

ASSOCIAZIONE GEOTECNICA ITALIANA
QUARTO CONVEGNO DI GEOTECNICA
 Padova, Maggio 1959

RELAZIONE GENERALE SUL TEMA
CANALI

C. MARCELLO (*)

SOMMARIO: Il Relatore generale in primo luogo ordina le comunicazioni presentate nei seguenti tre distinti gruppi:

- 1 - Studi di progetto.
- 2 - Esecuzione delle opere e problemi costruttivi particolari.
- 3 - Osservazioni sulle opere in esercizio ed eventuali modifiche od aggiunte da esse consigliate.

Seguendo tale classificazione, espone sommariamente gli argomenti principali trattati in ogni singola memoria e ne fa oggetto di alcune osservazioni.

Dall'esame delle comunicazioni risulta una diffusa applicazione degli studi geotecnici a questo tipo di opere, i cui particolari costruttivi, peraltro, non si discostano molto dalla tecnica più tradizionale.

Illustri Presidenti della Associazione Geotecnica e della odierna Sessione del IV Convegno di Geotecnica, chiarissimi Professori, egregi Colleghi, nella presente Relazione Generale, che sono stato incaricato di elaborare su uno dei due temi oggetto dell'odierno *IV Convegno di Geotecnica*, quello sui « *Canali* », ho cercato di esporre e commentare sommariamente il contenuto delle otto interessanti memorie presentate.

Era mio intendimento sviluppare, sulla scorta appunto degli argomenti che mi venivano forniti dalle varie comunicazioni, una organica esposizione che si svolgesse seguendo le stesse fasi di lavoro richieste per la realizzazione di opere di questo tipo.

E precisamente passando dai primi studi preliminari del tracciato, ai successivi studi geologici e geotecnici per confermarne o meno la opportunità di adozione e le eventuali modifiche; e quindi alla determinazione delle sezioni tipo più convenienti per le varie zone, ai relativi problemi costruttivi, senza dimenticare infine le osservazioni del comportamento dell'opera costruita e gli eventuali provvedimenti integrativi consigliati dall'esperienza dell'esercizio. Il tutto, naturalmente, alla luce principalmente delle condizioni geologiche e delle caratteristiche geotecniche dei terreni interessati.

Naturalmente questo mio intendimento presupponenza per la sua piena attuazione la presentazione di un notevole numero di memorie che mi consentisse appunto di disporre di sufficiente materiale per le varie fasi di sviluppo accennate, fasi che possono essere concretate nei seguenti tre gruppi:

- 1) Studi di progetto
- 2) Esecuzione delle opere e problemi costruttivi particolari
- 3) Osservazioni sulle opere in esercizio ed eventuali modifiche od aggiunte da esse consigliate.

(*) Dott. Ing. Claudio MARCELLO, Direttore Centrale della Soc. Edison.

Nonostante il limitato numero di memorie ho ritenuto tuttavia di poter restare sostanzialmente fedele al criterio di classificazione prima esposto, anche se esso non potrà essere ampiamente svolto in tutte le sue parti.

Mi sembra infatti che le otto comunicazioni consentano di abbracciare gli aspetti principali della realizzazione di queste importanti opere idrauliche tanto più che alcune di esse interessano più di uno degli aspetti ora accennati.

1 - Studi di progetto

Veniamo ora ad esaminare il primo gruppo di memorie che, in relazione agli argomenti esaminati, ho ritenuto opportuno considerare tra gli studi di progetto.

Le memorie in questione sono:

COTECCIA: « *Criteri di geologia e geotecnica nella progettazione del canale irriguo in sponda destra del F. Fortore* ».

MOUTON: « *Possibilità di applicazione dei metodi geofisici nei problemi posti per lo scavo dei canali* ».

INDRI: « *Modello per lo studio delle permeazioni lungo la sponda di un canale* ».

Le prime due vertono su studi geologici e geotecnici eseguiti per la scelta del tracciato di un canale, mentre la terza riguarda un particolare problema di progetto che venne indagato con l'ausilio di una serie di prove su modello.

La memoria del Prof. COTECCIA:

« *Criteri di Geologia e Geotecnica nella progettazione del canale irriguo in sponda destra del Fiume Fortore* » illustra i criteri di studio del tracciato di un canale previsto per la derivazione delle acque irrigue provenienti dal Lago Occhito sul Fiume Fortore.

Detto canale, dalla traversa di presa alla confluenza del vallone S. Maria, raggiunge con diversi km di percorso la valle del Figurella, ove la portata addotta di 26 m³/s viene ripartita in altri canali minori.

L'Autore esamina le condizioni di scarsa stabilità delle formazioni oligo-mioceniche, costituenti entrambe le sponde del Fortore, che hanno imposto, nonostante la favorevole disposizione topografica delle sponde stesse, un tracciato del canale in galleria, per un primo tratto lungo circa 8 km, in alcune formazioni flyscioidi e di argille variocolori, di difficile scavo e di oneroso rivestimento.

Il secondo tronco si svolge invece all'aperto sui terreni plio-pleistocenici, sia pure a costituzione argillosa-sabbiosa o alluvionale, che si affacciano verso il Tavoliere.

