

# COMPORTAMENTO DELLA DIGA IN ROCKFILL DI CONTRADA SABETTA IN CIRCA QUATTRO ANNI DI ESERCIZIO (\*)

T. SILVESTRI (\*\*)

**SOMMARIO:** La diga di Contrada Sabetta sul F. Bussento rappresenta la prima applicazione in Italia del tipo "rockfill" eseguito con l'ausilio di potenti getti d'acqua.

Sin dall'epoca della costruzione sono stati misurati regolarmente: cedimenti delle fondazioni e del rilevato, spostamenti del paramento di monte, perdite al sistema di drenaggi.

I risultati delle misure vengono esaminati e commentati con particolare evidenza per gli assestamenti del rilevato, che è stato possibile depurare dei cedimenti in fondazione.

A conclusione viene posta in rilievo la perfetta riuscita dell'opera, in base ai controlli eseguiti, sia sotto il profilo dei cedimenti che sotto quello della tenuta.

## 1 - Generalità

La diga di Contrada Sabetta, facente parte dello impianto Idroelettrico Bussento 2° Salto è stata costruita nel periodo luglio 1958 - febbraio 1959 ed è pertanto in regolare esercizio da oltre 4 anni.

Nella zona interessata dal serbatoio il fiume Bussento scorre all'incirca lungo una linea di contatto tettonico fra i calcari più o meno dolomitici del Cretaceo in sponda sinistra e le formazioni argilloso-arenacee terziarie in destra.

In corrispondenza della sezione di sbarramento, per effetto di dislocazioni tettoniche secondarie, una parte della massa calcarea, che di regola compare sul fianco sinistro della valle, è portata a sporgere in sponda destra entro la formazione argilloso-arenacea. Tale spuntone, che le indagini geognostiche eseguite hanno rilevato essere collegato con i calcari della sponda sinistra, è stato successivamente eroso dal corso d'acqua che vi ha inciso una gola stretta e profonda, ricoperta sul fondo da una breve coltre (spessore 6÷8 m) di alluvioni a grana prevalentemente grossa (ghiaie e sabbie con rare inclusioni di limo e presenza di numerosi trovanti anche grossi).

Riassumendo, la diga risulta così impostata: in sinistra e per buona parte della spalla destra sui calcari, ovunque in condizioni di accentuata tettonizzazione; per il resto della spalla destra sulla forma-

zione argilloso-arenacea; al fondo valle, limitatamente ad una fascia larga all'incirca quanto l'alveo, sulle alluvioni.

Lo sbarramento, che misura 26 m di altezza sul piano di fondazione ed è lungo al coronamento circa 150 m, consta di un rilevato in pietrame calcareo gettato in opera alla rinfusa (rockfill) su cui si adagia a monte un cuscino in muratura a secco di pietrame sistemato a mano, atto a costituire la più opportuna superficie di appoggio per il manto di tenuta realizzato con un doppio strato di lastroni in calcestruzzo armato con interposti fogli di materiale impermeabilizzante. La scarpa del paramento di monte è 1:1 quella di valle 1,41:1, corrispondente quest'ultima all'incirca a quella naturalmente assunta dal materiale durante la messa in opera.

Il pietrame per la formazione del rilevato venne ricavato aprendo un'apposita cava in un costone calcareo ubicato in sponda sinistra poco a monte della diga. Il « tout venant » veniva caricato su automezzi ribaltabili dai quali era direttamente trasportato in opera e qui scaricato dall'alto delle spalle mentre violenti getti di acqua lo investivano dilavandolo e assestandolo.

Il peso di volume in opera risultò mediamente 1,810 t/m<sup>3</sup>, corrispondente ad una porosità del 25% (1).

(\*) Comunicazione presentata al VI Convegno di Geotecnica (Pisa, 9 aprile 1963).

(\*\*) Dott. Ing. Tito SILVESTRI della Direzione Costruzioni ENEL - Impresa già della Società Meridionale di Elettricità.

(1) Per ulteriori notizie sull'opera, v. anche:  
— DIREZIONE DELLE COSTRUZIONI DELLA SOC. MERIDIONALE DI ELETTRICITÀ - "L'impianto idroelettrico del Bussento della SME" - "L'Energia Elettrica" 1961, n. 11.

— T. SILVESTRI - "Determinazione sperimentale delle caratteristiche di resistenza meccanica del materiale costituente il corpo di una diga del tipo "rockfill" "Geotecnica" n. 4, 1961.

## 2 - Dispositivi di misura e controllo

Per il controllo del comportamento dell'opera venne installata (v. Fig. 1) una serie di apparecchiature che consentono di effettuare periodicamente i seguenti rilievi:

pletivamente 16 zanche, raggruppate secondo quattro allineamenti orizzontali disposti a quote diverse; ciascuna zanca è costituita da uno spezzone di angolare  $30 \times 30$  munito di scala millimetrata per la lettura degli spostamenti orizzontali rispetto ad un allineamento di riferimento e di bullone a testa tonda per

