

# Criteri di scelta del tipo di diga

C. LOTTI \*

**SOMMARIO:** I criteri di scelta devono tenere conto delle condizioni morfologiche, di quelle geologico-tecniche (cui in particolare si riferisce il seguito della nota), della disponibilità dei materiali, dei costi, delle condizioni idrauliche.

Per le condizioni geologico-tecniche della sezione di imposta occorre prendere in considerazione la tenuta, le resistenze meccaniche, la deformabilità e la simmetria elastica delle spalle per le dighe arcuate. La tecnica mette a disposizione mezzi assai progrediti per l'accertamento di tali caratteristiche.

Vengono esaminate alcune comunicazioni che trattano di tali argomenti e si conclude con una affermazione del senso di responsabilità per tali scelte.

Dopo quello che è stato fin qui detto e quello che l'ing. Baldassarini dirà sui problemi di esecuzione, a me non resta grande spazio da coprire.

Tratterò quindi del solo problema specifico sui « criteri di scelta ».

In una pregevole pubblicazione che illustra le opere del Bureau d'Etudes Coyne et Béllier trovai un detto di Montaigne: « à chaque pied son soulier ».

Credo che questa immagine — del calzolaio che adatta la scarpa al piede — rappresenti assai bene lo sforzo di un progettista.

In questo Convegno si tratta del tema specifico delle fondazioni con particolare riferimento alle condizioni geologico-tecniche della sezione di imposta: ma, giova osservare, non sono questi soltanto gli elementi da prendere in considerazione: anche se a tutti noti converrà ricordarli: *condizioni morfologiche* (due spalle in forte asimmetria possono annullare le condizioni geologiche favorevoli ad una diga arcuata); le *condizioni geologiche-tecniche*, su cui in seguito ci soffermeremo; *la disponibilità dei materiali* (questa condizione è assai importante specie in taluni Paesi in via di sviluppo dove scarseggerà il cemento); *i costi* (occorre ricordare che nel ventennio che ha seguito gli anni cinquanta, vi è stata una notevole evoluzione nei costi elementari nel senso che, in generale, gli aumenti relativi dei calcestruzzi superano quelli dei materiali sciolti, per cui si è spostato, a favore di questi ultimi, il rapporto volumetrico di convenienza); le *condizioni idrauliche*: in particolare quelle di esercizio che riguardano il dimensionamento dello sfioratore e quelle di costruzione; su quest'ultimo aspetto si sofferma la relazione n. 6 « Le fondazioni della

diga di Bakoloroi in Nigeria » a firma Calvino-Beomonte-Baccini. Un *avant-projet*, redatto a cura di un Organismo Internazionale, prevedeva la costruzione di una diga di terra per lo sbarramento di una sezione caratterizzata da un alveo fortemente inciso, con un deposito alluvionale della profondità massima di 15 metri ed ampi terrazzamenti su ambedue le sponde. Essendo previste, per il corso d'acqua, piene dell'ordine di 3000 m<sup>3</sup>/sec il progetto imponeva che la costruzione della diga, per la parte fuori alveo, fosse iniziata ed ultimata entro una stagione secca: in caso contrario non poteva escludersi, anzi era da considerarsi quasi certo, il rischio di una tracimazione. Di fronte a questo rischio nel progetto esecutivo fu proposta una variante la quale sostituiva la parte centrale della diga, per uno sviluppo di 360 metri con una struttura di calcestruzzo, a gravità, in parte tracimabile, da impostare ovviamente sulla roccia di fondo, previa rimozione del materasso alluvionale. Il procedere dei lavori ha confermato la validità della scelta: la diga sarebbe stata quasi certamente tracimata come è avvenuto per la diga di calcestruzzo, ma senza alcun danno, come mostra la fig. 3 della suddetta relazione.

Tutte queste condizioni possono essere quindi vincolanti ed occorre quindi tutto un lavoro di continua verifica — con procedimenti avanti ed indietro, come suol dirsi — prima di trovare e decidere sulla « giusta scarpa ».

Per tornare ora alle condizioni geologico-tecniche della sezione di imposta, è noto che sono da prendere in considerazione: la tenuta, le resistenze meccaniche, la deformabilità, la simmetria elastica (eventuale) delle spalle.

E, nel giudicare, non va dimenticata la futura presenza di acqua che può alterare sostanzialmente le caratteristiche originali delle for-

\* Prof. Ing. Carlo LOTTI, Presidente della Società di Ingegneria « C. Lotti & Associati », Roma.

mazioni rocciose, come viene osservato nella comunicazione n. 1 « Problemi di fondazione in recenti sbarramenti italiani » a firma Baldovin-Berti.

La tecnica mette peraltro a disposizione mezzi assai progrediti per l'accertamento delle caratteristiche naturali dei materiali e si può anche constatare che le pubbliche amministrazioni, anche sull'esempio di quanto attuato da taluni Organismi Internazionali, sono ormai orientate a non fare ingiustificate economie (ingiustificate anche per la loro entità) nella fase delle indagini conoscitive.