Lo studio mette in piena luce le caratteristiche di queste rocce di composizioni diverse e di varia giacitura, ricavandone le indicazioni di orientamento per l'ubicazione delle singole opere e le modalità da seguire nella loro costruzione.

Tale studio è completato da una ricerca mirante ad individuare i materiali più idonei per la confezione dei calcestruzzi.

La memoria in oggetto è assai interessante come un buon esempio per lo studio di problemi analoghi.

Alcune applicazioni di un mezzo di indagine già assai diffuso nel campo delle ricerche geologiche, quello costituito dai procedimenti geofisici, vengono illustrate nella memoria dell'Ing. MOUTON: « *Possibilità di applicazione dei metodi geofisici nei problemi posti per lo scavo dei canali* ».

I metodi di indagine geofisica sono già noti perché io mi soffermi ad illustrarli e sono del resto già da molto tempo applicati in Italia. Rammenterò solo che detti metodi, introdotti in un primo tempo per ricerche in grande scala e di grossolana approssimazione, sono stati successivamente perfezionati sia da poter essere applicati anche a problemi geologici di dettaglio. Il loro principale vantaggio consiste nella possibilità di ricostruire l'andamento complessivo del sottosuolo.

Nello studio di un canale in particolare è in genere di fondamentale importanza una buona conoscenza geologica di una estesa area al fine di poter compiere una scelta preliminare del tracciato da confermare, ove ne sia il caso, con perforazioni di controllo per lo studio di dettaglio definitivo.

Nella memoria citata si sviluppano appunto questi concetti e si suggerisce una giusta associazione della prospezione geofisica sismica o elettrica e delle perforazioni per ottenere con la minima spesa la migliore conoscenza delle condizioni locali geologiche.

Sono da segnalare nella comunicazione dell'Ing. MOUTON le importanti applicazioni dei metodi geofisici realizzati nell'impianto di Donzère-Mondragon di cui già si avevano avute notizie e che in questa sede vengono dettagliatamente esposti.

Qui si ricorse alla prospezione geofisica per individuare l'esatta configurazione di uno sperone roccioso che attraversava a pochi metri di profondità, il tracciato del canale. Perforazioni eseguite in seguito

rivelarono che la profondità della roccia era stata determinata con l'approssimazione del 10% circa.

Analoghe ricerche consentirono l'individuazione di una formazione rocciosa ricoperta da alluvioni su cui vennero poi fondate la centrale e la chiusa.

Nell'impianto di Montelimar venne eseguita una ricognizione generale sul percorso del canale di derivazione; in un tratto di esso, causa la presenza di due arenarie di diversa durezza ma di uguale resistività, al sondaggio elettrico fu sostituita la prospezione sismica a rifrazione.

Si rilevò così una zona di arenarie con andamento estremamente complesso, ed una formazione di arenaria potè essere individuata anche in spessori di 30 ÷ 50 cm.

L'errore col quale vennero rilevate le profondità sarebbe stato dell'ordine del 10 ÷ 20%.

L'ultima memoria che ho raccolto nel gruppo che stiamo esaminando, in quanto si riferisce pure ad uno studio preliminare di carattere però idrogeologico, è quella del Prof. INDRI: « *Modello per lo studio delle permeazioni lungo la sponda di un canale* ».

Il canale di scarico per l'impianto idroelettrico di Isola Serafini, in costruzione sul Fiume Po, su progetto e colla sopravvisione degli Uffici Tecnici delle tre Società interessate nella SIMA (Edison, Sade e Centrale), è scavato in terreno naturale, prevalentemente sabbioso, senza rivestimento sul fondo ed ha le sponde sostenute da un doppio diaframma continuo in calcestruzzo.

Poiché con l'impianto in esercizio si stabilirà tra il canale e la falda freatica circostante un moto di filtrazione, che potrà assumere maggiore o minore intensità in funzione dei livelli nel canale, è stata calcolata la distribuzione della pressione idrostatica sui diaframmi mediante il tracciamento della rete idrodinamica procedendo poi al rilievo diretto della rete stessa mediante esperienze su modello in sabbia in scala 1 : 50.

Non mi soffermerò sui particolari dell'installazione sperimentale che non riveste carattere di singolarità, ma piuttosto sugli scopi che l'analisi su modello si è prefissati e sui risultati relativi.

Le esperienze furono eseguite in un primo tempo col fine di esaminare la distribuzione del flusso per varie condizioni di regime e per diverse profondità dei diaframmi.

In questa fase si potè appunto rilevare l'influenza della profondità di infissione dei diaframmi sull'affioramento delle linee di corrente lungo la sponda del canale delimitata dai due diaframmi, e si potè pertanto studiare, data la profondità più opportuna da assegnare ai diaframmi stessi per assicurare la stabilità della massa terrosa, il rivestimento più adatto della sponda per fronteggiare gli affioramenti. Tali affioramenti infatti non potevano essere totalmente eliminati se non a costo di un approfondimento anti-economico dei diaframmi.

In un secondo tempo furono eseguite sul modello delle prove in regime transitorio per ricercare indicazioni sulle pressioni residue che possono permanere a monte del diaframma in seguito ad un brusco abbassamento del livello nel canale. Tali pressioni residue, infatti, aggravano le sollecitazioni sul diafram-

ma; nel modello però il fenomeno si esaurisce abbastanza rapidamente, mentre nella realtà esso sarà assai più esteso nel tempo.

