

Metodi geofisici di controllo dei terreni e delle rocce di fondazione

E. CARABELLI *

SOMMARIO: Vengono descritti i più recenti perfezionamenti conseguiti nelle applicazioni dei metodi di misura geofisici per il rilievo delle caratteristiche dei terreni e delle rocce di fondazione.

Riprendendo l'argomento della misura della velocità delle onde elastiche trasversali, illustrerò brevemente il metodo di misura e la strumentazione che l'ISMES ha messo a punto per rilievi di tipo cross-hole in terreni sciolti; questo metodo è stato studiato in collaborazione e per conto dell'ENEL (Centro Ricerche Idrauliche e Strutturali di Milano e Direzione Costruzioni di Roma).

La generazione delle onde elastiche trasversali viene ottenuta per mezzo di un trasduttore costituito da un generatore elettrodinamico e da un sistema di punte fisse e mobili, comandate da aria compressa, per il bloccaggio dello strumento alla tubazione di rivestimento del foro. Il generatore elettrodinamico, denominato « GEOS » è costituito da un cilindro cavo, chiuso da un coperchio e contenente due bobine tra le quali è inserita una molla che spinge una delle bobine contro il fondo e l'altra contro il coperchio (figura 1).

Alimentando l'una o l'altra delle bobine con forti scariche di corrente si ottengono delle forze impulsive dirette verso l'alto o verso il basso le quali generano nel terreno dei treni di onde trasversali.

L'apparecchiatura di ricezione e di misura è costituita da geofoni con dispositivi di bloccaggio al rivestimento dei fori, da un « averager » digitale e da un oscilloscopio con macchina fotografica Polaroid.

L'averager permette di sommare i segnali ricevuti e prodotti da una serie di impulsi generati verso il basso o verso l'alto; l'inversione delle onde trasversali permette, come è noto, di migliorare l'apprezzamento dell'istante di arrivo delle onde stesse ai ricevitori.

In figura 2 sono riprodotti due esempi di registrazioni oscillografiche ottenute con l'impie-

go del GEOS e dell'averager; si può notare che l'ampiezza delle onde longitudinali, rappresentate da lievi ondulazioni delle tracce nel tratto praticamente rettilineo e che costituiscono un disturbo per queste misure, è trascurabile perché il GEOS dà impulsi notevolmente direttivi ed è quindi molto efficiente come generatore di onde trasversali.

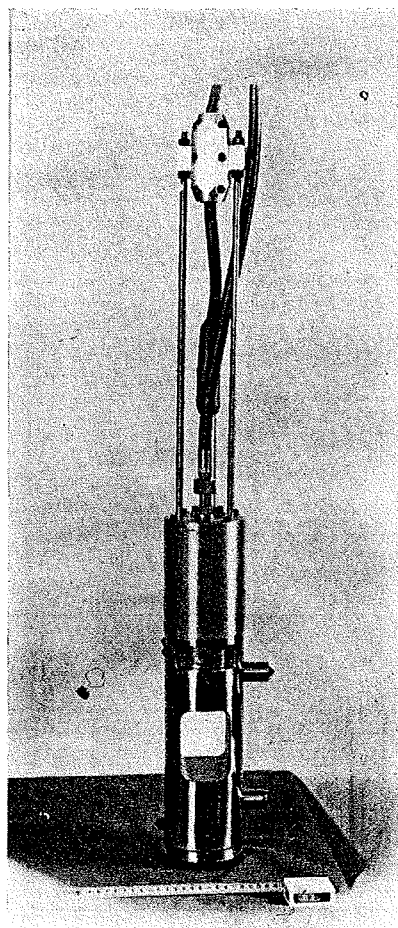


Fig. 1

La misura della velocità delle onde trasversali interessa anche nello studio delle caratteristiche degli ammassi rocciosi. La tecnica di mi-

Prof. ing. Edmondo CARABELLI, ISMES, Istituto Sperimentale Modelli e Strutture, Bergamo.

sura che l'ISMES sta mettendo a punto esclude l'impiego di sostanze esplosive; sia per le onde P che per le onde S sono stati sperimentati trasduttori di piccolo diametro da impiegarsi in fori non rivestiti e di potenza sufficiente a parmettere il rilievo delle velocità su distanze di alcune decine di metri.

