

**COMITATO NAZIONALE ITALIANO
PER LE GRANDI DIGHE**

**Tecniche e realizzazioni italiane
per il monitoraggio delle dighe
e delle loro fondazioni**



INDICE

PREFAZIONE

| | |
|---|---------|
| 1. Le condizioni di sicurezza di uno sbarramento | pag. 7 |
| 2. Grandezze fisiche da controllare | pag. 9 |
| 3. Sistemi di misura | pag. 10 |
| 4. Sistema di misura per la sorveglianza sismica | pag. 14 |
| 5. Frequenza delle misure | pag. 16 |
| 6. Automazione del sistema di misura | pag. 17 |
| 7. Analisi dei risultati | pag. 19 |
| 8. Sbarramenti in esercizio privi di un sufficiente sistema di monitoraggio | pag. 21 |
| 9. Controlli non ripetitivi | pag. 22 |
| 10. Nuova strumentazione | pag. 24 |
| 11. Normativa vigente in Italia ed eventuale aggiornamento della regolamentazione | pag. 25 |
| 12.1 Diga di Alpe Gera | pag. 28 |
| 12.2 Diga del Piano Barbellino | pag. 31 |
| 12.3 Diga del Passante | pag. 35 |
| 12.4 Diga di Vagli | pag. 39 |
| 12.5 Diga della Fedaia | pag. 44 |
| 12.6 Diga di Corbara | pag. 47 |
| 12.7 Diga di Cancano | pag. 50 |
| 12.8 Diga di Chiotas | pag. 56 |
| 12.9 Diga di Ridracoli | pag. 63 |
| 12.10 Diga di Santa Giustina | pag. 69 |
| 12.11 Diga di Masseria Nicodemo | pag. 73 |
| 12.12 Diga di Presenzano | pag. 77 |

Rapporto redatto a cura del Gruppo di Lavoro per il Monitoraggio delle Dighe e delle loro Fondazioni, così composto:

Coordinatore: Prof. Alfredo Marazio

Membri:

| | |
|----------------------------------|-----------------------|
| Ing. Paolo BONALDI | ISMES |
| Prof. Giovanni CALABRESI | Università di Roma |
| Prof. Mariano CUNIETTI | Politecnico di Milano |
| Prof. Michele FANELLI | ENEL |
| Ing. Enzo GARBUGLIO | SELM |
| Ing. Gabriella GIUSEPPETTI | ENEL |
| Ing. Francesco LIONETTI | AEM |
| Prof. Corrado MAZZON | Consulente |
| Prof. Renato RIBACCHI | Università di Roma |
| Ing. Marco RUGEN | Ministero del LL.PP. |
| Ing. Francesco RUSSO | ENEL |
| Ing. Tito SILVESTRI | ENEL |
| Ing. Carlo TORRI TARELLI | ENEL |
| Ing. Giovanni VALLINO | ENEL |

PREFAZIONE

Durante la cinquantesima riunione esecutiva del 1982 dell'ICOLD a Rio de Janeiro è stato costituito un Comitato Internazionale per il «Monitoraggio delle dighe e delle loro fondazioni» affidando al sottoscritto il compito di presiederlo. Oltre all'Italia quindi sono in esso rappresentate le seguenti nazioni: Australia, Austria, Francia, Jugoslavia, Giappone, Nigeria, Norvegia, Portogallo, Spagna, Stati Uniti, Sud Africa e Svizzera.

Al Comitato sono stati assegnati i seguenti compiti:

- *Aggiornare e fondere in un unico bollettino ICOLD i bollettini 21 e 23 le cui copie sono ormai in via di esaurimento.*
- *Inventariare i metodi di sorveglianza, illustrare le esperienze acquisite, presentare le nuove apparecchiature.*
- *Illustrare i metodi di sorveglianza continua ed i relativi metodi di elaborazione ed interpretazione dei dati.*
- *Descrivere i metodi di monitoraggio sismico delle dighe.*
- *Illustrare le possibilità di automazione della sorveglianza.*
- *Studiare i problemi riguardanti i casi particolari delle dighe vecchie.*

Sempre nell'ambito del Comitato Internazionale, dopo alcune riunioni, si è deciso che per quanto riguarda il primo punto, cioè l'aggiornamento e la ristampa dei Bollettini 21 e 23, dato che tali rapporti sono stati da tutti giudicati ancora estremamente validi ed interessanti nelle loro linee generali e nei principi informativi enunciati alla base di una corretta sorveglianza, è opportuno dedicare ad essi una semplice revisione. Per tutti i restanti temi si è convenuto che ciascun Paese membro preparasse un rapporto sullo stato dell'arte della sorveglianza delle dighe presso il proprio Paese. Tutti questi rapporti verranno poi raccolti, dopo averli resi quanto più possibile omogenei, in un ulteriore Bollettino.

A questo scopo, nell'intento di fornire un contributo Italiano quanto più fattivo e rappresentativo della realtà del nostro Paese, ho costituito un gruppo di lavoro i cui membri sono professionisti di lunga e provata esperienza nel campo delle dighe.

Con il lavoro assiduo di circa tre anni di questo gruppo è stato realizzato il contributo italiano, già presentato in bozza al Comitato Internazionale ed ora in via di stesura definitiva. Ma questo sforzo mi è parso poter essere di una qualche utilità anche all'interno del nostro Paese ed è appunto in questo spirito che è stata approntata una versione leggermente estesa, oltre che in lingua italiana, da pubblicare nell'ambito del ICOLD nazionale.

Nel presente documento si è messa particolarmente in luce la attuale filosofia italiana per il controllo degli sbarramenti che, condensata in maniera forse un po' troppo drastica, può essere qui riassunta nelle seguenti considerazioni:

- *un più corretto, oggettivo e razionale controllo si deve basare sul confronto tra dati misurati e dati previsti a mezzo di un modello di simulazione dell'opera;*
- *l'uso di acquisizione automatica consente di:*
 - a) *avere dati di misura più affidabili, omogenei, frequenti quanto si vuole;*
 - b) *effettuare una prima validazione dei dati e tutta una serie di autotest per l'accertamento del corretto funzionamento dei sensori e del sistema tutto;*
 - c) *poter realizzare un controllo continuo, in linea, in tempo reale;*
 - d) *disporre di tutti i dati acquisiti già su supporto adatto alle successive elaborazioni automatiche;*
 - e) *concentrare la maggior parte dell'attenzione del Gestore verso quei casi in cui si evidenzia un comportamento «anomalo» dell'opera, disponendo comunque di una mole di dati ben più ampia ed affidabile;*

- *il problema della guardiania continua va riaffrontato, avendo ora a disposizione soluzioni che al limite ne permetterebbero una sua eliminazione;*
- *l'ispezione a vista è irrinunciabile, ma dovrebbe però essere programmata in tempi e con modalità più opportune ed essere effettuata da tecnici esperti.*

È infatti comunque al tecnico responsabile che spetta il giudizio decisivo sulla sicurezza dell'opera, sulla opportunità e modalità degli eventuali interventi e, se del caso, sui rimedi da attuare.

Nel rapporto sono inoltre elencate le grandezze significative da tenere sotto controllo, le frequenze, i sensori relativi, ecc.

Particolare rilievo è stato dato al monitoraggio sismico e microsismico, ai sistemi di misura relativi, al tipo e posizione dei sensori più adatti.

Sono stati considerati i problemi delle dighe vecchie, è stata illustrata la proposta di eseguire su di esse con cadenza di circa 10 anni un check-up completo ed esauriente con il quale poter seguire l'eventuale degrado dell'opera.

Infine si sono brevemente elencati quali sono i nuovi (o più recenti) sistemi di misura oggi adottati in Italia e quale è nel nostro Paese la normativa vigente.

Il tutto è stato completato con 12 esempi reali di strumentazione aggiornata su altrettante dighe di diversa tipologia.

Ben consapevole che in queste pagine non sia rappresentata tutta e perfettamente la realtà italiana, sono però totalmente fiducioso che, al lettore attento, questo documento possa fornire spunti di riflessione per poter compiere un passo in avanti nella difficile e complessa materia del monitoraggio delle dighe allo scopo ultimo di aggiungere con ciò un altro contributo alla sicurezza di queste strutture.

ALFREDO MARAZIO
Chairman del Comitato Internazionale
sul Monitoraggio delle dighe e delle loro fondazioni

* Desidero vivamente ringraziare tutti i partecipanti al gruppo di lavoro per la loro fattiva collaborazione ed in particolare, anche a nome del Comitato ICOLD nazionale, l'Ing. G. Giuseppetti dell'ENEL-CRIS e l'Ing. P. Bonaldi dell'ISMES che hanno assiduamente lavorato per la realizzazione del presente rapporto.

1. LE CONDIZIONI DI SICUREZZA DI UNO SBARRAMENTO

Le dighe si collocano tra le opere di ingegneria che hanno un alto potenziale di pericolosità, pertanto la necessità di un continuo controllo del loro comportamento, durante l'esercizio, è universalmente riconosciuta ed accettata in tutti i Paesi.

Il grande progresso compiuto negli anni recenti dagli strumenti di misura e dai sistemi di trasmissione ed elaborazione dei dati, per quanto attiene alla affidabilità e precisione delle misure ed alla velocità di acquisizione, registrazione, confronto, valutazione e trasferimento a grandi distanze delle osservazioni, rende necessario il riesame, non soltanto dei metodi attuali di controllo delle dighe, ma anche dell'intera filosofia del controllo, al fine di utilizzare pienamente il progresso tecnologico per la riduzione del grado di rischio delle dighe già in esercizio, come di quelle di futura costruzione.

Il concetto di rischio e quello complementare di sicurezza possono definirsi in maniera diversa ed hanno conseguentemente implicazioni differenti sia sul piano economico che sociale. Comunque la loro definizione in termini precisi ed analitici non è strettamente necessaria per stabilire corretti criteri di controllo per le opere di sbarramento. Infatti il sistema di controllo, tanto in fase di costruzione che in fase di esercizio, deve accertare che l'opera si comporti secondo le previsioni progettuali. Fintanto che ciò si verifica l'opera ha il grado di sicurezza definito dal progettista ed approvato dai competenti organi di supervisione al momento della progettazione. Qualora in fase di costruzione o di esercizio si manifesti uno scostamento significativo dal comportamento previsto all'atto della progettazione, è compito del sistema di controllo evidenziare il fenomeno e correlarlo con tutte le grandezze che possono avere influenza sul comportamento della diga.

In tal caso, la diga dovrà essere verificata nuovamente nel suo complesso ed eventualmente riprogettata.

In definitiva è opportuno che venga sempre demandato ad un momento progettuale il compito di stabilire il grado di sicurezza e di rischio di una diga. Affinché la funzione di controllo possa esplicarsi senza la necessità di una soggettiva analisi della sicurezza della diga in fase di esercizio, è necessario che in fase progettuale sia definito il «modello di riferimento», in particolare siano stabilite le grandezze da tenere in osservazione e il campo delle loro variazioni. Le grandezze controllate comprenderanno tanto quelle direttamente legate alla struttura e all'opera generale, quanto quelle che definiscono le condizioni ambientali e quelle di esercizio.

Per le opere realizzate da tempo, i cui progetti non hanno seguito i criteri sopra esposti, il controllo in esercizio non può riferirsi ad un modello definito in fase progettuale. Per queste opere, mentre è certamente possibile ed opportuna una verifica o una nuova progettazione, è comunque applicabile un criterio di controllo «a posteriori», fondato sull'analisi delle osservazioni sul comportamento dell'opera e sulla loro valutazione globale in termini statistici.

1.1 Criteri di controllo

Si sono così delineati due criteri fondamentali, alternativi o complementari, per il controllo del comportamento della diga, applicabili tanto alle opere in progetto quanto a quelle da tempo realizzate ed in esercizio.

Il primo consiste nel confronto del comportamento della diga con le previsioni del suo modello analitico, definito nel progetto. Il confronto si effettua tramite l'analisi di un insieme di grandezze fisiche che descrivono il comportamento effettivo dell'opera, delle quali sia possibile ottenere dal modello i valori previsti e gli scostamenti ammissibili, in relazione alle corrispondenti condizioni di esercizio. Si rende pertanto necessario il rilievo sia delle grandezze che meglio caratterizzano il comportamento dell'opera, sia di quelle che descrivono le condizioni esterne da inserire nel modello per ricavare i termini di confronto con le osservazioni.

Il secondo criterio consiste nel confronto puramente statistico delle misure di un insieme di grandezze significative con i valori corrispondenti rilevati in tutta la vita dell'opera. Si deve cioè verificare che tanto le variabili che individuano il comportamento dell'opera, quanto quelle che riguardano le condizioni ambientali e di esercizio, rientrino nel campo di valori rilevati precedentemente e siano tra loro congruenti. Questo criterio di controllo può comunque avvicinarsi sensibilmente al precedente, sia sul piano concettuale che applicativo, quando l'insieme delle grandezze rilevate è tanto ampio e temporalmente esteso da permettere la ricostruzione di un modello empirico del comportamento dell'opera.

Il criterio statistico viene gradualmente ad aumentare di peso ed efficienza con il procedere della vita dell'opera e permette comunque di verificare sperimentalmente il modello progettuale ed i parametri che lo definiscono.

I criteri di controllo indicati sono allo stato attuale applicabili ed effettivamente validi, e costituiscono in Italia uno strumento rigoroso ed obiettivo di valutazione della sicurezza delle dighe, di cui va raccomandata l'utilizzazione per qualunque tipo di opera.

1.2 Analisi del rischio

Prima ancora di procedere alla definizione del modello, cui fare riferimento per il controllo della sicurezza, è indispensabile individuare quei fattori di rischio che potrebbero mettere in crisi l'opera o quanto meno comprometterne la funzionalità ai fini operativi.

Occorre tener conto innanzitutto che mentre alcuni di essi sono intrinseci all'opera stessa (concepita beninteso come un tutto unico con le sue fondazioni), altri invece possono risultare del tutto indipendenti da essa e provenire da eventi fisici esterni, legati all'ambiente naturale in cui essa è inserita.

Fra questi ultimi possono ritenersi tipici di una situazione ambientale come quella italiana:

- gli eventi sismici;
- gli eventi idrologici e meteorologici aventi carattere di eccezionalità;
- i dissesti del suolo nel bacino di dominio a monte, o all'interno dell'invaso, aventi origini e cause proprie, e non conseguenti agli altri eventi prima citati.

Per quanto riguarda i fattori di rischio intrinseci occorre osservare che in generale essi si manifestano con anomalie di comportamento dell'opera o delle sue fondazioni, rispetto al «modello di riferimento», quali ad esempio:

- anomalie che pregiudicano l'integrità stessa dell'opera riflettendosi negativamente sulla sua funzionalità statica e/o idraulica;
- degradamento diffuso delle caratteristiche di resistenza o di tenuta dei materiali costituenti lo sbarramento e dei terreni di fondazione;
- anomalie nel comportamento deformativo dello sbarramento o del terreno di fondazione;
- anomalie nell'entità e distribuzione delle sottopressioni o delle pressioni interstiziali.

I fattori di rischio sopra elencati sono potenzialmente presenti in ogni opera, ma alcuni di essi possono talvolta assumere un preminente rilievo.

È compito del progettista, od in genere di chi mette a punto il «modello di riferimento», individuare i fattori di rischio specifici dell'opera e procedere ad una valutazione del «grado (o probabilità) di rischio» cui l'opera stessa è esposta in un determinato momento della sua vita.

È intuitivo che tale grado di rischio dipenda sia dalle condizioni ambientali che dal tipo, dimensioni, destinazione ed età dello sbarramento, nonché dal dimensionamento ed affidabilità dei suoi organi di scarico.

1.3 Requisiti dei sistemi di controllo

Indipendentemente dai criteri seguiti, la struttura del sistema di controllo, le metodologie di rilevamento ed elaborazione dei dati devono rispondere a certi requisiti essenziali ed avere le caratteristiche di razionalità e funzionalità che si sono rese attualmente disponibili, in conseguenza dello sviluppo raggiunto dalle apparecchiature di misura e dai mezzi di trasmissione e trattamento delle informazioni.

- Requisito preliminare del sistema di controllo è la congruenza tra rapidità e frequenza delle osservazioni e velocità di evoluzione dei fenomeni che si vuole rilevare. A questo riguardo, la sostituzione delle procedure manuali di acquisizione dei dati con quelle automatiche e dei sistemi meccanici e grafici di registrazione con quelli elettronici, numerici, permette di seguire l'evoluzione di fenomeni estremamente rapidi (come quelli sismici) e dei loro effetti.
- Caratteristica essenziale del sistema di controllo è anche quella di tener conto contemporaneamente e globalmente di tutti i processi di analisi e confronto delle osservazioni. Il controllo deve, infatti, fondarsi sull'intero insieme di grandezze rilevate, la cui compatibilità può essere accertata a priori, e non su singole variabili o gruppi di esse.

- Un'ulteriore caratteristica, attualmente conseguibile, è il contenimento entro valori minimi, praticamente nulli, del tempo che intercorre tra l'esecuzione delle misure e il completamento dei processi di elaborazione ed analisi.

L'attivazione di un sistema di controllo automatico, secondo uno dei criteri prima esposti, permette quindi di terminare la procedura di controllo in un intervallo di tempo trascurabile, eliminando in pratica una delle più forti limitazioni intrinseche dei processi di controllo basati su osservazioni del comportamento reale e sulla loro analisi a posteriori.

2. GRANDEZZE FISICHE DA CONTROLLARE

La diga durante tutta la sua vita è, come è già stato accennato, sottoposta alle variazioni dell'ambiente che la circonda e ad esse risponde congruentemente alle sue caratteristiche.

Nell'osservare quindi il comportamento di una diga vengono rilevate delle grandezze distinte secondo:

- grandezze causa o ambientali (che con le loro variazioni inducono cambiamenti nella struttura);
- grandezze effetto (che sono la risposta della struttura alle variazioni delle grandezze causa).

Le principali grandezze causa che agiscono sull'opera sono:

- invaso;
- temperatura aria, acqua e calcestruzzo;
- precipitazioni (pioggia e neve);
- condizioni atmosferiche (umidità, pressione, vento);
- spessore del ghiaccio;
- batimetria del bacino;
- eventi sismici;
- portata di piena;
- movimenti indipendenti della fondazione e delle sponde.

Mentre le principali grandezze effetto sono:

- sforzi e tensioni interne;
- deformazioni locali;
- spostamenti orizzontali e verticali (assoluti e relativi);
- rotazioni;
- movimenti giunti e fessure;
- perdite e loro torbidità;
- sottopressioni e pressioni interstiziali;
- modifica delle caratteristiche fisico-meccaniche dei materiali.

Sia le grandezze causa che le grandezze effetto subiscono variazioni continue nel tempo e tali variazioni debbono essere misurate allo scopo ultimo di valutarne le mutue correlazioni associabili a modalità di risposta della struttura. Poiché tali misure vanno ripetute sistematicamente per un numero elevato di volte durante la vita dell'opera, l'unica soluzione praticabile è quella di dotare l'opera stessa di installazioni di misura permanenti dedicate specificamente alla sorveglianza.

Le installazioni di misura, ora citate, richiederebbero una lunga elencazione ed una descrizione degli strumenti, delle procedure operative e delle rispettive prestazioni al fine del monitoraggio. Affidiamo questa informazione, anziché ad un elenco che può risultare poco espressivo, agli esempi di dighe strumentate per il monitoraggio nei quali il singolo strumento mostra, tramite la collocazione nel corpo della diga o delle fondazioni, il suo uso specifico e le condizioni operative all'interno delle quali deve operare.

3. SISTEMI DI MISURA

Un sistema di misura per il controllo, statico o sismico, di una diga e della relativa fondazione è l'insieme coordinato di più strumenti e apparecchiature atto a rilevare le grandezze fisiche e a trasformare ed elaborare le informazioni acquisite. Un sistema di misura richiede un riferimento temporale e spaziale unico ed inoltre è subordinato al tipo di diga ed al periodo di vita della diga stessa.

La definizione pratica di un sistema di misura per un determinato insieme diga-fondazione comporta l'analisi e la definizione dei seguenti punti:

- gli elementi che condizionano la sicurezza dell'insieme diga-fondazione;
- le grandezze che, per ogni elemento preso in esame, ne evidenziano il comportamento ai fini della sicurezza;
- gli strumenti da utilizzare per la misura delle grandezze scelte, le modalità di installazione, la precisione ed affidabilità delle misure stesse;
- la densità e la distribuzione degli strumenti all'interno e all'esterno dell'insieme diga-fondazione;
- la frequenza delle osservazioni.

Per le dighe in calcestruzzo gli elementi essenziali ai fini della sicurezza, in misura maggiore o minore in relazione alle diverse tipologie sono:

- la roccia di fondazione;
- la superficie di contatto fra roccia di fondazione e diga;
- la struttura della diga;
- i giunti.

Per le dighe in materiale sciolto l'osservazione va estesa al complesso rilevato-fondazione, evidenziando nel contempo i sottoelencati elementi, essenziali ai fini della sicurezza dell'opera:

- terreno di fondazione;
- zona di contatto fra terreno di fondazione e corpo diga;
- corpo diga;
- strutture di tenuta in fondazione;
- manto impermeabile a monte;
- nucleo impermeabile;
- strutture murarie inserite nel terreno di fondazione o nel corpo diga (cunicoli, organi di scarico, ecc.).
- opere di drenaggio e filtri.

3.1 Requisiti del sistema di misura

L'importanza dei singoli elementi strutturali di una diga e delle relative misure varia in relazione alle diverse fasi di vita dell'opera (costruzione, esercizio provvisorio e collaudo, esercizio normale) ed agli scopi delle misure stesse (sicurezza, fuori servizio, conoscenza).

