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

Artikel: Dighe ad arco e a cupola
Autor: Semenza, Carlo
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-921505

Nutzungsbedingungen
Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. 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. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

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. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

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. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 10.07.2025

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

Dighe ad arco e a cupola

Ing. Dr. h. c. *Carlo Semenza,* Venezia

Non è facile sintetizzare in poche pagine un argomento che richiederebbe un intero volume. Le dighe ad arco costituiscono infatti uno dei domini più interessanti e più delicati, ma anche più vasti, della tecnica moderna. Mi limiterò quindi a ricordare qualche punto circa gli sviluppi più recenti, premettendo un breve cenno storico.

Per la necessità di essere breve, ho dovuto limitare al minimo le stesse citazioni di opere. Desidero quindi dichiarare che qualunque esclusione non corrisponde ad una intenzione di minore valutazione delle singole strutture.

Chiedo perciò venia inizialmente per la forzata incompletezza delle note che seguono, oltre che per le involontarie omissioni.

I° — Un breve cenno storico

a) *Uno sguardo al passato*

Le dighe ad arco sono forse, fra i vari tipi di dighe, le ultime ad apparire storicamente.

In Europa, la diga di Ponte Alto nel Trentino (Italia Settentrionale) che risale al sedicesimo secolo, è fra le più antiche. Si tratta di un'opera piuttosto modesta costruita per la sistemazione del torrente Fersina nei pressi di Trento: concepita con ogni probabilità ad arco anche dal punto di vista funzionale. La parte che risale al 1500 è oggi ridotta alla sola fondazione, ma sappiamo che la sovrastava una struttura in muratura a secco per due volte distrutta e ricostruita nel corso dello stesso secolo. La costruzione fu continuata, sempre con sopraelevazioni a mezzo di strutture ad arco, negli anni 1611, 1748 e 1883, fino a raggiungere l'altezza di 47 m.

Accanto alla diga di Ponte Alto possiamo ricordare la diga di Almanza, la più antica di un notevole gruppo di dighe spagnole costruite intorno al 1600. La parte più bassa di questa diga, per un'altezza di circa 15 metri, è a pianta curva; la parte superiore segue planimetricamente uno sviluppo spezzato. Anche le dighe di Alicante e di Elche sono a pianta curva. Per le dighe spagnole non si può tuttavia parlare di concezione ad arco: infatti, anche in quelle di minor spessore, l'effetto arco è un elemento molto secondario rispetto all'effetto peso. Si potrebbe forse parlare, in certo modo, di un funzionamento ad arco-gravità.

In generale per le antiche dighe curve, che per lo più avevano lo scopo di trattenere le materie alluvionali dei torrenti di montagna, sempre si pone l'interrogativo se i progettisti (che allora probabilmente si identificavano coi costruttori) avessero chiaro il concetto dell'effetto d'arco come determinante della stabilità. Nel caso di Ponte Alto riteniamo di poter rispondere affermativamente: il costruttore ha intuito che il concetto della resistenza dell'arco, già da secoli applicato ai ponti ed alle strutture agenti in piani «verticali», poteva esserlo anche alle strutture destinate a lavorare nei piani «orizzontali». Il Coyne ha annotato giustamente che l'analogia della diga di Ponte Alto con il ponte che la domina e che le ha dato il nome, è troppo evidente per autorizzarci a pensare il contrario.

Nel secolo diciassettesimo, in una memoria «Intorno alle piene e riempimento del letto dell'Arno», presentata dal celebre matematico Viviani al Duca Cosimo III° de' Medici, si legge: «Per troncare il progresso del riempimento del letto dell'Arno, dico essere mio parere che ... si andassero disponendo e fabbricando più serre o chiuse o traverse ... La forma di queste serre dovrebbe essere per lo più in angolo od arcuata, con il convesso volto in dentro alla tenuta dell'acqua ... le testate da fermamente incassarsi dentro le rive». Il concetto dell'effetto d'arco e quello della reazione alle imposte erano, come si vede, ben chiari. Del resto, concezioni del genere probabilmente derivavano in Italia anche dall'antica pratica della costruzione di volte: fin dai tempi degli Etruschi e poi della Romanità l'arco è una struttura tipica dell'architettura italiana.

Fuori d'Europa, gli Egizi, i Caldei, gli Assiri impiegarono l'arco, pur non apparendo evidente che esso sia stato adottato con piena conoscenza della sua funzione.

Per quanto riguarda più specificamente, e in epoca più recente, le dighe, si deve ammettere che la concezione delle risorse dell'arco può risultare, a chi è provvisto naturalmente di senso statico, facilmente intuitiva: lo prova anche il fatto che la concezione stessa era chiara, oltre che in Europa, anche in altre parti del mondo. Ricordo ad esempio la diga ad archi multipli di Meer Allum in India costruita all'inizio dell'800, e probabilmente dovrebbero essere qui citati molti altri esempi.

b) *Lo sviluppo moderno e contemporaneo*

Si può dire che la storia recente delle dighe ad arco venga aperta in Francia dalla diga di Zola costruita nel 1849. La diga — come voleva il suo progettista del quale porta il nome, e che ha lasciato delle interessanti note in proposito — resiste fondamentalmente per effetto d'arco.

Il numero delle dighe curve costruite fra il 1850 e il 1900 è peraltro assai ridotto: in quest'epoca tuttavia l'effetto della curvatura sulla stabilità di una diga viene studiata analiticamente in Francia da Delocre e Pelletrau, in America da Woodward e da altri.

Fra le dighe di quest'epoca ricordo l'ardita diga americana di Bear Valley (1884), prototipo di altre dighe americane ed australiane costruite verso la fine dell'800.

Fra il 1900 e il 1915 il numero degli sbarramenti ad arco aumenta: si costruiscono strutture spesse e strutture snelle, sempre, come calcolazione, sulla base della formula del cilindro e con generatrici del paramento a monte verticale. La diga italiana del Corfino costruita nel 1914 segna probabilmente in quest'epoca il primato di snellezza.

In quegli stessi anni Joergensen progetta la sua prima diga ad angolo costante: si tratta di un passo fondamentale che deve essere particolarmente ricordato.

Dopo la prima guerra mondiale, fra il 1920 e il 1930, specialmente sotto l'impulso del grande sviluppo degli impianti idroelettrici, la costruzione di dighe si inten-

