

Esperienze geosismiche (*)

(*Geoseismic researches*)

M. MIGANI (**)

Ricevuto il 20 Giugno 1972

I. — VELOCITÀ DELLE ONDE ELASTICHE LONGITUDINALI IN MEZZI SOTTOPOSTI A PICCOLE VARIAZIONI DI CARICO

RIASSUNTO. — Si espongono brevemente i risultati di una esperienza eseguita allo scopo di rilevare e precisare, con misure in loco, come la velocità delle onde sismiche possa variare in mezzi sottoposti a piccoli carichi. Vengono pure riportati altri esempi di variazioni di velocità, riscontrate nel corso di numerose campagne geofisiche.

SUMMARY. — The paper is a brief report on the results of an experience performed for the purpose of observing and studying, "in loco", how the velocity of the elastic waves can change when rocks are subjected to low pressures. Further examples of velocity variations, found during some different geophysical researches, are added.

Tra il 1966 ed il 1969 sono state eseguite, nel calcestruzzo della diga di Place Moulin (***), una lunga serie di controlli geosismici.

(*) Il presente lavoro è stato eseguito per conto del C.P.C.I.E.C., E.N.E.L. — Compartimento di Venezia.

(**) E.N.E.L. — Compartimento di Venezia.

(***) Si tratta di una diga ad arco-gravità (altezza massima 156 m, larghezza alla base 42 m, al coronamento 6,9 m, lunghezza del coronamento 670 m), situata ad oltre 2000 m s.l.m., in Valpelline, prov. di Aosta, sul torrente Buthier.

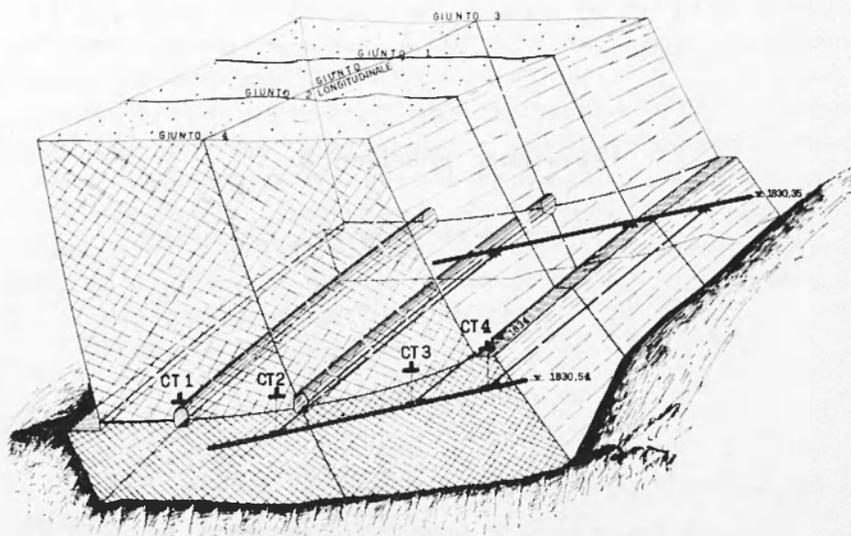


Fig. 1 - Diga di Place Moulin: Schema di lavoro, rilievo variazione velocità onde elastiche nel pulvino della diga.

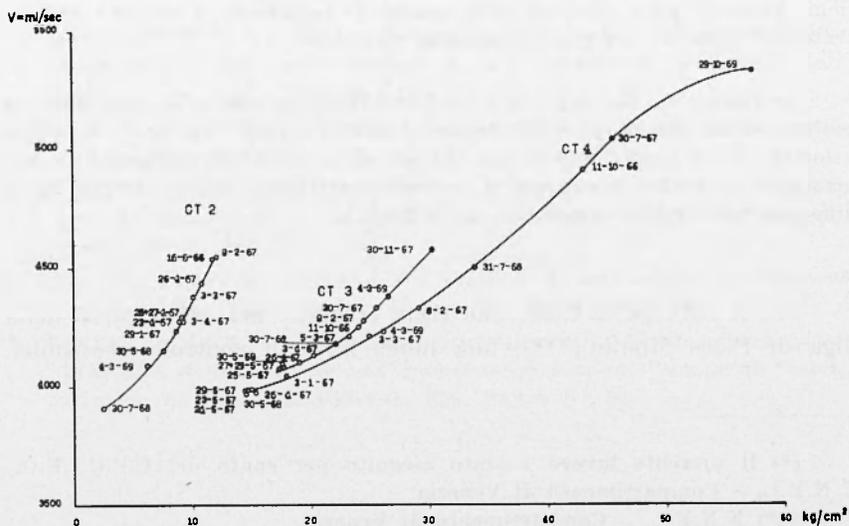


Fig. 2 - Diga di Place Moulin: Diagramma carichi, velocità onde elastiche longitudinali.

Lo scopo è stato di rilevare e precisare, con misure in loco, in mezzi sottoposti a piccoli carichi, quelle variazioni di velocità delle onde elastiche longitudinali già riscontrate da altri sia con misure eseguite in laboratorio su particolari campioni (⁴), sia direttamente nella roccia di fondazione delle dighe (³).

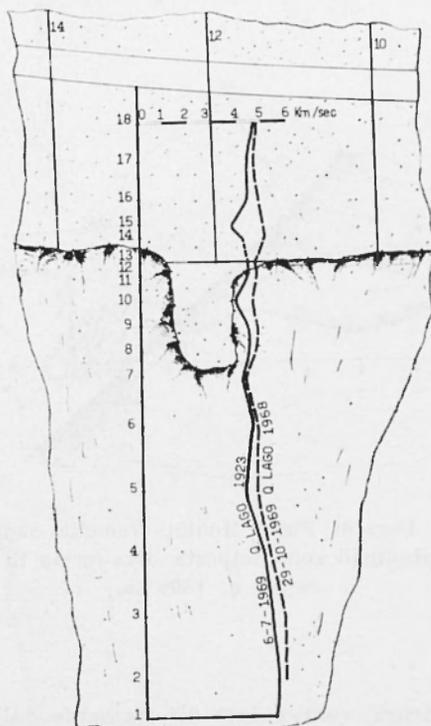


Fig. 3 - Diga di Place Moulin: Velocità onde elastiche longitudinali zona faglia fra i giunti 10 e 14.

L'esperienza è stata condotta secondo lo schema riportato nella figura 1.

Alla base della diga, nel pulvino, tra i giunti 3 e 4, sono stati esaminati tre tragitti paralleli di circa 35 m di lunghezza, in corrispondenza alle posizioni delle capsule tensiometriche CT_2 , CT_3 , CT_4 ,

immerse nel cemento già al momento della costruzione della diga. Le misure sono state eseguite con una attrezzatura di geofoni opportunamente adattata. Le onde elastiche sono state generate dall'esplosione di piccole cariche di dinamite (50 gr ca. di GD1). L'esperienza è stata ripetuta più volte, in differenti condizioni del carico sul calcestruzzo, sottoposto a diverse pressioni a seconda del livello delle acque del lago a monte della diga. Il valore del carico sul calcestruzzo, al

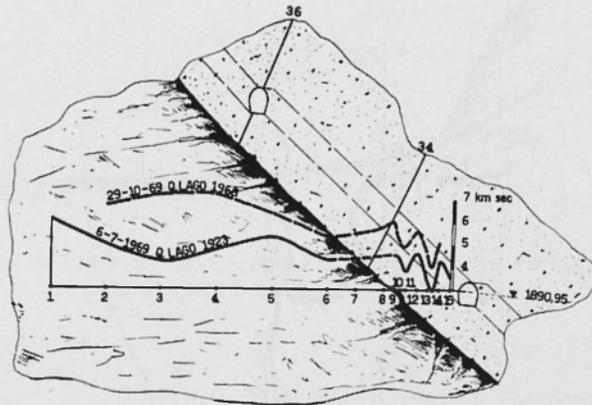


Fig. 4 - Diga di Place Moulin: Velocità onde elastiche longitudinali zona imposta diga-roccia in sponda destra q. 1890 m.

momento della misura, veniva dato direttamente dalle capsule tensiometriche.

I risultati ottenuti sono riportati nei diagrammi della figura 2. L'andamento di tipo esponenziale della prima parte delle curve è molto simile a quello ottenuto nelle esperienze eseguite in laboratorio (4). Sono infatti le piccole variazioni di carico a modificare, « elasticamente », la microporosità del calcestruzzo [$\varphi = \varphi_0 (1 - \beta p)$], dove φ è la porosità alla pressione p , φ_0 quella per $p = 0$, β è una costante], e, di conseguenza, a far variare la velocità delle onde elastiche longitudinali che l'attraversano [$V_p = V_{p_0} e^{-\gamma \varphi}$].

