

Zeitschrift: Wasser- und Energiewirtschaft = Cours d'eau et énergie
Herausgeber: Schweizerischer Wasserwirtschaftsverband
Band: 48 (1956)
Heft: 7-9

Artikel: Dighe a gravità alleggerite
Autor: Marcello, Claudio
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-921504>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. [Voir Informations légales.](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. [See Legal notice.](#)

Download PDF: 17.05.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

Dighe a gravità alleggerite

Claudio Marcello, Ingenieur-Conseil, Milano

Fino dal 1938, in relazione alla progettazione di alcuni sbarramenti da costruire nelle Alpi italiane, ho avuto modo di proporre un nuovo tipo di diga alleggerita che consente di ottenere a quella rispetto a gravità massiccia, una economia di costo del tutto vicina all'economia di volume del calcestruzzo oltre ad un notevole miglioramento delle condizioni statiche della struttura.

Si raggiunge infatti con essa, fra l'altro, una sostanziale riduzione delle sottopressioni et delle pressioni interstiziali ed un migliore comportamento nei riguardi dei fenomeni termici.

Il costo unitario del calcestruzzo è inoltre poco diverso da quello relativo alla diga massiccia per la semplicità, la uniformità e la simmetria delle forme adottate oltrechè per le dimensioni delle varie parti della struttura.

Questo tipo di diga ha fino ad oggi trovato applicazione in 13 sbarramenti progettati dallo scrivente e costruiti od in costruzione in Italia ed in altri paesi: altre dighe dello stesso tipo sono già in corso di studio e la loro costruzione sarà prossimamente iniziata.

Lo sbarramento in oggetto è costituito da elementi cavi indipendenti (fig. 1) aventi una larghezza di 22 m ed a profilo triangolare isoscele con inclinazione dei due paramenti pari a 0,45.

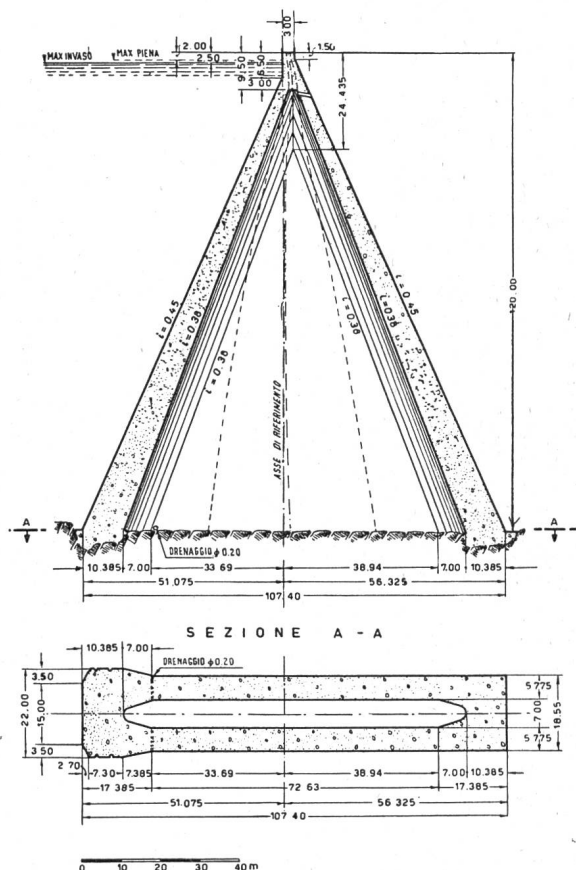


Fig. 1 Diga alleggerita tipo Marcello:
Sezione tipo di un elemento di 120,0 m di altezza

Le pareti longitudinali dell'elemento presentano spessore variabile con l'altezza; ciò è ottenuto inclinando le pareti esterne, mentre quelle interne sono verticali; di conseguenza la larghezza della cavità risulta costante.

La tenuta fra gli elementi adiacenti è garantita da uno speciale tipo di giunto.

La diga più importante di questo tipo è quella di Ancipa, costruita in Sicilia, che, con l'altezza di 111,50 m, rappresenta la diga alleggerita più alta fino ad ora costruita nel mondo (figg. 2 e 3).

Seguono in ordine di importanza:

la diga di Bau Muggeris, in Sardegna, alta 63 m, quella del Sabbione, nell'alta valle d'Ossola a q. 2460, alta 64 m, quelle del Poggia (fig. 4) e del Pantano d'Avio, in Val Camonica, alte rispettivamente 50 e 65 m, quelle di Malga Boazzo e Malga Bissina, nella valle del Chiese, alte 55 e 87 m, (l'ultima delle quali ancora in costruzione) ed altre minori. All'estero la diga di Pidima, costruita sul Ladhon nel Peloponneso (Grecia) alta 58 m, e quella di Cachoeira do Franca in avanzata costruzione sul Rio Juquià nello stato di S. Paulo (in Brasile), alta 51,50 m.

La idea di creare dei vuoti nel corpo di una diga massiccia, alleggerendo così la struttura, senza d'altra parte mutare sostanzialmente le condizioni di stabilità generali, è dovuta all'italiano ing. Figari, il quale la formulò nel 1900.

Negli anni seguenti, in base ad essa furono redatti vari progetti che però non trovarono pratica applicazione.

Solo nel 1935, lo Svizzero prof. Stucky, ha ripreso l'idea originale del Figari applicandola alla diga della Dixence (Svizzera) alta 87 m con ritenuta a q. 2240 m s.m. Questa diga, rappresentata nella fig. 5, è costituita da 31 elementi cavi in calcestruzzo non armato, di 26 m di larghezza.

