

Zeitschrift: Archi : rivista svizzera di architettura, ingegneria e urbanistica = Swiss review of architecture, engineering and urban planning

Herausgeber: Società Svizzera Ingegneri e Architetti

Band: - (2008)

Heft: 6

Artikel: La conservazione a lungo termine delle dighe

Autor: Bremen, Roger

DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-134041>

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: 11.07.2025

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



La conservazione a lungo termine delle dighe

Roger Bremen*

La durata di vita per una diga è di regola notevole. La storia ci ha consegnato esempi eccezionali di longevità millenaria quali la leggendaria diga della Regina di Saba nello Yemen o quella romana, detta di Proserpina, in Spagna. Nella maggioranza dei casi la vita delle più moderne opere in calcestruzzo supera comunque di gran lunga la durata d'attività professionale dello stesso progettista.

Questa circostanza lo induce pertanto a ritenere la sua opera come eterna, oltre che la migliore e la più sicura tra quelle realizzate dai suoi colleghi. E comunque, se non eterna, sicuramente destinata ad un lungo e tranquillo futuro privo di sorprese o di spiacevoli disturbi. Di fatto l'esperienza insegna che particolari eventi sfavorevoli possono comunque prodursi in termini e modi del tutto imprevedibili. Ne risulta pertanto che la diga non è da considerarsi opera compiuta né al momento della costruzione né tantomeno all'atto del collaudo bensì un'opera viva che come tale richiede costanti cure e ripetute verifiche. È altresì evidente l'esigenza di considerare l'opera in un complesso più ampio comprendente la diga stessa, il suo massiccio di fondazione, la sua influenza sulle condizioni naturali del sito e tutte le infrastrutture ad essa collaterali.

In questa analisi distinguiamo da un lato le evoluzioni lente e progressive scandite dal tempo e dall'altro gli impatti violenti di breve durata. I primi possono essere riassunti sotto il termine generico di «invecchiamento» della diga (ad esempio l'effetto della permeabilità del calcestruzzo). Più dettagliatamente le azioni negative che possono agire sull'opera possono essere suddivise in categorie quali:

- l'invecchiamento generico dell'opera;
- gli impatti esterni di origine naturale;
- gli effetti endogeni;
- gli impatti antropici;
- le esigenze accresciute;
- le conseguenze di disposizioni progettuali inadeguate.

Impatti naturali

Tra gli impatti naturali sono da menzionare in primo luogo i fattori classici quali le piene e gli effetti sismici, oggi di regola adeguatamente considerati in fase progettuale. Di più stretta attualità, anche se non facili da prevedere, sono i sempre più frequenti cambiamenti climatici che portano a distribuzioni di probabilità degli eventi idrologici e dei carichi termici, differenti da quelle considerate nell'ambito del progetto originale, con conseguente necessità di adattamento delle opere. Ad esempio, la capacità dello sfioratore della diga di Contra, costruita dal 1961 al 1965, è stata successivamente aumentata da 1000 a 1600 m³/s benché l'analisi idrologica in fase di progettazione si fosse basata su una notevole serie di misure effettuate dal 1907 al 1960 e nonostante tali misure fossero state rilevate all'opera di presa dell'impianto precedente che sottendeva praticamente lo stesso bacino imbrifero. L'origine di tale discrepanza fu successivamente riscontrata nella insufficiente precisione dell'allora stazione idrometrica per le portate estreme ma anche in una maggior frequenza del ripetersi di eventi climatici eccezionali rispetto alle previsioni. In modo simile studi sismo-tettonici più approfonditi possono imporre rilevanti modifiche ai normali standard progettuali.