In conformità alle misure di laboratorio (4), al di sopra di un certo valore del carico, le variazioni delle velocità delle onde sismiche

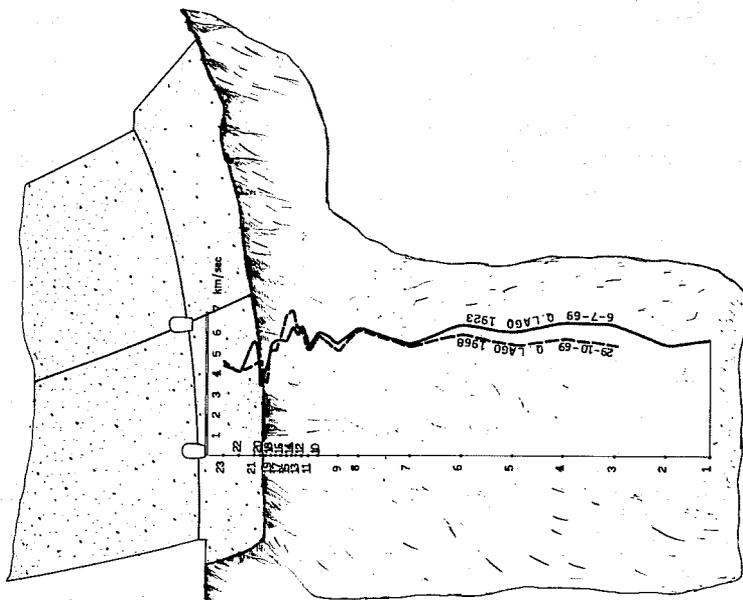


Fig. 5 - Diga di Place Moulin: Velocità onde elastiche longitudinali fra il pulvino e la roccia di fondazione in corrispondenza ai giunti 2 e 4.

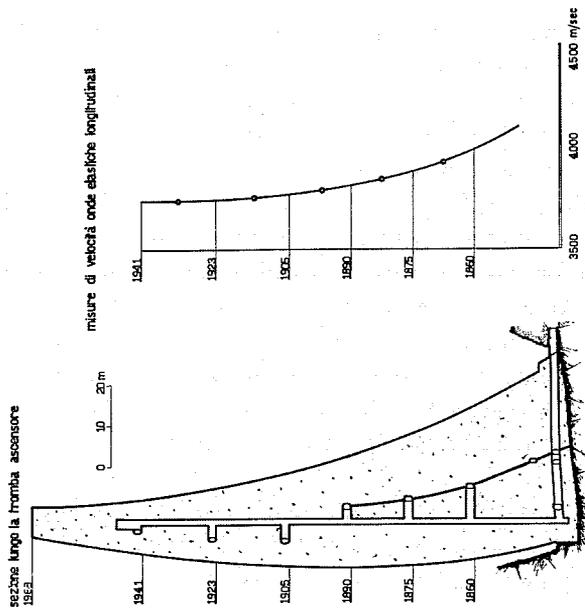


Fig. 6 - Diga di Place Moulin.

risultano sempre meno significative. Nelle figure 3-4-5, vengono riportati altri esempi di variazione della velocità delle onde elastiche in mezzi sottoposti a piccole variazioni di carico.

Anche in questi casi, le variazioni della velocità si riscontrano non soltanto nella roccia maggiormente caricata immediatamente a contatto del manufatto (condizioni simili a quelle relative alla parte finale delle curve di figura 2) ma, in maniera ancora più evidente, in profondità, dove il carico iniziale sulla roccia a bacino vuoto era pressoché nullo (condizioni simili a quelle relative alla parte iniziale delle curve di figura 2).

Nella figura 6 è riportato il diagramma relativo alla variazione che subisce la velocità delle onde elastiche longitudinali con l'altezza, rilevate in un concio della diga. La misura è stata eseguita a lago vuoto.

In questo caso, con l'altezza, varia il carico e di conseguenza lo stato di coazione del calcestruzzo. La velocità delle onde elastiche aumenta quindi dall'alto verso il basso.

M. MIGANI

II. — RILIEVO SISMICO « PER TRASPARENZA » (« Radiografia » della roccia e del calcestruzzo)

RIASSUNTO. — Si espone un nuovo e semplice metodo di indagine sul calcestruzzo e sulla roccia costituente la fondazione di grandi manufatti. Con tale sistema è possibile ottenere una « radiografia » sufficientemente dettagliata del mezzo in esame.

I numerosi esempi vengono riportati allo scopo di precisare meglio la validità ed i limiti di questo nuovo metodo.

SUMMARY. — The second part of the paper sets forth the results obtained by a simple method to inquire into the concrete and the foundation rocks of large buildings. Through this method it is possible to reach a « radiography » of the media (concrete and rocks) enough detailed.

The limits and worths of the new method by the enclosed examples are shown.

1. — La necessità di conoscere sempre più nei dettagli la struttura e la consistenza della roccia di fondazione dei grandi manufatti, quali, ad esempio, le grandi dighe di sbarramento, ci ha indotti a sperimentare un sistema di rilievo « per trasparenza », il quale permette di ottenere, con una estrema semplicità operativa, un discreto risultato pratico.

Va sottolineato che lo scopo di questo tipo di ricerche è soltanto quello di integrare e completare nei dettagli le misure di modulo elastico dinamico, ormai divenute di normale uso negli studi sulla stabilità delle masse rocciose costituenti le fondazioni delle grandi costruzioni (1, 2...).

Il risultato che si ottiene è un diagramma, con il quale vengono messe in evidenza le variazioni della velocità delle onde elastiche longitudinali all'interno della roccia in esame, cioè la sua maggiore o minore consistenza elastica.

2. — Il lavoro si esegue mediante l'uso di un'attrezzatura sismica costituita da un solo geofono tridimensionale, opportunamente protetto dall'acqua, avvitato ad un estremo di una corda di acciaio sufficientemente robusta e rigida da permettere di introdurre, spingendolo, il geofono in un foro di sondaggio. Anche l'esplosivo (meno di 50 gr, pari a ca 1/4 di cartuccia) viene fissato all'estremità di un'astina di

ferro (da 6-8 mm di diametro) saldata in punta ad una corda di acciaio analoga a quella usata per il geofono.

Si eseguono due fori di sondaggio non rivestiti, perfettamente paralleli, di diametro sufficiente a far passare in uno il geofono, e nell'altro l'esplosivo (per la nostra attrezzatura sono stati sufficienti fori da 65 mm di diametro). Nel caso di roccia friabile, si iniettano in essa, a basse pressioni, piccole quantità di cemento, e quindi si torna a perforare. Esplosivo e geofono vengono introdotti, con una certa cura, all'interno dell'uno e dell'altro foro fino alla massima profondità voluta dallo schema di lavoro (vedere gli schemi e i diagrammi riportati nelle figure 7a, 7b, 8... 11). Dopo l'esplosione, il geofono viene arretrato fino al successivo punto di misura. Così pure per l'esplosivo, per il quale è ovviamente necessario estrarre l'intera corda di acciaio per poterlo ricollegare all'estremità di essa.

In genere l'entità della carica non è sufficiente a far franare il foro. Infatti la carica è semplicemente appoggiata alla roccia costituente il contorno del foro di sondaggio; l'esplosione riesce appena a scalfirla, poiché i gas da essa prodotti vengono facilmente liberati nel foro, il cui diametro è molto più grande di quello della cartuccia contenente l'esplosivo. È accaduto più volte di dover tornare a sparare nello stesso punto e di ritrovare sempre libero il foro.

Con l'aiuto di un buon fuochino è possibile eseguire dalle 200 alle 250 misurazioni al giorno.