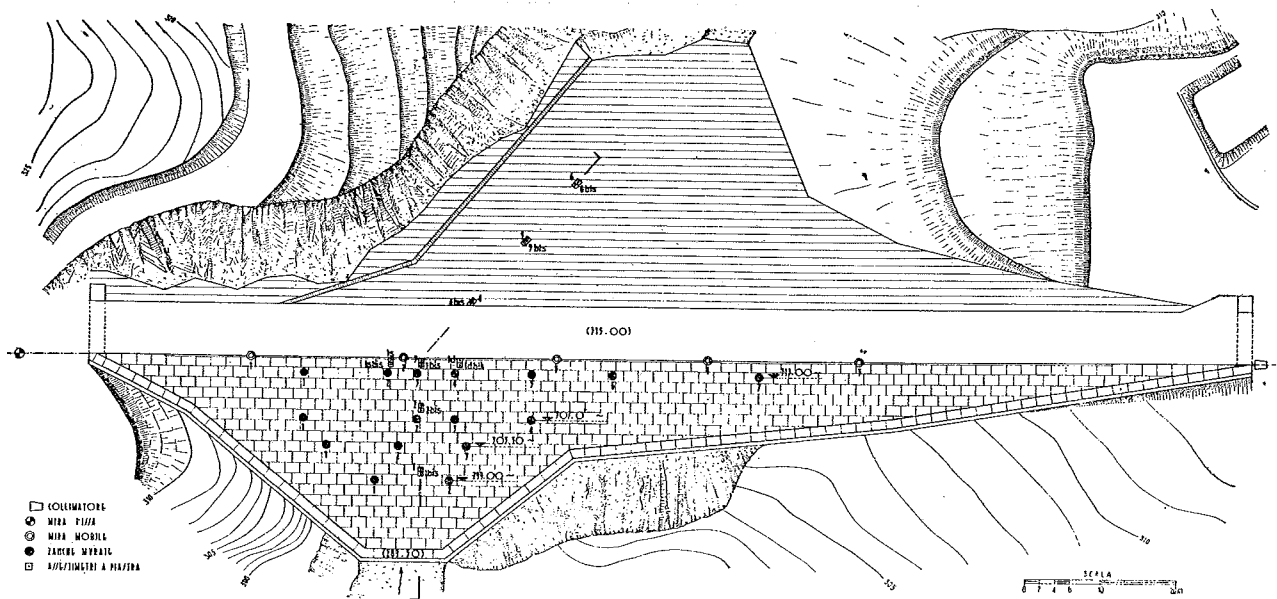


Fig. 1 - Planimetria degli apparecchi di misura.

a) misura di cedimenti di punti all'interno del rilevato. Vennero installati n. 16 assestimetri a piastra disposti a coppie su 8 verticali: in ogni verticale un assestimetro venne poggiato direttamente sulle alluvioni di fondazione e l'altro a quota più elevata nell'interno della massa del rockfill.

L'apparecchio è costituito da una piastra di ferro quadrata, saldata alla base di una colonna di tubi che si prolungano fino al paramento. I tubi di collegamento, per poter seguire liberamente i cedimenti della piastra, sono isolati dal pietrame circostante mediante un tubo esterno di protezione. Con livellazioni di precisione, riferite a capisaldi stabili opportunamente disposti al di fuori della zona d'influenza dello sbarramento, vengono periodicamente rilevati gli abbassamenti delle estremità superiori dei tubi di collegamento e di conseguenza quelli dei punti, sul terreno di fondazione o interni al rilevato, su cui poggia la piastra. Le letture furono iniziate alla data di installazione degli assestimetri e vengono tuttora eseguite, eccezion fatta per i n. 1 - 1bis - 2 - 2bis le cui tubazioni di collegamento, per evitare possibili vie di perdita attraverso i lastroni di paramento, vennero arrestate al di sotto di questi (v. Fig. 2).

b) misura degli spostamenti di punti sul paramento di monte.

Lungo lo spigolo di monte del coronamento venne realizzata una linea di collimazione costituita da collimatore « Galileo », mira fissa di riferimento e 5 mire mobili per la lettura di spostamenti sia orizzontali che verticali.

Inoltre, sui lastroni del manto, vennero murate com-

il rilievo degli spostamenti altimetrici mediante livellazione.

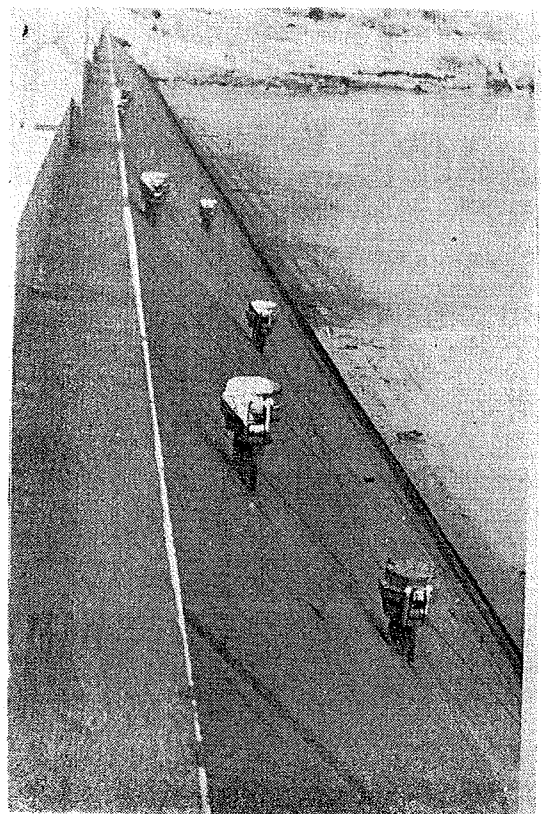


Fig. 2 - Assestimetri nel fianco di monte.

c) misura delle perdite attraverso il manto di tenuta nonché attraverso le spalle e il terreno di fondazione.

