

DIGHE ED ARGINI DI MATERIALI SCIOLTI

TIPI COSTRUTTIVI - METODI E MACCHINARI PER LA COSTRUZIONE QUESTIONI ECONOMICHE (*)

D. FINZI (**)

Il secondo tema proposto dal 3° *Convegno di Geotecnica* riguarda i tipi costruttivi delle dighe in materiali sciolti, i metodi e mezzi di costruzione e i problemi economici connessi.

L'argomento è particolarmente vasto e gli Autori delle memorie presentate potranno meglio illustrare gli aspetti particolari.

Mi limiterò quindi a fare il punto molto rapidamente sulle più interessanti realizzazioni degli ultimi anni, per quanto è noto attraverso le relazioni presentate al *Convegno*, e cercherò di portare la vostra attenzione sulle constatazioni che se ne possono trarre.

Su 18 relazioni presentate al *Convegno*, sei hanno carattere specificatamente descrittivo di opere compiute e riguardano le dighe di *Maria al Lago* (Fedai) della «SADE», di *Trinità* dell'Ente Riforma Agraria Siciliana, del *Platani* dell'Ente Siciliano Elettricità, del *Torrente Aia* della Soc. Terni, di *Castel S. Vincenzo* dell'Ente Autonomo Volturmo ed infine dello sbarramento ad acqua fluente dell'impianto di

Moncalieri dell'Azienda Elettrica Municipale di Torino.

Tre relazioni riguardano problemi di drenaggio e di abbassamento della falda freatica.

Cinque relazioni riguardano metodi e strumenti di misura.

Una relazione riguarda apparecchi e metodi costruttivi.

Due relazioni riguardano l'impiego di bentonite e di miscele di loppa per iniezioni.

Una relazione riguarda infine lo studio di particolari tipi di frane.

Le memorie descrittive fanno il punto sulle più recenti realizzazioni italiane di dighe in materiali sciolti.

Ritengo interessante riassumere le dimensioni caratteristiche delle dighe illustrate insieme a quelle di altre dighe in terra italiane costruite nel dopoguerra.

TABELLA N. 1
DIGHE IN TERRA ITALIANE (DAL 1940)

Diga	Altezza	Lunghezza coronamento	Base	Volume rilev.	Volume invaso	Rapporto vol. invaso
	m	m	m	10 ⁶ m ³	milioni m ³	vol. rilev.
<i>Ultimate:</i>						
SAN VALENTINO	31,5	445	170	0,550	112,2	204
MARIA AL LAGO	16	268	88	0,121	diga ausiliaria	—
POGGIO CANCELLI	15,20	447	70	0,180	" "	—
BASSO NERA	8,50	345	45	—	5,3	—
VERNAGO (1° fase)	40,50	331	220	0,740	15,5	21
RENDINA	25,20	1300	135	1,07	22,8	21,3
<i>In costruzione:</i>						
CASTEL S. VINCENZO	25,50	292	140	0,430	5,0	11,6
TRINITA'	25,0	322	152	0,310	15,0	48,5
SELVA	32,0	190	172	0,460	2,0	4,4
AIA	15,20	490	70	0,235	5,6	23,8
SANGRO	56,30	722	315	3,00	83,0	27,7

(*) II Relazione Generale presentata al III *Convegno Nazionale di Geotecnica*, Torino, 1957.

(**) Dott. Ing. Dante FINZI, Direttore del Servizio costruzioni Idroelettriche della Soc. "Montecatini".

I massimi risultano dunque i seguenti:

- per altezza e volume: *diga del Sangro*
- per capacità del serbatoio e capacità specifica immagazzinabile: *diga di S. Valentino*.

La messe di questo decennio è quindi molto modesta anche se sensibile è stato lo sviluppo di studi e il sorgere di laboratori di ricerche per la formazione dei tecnici.

Poniamo ora a confronto questi dati con quelli riguardanti alcune delle più notevoli realizzazioni attuate, in costruzione o in progetto all'estero:

La *diga della Trinità*, sulla quale riferisce l'Ingegnere CASSINIS, pur essendo del tipo a nucleo centrale di tenuta, ne costituisce una variante in quanto la zona del contronucleo di monte è costituita da materiale permeabile, mentre il contronucleo di valle è formato con lo stesso limo sabbioso che compone il nucleo. L'unica separazione fra le due zone è costituita da un filtro subverticale avente lo scopo di mantenere sicuramente asciutto il rinfianco di valle.