Come mostra la sezione trasversale dell'elemento cavo, la forma esterna è in tutto simile a quella di una diga massiccia, sia per i valori dell'inclinazione dei paramenti, sia per le espansioni all'estremità di valle dei contrafforti, che formano un paramento continuo.

È da notare che per questa diga, come per altre analoghe che hanno il paramento a monte prossimo alla verticale, vengono peggiorate sensibilmente le condizioni di stabilità allo scorrimento rispetto alla diga massiccia.

Un tipo di diga a gravità che può considerarsi intermedio tra le dighe cave e quella ad archi multipli, è la struttura a speroni.

La prima realizzazione di una diga di questo tipo è dovuta all'ingegnere Svizzero Noetzi, il quale ha studiato per la diga di Don Martin nel Messico, costruita nel 1927, una struttura costituita da contrafforti affiancati aventi un ringrosso verso monte a forma di fungo (fig. 6).

In questa diga, alta 35 m, il paramento a monte è verticale per i primi 10,50 m al disotto del coronamento, e inclinato di 0,65 nella parte sottostante.

Lo spessore dei contrafforti è di 2 m ed il loro interasse è di 9 m.

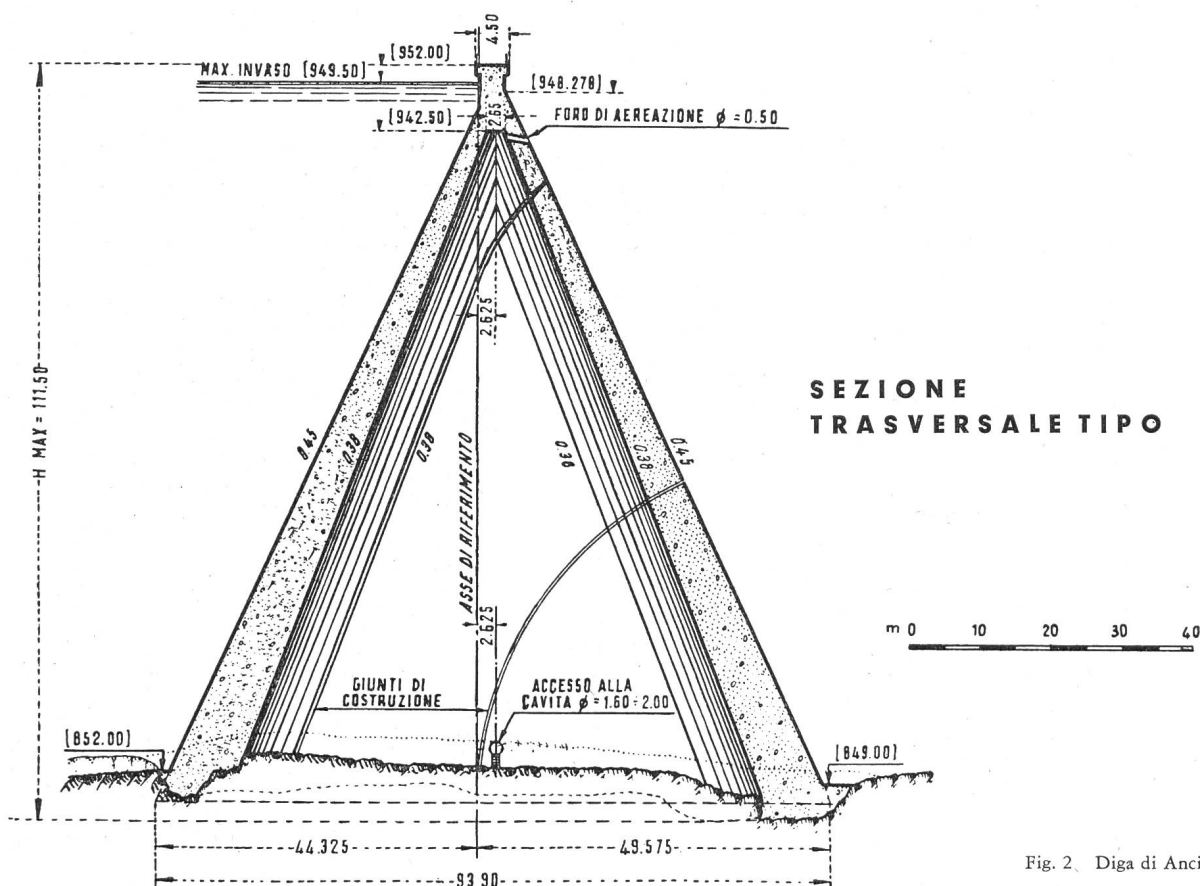
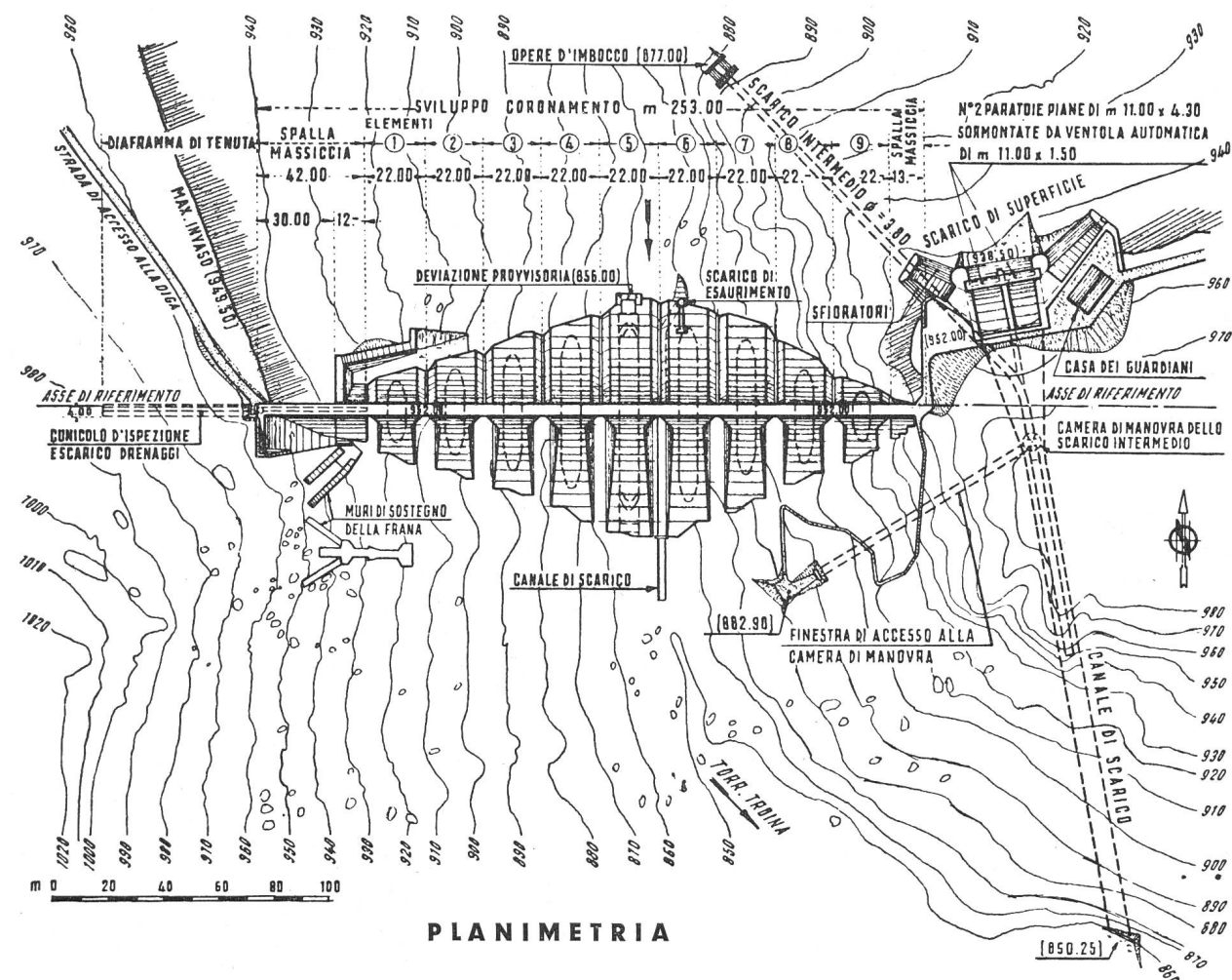