- Durante la costruzione e il collaudo i controlli rispondono ad uno scopo di sicurezza immediata, evidenziando il reale comportamento complessivo dell'insieme diga-fondazione determinato da fattori complessi e non sempre ben noti in fase di progetto. Essi costituiscono la prima verifica del progetto e consentono, se necessario, di apportare nel corso dei lavori modifiche sia al progetto stesso che alle modalità realizzative.
- Durante l'esercizio i controlli forniscono elementi utili ad individuare il comportamento dell'opera sia nel suo insieme che nei punti di particolare interesse mettendone in evidenza l'evoluzione nel tempo.

È inoltre opportuno prevedere alcune misure per fini di ricerca, orientata a risolvere specifici problemi tecnico-scientifici di portata che spesso va oltre i limiti dell'opera considerata.

Nella realizzazione di un sistema di misura, è opportuno tener presente i sottoelencati concetti ed esigenze:

- un sistema di misura deve essere progettato ed installato da personale esperto;
- le difficoltà ambientali (climatiche, geologiche e sismiche) spesso presenti, si riflettono sulla tipologia degli strumenti, sul numero e sulla frequenza delle letture;
- è opportuno non limitare le installazioni ed osservazioni iniziali, prevedendo la possibilità di successive riduzioni quando siano stati individuati i parametri essenziali da mantenere sotto controllo, te-

nendo conto tra l'altro che gli strumenti incorporati o interrati spesso non sono sostituibili e possono avere vita breve;

- ove possibile, è opportuno realizzare installazioni che consentano l'acquisizione di una stessa grandezza con più strumenti, onde consentire conferme e controlli;
- nel caso di automatizzazione e trasmissione delle misure, è opportuno avere l'alternativa di effettuare misure manuali in loco;
- l'utilizzazione sistematica delle misure geodetiche è attualmente limitata a singoli casi, essendo generalmente preferite misure speditive;
- deve essere sempre prevista una sistematica ispezione a vista a integrazione delle informazioni di qualsiasi sistema di misura.

È opportuno che il sistema di misura sia articolato su più livelli di completezza e approfondimento:

- un livello di massimo dettaglio da riservare alle sezioni più significative per le quali acquisire il maggior numero di informazioni;
- uno o più livelli di minore dettaglio per altre sezioni, in grado di assicurare per confronto con le informazioni fornite dalle sezioni più strumentate, una conoscenza del comportamento d'insieme dell'opera.

3.2 La definizione e la realizzazione del sistema di misura

La definizione e la realizzazione di un sistema di misura dipende dal tipo di diga e dal periodo di vita della diga stessa, nonché dalle dimensioni della diga, dalla capacità dell'invaso e dal rischio umano collegato alla densità abitativa a valle dell'opera.

Le grandezze da misurare non sono che parzialmente le stesse per i diversi tipi di dighe.

La tipologia costruttiva, il materiale usato, le dimensioni, l'età fanno sì che le grandezze coinvolte nella sicurezza delle dighe siano diverse da caso a caso.

Una prima suddivisione può essere quella relativa al materiale impiegato:

- calcestruzzo;
- materiale sciolto.

Per le dighe in calcestruzzo si possono distinguere in base alla tipologia le:

- dighe ad arco;
- dighe a gravità;
- dighe a speroni.

Le dighe in materiale sciolto possono essere raggruppate nelle due seguenti tipologie:

- dighe con impermeabilizzazione a monte;
- dighe con nucleo impermeabile.

Nelle tabelle 1 (a, b, c), per le dighe in calcestruzzo, e nelle tabelle 2 (a, b), per le dighe in terra, vengono riportate in accordo a quanto illustrato al paragrafo 2 le grandezze da misurare.

Per ciascuna grandezza ne viene segnalata l'importanza relativamente alla sicurezza, al fuori servizio e alla conoscenza del comportamento dell'opera nei suoi tre differenti periodi di vita (costruzione, primo invaso e collaudo, esercizio).

Vengono inoltre schematicamente indicati i più comuni strumenti di misura utilizzati.

La definizione di un «sistema standard di misura» è comunque non facile e va adattata ad ogni singola realtà.

DIGHE IN CALCESTRUZZO

TABELLE 1a, b, c

Livello di sicurezza

** Stato di crisi (fino al collasso)

* Fuori servizio (totale o parziale)

0 Conoscenza

GR = Diga a gravità

SP = Diga a speroni

AR = Diga ad arco

| Grandezze da misurare: Ambiente | Costruzione | Esercizio prov. e collaudo | Esercizio | Strumenti |
|------------------------------------|-------------|-------------------------------|-----------|-------------------------------|
| Temperatura dell'aria | * | 0 | 0 | Termometri |
| Precipitazioni nevose e piovose | 0 | 0 | 0 | Pluviometri e nivometri |
| Pressione atmosferica | 0 | 0 | 0 | Barometri |
| Umidità dell'aria | 0 | 0 | 0 | Igrometri |
| Temperatura dell'acqua | — | 0 | 0 | Termometri |
| Livello invaso | — | * | * | Stadia e bilancia idrostatica |
| Spessore del ghiaccio | — | 0 | 0 | |
| Batimetria | — | 0 | * | Sondaggi sonici e radar |

| Grandezze da misurare nel corpo diga | Costruzione | | | 1° Invaso e collaudo | | | Esercizio | | | Strumenti |
|---|-------------|----|----|-------------------------|----|----|-----------|----|----|---|
| | GR | SP | AR | GR | SP | AR | GR | SP | AR | |
| Spostamenti orizzontali | — | — | — | ** | ** | ** | ** | ** | ** | Triangolazioni, collimazioni, pendolo diritto e rovesio |
| Spostamenti verticali | * | * | — | ** | ** | * | * | * | 0 | Livellazione topografica, idrostatica |
| Rotazioni | * | * | — | ** | ** | * | * | * | 0 | Clinometri removibili e fissi |
| Movimenti giunti | 0 | 0 | 0 | * | * | * | 0 | 0 | 0 | Dilatometri, deformometri, estensimetri |
| Movimenti fessure | ** | ** | ** | ** | ** | ** | ** | ** | ** | Dilatometri, deformometri, estensimetri, emissione acustica |
| Temperature calcestruzzo | * | * | * | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | Termometri |
| Deformazioni calcestruzzo | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | Estensimetri |
| Sollecitazioni calcestruzzo | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | Tensiometri |
| Perdite | — | — | — | — | ** | ** | ** | ** | ** | Stramazzi, misure volumetriche o a bilancino |

| Grandezze da misurare in fondazione | Costruzione | | | 1° Invaso e collaudo | | | Esercizio | | | Strumenti |
|--|-------------|----|----|-------------------------|----|----|-----------|----|----|---|
| | GR | SP | AR | GR | SP | AR | GR | SP | AR | |
| Spostamenti orizzontali | — | — | — | ** | ** | ** | ** | ** | ** | Pendoli rovesci, inclinometri |
| Spostamenti verticali | * | * | * | ** | ** | * | * | * | 0 | Livellazione idrostatica o topografica |
| Deformazione della roccia | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | estensimetri |
| Modulo elastico | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | — | — | — | Estensimetri |
| Sollecitazioni | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | — | — | — | Carotaggi sonici, velocità sismica |
| Sottopressioni | — | — | — | ** | ** | * | * | * | 0 | Tensiometri |
| e pressioni interstiziali | — | — | — | ** | ** | ** | ** | ** | ** | Celle di pressione, tubi piezometrici, celle manometriche |
| Perdite | — | — | — | ** | ** | ** | ** | ** | ** | Stramazzi, misure volumetriche o a bilancino |

DIGHE IN TERRA

TABELLE 2a, b

Livello di sicurezza

** Stato di crisi (fino al collasso)

* Fuori servizio (totale o parziale)

O Conoscenza

MN = Manto impermeabile a monte

N = Nucleo impermeabile

| Grandezze da misurare: Ambiente | Costruzione | 1° Invaso e collaudo | Esercizio | Strumenti |
|------------------------------------|-------------|-------------------------|-----------|-------------------------------|
| Temperatura dell'aria | O | O | O | Termometri |
| Precipitazioni nevose e piovose | O | O | O | Pluviometri e nivometri |
| Pressione atmosferica | O | O | O | Barometri |
| Umidità dell'aria | O | O | O | Igrometri |
| Temperatura dell'acqua | — | O | O | Termometri |
| Livello invaso | — | * | * | Stadia e bilancia idrostatica |
| Spessore del ghiaccio | — | O | O | |
| Batimetria | — | O | * | Sondaggi sonici e radar |

| Grandezze da misurare | Costruzione | | 1° Invaso e collaudo | | Esercizio | | Strumenti |
|---|-------------|----|-------------------------|----|-----------|----|---|
| | MM | N | MM | N | MM | N | |
| Spostamenti verticali | ** | ** | ** | ** | * | * | Livellazione topografica, idrostatica assestimetri |
| Spostamenti orizzontali | — | — | ** | ** | * | * | Triangolazioni e collimazioni, pendolo rovescio inclinometri, estensimetri, fili invar |
| Deformazioni | * | * | * | * | O | O | Estensimetri |
| Pressioni totali | O | O | O | O | O | O | Misuratori di pressione, piezometri |
| Pressioni interstiziali nel corpo diga | — | ** | ** | ** | ** | ** | Celle di pressione |
| Pressioni interstiziali e livello di falda in fondazione | ** | ** | ** | ** | * | * | Celle di pressione e tubi piezometrici |
| Perdite | — | — | ** | ** | ** | ** | Stramazzi, misure volumetriche o a bilancino |
| Torbidità | — | — | O | * | O | * | Turbidimetro |

4. SISTEMA DI MISURA PER LA SORVEGLIANZA SISMICA

Le installazioni di misura e sorveglianza sismica comprendono dispositivi dipendenti dalle caratteristiche sismiche del sito sul quale insiste l'opera da controllare.

Anche quando i livelli di sismicità naturale non siano elevati, tali installazioni possono essere necessarie: tipicamente nel caso di invasi estesi o di situazioni particolari.

Sistemi di sorveglianza sismica sono ancora necessari quando nei pressi della diga abbiano luogo attività che siano fonti di vibrazioni nel terreno (cave, miniere, ecc.), o quando si prevedano, a scopo diagnostico, eccitazioni artificiali ripetute sistematicamente in corso di esercizio dell'opera.

Il progetto di una installazione di misura e sorveglianza sismica comprende in genere le seguenti fasi:

- scelta del numero e delle posizioni dei sensori da installare;
- scelta del tipo dei sensori in relazione sia alle caratteristiche sismologiche del sito che al tipo di sbarramento;
- scelta del tipo e caratteristiche del sistema di registrazione dei dati (e di elaborazione in linea, se previsto).

4.1 Scelta degli strumenti di misura più adatti in relazione alle caratteristiche sismologiche del sito e al tipo di sbarramento

A seconda del livello locale di sismicità e del livello di scosse capaci di indurre effetti apprezzabili sulla sicurezza della struttura, si deve anzitutto decidere quale debba essere l'entità minima dell'evento da rilevare.

Infatti la rilevazione di scosse estremamente deboli, sicuramente senza effetto sulla sicurezza della struttura, di solito non ha interesse se non a scopo diagnostico.

La scelta del tipo più adatto di sensore deve essere fatta considerando:

- l'ampiezza massima prevedibile del segnale, in maniera che il fondo scala del sensore sia sufficientemente elevato in modo da evitare la saturazione (e quindi la perdita dell'informazione) per gli eventi di alta intensità;
- il contenuto spettrale delle scosse in funzione della frequenza. Infatti se lo spettro sismico è caratterizzato prevalentemente da frequenze basse è opportuno ricorrere a sismometri, cioè a strumenti sensibili alla velocità del punto; se invece lo spettro è prevalentemente caratterizzato da frequenze alte (ad es. oltre i 10 Hz) è preferibile ricorrere ad accelerometri. Non è invece usuale, per difficoltà di installazione, ricorrere a strumenti sensibili agli spostamenti del punto, che sarebbero indicati nel caso di frequenze molto basse (inferiori a circa 2 Hz);
- la tipologia e le dimensioni dello sbarramento che ne condizionano le frequenze proprie.

Lo spettro di risposta dipende infatti dal tipo di struttura: in calcestruzzo o in materiale sciolto.

Per le dighe in calcestruzzo le frequenze proprie dei primi modi possono variare tra qualche frazione di Hz (per le grandi dighe ad arco-gravità, cioè dotate di grande massa ed elevata flessibilità) a poche decine di Hz, per piccole dighe a volta sottile a doppia curvatura (cioè dotate di piccole masse e notevole rigidità).

Per le dighe in terra o in materiali sciolti il campo delle frequenze proprie si estende da qualche frazione di Hz a pochi Hz, a seconda delle dimensioni, del tipo di materiale del rilevato e del tipo di fondazione.

Le frequenze che occorre tenere presenti nella scelta degli strumenti sono:

- quelle del suolo, per gli strumenti da installare in fondazione; si ricorre normalmente ad accelerometri del tipo «strong-motion» con soglia a 0.01 g e fondo scala tra 0,5 e 2 g;
- quelle corrispondenti ai picchi dello spettro di risposta della struttura, per gli strumenti da installare sulla diga vera e propria.

4.2 Scelta delle posizioni significative per l'installazione dei sensori in relazione alle grandezze da rilevare e in funzione della tipologia costruttiva

Nella ubicazione dei sensori sismici differenti considerazioni vanno effettuate a seconda che il sensore venga installato nella fondazione o nel corpo diga.

I primi servono a caratterizzare l'input cui è soggetta la struttura, i secondi a rilevare l'output, o risposta strutturale; in entrambi i casi vanno scelti i punti più significativi, tenendo conto dell'ovvia esigenza di contenere il numero dei sensori e con esso il costo globale dell'installazione.

In fondazione una descrizione sufficientemente completa dell'input richiede un congruo numero (4-5 o più) di stazioni a 3 componenti (E-W, N-S e verticale), tenuto conto che le ampiezze e le fasi delle oscillazioni possono differire anche sensibilmente da punto a punto.

In pratica un tal numero di strumenti e di componenti da rilevare risulta giustificato per grandi dighe in calcestruzzo a gravità o ad arco-gravità.

Per piccole dighe a gravità o a volta, sono sufficienti due accelerometri sulle due sponde ubicati circa a metà altezza, ciascuno con due componenti orizzontali.

Le due direzioni del moto orizzontale, anziché con gli allineamenti N-S ed E-W, possono farsi corrispondere a direzioni costruttivamente più significative: ad es. con la direzione monte-valle e con la direzione normale alla precedente, cioè diretta da un fianco all'altro della vallata.

Nel corpo diga le posizioni e le direzioni più interessanti sono in genere quelle che corrispondono alle massime amplificazioni del moto del terreno, e possono ricavarsi da un'analisi dinamica della struttura effettuata con modelli numerici di simulazione. In genere tali posizioni possono farsi coincidere coi «ventri» (o massimi locali di ampiezza di vibrazione) dei primi modi propri di vibrare della struttura.

Nel caso di una diga a gravità in calcestruzzo, o di una diga in materiali sciolti, è inoltre opportuno strumentare alcuni punti dell'allineamento di cresta, limitandosi a rilevare la componente monte-valle più eventualmente la componente verticale.

Per le dighe a speroni, ove le risposte «destra-sinistra» possono risultare fortemente amplificate e quindi pericolose, conviene ubicare alcuni sensori a circa metà altezza sulla superficie di valle dello sperone.

Oltre alle grandezze cinematiche sopra menzionate, possono rivestire interesse, ai fini della valutazione della sicurezza sismica della struttura, altre grandezze quali le dilatazioni unitarie dinamiche, le sottopressioni dinamiche o le pressioni idrodinamiche dell'invaso esercitate sul paramento di monte.

4.3 Scelta del sistema di sorveglianza sismico

Per sistema di sorveglianza sismico si intende anche qui il complesso costituito dai sensori e dalle apparecchiature di acquisizione, registrazione ed eventualmente di elaborazione dei segnali rilevati durante l'evento sismico.

La strumentazione per la registrazione di fenomeni sismici può essere distinta in funzione di alcune caratteristiche peculiari, che in genere ne determina anche il campo di applicazione, nelle seguenti categorie:

- strumentazione con registrazione su carta;
- strumentazione con registrazione su pellicola fotografica;
- strumentazione con registrazione analogica su nastro magnetico;
- strumentazione con registratore digitale su nastro magnetico;
- strumentazione con registrazione su memoria a «stato solido».

Nella esperienza italiana si identificano attualmente le seguenti due tipiche soluzioni di sistema per la sorveglianza sismica delle dighe:

- Impianto «distribuito» con registrazione dei fenomeni sismici direttamente sugli strumenti rilevatori (accelerografi o sismografi registratori);
- Impianto «centralizzato» con registrazione dei fenomeni sismici su una unità centrale di acquisizione e registrazione dislocata a distanza dai sensori e collegata ad essi tramite cavi di misura.

La seconda soluzione permette di verificare in tempo reale l'eccitazione e quindi l'eventuale danno subito dalla struttura colpita da evento sismico.

5. FREQUENZA DELLE MISURE

La validità di un sistema di controllo presuppone non solo, come si è visto, l'utilizzo di un modello di riferimento rappresentativo per l'opera in esame, ma anche la scelta delle frequenze di lettura dei dati e la conseguente corretta frequenza del confronto tra i dati osservati e quelli previsionali.

Tale frequenza dipende:

- dalla grandezza da misurare;
- dalla velocità di variazione dei parametri (ad esempio carico idrostatico, temperature) che influenzano le grandezze da misurare;
- dalla fase della vita dell'opera;
- dalla «sensibilità» del dispositivo di misurazione;
- da specifiche esigenze (studi speciali, prescrizioni particolari da parte delle Autorità, situazioni anormale che si dovessero manifestare, ecc.).

In altri termini le frequenze di osservazione devono essere commisurate agli intervalli di tempo nei quali si possono avere variazioni significative delle grandezze in gioco e rilevabili con i dispositivi di misurazione impiegati.

In generale fino ad oggi in Italia sono stati applicati i seguenti criteri:

- tutte le misure devono avere un riferimento di origine ben definito, legato alle condizioni ambientali preesistenti alla costruzione;
- durante il primo invaso le misure devono essere legate al programma di invaso. Se questo viene effettuato, come di norma, per successive fasi intervallate da periodi di osservazioni, questi devono consentire l'esecuzione almeno di una serie completa di misure, l'elaborazione dei dati raccolti e il confronto con i dati del modello progettuale.

In aggiunta a quanto sopra indicato, risulta opportuno eseguire con frequenza almeno settimanale o eventualmente giornaliera l'esame a vista dei paramenti della diga e della zona di appoggio, la lettura di pendoli, perdite e sottopressioni;

- durante l'esercizio normale (nella maggior parte dei casi a ciclo stagionale), le misure vengono effettuate a intervalli di tempo costanti ed in particolare:
 - con frequenza quindicinale la lettura di pendoli, piezometri;
 - con frequenza mensile le letture di clinometri, estensimetri e manometri per le sottopressioni;
 - con frequenza trimestrale le misure di collimazione e assestometriche;
 - con frequenza semestrale o annuale le livellazioni e le misure geodetiche.

Sia durante il periodo di esercizio provvisorio (fino al collaudo) sia durante il normale esercizio, il vigente regolamento italiano prescrive la rilevazione giornaliera delle grandezze ambientali. Normalmente la stessa frequenza viene mantenuta anche per le perdite.

Si noti comunque che il controllo dello sbarramento eseguito con una frequenza discreta, comporta l'accettazione di un rischio connesso con il tempo intercorrente tra due misure successive. In situazioni di normalità l'intervallo massimo delle letture delle grandezze più significative non deve comunque superare i 15 giorni.

Nella eventualità invece di utilizzare un sistema di misura automatico il controllo dell'opera può essere eseguito in tempo reale e in modo continuo mentre la registrazione dei dati può limitarsi a frequenze di tipo giornaliero.

6. AUTOMAZIONE DEL SISTEMA DI MISURA

Per quanto riguarda il problema dell'automazione del sistema di misura statico o sismico, il tecnico responsabile si trova oggi di fronte alla possibilità di una scelta, e quindi ad una responsabilità di decisione, che solo pochi anni fa non aveva. È innegabile infatti che lo sviluppo tecnologico nel campo dei calcolatori consente oggi, a costi accettabili, di impostare il problema del monitoraggio delle grandi strutture in modo automatico.

In questa scelta vanno comunque attentamente valutati i vantaggi e gli svantaggi di un monitoraggio automatico; quale è l'aiuto che il tecnico si deve aspettare da questo nuovo mezzo messo a sua disposizione e quali sono gli errori o i fraintendimenti nei quali è bene non cadere.

Innanzitutto va ricordato che la misura manuale è affidata alla competenza e buona volontà del personale incaricato e che fino ad ora numerose esperienze hanno dimostrato che non sempre, anche per gli oggettivi disagi a cui è soggetto, tale personale ha potuto espletare adeguatamente il compito affidatogli.

La conseguenza di ciò è una mole di dati non del tutto affidabile, raccolta con una frequenza dettata più da problemi logistici che da vera e propria necessità di conoscenza del comportamento della diga.

L'acquisizione automatica consente invece di impostare una frequenza di lettura continua e soprattutto di raggiungere un'affidabilità dei dati qualitativamente superiore a quella dei dati manuali.

È evidente che la non sempre garantita affidabilità dei dati manuali va in parte anche attribuita agli inevitabili errori di lettura che con la soluzione automatica possono essere inesistenti. A questi possono però sostituirsi gli errori strumentali che vanno quindi costantemente tenuti sotto controllo predisponendo opportune verifiche. Inoltre per quanto riguarda l'acquisizione automatica, non va dimenticato che i dati raccolti sono già memorizzati su supporti adatti alla loro successiva elaborazione.

