

TECNICHE MODERNE PER STRUTTURE ANTICHE

Autori: Ing. Franco Robotti, Ing. Ivan Cottone – AGISCO srl



Fig. 1 Diga Poiree – Trezzo sull'Adda

In passato le dighe furono prevalentemente edificate per rispondere all'esigenza di deviare il corso di un fiume e lasciare il posto alla nascita di città o per l'irrigazione di terreni improduttivi. Mentre la creazione delle prime dighe si può far risalire a qualche millennio a.C., le esigenze di controllare uno sbarramento per la sicurezza delle popolazioni limitrofe risale solo ad un centinaio di anni fa. I primi strumenti di misura, di ovvia natura meccanica, venivano impiegati per misurare le distanze, le quote e gli angoli.

Tra i primi e più antichi strumenti di misura ricordiamo il *quadrato geometrico* che si ritiene risalga a 100 anni a.C. ed era impiegato per la misura degli angoli (*vedi figura 2*); di semplice manifattura; era costituito da quattro aste a telaio o da una tavoletta quadrata e una riga disposta secondo una diagonale e girevole su di un vertice. Il *quadrato geometrico* potrebbe essere considerato uno dei primi casi di misurazione della collimazione.

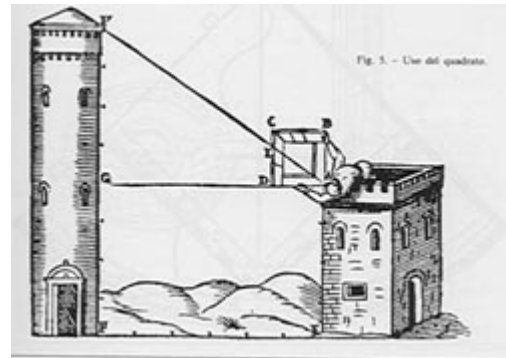
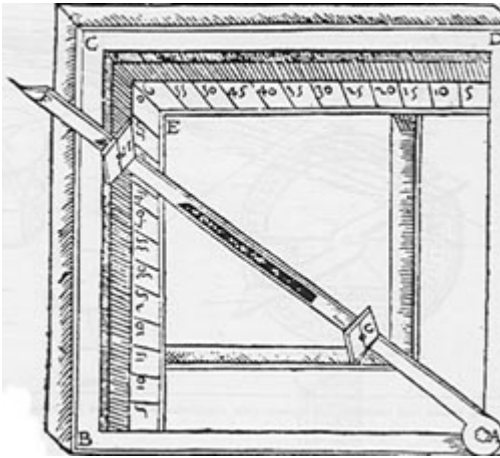


Fig.1 Quadrato geometrico e suo uso

Il monitoraggio inteso in senso moderno risale agli anni 30'- 40' del secolo scorso e ciò è strettamente legato all'avvento prima dell'elettrotecnica e poi dell'elettronica. Tra i primi pionieri della materia ricordiamo Roy Carlson, americano, che intorno al 1930 misurò la deformazione di punti ubicati nel calcestruzzo di una diga impiegando uno strumento che sfruttava il principio di funzionamento del ponte di Wheatstone. Negli stessi anni André Coyne, francese, brevettò un sensore a corda vibrante e 17 estensimetri funzionanti a corda vibrante furono installati in una diga ad arco.

Gli strumenti di misura sono in continua evoluzione e quelli impiegati oggi lontanamente ricordano quelli di inizio secolo; l'utilizzo di materiali e le differenti possibilità di impiego hanno portato a vantaggi di costi, durata delle apparecchiature e accuratezza delle misurazioni. Basti pensare all'impiego dei circuiti integrati, alla nascita dei microprocessori e alla fibra ottica per l'acquisizione e la trasmissione dei dati. L'avvento dell'informatica e delle telecomunicazioni hanno contribuito ulteriormente a far evolvere le tecniche di monitoraggio in particolare per quanto concerne le fasi di acquisizione, trasmissione, elaborazione e conservazione dati.