I filtri sono tre, di cui uno alla base del contronucleo di valle e gli altri due a ridosso dei limiti di nucleo a monte e a valle.

TABELLA N. 2

ALCUNE DIGHE STRANIERE IN MATERIALI SCIOLTI

Diga	Altezza m	Lunghezza corona- mento m	Lunghezza base m	Volume rilev. 10 ⁶ m ³	Volume invaso 10 ⁶ m ³	Rapporto		Materiale
						vol. invaso	vol. rilev.	
MARMORERA	70	375	400	2,7	60	22		terra
SERRE PONÇON	120	600	650	14,0	1080	77		terra
KONKOURÉ	120	1060	720	25	5200	208		terra
GOESCHENENALP	120	560	700	6,5	75	11,5		mista

Possiamo concludere che la natura è stata avara con la nostra Nazione di quelle possibilità idro-topografiche che consentono altrove così grandiose realizzazioni.

Ciò nonostante le relazioni presentate testimoniano della cura con cui sono studiati gli sbarramenti, anche nei minimi dettagli, e della varietà dei tipi realizzati dalla tecnica italiana.

La diga di Maria al Lago, su cui riferiscono gli Ingegneri CARUSO e PANCINI, è di particolare interesse sia per l'adozione di un diaframma di tenuta in fondazione, realizzato col noto sistema dei fanghi di bentonite, sia per l'abolizione dei filtri drenanti e del nucleo impermeabile.

Queste semplificazioni sono connesse con la particolare natura dei terreni di fondazione e dei materiali disponibili per il rilevato.

Lo sbarramento è completato da un manto impermeabile, minuziosamente studiato e realizzato in conglomerato bituminoso secondo la tecnica di queste opere, già largamente adottate all'estero. La diga di *Maria al Lago*, nonostante le sue modeste dimensioni, rappresenta dunque un notevole indirizzo per la soluzione di interessanti problemi.

Credo di fare cosa grata agli interessati chiedendo agli Amici della «SADE» se possono fornire qualche maggiore elemento sul costo di questo paramento e ciò anche in vista della prevedibile diffusione che i manti in conglomerato bituminoso prenderanno in avvenire.

Caratteristica di questa diga è la soluzione adottata di incorporare nel rilevato le opere di deviazione e di scarico. Questa esperienza costruttiva merita attenta considerazione sia per le soluzioni che consente di adottare in casi analoghi, con sensibile economia, sia perché conferma la necessità di evitare nel nuovo regolamento per le dighe disposizioni tassativamente preclusive.

Molto interessante e meritevole di ulteriori sperimentazioni e controlli è la riduzione del grado di umidità constatata nel rilevato, rispetto a quello in cava. Tale riduzione dovuta, secondo una plausibile ipotesi, a una risalienza dell'acqua di imbibizione verso la superficie dello strato in lavoro e ad una conseguente evaporazione naturale, sembra attribuibile al costipamento effettuato con rutili vibranti.

La *diga sul torrente Rendina*, progettata dall'Ingegnere SENSIDONI, e sulla quale riferisce l'Ing. SOLLAZZO, si distingue dagli altri sbarramenti in terra, illustrati nelle memorie presentate, per la totale abolizione dei filtri drenanti, abolizione consentita dalla particolare struttura dei terreni di fondazione.

La *diga di Castel S. Vincenzo*, sulla quale riferiscono l'Ing. VECELLIO e il Prof. CROCE, è provvista di ben quattro filtri poiché, a causa delle mediocri caratteristiche del materiale che si è dovuto impiegare per la costruzione dei contronuclei, il progettista ha ritenuto opportuno di dotare anche la parte

di monte di un filtro orizzontale per facilitare il drenaggio dell'acqua nelle fasi di svasso del serbatoio.

Le particolari condizioni della fondazione hanno consigliato l'adozione di grosse banchine stabilizzanti sul piede di valle e la diminuzione della pendenza dei paramenti, in prossimità delle spalle, in modo da raccordare lo sbarramento, con graduale continuità, alle sponde della valle.

