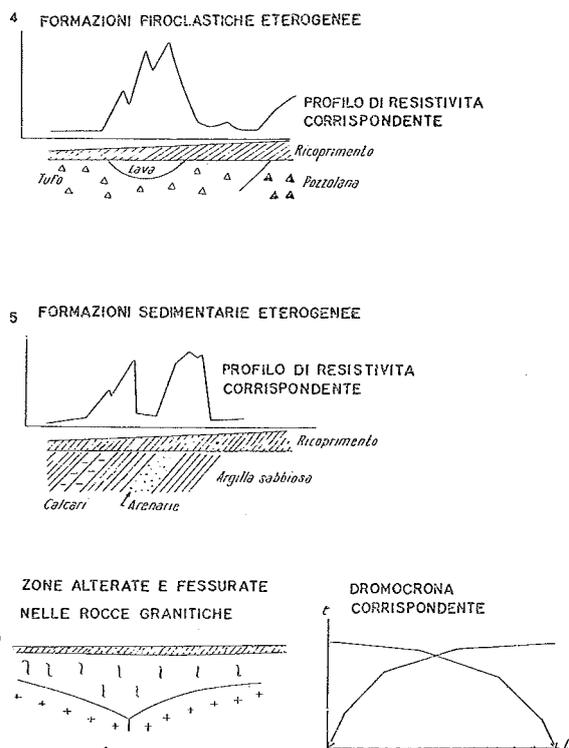


Fig. 2

g) *Variazione di natura del basamento roccioso*

Una campagna elettro-sismica, tarata su degli affioramenti o delle perforazioni può agevolmente indicare le variazioni di natura di un terreno antico sottostante un terreno di ricoprimento (e gli accidenti che lo interessano).

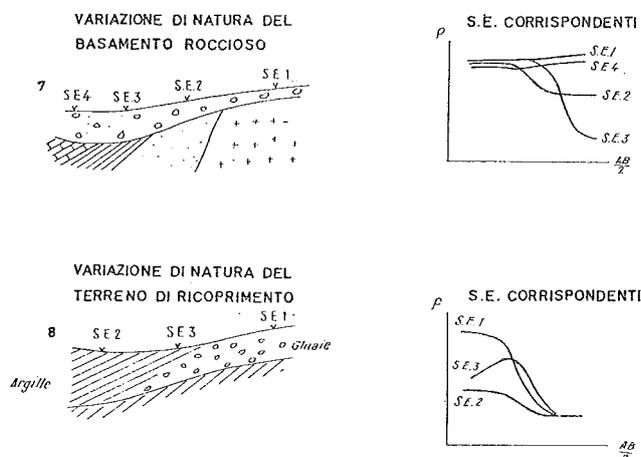


Fig. 3

Per esempio, com'è indicato sulla Figura 3 il passaggio da rocce granitiche ad arenarie, poi ad argille poi a calcari. Le differenti formazioni si diffe-

renziano l'una dall'altra sia per la loro resistività (graniti e calcari sono resistenti, le arenarie hanno una resistività media, le argille sono conduttrici), sia per la velocità di propagazione delle onde sismiche (alta velocità per i graniti, media per calcari e arenarie, deboli per argille). Notiamo, d'altronde, che in tutti i casi complessi vi sarà interesse ad associare i due metodi di prospezione.

h) *Variazione di natura dei terreni di ricoprimento*

Il passaggio da un ricoprimento argilloso ad un ricoprimento di sabbie e ciottoli o di detriti di falda sarà determinato mediante misure elettriche, il primo essendo notevolmente più conduttore del secondo. Tutti gli intermediari sono possibili e si può studiare il passaggio graduale da un tipo all'altro (vedi Fig. 3) ed eventualmente lo spessore relativo di entrambi.

3 - *Esempi di applicazione nella vallata del Rodano*

La *Compagnie Nationale du Rhone* (C.N.R.) si è dedicata alla sistemazione del Rodano da Ginevra sino ad Avignone mediante la costruzione di canali navigabili scavati nel lungo deposito alluvionale apportato dalle acque, e di centrali idroelettriche che usufruiscono di forti pendenze e di rilevanti portate.