Il materiale impermeabilizzante sul paramento di monte venne disteso sopra uno strato di calcestruzzo monogranulare (permeabile) suddiviso in campi rettangolari da cordoli perpendicolari al coronamento.

Al piede una serie di tubi, uno per ciascun campo, convoglia le acque permeate attraverso il manto nel cunicolo drenaggi, ricavato nello spessore del taglione in calcestruzzo che corre lungo tutto il perimetro del paramento. E' così possibile localizzare le eventuali perdite e determinarne l'entità. Una elettropompa ad inserzione automatica disposta in un pozzetto al fondo del cunicolo provvede ad allontanare l'acqua di filtrazione mano mano che essa si accumula.

Un secondo dispositivo di misura, costituito da una piccola briglia in calcestruzzo munita di stramazzo triangolare ed installato nell'alveo immediatamente a valle dello sbarramento, consente il controllo delle permeazioni attraverso le spalle ed al disotto del taglione nonché delle acque che durante gli eventi di

pioggia impregnano il fianco di valle del rilevato, privo di rivestimento.

### 3 - Assestamenti

I diagrammi cronologici dei cedimenti del piano di fondazione (Fig. 3) rivelano come per la maggior parte dei punti esaminati una aliquota non trascurabile (mediamente il 30% circa) dell'assestamento totale ha avuto luogo dopo il completamento del rilevato.

Non considerando gli apparecchi n. 1 e 2, le cui letture, come già sopra accennato, furono interrotte assai presto, fa eccezione a tale comportamento il solo assestimetro 6 (ultimo verso valle) per il quale tutto il cedimento (più precisamente il 92%) si è verificato durante la esecuzione del rilevato.

L'assestamento totale massimo si è avuto in corrispondenza del coronamento di monte (assestimetro 3) ed è risultato poco più di 6 cm.

I diagrammi non sono stati confrontati con l'andamento della costruzione e degli invasi. Il particolare

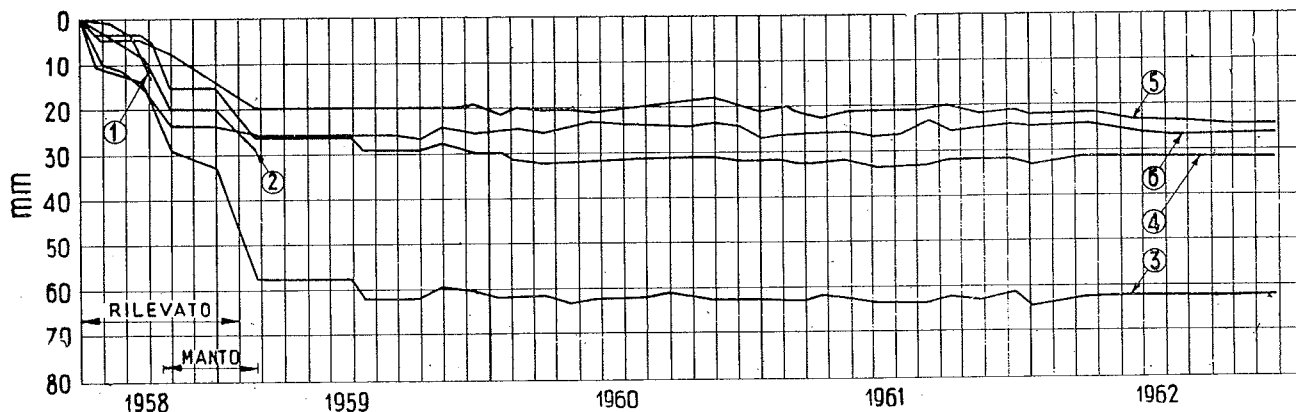


Fig. 3 - Assestimetri in fondazione - Diagrammi cedimenti - tempo.