La diga sul torrente Aia è chiaramente descritta dall'Ing. TESTI, che mette in evidenza l'impiego, in fondazione, di un diaframma di tenuta a paratia continua a fanghi di bentonite intestato nelle argille sottostanti, ad uno strato permeabile di materiale alluvionale e nel rilevato l'impiego di macchine per il mescolamento in posto dei materiali costituenti il nucleo (limo, sabbia, ghiaia, bentonite) che vengono portati separati, sul rilevato di costruzione.

Questa diga è provvista di tre filtri drenanti.

L'Ing. REBAUDO descrive nel suo rapporto la paratia subalvea della presa dell'impianto di Moncalieri sul Po.

Anche questa paratia della superficie di ben 7300 mq, è del tipo a diaframma realizzato col sistema dei fanghi di bentonite.

Possiamo quindi riassumere il nostro breve sguardo d'insieme sui tipi costruttivi delle dighe in terra, presentate al convegno, mettendo in rilievo la tendenza dei progettisti:

— ad impiegare i filtri drenanti « cum granu salis » a seconda delle caratteristiche dei materiali di rilevato e di fondazione.

Mi sembra qui opportuno di sottolineare l'importanza che un accurato studio del problema dei filtri ha nel quadro generale della progettazione di una diga in terra. I filtri sono infatti elementi, spesso di non facile esecuzione, che, condizionando tutto il regime delle filtrazioni in seno alla struttura e influenzando in modo determinante sul suo funzionamento sia statico che di tenuta, richiedono un impiego molto prudente ed oculato.

Altra tendenza dei progettisti, che emerge da quanto ho esposto, è quella di adottare dei diaframmi di

tenuta del tipo plastico per piccole profondità e del tipo a paratia continua per profondità maggiori.

Si può affermare che la tendenza generale nelle relazioni presentate è di evitare ove possibile le strutture rigide tipo taglione in calcestruzzo, come adottato nelle dighe di S. Valentino e di Vernago. Questo taglione presenta infatti spesso difficoltà esecutive, che ne limitano la profondità praticamente realizzabile e non è senza inconvenienti quando le caratteristiche del terreno di fondazione siano tali da provocare notevoli assestamenti.

In terreni più facili, come è il caso della diga di S. Valentino, il comportamento del taglione in calcestruzzo è stato tuttavia perfetto e non si è verificato, in cinque anni di esercizio, il benché minimo inconveniente.

Per contro le caratteristiche del diaframma a paratia continua, che può raggiungere senza difficoltà notevoli profondità anche in terreni difficili, ne fanno un mezzo di grande importanza per la risoluzione di numerosi problemi di tenuta in fondazioni di materiali sciolti.

Già in occasione delle prime realizzazioni di questo diaframma, ebbi occasione di fare la facile previsione di una larga diffusione del sistema.

I diaframmi descritti nelle relazioni presentate al Convegno sono del tipo ICOS a fanghi di bentonite.

Nessuna segnalazione è pervenuta al Convegno su nuove dighe a scogliera.

E' questo un tipo di sbarramento che ha notevole diffusione all'estero specie dove, carenza di mano d'opera e di cemento ed enorme abbondanza dei più potenti mezzi di perforazione della roccia, di carico e trasporto di materiale, ne rendono consigliabile l'adozione, anche dove sarebbero tecnicamente possibili altre soluzioni.

Esaurirò subito questo argomento, che non ha riscontro di recenti applicazioni in Italia, citando i dati di alcuni sbarramenti ora in costruzione all'estero.

La cubatura di questi sbarramenti non costituisce ormai più un limite neppure per i programmi di costruzione, che proseguono ininterrottamente per tutto l'anno in qualsiasi condizione climatica e meteorologica.