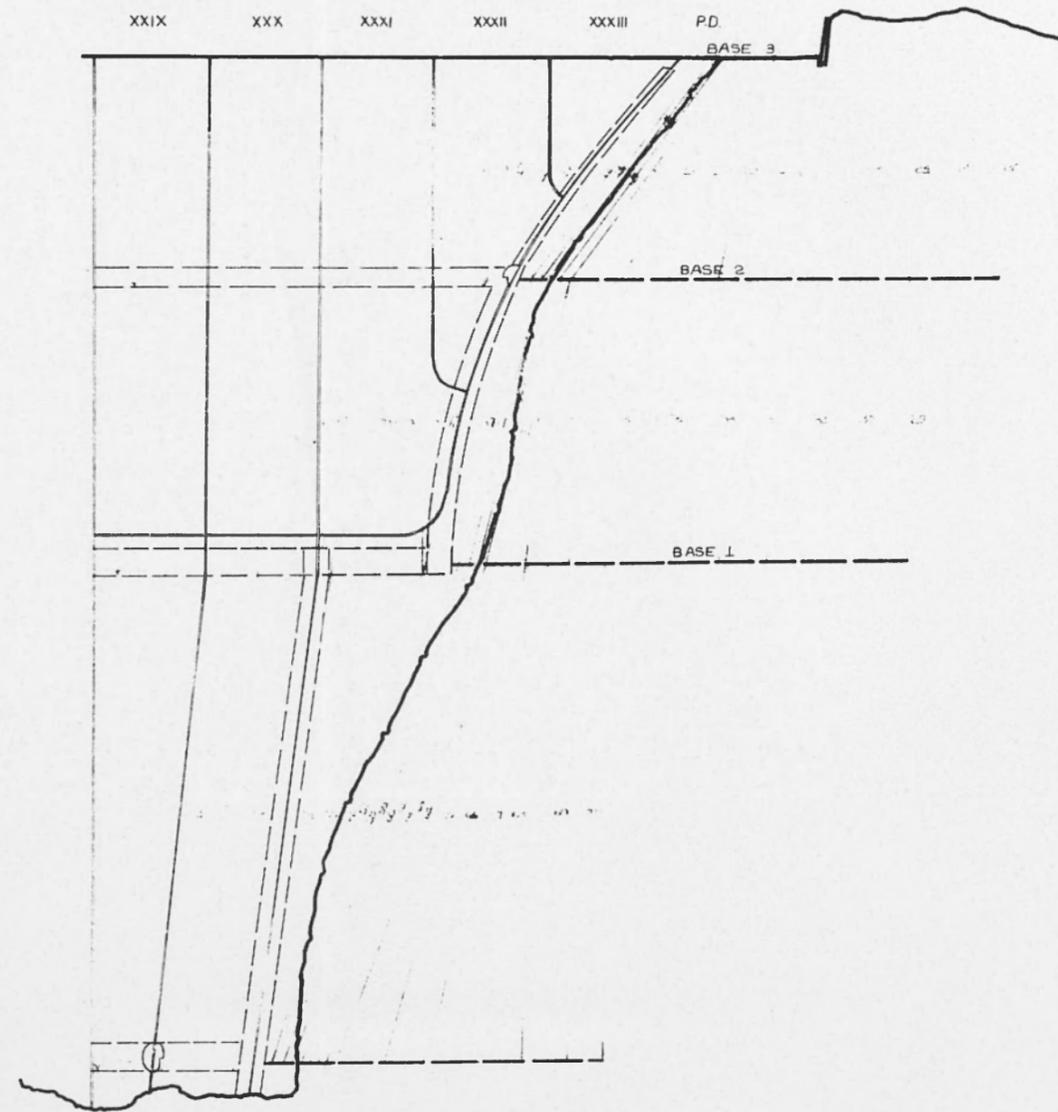
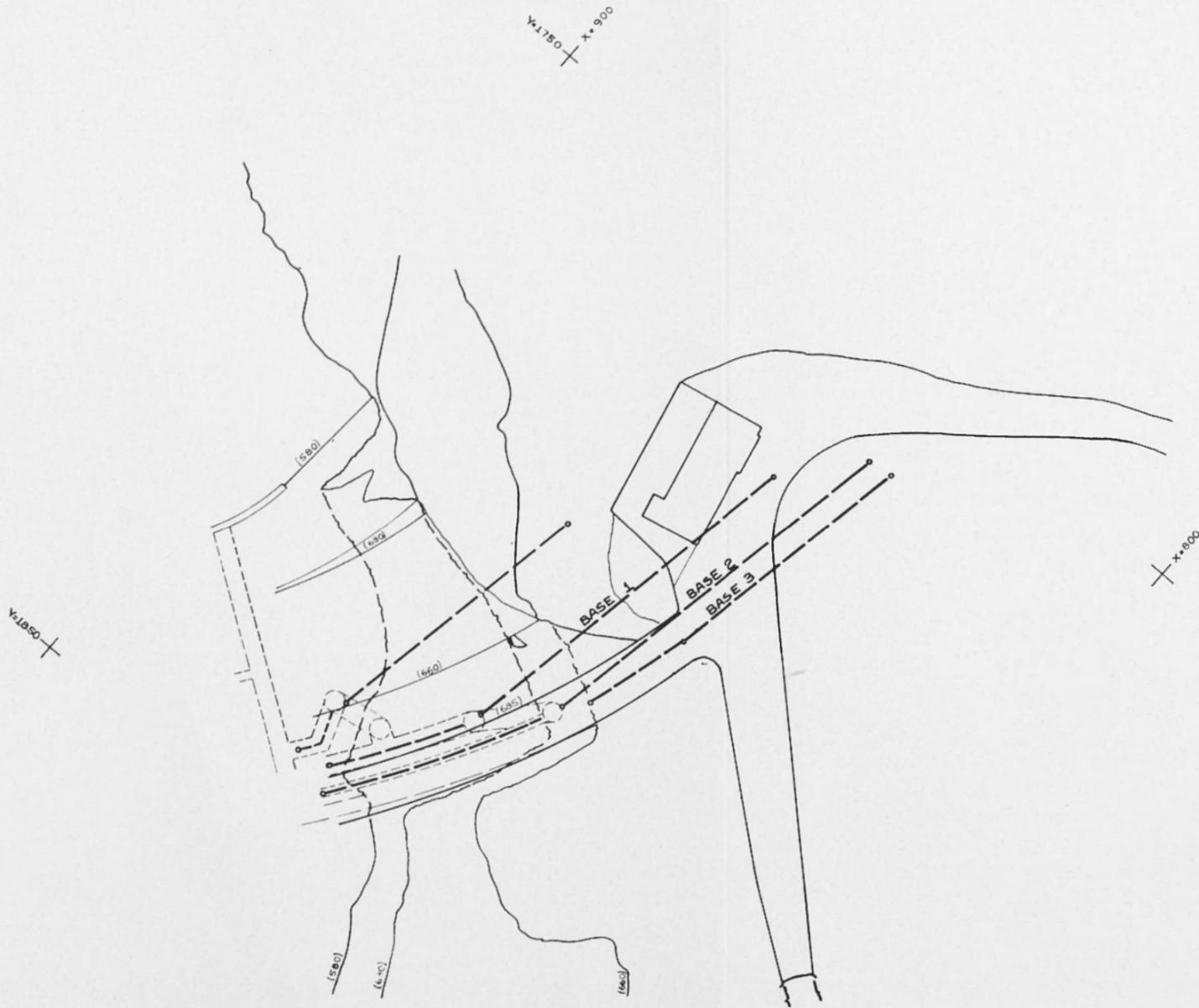
Per il calcolo della velocità, il percorso sparo-registrazione va preso, di regola, come la linea retta congiungente i due punti, cioè la distanza tra i due fori.

Per ottenere diagrammi significativi, data la microeterogeneità della roccia, è necessario porre i fori ad almeno 15-20 m di distanza l'uno dall'altro. Inoltre i tragitti sparo-registrazione devono essere — sempre — normali alla giacitura degli strati. In tal modo il diagramma (profondità-velocità delle onde elastiche longitudinali) risulta abbastanza regolare e vengono messe in rilievo soltanto quelle variazioni della roccia che effettivamente hanno « peso » sulla sua consistenza e sulla stabilità del manufatto ad essa ancorato.

Al contrario, i tragitti sparo-registrazione possono essere ravvicinati quanto più si ritiene necessario.

I diagrammi ottenuti, per ovvie ragioni, sono soltanto l'ombra a contorni sfumati di quella che è la reale situazione fisica all'interno della roccia. Gli esempi riportati nelle figg. 7a, 7b, 11, stanno ad indicare i limiti di validità di quanto detto.

Sviluppata cilindrica 1:500



Rilievo tra le quote 660 e 685

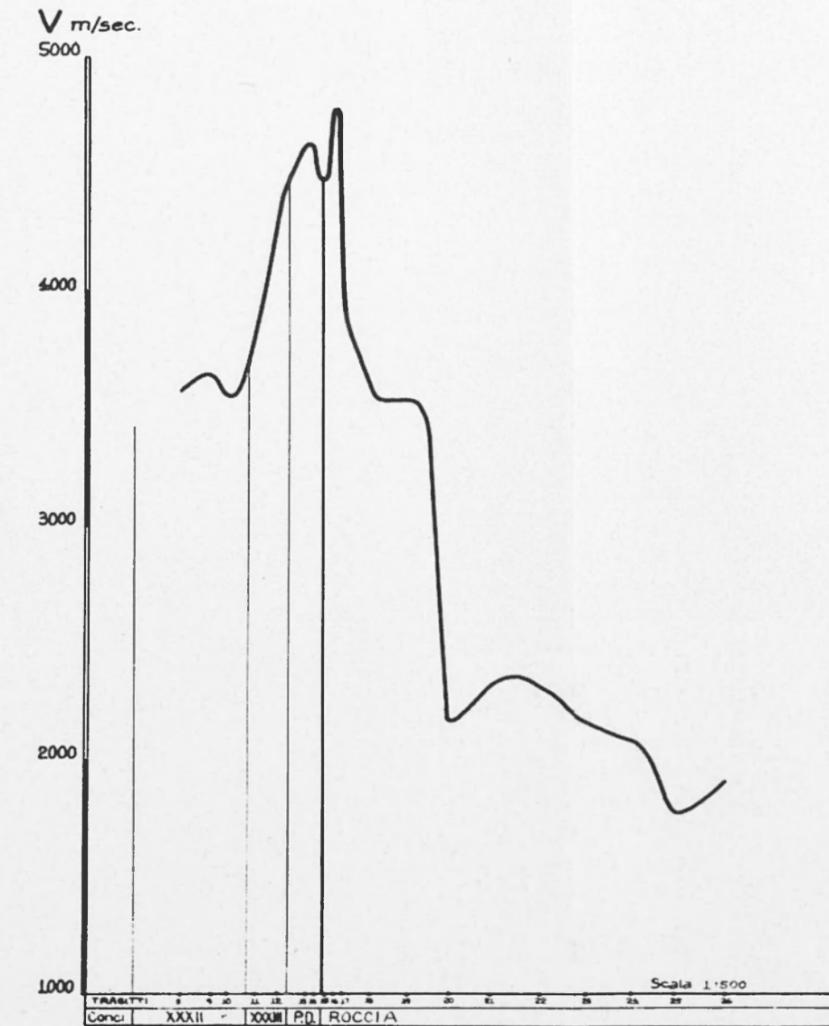


Fig. 7a. - Diga di Pieve di Cadore (Belluno). Sponda destra: i diagrammi mettono in evidenza la notevole eterogeneità della roccia di fondazione. Il rilievo nella parte alta della sponda destra mostra l'effetto di una precedente campagna di iniezioni di cemento eseguita per porre riparo al graduale decadimento della roccia, avvenuto dopo l'entrata in esercizio dell'impianto. Altro risultato importante è la visualizzazione di una zona quasi anelastica di 3-5 m di spessore, situata tutta intorno alla diga, al contatto roccia-calcestruzzo.