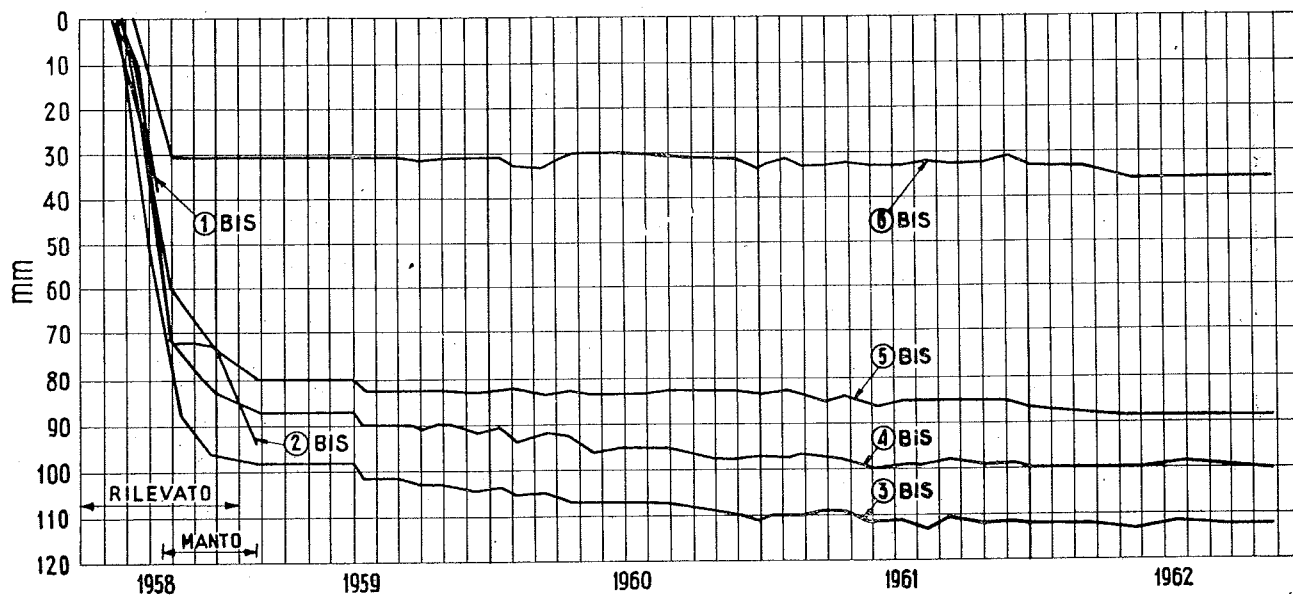


Fig. 4 - Assestimetri entro il corpo diga - Diagrammi cedimenti - tempo.

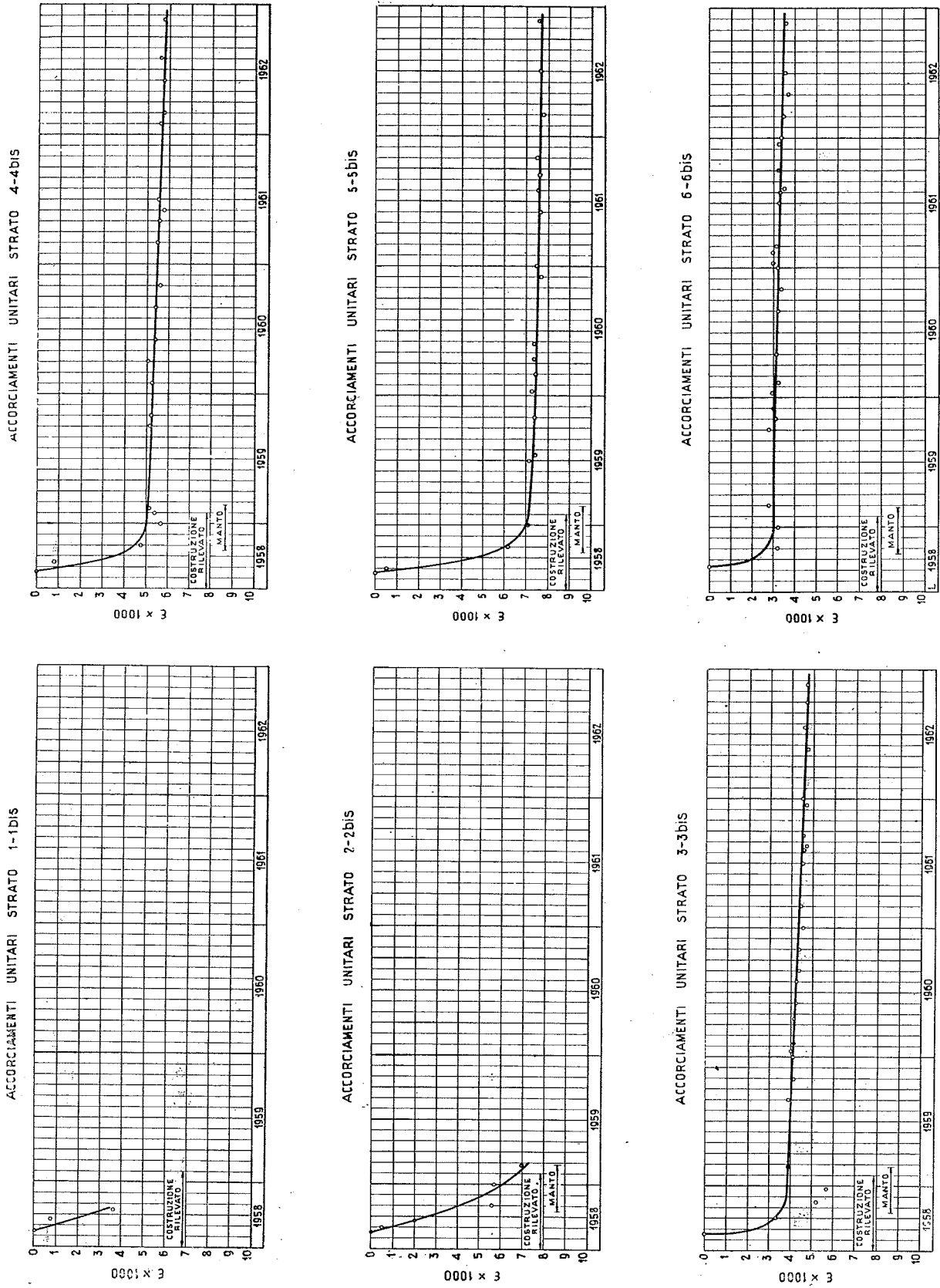


Fig. 5 - Accorciamenti unitari del rilevato in funzione del tempo.

procedimento costruttivo adottato, che comporta una crescita irregolare del rilevato, consente solo di definire le due fasi esecutive principali: messa in opera del pietrame e manto di tenuta. Il diagramma di invaso, poi, per la funzione di regolazione giornaliera-settimanale assegnata al serbatoio e per la sua modesta capacità, si riduce ben presto praticamente ad una retta orizzontale.