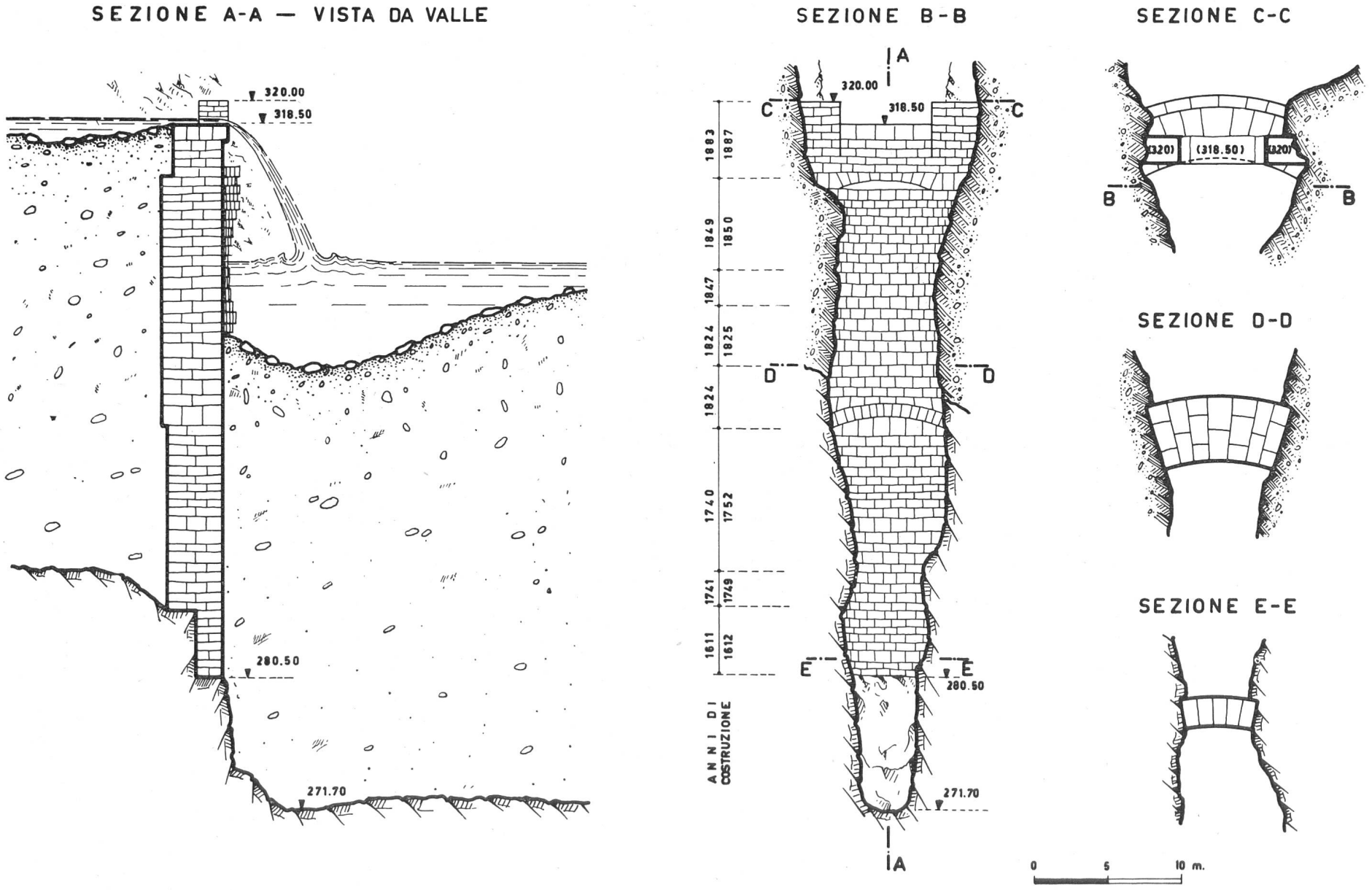


Fig. 1 Diga di Ponte Alto sul Fersina (Trentino)