Questi progetti evidentemente sono stati realizzati solo con lo spostamento di enormi volumi di materiale ed il costo dei lavori da effettuare per scavare

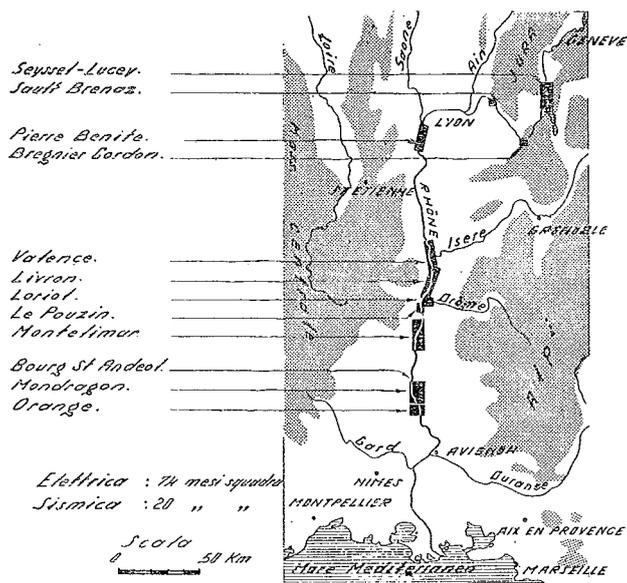


Fig. 4

canali della lunghezza di diverse decine di chilometri è da considerare come proibitivo non appena essi sono da eseguire nella roccia. Risultava così necessario studiare un tracciato svolgente esclusivamente in terreni sciolti (alluvioni o sabbie).

Una intensa campagna di sondaggi meccanici avrebbe determinato forti ritardi e richiesto forti spese.

La prospezione geofisica ha potuto effettuare lo studio in maniera rapida ed economica ed è stata utilizzata in un modo sistematico durante questi dieci ultimi anni. La Figura 4 indica le diverse prospezioni geofisiche eseguite. Tra i numerosi risultati di rilievo, abbiamo scelto quelli ottenuti negli impianti di Donzère Mondragon e di Montélimar.

Impianto di Donzère Mondragon

Le caratteristiche del progetto, quale fu realizzato, è riportato sulla Figura 5, la derivazione presenta

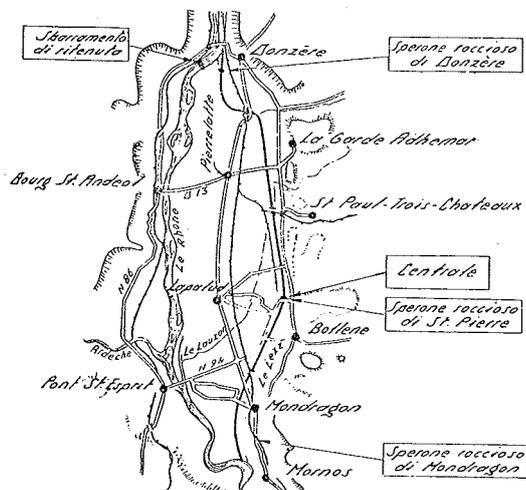


Fig. 5

una lunghezza totale di 28 km, di cui 17 km per il canale di derivazione e 11 per il canale di scarico. Una prima ricognizione mediante perforazioni di

delle argille blu plioceniche sino a quando una di queste perforazioni ubicata sull'asse del futuro canale di scarico incontrò a Mondragon, ad una decina di metri di profondità, una roccia costituita da arenarie calcaree cretacee: tale incidente fu increscioso in quanto la caduta allo stabilimento doveva essere di 22 metri di altezza e queste arenarie non potevano assolutamente essere scavate dalle draghe.

Si ricorse allora alla geofisica per determinare la importanza della roccia così incontrata ed i suoi limiti verso Ovest. In seguito la prospezione fu generalizzata per determinare lo spessore e la natura delle alluvioni sovrastanti le argille nonché lo spessore dei limi superficiali.