Esperienze del tipo illustrato nella comunicazione del Prof. INDRI possono essere di interesse generale specialmente quando si riferiscono, oltre alle fasi di regime, anche alle fasi di funzionamento transitorio, ponendo in evidenza le variazioni successive che si hanno nell'andamento delle permeazioni prima che si vengano a stabilire le nuove condizioni di regime. E' d'altronde noto che, in questo secondo caso, se si vuole ottenere l'analogia tra modello e prototipo, i rapporti che legano tutte le grandezze in gioco rendono assai difficoltosa ed in alcuni casi impossibile una realizzazione pratica.

Molto giustamente perciò il Prof. INDRI fa rilevare il carattere piuttosto informativo delle esperienze da lui descritte in fase transitoria, in quanto, nel caso in esame non veniva più a sussistere, in questo regime, una precisa analogia tra il modello ed il prototipo.

Abbiamo così rapidamente scorso, attraverso tre delle comunicazioni presentate, alcuni aspetti degli studi preliminari e di progetto dei canali. Non si sono, come è del resto abbastanza naturale, riscontrati indirizzi o ricerche assolutamente particolari per questo genere di costruzioni, ma si è potuto constatare l'applicazione di metodi di ricerca, di più estesa adozione in altri campi delle indagini geotecniche ed idrauliche, anche allo studio dei canali. Vedremo nel seguito come, anche nel campo della costruzione, si possa riscontrare un analogo indirizzo.

2 - Esecuzione delle opere e problemi costruttivi particolari

Passiamo ora ad esaminare le comunicazioni che si occupano essenzialmente di problemi costruttivi. In questo gruppo ho raccolto quattro memorie di cui due trattano di problemi costruttivi specifici di canali e due di applicazioni di sistemi costruttivi speciali ad opere inserite in canali.

Esse sono:

BARONE: « *Costruzione di un canale su terreno pelitico calcareo* ».

LOTTI e FRIGERI: « *L'impiego dei conglomerati pettinosi nel rivestimento dei canali* ».

VEDER: « *Scavo di fondazione per l'inserimento di una centrale idroelettrica nei relativi canali di carico e restituzione* ».

MEARDI: « *Consolidamento di argille molli per la esecuzione dello scavo e per la fondazione di un fondo sifone triplo* ».

La prima delle suddette memorie, quella dell'Ing. BARONE, si riferisce allo studio preliminare, alla costruzione ed alle osservazioni dopo la costruzione di un canale. Essa quindi si riassume effettivamente a tutti i tre raggruppamenti previsti. L'Ing. BARONE porta a nostra conoscenza i criteri con i quali fu risolto un problema geotecnico di notevole interesse riguardante un tronco, della lunghezza di circa 700 m, del canale che collega le centrali di Montelungo e Montemaggiore del sistema Volturno-Garigliano.

Il tronco di canale, previsto per una portata di 37 m³/s, è a sezione trapezoidale e si sviluppa in una formazione di particolare interesse.

Rispetto al piano di campagna il canale risulta parzialmente incassato, con il fondo sempre sulla formazione pelitica e con le sponde parte in trincea e parte in rilevato.

L'esame di questo limo ha rivelato una notevole uniformità granulometrica, un alto indice dei vuoti ed una sollecitazione di rottura alla compressione con dilatazione libera compresa tra 0,3 e 1,2 kg/cm².

Le ricerche e gli studi geotecnici, assai accuratamente condotti da quanto ci è dato di apprendere dalla memoria dell'Ing. BARONE, hanno portato a concludere che su detto materiale si potevano appoggiare il canale e gli argini, purché non fosse rimaneggiato e non venisse sottoposto a carichi superiori ad 1 kg/cm². A causa della grande sensibilità del materiale al variare del contenuto in acqua, risultò assolutamente necessario mantenerlo nelle naturali condizioni di umidità.

Le ricerche eseguite dimostrarono inoltre la pratica impossibilità di impiegare questo materiale, anche corretto, per l'esecuzione degli argini, ove fu impiegato perciò materiale di altra origine.

Date le caratteristiche rilevate per il terreno di fondazione l'esecuzione del rivestimento presentava due distinti problemi: l'adattabilità ai possibili assestamenti e la necessità di una accuratissima intercettazione delle eventuali perdite.

L'Ing. BARONE ci illustra ampiamente il modo in cui furono soddisfatte queste due esigenze e cioè un rivestimento in lastre di calcestruzzo eseguite in opera protetto a tergo da un sistema drenante costituito da laterizi ed appoggiato su un fondo di malta. Una parte dei giunti è stata realizzata in nastro di polivinile; il rimanente con bitume armato.

A completamento delle notizie sull'esecuzione dell'opera, vengono date anche le necessarie informazioni sulle modalità costruttive degli scavi, dei rilevati, e dei calcestruzzi.

Ritorno su questa opera quando tratterò delle osservazioni condotte su canali già costruiti.