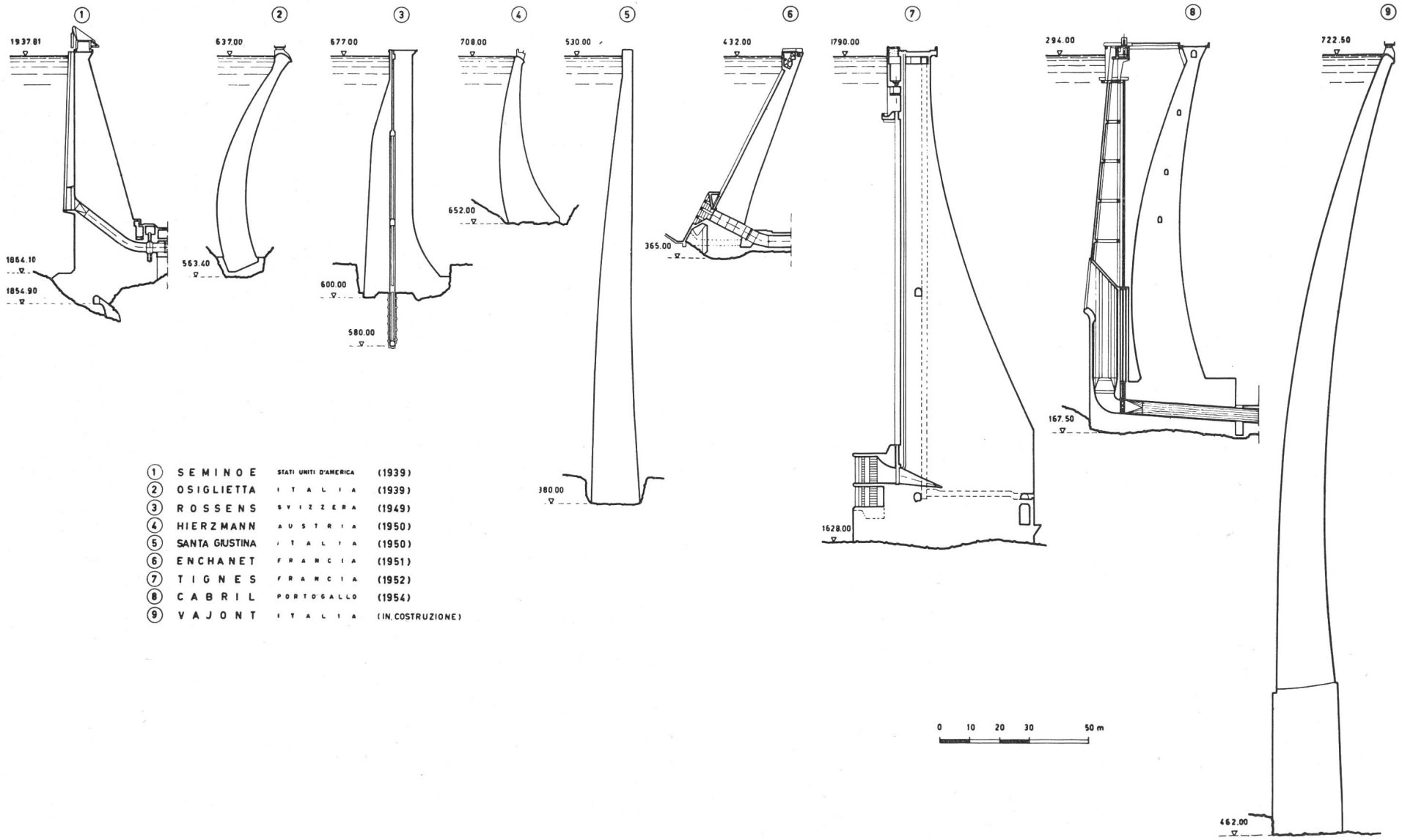


Fig. 2 Alcune fra le più caratteristiche dighe ad arco moderne

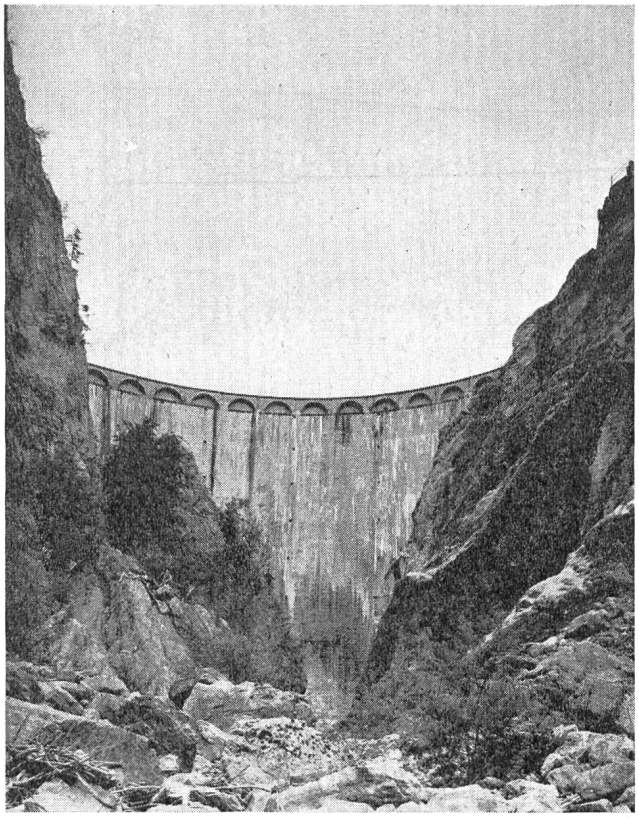


Fig. 3 Diga di Montsalvens (Foto J. Thévoz, Friborgo)

sifica ulteriormente e la loro importanza si fa sempre maggiore.

La prima grande diga a volta europea di quest'epoca fu la diga svizzera di La Jogne (Montsalvens), ultimata nel 1921, dell'altezza di 55 metri e del volume di circa 26 000 m³. In America ricorderò la diga di Pacoima, alta oltre 100 metri; in Francia la Bromme; in Italia infine le dighe di Ceppomorelli e del Comelico che preannunciano alcune delle caratteristiche tipiche delle più recenti dighe ad arco italiane.

Diablo, Ariel, Marèges, Santa Luzia, Fortezza e altre che sarebbero pure degne di ampia menzione, e la cui citazione ometto soltanto per brevità, sono strutture rappresentative, ognuna con qualche sua particolarità, di questo periodo.

Tutte queste strutture si possono considerare tuttavia di transizione verso il tipo più moderno di diga ad arco che comincia ad affermarsi dopo il 1930: quello a doppia curvatura o a cupola che in molti casi sarà destinato ad imporsi. Non sempre però, perché è vero prima di tutto (e desidero qui confermarlo contro ogni tendenza esclusivista) che ogni problema di sbarramento sta a sè e richiede la scelta della soluzione che, a parità di caratteristiche di sicurezza, è la più razionale ed economica.

Ed è così che di fronte alle dighe Seminoe negli Stati Uniti, di Castillon, Tignes, Salamonde in Francia, di Rossens in Svizzera, di Osiglietta, Lumiei, Val Gallina in Italia, di Drossen in Austria, di Cabril in Portogallo, le quali sono ben presenti alla mente di tutti i costruttori come tappe dell'evoluzione del tipo a doppia curvatura, stanno opere come la diga di S. Giustina nel Trentino e di Sottosella sull'Isonzo, per le quali — a causa di particolari condizioni morfologiche della stretta o costruttive — è risultato conveniente mantenersi aderenti o quasi al tipo cilindrico; oppure che si adagiano fortemente verso valle fin dal piede (Enchanet, Couesque in Francia).

Contemporaneamente al tipo a cupola si sviluppava pure, e in modo autonomo, il tipo propriamente detto ad arco-gravità. Fra le strutture ad arco-gravità più importanti bisognerà almeno ricordare quelle di Spitallamm in Svizzera, di Gibson, Owyhee e di Ross negli Stati Uniti, di Sautet e Aigle in Francia, di Castelo do Bode in Portogallo, di Pieve di Cadore, di Forte Buso, del Fiastrone, di Pian Telessio in Italia; e anche qui devo per brevità tralasciarne molte altre che avrei voluto tutte ricordare.

Oggi non meno di 250 dighe ad arco sono in funzione in tutto il mondo. Almeno una quarantina superano i 100 metri di altezza.

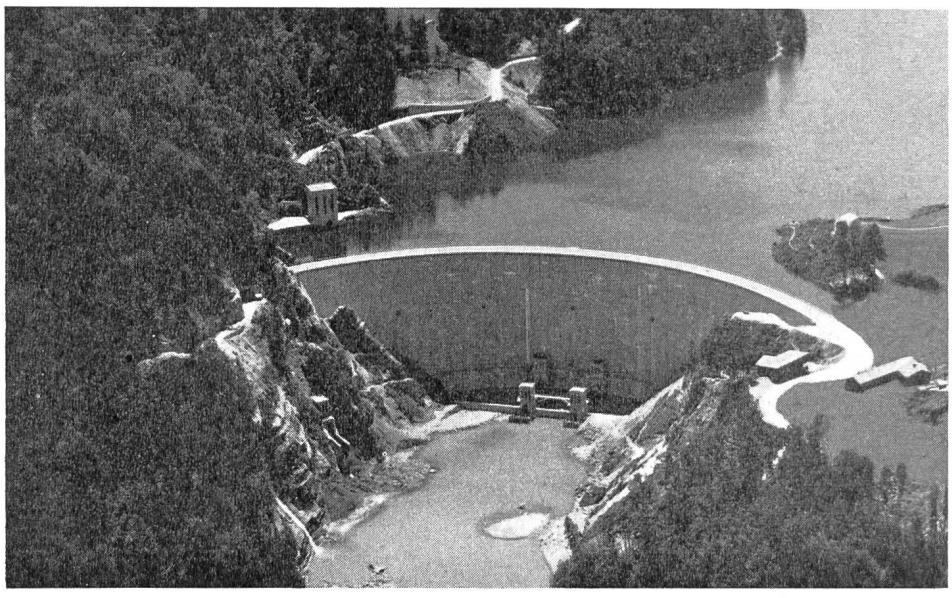


Fig. 4
Diga di Rossens
(Foto J. Mulhauser, Friborgo)