TABELLA N. 3

ALCUNE DIGHE STRANIERE IN SCOGLIERA

Diga	Altezza	Lunghezza corona- mento	Lunghezza base	Volume rilev.	Volume invaso	Rapporto vol. invaso vol. rilev.	Materiale
	m	m	m	10 ⁶ m ³	10 ⁶ m ³		
PARADELA	112	575	315	3,5	164	47	scogliera
TRAENGSLET	120	850	550	7,2	1200	167	scogliera

Incidentalmente segnalò che sono in funzione in Svezia per l'abbattimento della roccia occorrente per i rilevati, batterie di 4 perforatrici verticali montate su incastellatura portata da un trattore cingolato; il tutto azionato da due soli uomini. In un'altra applicazione analoga 11 perforatrici verticali, montate su un'unica attrezzatura spostabile a mezzo di trattori, funzionano contemporaneamente, impiegando soltanto quattro uomini per la manovra. Il carico del materiale viene fatto con escavatori da due e tre m³ e il tracporto con autocarri tipo Euclid o simili. Tutto il cantiere posto a 200 Km a nord di Stoccolma, lavora ininterrottamente anche in inverno con ghiaccio eneve.

Dopo aver passato in rassegna i vari tipi di diga in materiali sciolti, faremo ora cenno di un nuovo tipo di sbarramento non classificabile fra i tipi normalmente in uso, perché le sue caratteristiche lo collocano a mezza via fra il tipo a gravità massiccia e il tipo a scogliera. Si tratta della *diga del Platani* sulla quale riferisce l'Ing. MARCELLO che ha progettato altre dighe dello stesso tipo, ora in costruzione in Italia e all'estero.

Questa interessante tipo di diga è previsto dal progettista per adattarsi agli assestamenti di fondazioni « notevolmente compressibili », ed è costituito da blocchi di calcestruzzo magro disposti a colonne separate da giunti di 12-20 cm di ampiezza, riempiti di ghiaia. La tenuta del paramento a monte è assicurata da una lamiera di acciaio conformata in modo da consentire l'adattamento del manto agli eventuali cedimenti della struttura.

Questo tipo di diga, oltre al vantaggio suaccennato, consente il pratico annullamento dei vuoti nel rilevato, rispetto al tipo a scogliera, con conseguente riduzione di ingombro del profilo trasversale, e riduzione dello sviluppo e del costo delle opere di deviazione e di scarico.

Come metodi costruttivi questa diga si identifica con quelle del tipo a gravità massiccia.

La relazione è ricca di interessanti particolari costruttivi e di notizie sul comportamento dell'opera.

Rilevo a solo titolo orientativo che questa struttura è realizzata con un calcestruzzo a 120/150 Kg/m³ di cemento, che costa quindi circa 10/15% di meno di un calcestruzzo normale per dighe a gravità. Per contro il volume è circa, salvo errore, del 70% maggiore di una diga a gravità, del 145% maggiore di una diga a contrafforti e infine circa un quarto di una diga in terra.

Questo tipo di sbarramento è dunque giustificato dalle particolari condizioni per le quali è stato studiato, ma non sembra poter competere col tipo a gravità ove le condizioni della roccia di fondazione consentano questa soluzione, né con una diga in terra ove siano reperibili i materiali necessari.

Gli assestamenti verificatisi alla diga del Platani le cui osservazioni furono iniziate solo ad opera compiuta, sono veramente esigui. Le osservazioni, che saranno certamente fatte in altre dighe di questo tipo dall'Autore ci fanno sperare che egli possa prossimamente dare ai Colleghi, sull'argomento degli assestamenti di fondazioni notevolmente compressibili e su

quello del conseguente comportamento del manto metallico, ulteriori notizie.

Passando a trattare dei metodi costruttivi e dei macchinari per la costruzione, citiamo il rapporto degli Ingegneri GENTILE e ISNARDI, che riferiscono circa una serie di prove di costipamento effettuate su discariche di cantiere, mediante apparecchio a piastra Vibromax e mediante un mazzapicchio a scoppio tipo « rana ». Il primo si è rivelato più adatto a granulometrie prevalentemente grossolane ed il secondo a granulometrie prevalentemente fini.

Di interessante applicazione sono le macchine per la polverizzazione, il miscelamento e la omogeneizzazione di strati da costipare e stabilizzare, sia che gli agglomerati da polverizzare siano formati da materiali polverulenti (*Pulvimixer*), sia da materiali a pezzatura più grossa e consistente (*Pulvibreaker*).