Rilievo tra le q. 578 e 630

V m/sec.

6000

5000

4000

3000

2000

1000

FRAGITTI 51 52 53 54 55 56 57 58 59 60 61 62 63 64 65 66 67 68 69 70

Conci XXX XXXI ROCCIA

Scala 1:500

Rilievo tra le quote 630 e 660

V m/sec.

6000

5000

4000

3000

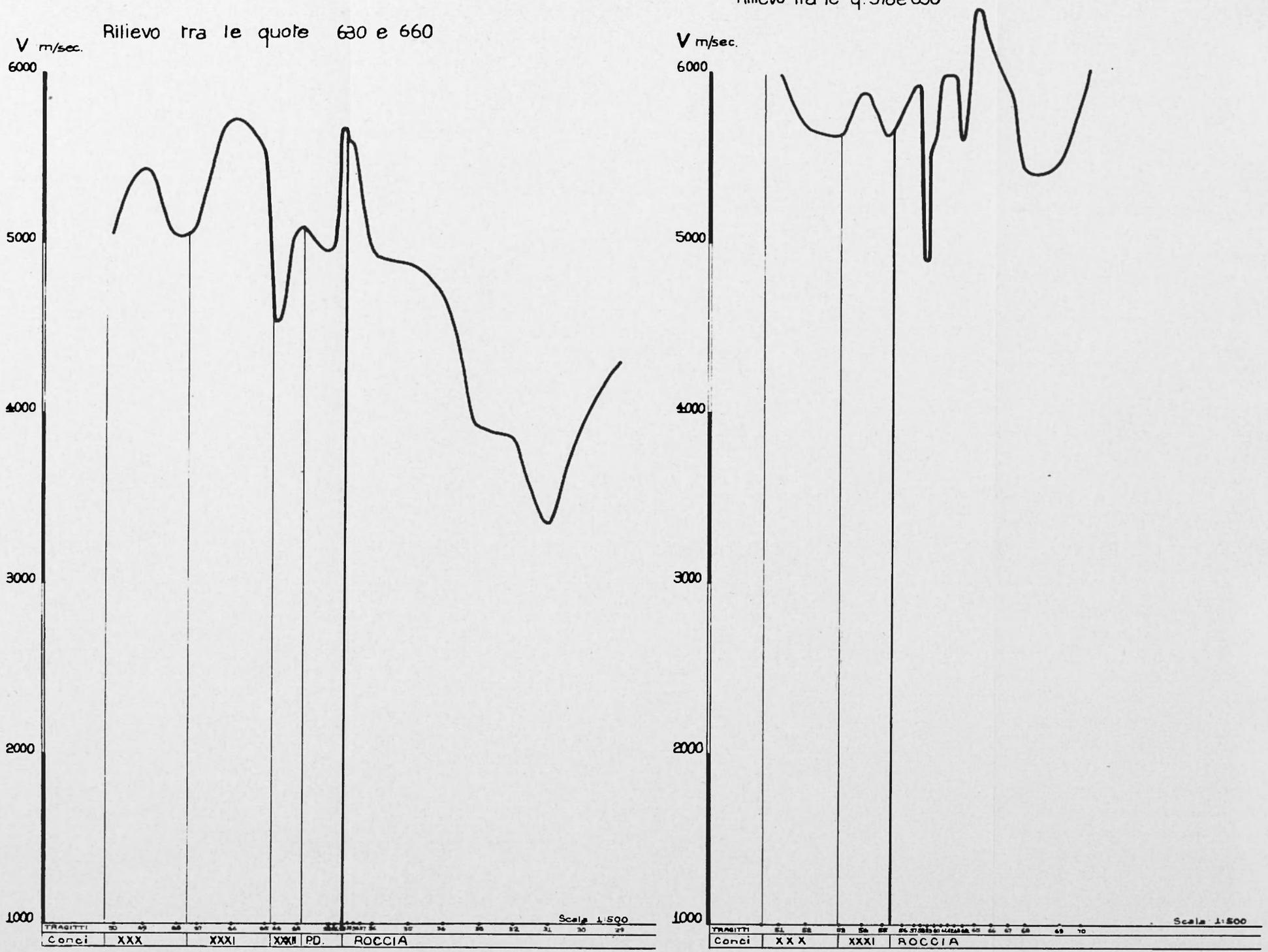
2000

1000

FRAGITTI 30 31 32 33 34 35 36 37 38 39 40 41 42 43 44 45 46 47 48 49 50

Conci XXX XXXI PD. ROCCIA