Al giorno d'oggi si assiste ad una specie di corsa a chi riesce ad impiegare, nell'ambito del monitoraggio, l'ultima innovazione tecnologica disponibile e di saper realizzare sistemi di

controllo di tipo molto sofisticato. Occorre fare molta attenzione a cosa viene proposto poiché ogni nuova tecnica o metodologia di misura richiede lunghi tempi di sperimentazione, di messa a punto prima di essere dichiarata affidabile; ciò non è cosa da tutti. In un mondo dove la tecnologia ha raggiunto livelli così spinti, (come esempio si pensi ai telefoni cellulari le cui potenzialità sembrano non avere limiti) conviene sempre utilizzare tecnologie consolidate e soprattutto rivolgersi ad operatori seri e conosciuti. Il rischio che si corre è quello di accorgersi, solamente durante o anche molto dopo i lavori, che quanto è stato installato è di scadente qualità come i risultati che ne conseguono.

Uno dei principali obiettivi del monitoraggio è quello di fornire dati affidabili e veritieri in modo da garantire una sorveglianza continua ed efficace delle opere in generale e delle dighe in particolare. Per le dighe, contrariamente a quanto avviene per le altre opere, una buona parte della strumentazione installata è indispensabile per l'esercizio della stessa. In assenza di risultati affidabili si è costretti a limitarne il funzionamento con comprensibili problemi e danni economici. Perciò le dighe sono considerate un ottimo banco di prova per la strumentazione e forniscono sicure indicazioni sulle tecniche di misura da impiegare.

Le moderne tecniche di misura sono di certo in grado di fornire un aiuto al controllo del buon funzionamento delle dighe in generale e a quelle vecchie o addirittura antiche in particolare.

Al fine di installare strumenti di misura in dighe esistenti è conveniente evitare di eseguire interventi troppo invasivi tenendo anche in conto la particolare struttura delle vecchie dighe. Sono da preferirsi tecniche che siano in grado di fornire informazioni sul comportamento dell'opera nella sua interezza (ad esempio pendoli) piuttosto che misure puntuali che, spesso alterando l'andamento degli sforzi interni, risultano inaffidabili.

Le misurazioni puntuali ottenute per esempio con *barrette estensimetriche* con l'intento di misurare le deformazioni e gli sforzi interni alla struttura forniscono un dato influenzato dalla presenza stessa dello strumento. Nel caso di strutture non omogenee come possono essere quelle antiche il valore fisico-ingegneristico di una tale rilevazione diminuisce ulteriormente in quanto è indicativo solo della struttura in quel punto e non del suo complesso. Si prediligono pertanto informazioni sugli spostamenti, rotazioni e deformazioni considerando la diga nel suo complesso riducendo al massimo lo studio del comportamento di singole parti della struttura.

Qui di seguito vengono elencate, senza la pretesa di essere esaustive, le principali misure che si effettuano sulle dighe.

E' importante tenere ben presente che tutta la strumentazione installata nelle dighe (sensoristica, collegamenti elettrici e apparecchiature elettroniche) debba avere caratteristiche tali da garantire un funzionamento continuo per diversi decenni.

La misura principe è senz'altro quella del livello dell'invaso che viene eseguita in modo manuale, mediante apposita asta idrometrica, ed in modo automatico impiegando tecniche differenti in funzione delle necessità e delle possibilità.

Partendo poi dalla sommità della diga notiamo che sul coronamento è interessante studiare i movimenti monte-valle con uno strumento chiamato *collimatore* di tipo manuale o automatico (generalmente utilizzando sorgenti laser). Il *collimatore* è un apparecchio per la misura dello spostamento relativo di punti lungo una direttrice di allineamento costituita da due punti posti rispettivamente sulle due spalle. Disponendo di un sistema automatico si possono effettuare campionamenti temporali quasi continui ed in particolare durante le ore prossime all'alba, le più propizie per compiere misure ottiche. Esse sono molto utili ad esempio durante gli invasi sperimentali al fine di correlare gli spostamenti con la quota di invaso.