Fig. 2. Diga di Ancipa

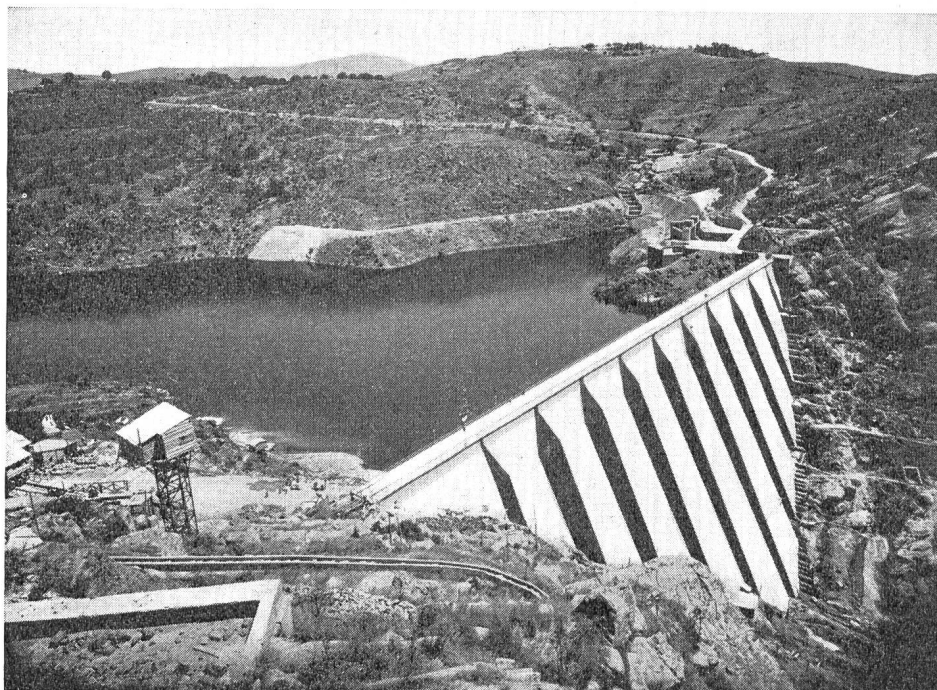


Fig. 3 Diga di Ancipa

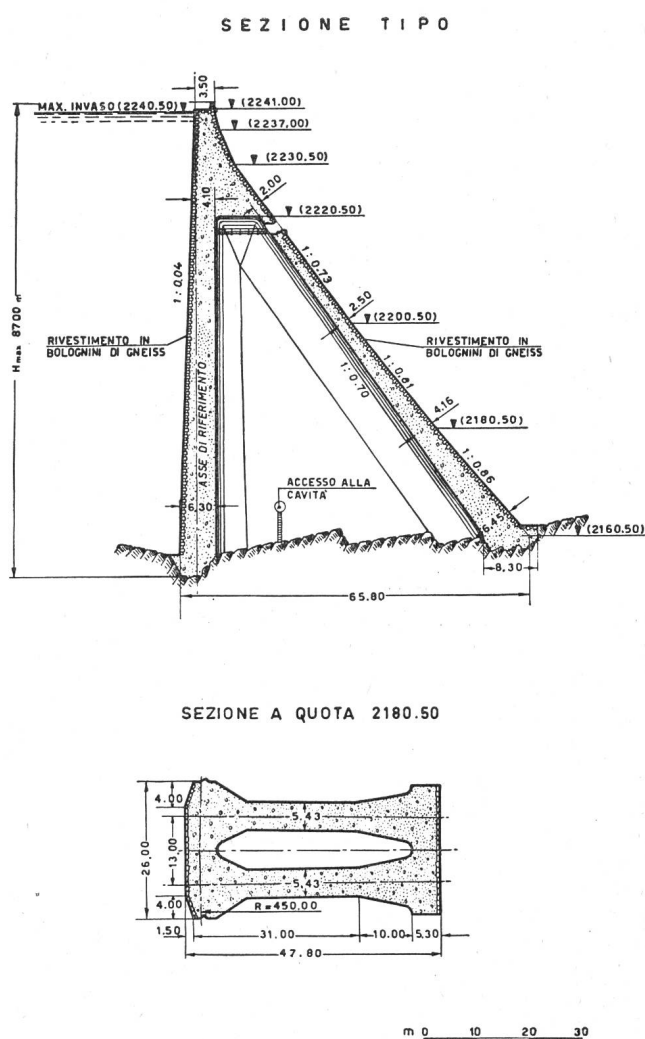


Fig. 5 Diga della Dixence (costruita nel 1929—1935)

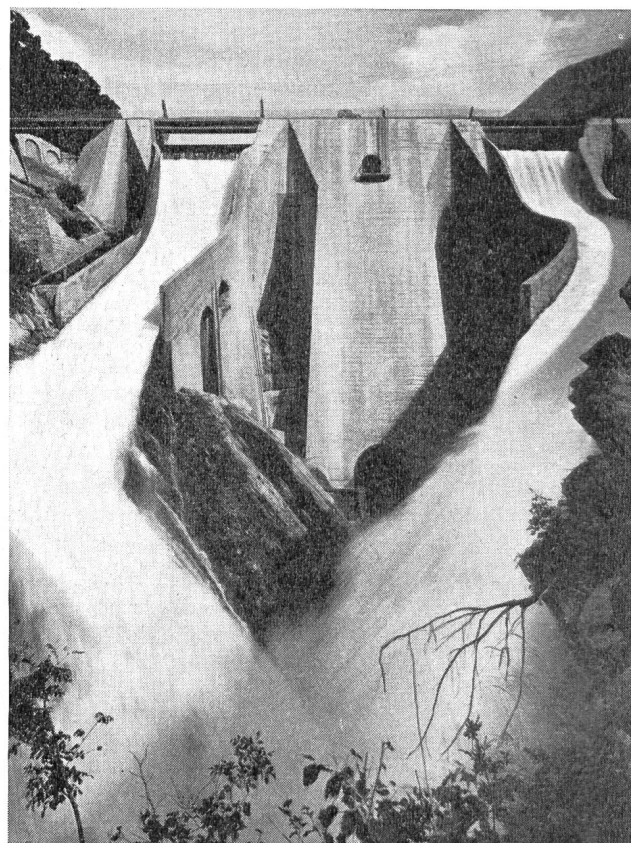


Fig. 4 Diga del Poggia