Scala 1:500



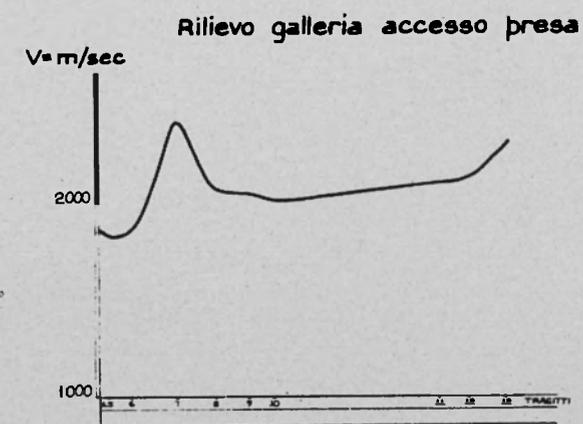
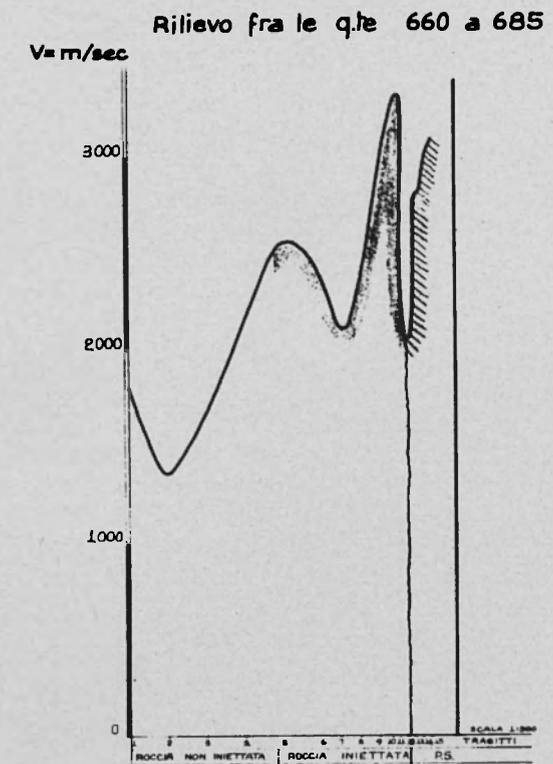
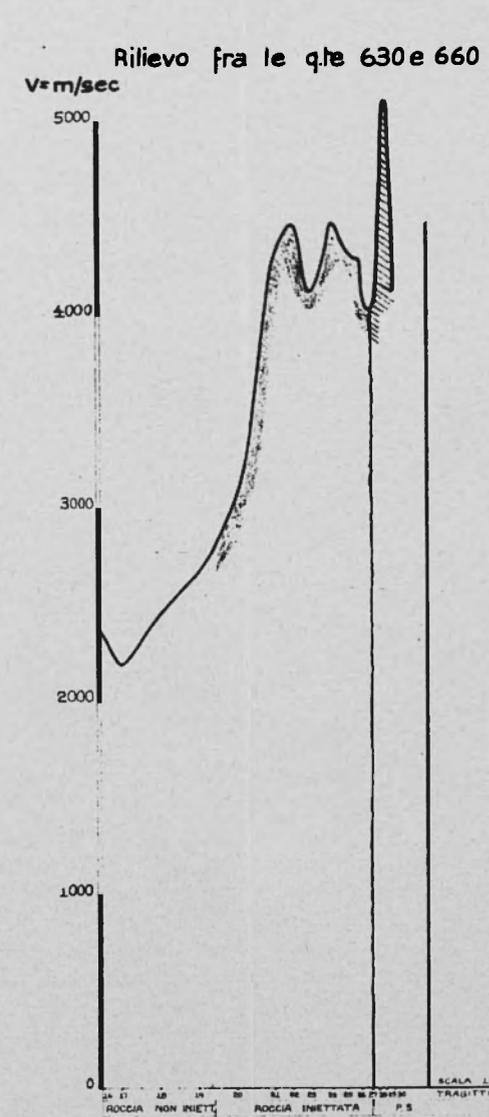
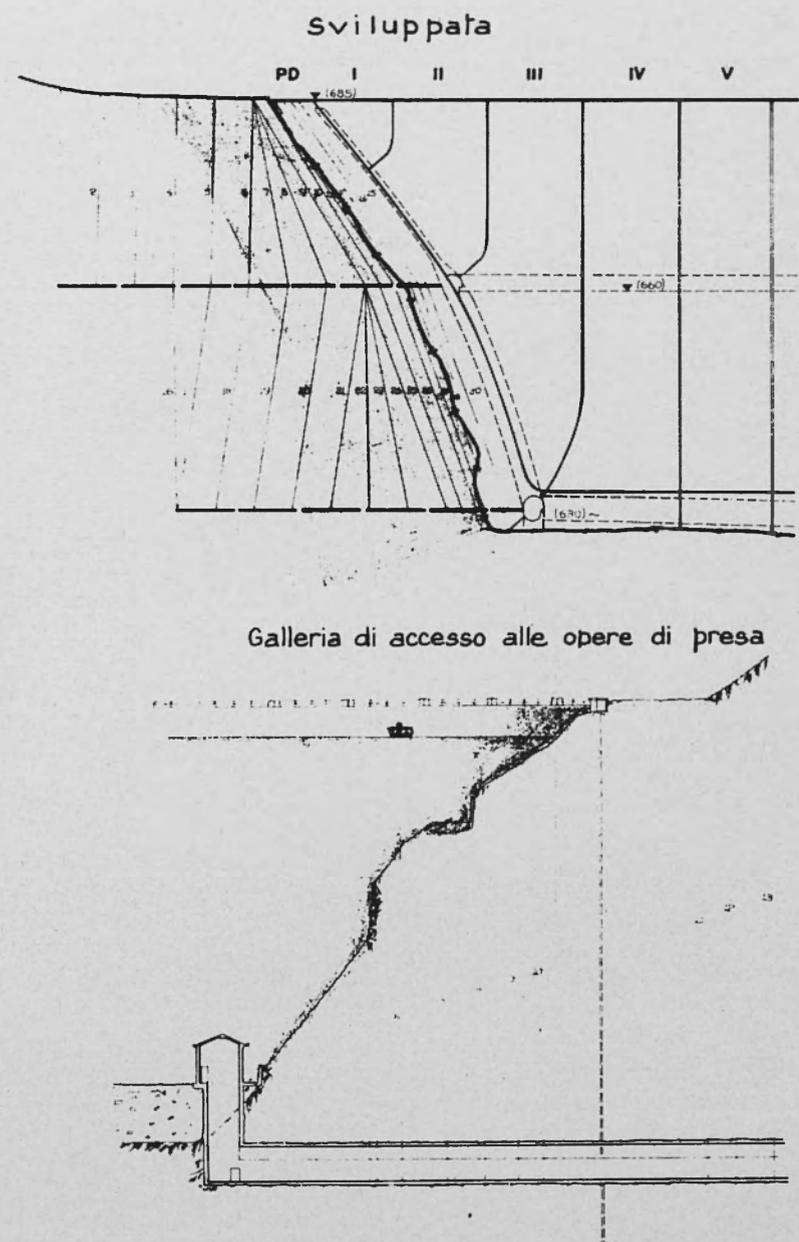
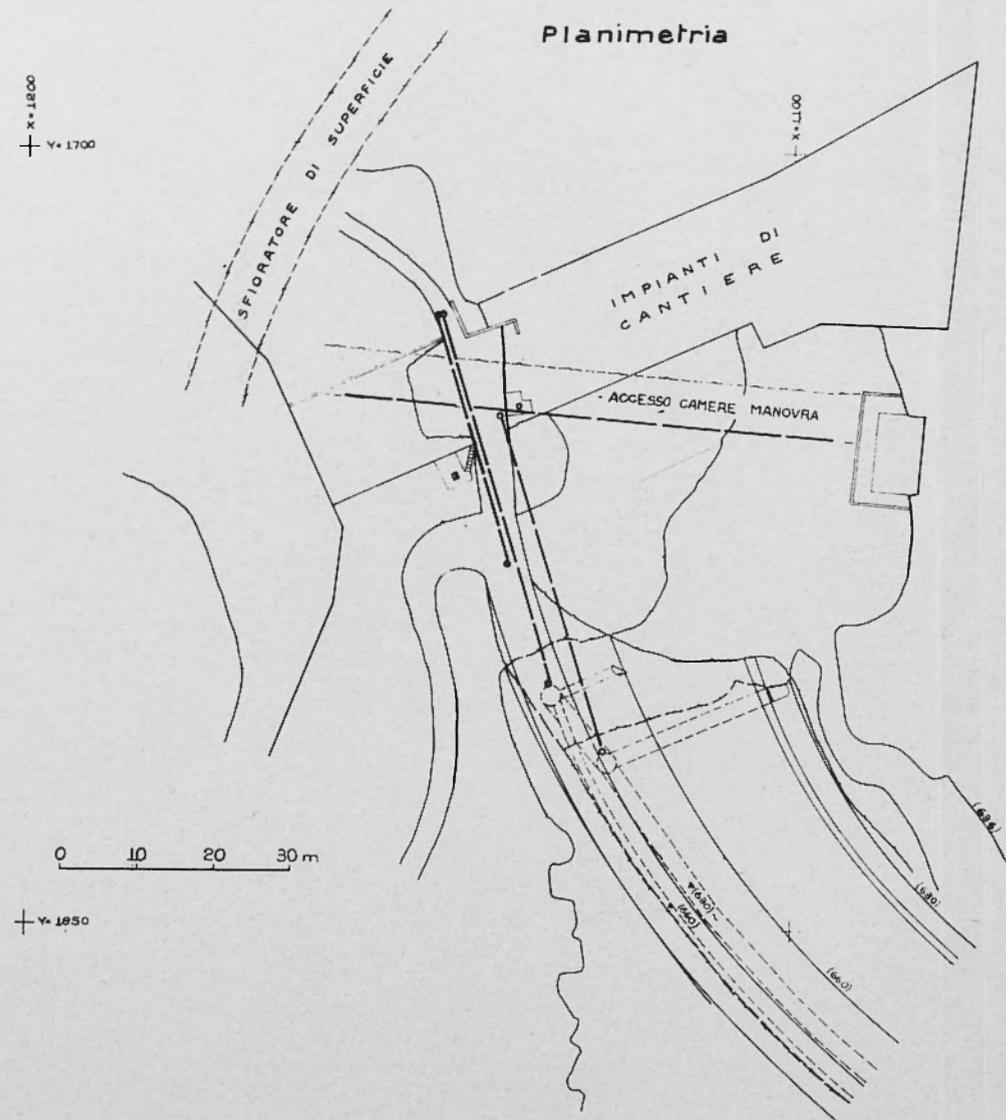
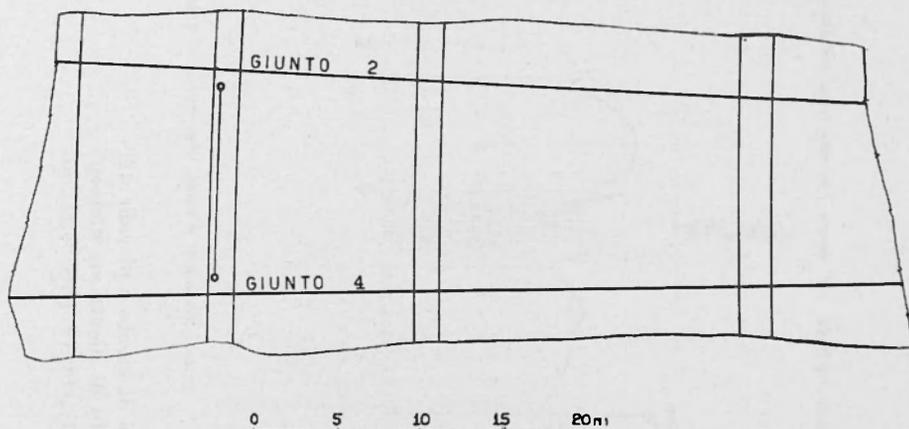
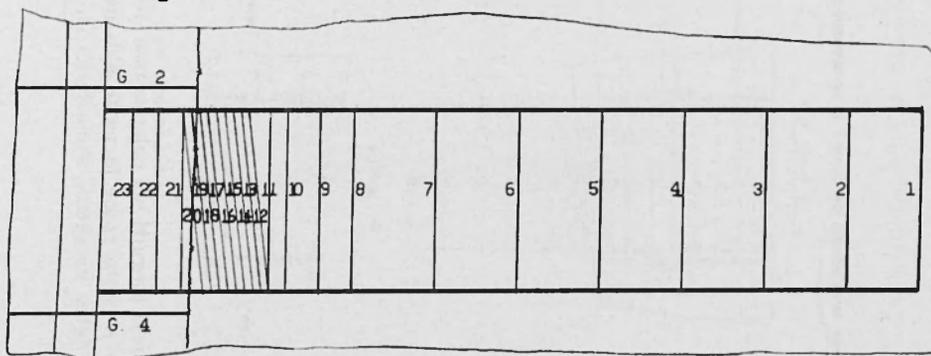


Fig. 7b. - Diga di Pieve di Cadore. Sponda sinistra (vedi didascalia fig. 7a).