La presenza di giunti di costruzione sulla parte alta della diga o sul coronamento stesso può essere controllata con dei *misuratori di giunto*. L'impiego di *misuratori di giunto mono/tri-assiali* con sensori induttivi fornisce un'acquisizione elettronica degli spostamenti e ha l'enorme vantaggio di non richiedere la compensazione delle misure lungo i tre assi.

I *pendoli diritti*, molto utilizzati per lo studio delle rotazioni del corpo diga (un altro degli strumenti principe per questi tipi di strutture), sfruttano il principio di funzionamento del filo a piombo e possono essere adeguatamente fissati alla struttura anche in tubazioni esterne. Essi sono misurati in modo manuale ed automatico mediante apparecchiature chiamate telecoordinometri che possono fornire anche la misura di tutte e tre le componenti secondo gli assi coordinati.

Le pressioni sotto la diga comunemente chiamate *sottopressioni* vengono registrate mediante i piezometri. In questo caso si tratta di piezometri realizzati in modo particolare al fine di garantire la possibilità di fare manutenzione al filtro e di sostituire lo strumento per la misura automatica prevedendone un impiego per tempi molto lunghi.

Le traslazioni orizzontali del corpo diga rispetto alla fondazione sono misurate con *pendoli rovesci* che, pur basandosi sullo stesso principio di funzionamento di quelli diritti, sono dotati di una vasca con galleggiante per mantenere il filo o l'asta ben tesa. Anche in questo caso le misure sono eseguite in modo manuale o automatico mediante telecoordinometri come i pendoli diritti.

In alcune situazioni si preferiscono impiegare in fondazione *verticali inclinometriche* fisse invece di pendoli rovesci che hanno il vantaggio di lavorare regolarmente anche in fori non perfettamente verticali al contrario dei pendoli che richiedono la realizzazione di fori quasi perfettamente verticali indispensabili per un buon funzionamento dei pendoli. Un software chiamato *Eclipse*, di recente realizzazione, è in grado di ricostruire la deformata della verticale inclinometrica disponendo anche di pochi punti di misura; grazie ad esso si riescono ad ottenere misurazioni estremamente accurate paragonabili a quelle di un pendolo rovescio.

Le deformazioni che interessano la roccia sottostante il basamento e le spalle della diga vengono controllate con *estensimetri a base lunga (rockmeters)*, i quali, a seconda del numero di punti di misura, possono avere una testa da una a sei basi. Le misure che si ottengono con questi strumenti sono di grande precisione pari a qualche centesimo di millimetro.

Da ultimo, non perché siano meno importanti, anzi è esattamente l'opposto, le perdite (o le infiltrazioni) sono sicuramente l'informazione essenziale che serve per conoscere lo stato di salute generale dello sbarramento; ciò viene fatto mediante misuratori di portata del tipo a stramazzo, a contatore o impiegando altre metodologie di misura applicate ai condotti utilizzati per la loro evacuazione.

Normalmente si cerca di eseguire le misure delle acque incanalate in opportuni punti di raccolta, appositamente predisposti, che siano in grado di separare ed evidenziare le perdite relative alle differenti parti della diga (corpo diga o fondazione, parte destra o sinistra della diga, spalla sinistra o destra, ecc.). La conoscenza delle variazioni delle perdite in funzione dei fenomeni esterni fornisce indicazioni sul comportamento del corpo diga e della sua fondazione.

Un grosso passo in avanti nel monitoraggio delle dighe è coinciso con la crescita della potenza di calcolo degli elaboratori elettronici e quindi della possibilità di sviluppare software sempre più potenti e adatti alle differenti tipologie di dighe.

Agisco ha sviluppato una suite di applicativi software denominata *OverSight* in grado di controllare e gestire ogni singolo aspetto della diga.

All'interno della suite il più importante degli applicativi è *OverDam* sviluppato per occuparsi della raccolta e della gestione dei dati provenienti da tutti gli strumenti e per il controllo dello stato di funzionamento delle apparecchiature.