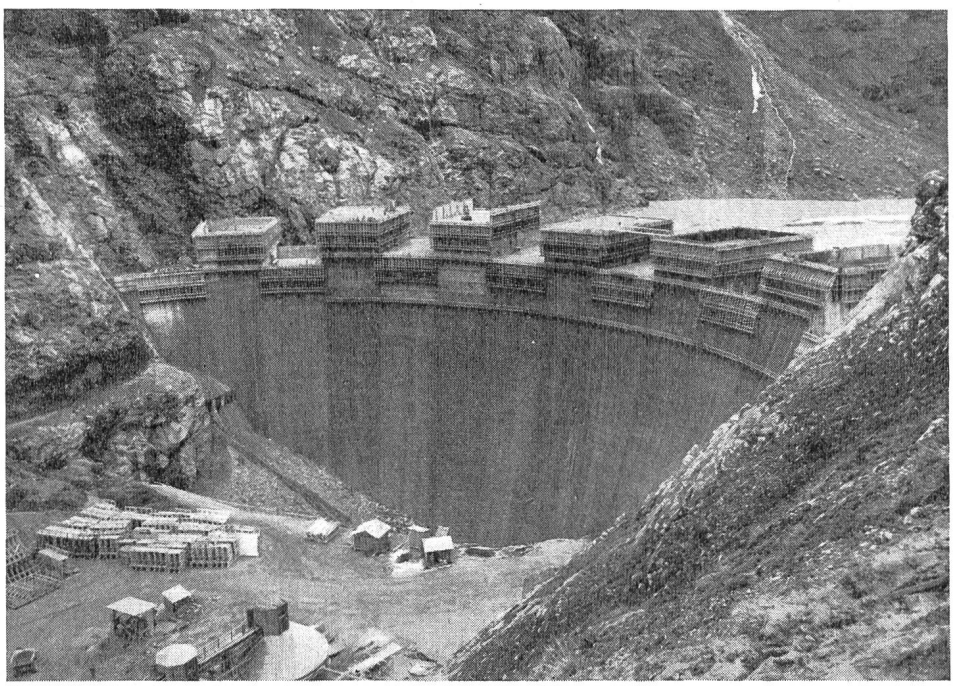


Fig. 5 Diga di Mauvoisin

Il «nastro blu» dell'altezza è passato negli ultimi dieci anni dalla diga del Lumiei a quelle di S. Giustina e di Tignes. Passerà ben presto alla diga di Mauvoisin, ora in avanzata costruzione, la più grande fra le molte, e molto notevoli, opere elvetiche, e poi, se non erro, a quella del Vajont nelle Dolomiti (la cui costruzione è ora all'inizio) che raggiungerà i 262,50 metri.

Possiamo dunque dire che le dighe ad arco hanno un posto di prim'ordine nelle opere dell'uomo; e questo vale, oltre che per le costruzioni in sè stesse, anche per la loro varia attitudine a risolvere economicamente problemi di generale e essenziale utilità.

IIo — La più recente evoluzione

Penso sia interessante ricordare qualche tendenza della più recente evoluzione e i campi nei quali si è svolta e si svolge.

a) *Evoluzione nella conoscenza delle strutture e del loro funzionamento*

1. Una forte spinta al più recente affinamento delle dighe ad arco è stata data anzitutto dalla evoluzione dei metodi di calcolo. Il metodo del cilindro rigido non è più applicato altro che per tentativi e dimensionamenti di prima approssimazione, oppure per le parti inferiori e più spesse della volta.

Il metodo degli archi indipendenti elastici incastrati alle imposte viene applicato per strutture costruite in valli relativamente poco svasate e ciò sia per le strutture simmetriche che per quelle asimmetriche. Esso viene integrato con metodi di verifica delle mensole, seguendo ad esempio i procedimenti del Ritter o dello Stucky. Ricordo anche che in qualche caso si impiega il calcolo di verifica cupola-membrana, con estensione del metodo di Schwedler, considerato anche da Krall; in altri la verifica secondo gli archi «plongeants». In Gran Bretagna viene raccomandato il «relaxation method».

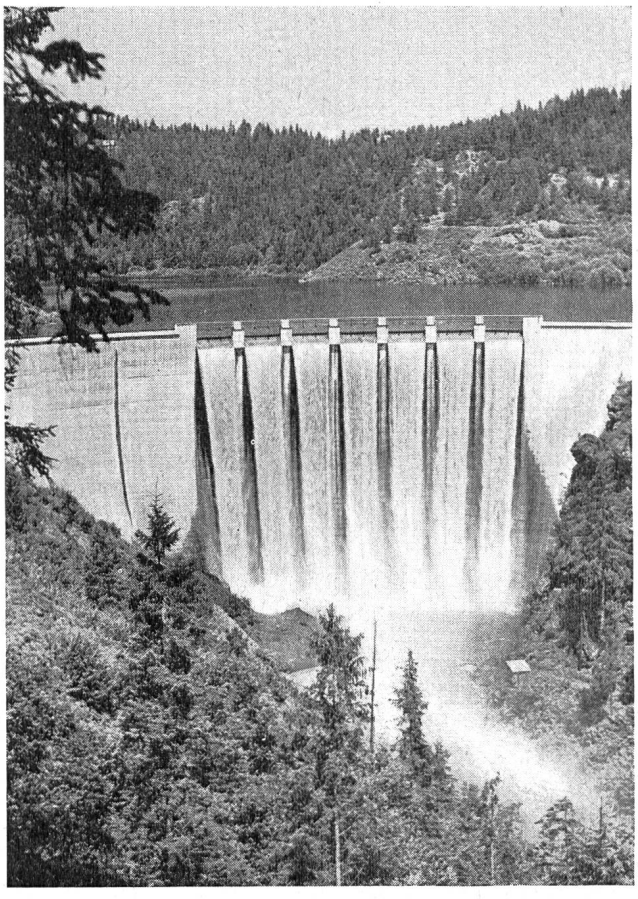


Fig. 6 Diga di Hierzmann (Foto L. Mlaker, Graz)

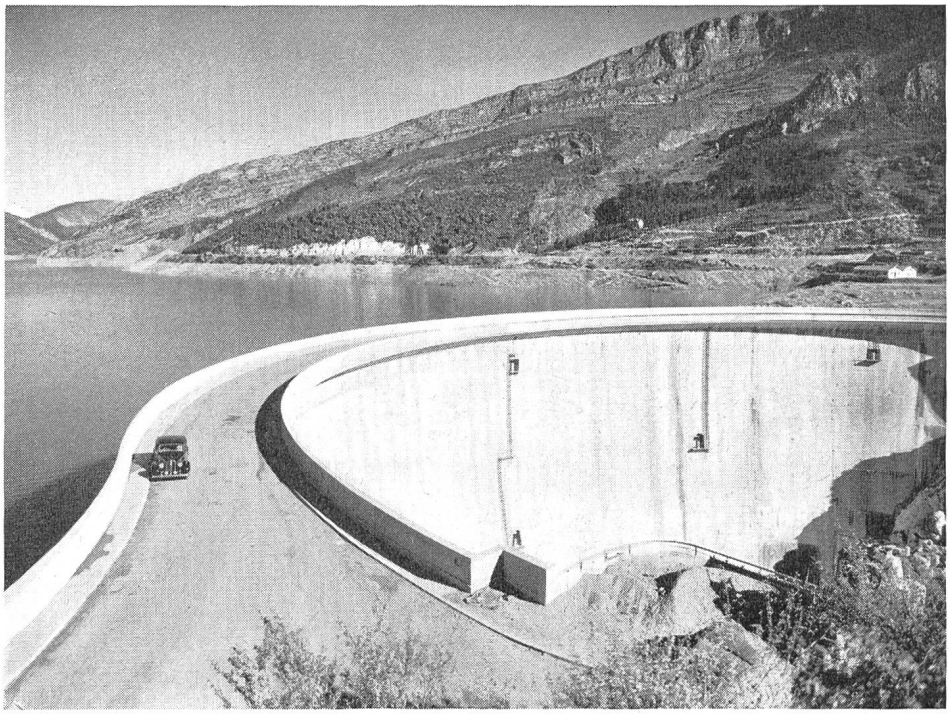


Fig. 7
Diga di Castillon
(Foto H. Baranger, Parigi)

Infine nelle strutture in cui il peso giuoca un certo ruolo e in quelle ad arco-gravità propriamente dette si usano ormai largamente i metodi del Tölke e del Trial Load, secondo diverse varianti non sostanziali nei diversi paesi.