Due dighe dello Spullersee (Austria), realizzate durante il periodo 1922-1926, nonostante versassero in eccellente stato di conservazione, sono state rinforzate di recente aggiungendo un terrapieno a valle in quanto l'impatto sismico imposto dalla attuale normativa vigente non poteva essere, per ovvi motivi, previsto al momento dell'allestimento del progetto iniziale (Fig. 1). Oltre a ciò anche gli ancoraggi attivi messi in opera verso gli anni '50, in occasione di un modesto rialzamento della diga, si sono col tempo rilevati del tutto incontrollabili e pertanto sostituiti con ancoraggi passivi limitati alla parte superiore del corpo murario. Il caso della diga della Maigrouge in Svizzera francese, la cui costruzione risale agli anni 1870-1872, mostra come l'accumulo di sedimenti (non

considerato inizialmente) unito ad un fattore sismico del tutto ignorato abbiano imposto un rinforzo dell'opera con tiranti attivi. Il caso specifico non poteva infatti prevedere la realizzazione di un terrapieno a valle essendo l'opera considerata patrimonio storico il cui aspetto non poteva essere in alcun modo alterato.

Un altro caso, senz'altro particolare, è quello dell'imponente valanga caduta al piede della diga di Ferden (Svizzera) che ha causato la distruzione di importanti opere accessorie (Fig. 2). Un tale evento non era mai stato osservato in quella zona e rientra per molti tra i segnali del tanto paventato «cambiamento climatico».

È altresì risaputo come il bacino di accumulazione possa esercitare un impatto importante sulla stabilità delle sponde. Il caso più tragico è senza dubbio quello avvenuto nell'ottobre 1963 nella diga del Vajont nel nord Italia. Fortunatamente, a seguito di tale episodio, sono state prese le misure progettuali per cercare di scongiurare il rischio del ripetersi di eventi simili.

Effetti endogeni

Possono essere chiamati effetti endogeni quelli iscritti in qualche modo da sempre nel «codice genetico» dell'opera ma che esercitano il loro effetto solo sul lungo termine. Essi possono interessare tanto la diga quanto la sua fondazione.

Un primo esempio ne è la diga di Montsalvens in Svizzera, una delle prime in Europa, se non la prima in assoluto, ad essere costruita in calcestruzzo (messa in servizio nel 1920). Già pochi anni dopo la sua costruzione si incominciò a registrare un lento ma progressivo cedimento della spalla sinistra poggiante su uno sperone di roccia con evidente scistosità sub-verticale. Si intervenne stabilizzando la sponda attraverso dreni, ancoraggi e superficialmente con calcestruzzo spruzzato (Fig. 3).

Tra gli eventi a lungo termine quello del rigonfiamento del calcestruzzo dovuto a sue reazioni chimiche interne sembra essere diventato il più attuale e del quale si registra una maggior frequenza. La natura della reazione chimica può variare da un caso all'altro cambiando con essa anche la rapidità e l'entità dell'espansione. Le deformazioni che ne derivano sono al principio relativamente lente anche se piuttosto consistenti soprattutto se ad essere interessata è una diga ad arco. Successivamente appaiono fessurazioni «strutturali» indotte dal contrasto che la diga (iperstatica per definizione) oppone al rigonfiamento. Questo genere di fessure può seriamente compromettere la stabilità dell'intera struttura. A peggiorarne il qua-

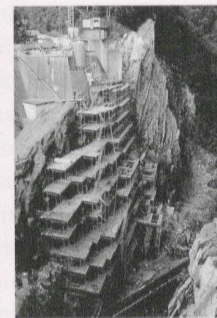
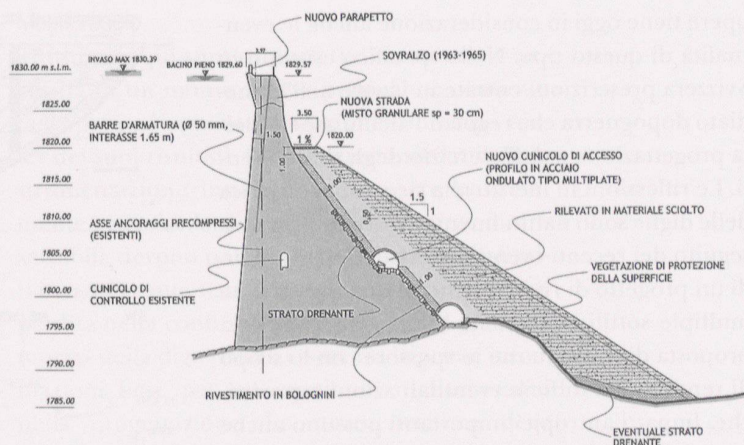


Fig. 1 - Profilo della diga Sud dello Spullersee (Austria) rinforzata da terrapieno e da ancoraggi passivi nella parte superiore.