Per quanto concerne gli assestimetri installati nel

gressivo assestamento del pietrame: per il particolare sistema costruttivo adottato tale eventualità potrebbe esser stata favorita dalle pressioni laterali esercitate dal materiale gettato dall'alto delle due spalle.

L'assestamento del rockfill risulta comunque essersi quasi interamente esaurito durante la costruzione; i valori degli accorciamenti unitari non sembrano essere in relazione con l'altezza di rilevato so-

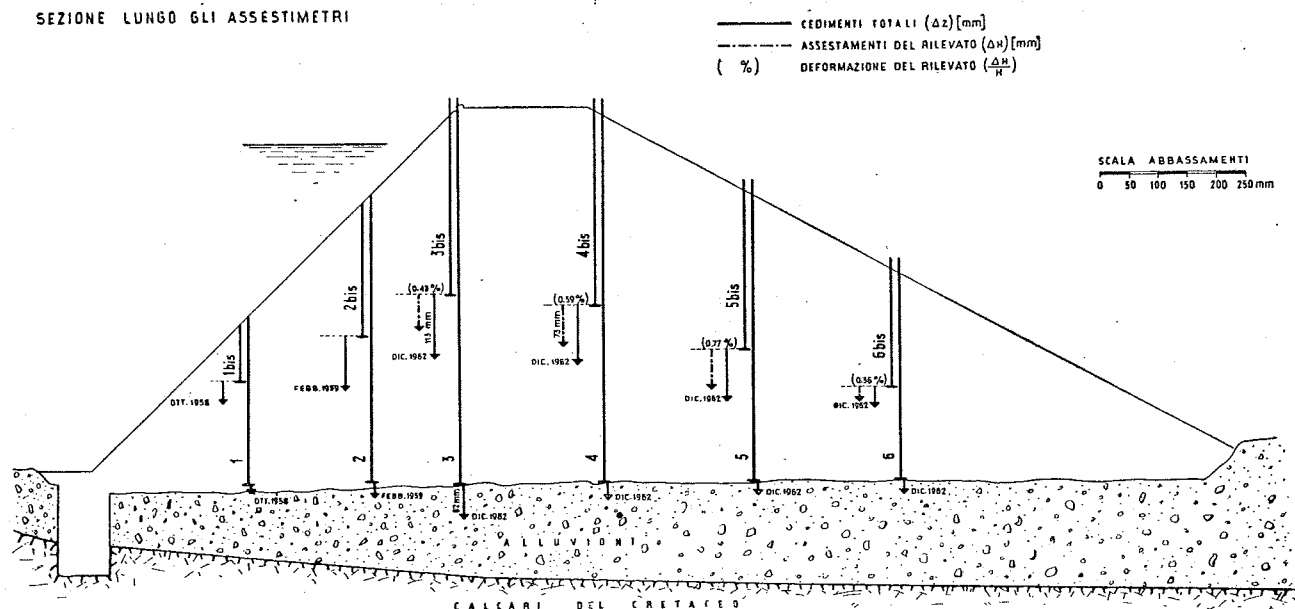


Fig. 6 - Assestamenti del rilevato.

corpo dello sbarramento, i diagrammi cedimenti-tempo (v. Fig. 4) hanno manifestato un andamento sensibilmente più rapido: nel periodo della costruzione infatti venne raggiunto già l'85 ÷ 88% del valore finale. Va precisato che i diagrammi di cui sopra sono relativi ai cedimenti totali, comprensivi cioè anche dell'abbassamento del piano di posa.

La disposizione adottata ha però consentito di individuare per ogni verticale di misura la deformazione dello strato di pietrame compreso fra i due assestimetri. Per ciascun strato sono stati pertanto riportati, in funzione del tempo, (Fig. 5) direttamente i valori

$$\text{degli accorciamenti unitari } \epsilon = \frac{\Delta H}{H}, \text{ riferiti cioè}$$

all'altezza iniziale  $H$ : i punti osservati si discostano in generale assai poco dalle curve interpolate, ad esclusione di alcuni dati relativi agli strati 3 - 3bis e 4 - 4bis, che sembrerebbero indicare, nell'ultima fase di costruzione, un rilascio (o allungamento) del rilevato. Il fenomeno potrebbe forse ricollegarsi alla probabile formazione di archi di scarico fra le due spalle, che andrebbero gradualmente annullandosi con il pro-

vastante e quindi con il carico fisso agente; vanno invece aumentando con regolarità verso valle fino ad un massimo (0.77%) in corrispondenza della verticale 5 - 5bis, per poi diminuire di nuovo rapidamente (Fig. 6).

#### 4 - Spostamenti

Il complesso di punti di misura (mire e zanche) predisposto sul paramento di monte ha consentito di seguire durante l'esercizio i movimenti del manto di lastroni conseguenti agli assestamenti del rilevato e dei terreni di imposta.