Sez. longitudinale concio in corrispondenza rilievo



Rilievo verticale concio e roccia sottostante

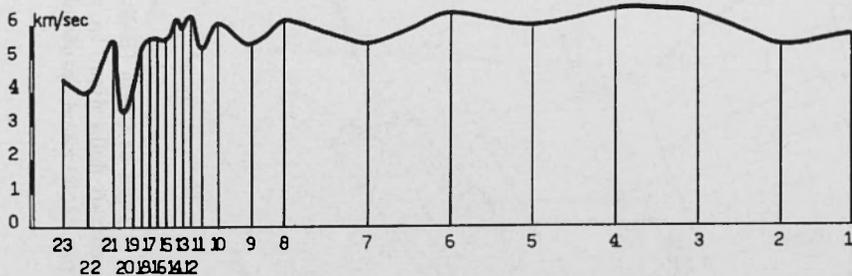
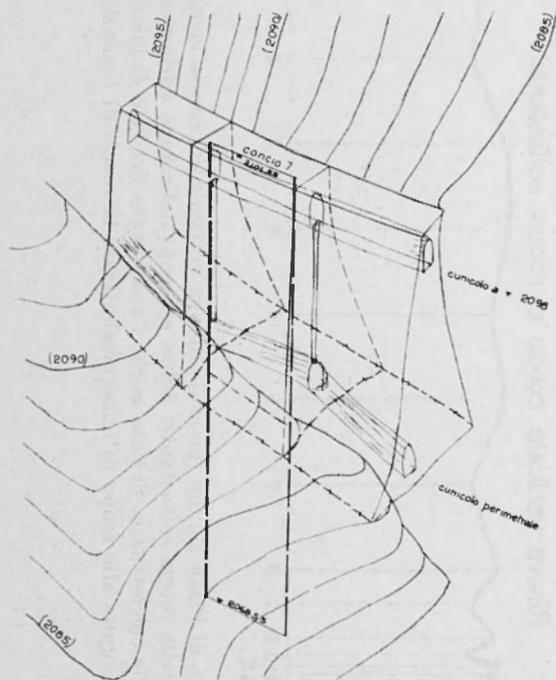


Fig. 8 - Diga di Place Moulin (pianta). Rilievo verticale del concio centrale della diga e della roccia sottostante. Solita presenza della zona anelastica al contatto roccia-calcestruzzo. Si nota anche l'andamento del velo di iniezioni di cemento eseguite allo scopo di impermeabilizzare la roccia di fondazione.

Schema prospettico rilievo verticale nel corpo diga e roccia sott.



Sez. longitudinale del concio 7 in corrispondenza del rilievo Rilievo verticale nel concio 7 e nella roccia sottostante

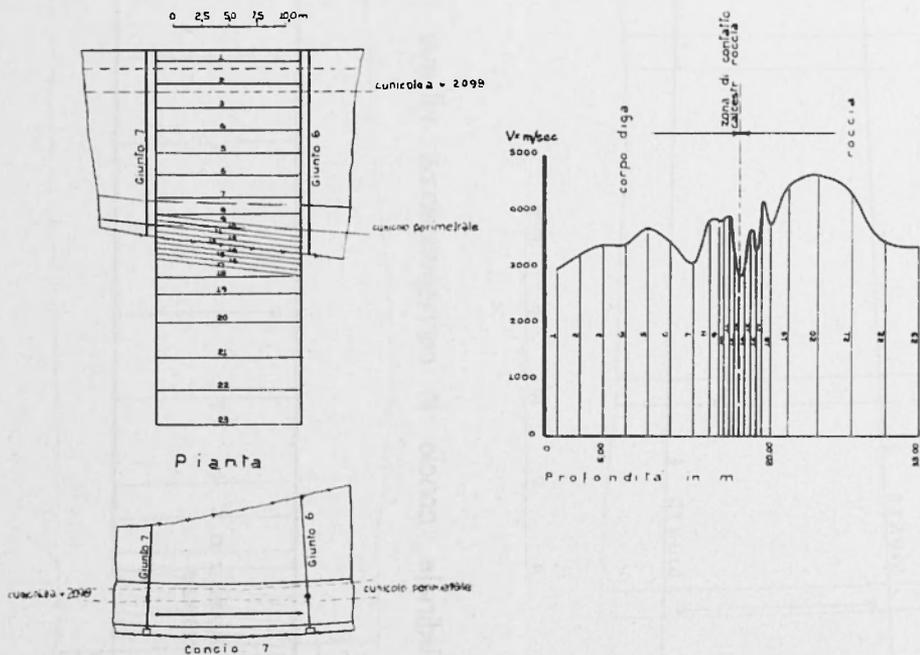
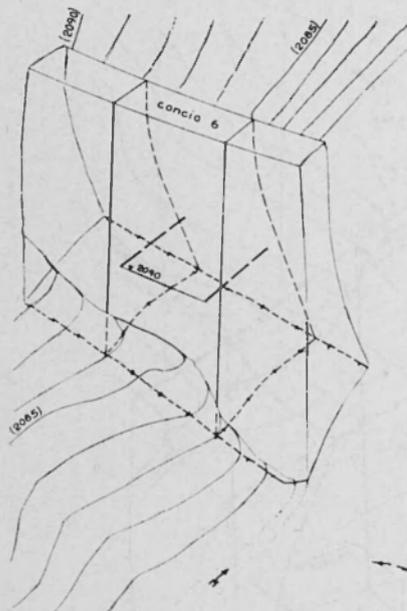
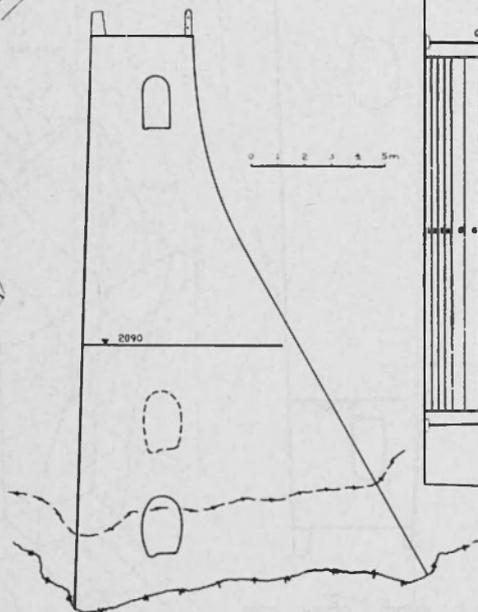


Fig. 9a - Diga di Cavia (Belluno) - Rilievi eseguiti nel calcestruzzo dei paramenti di monte e di valle dei conci centrali della diga. In particolare si nota come la parte alta del paramento di monte sia danneggiato per ca 50 cm di profondità, per effetto di agenti atmosferici (soprattutto il gelo) [v. figg. 9b-9c-9d].

Schema prospettico rilievo paramento a monte diga



Sez. lungo i giunti 5 e 6



Sez. orizzontale a q. 2090



Rilievo paramento a monte della diga a q. 2090

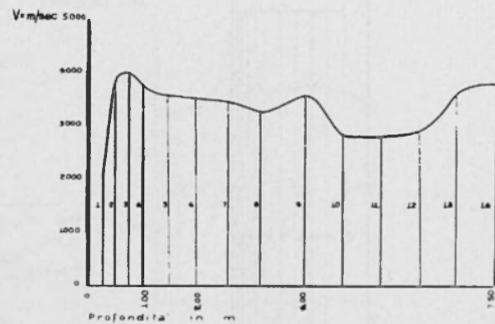
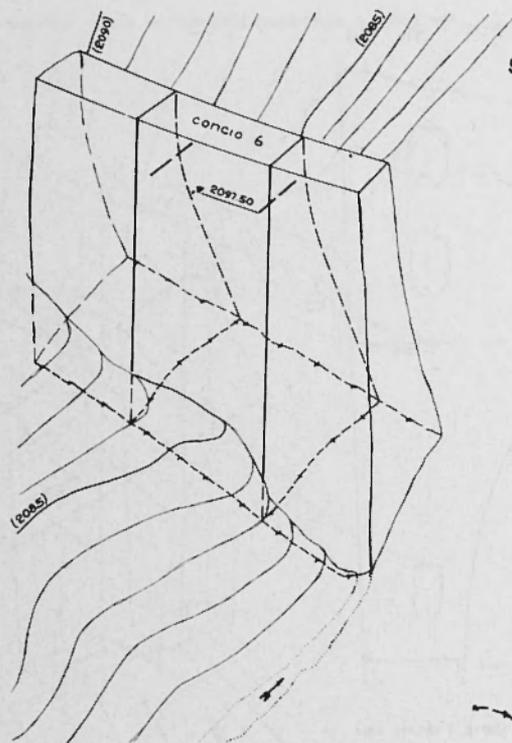
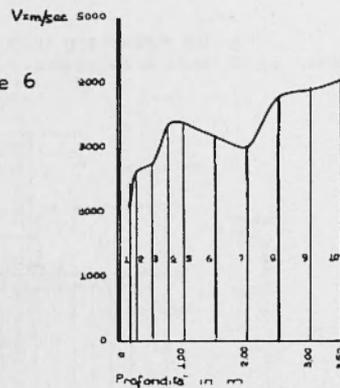


Fig. 9b - Diga di Cavia (Belluno). Vedi didascalia fig. 9a.