È inoltre importante rilevare che per monitoraggio automatico si intende non solo la raccolta dei dati di misura senza l'ausilio dell'uomo ma si intende anche un sistema capace di eseguire in linea ed in tempo reale un confronto fra i dati di misura e gli analoghi dati previsionali (forniti dai modelli di simulazione) onde poter verificare se la loro differenza è contenuta o meno in un'opportuna fascia di tolleranza.

A tale confronto in tempo reale non si demanda però la responsabilità di dichiarare una diga sicura o non sicura. Tale confronto è utilizzato solo come uno strumento messo a disposizione dalla tecnologia moderna, per mezzo del quale le situazioni che possono essere ritenute normali vengono «archivate», mentre le situazioni anomale (cioè non rispondenti alle ipotesi di base utilizzate dal progettista nel creare l'opera, vedere paragrafo 1) vengono opportunamente evidenziate. Ciò avviene richiamando l'attenzione del gestore e proponendo, a seconda dell'importanza dell'anomalia, «allarmi tecnici» di vario livello, ai quali è possibile far corrispondere tempi e mezzi di approfondimento e/o di intervento via via più impegnativi.

Considerato in quest'ottica il sistema automatico di monitoraggio è un «filtro tecnico» che permette di concentrare l'attenzione del tecnico sulle strutture che presentano comportamenti non normali.

Resta la consapevolezza che un giudizio di merito sul comportamento dell'opera può essere dato solo dall'uomo che con il suo bagaglio di conoscenze e di esperienze è in grado di decidere se un determinato comportamento anomalo va considerato sicuro o no.

6.1 Criteri generali di progettazione del sistema automatico

Nella progettazione del sistema di controllo automatico di una diga si deve perseguire l'obiettivo di mettere a punto un sistema di monitoraggio modulare, che abbia spiccate caratteristiche di flessibilità e che possa essere adattato, sia nei componenti che nelle funzioni, a qualunque specifica realtà.

Tale esigenza nasce dalla constatazione che nella realtà ogni diga ha una sua storia e che di conseguenza difficilmente si trovano due dighe strumentate esattamente nello stesso modo.

L'esigenza descritta non deve evidentemente porre in secondo piano considerazioni di carattere economico, ma, al contrario, la realizzazione di sistemi automatici progettati con criteri di standardizzazione e di modularità dei componenti permette di conseguire un giusto rapporto costo/prestazioni. Nella progettazione e realizzazione del sistema automatico di sorveglianza occorre inoltre porre particolare attenzione:

- alla scelta dei sensori automatici e alla loro posa in opera; ogni sensore deve essere verificato nelle sue prestazioni e nella sua affidabilità;
- alla scelta della rete di acquisizione; la rete può essere concentrata o distribuita in funzione del numero e della ubicazione dei sensori da acquisire;
- alla scelta del microprocessore di acquisizione ed elaborazione dei dati;
- alla implementazione nel microprocessore dei modelli di confronto; il loro utilizzo di routine infatti deve avvenire solo quando sia stata eseguita fuori linea una opportuna validazione del modello stesso;
- alle necessità di protezione dell'installazione da interferenze di campi elettromagnetici che possono comprometterne la funzionalità;
- alla scelta del sistema di teletrasmissione dei dati ad un centro remoto.

6.2 Configurazione del sistema modulare

La realizzazione di un sistema di controllo con i requisiti sopra richiamati può essere sviluppato secondo diversi approcci.

La configurazione standard di seguito illustrata è già stata assemblata con dettagli più o meno simili per il monitoraggio di diverse dighe italiane.

6.2.1 Architettura generale dell'hardware

Il sistema modulare è principalmente composto da due unità fisicamente e funzionalmente separate collegate fra loro da una linea per lo scambio di informazioni.

Il sistema risulta pertanto composto da un'unità di misura locale o periferica e da un'unità centrale di controllo.

All'unità di misura vengono demandati i compiti di condizionamento elettrico dei sensori, di scansione dei canali di misura, di conversione analogico/digitale dei segnali, di memorizzazione temporanea dei valori misurati ed infine di trasferimento dei dati all'unità centrale di acquisizione e di controllo.

A quest'ultima unità, basata su un microcalcolatore, vengono invece demandate tramite opportuni programmi tutte le funzioni di controllo del sistema quali:

- l'acquisizione dei segnali dalla unità di misura;
- l'esecuzione di test diagnostici;
- la validazione e l'elaborazione dei dati;
- il confronto con i limiti di soglia e l'attivazione di allarmi;
- la visualizzazione, la stampa e la registrazione dei dati acquisiti;
- la loro teletrasmissione a distanza.

L'unione delle due unità permette quindi di realizzare un sistema con spiccate caratteristiche di funzionalità e di flessibilità: quella «hardware» costituita dai componenti e dai moduli che configurano le varie unità di misura e di controllo e quella «software» rappresentata da una serie di programmi che vengono inseriti nella memoria della unità centrale a seconda delle specifiche esigenze.

6.2.2 Struttura generale del software

A seconda quindi delle specifiche esigenze della singola installazione vengono inseriti nella struttura generale del programma di base i moduli necessari per il controllo dell'opera.

Le principali funzioni del sistema software sono le seguenti:

- avviamento automatico del sistema;
- monitoraggio continuo;
- acquisizione periodica «normale»;
- acquisizione periodica «accelerata»;
- acquisizione su richiesta dell'operatore;
- confronto con livelli di soglia ed attivazione di segnali di «allarme tecnico»;
- visualizzazione delle misure e dei messaggi;
- stampa delle misure e dei messaggi;
- registrazione dei dati;
- controllo di pannelli sinottici e rappresentazioni grafiche;
- teletrasmissione a distanza dei dati;
- test diagnostici.

7. ANALISI DEI RISULTATI

Attualmente in Italia, nel rispetto della vigente normativa, l'utilizzo dei dati di misura avviene sostanzialmente nel seguente modo: raccolta manuale dei dati, aggiornamento del registro diga a cura del guardiano, trascrizione dei dati raccolti sulla struttura in registri conservati presso gli Uffici Responsabili della sicurezza dell'opera, periodico aggiornamento manuale dei diagrammi di alcune grandezze sia per l'inoltro periodico alle Autorità di Controllo sia per la visualizzazione delle misure utili al controllo della sicurezza dell'opera.

Il giudizio su tale sicurezza emerge dall'esame visivo dei diagrammi rappresentativi dell'andamento delle grandezze causa ed effetto e da una ricerca, talvolta solo intuitiva, di correlazioni tra le grandezze suddette. Da questo esame il tecnico, se dotato di sufficiente esperienza, riesce a valutare la presenza di effetti anomali. Il tentativo di evidenziare in maniera più oggettiva tali anomalie per mezzo di semplici elaborazioni statistiche (quali: medie, medie mobili, modelli regressivi semplificati) comporta un impegno notevole da parte del personale senza per altro dare la sicurezza di un buon risultato.

Tale modo di procedere comporta ovviamente un ritardo non insignificante nell'esame dei dati da parte dei tecnici competenti, necessita di uno sforzo di elaborazione manuale non indifferente ed, inoltre, l'affidabilità delle misure e del loro trattamento non sempre è soddisfacente.

7.1 Trattamento automatico dei dati di misura

Sulla base delle considerazioni sopra esposte già da diversi anni in Italia è in atto uno sforzo per organizzare l'elaborazione dei dati di misura ricorrendo alla potenzialità degli elaboratori numerici.

Tale trattamento è stato suddiviso in due parti secondo il seguente schema:

- un'acquisizione ed una prima elaborazione dei dati di misura in linea ed in tempo reale (paragrafo 6);
- un'archiviazione su appositi «data-bases» delle misure per una loro successiva elaborazione fuori linea.

In questo schema le misure raccolte in diga in modo manuale o automatico vengono inviate (via posta, telescriventi, telefono, ecc.) all'Ufficio Responsabile dell'opera. Questo Ufficio è a sua volta dotato di un opportuno sistema di terminali attraverso il quale si ottiene il collegamento con un centro di calcolo remoto dotato dei programmi di archiviazione ed elaborazione.

Una configurazione composta da un video, una tastiera, una stampante, un registratore ed un plotter (utilizzabile sia in linea che fuori linea) rappresenta, nelle esperienze realizzate fino ad ora, il giusto compromesso tra costo del sistema e prestazioni richieste.

I «data-bases» e i sistemi interattivi approntati per l'archiviazione e il trattamento dei dati di misura permettono la memorizzazione di tutti i dati di stato della struttura, degli strumenti installati, ovviamente delle misure rilevate in diga e l'elaborazione di tutte le misure archiviate.

In particolare tali elaborazioni permettono di:

- archiviare le misure brute raccolte in diga;
- trasformare tali misure in grandezze significative;
- raggruppare, stampare e diagrammare le misure secondo standard prefissati;
- eseguire controlli di congruenza delle misure ridondanti e calcolare il loro grado di attendibilità tramite indici statistici e test probabilistici;
- eseguire analisi preliminari (medie, medie mobili, analisi di Fourier) per verificarne le tendenze evolutive;
- ricercare correlazioni tra grandezze causa ed effetto, sviluppare modelli regressivi di vario tipo;
- confrontare le grandezze misurate con gli analoghi valori previsti dai modelli di riferimento;
- effettuare l'analisi degli scarti.

L'elaborazione automatica dei dati porta agli Uffici competenti i seguenti vantaggi:

- possibilità di diagrammare tutte le grandezze misurate sull'opera e quindi verificare l'utilità o meno delle stesse con conseguente razionalizzazione dei piani di misura;
- visualizzazione tempestiva di ogni grandezza di interesse secondo formati grafici richiesti dall'utente;
- verifica agevole delle supposizioni del tecnico responsabile sia attraverso semplici elaborazioni preliminari che mediante modelli di riferimento più sofisticati.

7.2 Confronto dei dati di misura con analoghi dati previsionali

Come più volte affermato, i controlli periodici della struttura, effettuati per verificare lo stato di conservazione dei vari elementi strutturali (paragrafo 9), abbinati ai risultati delle elaborazioni delle misure ed in particolare al confronto con un modello di previsione costituiscono la base per poter emettere un giudizio oggettivo sul comportamento reale della struttura.

Di seguito vengono brevemente discussi i modelli di confronto largamente impiegati in Italia.

- **Modelli regressivi «a posteriori».**

I più noti tra i modelli matematici, perché fino ad oggi tra i più usati, sono i modelli regressivi. Il loro uso è relativamente semplice; essi non richiedono pesanti elaborazioni e possono essere utilizzati per il controllo di tutte le grandezze «effetto» (spostamenti, perdite, dilatazioni unitarie, rotazioni, ecc.) per le quali ovviamente si disponga di valori misurati. Per creare un tale modello è necessario disporre, per un opportuno periodo di tempo, della serie cronologica sia delle grandezze «causa» sia di quelle «effetto».

I modelli statistici sono largamente impiegati per il loro basso costo, per la facilità con cui si realizzano oltre che per i buoni risultati che se ne possono ottenere qualora l'opera non presenti problemi particolari.

- **Modelli deterministici «a priori».**

Quando la correlazione tra «causa» ed «effetto» viene determinata attraverso un'analisi strutturale della diga si ha un controllo delle grandezze per mezzo di un modello deterministico o «a priori».

La costruzione di un modello deterministico necessita, oltre che dei dati geometrici della struttura, di una buona conoscenza delle caratteristiche fisico-meccaniche dei materiali.

In mancanza di queste ultime il modello deve essere «calibrato» utilizzando i dati di misura raccolti in un periodo di esercizio normale. Va inoltre evidenziato che il modello deterministico, oltre ad essere un valido strumento di controllo nei periodi di esercizio normale, può essere utilizzato anche quale strumento di interpretazione del comportamento dell'opera in situazioni di esercizio straordinario e/o di interventi di manutenzione simulabili.

Per contro va sottolineato che la costruzione di un modello deterministico richiede un impegno tecnico ed economico superiore a quello richiesto dalla costruzione di un modello regressivo, anche se una volta approntato resta un valido, oggettivo e affidabile mezzo di confronto con la realtà in qualunque condizione di esercizio dello sbarramento.

Esistono inoltre altri tipi di modelli numerici ad es. quelli in cui vengono impiegate congiuntamente tecniche di modellazione deterministica e di analisi statistica di tipo regressivo.

7.3 Elaborazione delle misure - livelli di allerta

Il controllo del buon comportamento di una diga mediante l'utilizzo di un modello è effettuato verificando che il valore di una, o meglio, di più grandezze misurate non differisca «troppo» dal valore teorico fornito dai modelli di riferimento nelle analoghe condizioni ambientali.

In altre parole se gli scarti tra valori misurati e valori predetti dal modello matematico sono confinati entro una «banda di tolleranza», la diga si comporta in modo «normale», mentre se alcuni di tali scarti cadono al di fuori della banda stessa, allora la diga si comporta in modo anomalo. L'«anomalia» della misura può derivare da infinite cause e chiaramente non tutte pericolose. Una volta chiarite tali cause, e solo allora, sarà possibile esprimere un corretto giudizio sulla sicurezza o meno dell'opera.

Alla luce di alcune esperienze che si stanno sviluppando in Italia la «banda di tolleranza» è stata fissata su tre fasce:

- una prima fascia entro la quale le differenze previsioni-misure devono cadere per assicurare un comportamento normale dell'opera;
- una «seconda fascia» in cui il cadere delle suddette differenze è indice di anomalia lieve;
- infine una terza fascia in cui l'analogia situazione viene definita di anomalia grave.

L'ampiezza delle tre fasce è stata fissata con i seguenti criteri:

- calcolo della «standard deviation» degli scarti stimata su due o tre anni di comportamento normale dell'opera;

- limiti della prima fascia pari a due volte la «standard deviation»;
- limiti della seconda fascia pari a tre volte la «standard deviation»;
- limiti della terza fascia fissati dal progettista sui dati di rottura del modello fisico e/o numerico dell'opera.

Naturalmente il giudizio sul comportamento dell'opera scaturisce oltre che dall'osservazione del valore assoluto dello scarto di una singola grandezza anche dalla sua tendenza evolutiva.

Inoltre l'eventuale gravità della situazione emerge con maggiore evidenza se non una sola ma più grandezze segnalano un comportamento anomalo.

8. SBARRAMENTI IN ESERCIZIO PRIVI DI UN SUFFICIENTE SISTEMA DI MONITORAGGIO

Nei paragrafi precedenti si è visto che la sicurezza di una diga è garantita da un insieme di attività che coprono l'intero periodo della sua vita a partire dalla fase iniziale di studio e progettazione. Tuttavia, quando la diga è in esercizio ci si trova di fronte ad un manufatto la cui storia può sicuramente essere riesaminata, eventualmente criticata, ma certamente difficile da cambiare.

Esprimere un giudizio di insufficienza di controllo nei confronti di una struttura da tempo in esercizio significa aver valutato inadeguato (rispetto a certi principi guida) il sistema di monitoraggio esistente; inadeguato sia dal punto di vista della sicurezza che dal punto di vista della prevenzione di degradi strutturali o di messa fuori servizio dell'opera.

Nei confronti di tali opere l'insufficienza del sistema di controllo può derivare principalmente da due cause:

- inadeguato progetto (o inadeguata realizzazione) del sistema di misura (o dal punto di vista del numero di sensori, o dal punto di vista del tipo di grandezze controllate o per la non corretta frequenza delle misure);
- situazione attuale dell'opera differente da quella prevista in fase di progettazione (degradi superiori a quanto atteso, fenomeni strutturali o geologici non previsti, ecc.) per cui il sistema di monitoraggio inizialmente corretto e sufficiente non lo è nella realtà della situazione attuale.

Di fronte a questa situazione occorre risolvere il problema della sicurezza di uno sbarramento ricercando criteri il più possibile oggettivi, che permettano di individuare eventuali situazioni di pericolo.

Accanto al riesame del controllo di routine va pertanto promosso un «controllo certificato» dell'opera stessa effettuato in modo indipendente dalle attività di routine.

Il «controllo certificato» si identifica con un «check up» saltuario dell'opera mirato a verificarne la sicurezza e ad attivare di conseguenza le disposizioni da seguire durante il controllo di routine.

Con modalità diverse in funzione dell'anno di costruzione della diga, le attività da promuovere nel corso di un «controllo certificato» sono:

- riesame del progetto, degli atti di collaudo e di tutte le notizie storiche inerenti la vita dell'opera; adeguamento degli elaborati di progetto alla normativa via-via emessa dall'Autorità di Controllo;
- censimento della rete di controllo installata, verifica della sua completezza ed adeguatezza in relazione alla tipologia dell'opera; esame preliminare delle diagrammazioni effettuate durante il controllo di routine;
- analisi dei dati acquisiti durante il passato esercizio dell'opera ed interpretazione del suo comportamento;
- indagini per la determinazione delle caratteristiche fisico-meccaniche e geometriche della struttura e della fondazione;
- verifiche delle condizioni di stabilità; modellazioni fisiche e numeriche del complesso struttura-fondazione;
- costruzione e/o adattamento dei modelli di previsione del comportamento statico-dinamico dell'opera;
- revisione ed eventuale ammodernamento del sistema di monitoraggio e di elaborazione delle misure;
- controllo periodico dello stato dei materiali mediante indagini non distruttive;
- sviluppo di una procedura e/o di un manuale di sorveglianza per il Responsabile della sicurezza dell'opera.

Tutte queste indagini hanno lo scopo di fornire gli elementi per esprimere un giudizio oggettivo sull'adeguatezza o meno del sistema di misura sotto analisi per un dato sbarramento.

Se questo risultasse insufficiente le informazioni raccolte consentono di riprogettare un sistema di misura adatto ad un'efficace sorveglianza. La strumentazione permanente andrà adeguata a questo nuovo schema, integrandola o eventualmente sostituendola con apparati più completi e moderni.

9. CONTROLLI NON RIPETITIVI

Anche nel caso che il sistema di misura di tipo permanente installato in diga risulti del tutto adeguato allo scopo della sorveglianza, possono verificarsi circostanze che richiedono indagini straordinarie, da realizzarsi normalmente con campagne ad hoc una tantum e con strumentazioni ed apparecchiature di tipo non permanente.

Tali indagini possono essere finalizzate a vari scopi, tra cui:

- eseguire determinazioni non attuate al momento della costruzione, o perché non ritenute allora necessarie o perché oltre lo stato dell'arte all'epoca;
- eseguire determinazioni non realizzabili con strumentazioni di tipo permanente (per motivi tecnici e/o economici);
- eseguire determinazioni atte a rilevare e quantificare uno stato di degrado dei materiali sia del corpo diga che delle fondazioni sospettato o rilevato solo qualitativamente.

Queste ultime determinazioni sono di particolare rilevanza in quanto tutte le opere sono soggette al trascorrere del tempo e dunque esposte, in misura maggiore o minore, a rischio di degrado, ed è quindi su questo «caso speciale» che si sviluppano di seguito alcune considerazioni.

Il degrado del corpo diga può manifestarsi con un'alterazione delle caratteristiche fisico-meccaniche dei materiali (muratura, calcestruzzo, materiali sciolti) o anche con il venir meno della sua integrità strutturale.

Nel caso di sbarramenti murari rigidi il deterioramento dei materiali è imputabile di solito o a difetti originari di costruzione (cattiva qualità del legante, dosaggio insufficiente) o all'azione degli agenti esterni (gelività, erosione, dilavamento). I punti di attacco iniziali si localizzano quasi sempre in zone originariamente deboli (ripresе di getto, vespai).

L'integrità della struttura può venir meno per la formazione di fessure, generalmente effetto di ritiro, eccessive escursioni termiche, cedimenti differenziali di fondazione.

Anche per le dighe deformabili in materiali sciolti le proprietà fisico-meccaniche dei materiali sono soggette ad alterarsi. Nei paramenti non protetti possono verificarsi fenomeni di erosione per il ruscellamento di acque meteoriche, o in condizioni eccezionali, per affioramento di acque di infiltrazione. Nei nuclei o nei contronuclei, in materiali fini, limo-argillosi possono verificarsi variazioni anomale del contenuto d'acqua, in aumento (eccesso o mancata dissipazione di pressioni interstiziali) o in diminuzione (essiccamento) e conseguenti effetti di rigonfiamento o di ritiro. Deformazioni non compatibili possono produrre fessurazioni, che assumono particolare rilevanza ai fini della sicurezza, quando interessano gli elementi di tenuta (nucleo, paramento di monte). Effetti analoghi alle fessurazioni possono essere provocati da difetti puntuali originati all'atto della costruzione, per insufficienza nei controlli sulla provenienza e la posa in opera dei materiali.

Alterazioni significative nelle caratteristiche fisico-meccaniche delle rocce e dei terreni di fondazione sono generalmente da mettere in relazione con variazioni anomale nel regime delle acque di falda (perdite, rischio di sifonamento, eccesso di sottopressioni, erosione interna, instabilità delle spalle).

Da quanto detto appare evidente che un giudizio attendibile sulle condizioni di degrado può essere formulato solo a seguito di approfondite indagini sperimentali sia sullo sbarramento che nelle fondazioni.

È opportuno rilevare che le indagini per l'accertamento dello stato di degrado permettono non solo di individuare quali sono le grandezze e gli elementi strutturali da tenere con più accuratezza sotto controllo con il sistema di misura, ma anche l'acquisizione dei parametri necessari per il progetto di eventuali interventi di consolidazione della diga e della fondazione.