Le sue principali funzioni sono:

- gestire le apparecchiature periferiche
- acquisire i dati
- filtrare e convalidare le misure
- controllare lo stato delle paratoie e le portate degli scarichi
- costituire le differenti banche dati necessarie alla gestione delle misure
- funzionare da sistema di backup per garantire la sopravvivenza delle informazioni contro le principali fonti di avaria che possano colpire le varie parti del sistema
- inviare, in tempo reale, messaggi e file contenenti informazioni predefinite
- aiutare i gestori nella manutenzione del sistema permettendo di diagrammare tutte le grandezze in modo semplice ed intuitivo
- costituire un registro delle attività di manutenzione
- costituire un registro (obbligatorio) delle manovre effettuate agli scarichi.

Attorno ad esso ruotano una serie di altri applicativi che completano il panorama del controllo e della gestione di uno sbarramento.

OverFlood è un altro applicativo della suite nato per rispondere all'esigenza di simulare la regolazione degli scarichi e di verificarne in anticipo l'efficacia.

OverFlood è costituito da tre sotto programmi:

- CCP – Centro Controllo Piene
- CLP – Centro Laminazione Piene
- FloodMan

CCP è un programma in grado di calcolare le piene in arrivo allo sbarramento in base ai dati pluviometrici acquisiti da stazioni posizionate nel bacino. Mediante l'impiego di modelli idraulici del bacino stesso si ottiene l'idrogramma di piena allo sbarramento.

CLP è un programma che permette di simulare le configurazioni degli scarichi nel tempo ed i loro effetti verificandone istantaneamente l'efficacia e memorizzando le configurazioni più verosimili.

In base alla tipologia programmata di scarichi da utilizzare e all'apertura degli stessi è possibile ottenere la previsione dell'onda di piena laminata. Con differenti gradi di apertura degli scarichi nel tempo si otterranno curve di laminazione differenti; tale esercizio aiuta il gestore a decidere come meglio agire per laminare una piena in arrivo.

FloodMan è uno strumento realizzato per simulare la laminazione di un'onda di piena fittizia agendo sempre sull'apertura degli scarichi nel tempo. Esso rappresenta un utile esercizio per l'operatore ma non tiene conto della reale situazione delle piogge e del bacino. La simulazione riguarda onde di piena teoriche e le manovre eseguite sugli scarichi vengono salvate, insieme con i loro risultati, per consultazioni e confronti successivi.

Contemporaneamente un certo numero di informazioni vengono inviate automaticamente ai Servizi di Controllo per allertare sulla possibile onda di piena.

Al giorno d'oggi le linee di trasmissione dati sono sempre più spesso del tipo ad alta velocità (ADSL, fibra ottica), e ciò ha permesso di sviluppare un programma che effettua un collegamento al sistema installato in ogni diga in modo da permetterne la gestione a distanza (ovunque sia disponibile una connessione alla rete Internet) prelevando dati ed inviando i comandi voluti.

Si è altresì approfittato di queste favorevoli condizioni per sviluppare un altro applicativo che provvede ad integrare i dati provenienti da una o più webcam dislocate nell'area della diga con l'applicativo *OverDam*. Infatti l'occhio umano ha rappresentato per un lunghissimo passato l'unica forma di monitoraggio e controllo delle dighe; oggi, analogamente è infatti

possibile impiegare webcam e sfruttare l'applicazione *OverCam* per integrare le immagini acquisite con il resto dei dati provenienti dagli strumenti.

Il controllo con telecamere è uno strumento efficace per avere una visione generale del comportamento di una diga. Dislocate in punti strategici come gli accessi allo sbarramento, presso gli strumenti di misura, in corrispondenza degli scarichi od ovunque si desidera, svolgono autonomamente il ruolo di sensor e motion detection liberando l'uomo dall'incombenza di presiedere costantemente il sito.

Bibliografia

Guidelines for Instrumentation and Measurements for Monitoring Dam Performance – ASCE (American Society of Civil Engineers)