Fig. 2 - Ferden. Lavori di sgombero della valanga caduta al piede della diga che aveva distrutto la passerella d'ispezione e il cunicolo di accesso allo scari-catore di fondo.

Fig. 3 - Lavori a Montsalvens (Svizzera): ancoraggi, dreni e protezione superficiale della parete rocciosa in sponda sinistra.

dro si viene ad aggiungere più o meno contemporaneamente una diffusa fessurazione dovuta essenzialmente alla disomogeneità locale della massa del calcestruzzo. È evidente come di fronte a certo deterioro si facciano urgenti interventi mirati alla messa in sicurezza dell'opera. Un esempio assai chiaro è dato dalla diga di Serra in Svizzera (Fig. 4). L'opera è stata recentemente oggetto di importanti lavori (essenzialmente l'installazione di ancoraggi attivi) atti a garantirne la stabilità in attesa che si possa procedere ad una sua completa demolizione e ricostruzione. Risulta interessante notare come di regola il lento o lentissimo fenomeno del rigonfiamento si faccia presente solo parecchi anni dopo la costruzione dell'opera. In media si osservano tempi variabili tra i 18 e i 25 anni tra la fine della costruzione e la presa di coscienza della realtà del rigonfiamento.

Impatti antropici

In merito agli impatti di tipo antropico si menzionano gli eventi bellici e gli atti di tipo terroristico. La progettazione di determinate e specifiche

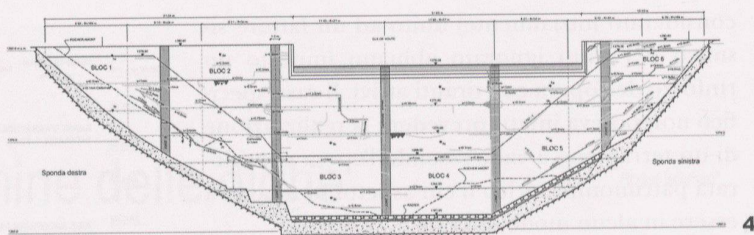
1

2-3

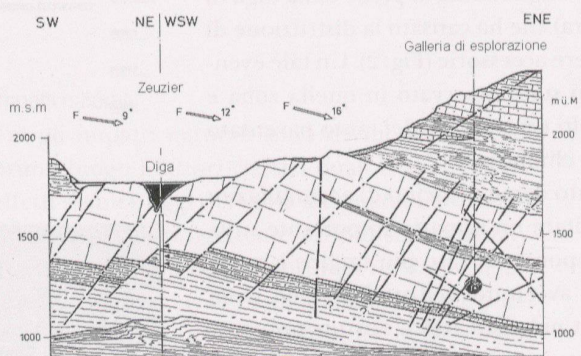
opere tiene oggi in considerazione anche le eventualità di questo tipo. Nello specifico esistono in Svizzera prescrizioni entrate in vigore nell'immediato dopoguerra che regolano alcuni aspetti della progettazione e dell'esercizio degli sbarramenti. Le riflessioni in merito alla sicurezza antropica delle dighe sono naturalmente state rispolverate a seguito dei recenti eventi terroristici. Nell'ambito di un progetto di risanamento di una diga a volte multiple sottili in Francia, è in fase di studio la proposta di aumentarne lo spessore con lo scopo di rendere più difficili eventuali azioni terroristiche. Impatti antropici importanti possono anche essere dovuti alla costruzione di opere del genio civile in prossimità della diga.