Nelle Figg. 7 e 8 sono stati riportati alcuni dei più rappresentativi diagrammi cronologici dai quali si rileva innanzitutto come le componenti (verticale e orizzontale) degli spostamenti tuttora subiscano delle variazioni percentualmente non trascurabili. La direzione dello spostamento risultante per un generico punto di misura non si discosta di molto dalla normale al paramento nel punto stesso.

Lungo le linee di livello del paramento (dirette cioè

secondo i giunti orizzontali fra i lastroni) i valori massimi degli spostamenti si sono verificati in corrispondenza della zona di maggior altezza del rilevato; le linee di giunto verticali presentano invece una deformata più complessa, assimilabile approssimativamente ad una «S» protesa verso valle, con i maggiori

spostamenti in corrispondenza del tratto inferiore (v. Fig. 9).

Il massimo assoluto si è registrato per la zanca n. 2 a q. 303,50 ed è risultato 6,6 cm. Al coronamento lo spostamento massimo (mira n. 2) è risultato 3,3 cm.

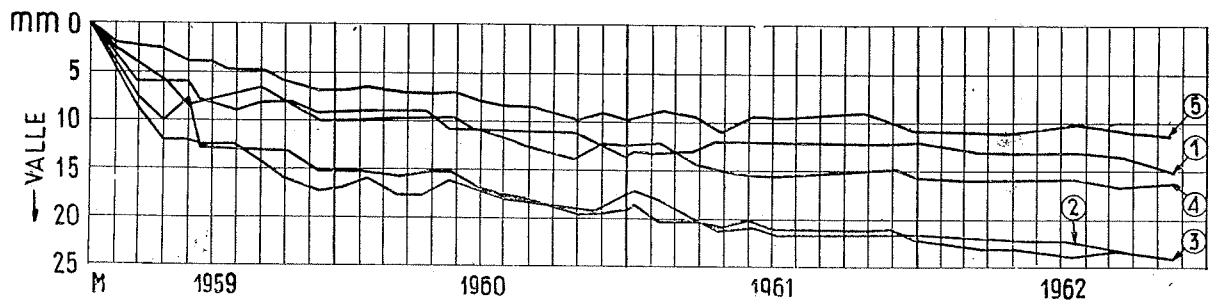


Fig. 7 - Spostamenti orizzontali al collimatore.

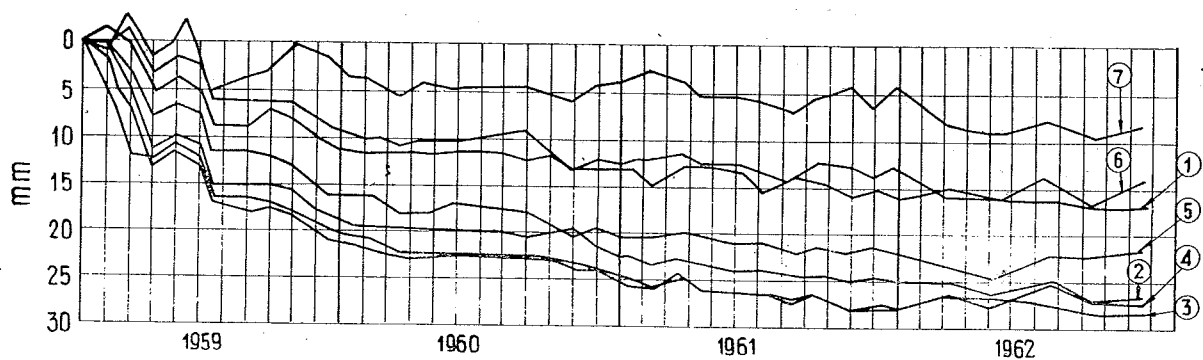


Fig. 8 - Spostamenti verticali zanche a q. 313.