La serie di quesiti presentatasi nell'esecuzione di questo canale mi ha richiamato alla memoria il progetto e la costruzione del canale di derivazione dell'impianto idroelettrico di Gasalkent a Kirghis Kulak sul F. Circik in Russia al cui studio partecipai in qualità di consulente dell'Ufficio Statale Sovietico degli impianti idroelettrici nel 1935 ed in cui appunto si ebbero da risolvere problemi analoghi. Questo canale, dimensionato per una portata massima di 315 m³/s, attraversa in vari tronchi dei depositi di loess, capaci di reggersi a secco con pareti ripide, ma soggetti a perdere gradualmente consistenza con l'aumentare del contenuto in acqua.

Il canale, a sezione trapezia, fu rivestito in lastre di calcestruzzo protette, contro l'azione del gelo nella zona soggetta all'oscillazione dei livelli, da vernici bituminose.

Un'attiva ed abbondante rete di drenaggi a tergo dei rivestimenti, consistente in canaletti riempiti di ghiaietto disposti in corrispondenza dei giunti, integrati da drenaggi obliqui a 45° sulle sponde e con-

fluenti in collettori largamente dimensionati, tutelava dalle perdite il materiale restante.

Non mi consta, sulla base delle notizie che mi sono pervenute, che nel corso dell'esercizio si siano verificati inconvenienti.

Convengo pertanto con l'Ing. BARONE che, allo stato attuale della tecnica, possono essere eseguiti canali anche in condizioni geologiche assai sfavorevoli senza inconvenienti di sorta e mantenendosi in limiti di costo accettabili.

Il problema costruttivo veramente tipico dei canali, quello del rivestimento, viene trattato dalla comunicazione degli Ingegneri LOTTI e FRIGERI: « *L'impiego dei conglomerati bituminosi nel rivestimento dei canali* » che, come dice il titolo stesso, intende fare il punto sull'attuale tecnica di questo conglomerato nelle applicazioni per canali.

Da noi in Italia le preferenze sono generalmente ancora rivolte ai tradizionali rivestimenti in calcestruzzo per le loro indubbie garanzie di resistenza e di durata. Si sono avuti esempi di applicazioni diverse, dai rivestimenti in calcestruzzo semplice a quello armato, da quelli eseguiti in opera a quelli prefabbricati in relazione appunto alle differenti condizioni di impiego.

Gli Ingg. LOTTI e FRIGERI perciò, spinti dalle recenti realizzazioni conseguite all'estero, e di alcune delle quali hanno preso diretta cognizione, e sollecitati anche dagli inconvenienti riscontrati in taluni casi di rivestimenti in calcestruzzo, hanno condotto un esame obiettivo del rivestimento in conglomerato bituminoso in relazione anche alle esperienze direttamente da loro stessi eseguite.

Pregio fondamentale del conglomerato bituminoso, in contrapposto al calcestruzzo di cemento, è la sua plasticità, che gli consente di seguire agevolmente le deformazioni del supporto e le variazioni termiche.

Ai pregi suddetti si devono peraltro contrapporre le azioni negative della vegetazione e delle sottopressioni, nonché del colaggio del bitume. Molto giustamente perciò si fa osservare, nella memoria che il calcestruzzo bituminoso non può considerarsi di generale applicazione, ma caso per caso deve essere considerata la possibilità del suo impiego.

Dalle considerazioni esposte dagli Autori si deduce che le applicazioni più favorevoli di questo rivestimento si avranno nei canali di grandi dimensioni, primi fra tutti i canali navigabili che, non avendo in genere particolari esigenze di tenuta, permettono la applicazione di conglomerato a basso tenore di bitume e quindi particolarmente economico, consentono una efficace rullatura e permettono una buona resistenza alle sollecitazioni dinamiche generate dal moto ondoso.

Nel caso di canali industriali, in cui è richiesta la impermeabilità delle sponde e per i quali occorre pertanto un conglomerato a tenore di bitume più alto, i vantaggi sarebbero più limitati, ma comunque sempre apprezzabili.

In generale meno convenienti sono i manti bituminosi nei piccoli canali di irrigazione, ove non è possibile ottenere una buona rullatura ed il conglomerato, dovendo essere posto in opera in strato sottile, risulta, in definitiva, una malta bituminosa.

In tale caso i tre inconvenienti noti: vegetazione, sottopressioni e colaggio vengono ad assumere importanza e costringono, per ottenere un soluzione opportuna per i piccoli canali a costi elevati.

I pregi relativi alla miglior efficacia e durata, nonché alle minori spese di manutenzione potranno indirizzare poi nella scelta.

Giudizio sfavorevole esprimono invece gli Autori nei confronti delle membrane bituminose e dell'impregnazione diretta del terreno. Questo sistema ha avuto all'estero alcune applicazioni realizzando costi in opera modesti. Circa la sua durata, condividiamo il parere degli Autori e cioè che l'utilizzazione di questo procedimento sia da limitarsi ad opere provvisorie. Anche la protezione della membrana con strati di sabbia e ghiaia, di cui pure si hanno esempi, non ritengo possa risolvere completamente il problema.

Gli Ingegneri LOTTI e FRIGERI ci riferiscono anche sulle loro personali esperienze eseguite su questi tipi di rivestimenti in vista di una concreta realizzazione di un canale e sui risultati che sembrerebbero soddisfacenti.