2. Accanto all'affinamento dell'analisi, ha preso sempre più forte sviluppo l'impiego delle prove su modello. Ricorderò in particolare il vasto impiego dei modelli nella tecnica italiana e portoghese e i progressi ottenuti dalle stesse. Si tratta ormai di un vero e proprio «utensile di calcolo» per l'analisi tridimensionale delle strutture, la cui importanza e il cui interesse — per la sua generalità di impiego immediato in tutti i casi e la facoltà di riprodurre nel modo più approssimato possibile tutte le condizioni, comprese quelle, generali e locali, al contorno — sono ormai riconosciute quali un indispensabile complemento, o addirittura un sostituto dell'analisi matematica. L'aiuto che le prove su modello danno al progettista è infatti sostanziale, sopratutto nei casi in cui devono essere analizzate particolari condizioni, influenze della dissimmetria e altre circostanze eccezionali. In altre parole, i modelli sono un potente contributo all'allargamento del campo dei progetti al di fuori delle soluzioni convenzionali.

Si potrebbe pensare — ex adverso — che lo sviluppo assunto dalle prove su modello e il sempre maggiore affidamento che i progettisti sono, inevitabilmente, condotti a fare su tale metodo di indagine portino alla conseguenza di diminuire la loro capacità di concezione e di analisi: si potrebbe cioè temere che le facoltà di critica dei progettisti risultino in qualche modo attenuate dalla sicurezza di poter poi contare su un controllo da parte del modello.

Non credo che ci sia questo pericolo; anzi le esperienze su modello fanno sentire, direi quasi fanno vivere, maggiormente nello spirito dei progettisti le opere studiate e costruite; il modello quindi contribuisce all'allenamento dell'intuizione, alla quale attribuisco una grande importanza, pur ritenendo che essa debba sempre venire controllata dall'analisi e dalla sperimentazione, perché altrimenti talvolta quella parte di «arte» che — felicemente! — è nel nostro mestiere, potrebbe condurci fuori strada.

3. Contemporaneamente l'impiego dei tipi più adatti di cemento e di calcestruzzi e il loro studio e controllo continui, sia previamente in laboratorio che durante la stessa costruzione, e la meccanizzazione dei cantieri hanno portato alla possibilità di avere a disposizione un materiale nettamente migliore e più costante che nel passato. Il calcestruzzo è cioè diventato un prodotto

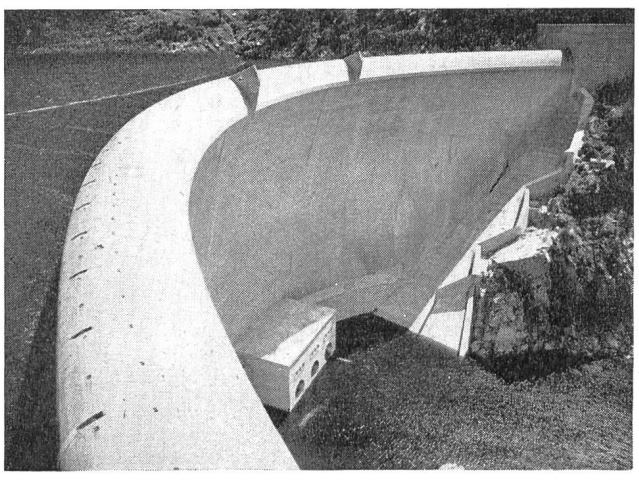


Fig. 8 Diga di Couesque (Foto H. Baranger, Parigi)

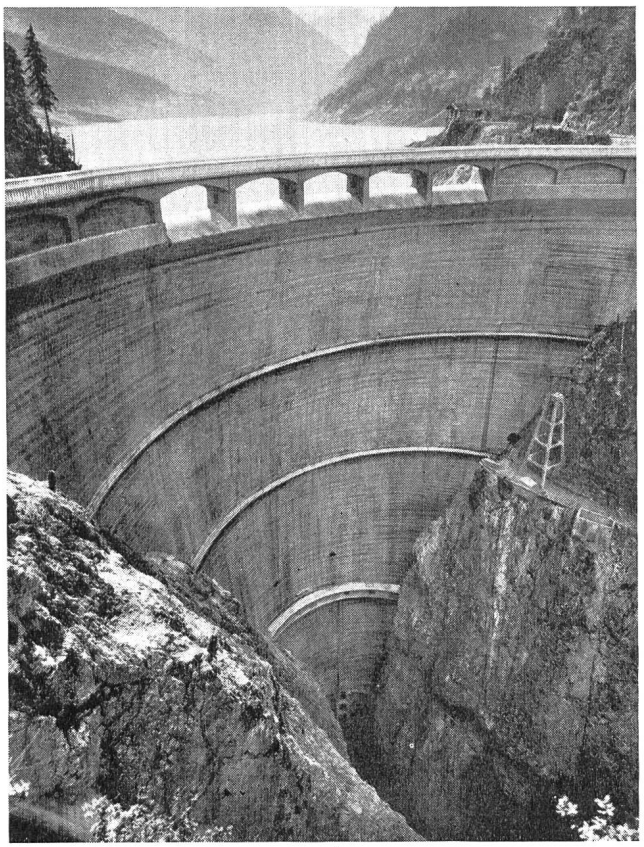


Fig. 9 Diga del Lumiei (Foto Ferruzzi, Venezia)

largamente predeterminabile, tecnicamente e scientificamente.

4. Infine un nuovo passo in avanti verso la conoscenza del comportamento delle strutture, e quindi della loro stessa concezione, è stato dato dai dispositivi di controllo installati nelle dighe più importanti: si tratta ormai come è ben noto, di un mezzo capace di legittimare, almeno entro certi limiti, la attendibilità dei metodi di calcolo e sperimentali impiegati e delle sollecitazioni assunte. Si è giunti in qualche diga (Pieve di Cadore) a installare parecchie centinaia di strumenti di misura che controllano movimenti verticali e trasversali, aperture dei giunti, deformazioni, ecc.

5. Il risultato degli sforzi e delle possibilità sopra elencate (progresso degli studi e delle conoscenze sperimentali) è logicamente l'aumento delle sollecitazioni ammesse nelle strutture per arrivare ad una sempre migliore utilizzazione del materiale. Fino a qualche anno fa, si ammettevano mediamente valori intorno a 35 kg/cmq, mentre oggi si arriva a valori di 60 ÷ 70 kg/cmq e oltre (alla diga di Gage in Francia, fino a 120 kg/cmq).

A questo proposito, noi riteniamo che pur lasciando doverosamente una parte dei vantaggi derivanti dagli studi a disposizione di un aumento della sicurezza globale della struttura, l'altra parte rimanente, più o meno grande a seconda dei casi, debba invece andare a vantaggio dell'economia traducendosi in un affinamento delle strutture stesse; altrimenti finirebbe per venire frustrato l'impulso di studio che ci anima e arrestato il progresso stesso nella sua molla più efficace che è la ricerca di soluzioni sempre più razionali ma anche più economiche.

b) *Estensione nel campo di applicazione*

Ci si va dovunque orientando verso una più larga elasticità nella applicabilità delle dighe a volta.