Il primo problema conveniva alla prospezione dato che ci si trovava di fronte ad un substrato argilloso o roccioso e che la resistività delle arenarie calcaree è stata trovata da 1,5 a 3 volte superiore a quella dell'argilla. La ricognizione del tracciato progettato del canale di scarico fu eseguita mediante sondaggi elettrici (S.E.) con la densità di una stazione per ettaro, cioè un totale di 200 S.E.

Due S.E. caratteristici sono stati riportati sulla Figura 6. Il S.E. 8 corrisponde ad un substrato di argille sabbiose plioceniche la cui resistività di 30 ohm.m ha variato poco nella Vallata del Rodano. Il S.E. 1 è stato eseguito in corrispondenza del foro che incontrò le arenarie calcaree e si constata che la loro resistività è almeno di 60 ohm.m. Su queste formazioni poggiano le alluvioni la cui parte resistente (sabbie, ghiaie, ciottoli) ha una resistività di 250 ohm.m e forma la gobba dei diagrammi. I limi all'inizio dei S.E. sono caratterizzati da basse resistività (26-30 ohm.m).

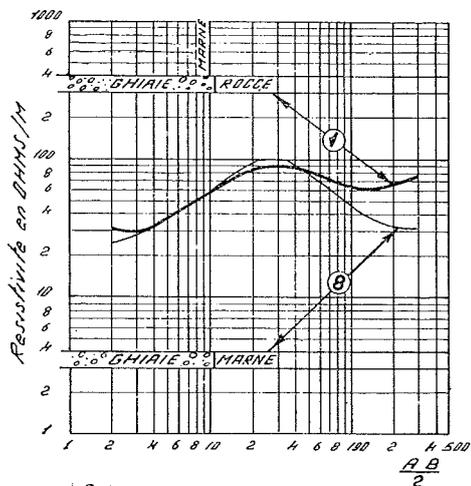
Fu così messo in evidenza lo sperone roccioso di Mondragon di uno sviluppo di 2.500 metri rappre-

S.E. 1 su rocce di Mondragon.

S.E. 8 su marna

S.E. 351 su rocce di S. Pierre.