Questa memoria si può considerare di notevole interesse per tutti i professionisti che si occupano di problemi del genere.

In nessuna memoria si è fatto cenno ai rivestimenti che direi più poveri da quelli in terra costipata o stabilizzata a quelli in terra-cemento (soil-cement).

Negli Stati Uniti questi procedimenti costruttivi sono di applicazione abbastanza diffusa e la tecnica per l'impiego della terra-cemento, in generale in canali di irrigazione, è sufficientemente sperimentata.

Poiché le modalità di posa in opera della terra-cemento sono assai simili a quelle adottate per l'esecuzione delle pavimentazioni stradali, ci si può naturalmente giovare di un più ampio campo di esperienza. Non mi consta però che in Italia ci siano state delle importanti applicazioni.

Con la comunicazione degli Ingg. LOTTI e FRIGERI termina la parte della mia relazione relativa ai problemi costruttivi inerenti ai canali. Infatti le altre due relazioni di cui ora mi occuperò e che ho pure assegnato al secondo gruppo in cui ho suddiviso le memorie pervenute, trattano, come già accennai, di applicazione a tronchi limitati di particolari procedimenti costruttivi. Debbo concludere pertanto affermando che i problemi costruttivi peculiari dei canali non hanno molto attirato l'interesse dei colleghi.

Ciò farebbe presumere una certa cristallizzazione su soluzioni costruttive già da tempo sperimentate come i rivestimenti in calcestruzzo ed una certa riluttanza ad accedere a nuove soluzioni.

Riprendiamo ora con l'esame di due interessanti realizzazioni di cui ci parlano rispettivamente il Prof. VEDER e il Prof. MEARDI. In entrambe le comunicazioni ci vengono forniti ampi chiarimenti sulle soluzioni cui si è fatto ricorso per superare particolari difficoltà costruttive incontrate nell'esecuzione delle opere. Per l'interesse generale di questi argomenti mi soffermerò alquanto nel loro esame ed esprimerò qualche quesito di dettaglio al fine di ottenere più ampi particolari dagli Autori nella successiva discussione.

Prenderò per prima in considerazione la memoria del Prof. VEDER dal titolo: « *Scavo di fondazione per l'inserimento di una centrale idroelettrica nei relativi canali di carico e scarico* ».

La memoria tratta dello scavo di fondazione della centrale idroelettrica di Zevio, costruita per l'utilizzazione delle acque dell'Adige. Con lo scavo si doveva raggiungere una profondità di 17,50 m dei quali ben 15,50 al disotto della falda acquifera; inoltre il terreno interessato era altamente permeabile essendo costituito da un banco di ghiaia di notevole spessore poggiante su strati di sabbia fina.

L'Autore della nota riferisce che, esaminati i vari metodi di possibile applicazione per l'esecuzione delle opere quali lo scavo con aggettamento, il palanconato, i cassoni autoaffondanti ecc., venne deciso di ricorrere ad un setto continuo impermeabile in calcestruzzo con il quale isolare la zona interessata eseguendo quindi un normale scavo con aggettamento dell'acqua di infiltrazione.

L'altezza del diaframma di circa 20 m e l'impianto di pompaggio furono dimensionati in base allo studio delle portate di filtrazione nella condizione di scavo totalmente eseguito. Evidentemente si ritenne, dallo studio delle reti di filtrazione a cui si accenna nella memoria, che il gradiente di percolazione fosse in ogni punto inferiore a quello critico per i materiali di fondazione. Rilevo inoltre, sempre dal testo, che tali studi vennero eseguiti adottando il valore della permeabilità orizzontale. Tale ipotesi dovrebbe essere assai cautelativa in quanto uno dei principali vantaggi degli schermi verticali consiste appunto nel costringere le acque di filtrazione a seguire percorsi verticali lungo i quali la permeabilità è generalmente inferiore a quella orizzontale.

Non risulta se in questo caso siano state fatte prove in tal senso.

Risulterebbe soltanto che in fase esecutiva si dovette far fronte a fenomeni di rifluimento sul fondo dello scavo generati da preferenziali vie d'acqua che venivano ad interessare i materiali più fini.

I mezzi normalmente impiegati per contenere tali fenomeni, come la creazione di un cuscinetto filtrante in corrispondenza della venuta, non diedero risultati soddisfacenti e lo scavo fu pertanto temporaneamente sospeso.

In seguito ad accurate indagini che confermarono l'esistenza, a pochi metri sotto la quota di fondo scavo, di vie preferenziali di filtrazione, si decise di operare un alleggerimento delle sottopressioni mediante una serie di pozzi filtranti ubicati perifericamente alla zona più depressa dello scavo all'interno dei diaframmi.

Canne piezometriche consentivano il controllo dell'abbassamento provocato nella falda dal pompaggio. Il sistema adottato raggiunse lo scopo con l'esecuzione di un numero abbastanza limitato di pozzi ottenendo un abbassamento della falda di circa 4,00 m sotto il fondo scavo. Si poté conseguire in tal modo un immediato consolidamento delle sabbie di fondo scavo.