Un caso tipico ormai classico è quello della diga ad arco di Zeuzier (Svizzera) (Fig. 5). Nel 1978 lo scavo di un cunicolo di esplorazione, posto a 400 metri sotto il fondovalle e a 1.5 km di distanza, ha causato un abbassamento della falda freatica ed un conseguente assestamento della zona di fondazione dell'opera di quasi 14 cm. In sé questo assestamento non avrebbe avuto conseguenze gravi se non fosse stato accompagnato da un restringimento della valle di circa 7 cm causa invece di ingenti danni all'opera in calcestruzzo. Le fessure con apertura fino a 1.5 cm sono state sigillate con iniezioni di resine epossidiche. Tale intervento si è potuto tuttavia mettere in atto solo all'avvenuta registrazione della fine degli assestamenti. La totale ed incondizionata rimessa in esercizio della diga è potuta avvenire solo 10 anni dopo l'evento. A 30 anni di distanza dall'evento si continuano comunque a registrare movimenti dell'ordine di un decimo di millimetro l'anno.

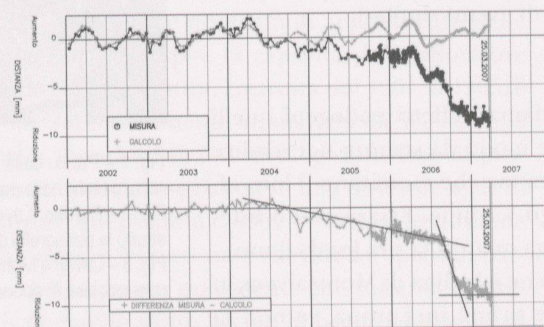
Un caso per certi aspetti simile si presenta attualmente per la diga di Nalps situata a circa 1400 m sopra la galleria ferroviaria di base del San Gottardo in corso di costruzione. Il comportamento della diga è stato monitorato con strumentazione specifica ed interpretato con l'uso del sistema MIC (Modello Interpretativo Combinato) risultante dall'ottimizzazione di un modello deterministico per mezzo di un processo di affinamento su base statistica. Fino a metà del 2004 si osservava una perfetta stabilità, ovvero una perfetta concordanza tra misurazione reale e previsione. Da allora fino a metà dell'anno 2006 si è registrato un restringimento della valle medio di circa 0.2 mm al mese imputabile a percolazioni di acqua conseguenti gli scavi (seppur realizzati a vari km di distanza). Nel mese di settembre del 2006 un'entrata improvvisa di acqua nella galleria in prossimità della diga (dell'ordine di una decina di litri al secondo) causò un rapido restringimento della valle di ben 6 mm in



4



5



6

Fig. 4 - Fessure di vario tipo sul paramento di valle della diga di Serra (Svizzera)

Fig. 5 - Zeuzier: profilo geologico nell'asse della diga di Zeuzier con cunicolo di esplorazione del Rawil in vista di una progettata galleria stradale

Fig. 6 - Diga di Nalps: restringimento della valle a livello del coronamento dovuto al drenaggio causato dalla galleria ferroviaria

soli 3 mesi. Una mirata e puntuale campagna di iniezioni realizzate nella galleria ha però rallentato notevolmente l'assestamento stabilizzandolo nell'ordine dei 9 mm (marzo 2007). Tale evento ha dato seguito a dettagliati studi e le numerose misure geodetiche effettuate in varie sezioni della valle hanno permesso di evidenziare e spiegare perfettamente il fenomeno naturale conosciuto come «respiro dei fianchi», che interpreta il processo della variazione stagionale della larghezza degli intagli vallivi (Fig. 6).

Nuove esigenze

L'«invecchiamento» di una diga è certamente di natura fisica ma anche a volte determinata da sopravvenute esigenze amministrative come ad esempio nuove e più restrittive misure di sicurezza.

Ne conseguono continui aggiornamenti alle normative relazionate alle condizioni idrologiche, sismologiche e di tecnologia dei materiali. Anche un'analisi più dettagliata delle opere porta a nuovi e continui sviluppi progettuali. Possiamo ad esempio riportare il recente interessamento al comportamento tridimensionale delle dighe a gravità, aspetto assai serio che coinvolge le opere siano esse in calcestruzzo massiccio, alleggerite, a speroni o perfino in materiale sciolto. L'analisi tridimensionale porta a dei coefficienti di sicurezza reali di gran lunga inferiori a quelli calcolati facendo ricorso ai classici metodi bidimensionali. Tenuto conto del notevole parco di opere esistenti non risulta sempre facile, sia dal lato tecnico che su quello economico, adeguare le dighe in esercizio alle nuove esigenze di sicurezza nonché di esercizio.