S.E. 307 su marna



Previsione elettrica al s.e. 8 : marna a 13 m

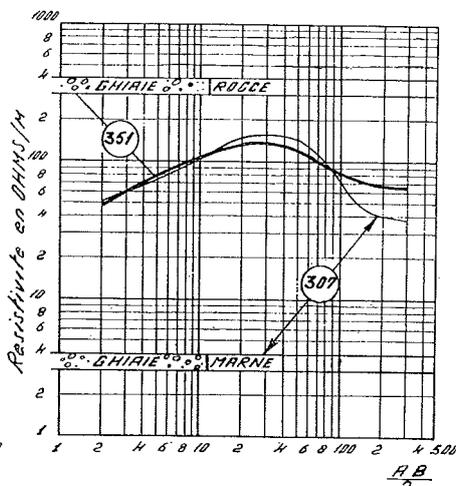


Fig. 6

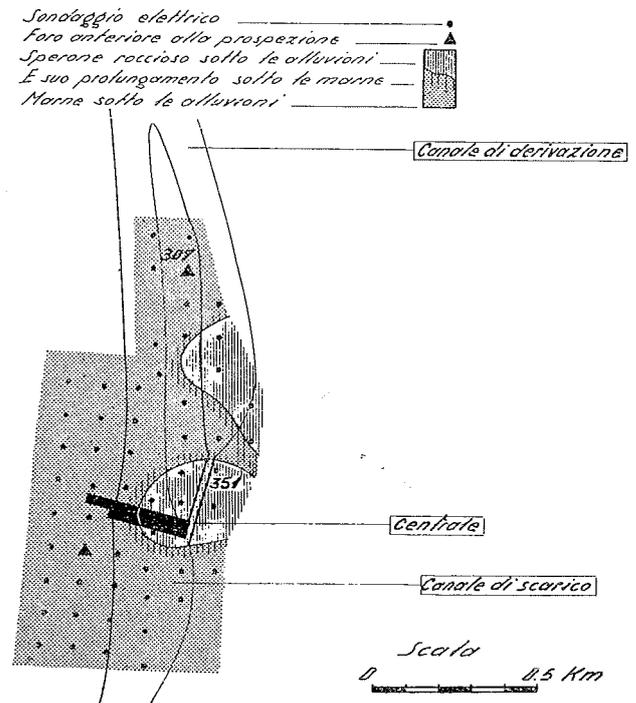
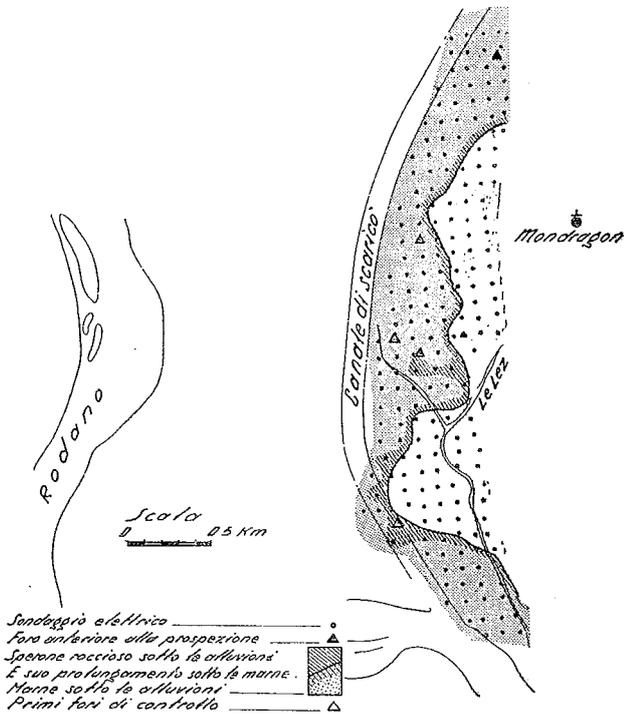
stanti tra di loro 1 Km lungo il tracciato progettato rivelò in un primo tempo che le alluvioni del Rodano, limi, sabbie, ghiaie, poggiavano uniformemente su

sentato sulla Figura 7. Le alluvioni, il cui spessore non supera una decina di metri, sovrastano la roccia coperta o non di una piccola intercalazione di ar-

gille. Le zone tratteggiate corrispondono allo sprofondamento della roccia sotto le argille tra 10 e 15 metri di profondità.

Le perforazioni conseguenti hanno confermato per-

dello sperone meridionale. Tanto che si è potuto proprio dire che la roccia di Saint Pierre aspettava veramente di essere utilizzata per il progetto idroelettrico.



fettamente i risultati della prospezione elettrica con un errore medio sulla valutazione dello spessore delle alluvioni di circa 10%. In seguito allo studio si stabilì un nuovo tracciato del canale di derivazione tale da contornare lo sperone.

A seguito di tali risultati, fu deciso di ricercare, sulla parte a valle del canale di derivazione, se i fori di ricognizione avevano lasciato sfuggire uno sperone roccioso suscettibile di servire da fondamento allo stabilimento ed alla chiusa.

Una ricognizione rapida mediante sondaggi elettrici del tracciato di questo canale fu eseguita. Detta ricognizione portò al ritrovamento della roccia di Saint Pierre, tra due perforazioni consecutive. Sulla Figura 6 sono stati riportati due S. E. di questo settore. Il primo S. E. 307 è ubicato sulle argille a 35 ohm.m ed il secondo S. E. 351 sulla roccia a 65 ohm.m.

I risultati sono riportati sulla Figura 8. L'avanzamento roccioso posto lateralmente all'asse previsto del canale di derivazione, comprende due speroni nascosti da 10 metri di alluvioni. I fori di controllo e i lavori di scavo che seguirono hanno verificato l'andamento del bed-rock rappresentato sulla tavola, come pure l'affondamento rapido delle arenarie calcaree sotto le argille in conformità alle previsioni della prospezione elettrica ed in particolar modo sul fianco Sud

Impianto di Montélimar

La sistemazione di Montélimar trovasi immediatamente a monte di quella di Donzère-Mondragon. Si trattava di determinare nella Pianura di Montélimar il tracciato più favorevole per i canali di derivazione e di scarico di questo nuovo impianto.