L'esperienza di cui ci riferisce il Prof. VEDER è in ogni modo assai interessante. Per quanto mi riguarda desidererei conoscere se, in sede di studio prelimi-

nare, oltre alle soluzioni ricordate dall'Autore, sia pure stata esaminata la possibilità di eseguire il diaframma mediante iniezioni di opportune miscele. Ritengo infatti che, considerando che i diaframmi dovevano rispondere solo ad una funzione statica abbastanza limitata e cioè fronteggiare le forze idrostatiche di permeazione, anche questo sistema avrebbe forse potuto essere applicato, tanto più in relazione alla provvisorietà della funzione del diaframma stesso.

Esso avrebbe potuto inoltre essere accoppiato con un analogo trattamento del terreno al disotto del piano di scavo in modo di racchiudere in una struttura a cassa di modesta permeabilità l'intera zona interessata. Questo sistema, che è stato applicato con esito pare molto lusinghiero, (centrale di Fessenheim v. comunicazione di M. R. LEFOULON e M. E. ISCHY al V Congresso delle Grandi Dighe) avrebbe permesso di eliminare anche i provvedimenti che si dovettero prendere in sede esecutiva.

Molto probabilmente però si diede la preferenza al sistema illustrato dal Prof. VEDER in quanto presentava una minore indeterminazione nella previsione del costo.

Un altro importante problema costruttivo che, nonostante pessime condizioni geotecniche, poté essere risolto assai brillantemente è quello di cui ci ha riferito il Prof. MEARDI nella sua comunicazione sul « *Consolidamento di argille molli per l'esecuzione dello scavo e per la fondazione di un profondo sifone triplo* ».

Il Prof. MEARDI ritorna con questa sua relazione a presentarci un'altra applicazione del sistema di consolidamento di cui già ci riferì nello scorso *Convegno di Torino* e cioè quello dei pali di sabbia.

Su questo sistema, già da tempo impiegato per opere in terra, non mi soffermerò in senso generale. Esso è infatti già noto anche in Italia per varie applicazioni e su di esso si trattò pure nello scorso *Convegno* non solo in occasione della memoria del Prof. MEARDI, ma anche di quella del Prof. IELMONI.

Il materiale di fondazione in cui è stato impiegato questo procedimento, e di cui ci riferisce in questa comunicazione il Prof. MEARDI, è analogo ai tipi peggiori interessati dagli argini dello scolmatore d'Arno ove lo stesso procedimento fu già adottato con successo.

L'opera fondata su questi terreni è appunto una opera accessoria dello stesso scolmatore. Il sollevamento del fondo scavo con relativo sprofondamento delle sponde verificatosi all'inizio dei lavori di fondazione manifestò in tutta la sua importanza il problema costruttivo.

Il terreno costituito da un'argilla limosa molle, avente limiti $LL = 85\%$, $LP = 30\%$ ed umidità di soli pochi percento inferiore al limite liquido, rivelò alle prove di compressione a dilatazione libera delle resistenze di $0,025 \div 0,05 \text{ kg/cm}^2$.

Scartati altri sistemi di difficile ed onerosa realizzazione quali le palancolate ed il consolidamento elettrosmotico si decise di tentare un consolidamento mediante pali di sabbia sottoponendo la zona interessata ad un rinterro ed in parte utilizzando la stessa pressione idrostatica interstiziale come sovraccarico.

Il Prof. MEARDI espone i calcoli eseguiti per determinare l'entità del cedimento in funzione del tempo, e prevedere l'aumento di resistenza al taglio.

Una buona conferma dei risultati teorici si ebbe dai rilevamenti eseguiti nel corso dei lavori.

Si decise pertanto di eseguire pali di sabbia \varnothing 40 cm disposti a quinconce con interassi di 3 m e spinti fino a 16 m di profondità; i pali facevano capo ad uno strato superiore di sabbia su cui insisteva il sovraccarico.

Il drenaggio è stato lasciato funzionare per un anno e mezzo ed è quindi stato eseguito lo scavo.

Il grado di consolidamento previsto nel 40% risultò in pratica appena sufficiente; infatti si riscontrarono durante l'esecuzione del lavoro alcune crepe nel terreno circostante e, nell'intervallo tra l'ultima zione dello scavo ed il getto del calcestruzzo, un lieve innalzamento del piano di fondazione.

Il sistema di preconsolidamento adottato ha quindi permesso l'esecuzione del lavoro con un modestissimo margine di sicurezza limitandosi a stabilizzare la zona più direttamente interessata dalle opere. Evidentemente un'estensione del procedimento avrebbe portato un forte incremento di spesa non giustificato in relazione alla provvisorietà del lavoro.

Il provvedimento seguito ha quindi consentito la esecuzione di un'opera importante in terreni che, in altri tempi, non sarebbero neppure stati presi in considerazione per la fondazione di un'opera del genere.

E' evidente che, nel caso in esame, anche la adozione di questo procedimento non ha permesso un rapido proseguimento dei lavori; questo difetto è comune a tutti i sistemi di consolidamento che sono dominati dalla bassa permeabilità dei materiali interessati, la quale non consente di raggiungere un buon consolidamento in tempi limitati anche riducendo artificialmente il percorso di filtrazione. Una riduzione ulteriore del tempo di consolidamento si sarebbe potuta ottenere con una riduzione dell'interasse dei pozzi; un avvicinamento dei pali di sabbia, ad esempio, di una cinquantina di centimetri avrebbe consentito di ridurre il tempo di consolidamento di un 40% circa; ciò evidentemente con un maggior onere economico nell'esecuzione dell'opera. Si tratta naturalmente di conciliare i due opposti elementi: tempo e costo.