Pertanto gli obiettivi principali delle indagini possono così riassumersi:

- valutazione dello stato di degrado e delle caratteristiche fisico-meccaniche dei materiali e della fondazione;
- individuazione di eventuali fessurazioni e lesioni e delle loro caratteristiche geometriche, in particolare modo la loro estensione all'interno della struttura;
- verifica dell'efficienza degli elementi di tenuta (schermo o diaframma, paramento di monte, nucleo);
- verifica degli stati di sollecitazione;
- diagnosi delle cause che hanno prodotto lo stato di degrado.

Nel caso di dighe in calcestruzzo (e relative fondazioni) vengono eseguite le seguenti indagini:

- esame visivo preliminare (per vagliare la situazione ed indicare la più idonea campagna d'intervento);
- sondaggi meccanici a carotaggio continuo con esame visivo e classificazione dei campioni;
- prove di permeabilità nei sondaggi;
- prove di iniettabilità nei sondaggi;
- prospezioni con sonda televisiva nei fori (anche in eventuali perforazioni a valle dello schermo di impermeabilizzazione per verifica della tenuta);
- rilievi geofisici: carotaggi sonici e velocità soniche; rilievi di emissione acustica;
- prove con vibrodina per verifica del comportamento dinamico di assieme della struttura;
- prove di deformabilità con dilatometro nei sondaggi;
- rilievo strutturale dell'ammasso roccioso;
- prove di carico su piastra per verifica delle caratteristiche di deformabilità dell'ammasso roccioso;
- prove con martinetto piatto in parete;
- prove di decompressione;
- prove di laboratorio sui campioni estratti nel corso dei sondaggi.

Nel caso di sbarramento in materiali sciolti:

- perforazioni nel corpo diga e nelle fondazioni con prelievo di campioni indisturbati;
- carotaggi nel diaframma e nelle altre strutture di tenuta in calcestruzzo o conglomerato bituminoso;
- prove di assorbimento all'interno dei fori;
- prove con pressimetri o dilatometri all'interno dei fori;
- prove penetrometriche;
- prove di laboratorio su campioni indisturbati.

L'effettuazione di alcune o più delle suddette prove è subordinata alla valutazione di manifestazioni di evidenti stati di degrado o di anomalie di comportamento alla luce dei risultati di cui al paragrafo 8.

La ripetizione periodica di alcune delle indagini sopraelencate permette inoltre di verificare l'eventuale peggioramento delle caratteristiche fisico-meccaniche dei materiali e della roccia di fondazione.

I risultati di tali indagini possono condurre eventualmente a progettare interventi di risanamento strutturale o idraulico (in elevazione o in fondazione) o addirittura, in casi estremi, all'abbandono dello sbarramento ovvero alla sua completa riprogettazione.

10. NUOVA STRUMENTAZIONE

Nel campo dello sviluppo della strumentazione un notevole sforzo è compiuto nella direzione di realizzare sensori che oltre ad essere affidabili e precisi possano essere automatizzabili. Particolare attenzione deve essere posta alla validazione della misura effettuata dallo strumento mediante autotest. I principali strumenti che dispongono già di sensori a rilievo automatico sono:

- coordimetro per il rilievo degli spostamenti orizzontali mediante pendolo;
- livello idrostatico per la misura di spostamenti verticali;
- termosonde per il rilievo delle temperature;
- bilancia idrostatica per il rilievo del livello e/o delle perdite;
- sensori per il rilievo delle deformazioni (estensimetri a corta o lunga base);
- sensori per il rilievo delle sottopressioni e/o delle pressioni interstiziali;
- collimatore per la misura degli spostamenti orizzontali.

Nell'esperienza italiana merita una particolare attenzione il recente utilizzo di:

• Sistema laser per la rilevazione del comportamento dinamico delle dighe

Una notevole applicazione dell'interferometria laser è stata fatta per la misura degli spostamenti dinamici delle dighe. La struttura può essere sollecitata artificialmente (con vibrodina) o naturalmente (vento, onde del bacino, ecc.).

Il rilevatore, simile ad un grosso strumento topografico posto su un treppiede, deve essere piazzato su una postazione fissa esterna al manufatto e a una distanza non superiore ai 200 m e può essere puntato in qualunque direzione e su qualsivoglia numero di punti della struttura, senza che questi debbano essere appositamente segnalati.

L'intensità del raggio laser proiettato è sufficiente a dare il segnale di ritorno, il quale viene opportunamente trattato e registrato. La grandezza misurata è la componente lungo la direzione del raggio laser dello spostamento dinamico del punto della struttura colpito dal raggio stesso; l'abbinamento contemporaneo di un secondo strumento consente di misurare una seconda componente dello spostamento. Il trattamento successivo dei dati permette di ricavare una notevole serie di informazioni analoghe a quelle ottenibili con gli accelerometri piazzati sul manufatto, ma con modalità operative assai diverse e sotto certi aspetti assai più vantaggiose.

• Sistema per la rilevazione a raggi infrarossi dello stato termico superficiale (Termografia)

Questa metodologia permette di rilevare la situazione termica superficiale dei paramenti in tempo reale e da distanze anche notevoli. La risposta, fornita normalmente in forma fotografica a colori codificati, può essere anche agevolmente digitalizzata per tutte le successive elaborazioni.

Tale metodologia consente un esame esteso e continuo della superficie osservata e può mettere in evidenza fenomeni termici anche poco appariscenti e che potrebbero facilmente sfuggire ad un esame puntiforme.

Possono essere rilevate differenze di temperatura di circa 0,2 °C ed è estremamente facile seguire l'evoluzione termica giornaliera su tutta la superficie visibile della diga.

• Collimatore automatico

L'automatizzazione della consueta operazione di collimazione presenta notevoli difficoltà soprattutto per la sostituzione del puntamento visivo con quello fotoelettrico.

L'unica realizzazione specifica è costituita da un collimatore fisso, proiettante all'infrarosso, il quale consente il rilevamento, rispetto a una mira di riferimento, degli spostamenti orizzontali di alcune mire riceventi piazzate entro un campo di $\pm 15^\circ$ e a una distanza non superiore a 1200 metri; il suo micrometro, di tipo elettro-ottico-meccanico, consente in condizioni medie, di misurare spostamenti orizzontali fino a 150 mm con l'approssimazione di 0,1 mm.

Per ogni ciclo di misura i risultati vengono raccolti ed elaborati in un'apposita centralina piazzata entro la capannina di protezione dello strumento.

11. NORMATIVA VIGENTE IN ITALIA ED EVENTUALE AGGIORNAMENTO DELLA REGOLAMENTAZIONE

11.1 Normativa vigente

La progettazione, la costruzione e l'esercizio delle dighe di ritenuta sono disciplinati dal regolamento, approvato con D.P.R. 1 novembre 1959, n. 1363 e integrato dalle Norme Tecniche del D.M. del 24.3.1982, che affida al Servizio Dighe, Organo Tecnico del Ministero dei Lavori Pubblici, ed agli Uffici periferici dello stesso Ministero, la supervisione governativa nel campo delle dighe.

In particolare, nella fase d'istruttoria di un progetto, il Servizio svolge una funzione consultiva esperendo verifiche ed accertamenti intesi a stabilire la rispondenza dell'elaborato ai requisiti e alle prescrizioni tecniche stabiliti dal Regolamento e riferisce in merito, con una propria relazione, alla IV Sezione del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici.

Il Servizio Dighe può procedere direttamente all'approvazione dei progetti di sbarramento di limitata importanza. Nella fase d'istruttoria, all'autorità militare competente per territorio, deve essere inviata copia dei progetti, per accertarne la rispondenza alle eventuali clausole imposte nell'interesse della difesa nazionale.

L'esecuzione delle opere è vincolata all'osservanza di un «foglio di condizioni», nel quale fra l'altro, vengono date norme:

- per l'esecuzione dell'opera, specificando le modalità di costruzione, i lavori da eseguire per l'impermeabilizzazione e l'eventuale consolidamento della fondazione, le caratteristiche e le provenienze dei materiali da adoperare e le prove di controllo alle quali questi dovranno essere sottoposti durante i lavori, sia nell'eventuale laboratorio di cantiere, sia presso laboratori specializzati, con indicazione del numero e della frequenza dei saggi da prelevare sotto il controllo dell'Amministrazione;
- per le osservazioni e misure da compiere per il controllo del comportamento dello sbarramento, con indicazione degli apparecchi dei vari tipi da disporre nella struttura e fuori di essa;
- per la vigilanza dell'opera da parte del gestore e il controllo dell'Amministrazione durante la costruzione e l'esercizio;
- per le prestazioni relative al collaudo;
- per il collegamento della casa dei guardiani con i centri abitati a valle e con la più prossima sede del gestore, e per le segnalazioni da fare in caso di temuto pericolo e di ordine di immediato svasso del serbatoio;
- per gli altri provvedimenti che fossero eventualmente ritenuti necessari per la buona riuscita e la sicurezza dell'opera.

Nella fase della costruzione della diga, il Servizio Dighe è chiamato ad attuare una costante attività di vigilanza sullo svolgimento dei lavori, di controllo sui materiali impiegati, di accertamento dell'osservanza delle particolari prescrizioni tecniche disposte dall'Autorità governativa che condizionino la realizzazione del progetto.

Il Servizio Dighe prende parte alle operazioni di collaudo della diga e delle opere complementari, con il compito di fornire tutte le informazioni e le testimonianze sulle vicende occorse durante la costruzione delle opere e durante la fase degli invasi sperimentali che possono riuscire utili per l'esito del collaudo.

Nella fase di esercizio del serbatoio spetta sempre al Servizio Dighe, anche tramite le strutture periferiche, la sorveglianza dell'opera sia per mezzo di visite di vigilanza, da effettuare almeno due volte all'anno, possibilmente nelle condizioni di massimo e di minimo invaso, sia mediante periodiche visite di controllo dell'efficienza dei collegamenti telefonici e radio nonché degli eventuali altri sistemi di segnalazione e di allarme.

A cura del gestore lo sbarramento dovrà essere continuamente vigilato con personale adatto che risiederà nelle immediate vicinanze in apposita casa di guardia collegata, in modo sicuro, telefonicamente o con impianto radio, con la rete telefonica pubblica e con la più prossima sede del gestore.

Sempre a cura del gestore, verranno eseguiti i controlli e le misure periodiche previste nel foglio di condizioni e nel progetto esecutivo approvato.

Presso la casa di guardia deve essere tenuto apposito registro sul quale dovranno essere riportate:

- le misure di controllo, che per gli sbarramenti di maggior importanza dovranno riguardare le deformazioni e gli spostamenti della struttura e della roccia, le temperature interne della massa muraria, le sottopressioni e, per gli sbarramenti in materiale sciolto, gli assestamenti e i livelli piezometrici nel corpo dell'opera;

- le misure delle perdite attraverso l'opera, la roccia e gli organi di chiusura degli scarichi;
- le misure giornaliere della temperatura (massima e minima), della pioggia e del manto nevoso, del livello dell'acqua nel serbatoio, della temperatura dell'acqua in superficie e a cinque metri di profondità, dello spessore dello strato di ghiaccio e gli eventi meteorologici o idrologici (piene) di particolare importanza;
- tutte le altre misure delle quali fosse emersa la necessità;
- la descrizione dei lavori di manutenzione ordinaria eseguiti, l'ubicazione e le dimensioni delle eventuali lesioni che si fossero manifestate nello sbarramento e nelle sue opere accessorie ed i provvedimenti presi.

Nel registro saranno annotate di volta in volta le visite e le prescrizioni dei funzionari del Servizio Dighe e degli Uffici periferici nonché i risultati dei controlli sui meccanismi di manovra.

Alla fine di ogni mese un bollettino contenente i dati e le misure di cui sopra deve essere inviato in duplice copia ai suddetti Uffici periferici, che ne trasmetteranno una al Servizio Dighe.

Anche l'efficienza degli organi di scarico deve essere controllata alla presenza di funzionari ministeriali ad intervalli di tempo non superiori a sei mesi.

I già citati Uffici, qualora accertino manifestazioni che possano far sorgere dubbi sulla stabilità dello sbarramento, hanno facoltà di imporre al gestore di attuare con assoluta urgenza quei provvedimenti che nei riguardi dell'esercizio del serbatoio riconoscessero indispensabili per assicurare l'incolumità pubblica.

11.2 Ipotesi su possibili evoluzioni del controllo delle dighe

Come sopra detto, l'attuale regolamentazione italiana prevede la presenza continua, presso la diga, di uno o più guardiani, i quali, oltre a garantire il costante esame visivo della struttura, devono rilevare e riportare manualmente sull'apposito bollettino le misure previste dal foglio di condizioni. Tuttavia negli ultimi tempi l'evoluzione delle condizioni socio-economiche sta creando sempre maggiori difficoltà nel reperire personale disposto a rimanere, talvolta per lunghi periodi, isolato nella casa di guardia e lontano dalla famiglia.

Per contro si nota sempre più che sia l'esame visivo, sia le misure effettuate da tale personale hanno un carattere non sempre affidabile e che comunque per un giudizio di merito sul comportamento di una struttura, ricavabile da un'ispezione visiva su di essa, occorre l'impegno di personale altamente specializzato, con competenze strutturali che non sono certo richieste ai guardiani delle dighe.

A queste considerazioni di carattere sociale e tecnico vanno aggiunte anche quelle di carattere economico, in quanto il rapporto fra i benefici ricavabili e le prestazioni ottenute con il personale adibito al servizio della guardiania potrebbe risultare penalizzante se confrontato con gli analoghi costi e risultati di un sistema più moderno ed affidabile e meno legato ai problemi personali.

Tutto ciò premesso, basandosi sull'esperienza maturata nelle condizioni suddette, sembrerebbe opportuna in Italia un'evoluzione nel sistema di controllo degli sbarramenti; in questa realtà infatti è proponibile un sistema di sorveglianza guidata che permetta di avere tutte le informazioni richieste a tutt'oggi (e forse altre ancora) ma in forma più affidabile, di utilizzo più agevole e con la possibilità di un pre-filtro dell'informazione utile per poter concentrare attenzione e mezzi laddove un'eventuale anomalia della situazione lo richieda.

In quest'ottica riteniamo di poter affermare che oggi sarebbe possibile organizzare in quasi tutte le dighe una sorveglianza articolata come segue:

- installazione di un sistema automatico di controllo televisivo di tutti i punti normalmente interessati dall'attuale visita di ispezione quotidiana del guardiano, con possibilità di estendere il numero delle zone comprese nei campi visuali, e di trasmettere le immagini a distanza;
- installazione di un sistema automatico di misura di tutte le grandezze attualmente rilevate dal guardiano, con registrazione delle stesse su appositi supporti conservati presso la diga, a disposizione anche degli ispettori inviati dal Ministero. La frequenza di misura ovviamente potrà essere agevolmente modificata in funzione delle esigenze del momento, in particolare nei casi in cui siano sotto controllo comportamenti giudicati anomali e, quindi, di maggiore interesse sotto il profilo della sicurezza;
- eventuale installazione, presso la diga, di un miniprocessore in grado di effettuare un confronto fra i dati rilevati e il comportamento «normale» dell'opera, e, tale quindi da dare un giudizio sintetico preliminare, che porti ad individuare tempestivamente eventuali fatti anomali;

- teletrasmissione di tutte le grandezze o di parte di esse, scelte opportunamente, ad un centro specialistico ove personale tecnico adeguato possa analizzare i dati pervenuti, decidere i tempi e i modi d'intervento se da tali dati teletrasmessi emergesse uno stato anomalo della struttura;
- esecuzione di visite periodiche, ogni 3-6 mesi, di una squadra di tecnici specialisti, con il compito di effettuare una manutenzione preventiva di tutta la strumentazione, integrata ovviamente dalla riparazione tempestiva in caso di disservizi;
- esecuzione di visite periodiche (ogni 2-4 settimane) di una squadra di tecnici addetti ad una ispezione globale dell'opera per rilevare l'insorgere di eventuali variazioni significative nella struttura e nelle sue fondazioni;
- esecuzione di visite periodiche, ogni 6-8 mesi, di una squadra di specialisti strutturisti che siano in grado di eseguire un attento esame visivo della struttura e delle sue fondazioni, e, sulla base anche delle indicazioni fornite dalla precedente elaborazione delle misure, giungere ad un giudizio sul comportamento dell'opera;
- il sistema di «sorveglianza guidata» può essere evidentemente integrato, caso per caso e secondo le necessità, da misure specifiche e da misure per le quali non sia consigliabile l'automatizzazione (ad es.: misure geodetiche per il controllo d'insieme della struttura e del bacino, generalmente richieste ad intervalli di tempo di alcuni anni).

DIGA DI ALPE GERA

(costruzione 1958-64)

1. Finalità

Regolazione annuale dell'energia producibile dal sistema idroelettrico del Mallero (impianti di Campo Moro, di Lanzada e di Sondrio).

2. Ubicazione

Nella piana di Alpe Gera situata nell'alta Val Malenco nel Vallone del Torrente Lanterna in comune di Lanzada, Provincia di Sondrio.

3. Dati principali

| | | |
|--|----------|---------|
| — Livello di ritenuta normale | m s.m. | 2125.00 |
| — Livello di massimo invaso | m s.m. | 2126.00 |
| — Capacità di invaso: | | |
| * complessiva | mc 10**6 | 68.10 |
| * utile | mc 10**6 | 62.70 |
| — Superficie del bacino imbrifero: | | |
| * direttamente sotteso | kmq | 36.40 |
| * allacciato | kmq | 26.50 |
| — Portate delle opere di scarico: (con invaso alla quota di massimo invaso) | | |
| * superficie | mc/sec | 62.00 |
| * intermedio | mc/sec | 86.00 |
| * fondo | mc/sec | 100.00 |

4. Notizie geologiche del bacino

La piana di Alpe Gera è un'antica conca glaciale ricoperta in gran parte da alluvioni ghiaiose su sottofondo di roccia serpentinoso.

5. Notizie geologiche della fondazione

La roccia è costituita da scisti serpentinosi.

Il fondo valle è colmo di materiale alluvionale e detritico, residuo di vecchie frane.

6. Caratteristiche della diga

— Tipo

La diga è del tipo a gravità massiccia, in calcestruzzo ad andamento planimetrico rettilineo.

— Dati geometri principali

| | | |
|---|--------|---------|
| — Quota coronamento | m s.m. | 2128.00 |
| — Altezza del coronamento sul punto più depresso delle fondazioni | m | 174.00 |
| — Franco del coronamento: | | |
| * sul livello normale di ritenuta | m | 3.00 |
| * sul livello di massimo invaso | m | 2.00 |
| — Sviluppo del coronamento | m | 528.00 |
| — Inclinazione: | | |
| * paramento di monte | | 0.03 |
| * paramento di valle | | 0.70 |
| — Volume nella diga | mc | 1700000 |

7. Rete di monitoraggio

| Grandezze misurate | Tipo di sensore | N° punti di misura | Frequenze |
|--------------------|---------------------------|--------------------|----------------|
| Livello invaso | stadia grad./bil. idrost. | 1/1 | quindicinale/A |
| Temperatura aria | termometri/termores. | 2/2 | giornaliera/A |
| Temperatura acqua | termometri/termores. | 3/2 | giornaliera/A |
| Temperatura c.l.s. | termometri/termores. | 72/17 | quindicinale/A |
| Pioggia | pluviometro | 1/1 | giornaliera/A |
| Spost. verticali | livello | 37 | semestrale |
| Spost. orizzontali | collim. + coordinatom. | 10 + 6/3 | quindicinale/A |
| Sottopress. | manometro/pressiomet. | 36/4 | quindicinale/A |
| Deformazioni | estensimetro | 24 | giornaliero/A |
| Rotazioni | clinometro | 52 | quindicinale/A |
| Perdite | contasec. + stramazzo | 539 + 3/3 | giornaliero/A |

A = sensori ad acquisizione automatica.

8. Il sistema di monitoraggio è realizzato tramite:

- letture eseguite dall'uomo distribuite nella struttura;
- letture automatiche centralizzate;
- confronto on-line con dati previsionali.

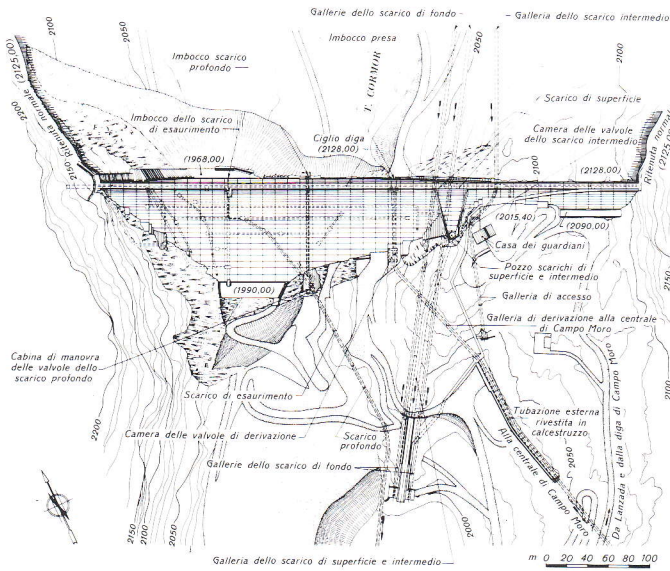
9. L'impianto è stato riportato come esempio significativo per la sua peculiare caratteristica di importanza dell'opera e completezza del sistema di monitoraggio automatico.

È previsto il controllo in tempo reale dell'opera mediante modelli matematici.