La ricognizione generale è stata eseguita nel 1947-1948 mediante 507 sondaggi elettrici con una densità di un S. E. per 4,5 ettari, su una superficie di 23 km². Si è così stabilito in tutta la pianura una carta quotata del tetto del substrato delle alluvioni.

Un secondo documento è stato egualmente elaborato: precisamente la carta geologica di questo substrato per il confronto dei gruppi di S. E. che presentano, in fine di diagrammi, delle resistività analoghe a quelle dei S. E. parametrici eseguiti sugli affioramenti dei terreni contornanti la pianura.

Questa carta ha mostrato che alluvioni appoggiavano su una roccia costituita sia da calcari marnosi cretacei a 100-250 ohm.m sia da marne aptiane compatte a 8-10 ohm.m sia da sabbie ed arenarie mollassiche a 12-40 ohm.m.

Nella regione Sud la presenza di questo substrato roccioso a piccola profondità poneva numerosi problemi per il tracciato del canale di scarico.

Infatti uno sperone di calcare urgoniano compatto scoperto a Chateauneuf mediante la ricognizione

elettrica aveva obbligatoriamente ubicato il luogo di restituzione di questo canale nel Rodano. Il substrato delle alluvioni tra la centrale ed il fiume era costituito da un terreno a 12 ohm.m; indicato dalla prospezione elettrica come arenarie molassiche. I primi fori di controllo hanno riscontrato dette arenarie ed hanno mostrato che si è in presenza di due qualità di terreno di proprietà meccaniche differenti: arenarie tenere che possono essere disgregate dai mezzi meccanici comuni e arenarie dure impossibili a scavarsi.

La Fig. 9 si riferisce a 3 S.E. caratteristici di

con un errore dell'ordine del 10%. Ma questi diagrammi mostrano che le arenarie tenere o dure hanno la stessa resistività, cioè 12 ohm.m e non si possono quindi differenziare mediante prospezione elettrica.

E' stata allora applicata la sismica a rifrazione per provare di risolvere questo problema. Delle misure di taratura sui fori hanno mostrato che le velocità vanno da 2000 a 2500 m/s per le arenarie tenere e da 2500 a 3000 m/s per le arenarie dure e, di conseguenza, fu intrapreso uno studio sistematico.

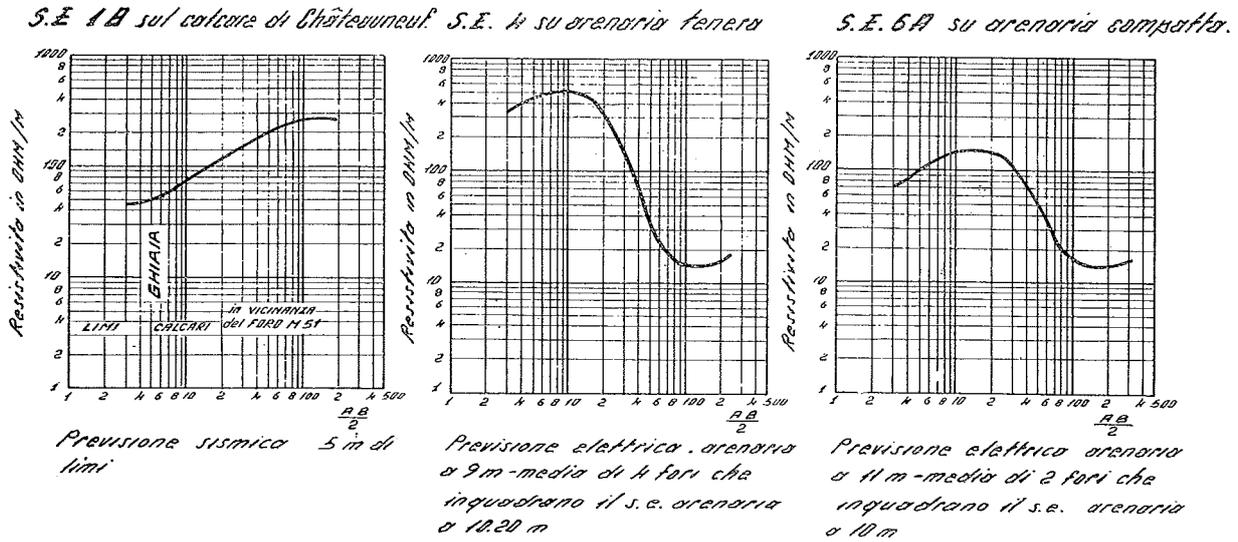


Fig. 9

questo studio del canale di scarico. Il S.E. 1 B è sullo sperone calcareo di Chateauneuf; inizia nei limi a 45 ohm.m per raggiungere i calcari a 270 ohm.m.