Uno studio comparativo dell'influenza dei parametri tecnici ed economici in gioco avrà determinato l'interasse prescelto. Il Prof. MEARDI, che ha avuto ormai modo di farsi una personale esperienza nella soluzione di questi problemi, ci potrà far conoscere qualche utile considerazione in merito. Prima di abbandonare l'argomento ritengo opportuno far rilevare, a maggior sostegno del sistema di consolidamento in discussione, che esso, stabilendo un moto di filtrazione orizzontale, a parità di altre condizioni, rispetto ad un moto in senso verticale, permette di utilizzare la maggior permeabilità che hanno normalmente tutti i terreni in questa direzione. E' evidente inoltre che se nello strato di terreno impermeabile si hanno delle inclusioni, anche modeste, di materiale più permeabile, il vantaggio risulta più palese.

Con questa memoria è completato il secondo gruppo di argomenti dedicato ai problemi costruttivi.

3 - Osservazioni sulle opere in esercizio ed eventuali modifiche od aggiunte da esse consigliate

Veniamo quindi ad esaminare quanto è stato portato a nostra conoscenza nei riguardi del comportamento delle opere, dopo la loro costruzione. In questo ultimo gruppo, ove ho raccolto le comunicazioni che trattano dell'osservazione compiuta e delle modifiche eventualmente introdotte, si trova una sola memoria, cui ancora non abbiamo fatto cenno, quella dell'Ing. Corradino CORRADO. Riprenderò inoltre, come ho precedentemente detto, la memoria dell'Ing. BARONE per la parte in cui tratta l'argomento che ora ci interessa.

Questo argomento non ha attirato molto l'attenzione dei colleghi. Ciò è dovuto forse alla modesta entità degli inconvenienti che si sono verificati nell'esercizio dei canali (un forte richiamo alla osservazione è infatti evidentemente dato, per opere in genere relativamente modeste, dagli inconvenienti riscontrati nell'esercizio) e forse in parte al fatto che il costo di tali osservazioni assume valori assai elevati di fronte alla possibilità relativamente ridotta di danni rilevanti: in genere non paragonabili, ad esempio, con quelli presentati dalle dighe.

Un esempio in cui il comportamento di un canale fu seguito con osservazioni immediatamente dopo la sua costruzione è dato dalla memoria dell'Ing. BARONE. Abbiamo già parlato delle caratteristiche dei terreni interessati da questo canale che rendono del tutto logiche le precauzioni assunte per il rilevamento del buon comportamento dell'opera sotto il duplice aspetto degli assetamenti e delle portate di perdita e d'infiltrazione.

Il controllo effettuato con basi di livellazione e con stramazzi di misura ha consentito di confermare la opportunità dei provvedimenti presi in sede costruttiva per premunirsi contro le sfavorevoli condizioni geotecniche. Naturalmente detto controllo avrebbe permesso il tempestivo intervento in caso di necessità per fronteggiare particolari evenienze.

La moderna tecnica costruttiva non solo ha consentito di realizzare opere in un difficile ambiente geotecnico, ma ha portato, come diretta conseguenza, la diffusione dei mezzi di controllo e di misura con i quali indagare se l'esercizio dell'opera ha suffragato le ipotesi di progetto.

Di un'opera di realizzazione meno recente ci parla invece l'Ing. CORRADO che si è occupato del «*Risanamento degli argini in terra del canale Sovverzene-Santa Croce*». Il progetto di questo canale risale ad una quarantina di anni fa, quando le conoscenze sulle terre erano incerte e vaghe. Nella realizzazione di questo progetto, ai suoi tempi certamente notevole, non si incontrarono delle particolari difficoltà geotecniche, almeno alla luce delle conoscenze che ora noi abbiamo.

La costruzione fu però compiuta con i modesti mezzi e con le incerte nozioni di quel periodo, per cui il tempo di esercizio considerevole finì col rendere manifesti inconvenienti rimarchevoli.

Il canale, previsto per una portata di 80 m³/s, costruito a mezza costa senza rivestimenti, è in servizio da circa 30 anni.

Il terreno di giacitura del tronco in questione è co-

stituito da Flysch eocenico o da banchi di limi argillosi e sabbiosi con intercalazioni torbose a contenuto d'acqua prossimo al limite fluido.

Il corpo arginale è pure costituito da limi argillosi dotati di scarsa coesione e nel complesso piuttosto permeabili.

L'aumento sensibile delle perdite d'acqua notato negli anni scorsi e le conseguenti preoccupazioni circa la stabilità dell'opera, specialmente in previsione delle maggiori prestazioni previste in futuro per il canale, convinsero della necessità di eseguire un adeguato lavoro di manutenzione. Questo lavoro consisteva in un rinfianco a tergo dell'argine con adatto materiale, per migliorare le condizioni di stabilità del rilevato, in un ripristino delle sponde interne con materiale di apporto adeguato ed in iniezioni di fanghi nel corpo dell'argine per diminuirne la permeabilità.