10. Bibliografia

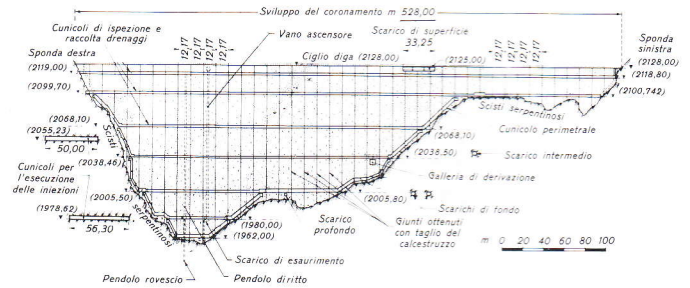
- ENEL:
«Le dighe degli impianti idroelettrici italiani» - Vol. III - Roma 1978.
- ENEL:
«Comportamento delle grandi dighe dell'ENEL» - Roma 1980.
- L. CAPETTA, B. D'ANCONA, F. RUSSO:
«Sistema finalizzato alla diagnostica del comportamento statico delle dighe di ritenuta. Criteri generali e apparecchiature dedicate: Apparato ESSDI» - 1985.

PLANIMETRIA

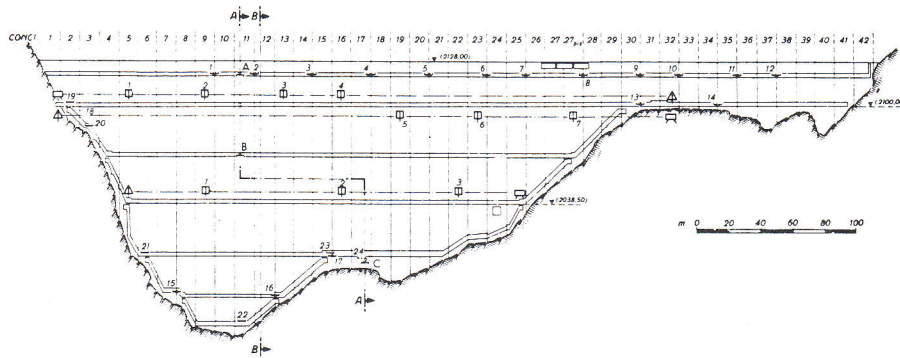


DIGA DI ALPE GERA

SEZIONE LONGITUDINALE VISTA DA VALLE



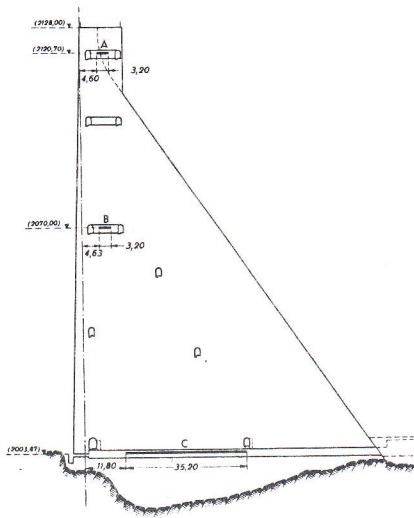
UBICAZIONE DEGLI STRUMENTI DI MISURA E DI CONTROLLO SEZIONE LONGITUDINALE



LEGENDA

- Base stazione collimatore
- Mira mobile di collimazione
- △ Mira fissa di collimazione
- Termometro in aria
- Termometro in acqua
- Termometro nel calcestruzzo
- * Gruppo di 4 estensimetri (Rosetta)
- Estensimetro isolato
- Estensimetro rimovibile
- ⊕ Dilatometro rimovibile
- ⊕ Clinometro
- ⊕ Pressimetro
- Basi clinometriche

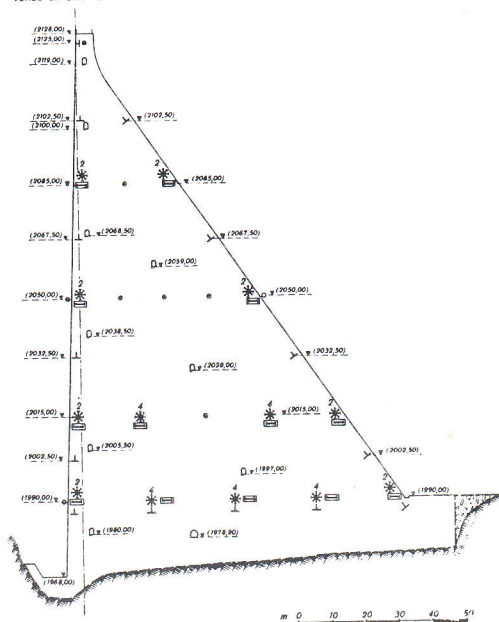
MISURE CLINOMETRICHE SEZIONE A - A



LEGENDA

- Basi clinometriche
- A - quota (1700,70) = 71° 44' basi di m 0,80 = m 3,20
- B - quota (1970,00) = 71° 44' basi di m 0,80 = m 3,20
- C - quota (2003,87) = 71° 44' basi di m 0,80 = m 35,20

SCHEMA DELLE INSTALLAZIONI DEGLI STRUMENTI ELETTROACUSTICI NEL CONCIO 12 SEZIONE TRASVERSALE B - B, m 3 DAL GIUNTO 11 VERSO SINISTRA ORDINARIA



DIGA DEL PIANO BARBELLINO

(costruzione 1926-31)

1. Finalità

Regolazione stagionale dell'energia producibile nelle centrali idroelettriche di Dossi e Gavazzo.

2. Ubicazione

Alla testata della Valle Seriana presso le sorgenti del fiume Serio in comune di Valbondione, Provincia di Bergamo.

3. Dati principali

| | | |
|---|----------|---------|
| — Livello di ritenuta normale | m s.m. | 1868.50 |
| — Livello di massimo invaso | m s.m. | 1870.00 |
| — Capacità di invaso: | | |
| * complessiva | mc 10**6 | 18.85 |
| * utile | mc 10**6 | 18.65 |
| — Superficie del bacino imbrifero: | | |
| * direttamente sotteso | kmq | 17.26 |
| * allacciato | kmq | 5.00 |
| — Portate delle opere di scarico: | | |
| (con invaso alla quota di massimo invaso) | | |
| * superficie | mc/sec | 140.00 |
| * intermedio | mc/sec | 34.00 |
| * fondo | mc/sec | 12.00 |

4. Notizie geologiche del bacino

Antico lago di escavazione glaciale colmato da deposito alluvionale. La roccia è costituita da scisti ardesiaci e arenarie impermeabili.

5. Notizie geologiche della fondazione

È costituita interamente da scisti ardesiaci con presenza di arenarie quarzose grigie.

6. Caratteristiche della diga

— Tipo

A gravità massiccia in calcestruzzo, con andamento planimetrico leggermente arcuato.

— Dati geometrici principali

| | | |
|---|--------|-----------|
| — Quota coronamento | m s.m. | 1872.00 |
| — Altezza del coronamento sul punto più depresso delle fondazioni | m | 66.00 |
| — Altezza sul piano più depresso del taglione | m | 69.00 |
| — Franco del coronamento: | | |
| * sul livello normale di ritenuta | m | 3.50 |
| * sul livello di massimo invaso | m | 2.00 |
| — Sviluppo del coronamento | m | 256.38 |
| — Raggio di curvatura planimetrica | m | 300.00 |
| — Inclinazione: | | |
| * paramento di monte | | 0.05 |
| * paramento di valle | | 0.62-0.80 |
| — Volume nella diga | mc | 151000 |

7. Rete di monitoraggio

| Grandezze misurate | Tipo di sensore | N° punti di misura | Frequenze |
|----------------------|------------------------|--------------------|---------------|
| Livello invaso | stadia grad/bil. idros | 1/1 | giornaliera/A |
| Temperatura aria | termometro/termores. | 1/1 | giornaliera/A |
| Temperatura acqua | termometro/termores. | 1 | giornaliera/A |
| Temperatura calcest. | termometro | 24 | decadale/A |
| | termometro corticale | 16 | decadale/A |
| Pioggia | pluviometro | 1 | giornaliera/A |
| Spost. orizzontali | coordinometro | 5/4 | decadale/A |
| Sottopressione | manometro | 20 | decadale/A |
| Deformazione | estensimetro | 2 | giornaliera/A |
| Rotazioni | livello/livellometro | 3/2 | semestrale/A |
| Perdite | contasec. + stramazzo | 16 + 4 | giornaliera |
| | bilancia idrostatica | 1 | giornaliera/A |

A = sensori ad acquisizione automatica.

8. Il sistema di monitoraggio è realizzato tramite:

- letture eseguite dall'uomo distribuite nella struttura;
- letture automatiche centralizzate;
- confronto off-line con dati previsionali.

9. L'impianto è stato riportato come esempio significativo per la sua peculiare caratteristica di importanza dell'opera e completezza del sistema di monitoraggio automatico.

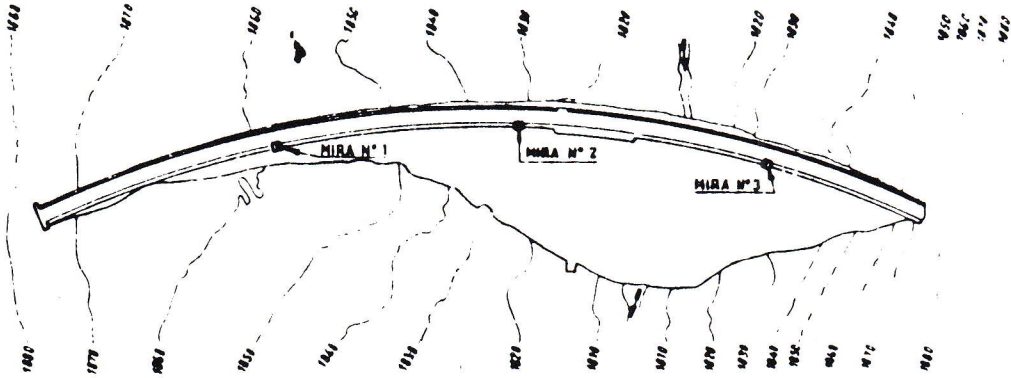
È previsto il controllo in linea con modelli.

10. Bibliografia

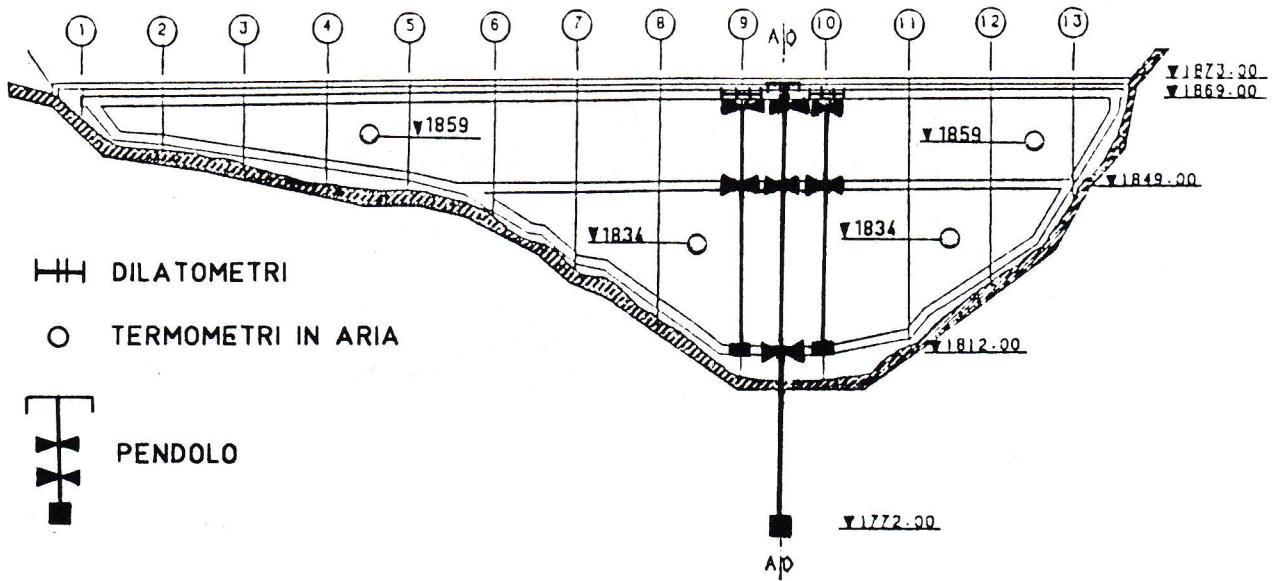
- ANIDEL:
«Le dighe di ritenuta degli impianti idroelettrici italiani» - Vol. III - Milano 1952.
- ENEL:
«Comportamento delle grandi dighe dell'ENEL» - Roma 1980.
- ISMES:
«Diga di Piano Barbellino. Descrizione del sistema automatico di monitoraggio dell'opera» - Bergamo 1985.

DIGA DEL PIANO BARBELLINO

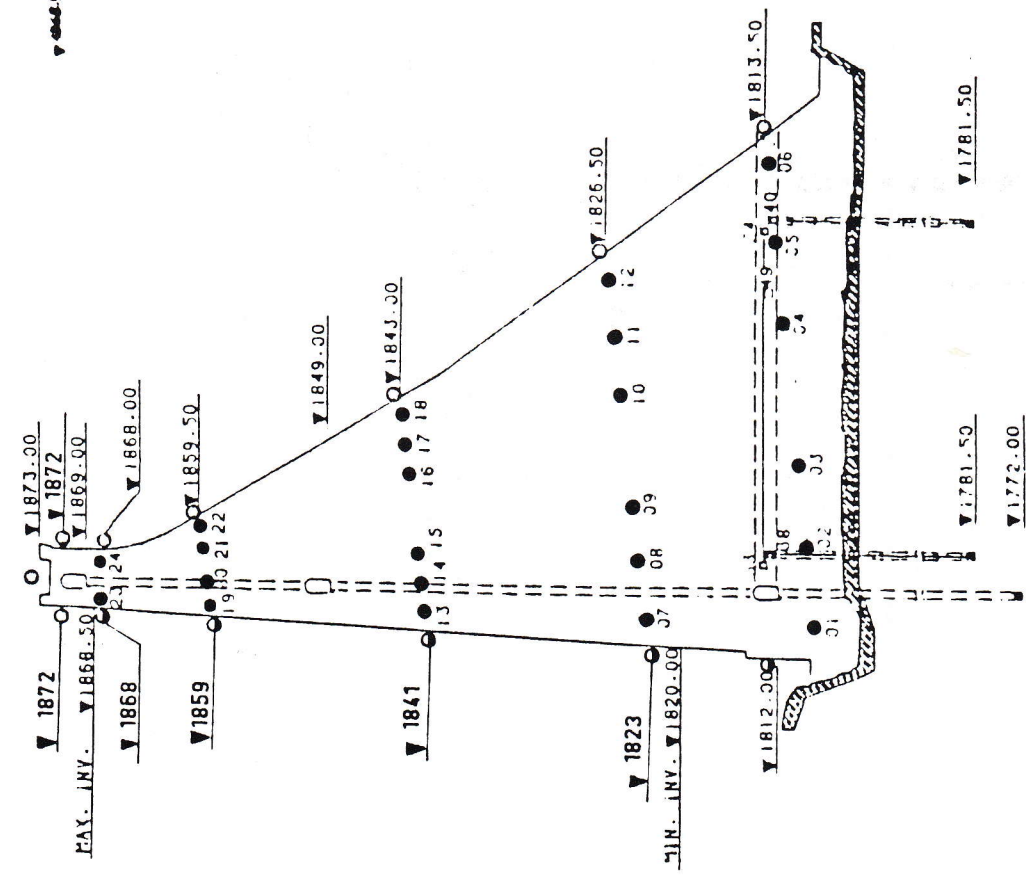
UBICAZIONE DELLE MIRE MOBILI PLANIMETRIA



SVILUPPO LONGITUDINALE IN ASSE CUNICOLI - VISTA DA VALLE

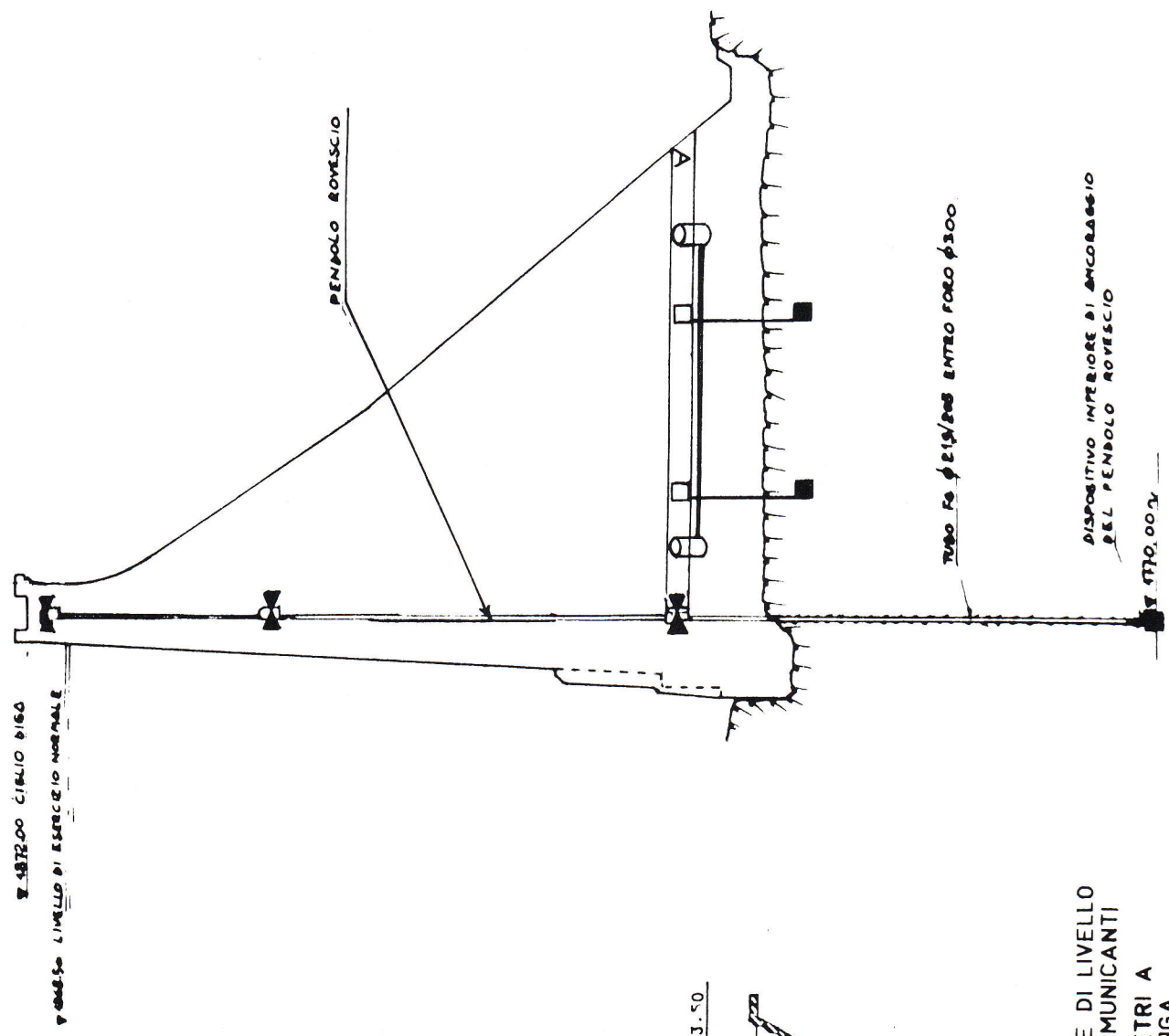


SEZIONE TRASVERSALE A-A



- TERMOMETRI NEL C.L.S.
- TERMOMETRI IN ARIA
- ◐ TERMOMETRI CORTICALI IN ACQUA

- INDICATORE DI LIVELLO A VASI COMUNICANTI
- ◐ ESTENSIMETRI A BASE LUNGA
- ◑ MISURATORE DI PERDITE



DIGA DEL PASSANTE

(costruzione 1970-75)

1. Finalità

Uso plurimo definito da una convenzione con la Cassa per il Mezzogiorno: regolazione dei deflussi dei F. Passante (alto Alli) e Simeri, con i suoi affluenti Ferro e Ortica, per produzione di energia nelle due Centrali in serie di Albi e Magisano e per il soddisfacimento di fabbisogni potabili (città di Catanzaro e comuni limitrofi) ed irrigui.

2. Ubicazione

Sul Fiume Passante in località Case Polimieri, nei comuni di Taverna e Sorbo S. Basilio, Provincia di Catanzaro.

3. Dati principali

| | | |
|--|----------|---------|
| — Livello di ritenuta normale | m s.m. | 1123.00 |
| — Livello di massimo invaso | m s.m. | 1124.00 |
| — Capacità di invaso: | | |
| * complessiva | mc 10**6 | 38.40 |
| * utile | mc 10**6 | 35.00 |
| — Superficie del bacino imbrifero: | | |
| * direttamente sotteso | kmq | 30.00 |
| * allacciato | kmq | 40.00 |
| — Portate delle opere di scarico: (con invaso alla quota di massimo invaso) | | |
| * superficie | mc/sec | 68.70 |
| * fondo | mc/sec | 104.80 |

4. Notizie geologiche del bacino

L'area interessata dall'invaso ha la morfologia tipica dell'altipiano Silano, caratterizzata da modesti rilievi per lo più dalle forme rotondeggianti e pendii generalmente poco acclivi. Il fondo valle è colmato da depositi alluvionali recenti e attuali, a volte terrazzati, sovrapposti al complesso metamorfico antico costituente il basamento roccioso e generalmente affiorante sulle pendici.

Il complesso metamorfico è costituito da rocce cristalline a tessitura generalmente scistosa ed a composizione prevalentemente quarzoso-feld-spatico-micacea, con prevalenza ora dell'uno ora dell'altro dei costituenti fondamentali.