Su questi apparecchi riferisce in modo particolare la citata relazione dell'Ing. TESTI, che mette in rilievo come il *Pulvimixer* sia utilizzabile anche come mezzo per la riduzione dell'umidità dei materiali, mediante ripetuti passaggi a cappellotto aperto.

L'Ing. CASSINIS, nella sua già citata relazione, riferisce diffusamente circa l'impiego del rullo liscio vibrante per la compattazione di un materiale limoso discretamente coerente e impermeabile, che si era dimostrato poco adatto alla compattazione con rulli a piede di pecora.

I risultati delle prove effettuate in opera hanno portato ad interessanti considerazioni comparative, nei riguardi delle prove di laboratorio (a parità di energia di costipamento la curva peso secco - umidità si sposta nel senso delle umidità minori).

Si è dimostrato anche che il passaggio del rullo vibrante consente di ridurre in due o tre punti l'umidità percentuale dello strato. Tali prove hanno però anche confermato che gli effetti del costipamento col rullo vibrante diminuiscono con la profondità in modo sensibile, mentre con i rulli a piedi di pecora il costipamento progredisce dal basso verso l'alto.

Sul tema dei macchinari da costruzione ritengo doveroso aggiungere alle comunicazioni degli Autori, alcune informazioni dei mezzi più recenti e più potenti che si trovano sul mercato per questo genere di lavoro.

Il campo della tecnica dei grandi movimenti di terra è intimamente legato al progresso meccanico.

In America negli ultimi dieci anni il costo della mano d'opera e quello degli equipaggiamenti di cantiere è aumentato in modo ingente; ciò nonostante, i prezzi unitari relativi alla costruzione dei rilevati osno rimasti pressoché immutati. Ciò è dovuto esclusivamente all'evoluzione dei mezzi meccanici.

La tendenza di questa evoluzione all'estero è nettamente orientata verso la costruzione di macchine sempre più grosse, potenti e specializzate, che sono naturalmente anche più costose e quindi impiegabili soltanto per alte produzioni e in lavori di mole grandiosa.

Parallelamente a questa tendenza se ne va affermando un'altra che tende ad aumentare la versatilità

dell'impiego delle macchine di medie dimensioni e soprattutto del trattore e della gru semovente, sia gommata che cingolata. Questa seconda tendenza, alla quale si è dedicata con successo negli ultimi anni anche l'industria nazionale, trova maggiore interesse sul nostro mercato appunto per la mole ridotta dei lavori attuabili in Italia.

Per il trasporto dei materiali i ribaltabili costituiscono i mezzi più diffusi, con modelli di uso corrente da 10 m³, mentre per i cannoni trainati esistono tipi che superano i 20 m³. La gamma degli scrapers va oggi da 3 a 20 m³, con motori fino a 300 HP, mentre sono in progetto scrapers da 30 m³.

Nel campo dei trattori cingolati e dei bulldozers si è giunti anche da noi alla costruzione di mezzi da 320 HP; analoga potenza è raggiunta dai trattori gommati (*Primemovers*).

L'evoluzione dei compattatori è stata notevolissima negli ultimi anni.

La fase di costipamento è indubbiamente la più importante nella costruzione di un rilevato, perchè la stabilità, l'impermeabilità e l'incompressibilità sono direttamente legati al grado di costipamento.

La gamma dei macchinari di questo genere è oggi molto vasta, comprendendo i classici rulli a piede di pecora trainati, con pressione unitaria fino a 120 kg/cm², i rulli lisci normali e i rulli lisci vibranti da 20 t di carico dinamico, i rulli gommati normali e vibranti da 20 t e i vibratorii a piastre a cui si dedica particolarmente la tecnica tedesca.

A questi tipi si sono aggiunti recentemente vari tipi di semoventi, a rulli gommati intercambiabili da 7 t i semoventi da 15 t a ruote di acciaio segmentate e i semoventi vibranti gommati da 27 t di carico dinamico.

Dobbiamo ora fare un cenno di altre interessanti relazioni presentate al Convegno, che trattano, sotto differenti aspetti, il problema dei drenaggi dei terreni di fondazione di dighe e di argini e quello dell'abbassamento della falda freatica.