Il rinfianco fu dimensionato con la condizione di portare il coefficiente di sicurezza a valori non inferiori a 2 e la messa in opera avvenne molto lentamente essendosi verificati in un primo tempo dei dissesti nel piano di posa del rinterro causati dal troppo lento consolidamento, che comunque non venne artificialmente accelerato.

Stabilizzato così l'argine si risolse il problema di migliorarne la tenuta ricorrendo all'iniezione di fanghi impermeabilizzanti costituiti da miscele di argilla di cava con aggiunta dal 3 al 5% di bentonite fluidificante ed acqua nel rapporto uno ad uno.

I fori, inclinati secondo due direzioni, erano a mutua distanza di 5 m ed avevano una lunghezza di 12 m. Altri sistemi furono considerati e scartati perché di efficacia dubbia o perché incompatibili con l'esercizio del canale.

Il successo di queste operazioni fu confermato dalla riduzione del 75% delle perdite, dagli assestamenti degli argini che raggiunsero fino i 40 cm e dal costipamento generale del terreno circostante ove si produssero abbassamenti della superficie originaria fino a 10 cm.

Una opportuna rete di controllo consentì di rilevare appunto questi importanti elementi.

Gli interventi sui canali in esercizio comportano una serie di problemi connessi con la necessità di limitare il più possibile il periodo di fuori servizio, problemi che molte volte impongono soluzioni particolari. Questi lavori perciò, per quanto in genere poco noti, richiedono in parecchi casi studi od applicazioni di qualche rilievo. Ho avuto anch'io, in più occasioni, modo di occuparmi di analoghi problemi; ricordo tra

l'altro le sistemazioni da me proposte sul tronco, in località Valle Grande, del canale di derivazione dell'impianto idroelettrico di Ala-Bussolengo costruito nel periodo 1939 ÷ 1944. Ne accenno brevemente in questa sede in quanto i provvedimenti adottati in quel caso si richiamano anche a quanto abbiamo esaminato precedentemente.

Nella località menzionata il canale attraversa un valloncetto con un rilevato alto fino a 18 m ove, a partire dall'estate 1943, si notarono assestamenti, dovuti al consolidamento del materiale, che raggiunsero alla fine del 1944, i 17 cm. Per accelerare il processo di consolidamento ed in particolare per intercettare eventuali permeazioni che potessero aumentare il contenuto in acqua oltre limiti pericolosi per la stabilità, furono costruiti nel corpo degli argini cunicoli paralleli al senso della corrente cui facevano capo una serie di pozzi filtranti verticali di 50 cm di diametro trivellati dalla sommità dell'argine, e muniti di tre strati anulari concentrici di sabbia finissima, sabbia e ghiaietto rispettivamente dall'esterno all'interno.

Negli anni seguenti i cedimenti ebbero un ulteriore incremento con andamento molto più lento e dopo avere raggiunto ulteriori 4 cm circa si arrestarono definitivamente.

Il sistema allora adottato pertanto si può ritenere come analogo a quello dei pali di sabbia colla differenza peraltro che i pozzi adottati sul canale del Medio Adige sono provvisti di filtri che assicurano una vita più lunga al dispositivo.

Con questo accenno personale intendo concludere l'argomento relativo alle osservazioni ed alle modifiche e miglioramenti apportati sui canali dopo un periodo di esercizio.

Ho così terminato questo sommario esame delle comunicazioni presentate sul tema « *Canali* » che ho cercato di esporre in un ordine logico. Nel corso della relazione ho fatto cenno a qualche particolare argomento a mio avviso di notevole interesse relativo al tipo di costruzione oggetto di questa parte del nostro *Convegno*.

Confido di avere richiamato con sufficiente chiarezza i punti di maggior rilievo di ogni memoria ed i Colleghi vorranno benignamente scusarmi per qualche mia involontaria omissione od inesattezza.

Desidero ora, illustri Professori e egregi Colleghi ringraziarVi vivamente per la cortese attenzione concessami e rivolgere in particolare l'espressione di vivo apprezzamento ai colleghi che hanno presentato le memorie.

SOMMAIRE: Le Rapporteur Général classe d'abord les communications présentées dans les trois différents groupes suivants:

1 - Etudes de projet.

2 - Exécution des travaux et problèmes constructifs particuliers.

3 - Remarques sur les ouvrages en exploitation et éventuelles modifications ou additions qu'elles proposent.

Suivant cette classification, le Rapporteur expose brièvement les arguments principaux traités dans chaque communication et il en fait l'objet de quelques observations.

De l'examen des communications on remarque une application très vaste des études géotechniques à ce type de travaux, les détails constructifs desquels, en tout cas, ne se détachent pas beaucoup de la technique la plus traditionnelle.

SUMMARY: The General Reporter, first of all classifies the papers presented into three groups as follows:

1 - Engineering for design.

2 - Construction and particular constructional problems.

3 - Remarks on structures in operation and possible improvement or additions proposed.

Following the above order, the General Reporter makes a summarized review of the most significant questions developed in each paper, with a few comments thereon.

It is evident from these papers a distinct trend towards a wide application of geotechnical studies to this kind of structures, while the constructional practices, however, are not much departing from the most conventional line.