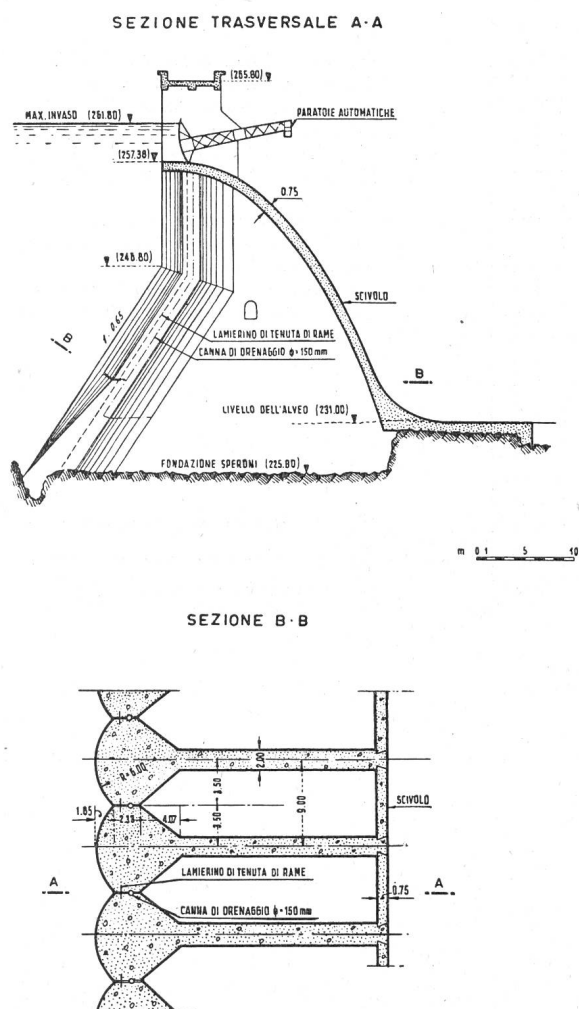


Fig. 6 Diga di Don Martin (Messico)

In questa struttura i valori degli sforzi sono piuttosto elevati ed inoltre la stabilità degli elementi in direzione normale all'asse dei contrafforti è scarsa.