Due basi sismiche sono riportate sulla Figura 10. La base M 104 trovasi sulle arenarie dure a circa 3000 m/s e la base M 128 sulle arenarie tenere a 2200 m/s. Notiamo che avendo le marne aptiane una

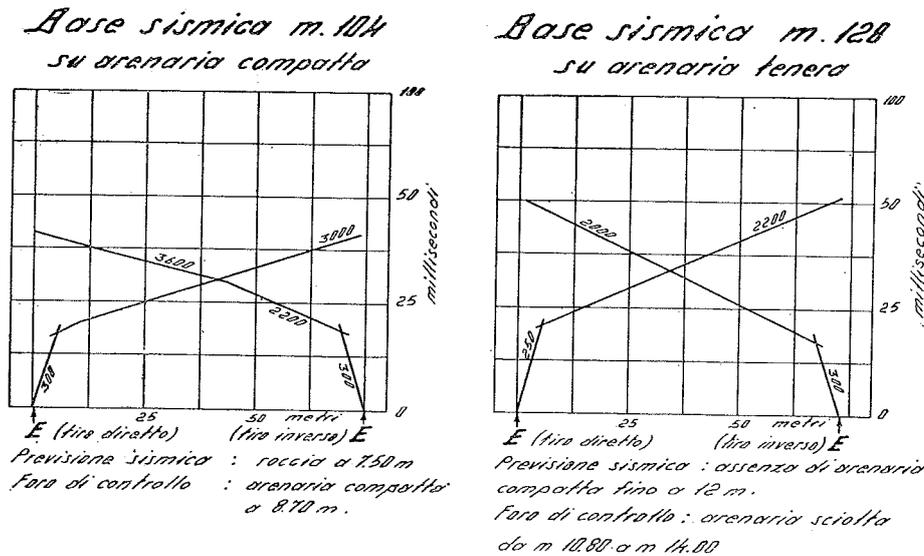


Fig. 10

I S.E. seguenti 4 e 6 A sono sulle arenarie. I fori vicini eseguiti ulteriormente hanno confermato le valutazioni elettriche della profondità della roccia.

velocità da 1800 a 2200 m/s vi potrebbe essere stata ambiguità geologica tra marne ed arenarie se la sismica fosse stata utilizzata da sola, l'elettricità ha

permesso di eliminare a priori questa indeterminazione durante la ricognizione.

La prospezione sismica è stata eseguita alla fine 1949 ed ha comportato un totale di 265 basi di una lunghezza media di 75 m e disposte su profili distanti tra loro di 60 m circa. I risultati sono riportati sulla Figura 11. La striscia di terreno prospettata mediante sismica appoggiata a Sud sullo sperone calcareo di Chateauneuf ed ha 1750 m di

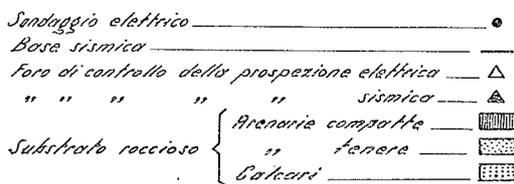


Fig. 11

lunghezza per 500 m di larghezza. Si rimane sorpresi dalla complessità delle forme delle arenarie dure il cui orientamento generale è Est-Ovest ed i cui contorni sono stati spesso difficili da seguire.

Le profondità sono state valutate soltanto sulle arenarie dure ed i valori dato si riferiscono allo spessore globale delle alluvioni e delle arenarie tenere sovrastanti le arenarie dure. E' interessante ren-

dersi conto del valore della interpretazione dal duplice punto di vista della natura del substrato e della profondità delle arenarie dure.