Tutte le diverse unità litologiche del complesso metamorfico antico si presentano più o meno intensamente fratturate e, frequentemente, degradate ed alterate nella fascia superficiale e fino a profondità variabili da luogo a luogo, con un massimo di qualche decina di metri.

5. Notizie geologiche della fondazione

Sulla sponda destra, in alveo sotto una coltre alluvionale di spessore molto modesto, e nella parte inferiore della sponda sinistra è presente una formazione di «scisti bianchi».

Nella parte alta della sponda sinistra affiorano «gneiss a biotite».

6. Caratteristiche della diga

— Tipo

A gravità massiccia in calcestruzzo, tracimabile in corrispondenza dell'alveo, ad andamento planimetrico costituito da due rettilinei, raccordati tra loro con curva ad ampio raggio.

— Dati geometrici principali

| | | |
|---|--------|---------|
| — Quota coronamento | m s.m. | 1125.00 |
| — Altezza del coronamento: | | |
| * sul punto più depresso delle fondazioni | m | 71.00 |
| * sul piano dell'alveo a valle | m | 66.00 |
| — Franco del coronamento: | | |
| * sul livello normale di ritenuta | m | 2.00 |
| * sul livello di massimo invaso | m | 1.00 |
| — Sviluppo del coronamento | m | 450.00 |

| | | |
|------------------------------|----|--------|
| — Spessore in sommità | m | 6.00 |
| — Inclinazione (scarpa) del: | | |
| * paramento di monte | | 0.03 |
| * paramento di valle | | 0.72 |
| — Volume nella diga | mc | 310000 |

7. Rete di monitoraggio

| Grandezze misurate | Tipo di sensore | N° punti di misura | Frequenze |
|--|-------------------------------|---|---------------|
| Livello invaso | bilancia idrostatica | 1 | giornaliera |
| | teleidrometro | 1 | giornaliera |
| | asta idrometrica | 1 | giornaliera |
| Temperatura aria | termom. a max. e min. | 1 | giornaliera |
| Temperatura acqua | termom. a immersione | 2 | giornaliera |
| Temperatura calcestr. | termom. elettrico | 20 | bisettimanale |
| Spost. verticali | livell. geometrica | anello chiuso che comprende corona- mento, spalle, piede di valle e cunicoli. | trimestrale |
| Spost. verticali | livell. idrostatica | ancora non funzionante | |
| Spost. orizzontali | collimatore automatico | 4 | oraria |
| Spost. orizzontali | pendoli rovesci | 4 | giornaliera |
| Rotazioni | catene clinometriche | 3 | quindicinale |
| Perdite | stramazzi | 2 | giornaliera |
| Press. interstiziali in fondazione | piezometri elettroacustici | 9 | settimanale |
| Sottopressioni | manometri | 20 | settimanale |
| Livelli di falda a valle | piezom. a tubo aperto | 10 | settimanale |
| Deformazione rocciosa | estensimetri multipunto | 4 | settimanale |
| Velocità sismica roccia di fondazione | catene di idrofoni | 3 | saltuaria |

8. Il sistema di monitoraggio è realizzato tramite misure in parte eseguite dall'uomo e parte automatiche, solo parzialmente centralizzate in apposita cabina presso l'opera di presa.
Non esiste confronto sistematico con dati previsionali.

9. Nell'area dell'invaso è installata una rete microsismica, costituita da 8 stazioni sismometriche, una delle quali tridirezionale, collegate via radio alla centrale di acquisizione e registrazione ubicata presso la cabina di manovra dell'opera di presa.

10. L'impianto è stato riportato come esempio significativo di diga in muratura eseguita su roccia di fondazione di caratteristiche scadenti.

10. Bibliografia

— T. SILVESTRI:

«Rocmeter measurements and other checks on dam foundation» - International Symposium on Field Measurement in Rock Mechanics - Zurigo, Aprile 1977.

— G. MANFREDINI, S. MARTINETTI, R. RIBACCHI, T. SILVESTRI:

«Controllo del comportamento delle fondazioni della diga a gravità sul F. Passante»
Atti del III Congresso Nazionale di Geotecnica - Merano, Giugno 1978.

— E. CARABELLI:

«Reservoir du Passante: reseau microsismique»

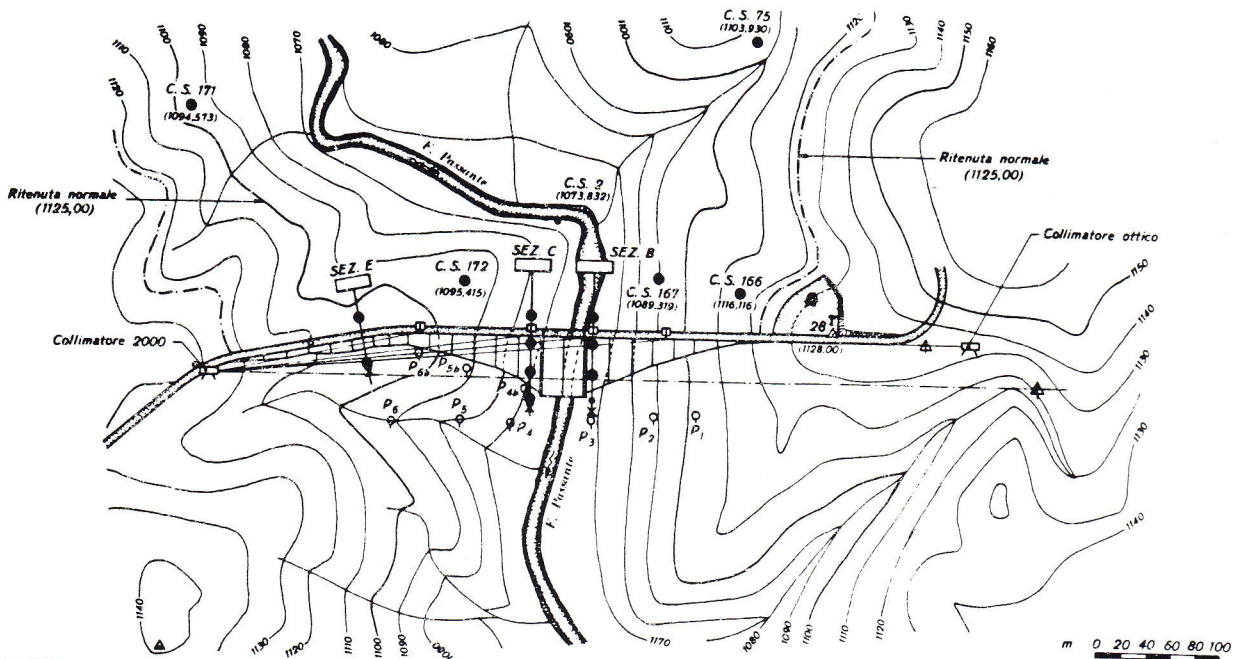
Thirteenth international Congress of large dams - New Delhi - 1979 - Vol. V - Minutes of the Sessions - pag. 638 e segg.

- ISMES:
«Reti microsismiche per il controllo dei bacini idroelettrici» - ISMES News - Anno V, n. 2, Dicembre 1982.
- E. CARABELLI, A. MARAZIO, C. PALMERINI:
«Le reti di controllo microsismico nei campi geotermici e nei serbatoi idroelettrici»
ENEL - Rassegna Tecnica n. 6, 1982.
- P. BONALDI, G. MANFREDINI, S. MARTINETTI, R. RIBACCHI, T. SILVESTRI:
«Foundation rock behaviour of the Passante dam» - ISRM 5° International Congress on Rock Mechanics - Melbourne, 1983.
- E. BARONE:
«Utilizzazione promiscua delle acque dei bacini silani del versante Ionico catanzarese»
ENEL - Rassegna tecnica n. 6, 1983 - n. 1, 1984.

DIGA DEL PASSANTE

UBICAZIONE DEGLI STRUMENTI DI MISURA E DI CONTROLLO

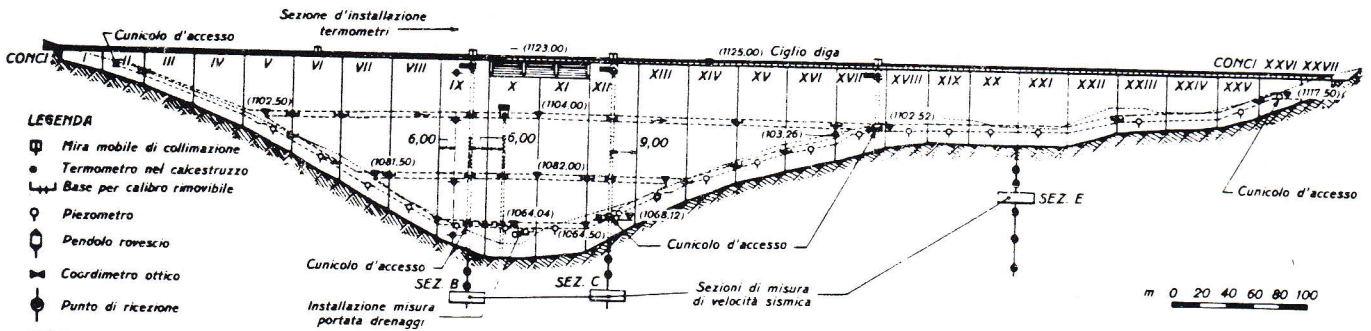
PLANIMETRIA



LEGENDA

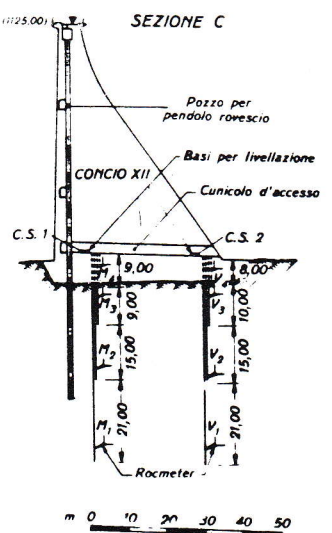
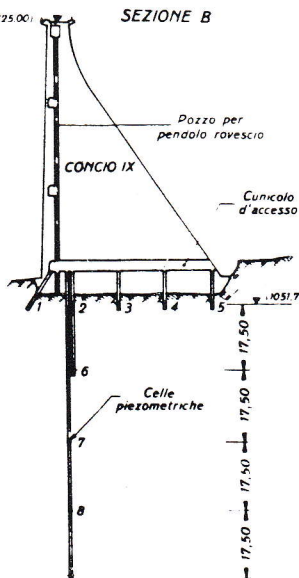
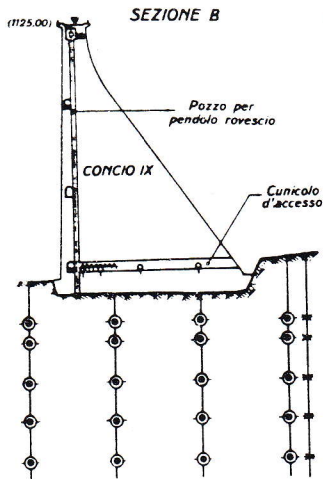
- Mira mobile di collimazione
- △ Mira fissa di collimazione
- Base stazione collimatore
- Caposaldo di livellazione
- △ Caposaldo di triangolazione
- * Punto di scoppio

SEZIONE LONGITUDINALE



LEGENDA

- Mira mobile di collimazione
- Termometro nel calcestruzzo
- Base per calibro rimovibile
- Piezometro
- Pendolo rovescio
- Coordimetro ottico
- Punto di ricezione
- Telecoordinografo
- Rocmeter
- Catena clinometrica
- * Punto di scoppio



m 0 10 20 30 40 50

DIGA DI VAGLI
(costruzione 1941-46
sovralzo 1952-53)

1. Finalità

Regolazione annuale dell'energia producibile dal sistema di impianti idroelettrici del basso Serchio.

2. Ubicazione

In una conca pianeggiante solcata dal Torrente Edron, affluente di destra del Serchio, nel versante Nord delle Alpi Apuane, in comune di Vagli Sotto, Provincia di Lucca.

3. Dati principali

| | | |
|--|----------|--------|
| — Livello di ritenuta normale | m s.m. | 560.00 |
| — Livello di massimo invaso | m s.m. | 560.00 |
| — Capacità di invaso: | | |
| * complessiva | mc 10**6 | 34.00 |
| * utile | mc 10**6 | 31.70 |
| — Superficie del bacino: | | |
| * direttamente sotteso | kmq | 37.00 |
| * allacciato | kmq | 178.00 |
| — Portate delle opere di scarico: (con invaso alla quota di massimo invaso) | | |
| * superficie | mc/sec | 202.00 |
| * intermedio | mc/sec | 80.00 |
| * fondo principale | mc/sec | 112.00 |
| * esaurimento | mc/sec | 12.00 |

4. Notizie geologiche del bacino

L'area interessata dal bacino si trova tra la successione toscana metamorfica (costituita da calcari metamorfici grigi di aspetto saccaroide, da scisti sericitici verdastri grigiastri e rossastri molto spie-gazzati e presentanti piani di scistosità, da arenarie quarzoso-feldspatiche-micacee con rare interca-lazioni argillose grigie) e quella non metamorfica (costituita da calcari dolomitici brecciati e caver-nosi e da orizzonti di calcari marnosi stratificati).

5. Notizie geologiche della fondazione

È interamente incisa nel complesso carbonatico del Lias medio formato essenzialmente da calcari grigio scuri fittamente stratificati intercalati ritmicamente a marne calcaree.

6. Caratteristiche della diga

— Tipo

Diga a gravità massiccia in calcestruzzo ad andamento planimetrico arcuato.

L'opera è stata realizzata in due fasi successive, la prima di altezza pari a 65.50 m. e la seconda mediante sovralzo di 30 metri.

— Dati geometri principali

| | | |
|---|--------|--------|
| — Quota coronamento | m s.m. | 563.00 |
| — Altezza del coronamento sul punto più depresso delle fondazioni | m | 95.50 |
| — Franco del coronamento: | | |
| * sul livello normale di ritenuta | m | 3.00 |
| * sul livello di massimo invaso | m | 3.00 |
| — Sviluppo del coronamento | m | 150.00 |
| — Raggio medio di curvatura planimetrica al coronamento | m | 150.00 |
| — Inclinazione: | | |
| * paramento di monte | | 0.05 |
| * paramento di valle | | 0.80 |
| — Volume nella diga | mc | 180000 |

7. Rete di monitoraggio

| Grandezze misurate | Tipo di sensore | N° punti di misura | Frequenze |
|--|----------------------|--------------------|--------------------|
| Livello invaso | bilancia idrostatica | 1 | plurigiornaliera/A |
| Temperatura aria | termoresistenza | 5 | plurigiornaliera/A |
| Temperatura acqua | termoresistenza | 6 | plurigiornaliera/A |
| Temperatura calcestr. | termoresistenza | 14 | plurigiornaliera/A |
| Spost. orizzontali | | | |
| Collimazione angolare al coronamento | teodolite | 3 | trimestrale |
| 2 pendoli rovesci | coordinometri | 7 | settimanale |
| | telecoordinometri | 6 | plurigiornaliera/A |
| Spost. verticali | | | |
| 3 livell. idrostatiche | livellometro | 17 | plurigiornaliera/A |
| Rotazioni | livellometro | 4 | plurigiornaliera/A |
| Dilatazioni giunti | teledilatometri | 9 | plurigiornaliera/A |
| Sottopressioni | piez. a corda vibr. | 4 | plurigiornaliera/A |
| Perdite | stramazzo misuratore | 1 | plurigiornaliera/A |
| Controllo spostamenti orizzontali dei punti fissi della collimazione angolare | mekometro | 2 | semestrale |
| Spostamento orizzontale delle mensole al coronamento | mekometro | 10 | semestrale |

A = sensori ad acquisizione automatica

8. Esiste un sistema di monitoraggio che permette il controllo continuo delle grandezze (A); i rimanenti sensori sono acquisiti manualmente.

Affiancati ai punti di misura automatici sono ripetuti punti di misura predisposti per l'acquisizione manuale effettuata periodicamente.

È stato realizzato un modello di tipo deterministico per il controllo del comportamento dell'opera attualmente utilizzato fuori linea.

9. Bibliografia

— ANIDEL:

«Le dighe di ritenuta degli impianti idroelettrici italiani» - Vol. V (1951).

— ENEL:

«Le dighe di ritenuta degli impianti idroelettrici italiani» - Vol IV - Roma 1980.

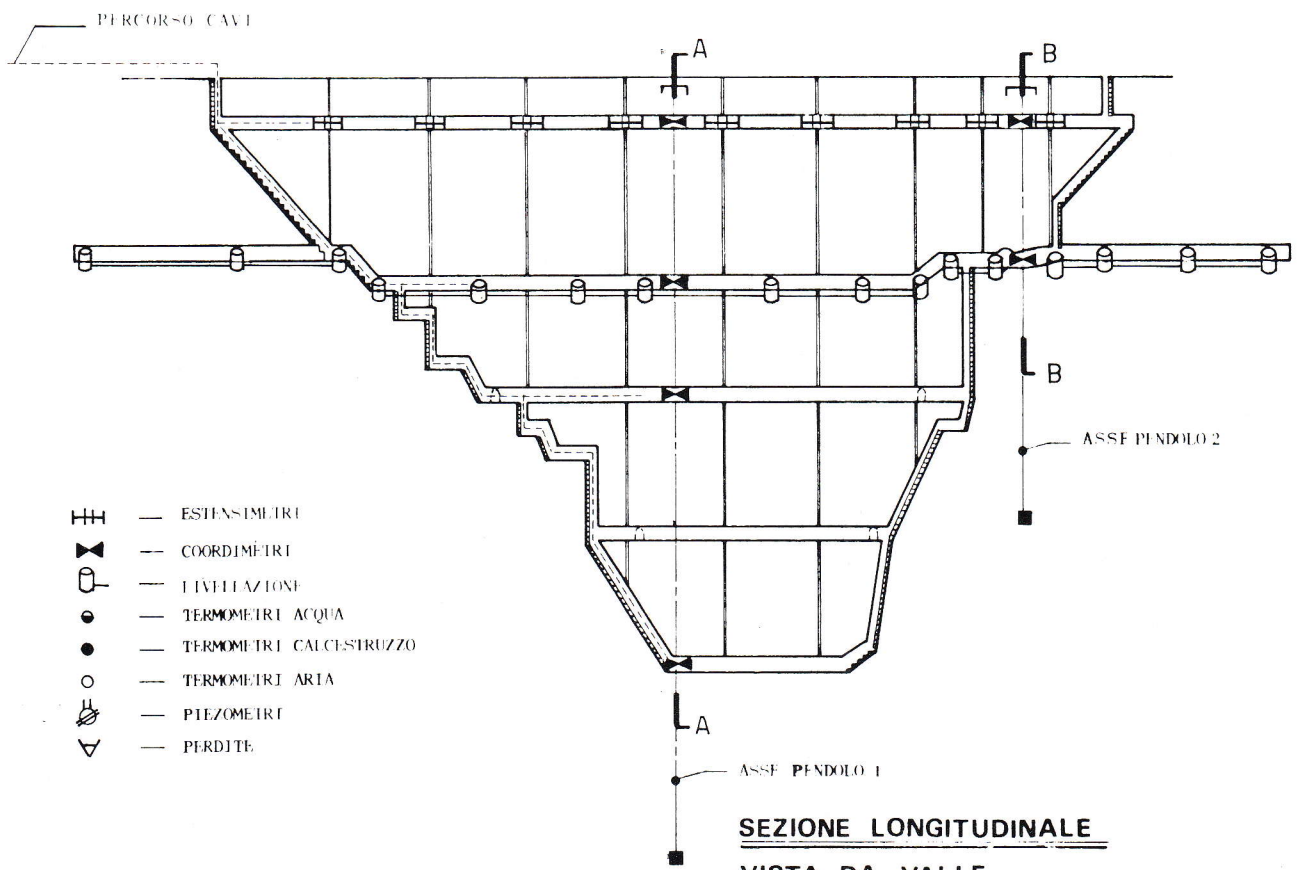
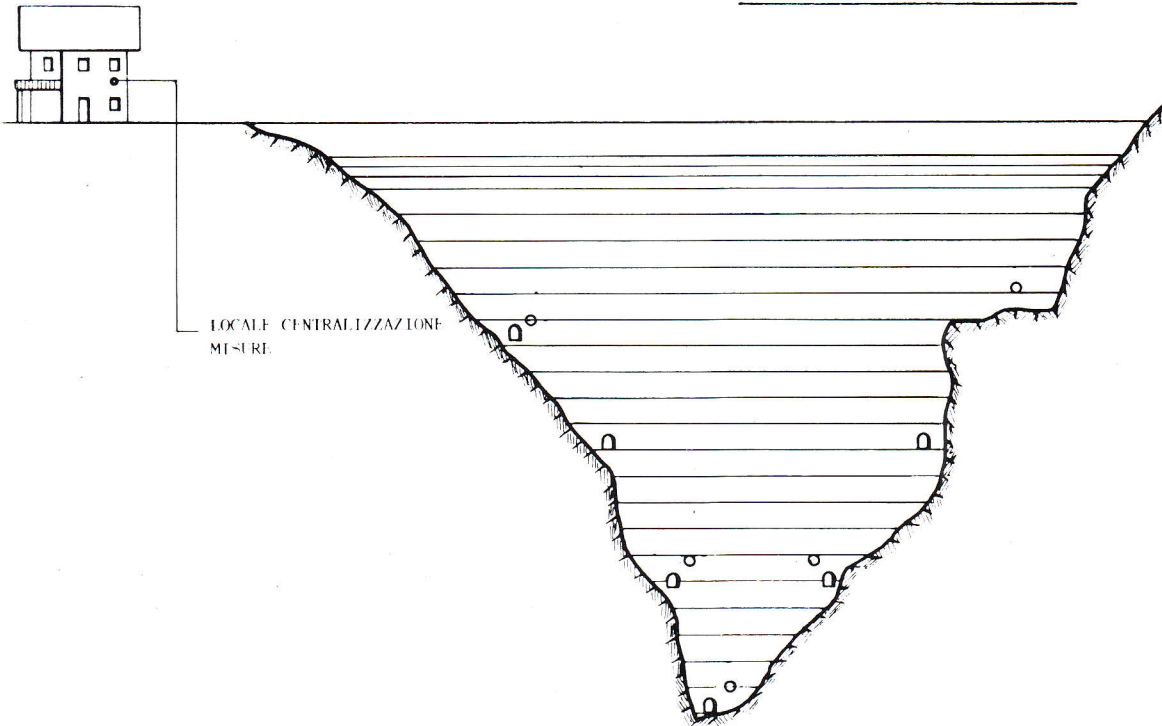
— A. ANESA, P. BONALDI, G. FANELLI, G. GIUSEPPETTI, M. SPERINDÉ:

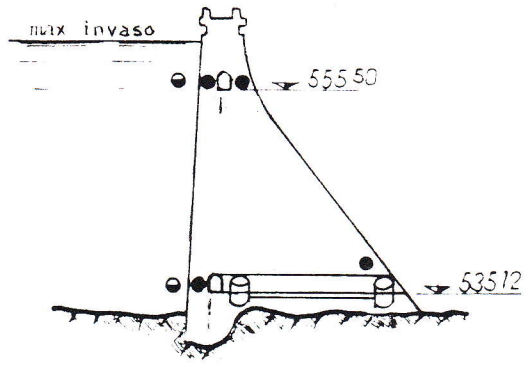
«Models mathematiques et systems d'acquisition et d'elaboration pour le controle continu des grandes structures: dix anneex d'experience» - III° Colloque International Fiabilite et Maintenablete, Toulouse 1982.