Una diga che si può considerare come derivata dal tipo Noetzli, sia pure con diverse caratteristiche, è quella di Scais (fig. 7) progettata dall'ingegnere italiano Niccolai nel 1938. In questa struttura, alta 64,70 m, i contrafforti hanno spessore rilevante e presentano nelle parti più basse, a valle, un allargamento analogo a quello di monte.

I contrafforti hanno lo spessore della parte centrale variabile a seconda dell'altezza.

L'inclinazione del paramento di monte è di 0,19 e quella di valle di 0,57.

Altra diga di tipo del tutto analogo a quella di Scais è quella di S. Giacomo di Fraele, costruita dal 1940 al 1950 in Italia, dell'altezza massima di 95,70 m. E così pure la diga di Lock Sloy, costruita nel 1945—50 in Scozia, dell'altezza massima di 52,00 m e le dighe di Pracana e di Ben Metir, costruite su progetto del prof. Stucky, la prima in Portogallo nel 1950, e la seconda in Tunisia nel 1948—53. Queste ultime dighe hanno una inclinazione del paramento a monte maggiore di quella adottata per gli analoghi tipi di epoca anteriore, e rispetto al tipo Scais presentano un alleggerimento più sentito.

Sono pure da ricordare le dighe svizzere di Lucen-

dro, costruita nel 1942—1947, dell'altezza massima di 72 m, e di St. Barthélemy/Cleuson, costruita nel 1947/1950, dell'altezza massima di 87 m. Queste dighe hanno la caratteristica di una sentita inclinazione del paramento a monte.

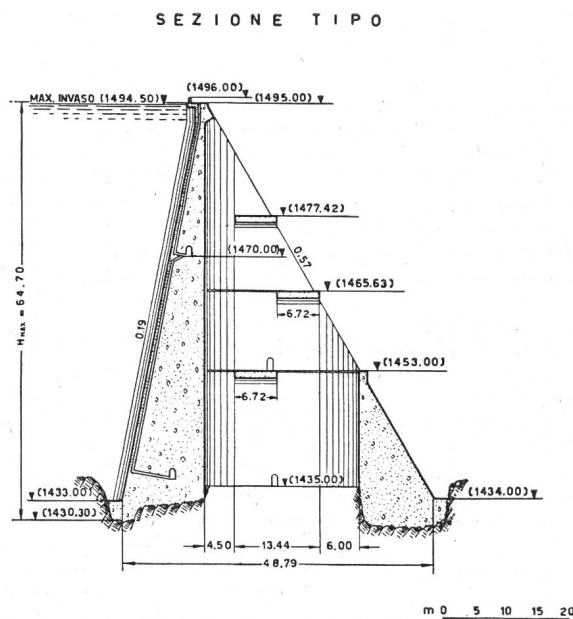
Altre dighe di tipo derivato dai precedenti sono state realizzate in questi ultimi anni: fra l'altro in Italia, quella di Giovaretto (alta 81 m) e della Fedaia (alta 60 m).

Come ho avuto modo di sintetizzare in altre occasioni,¹ i vantaggi che i vari tipi di diga alleggerita ad elementi cavi ed a speroni presentano rispetto alle strutture a gravità sono principalmente:

1. La riduzione, e per certi tipi la pratica eliminazione, delle sottopressioni e delle pressioni interstiziali. Di conseguenza risultano meglio valutabili le reali condizioni statiche dell'opera ed inoltre sussistono minori incertezze circa la conservazione del calcestruzzo, fatto questo di particolare importanza specialmente per le dighe soggette a forti variazioni climatiche.

Non vi è infatti sistema drenante che possa avere l'efficacia dei vani lasciati fra gli speroni o le nervature dell'elemento tipo. Inoltre è possibile intensificare agevolmente l'azione drenante dei meati della roccia di fondazione, ricavando dei fori emungenti lungo il perimetro degli elementi.

¹ Dott. ing. Claudio Marcello: Moderner Talsperrenbau in Italien. Schweiz. Bauzeitung 1950, Nrn. 33, 34, 35, vol. 68.