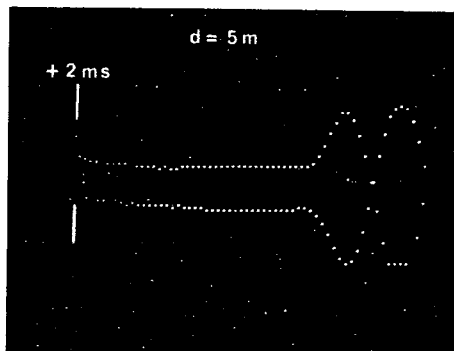
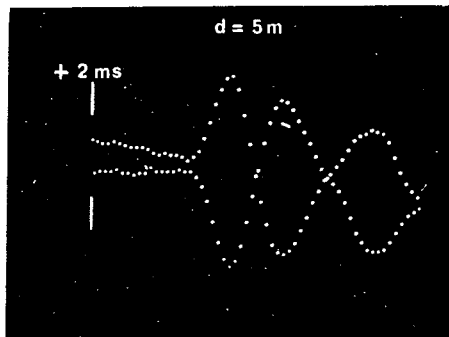


Fig. 2

Per distanze inferiori, fino ad un massimo di 5 m circa, sono stati da tempo impiegati, nelle misure dirette di velocità delle onde P nelle rocce e nel calcestruzzo, dei trasduttori piezoelettrici; queste misure, del tipo « cross-hole », vengono di norma abbinate a rilievi di carotaggio sonico lungo le perforazioni.

Una importante applicazione dei metodi sonici in rilievi di dettaglio riguarda le indagini di controllo delle operazioni di risanamento delle rocce.

Nella figura 3 sono riportati i risultati ottenuti prima e dopo l'esecuzione di iniezioni di consolidamento della roccia (calcare) di una galleria rivestita in calcestruzzo.

I diagrammi sono relativi a misure eseguite in una coppia di fori verticali, F2 e F3, perforati nella platea della galleria: i diagrammi del carotaggio sonico rilevati lungo i fori F2 e F3 sono indicati con « cs » il diagramma del ri-

lievo « cross hole » della velocità sonica longitudinale tra i due fori è indicato con « mdv ».

Il confronto tra i diagrammi tratteggiati, ottenuti prima, e quelli a linea intera, ottenuti dopo il consolidamento, permette di valutare il notevole miglioramento delle caratteristiche di compattezza della roccia; ancora più evidenti

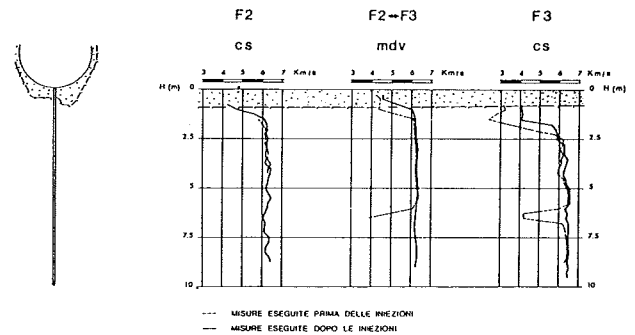


Fig. 3

risultano gli effetti del consolidamento dal confronto delle registrazioni oscillografiche ottenute nel corso dei rilievi.

Le misure di carotaggio sonico sono state largamente impiegate per lo studio delle proprietà elastiche e dello stato di integrità delle rocce e dei manufatti in calcestruzzo; per l'interpretazione dei risultati vengono utilizzati sia i diagrammi della velocità delle onde longitudinali sia le registrazioni oscillografiche dei segnali sonici. Questo metodo ha portato ad interessanti risultati. Tra di essi sono da considerare quelli ottenuti nel controllo della zona di contatto tra roccia e fondazione ed il calcestruzzo delle dighe; in qualche caso i rilievi sonici hanno messo in evidenza la presenza di uno strato di roccia degradata dall'impiego di cariche eccessive di esplosivo nel corso degli scavi.

Altri rilievi di carotaggio sonico hanno permesso di localizzare con precisione il contatto tra due rocce di diverso tipo.

Nelle figure 4 e 5 sono riportati i diagrammi e gli oscillogrammi ottenuti in due fori A e B paralleli, distanti circa 16 m ed attraversanti la zona di contatto tra due formazioni di roccia costituite da calcare dolomitico e da marna.

La zona di passaggio è compresa tra le quote 362 e 363 nel foro A e tra 359 e 361 m nel foro B; essa è ben visibile sia sui diagrammi della velocità sia sugli oscillogrammi. In particolare questi ultimi mostrano delle attenuazioni, degli sfasamenti e delle variazioni di frequenza