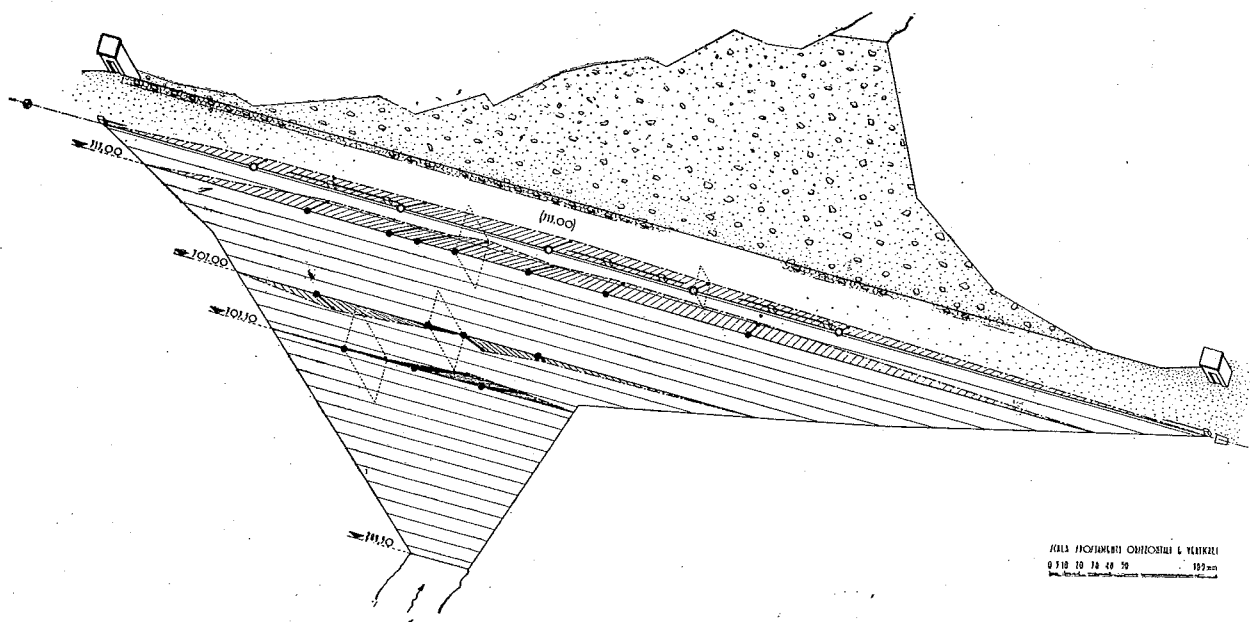


Fig. 9 - Vista assometrica della deformazione del paramento di monte.

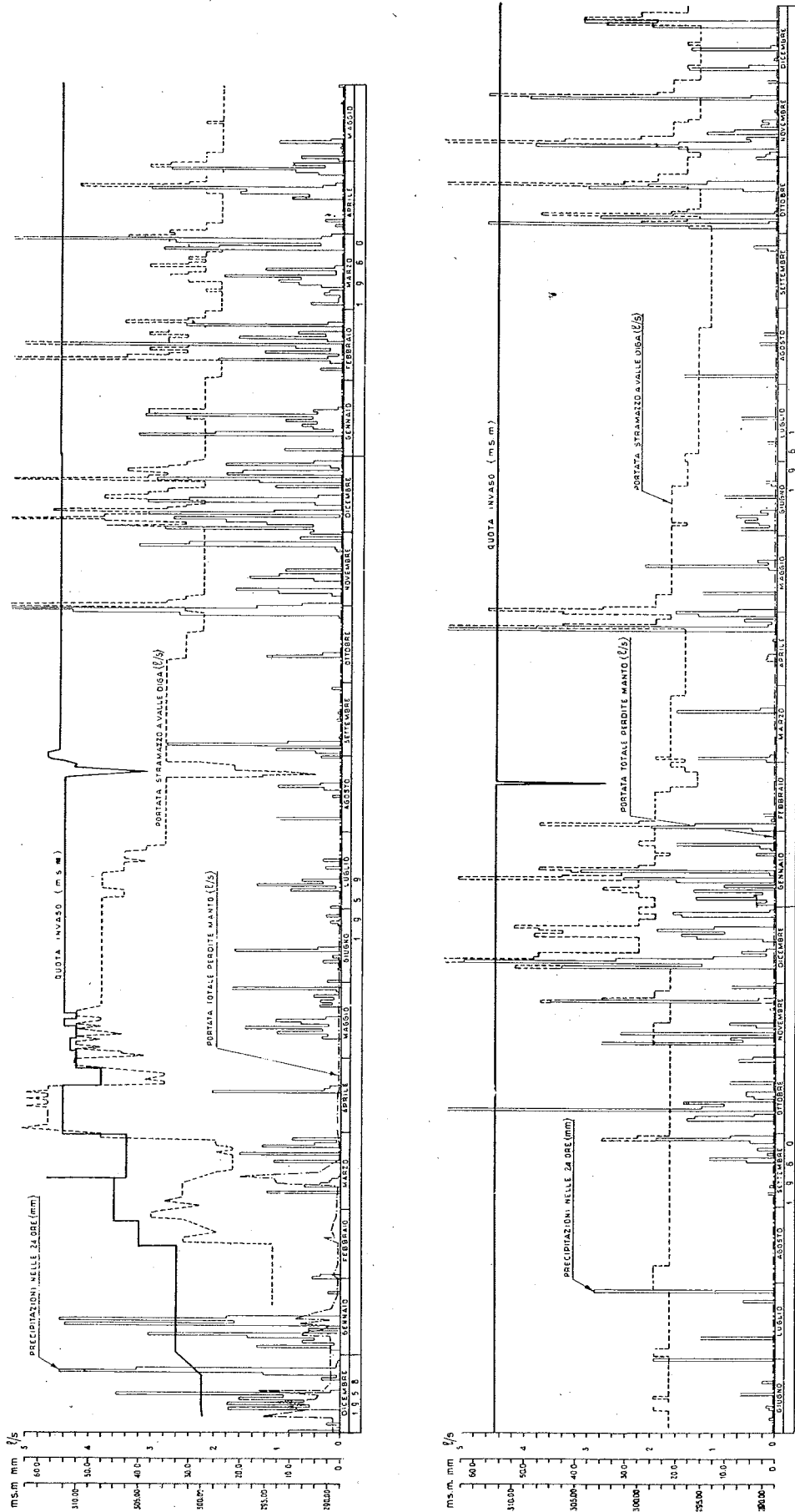


Fig. 10 - Diagrammi degli invasi e delle perdite.

## 5 - Perdite

Le perdite misurate nel cunicolo drenaggi, per un breve periodo iniziale di circa un mese dopo l'ultimazione del manto, risultarono nettamente influenzate dalle precipitazioni e dai livelli d'invaso (v. Fig. 10).