1. Si costruisce in strette nelle quali il rapporto fra le dimensioni trasversali e le verticali è sempre più grande. La diga di Osiglietta ha già un rapporto corda-altezza 2,3/1 che qualche anno prima sarebbe stato ritenuto difficilmente ammissibile. Per le strutture ad arco-gravità, si passa a valori corda-altezza anche maggiori. Già eccezionale la struttura superiore della diga di Pieve di Cadore, il cui rapporto corda-altezza è 5,6. In Italia, per la diga della Fedaia, è stato sperimentato su modello e con pieno successo un arco-gravità con rapporto intorno a 7, il cui funzionamento statico è stato ottimo. Rapporti vicini a questi valori sono previsti per le dighe Kariba sullo Zambesi, e di Moulin Ribou.

2. La tradizionale concezione secondo la quale una diga ad arco non dovrebbe potersi impostare che su rocce di particolare compattezza e resistenza è ormai abbandonata: addirittura vengono presi in considerazione anche certi vantaggi che la cedevolezza della superficie di imposta determina nel comportamento elastico della struttura (Rossens).

Si costruisce oggi in rocce di deficiente compattezza, fratturate, con discontinuità locali morfologiche o di resistenza, provvedendo a correggere le condizioni naturali, sia anzitutto con iniezioni di consolidamento e omogeneizzazione, sia distribuendo opportune armature e rinforzi di distribuzione nella zona di imposta (Bort, Val Gallina), sia mediante intasamenti (Castillon, Beau-

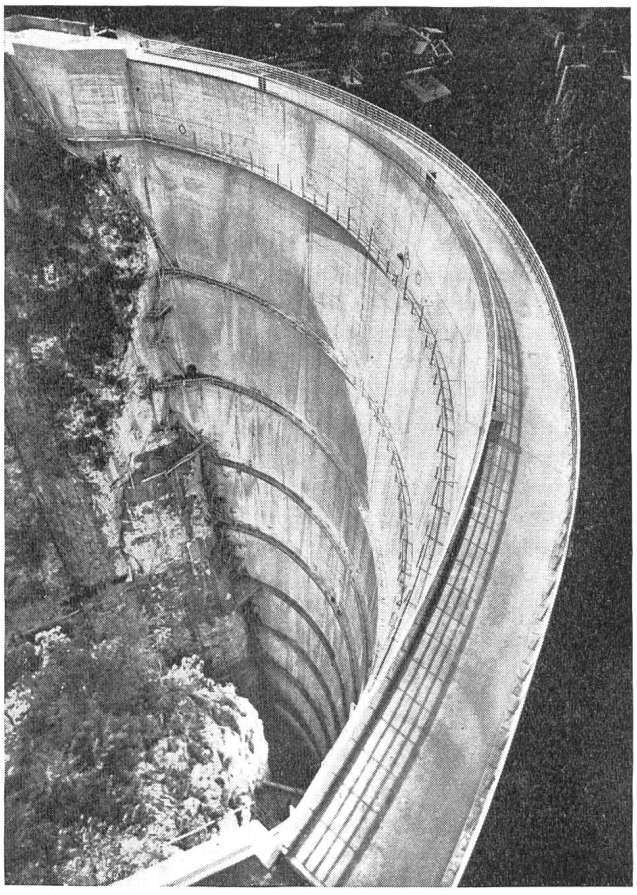


Fig. 10 Diga di S. Giustina

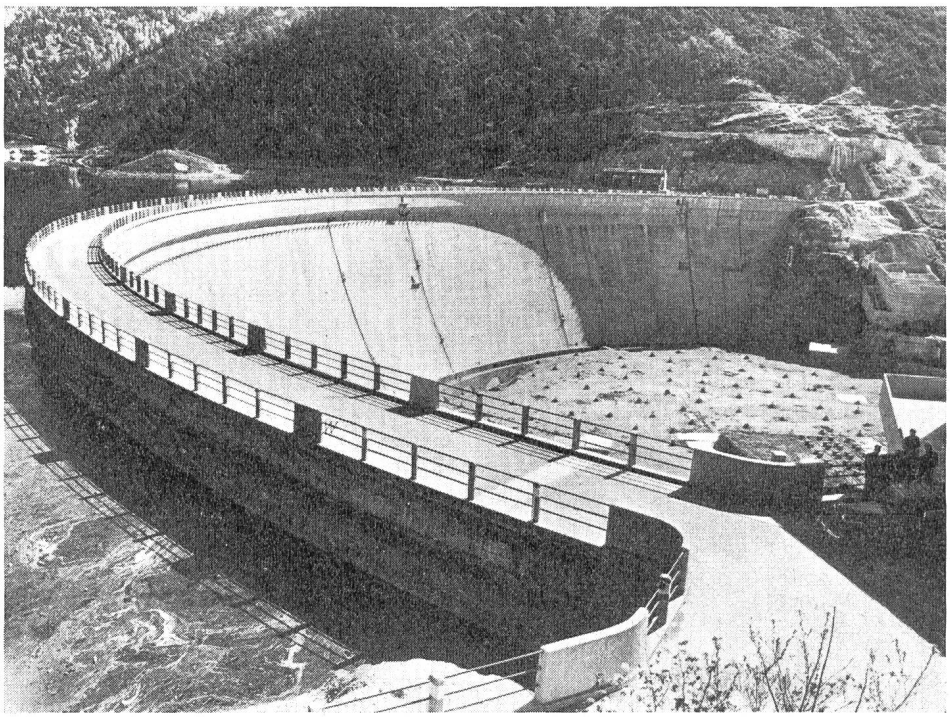


Fig. 11 Diga di Pieve di Cadore
(Foto Atelié Sundahl A. B., Stoccolma)

regard), sia con consolidamenti mediante tiranti (Castillon, La Chaudanne).

Si sono costruite infine strutture con appoggi artificiali: appoggi supplementari (per il funzionamento a vuoto o temporanei per la costruzione a forma di stampella); spalle sostenute da tiranti (Marèges).

Più recentemente, la volta sottile della diga di Rio Freddo (sulla Stura di Demonte in Piemonte) è stata impostata su due grandi spalle in calcestruzzo di notevole altezza.

Credo interessante tornare a questo proposito anche sugli studi eseguiti per la diga della Fedaia. Il già ricordato modello ad arco-gravità mancava dell'appoggio roccioso in spalla destra per un'altezza di 15 m circa, su un'altezza totale di 64 m. Le prove dimostrarono un ottimo funzionamento statico anche con gli archi superiori terminanti addirittura nel vuoto.

3. La struttura simmetrica, dove la morfologia la consenta senza richiedere eccessivi volumi di scavo e di calcestruzzo, può essere sempre, e logicamente, preferita. Ma la dissimmetria per sè stessa non preoccupa.

Nelle strutture dissimmetriche la continuità geometrica si ottiene naturalmente con maggiori difficoltà, quindi con incrementi nel costo; per di più la dissimmetria richiede delle analisi più delicate e consiglia comunque il controllo con accurate prove su modelli.