Ne è buon esempio la già citata comunicazione n. 1 di Baldovin-Berti nella quale sono descritte le complesse indagini svolte per la diga a gravità della Busalletta: trattasi di una diga fondata su argilloscisti del cretaceo, lamellari, con subordinate intercalazioni arenacee. Le condizioni della difficile fondazione sono state oggetto di accertamenti attraverso indagini geofisiche (sismiche) effettuate entro fori, prove di carico in sito ed in laboratorio (su blocchi e su carote), esami petrografici, prove di taglio in sito.

A seguito di tali accertamenti sono stati attuati taluni accorgimenti progettuali, che sembra abbiano dato esito positivo e sui quali torneremo in seguito.

Siamo quindi ben lontani da quanto accadeva nei primi anni della nostra carriera quando si considerava lecito dare inizio ai lavori di una diga, ed anche in difficili condizioni, senza nemmeno un foro esplorativo! Ed il Presidente Travaglini ricorderà con me il caso cui mi riferisco e sul quale, oltre 25 anni addietro, ci incontrammo per la prima volta.

Detto questo conviene subito aggiungere, come del resto ha fatto già rilevare l'ing. Dolcetta nella sua breve introduzione di stamane, l'interpretazione dei risultati delle indagini non è mai cosa semplice.

E quindi ricorderò ancora una volta, io ingegnere, quanto soleva dire il compianto Prof. Francesco Penta il cui doloroso ricordo è sempre qui fra noi; e quanto egli ripeté nel Convegno ai Lincei (1961) nella sua relazione su: « Le funzioni della Geologia nelle opere di pubblico interesse ».

E vorrei aggiungere — anche se non necessario — come il Terzaghi diffidasse di sofisticate applicazioni di tecniche matematiche, basate su parametri discutibili e come invitasse ad attenersi all'osservazione, alle elaborazioni semplici, al buon senso: Egli però conosceva a

fondo la Geologia, l'Idraulica, la Teoria dell'elasticità e la Meccanica e, dall'alto di queste sue capacità, gli era semplice ricondurre i problemi all'essenziale.

La tecnica — assieme a quelli di indagine — mette a nostra disposizione molti mezzi per riuscire ad ottenere, mediante interventi, ciò che in natura non è disponibile o sufficiente.

Non è questa la sede per fare l'esposizione di tali mezzi e comunque qualcosa è già stato detto. Mi limiterò quindi a segnalare, con qualche commento, quanto è stato esposto in qualcuna delle comunicazioni presentate.

Nella già citata comunicazione n. 1 a firma Baldovin-Berti vengono descritti in dettaglio gli accorgimenti progettuali adottati nella diga di Busalletta, opera a gravità fondata, come è stato già detto, su argilloscisti di modeste caratteristiche meccaniche e non saturi. Vi era quindi un ragionevole pericolo di penetrazione di acqua con conseguente alterazione del materiale a matrice argillosa. Fu quindi concepita una fitta rete di drenaggi a difesa e fu inoltre ridotto il carico unitario massimo sulle fondazioni (v. fig. 2 della suddetta relazione).

Vorrei qui proporre due domande agli autori:

— la prima riguarda la grande difformità riscontrata nella determinazione dei moduli elastici con diversi metodi: 1500 kg/cm<sup>2</sup> in sito, 20.000 kg/cm<sup>2</sup> su blocchi, 250.000 kg/cm<sup>2</sup>. Le difformità sono naturali e le ragioni ovvie. Noi vorremmo però sapere quale di questi valori è stato confermato dal comportamento della struttura;

— la seconda riguarda la scelta del tipo di diga. In terreni di quel tipo era consigliabile una diga di materiale sciolto: quali motivi (forse idraulici?) hanno orientato i progettisti su una diga di tipo rigido, trascinabile?

Nella comunicazione n. 6 « Le fondazioni della diga di Bakolori in Nigeria » (a firma Calvino, Beomonte, Baccini) si descrivono gli interventi peraltro del tutto normali per la parte centrale (di calcestruzzo) della diga di Bakolori: può essere di qualche interesse il sistematico raffronto (attraverso prove di acqua) fra una schiera di fori « pilota » eseguiti prima dell'intervento e fori « di controllo » ad intervento avvenuto.

Nella stessa comunicazione vengono anche descritti i diversi procedimenti usati per la impermeabilizzazione della parte di diga in terra (oltre 5 km). In talune zone si è approfondito il nucleo, in altre si è usato un diaframam pla-

stico, completato da uno schermo di iniezioni per le maggiori profondità.

A conclusione di quanto esposto in questa comunicazione, che cito con un certo disagio essendo stato il coordinatore del progetto, devo osservare che l'opera qui descritta costituisce un ottimo esempio di collaborazione stretta fra geologi, ingegneri ed altri specialisti e quindi di indagini tempestive e ben sviluppate le quali hanno consentito la progettazione di tutti gli interventi e la loro esecuzione senza imprevisti: il che ha consentito la progettazione di tutti gli interventi e la loro esecuzione senza imprevisti: il che ha consentito il completamento della diga in meno di tre anni (comunque dall'inizio del progetto), unico vero elemento di eccezione per un'opera costruita nel non facile ambiente della Savana.