Il problema del consolidamento di stratificazioni soffici argillose, presenti nel sottofondo di una diga in terra, risolto mediante trivellazioni verticali riempite di sabbia costipata, è illustrato in una memoria del Prof. JELMONI.

Di un'analoga applicazione per il consolidamento degli argini del canale scolmatore dell'Arno a Pisa, riferiscono nel loro rapporto gli Ingegneri NOCCIOLI e MEARDI. In tal caso si è trattato di un consolidamento soltanto parziale, che ha dato, in pratica, risultati migliori di quello che le prove edometriche lasciavano prevedere.

A proposito di questo sistema di consolidamento, sembra opportuno segnalare la presenza sul mercato di attrezzature semoventi per trivellazione rapida, montate su mezzo gommato che consentono perforazioni sino a 30 m di profondità con diametro di 20 cm e fino a 10 m di profondità con diametro di 60 cm.

L'Ing. ZANOVELLO riferisce sulle esperienze effettuate in vista del drenaggio di formazioni argillose e argillo-limose superficiali in zone adiacenti al corso del Bacchiglione. Tali studi hanno dimostrato l'effi-

cazia di filtri verticali collegati in sommità ad un unico filtro collettore orizzontale.

In tema di consolidamento mediante iniezioni, un rapporto degli Ingegneri GENTILE, FRITZ, PAOLINA, TERRACINI, riferisce su una serie di esperienze condotte per l'impiego di miscele di loppa per iniezioni cementizie in rocce poco beanti.

Per quanto riguarda le misure in seno ai rilevati, si nota la tendenza all'impiego di strumenti elettrici o elettroacustici per la misura delle pressioni totali nei terreni e delle pressioni nei pori.

A tale proposito giungono di particolare interesse le osservazioni contenute nella memoria dell'Ufficio Studi della SADE, relativa alle installazioni di misura della diga di Maria al Lago e quelle dell'Ing. SOLLAZZO della diga di Rendina, memoria questa particolarmente ampia e completa.

Tali osservazioni pongono fra l'altro in evidenza la opportunità che le misure elettriche di pressioni idrostatiche vengano integrate — ove possibile — da misure dirette mediante canne o cellule piezometriche.

Per quanto riguarda l'esecuzione di controlli in fase di costruzione dei rilevati si sta affermando la tendenza all'applicazione di metodi più rapidi di quelli tradizionali. Un'accurata ed interessante trattazione dell'Ing. Ruggero JAPPELLI è dedicata al metodo della doppia pesata per la determinazione rapida del contenuto d'acqua. Tale metodo consente di eseguire le misure in un tempo da venti a trenta volte inferiori a quello richiesto con il metodo usuale e con pari precisione. Il metodo si dimostra particolarmente idoneo nel caso in cui occorra ripetere sullo stesso materiale un grande numero di misure, come nel caso dei controlli di cantiere nelle dighe in terra.

I problemi di carattere economico, che pure hanno preminente importanza nella realizzazione di opere di mole notevole, quali quelle di cui ci occupiamo, non hanno destati nei partecipanti al Convegno alcun apparente interesse, almeno sotto l'altruistico aspetto di darcene pubblica comunicazione.

Soltanto la memoria degli Ingegneri PANCINI e CARUSO, relativa alla diga di Maria al Lago, riporta dei dati circa l'impiego orario di mano d'opera e dei mezzi meccanici.

E' bensì vero che i problemi economici sono in definitiva determinati dalla scelta del tipo di sbarramento e dei mezzi di costruzione e quindi si esauriscono a risolvono con la scelta medesima.

Rilevo tuttavia che, nel caso dei grandi movimenti di terra, lo studio dei tempi e dei costi, ha un'importanza preponderante, sia per la grande varietà dei materiali da trattare sia perchè condiziona l'adozione di determinati tipi di macchinari e quindi sostanzialmente tutto il processo esecutivo del lavoro. Sarebbe perciò auspicabile che fosse data da noi maggiore diffusione alle esperienze e agli studi effettuati in questo campo.

Ho cercato di assolvere per il meglio il compito affidatomi e ringrazio i Colleghi per la pazienza dimostratami.

Torino, 27 maggio 1957.