Nel confronto fra una soluzione simmetrica e una asimmetrica entrambe tecnicamente accettabili, si tratta in definitiva di adottare caso per caso una scelta razionale di convenienza basata sul costo: infatti la dissimmetria, se, come è logico, si vogliono confrontare strutture aventi uguali sollecitazioni estreme, può richiedere uno spessore medio più rilevante.

Alcuni esempi notevole di dighe dissimmetriche sono Bin el Ouidane, Hierzmann, Travignolo, Barcis. La diga del Vajont avrà un piano di simmetria inclinato.

4. Da alcuni, in Italia e ora anche altrove (vedi ad esempio in Isvizzera, Portogallo, e talvolta anche negli Stati Uniti) non si fa più questione di «simmetria geometrica», ma sopratutto di «continuità» geometrica. Sezioni verticali e orizzontali devono variare con adeguata gradualità, come tutti i parametri geometrici della struttura e le stesse superfici di appoggio. Fra l'altro, è stata abbandonata la formazione a gradoni per le imposte, preferendosi superfici continue, subtrapezoidali o a culla, al fine di evitare discontinuità e questo pure a costo di qualche maggior volume di scavo.

c) *Evoluzione nella forma*

Come si è visto nel cenno storico, la forma delle dighe ad arco ha subito rapide evoluzioni. Gli affinamenti dell'analisi e costruttivi esposti nei paragrafi precedenti hanno contribuito, con la contemporanea maturazione dell'intuizione dei progettisti, a dar luogo all'evoluzione morfologica delle strutture.

La sezione tipo è passata negli ultimi 25 anni dalle forme triangolari più o meno spesse alla base a profilature a doppia curvatura, spesso molto ardite e talvolta (ad esempio in Italia e in Francia) con rilevanti strapiombi verso valle. Contemporaneamente il criterio della variabilità degli spessori dei singoli archi ha portato a ingrossamenti con continuità di variazione dalla chiave alle imposte.

Come conseguenza dell'adozione di accentuate curvature, strapiombi, variazioni di spessore, ecc., anche la pianta complessiva del manufatto si è fatta più complessa, tendendo per lo più verso la forma a conchiglia, caratteristica delle dighe a cupola.

IIIº — Un cenno sulle più recenti concezioni statiche e dinamiche

a) Secondo l'analisi tradizionale e convenzionale, tuttora spesso consigliata o addirittura prescritta, le strutture arcuate vengono concepite come una serie di archi sovrapposti e indipendenti incastrati alle imposte.

Occorre riconoscere che nel caso di strutture a contorno sufficientemente regolare e simmetrico, in sezioni vallive abbastanza strette, tale concezione corrisponde in modo notevole al comportamento reale dell'opera, come si può anche dedurre dai risultati delle prove su modello e da calcoli tridimensionali, dai quali emerge che il funzionamento degli archi è determinante in confronto con quello delle mensole.

Tuttavia, con l'estendersi del campo applicativo delle strutture arcuate a sezioni nelle quali il rapporto delle dimensioni trasversali alle verticali diventa rilevante, l'ipotesi convenzionale corrisponde sempre meno al comportamento effettivo della struttura.

In realtà la diga ad arco deve ormai considerarsi nella più parte dei casi come una piastra curva continua.

b) Molti autori ritengono che, salvo casi eccezionali, tale piastra lavori praticamente svincolata dal contorno, per parte dello stesso o totalmente a seconda dei casi: comunque, essa tende allo svincolo. Secondo alcuni, in particolare fra i tecnici italiani, conviene pertanto concepirla senz'altro come piastra semplicemente appoggiata, predisponendo addirittura uno svincolo definito mediante un giunto perimetrale che separi la volta da una imposta artificiale continua (il cosiddetto «pulvino») che segue tutto il profilo roccioso. Si può così realizzare insieme alle condizione dell'appoggio semplice la condizione di avere un contorno della piastra regolare e continuo, da definire morfologicamente caso per caso a seconda della forma della stretta, e col grande vantaggio di poterla definire «ab initio».

In ogni modo, si accetti o meno la concezione dello svincolo perimetrale e della continuità dell'imposta e del contorno, e indipendentemente dalle condizioni di calcolo, la volta o cupola è ormai generalmente considerata come una struttura che funziona armonicamente *nel suo complesso.*

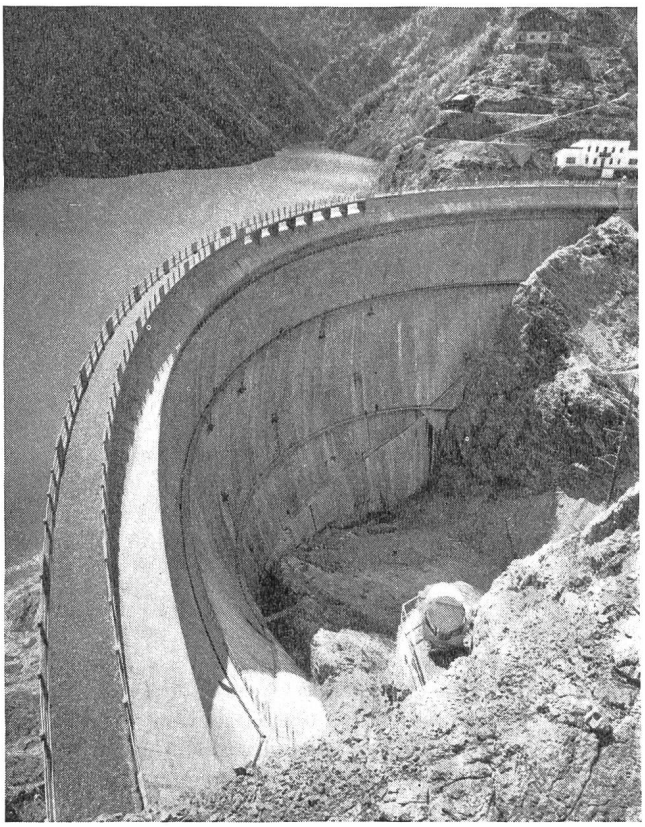


Fig. 12 Diga di Val Gallina (Foto Ferruzzi, Venezia)

Nelle dighe a cupola, in particolare, si tende sostanzialmente a realizzare una volta «a vela», funicolare del carico idrostatico, tale che lavori in ogni direzione a compressione semplice, con valore in quanto possibile uniforme: limite ideale quest'ultimo irraggiungibile in pratica, ma che corrisponde alla massima razionalità ed economia.