DIGA DI VAGLI

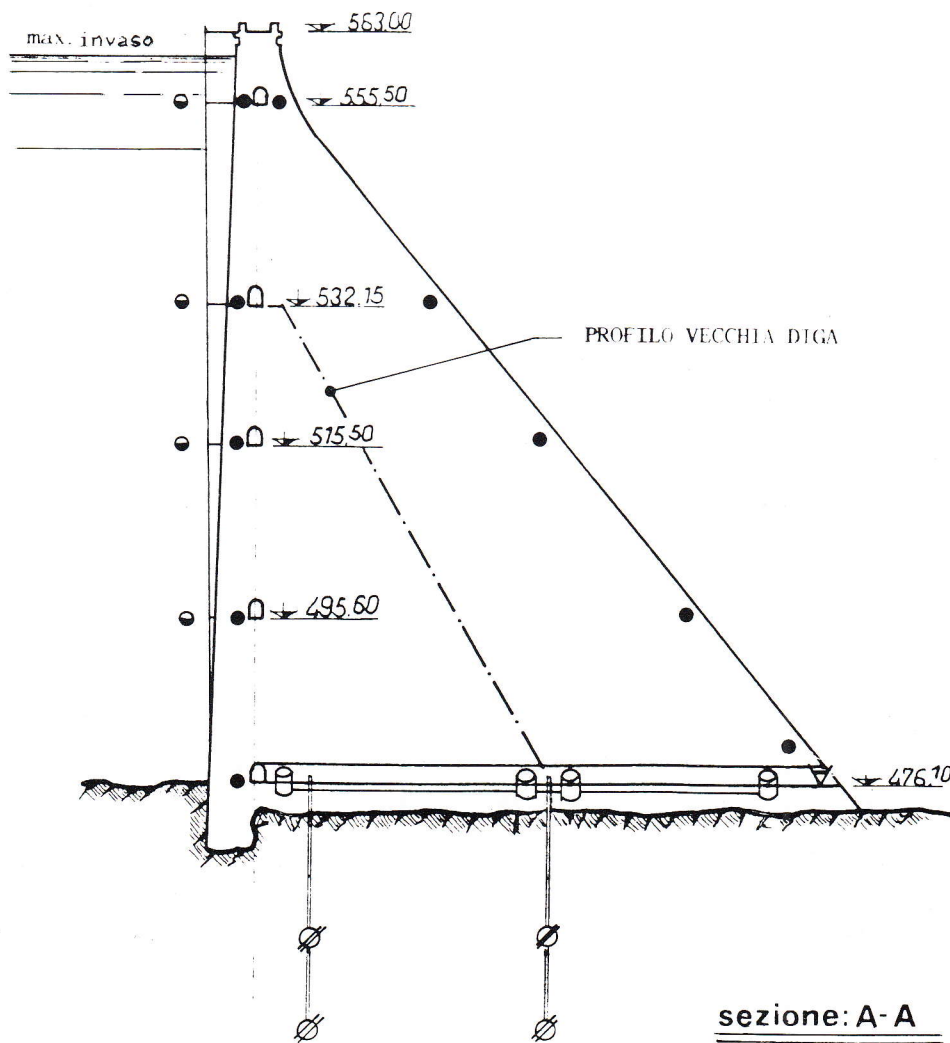
UBICAZIONE SENSORI

PROSPETTO DA VALLE

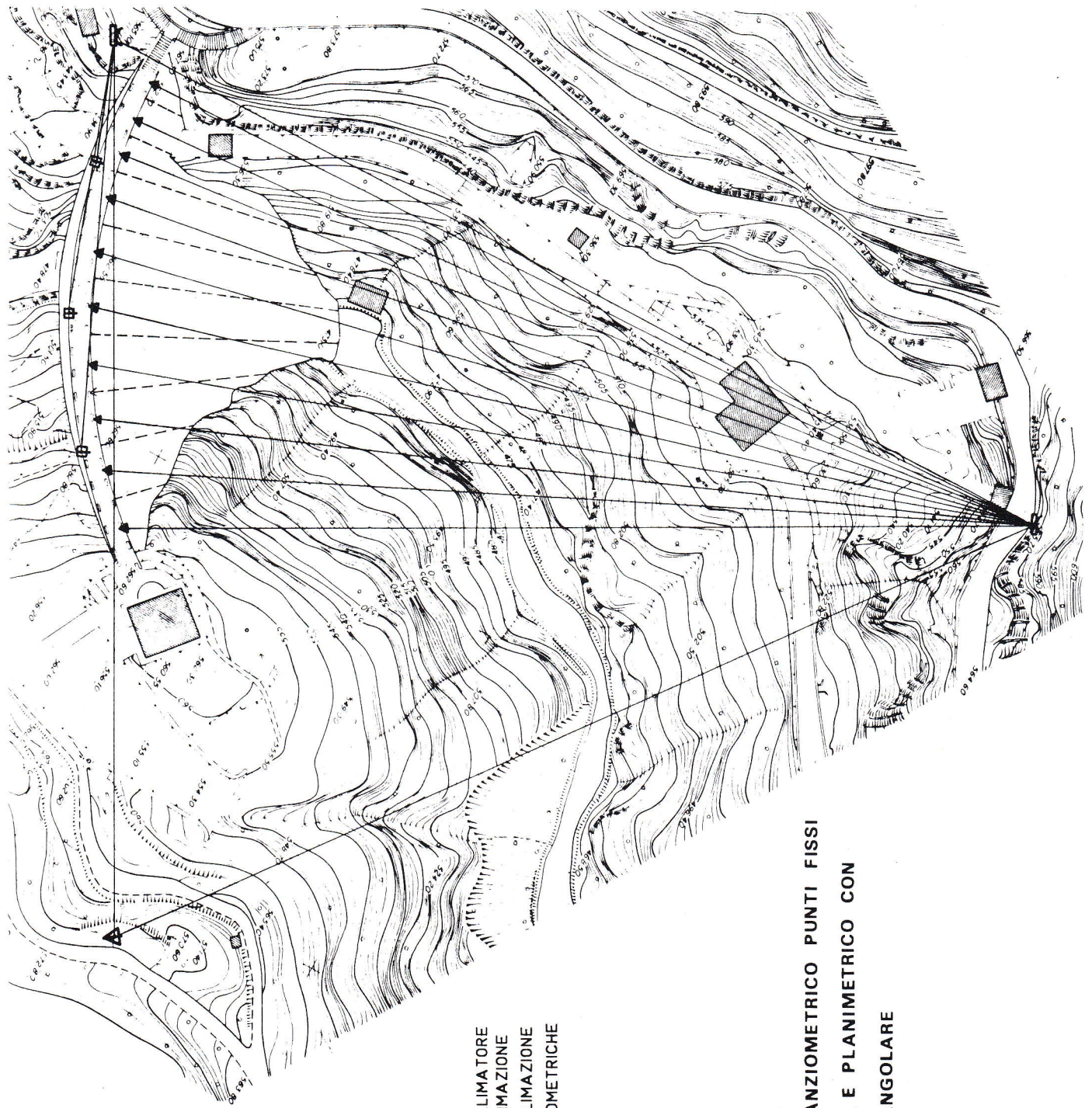




sezione: B-B



sezione: A-A



- ▣ BASE STAZIONE COLLIMATORE
- ▲ MIRA FISSA DI COLLIMAZIONE
- MIRA MOBILE DI COLLIMAZIONE
- ▲ POSTAZINI DISTANZIOMETRICHE

CONTROLLO DISTANZIOMETRICO PUNTI FISSI
 E MENSOLE DIGA, E PLANIMETRICO CON
 COLLIMAZIONE ANGOLARE

DIGA DELLA FEDAIA

(costruzione 1952-56)

1. Finalità

Regolazione annuale dell'energia producibile negli impianti idroelettrici del Cordevole e successivamente del Piave, unitamente ai serbatoi del lago di Alleghe e del Mis.

Il serbatoio è contenuto a monte dalla diga di Maria al lago.

2. Ubicazione

Il serbatoio occupa parte del piano di valico della Fedaiia ai piedi del ghiacciaio della Marmolada in comune di Canazei, Provincia di Trento.

3. Dati principali

| | | |
|--|----------|---------|
| — Livello di ritenuta normale | m s.m. | 2053.00 |
| — Livello di massimo invaso | m s.m. | 2053.50 |
| — Capacità di invaso: | | |
| * complessiva | mc 10**6 | 16.60 |
| * utile | mc 10**6 | 16.00 |
| — Superficie del bacino imbrifero: | | |
| * direttamente sotteso | kmq | 8.20 |
| * allacciato | kmq | 11.50 |
| — Portate delle opere di scarico: (con invaso alla quota di massimo invaso) | | |
| * superficie | mc/sec | 32.00 |
| * intermedio | mc/sec | 25.00 |
| * fondo | mc/sec | 53.78 |

4. Notizie geologiche del bacino

Il pianoro di valico è delimitato a sud dal massiccio della Marmolada costituito da calcari del Ladinico. Il pianoro è ricoperto da un accumulo di tufi incoerenti minuti misti a grossi blocchi di tufi porfirici.

5. Notizie geologiche della fondazione

Il lato occidentale della conca dove è stata impostata la diga è delimitato da una superficie rocciosa costituita da roccia sana appartenente ai calcari del Ladinico.

6. Caratteristiche della diga

— Tipo

La diga è del tipo a speroni in calcestruzzo; la struttura è completata sulle spalle da tronchi a gravità massiccia.

L'andamento planimetrico è a spezzata poligonale.

— Dati geometrici principali

| | | |
|--|--------|---------|
| — Quota coronamento | m s.m. | 2054.50 |
| — Altezza del coronamento sul punto più depresso delle fondazioni | m | 56.50 |
| — Franco del coronamento: | | |
| * sul livello normale di ritenuta | m | 1.50 |
| * sul livello di massimo invaso | m | 1.00 |
| — Sviluppo del coronamento: | | |
| * tronco a speroni | m | 342.00 |
| * tronco a gravità in sinistra | m | 47.00 |
| * tronco a gravità in destra | m | 233.20 |
| — Spessori: | | |
| * al coronamento | m | 6.00 |
| * alla base | m | 39.94 |
| — Volume diga | mc | 165000 |

7. Rete di monitoraggio

| Grandezze misurate | Tipo di sensore | N° punti di misura | Frequenze |
|--------------------|---------------------------|--------------------|-----------------|
| Livello invasivo | idrometrografo | 1 | giornaliera/A |
| Temperatura aria | termometri a resist. | 4 | bisettimanale/A |
| Temperatura acqua | termometri a resist. | 4 | bisettimanale/A |
| Temperatura c.l.s. | termometri a resist. | 50 | bisettimanale/A |
| Spost. verticali | livellazione | | annuale |
| Spost. orizzontali | filo a piombo | 1 | bisettimanale/A |
| Spost. orizzontali | mire collimazione | 5 | settimanale |
| Perdite | | 7 | settimanale |
| Deformazioni | termoestensimetri | 31 gruppi | bisettimanali |
| Spost. orizzontali | coordinom. ai giunti | 17 | settimanale |
| Spost. orizzontali | dilat. removib. ai giunti | 17 + 6 | settimanale |
| Sottopressioni | piezometri | 57 | settimanale |

A = sensori ad acquisizione automatica

8. Il sistema di monitoraggio è realizzato tramite:

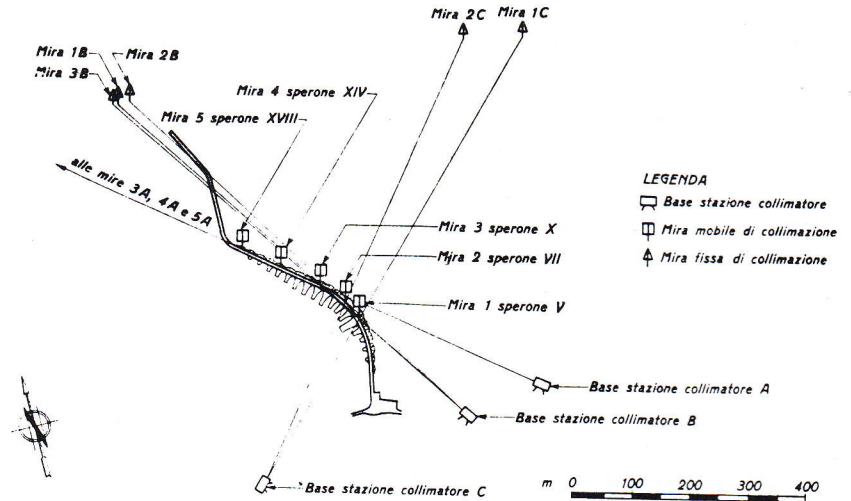
- letture eseguite dall'uomo in parte distribuite nella struttura ed in parte centralizzate in casa di guardia
- letture automatiche con soluzione centralizzata.

9. Bibliografia

- ANIDEL:
«Le dighe di ritenuta degli impianti idroelettrici italiani» - Vol. I.
- G. DAL PIAZ:
«La conca della Fedaia - Studio geologico per la creazione di un serbatoio idraulico»
Memoria dell'Istituto Geologico dell'Università di Padova (1947-48).
- E. SEMENZA:
«Diga della Fedaia; criteri di scelta del tipo di sbarramento» - L'Acqua 7/8 1956.
- ENEL:
«Le dighe di ritenuta degli impianti idroelettrici italiani» - Vol. I - Roma 1974.

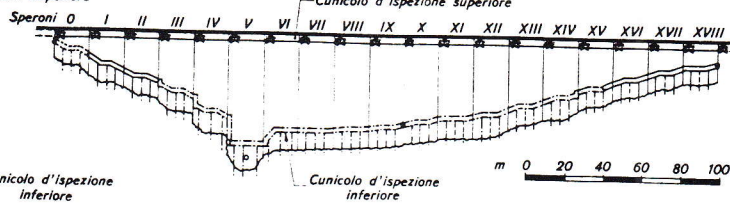
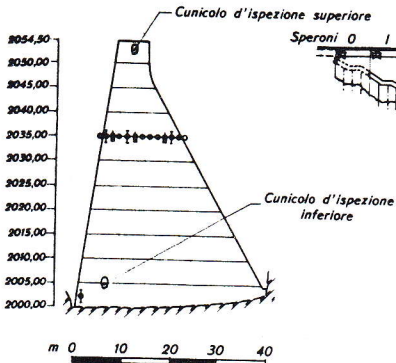
DIGA DELLA FEDAIA

SCHEMA DELLA COLLIMAZIONE

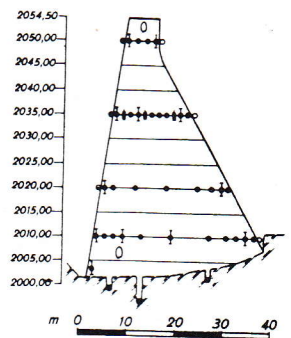


UBICAZIONE DEGLI STRUMENTI DI MISURA E DI CONTROLLO NELLA DIGA A SPERONI DISPOSIZIONE DEI PIEZOMETRI, TERMOMETRI, ESTENSIMETRI, DILATOMETRI E UMIDOMETRI

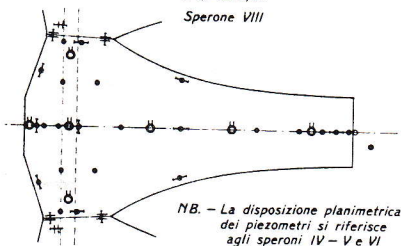
SEZIONE TRASVERSALE
Sperone VI



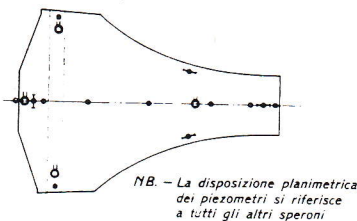
SEZIONE TRASVERSALE
Sperone VIII



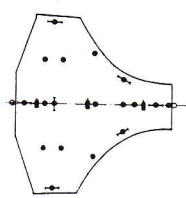
SEZIONE ORIZZONTALE
A Q. 2010,00
Sperone VIII



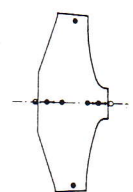
SEZIONE ORIZZONTALE
A Q. 2020,00
Sperone VIII



SEZIONE ORIZZONTALE
A Q. 2035,00
Speroni VI e VIII



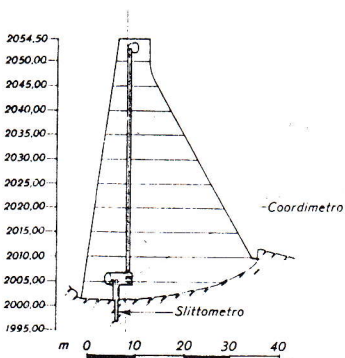
SEZIONE ORIZZONTALE
A Q. 2050,00
Sperone VIII



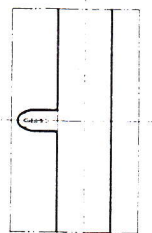
m 0 5 10 15 20

SPERONE VII DISPOSIZIONE DEL COORDIMETRO E DELLO SLITOMETRO

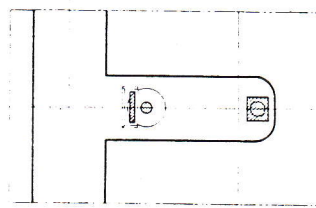
SEZIONE SULL'ASSE



Particolare del punto di sospensione del coordimetro nel cunicolo a q. 2051,50



Particolare del cunicolo inferiore sull'asse dello sperone con la disposizione dello slittometro e del coordimetro



LEGENDA

- Piezometro
- Termometro in aria
- Termometro in acqua
- Termometro nel calcestruzzo e in roccia
- Gruppo di n 5 estensimetri, di cui 1 verticale, 1 orizzontale, 2 inclinati a 45° e 1 isolato
- Dilatometro
- Umidometro
- ▲ Clinometro
- Coordimetro
- ↑ Slittometro

DIGA DI CORBARA

(costruzione 1959-63 - realizzazione controsperoni di rinforzo 1981-84)

1. Finalità

Regolazione mensile dell'energia producibile nella Centrale di Baschi e nelle successive centrali ad acqua fluente del Tevere.

2. Ubicazione

Nello stretto di Corbara sul fiume Tevere, in comune di Orvieto, Provincia di Terni.

3. Dati principali

| | | |
|--|----------|---------|
| — Livello di ritenuta normale | m s.m. | 138.00 |
| — Capacità di invaso: | | |
| * complessiva | mc 10**6 | 190.00 |
| * utile | mc 10**6 | 135.00 |
| — Superficie del bacino imbrifero | kmq | 6075.00 |
| — Portate delle opere di scarico: (con invaso alla quota di massimo invaso) | | |
| * superficie | mc/sec | 1380.00 |
| * fondo | mc/sec | 1160.00 |

4. Notizie geologiche del bacino

Il serbatoio interessa una superficie costituita da:

- formazione di marne più o meno calcarifere e compatte a grossi banchi o straterellate e scistose con intercalazioni argillose nella parte più a valle del bacino;
- «scaglia» cinerea con alternanza di «scaglia» rosata e calcari bianchi compatti selciferi nella parte centrale del bacino;
- arenarie, scisti argillosi, calcari arenacei e marnosi nella parte a monte del bacino.

5. Notizie geologiche della fondazione

Parte superiore sponda sinistra: arenarie, scisti argillosi, calcari arenacei e marnosi.

Sponda destra e alveo: marne compatte in banchi.

6. Caratteristiche della diga

— Tipo

La diga è suddivisa in due tipi di struttura: a gravità in parte massiccia ed in parte alleggerita ad andamento lievemente arcuato, in terra con nucleo di tenuta mediano subverticale (in sponda sinistra) ad andamento rettilineo.

In una seconda fase sono stati realizzati controsperoni di rinforzo della parte di diga a gravità alleggerita.