SEZIONE ORIZZONTALE

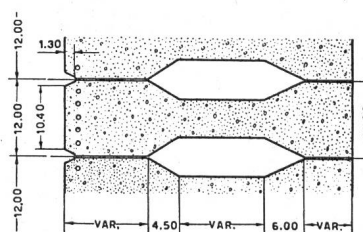


Fig. 7 Diga di Scais

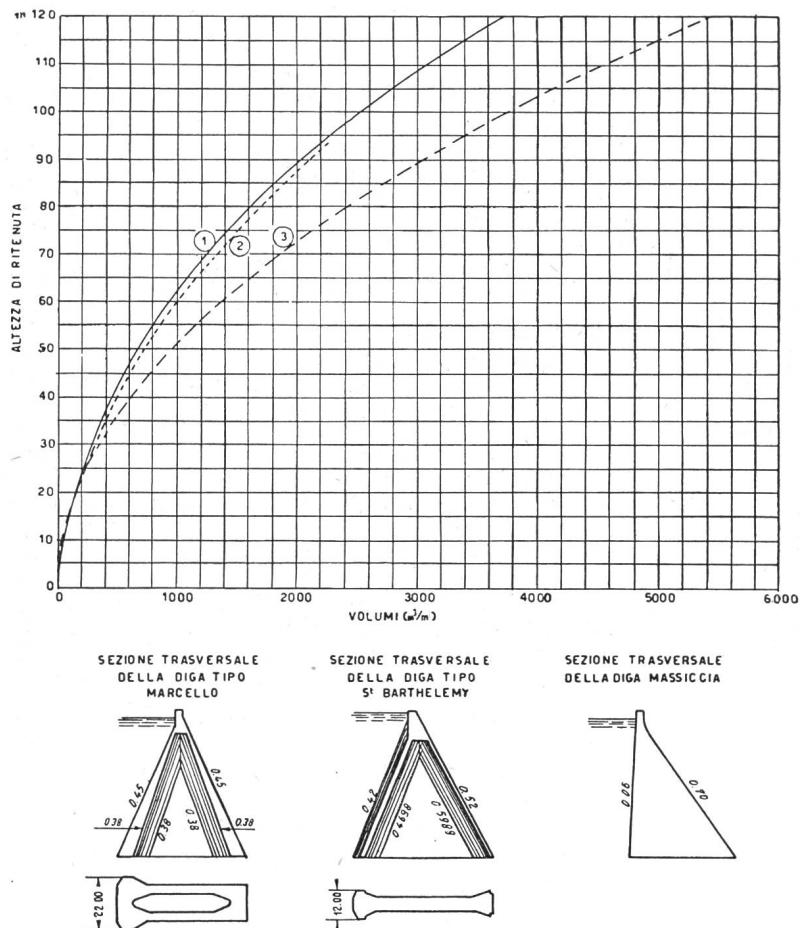


Fig. 8

Diagramma delle sottopressioni variabile dal carico idrostatico al paramento di monte a zero al perimetro della cavità per la diga cava e per la diga piena dal valore suddetto al paramento di monte a 0,3 del carico idrostatico massimo sulla linea dei drenaggi a zero al paramento di valle.

La stabilità della diga ad elementi cavi tipo Marcello e quella della diga a gravità massiccia è stata verificata per le seguenti condizioni: peso specifico del calcestruzzo $2,3 \text{ t/m}^3$ peso specifico dell'acqua $1,0 \text{ t/m}^3$.

- ① DIGA AD ELEMENTI CAVI TIPO MARCELLO
- ② DIGA A SPERONI TIPO S. BARTHELEMY
- ③ DIGA A GRAVITÀ MASSICCIA

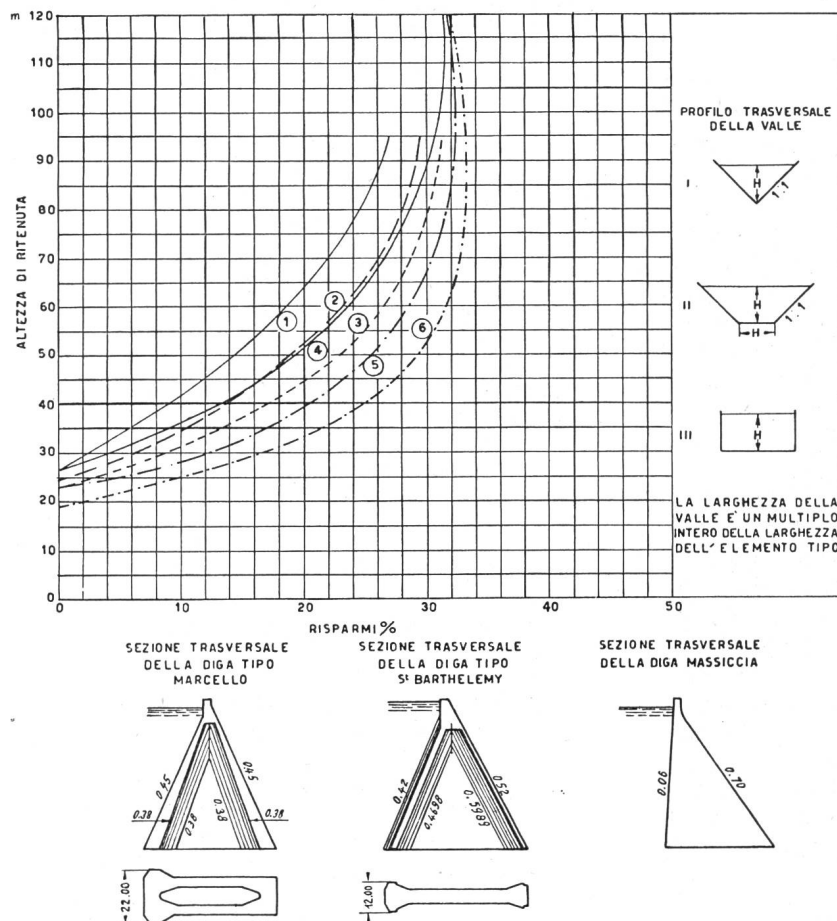


Fig. 9

Economia in % del volume di calcestruzzo realizzabile con una diga ad elementi cavi del tipo Marcello e St. Barthélemy in confronto ad una diga a gravità massiccia della medesima altezza in relazione alla sezione trasversale della valle.