Nelle dighe ad arco-gravità, nelle quali interviene decisamente l'effetto del peso, si tende verso strutture nelle quali le sollecitazioni massime di compressione siano ripartite colla maggiore possibilità uniformità e,

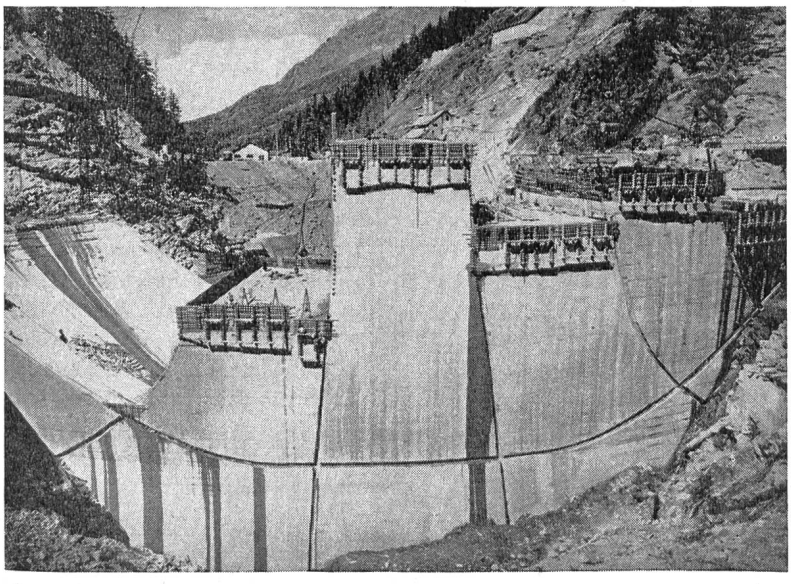


Fig. 13 Diga di Beauregard

sempre nei limiti del possibile, con lo stesso ordine di grandezza sia a vuoto che a pieno.

c) Altro concetto basilare è quello che la piastra curva deve essere considerata anche in un armonico insieme con la roccia su cui è appoggiata. L'introduzione del «pulvino» può giuocare anche qui un ruolo importante: esso può costituire infatti, sia per la sua composizione con un calcestruzzo appositamente studiato, sia per la sua funzione, elemento di transizione tra la volta e la roccia, al quale possono essere assegnate caratteristiche elastiche intermedie. Secondo quest'ultima concezione, è il comportamento del complesso «volta + pulvino + roccia», non la sola volta, che il progettista deve globalmente considerare. È questo l'attuale punto di arrivo nella concezione statica delle strutture arcuate da parte di alcuni progettisti del mio paese.

d) È logico pensare che un tale tipo di struttura abbia capacità di resistere in modo notevole anche alle sollecitazioni eccezionali, in particolare a quelle dinamiche.

Si tratta infatti di una struttura a funzionamento globale e armonico, capace di assorbire ampiamente in sè stessa le sollecitazioni cui è sottoposta e di scaricarle quindi con relativa regolarità e continuità sulla roccia. Le reazioni della roccia d'altra parte sono rese più uniformi dalla presenza del pulvino stesso, le cui caratteristiche di forma e di resistenza possono essere fatte variare lungo il perimetro a seconda del variare delle condizioni di appoggio. Equilibrata in sè stessa, omogenea negli appoggi, capace di ricevere e trasmettere sollecitazioni in tutte le direzioni, la piastra curva possiede in realtà molti mezzi per resistere anche a sollecitazioni anormali.

Le più recenti esperienze eseguite al Laboratorio ISMES di Bergamo per dighe impostate su rocce di consistenza ineguale e per accelerazioni sismiche nelle direzioni e combinazioni meno favorevoli, di valore e durata molto più elevate di qualsiasi evento naturale finora verificatosi, confermano in pieno queste concezioni e danno, insieme col fatto fondamentale che nessuna diga ad arco è mai caduta, un sostanziale conforto alla nostra intuizione.

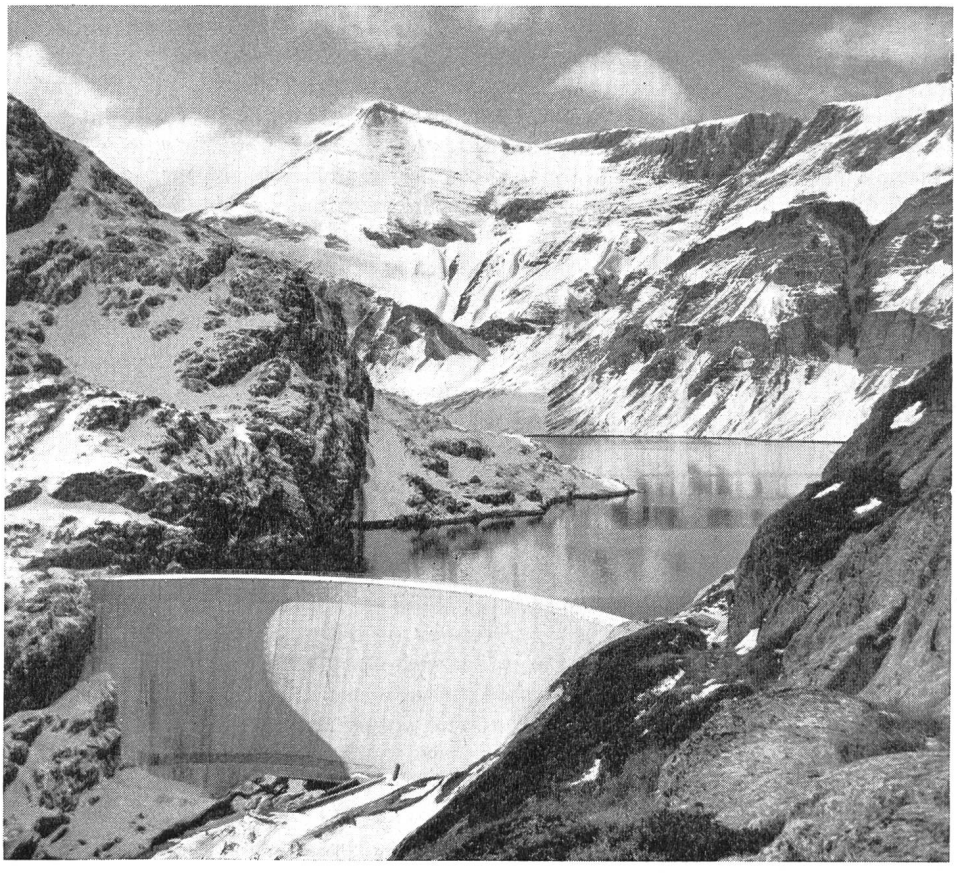
IVº — Conclusioni

In sostanza possiamo concludere che la diga arcuata ha un'infinità di risorse in molte direzioni: la sua «resistenza globale» è grandissima e lo dimostrano la storia stessa delle dighe curve e le prove a oltranza sui modelli.

«L'arco non dorme mai» pare dicessero gli arabi con significato di sfiducia, per giustificare la loro scelta di grandi piattabande di pietra per costruzioni che essi pensavano destinate all'eternità; riservando invece agli archi, per la loro insonnia, che ritenevano pericolosa, i materiali meno nobili come i mattoni.

Per contro, noi possiamo ancora oggi constatare l'ottima resistenza e conservazione di archi in mattoni che contano decine di secoli. È vero anche per noi che l'arco non dorme mai, ma nel senso che esso è pronto in ogni momento a reagire ai carichi più gravi e violenti, utilizzando la plasticità e tendendo, mediante un interno e continuo adattamento, alla migliore distribuzione delle sollecitazioni, alla loro centralizzazione. La nostra interpretazione è dunque diversa, e assai più fiduciosa: l'arco non dorme perchè tende a lavorare sempre in un modo più affinato.

A noi progettisti e costruttori, il secondare con intelligenza queste sue naturali risorse.



Barrage de Vieux-Emosson (Valais), barrage poids-voûte