Su un totale di 34 fori di controllo, sono stati constatati unicamente cinque discordanze in quanto alla natura prevista delle arenarie. Si può d'altronde notare che uno di questi, il quale ha attraversato delle arenarie dure è ubicato presso un limite, gli altri fori trovansi in una stessa zona di 50 x 125 metri particolarmente complessa a Nord dello studio e che comprende sottili banchi di arenarie marnose abbastanza dure in arenarie tenere. Aggiungiamo che le arenarie a cemento calcareo hanno potuto essere individuate anche se presentano debolissimo spessore (0,30 a 0,50 m).

Le profondità delle arenarie dure sono state valutate con un errore, generalmente in meno, da 10 a 20%, per delle profondità da 8 a 13 m.

In conclusione, è certo che la risoluzione di questo problema, il quale avrebbe richiesto un numero proibitivo di perforazioni, è stata portata a buon termine mediante la geofisica con una buona conferma dei risultati.

4 - Conclusioni

Abbiamo visto come la prospezione geofisica può risolvere rapidamente ed economicamente il problema dello studio dei terreni lungo il tracciato di un canale. Questa prospezione è stata sistematicamente applicata nelle Valli del Rodano e del Reno per un totale complessivo di oltre cento mesi squadra.

Desideriamo mettere in evidenza un altro vantaggio di questi metodi e precisamente quello di fornire dati relativi a superfici continue su larghe zone mentre i dati forniti dalle perforazioni hanno carattere puntuale.

Sottolineiamo infine che il problema del tracciato optimum dei canali è soltanto uno degli aspetti dell'applicazione dei metodi geofisici nel campo dell'Ingegneria Civile.

Numerosi altri problemi sono spesso trattati mediante la geofisica:

- la ricerca dei terreni da fondazioni per le opere d'arte, gli sbarramenti, le officine, le centrali elettriche.

- il tracciato delle faglie e delle zone disturbate che interessano i terreni in posto, sotto i terreni di ricoprimento.

- la studio sotto un ricoprimento alluvionale o detritico della natura e della tettonica dei terreni che costituiscono la ritenuta di una diga.

- la ricognizione dei terreni lungo il tracciato delle strade per determinare la natura del fondo stradale.

- la ricerca di materiali di costruzione, sabbie, ghiaie, calcari, gessi ecc....

- lo studio dei problemi posti dalle gallerie o condutture forzate; compattezza e possibilmente na-

tura delle rocce che si incontreranno seguendo i profili delle opere, determinazione dello stesso spessore dei detriti di falda presso gli sbocchi della galleria, delle zone alterate o fessurate, ecc....

SOMMAIRE - Le creusement d'un canal nécessite le déplacement d'énormes volumes de terrain. On doit donc s'assurer que le tracé choisi pour le canal est situé dans la zone où ce déplacement est le plus aisé. La meilleure façon pour déterminer une telle zone, pour placer au mieux les forages de reconnaissance et en réduire considérablement le nombre est la prospection géophysique, principalement les techniques électrique et sismique réfraction.

La présente relation indique comment on peut appliquer ces méthodes à l'étude des situations géologiques les plus couramment rencontrées en Italie pour le creusement des canaux.

Enfin, des exemples d'application illustrent l'importante contribution de la géophysique aux projets de canaux de la Vallée de Rhône en France, dans les zones de Donzère Mondragon et de Montélimar.

Infine, nello studio delle frane, la prospezione geofisica può, in alcuni casi, permettere la determinazione della topografia sotterranea del piano argilloso in moto.

SUMMARY: The digging out of a canal requires the removing of enormous masses of ground. We must be sure that the selected tracing is in the area where this removing is the easiest. The best manner for determining such an area and for setting of recognition drillings, which number will be considerable reduced, is geophysics, essentially by mean of electrical and seismic refraction surveys.

The present relation shows how we may employ these methods for studying the geological situations more currently met in Italy in the problems for digging canals.

Endly, examples of application show the important contribute of geophysics to the canals projects of the Rhone Valley, in France, in the Donzère Mandragon and Montélimar areas.