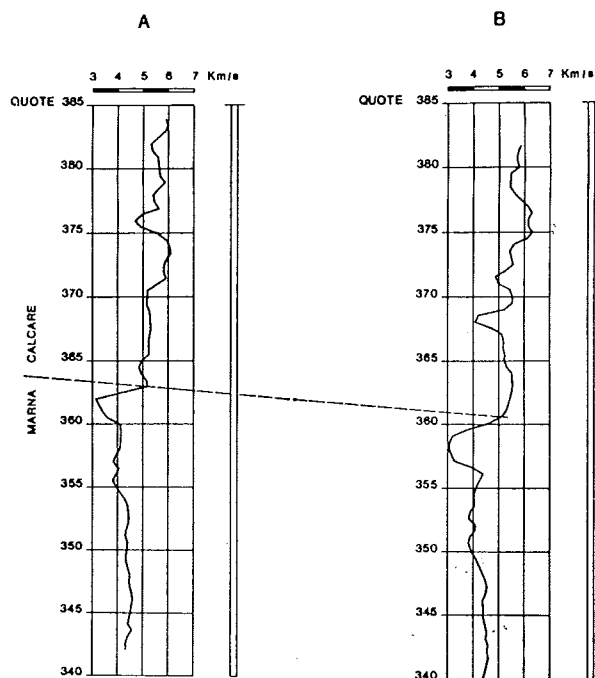


Fig. 4

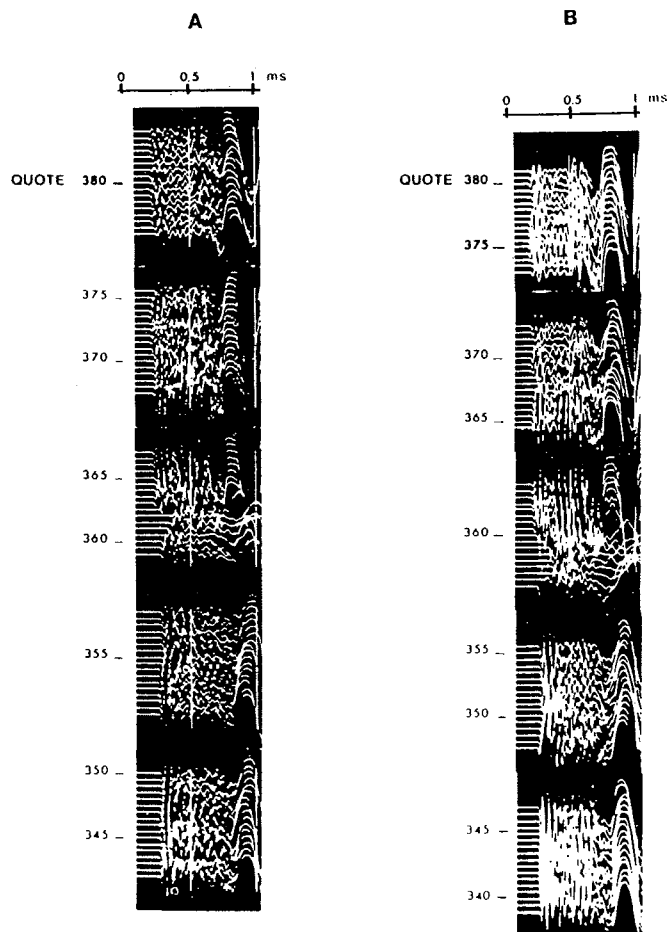


Fig. 5

dei segnali sonici corrispondenti alla presenza di roccia alterata per lo spessore di alcuni metri.

Sono stati anche sperimentati i carotaggi elettrici; i risultati sono stati confrontati con quelli dei rilievi sonici.

Nella figura 6 sono riprodotti i diagrammi sonici ed elettrici ottenuti in due fori di piccolo diametro (55 mm) perforati nella roccia di fondazione di una grande diga. La roccia era costituita da scisti serpentinosi. L'analogia tra i diagrammi della resistività elettrica in scala logaritmica, e della velocità sonica, in scala lineare, è assai evidente.

Dato che la formazione rocciosa è costituita da un solo tipo di roccia, le variazioni della resistività elettrica sono correlate alle variazioni di porosità della roccia che era saturata dall'acqua; poiché anche le velocità soniche sono funzioni della porosità, ne deriva, in generale, una notevole similitudine tra i due tipi di diagrammi; in linea di massima si può quindi affermare che nella roccia esaminata ad aumenti della velocità sonica corrispondono aumenti della resistività elettrica e viceversa.

I rilievi sonici, sia di carotaggio sia del tipo « cross-hole » sono stati recentemente perfezionati registrando i segnali su nastro magnetico e riproducendo le registrazioni in laboratorio su oscillografo a fibre ottiche con diverse scale dei tempi e diversi tipi di rappresentazione. Eseguendo la registrazione oscillografica con il metodo « a densità variabile », secondo il quale le semionde positive del segnale danno un tratto scuro sull'oscillogramma e quelle negative un tratto chiaro, si ottengono delle diagrafie di tipo fac-simile che mostrano con eccezionale evidenza le caratteristiche dei segnali e quindi della roccia da essi attraversata.

Il lavoro con questo metodo è stato iniziato da poco ma è stata già raccolta una massa di risultati di grande interesse.