Schema prospettico rilievo paramento a monte diga



Rilievo par. a monte della diga a q. 2097,50



Sez. orizzontale a q. 2097,50

Sez. lungo i giunti 5 e 6

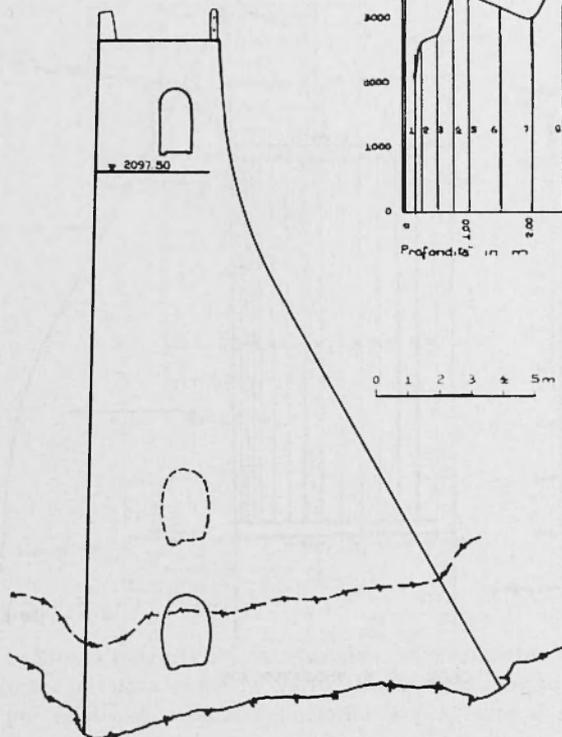
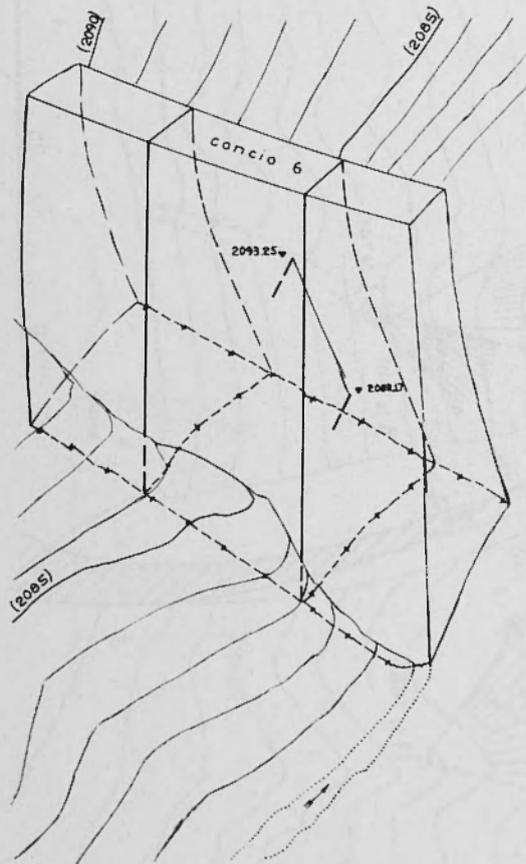
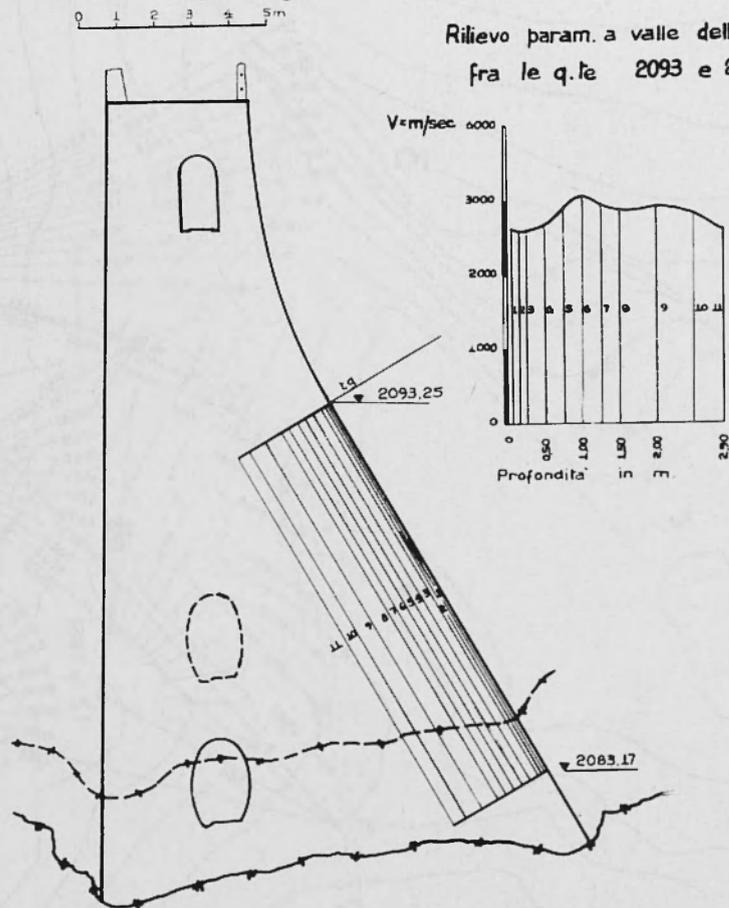


Fig. 9c - Diga di Cavia (Belluno). Vedi didascalia fig. 9a.

Schema prospettico rilievo paramento a valle diga



Sezione lungo i giunti



Rilievo param. a valle della diga
fra le q.te 2093 e 2083

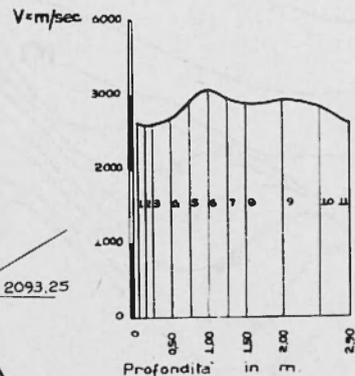


Fig. 9d. - Diga di Cavia (Belluno). Vedi didascalia fig. 9a.

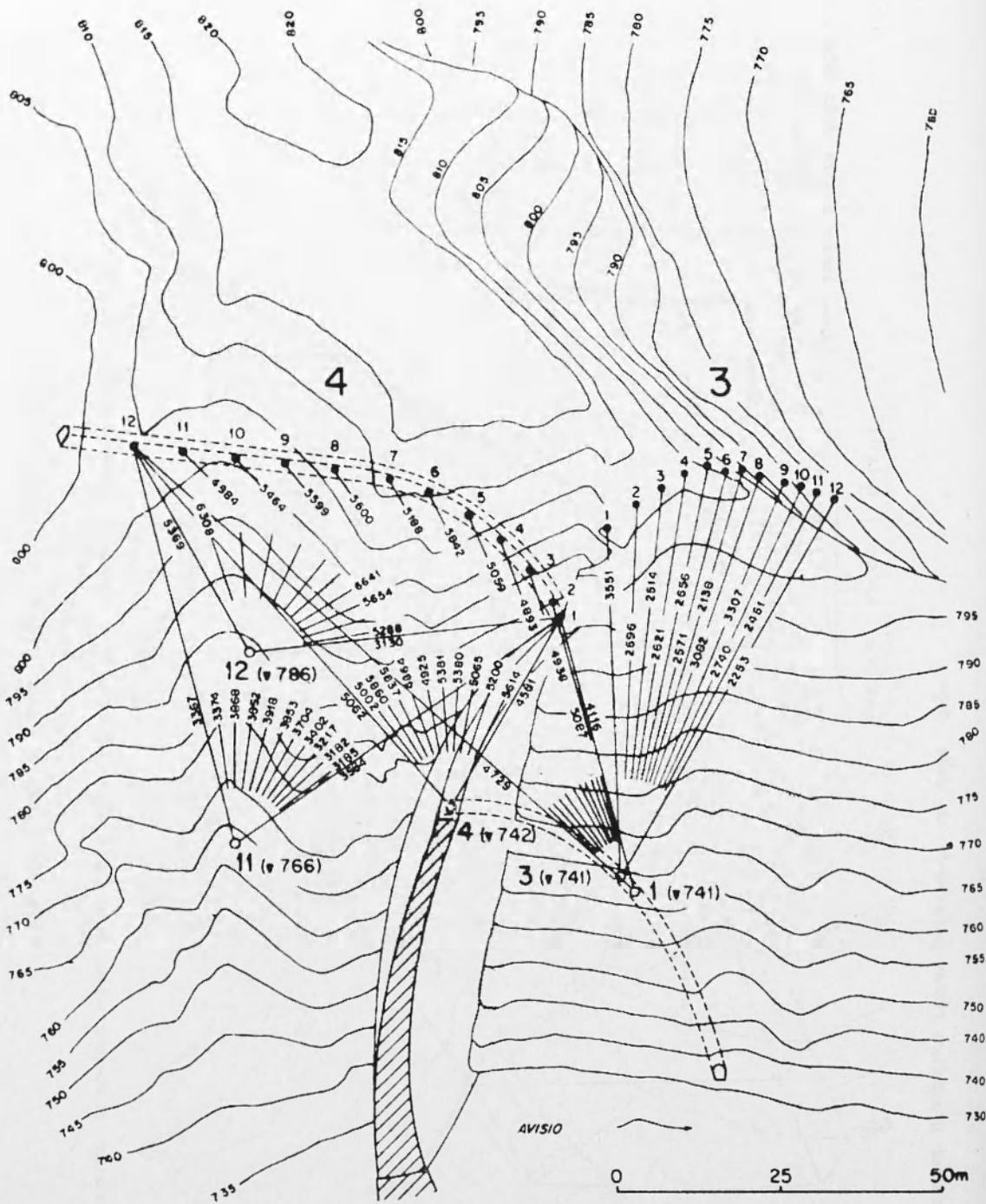


Fig. 11 - Diga di Stramentizzo (Trento) - Rilievo sponda sinistra della diga. In questo caso si è sperimentato un sistema di rilevamento a ventaglio mediante l'uso di una serie di 12 geofoni, al fine di evitare l'eccessiva spesa per i fori di sondaggio. Anche in questo caso il risultato si può definire discreto.