- ① VALLE I DIGA A SPERONI TIPO S. BARTHELEMY
- ② " II " " " " "
- ③ " III " " " " "
- ④ VALLE I DIGA AD ELEMENTI CAVI TIPO MARCELLO
- ⑤ " II " " " " "
- ⑥ " III " " " " "

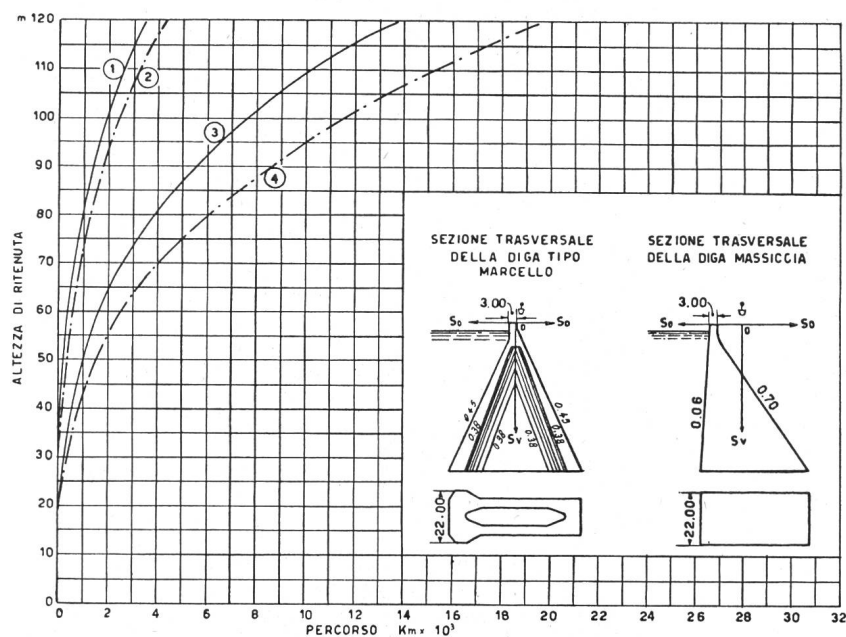


Fig. 10

Percorso verticale (S_v) ed orizzontale (S_o) di una benna della capacità di 1 m^3 per la posa in opera del calcestruzzo per un elemento (22 m di larghezza) d'una diga a elementi cavi tipo Marcello e per un elemento della medesima larghezza d'una diga piena (si è tenuto conto del percorso a vuoto della benna).

Il punto di partenza della benna è stato preso alla sommità della diga sulla linea verticale passante per il centro di gravità dell'elemento da gettare.

- ① S_o DIGA AD ELEMENTI CAVI TIPO MARCELLO
- ② S_o DIGA A GRAVITÀ MASSICCIA
- ③ S_v DIGA AD ELEMENTI CAVI TIPO MARCELLO
- ④ S_v DIGA A GRAVITÀ MASSICCIA

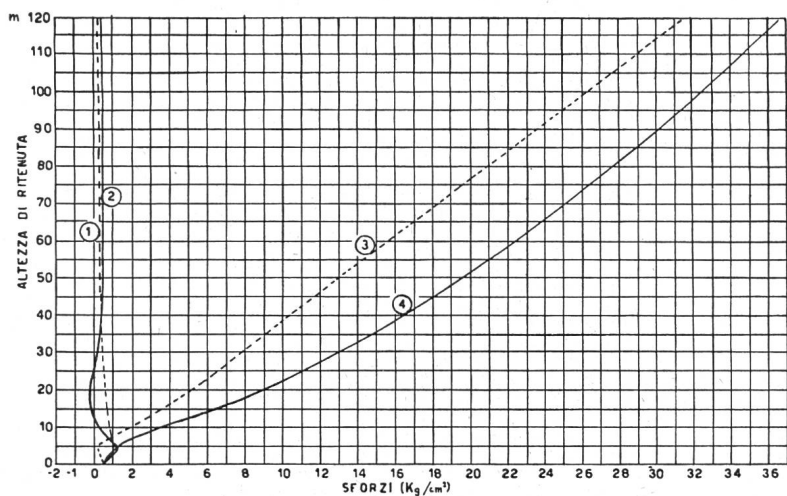
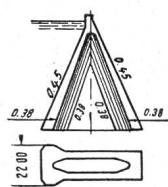
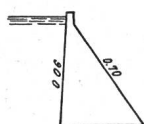


Fig. 11

SEZIONE TRASVERSALE
DELLA DIGA TIPO
MARCELLO



SEZIONE TRASVERSALE
DELLA DIGA MASSICCIA



δ_v SFORZO PRINCIPALE SUL PARAMENTO DI VALLE (A SERBATOIO PIENO)
 δ_m " " " " " MONTE " " "

- ① δ_m DIGA A GRAVITÀ MASSICCIA
- ② δ_m DIGA AD ELEMENTI CAVI TIPO MARCELLO
- ③ δ_v DIGA A GRAVITÀ MASSICCIA
- ④ δ_v DIGA AD ELEMENTI CAVI TIPO MARCELLO

Questi notevoli vantaggi agli effetti della riduzione delle sottopressioni e delle pressioni interstiziali, hanno avuto conferma sperimentale attraverso le misure piezometriche eseguite sulle dighe già costruite.

2. La facile dissipazione del calore di presa del cemento, che, nelle dighe massiccie, è fonte di inconvenienti. Esso infatti comporta, in generale, un salto termico, tra la massima temperatura iniziale e la media finale raggiunta nell'interno del corpo della diga, notevolmente superiore alla massima escursione annuale delle temperature trasmesse dall'aria alla muratura. È da notare inoltre che il riscaldamento (prima fase del fenomeno) si compie rapidamente, quando ancora il conglomerato è fresco e suscettibile quindi di forti deformazioni plastiche, mentre il successivo raffreddamento avviene molto lentamente in seno ad una massa di calcestruzzo di stagionatura via via più progredita.

Ad aggravare le conseguenze dei fenomeni termici concorrono soprattutto la disuniforme variazione termica nell'interno della massa e la disparità delle condizioni termiche ed elastiche relative ai vari tronchi gettati successivamente durante la costruzione. Condizioni indubbiamente migliori nei riguardi del fenomeno termico si riscontrano invece nelle dighe alleggerite, le quali, per la relativa sottigliezza dei loro elementi, sono di norma soggette a temperature interne iniziali più basse e quindi a successive contrazioni per raffreddamento pure di entità minore.