A titolo di esempio è stata riprodotta in figura una diagrafia ottenuta con rilievi di carotaggio sonico in un foro della profondità di una decina di metri perforato nella roccia di una centrale in caverna in corso di scavo. L'asse verticale delle figure rappresenta le profondità, quello orizzontale i tempi di percorso delle onde; il tempo totale è di circa 13 ms.

Le strisce verticali chiare e scure molto evidenti rappresentano le onde di Stoneley (od onde di colpo di ariete) nella perforazione; le onde longitudinali e trasversali risultano compresse nella prima parte della diagrafia e sono rap-

presentate dalle righe verticali di piccolo spessore. Sulla diagrafia sono molto evidenti degli allineamenti inclinati, sia verso il basso che verso l'alto, di segnali; essi corrispondono alle

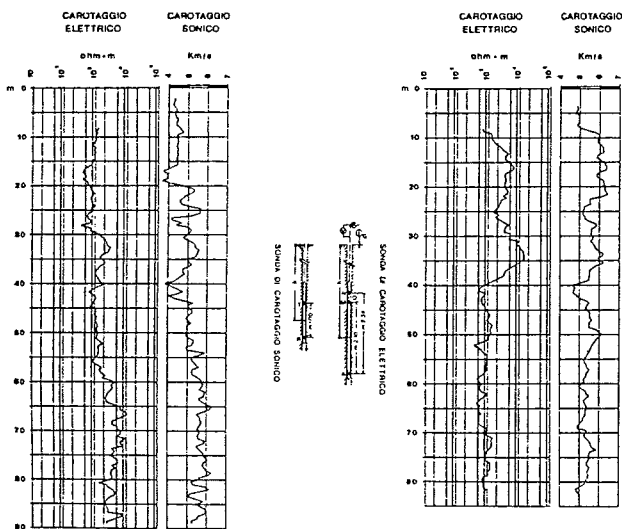


Fig. 6

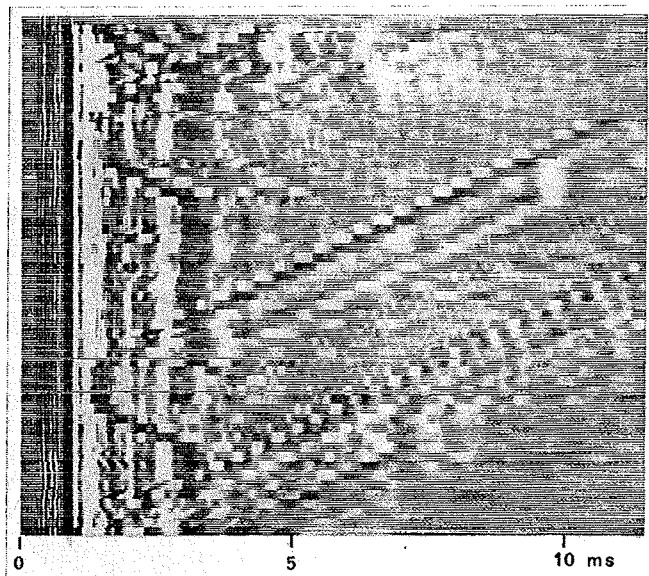


Fig. 7

riflessioni delle onde di Stoneley dovute alla presenza di fessure; gli allineamenti visibili in basso sono le riflessioni dovute al fondo del foro. Nella parte superiore della figura è presente roccia alterata dallo scavo segnalata dalla presenza di riflessioni e dall'aspetto confuso della rappresentazione oscillografica.

Per mezzo di diagrafie di questo tipo, le quali possono segnalare ogni minima variazione nello stato di integrità della roccia, si potranno controllare sia l'eventuale decadimento dovuto alla prosecuzione dei lavori di scavo sia il miglioramento conseguente all'esecuzione di iniezioni di consolidamento.

Per il controllo della roccia di fondazione delle dighe sono state installate delle reti di ricevitori cementati nei fori e quindi solidali alla roccia; le misure della velocità delle onde P vengono eseguite periodicamente con l'impiego di detonatori elettrici.

Recentemente si è deciso di utilizzare la rete di ricevitori come rete di ascolto delle eventuali emissioni acustiche della roccia di fondazione di una diga durante il primo invaso del bacino e durante i successivi cicli di carico e di scarico; i trasduttori sono stati collegati ad un sistema di registrazione dei segnali.

Questo esperimento è attualmente in corso; esso viene condotto in stretta collaborazione con l'ENEL-CRIS al quale dobbiamo riconoscere il merito di avere promosso e favorito l'applicazione dei metodi di rilievo geofisici nello studio delle caratteristiche delle rocce di fondazione.

SUMMARY

Geophysical methods in foundation engineering: some recent developments

In the present paper the most recent improvements obtained in the field of applied geophysics are illustrated in connection with their use in foundation engineering as measuring techniques of rocks and soils characteristics.