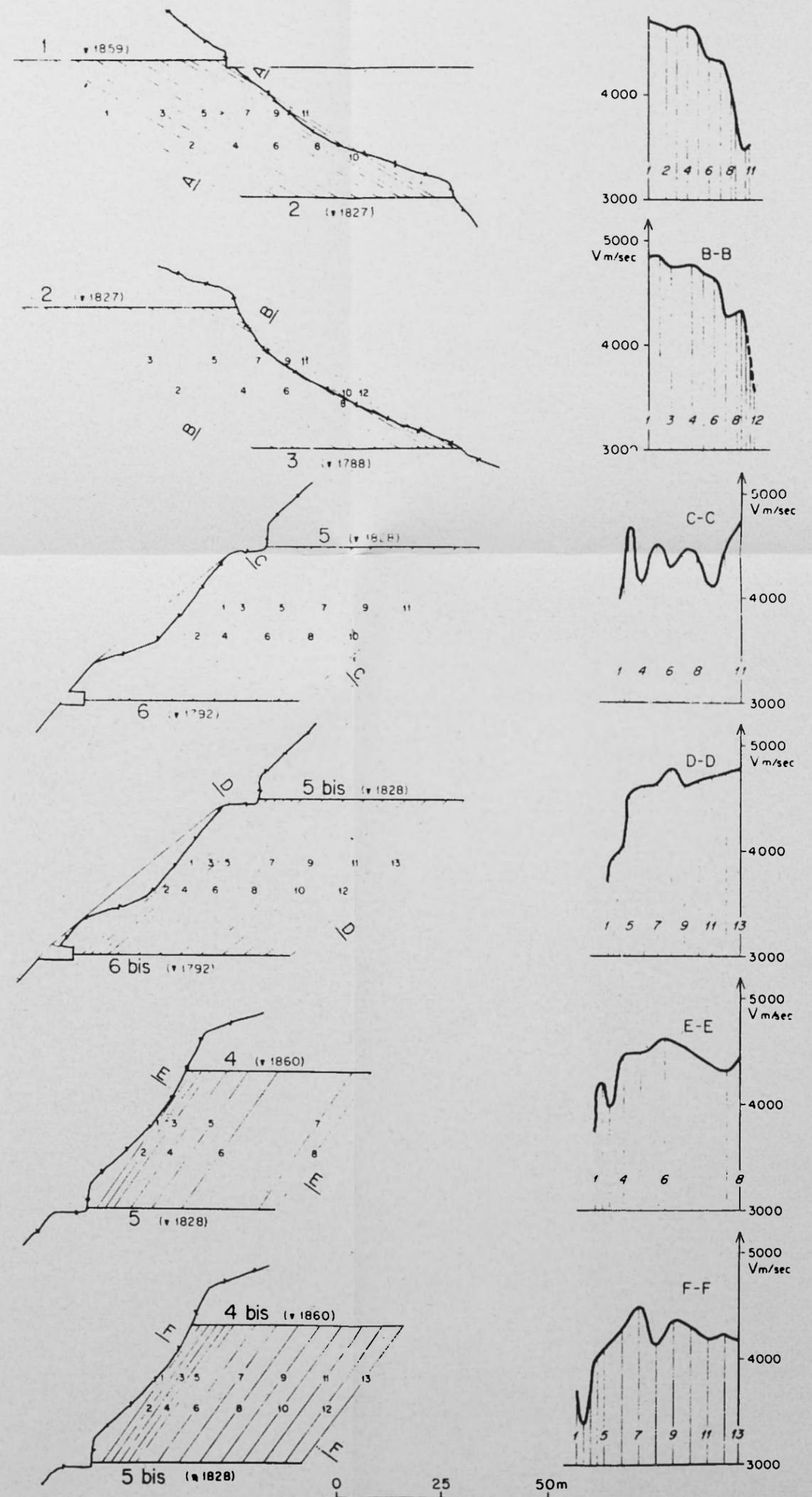
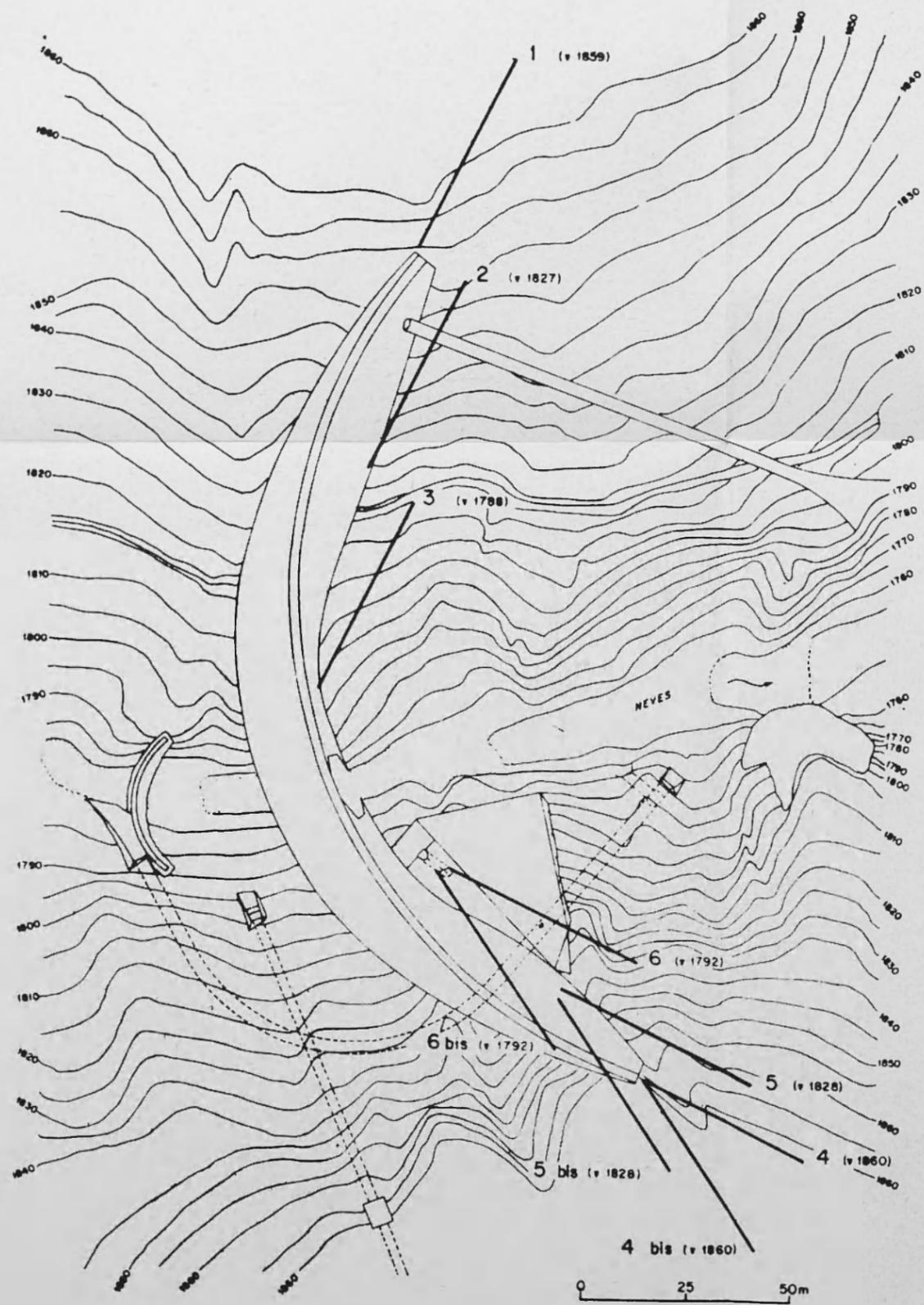


Fig. 10 - Diga di Neves (Bolzano) - Rilievo eseguito tutto attorno alla diga per una profondità nella roccia di oltre 50 m. Anche qui si nota una zona di 5-6 m quasi completamente anelastica, al contatto roccia-calcestruzzo.

BIBLIOGRAFIA

- (1) CALOI P., 1962. - *Aspetti della dinamica di rocce, calcestrutto ed acque.* « Annali di Geofisica », **XV**, 2. (Contiene una vasta bibliografia sui lavori, compiuti dall'Autore, sull'argomento).
 - (2) CALOI P., 1965. - *La geodinamica al servizio delle grandi dighe.* « Annali di Geofisica », **XVI**, 4.
 - (3) CALOI P., SPADEA M. C., 1966. - *Sugli effetti delle esplosioni nelle rocce e sulle conseguenti alterazioni del relativo campo elastico.* « Annali di Geof. », **XIX**, 3.
 - (4) SHIMAZURU D., 1960. - *Elasticity of rocks and some related geophysical problems.* « Jap. Journal Geophys. », **2**, 3.
-