Essendosi riuscito a localizzare alcune filtrazioni attraverso le pareti del cunicolo, si provvide ad eliminarle mediante iniezioni nel calcestruzzo del taglione effettuate dall'interno del cunicolo stesso. Dopodiché le perdite si ridussero a valori praticamente trascurabili, risultando in complesso inferiori a 1 l/min.

Le portate rilevate allo stramazzone a valle della diga risentono invece regolarmente, com'è naturale, delle precipitazioni atmosferiche e del livello d'invaso nel serbatoio.

Stabilizzatosi, a parte le oscillazioni giornaliere, quest'ultimo, le variazioni riscontrate sono da riferire esclusivamente alle vicende meteorologiche; le portate durante siccità prolungate tendono ad un valore di base inferiore ai 2 l/s.

## 6 - Considerazioni finali

Quanto sopra riferito non ha altra pretesa che la divulgazione di dati sperimentali osservati nel comportamento di un'opera che, per il procedimento costruttivo adottato, peraltro assai diffuso all'estero e soprattutto in America, rappresenta, a quanto ci risulta, il primo esempio del genere in Italia. Tuttavia non ci sembra inopportuna qualche considerazione conclusiva.

La riuscita dell'opera è da ritenersi pienamente soddisfacente sia sotto il profilo della tenuta, praticamente perfetta, sia sotto quello dei cedimenti, di entità abbastanza modesta.

Per quanto concerne questi ultimi va detto innanzitutto che la distribuzione planimetrica dei terreni di fondazione, ed in particolar modo l'andamento tortuoso della stretta fascia alluvionale, non ha consentito un'analisi più approfondita, sulla base di una schematizzazione stratigrafica attendibile, del comportamento delle alluvioni stesse nei riguardi della compressibilità. Qualche osservazione può invece esser

formulata sugli assestamenti del materiale costituente il rilevato. Come è noto, in dighe di questo tipo, tali assestamenti sono da attribuire sostanzialmente a due fattori: in primo luogo, quella parte di materiale fino eventualmente fermatosi, a causa di insufficiente lavaggio durante la messa in opera, fra gli elementi lapidei più grossi, impediscono il diretto contatto, viene successivamente diluito ed asportato dalle acque di pioggia; inoltre i singoli elementi di pietrame costituenti lo scheletro del « rockfill » sono suscettibili di piccoli scorrimenti ed adattamenti mutui, connessi a fenomeni di rottura locale laddove il contatto fra essi avviene lungo spigoli o comunque zone di estensione limitata, con forte concentrazione delle pressioni effettive.

Ne risulta confermata, se pur necessario, l'importanza fondamentale che in opere del genere può assumere l'adozione di un procedimento esecutivo particolarmente appropriato ed una accurata scelta del materiale: non soltanto l'entità dei cedimenti finali risulta modesta, ma la massima parte di essi ha luogo durante la messa in opera del pietrame, prima della esecuzione dei lastroni del manto; sicché questi ultimi si trovano a essere gettati su materiale già in gran parte assestato, risultando quindi soggetti a movimenti notevolmente ridotti, con evidenti garanzie per la riuscita e la conservazione del paramento.

Circa la distribuzione degli assestamenti nel rilevato, con massimo spostato verso valle, una spiegazione potrebbe trovarsi sia nella presenza nel fianco di monte di una zona notevolmente meno deformabile costituita dalla muratura a secco, sia nella azione di sovraccarico permanente piuttosto che accidentale rappresentata dalla spinta idrostatica sul paramento di monte, date le caratteristiche di esercizio del serbatoio.

Per finire ci sembra utile far rilevare come la configurazione deformata assunta dal paramento di monte, a seguito dei movimenti subiti, caratterizzi anche il comportamento dei giunti predisposti fra i lastroni. In particolare, mentre quelli verticali sembrano manifestare una generale tendenza alla chiusura, i giunti orizzontali per la parte inferiore del paramento tendono a chiudersi anch'essi, verso il coronamento tendono invece ad aprirsi.

### PERFORMANCE OF THE CONTRADA SABETTA ROCK-FILL DAM DURING NEARLY FOUR YEARS OF OPERATION

*Summary:* The first dam in Italy built by the sluiced rockfill practice, is that on the Bussento river.

Since the construction started, data on foundation and fill settlement, concrete facing movements and leakage checked at the drainage system have been recorded.

Results are related and discussed, with special remarks to the embankment deformation.

The set of observations makes evident the fully satisfactory performance of the dam with reference as to the settlements as to the tightness.

### COMPORTEMENT DU BARRAGE EN ENROCHEMENTS DE CONTRADA SABETTA, APRÈS QUATRE ANNÉES DE FONCTIONNEMENT

*Sommaire:* Avec le barrage de Contrada Sabetta on a eu en Italie la première application d'enrochements arrosés sous pression.

Pendant la construction et au cours des premières années de fonctionnement les tassements de la fondation et du remblai ont été mesurés régulièrement de même que les mouvements du parement amont et les débits du système de drainage.

Les résultats des mesures sont exposés et analysés avec spéciale considération pour la déformation du remblai.

Les données examinées confirment le comportement très satisfaisant de l'oeuvre, aussi sous le profil des tassements que des fuites.