Disposizioni di progetto non adeguate

Non sempre il motivo degli interventi di risanamento va ricercato nell'approfondimento dell'analisi o in una evoluzione della tecnica costruttiva. Spesse volte ci si trova davanti a disposizioni di progetto e di costruzione non adeguate o perlomeno non ottimali. Alcuni casi tipici ricorrenti sono i seguenti:

- schermo di iniezione realizzato con miscele cementizie non stabili e dunque facilmente lavabili;
- composizione del calcestruzzo non adeguata a resistere al gelo o alle acque aggressive;
- insufficiente esame dell'eventuale reattività degli inerti in presenza degli alcali del cemento con conseguente rischio di rigonfiamento del calcestruzzo;
- inadeguate disposizioni per l'iniezione dei giunti di contrazione nelle dighe ad arco;
- poca attenzione prestata al rischio di erosione della fondazione.

Anche senza menzionare casi più particolari, questo elenco non vuole in alcun modo suonare critico nei confronti del progettista delle opere in quanto si tratta spesso di fenomeni del tutto insospettiti al momento della progettazione. Il lunghissimo tempo che intercorre tra la costruzione dell'opera e il manifestarsi del rigonfiamento del calcestruzzo è, ad esempio, la spiegazione di come spesso si prenda coscienza del problema con notevole ritardo sulla fase progettuale, rendendo vana qualunque tipo di analisi preliminare. Il fenomeno del rigonfiamento si è peraltro fatto più attuale anche a seguito di una maggior compattazione del calcestruzzo per mezzo di vibrazione.

Monitoraggio

Tutti i casi qui sopra riportati dimostrano la necessità di un monitoraggio puntuale e continuo dell'opera ed una interpretazione «in tempo reale» dei suoi risultati. Perché questo sia fattibile la strumentazione installata deve essere perfettamente attendibile. Gli strumenti, peraltro molto sensibili, devono poter essere facilmente sostituiti in ogni istante senza che questo sia causa di una perdita nella continuità dei rilevamenti. La «memoria» della diga risulta essere tra le prime informazioni base per un continuo miglioramento nella progettazione. La strumentazione deve inoltre essere tale da poter indicare e registrare qualunque tipo di evento, da quelli di brevissima durata come i sismi a quelli di lentissima evoluzione come il più volte citato rigonfiamento.

Nel caso di un comportamento anomalo della diga, o anche solo di incertezza nel monitoraggio, vengono ad imporsi restrizioni di esercizio che vanno dalla limitazione dell'invaso (in attesa di adeguate misure di risanamento) fino ad arrivare, nei casi estremi, alla messa fuori servizio dell'impianto. Ne conseguono importanti perdite di esercizio con un relativo minor valore dell'opera stessa. Questa eventualità giustifica pienamente il certosino lavoro del monitoraggio atto a mettere in evidenza con la massima sollecitudine possibili deviazioni nel comportamento della diga.

Conclusione

La conservazione a lungo termine delle dighe si scosta in maniera sensibile da quella di altre infrastrutture del genio civile. Una volta costruita, la diga va seguita nella sua evoluzione per tutta la sua vita, predisponendo a tempo qualunque tipo di intervento necessario alla sua conservabilità e ad una sua efficiente operabilità. L'esperienza in questo tema si dimostra essere il miglior maestro, aiutando ad evitare già in fase di progettazione, gli errori che, senza presunzione alcuna, sono stati qui sopra riportati. Occorre saper evitare con fermezza facili incertezze e avere un adeguato sangue freddo nell'interpretare i comuni «falsi allarmi» imputabili al delicato sistema di monitoraggio.

* Ingegnere civile presso la Lombardi SA Ingegneri Consulenti