3. L'economia di volume di calcestruzzo, più sensibile in quei tipi che hanno un paramento di monte a forte inclinazione, accompagnata, a seconda del tipo, da una maggiore o minore economia di costo e, a pari potenzialità degli impianti di confezione del calcestruzzo, dalla minor durata della costruzione.

L'economia di volume varia, naturalmente, in misura sensibile a seconda del tipo particolare, oltre che in relazione alla forma della sezione di sbarramento. Nei diagrammi delle figg. 8 e 9 vengono presi in esame un elemento di diga ad elementi cavi del tipo ideato dallo scrivente, un elemento del tipo a speroni (S. Barthélemy) ed una diga massiccia.

La fig. 8 pone a confronto i volumi per m di sviluppo in funzione dell'altezza, mentre la fig. 9 indica l'economia in % del volume di calcestruzzo dei due tipi di diga alleggeriti rispetto alla diga massiccia, in relazione all'altezza di ritenuta ed alla forma della sezione di sbarramento; ciò nell'intento di dare alcuni valori limiti entro i quali ricadono la maggior parte dei casi pratici.

Per quanto riguarda il costo, da un esame dettagliato compiuto su vari tipi di dighe alleggerite, di dimensioni e caratteristiche tali da non richiedere alcun impiego di armature metalliche, sono risultate variazioni da 1,02 a 1,5 sul costo di 1 m³ di calcestruzzo, riferito a quello di una diga massiccia; queste variazioni sono tali da poter ridurre, in qualche caso, fortemente fino ad annullarlo o renderlo addirittura negativo, il vantaggio che l'economia di volume di calcestruzzo rappresenterebbe rispetto alla diga massiccia.

L'aumento del costo unitario di una diga alleggerita rispetto a quella massiccia è connesso fondamentalmente a 3 fattori:

- a) la estensione e la forma dei casseri richiesti per la messa in opera del calcestruzzo,
- b) l'area disponibile per il getto del calcestruzzo e le sue caratteristiche geometriche,

c) l'eventuale differenza di dosaggio in cemento richiesto per il calcestruzzo delle due strutture.

Per quanto riguarda i casseri, da uno studio approssimato eseguito è emerso che dai 0,18 ÷ 0,20 m² di casseri per m³ di calcestruzzo necessari per una diga a gravità massiccia dell'altezza di circa 60 m, si può salire fino ad una superficie di 0,90 m², a seconda dei vari tipi di struttura. Per la diga del tipo Marcello, che ha fino ad oggi ottenuto il maggior numero di applicazioni, sono risultati necessari circa 0,2 m² di casseri per m³ di calcestruzzo in più di quelli richiesti per la diga massiccia.

Sempre per la diga del tipo suddetto, tenendo presente che lo studio delle forme degli elementi e delle relative cavità è stato eseguito in modo da consentire il reimpiego multiplo dei casseri, risulta che il maggior onere per la cassetta è mediamente pari a circa 1,1 ÷ 1,4 % del costo unitario del calcestruzzo.

Per quanto riguarda il getto del calcestruzzo si può ammettere che il costo di posa in opera sia proporzionale al percorso che deve compiere il mezzo di distribuzione. Nella fig. 10 sono espressi i percorsi verticali (Sv) ed orizzontali (So) tenendo conto anche dei percorsi a vuoto, di una benna della capacità di 1 m³, necessari per la posa in opera del calcestruzzo per un elemento di una diga alleggerita ad elementi cavi del tipo Marcello e per un tratto di pari sviluppo di una normale diga a gravità massiccia. Il punto di partenza della benna è stato assunto in corrispondenza della verticale passante per il centro di gravità dell'elemento da gettare. Per entrambi i percorsi è manifesto il vantaggio della diga alleggerita; d'altra parte non si può pensare ad una maggiore difficoltà di manovra delle benne perchè le dimensioni delle varie parti della struttura e l'assenza di armature metalliche, assicurano una facilità di getto del tutto analoga per entrambi i tipi posti a confronto.

È da tenere però presente che i vantaggi suddetti sono riferibili esclusivamente al tipo particolare di struttura assunto a base dello studio, che offre tra l'altro il pregio della simmetria della sezione verticale: naturalmente per altri tipi di diga alleggerita tali vantaggi potranno variare fino al punto di divenire negativi.

Per quanto riguarda infine il dosaggio in cemento, la tecnica moderna ha ormai precisato che le caratteristiche del calcestruzzo devono essere tali da garantire, oltre alla stabilità, una lunga vita alla struttura, di fronte principalmente agli effetti delle permeazioni delle acque e delle variazioni climatiche.

Ed è da notare che la resistenza meccanica del calcestruzzo rispondente a questi requisiti è largamente superiore a quella richiesta dal punto di vista statico per la maggior parte delle dighe massiccie ed alleggerite.

D'altra parte la differenza tra le sollecitazioni principali nelle dighe massiccie ed alleggerite può essere contenuta entro valori modesti.

Il grafico della fig. 11, nel quale è preso in esame un elemento del tipo Marcello, indica come gli sforzi principali massimi siano abbastanza prossimi a quelli corrispondenti nelle dighe massiccie; in ogni caso gli sforzi in valore assoluto risultano, anche per altezze dell'ordine di 100 m, inferiori a quelli ai quali un calcestruzzo di lunga vita può essere sollecitato (coefficiente di sicurezza 8 ÷ 10).