Altro esempio di soluzioni tecniche è quello descritto nella comunicazione n. 8 « Le strutture di tenuta in fondazione della diga sul Sinni a Monte Cotugno » a firma Claps, Croce, Trimigliozzi, Valoroso, Viggiani. Qui si esamina il delicato problema del sistema paratia-cunicolo; ed io aggiungerei manto bituminoso. Si tratta qui di strutture rigide (cunicolo) o semirigide (paratia) paggate ed immerse in un mezzo altamente deformabile, per di più soggetto a futuri progressivi sovrastanti carichi; e del collegamento di queste strutture fra loro e con il manto bituminoso di tenuta.

Dopo vari tentativi di calcolo, con varie ipotesi e diversi tipi di strutture, la soluzione definitiva è risultata quella di una paratia di calcestruzzo dello spessore di 80 cm ed un cunicolo ad essa collegato con un giunto bituminoso posizionati circa 15 metri a monte rispetto al piede della diga; sul cunicolo si adagerà il manto bituminoso.

Si tratta ovviamente di una soluzione accuratamente studiata sotto l'aspetto statico e delle deformazioni (fig. 9 della relazione).

Un punto singolare appare certamente il raccordo fra la parte orizzontale del manto, poggiata sul cunicolo ed in parte sul terreno e la parte inclinata, appoggiata al rilevato e sarà quindi interessante avere successivi elementi quando sarà sottoposta al carico d'acqua. A mio avviso un drenaggio orizzontale disposto sotto il manto, protetto quindi dalle infiltrazioni, potrebbe essere utile per controllare eventuali perdite lungo questo raccordo: un parere dei progettisti sarebbe gradito.

Nel caso illustrato nella comunicazione n. 12 « Il sovrizzo della diga di Vernago e le opere

in fondazione durante 20 anni di esercizio » a firma Croce-Martinelli si evidenziano i lavori di riparazione del vecchio taglione (rigido — costituito da un taglione di calcestruzzo dello spessore di 3 metri) lesionatosi per motivi diversi durante l'esercizio; e si descrive il dispositivo di impermeabilizzazione realizzato in prosecuzione della vecchia struttura per raggiungere la nuova paratia armata con un cunicolo di ispezione (e di raccordo) in testa. Sono interessanti in questa comunicazione le misure dei cedimenti e delle filtrazioni, condotte per 20 anni; queste misure confermano la idoneità dei provvedimenti anche se le filtrazioni residue mantengono valori non del tutto indifferenti.

Io ho finito: chiedo scusa agli autori delle comunicazioni della incompletezza delle citazioni.

A conclusione di questo mio argomento sui « criteri di scelta » vorrei terminare con una riflessione.

Si suol dire, che a questi problemi occorre avvicinarsi con « umiltà ». A me questa parola è sempre sembrata retorica e preferisco sostituirla con « alto senso di responsabilità »: nelle indagini conoscitive, nello studio delle alternative, nel momento della scelta. Perché ad un certo momento occorre assumersi anche la responsabilità della decisione: è troppo facile non decidere adducendo imperfette conoscenze.

Diceva Poincaré: « Ed ora è giunto il momento in cui dobbiamo decidere; non possiamo più indugiare nel tentativo di dissipare la nostra ignoranza; d'altra parte ciò richiederebbe un tempo infinito ».

#### SUMMARY

##### Criteria for dam type selection

The type of dam to be constructed will depend on the geological-technical conditions of the site — as explained in the rest of the paper — and on the morphological conditions, availability of materials, construction costs, and the hydraulic conditions (i. e. particularly peak floods) during construction of the dam and subsequently when the scheme has started to operate.

As is well known the geological-technical conditions at the dam site regard the sealing, mechanical resistance, deformability, and elastic symmetry (if any) of the shoulders.

Some papers on these subjects are examined, namely:

— paper no. 6 - « The Foundations of the Bakolori dam in Nigeria » ,by CALVINO, BEOMONTE and BACCINI, dealing both with the hydraulic conditions and their consequences for the type of dam to be constructed, and with the sealing works in the central concrete part and in the earth wings;

— paper no. 1 - « Foundation Problems in Recent Italian Dams » by BALDOVIN and BERTI, dealing with the investigations carried out for a dam in difficult conditions;

— paper no. 8 - « Structures for the Watertightness of the Foundations of the Dam on the Sinni River at Monte Cotugno » by Claps, CROCE, TRIMIGLIOZZI, VALOROSO, and VIGGIANI dealing with the difficult problems connected with the system of the diaphragh — gallery — bituminous facing;

— paper no. 12 - « The Heightening of the Vernago Dam

and the Foundation Works over a Period of 20 years in Operation » by CROCE and MARTINELLI, dealing with repair works and additional measures for sealing.

In conclusion, emphasis is laid on the importance of careful field investigations, the study of alternative solutions, and the selection of the type of dam to be constructed.