— Dati geometrici principali

| | | Parte in calcestruzzo | Parte in terra |
|---|--------|--------------------------|-------------------|
| — Quota coronamento | m s.m. | 139.00 | 140.50 |
| — Altezza del piano di coronamento sul punto più depresso delle fondazioni | m | 52.00 | 30.00 |
| — Franco del coronamento: | | | |
| * sul livello di ritenuta normale | m | 1.00 | 2.50 |
| — Sviluppo del coronamento | m | 416.00 | 224.00 |
| — Volume nella diga | mc | 440000 | 550000 |

7. Rete di monitoraggio

| Grandezze misurate | Tipo di sensore | N° punti di misura | Frequenze |
|--|---------------------------------|--------------------|----------------------|
| Livello invaso | bilancia idrostatica | 1 | giornaliera/A |
| Temperatura aria | termom. a max e min. | 1 | giornaliera |
| Temp. acqua sup. | termom. ad immers. | 1 | giornaliera |
| Temp. acqua —5 m. | termom. ad immers. | 1 | giornaliera |
| Temperatura calcestr. | termometri elettrici | 175 | mensile/A |
| Spessore neve | stadia | | giornaliera |
| Pioggia | pluviometro | 1 | giornaliera |
| Spost. orizzontali: | | | |
| Pendoli dritti | coordinometro ottico | 2 | mensile |
| | telecoordinometro | 2 | mensile/A |
| Pendoli rovesci | coordinometro ottico | 16 | mensile |
| | telecoordinometro | 16 | mensile/A |
| Collimaz. al coron. | collimatore ottico | 18 | mensile |
| Spostamenti verticali | | | |
| Livellazioni | livello ottico | 68 | trimestrale |
| Rotazioni | catene clinometriche | 20 | mensile |
| Sottopressioni e pressioni interstiz. | piezometri con trasduttori | 73 | mensile/A |
| | piezometri a cella | 47 | mensile/A |
| Deformazioni | estensimetri multib. calibri | 74 34 | mensile/A mensile |
| Giunti | dilatometri | 54 | mensile/A |
| Assestamenti | assestimetri | 36 | trimestrale |
| Perdite | misuratori di portata | 8 | giornaliera/A |

A = sensori ad acquisizione automatica

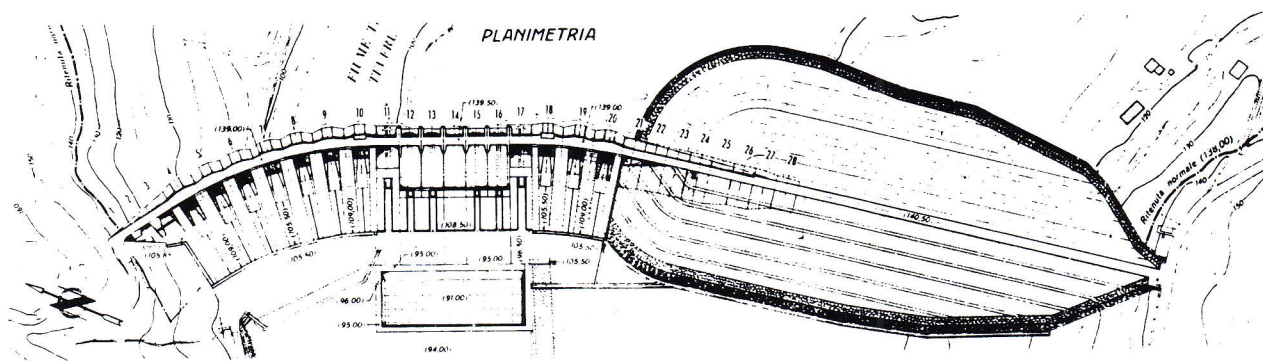
8. Il sistema di monitoraggio è automatico con possibilità di controllo continuo delle grandezze (A); le rimanenti grandezze sono acquisite manualmente.

È stato realizzato un modello deterministico che simulasse il comportamento dell'opera e della fondazione durante la costruzione dei controsperoni. Attualmente tale modello è utilizzato periodicamente fuori linea per il controllo del comportamento dell'opera durante l'esercizio.

9. Bibliografia

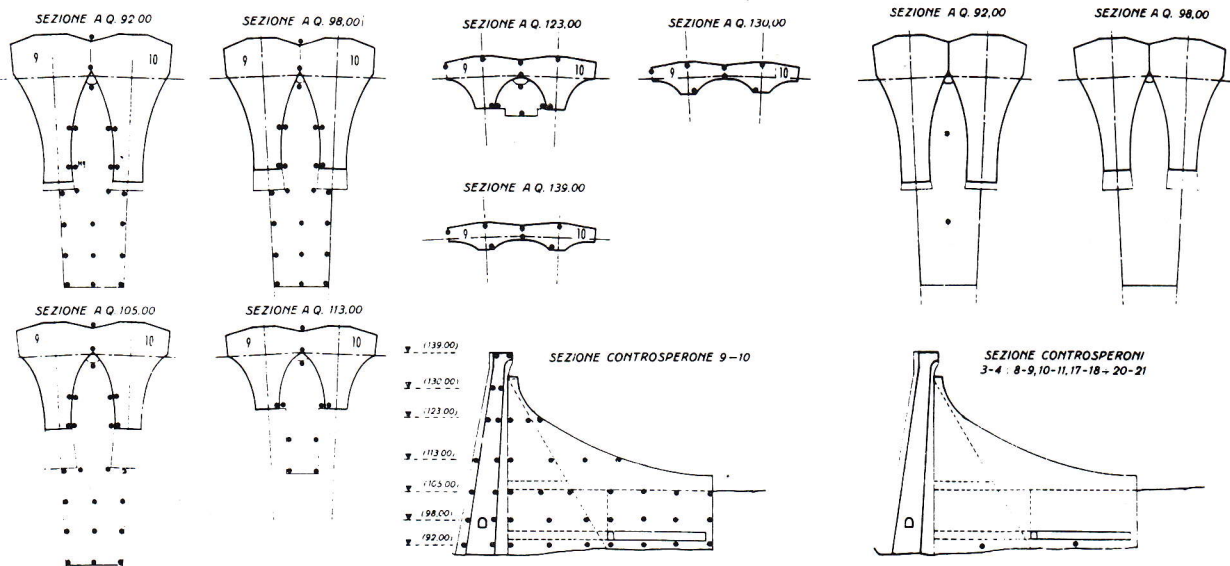
- ENEL:
«Le dighe di ritenuta degli impianti idroelettrici italiani» - Roma 1984.
- G. VALLINO, G. FORZANO:
«Design criteria for improvement of the concrete buttresses of Corbara dam» - XIV Congress des Grands Barrages - Rio de Janeiro 1982.
- P. BONALDI, G. RUGGERI, G. VALLINO, G. FORZANO:
«Examination of the behaviour of Corbara Dam via numerical simulation provided by mathematical models». XV ICOLD Congress, Lausanne, 1985.

DIGA DI CORBARA

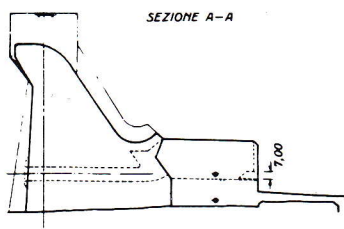
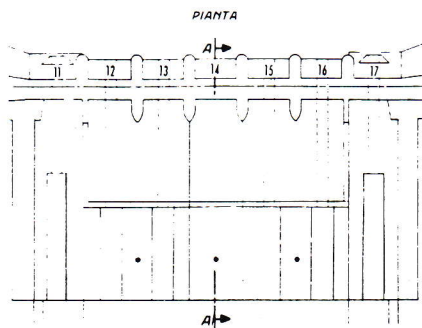


CONCI 9 E 10: UBICAZIONE TERMOMETRI PER SPERONI ESISTENTI E NUOVO CONTROSPERONE

UBICAZIONE TERMOMETRI PER CONTROSPERONI
3-4 8-9,10-11,17-18 20-21

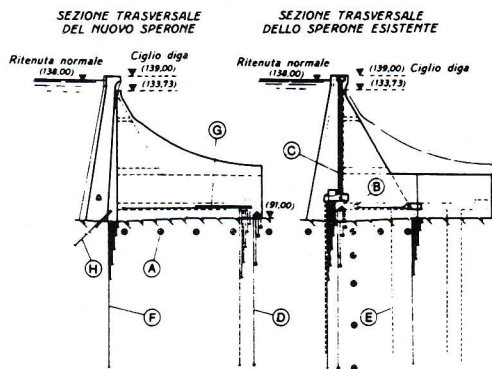


UBICAZIONE TERMOMETRI PER CONTROSPERONI
12-13, 13-14-15, 15-16



m 0 10 20 30 40

UBICAZIONE DEGLI APPARECCHI DI MISURA E DI CONTROLLO
NEGLI SPERONI N. 9 E N. 19 (TIPO A)



m 0 10 20 30 40 50

LEGENDA

- (A) = Piezometri per sottopressione
- (B) = Base per estensimetro
- (C) = Coordimetro
- (D) = Coordimetro rovescio
- (E) = Misure di velocità sismica
- (F) = Estensimetri verticali a 6 basi
- (G) = Estensimetri orizzontali a 2 basi
- (H) = Estensimetri inclinati a 2 basi

DIGA DI CANCANO

(costruzione 1953-56)

1. Finalità

Regolazione stagionale dell'energia producibile negli impianti idroelettrici dell'alta Valtellina. Il serbatoio sommerge la vecchia diga di Cancano, costruita negli anni '24-'29, e va ad interessare il paramento a valle della diga di S. Giacomo per una altezza di 27 m sul fondo valle.

2. Ubicazione

Presso le sorgenti del fiume Adda, in località Cancano di val Fraele in comune di Valdidentro, Provincia di Sondrio.

3. Dati principali

| | | |
|---|----------|---------|
| — Livello di ritenuta normale | m s.m. | 1900.00 |
| — Livello di massimo invaso | m s.m. | 1901.00 |
| — Capacità di invaso: | | |
| * complessiva | mc 10**6 | 123.10 |
| * utile | mc 10**6 | 123.00 |
| — Superficie del bacino: | | |
| * direttamente sotteso | kmq | 36.00 |
| * allacciato | kmq | 326.00 |
| — Portate delle opere di scarico: | | |
| (con invaso alla quota di massimo invaso) | | |
| * superficie | mc/sec | 100.00 |
| * mezzofondo | mc/sec | 55.00 |
| * fondo | mc/sec | 65.00 |

4. Notizie geologiche del bacino

L'ampia conca di origine glaciale che contiene il serbatoio è costituita da banchi di calcari dolomitici del Trias superiore e del Lias inferiore, resistenti, compatti ed a stratificazione regolare e costante con inclinazione verso nord.

L'impermeabilità del bacino è assicurata, oltre che dalla stratificazione favorevole, anche dalla intercanalazione di sottili letti marnosi-argillosi di struttura scistosa.

5. Notizie geologiche della fondazione

La valle assai ristretta è incisa nella roccia avente natura identica a quella del serbatoio.

6. Caratteristiche della diga

— Tipo

La diga è del tipo ad arco-gravità a semplice curvatura praticamente simmetrica rispetto al piano della sezione maestra.

Lo spessore è variabile dalla sommità alla base nelle mensole verticali e dalla chiave all'imposta negli archi orizzontali.

L'opera è dotata del giunto perimetrale continuo che individua il pulvino d'imposta in roccia.

— Dati geometrici principali

| | | |
|--|--------|---------|
| — Quota coronamento | m s.m. | 1902.00 |
| — Altezza del coronamento sul punto più depresso delle fondazioni | m | 136.000 |
| — Franco del coronamento: | | |
| * sul livello normale di ritenuta | m | 2.00 |
| * sul livello di massimo invaso | m | 1.00 |
| — Sviluppo del coronamento | m | 381.00 |
| — Corda dell'arco di fibra media del coronamento | m | 343.40 |
| — Freccia dell'arco di fibra media del coronamento | m | 85.00 |
| — Rapporto tra la corda dell'arco di fibra media del coronamento e la altezza massima della diga | m | 2.50 |

| | | |
|---|-------|--------|
| — Spessore della sezione maestra al coronamento | m | 5.00 |
| — Spessore alla base (imposta sul pulvino) | m | 25.90 |
| — Spessore alla fondazione (pulvino) | m | 30.93 |
| — Raggio estradosso al coronamento | m | 216.00 |
| — Ampiezza angolare al coronamento | gradi | 105.30 |
| — Volume diga | mc | 522000 |

Il progetto della diga è stato concepito in modo da salvaguardare la possibilità di un sovralzo dello sbarramento di ulteriori 36 m in altezza, da realizzarsi in una seconda fase, consentendo di portare l'invaso totale del serbatoio a 240 milioni di mc.

7. Rete di monitoraggio

| Grandezze misurate | Tipo di sensore | N° punti di misura | Frequenze |
|---|----------------------|--------------------|--------------------|
| Livello d'invaso | bilancia dinamom. | 1 | giornaliera/A |
| | biffa | 1 | giornaliera |
| Temperatura aria | termom. a max e min. | 1 | giornaliera |
| | termometro elettrico | 1 | giornaliera/A |
| Pioggia | pluviometro | 1 | giornaliera/A |
| Neve | stadia | 1 | giornaliera |
| Spessore ghiaccio | stadia | 1 | giornaliera |
| Temper. acqua super. | termom. ad immers. | 1 | giornaliera |
| Temp. acqua sup. — 5 m | termom. ad immers. | 1 | giornaliera |
| Spost. orizzontali | | | |
| 3 pendoli dritti | coordinometro | 6 | quindicinale |
| | telecoordinometro | 3 | plurigiornaliera/A |
| slittom. in roccia | coordinometro | 1 | quindicinale |
| pendolo rovescio in roccia | telecoordinometro | 1 | plurigiornaliera/A |
| pend. pozzo ascensore | coordinometro | 1 | mensile |
| Collim. esterna coron. | collimatore ottico | 3 | quindicinale |
| Spostamenti verticali rete di livellazione nel cunicolo a q. 1841 | livellazione | 38 | semestrale |
| Deformazioni | | | |
| riprese di getto | estensimetri | 21 | quindicinale |
| corpo diga | rosette estensimetr. | 10 (4 dir) | semestrale |
| fessure | estens. removibili | 64 | semestrale |
| | estensimetri | 26 | semestrale |
| giunti | teledilatometri | 26 | semestrale |
| roccia di fondazione | estens. a base lunga | 10 | plurigiornaliera/A |
| Rotazioni | | | |
| del corpo diga | clinometri fissi | 1 | quindicinale |
| | livellometro autom. | 1 | plurigiornaliera/A |
| Temperat. corpo diga | | | |
| termometri corticali | termometri elettrici | 28 | plurigiornaliera/A |
| termometri interni | termometri elettrici | 60 | quindicinale |
| Perdite | stramazzi misuratori | 4 | giornaliera |
| | pompa contascatti | 1 | giornaliera |

A = sensori ad acquisizione automatica

8. Esiste un sistema di monitoraggio che permette il controllo continuo delle grandezze (A); le rimanenti grandezze sono acquisite manualmente.

È stato realizzato un modello di tipo deterministico per il controllo del comportamento dell'opera, attualmente utilizzato fuori linea per controlli periodici.

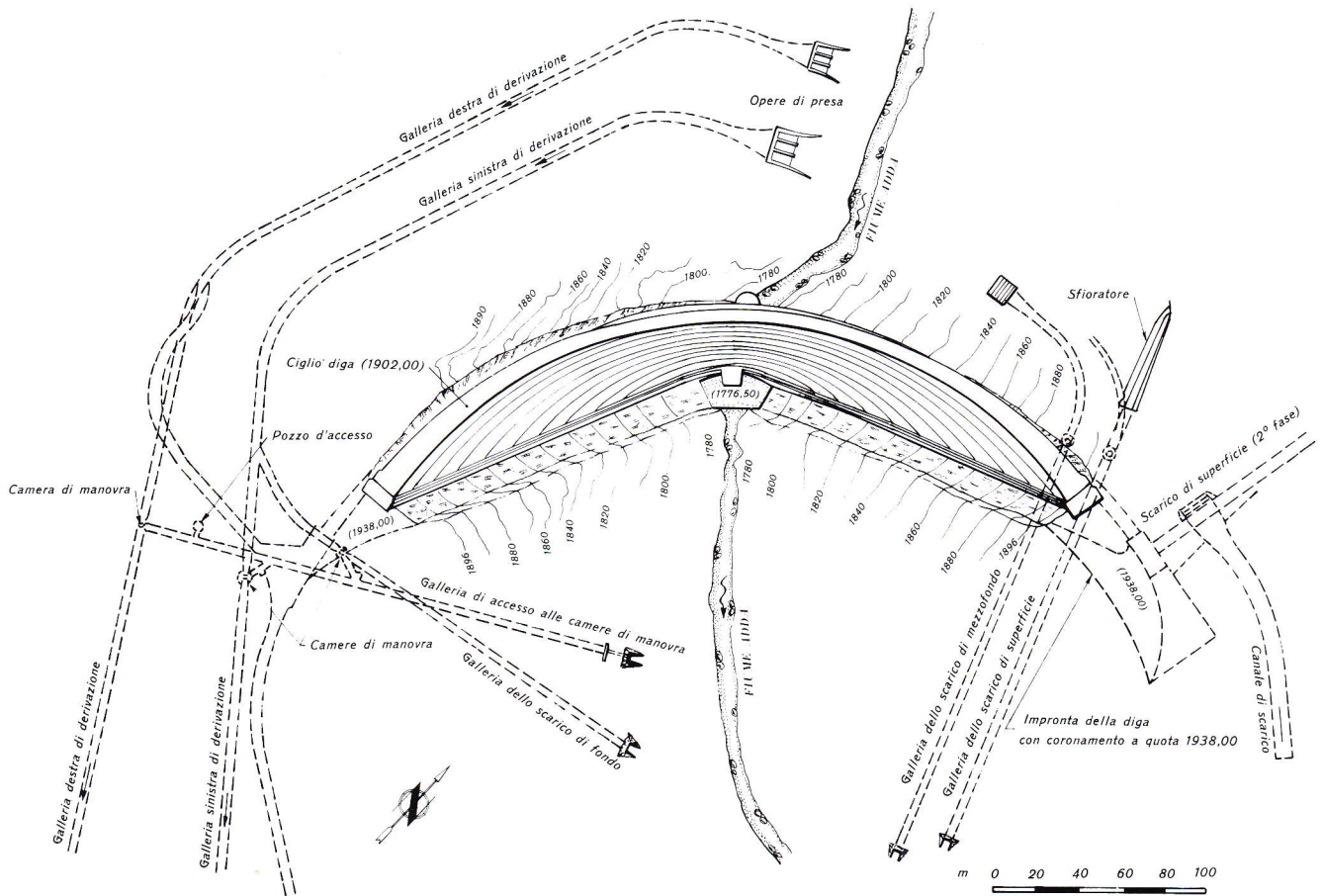
È previsto il prossimo utilizzo del modello per un controllo in linea del comportamento dell'opera.

9. Bibliografia

- «La nuova diga di Cancano ad arco-gravità per costruzione in due tempi» - Energia elettrica 5/6 - 1959.
- «Notizie sulla costruzione della nuova diga di Cancano» - Energia elettrica 12 - 1958.
- «The Valtellina development» - Water power 1961.
- E. BARIOLI - G. CRAVIARI:
«Influence des eaux de filtration» - Icold IX congres 1967 - Q34-R47.

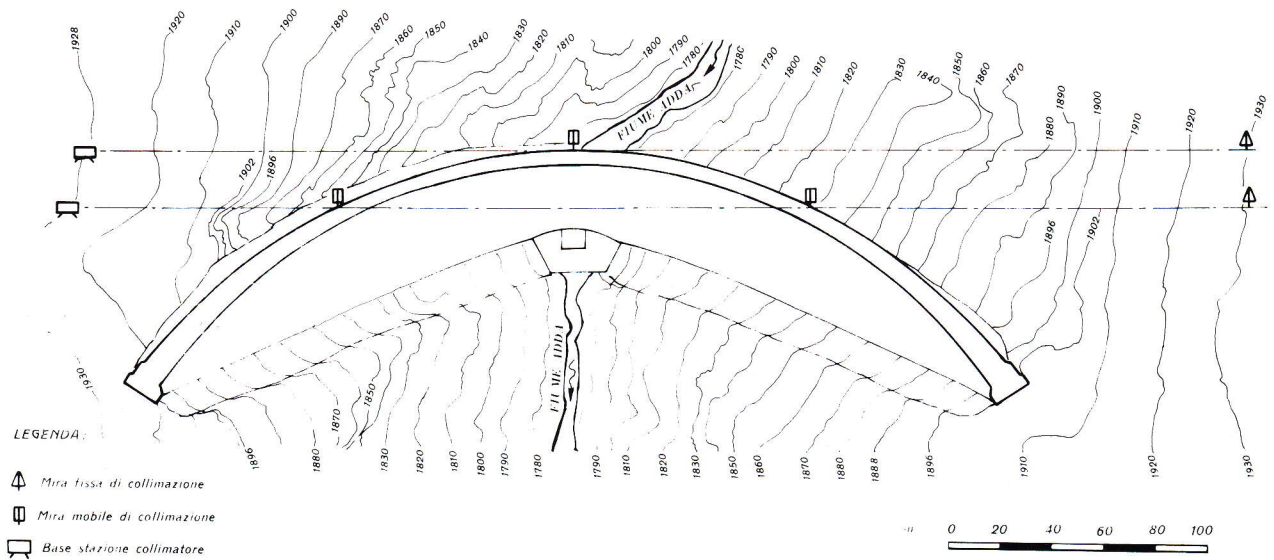
DIGA DI CANCANO

PLANIMETRIA



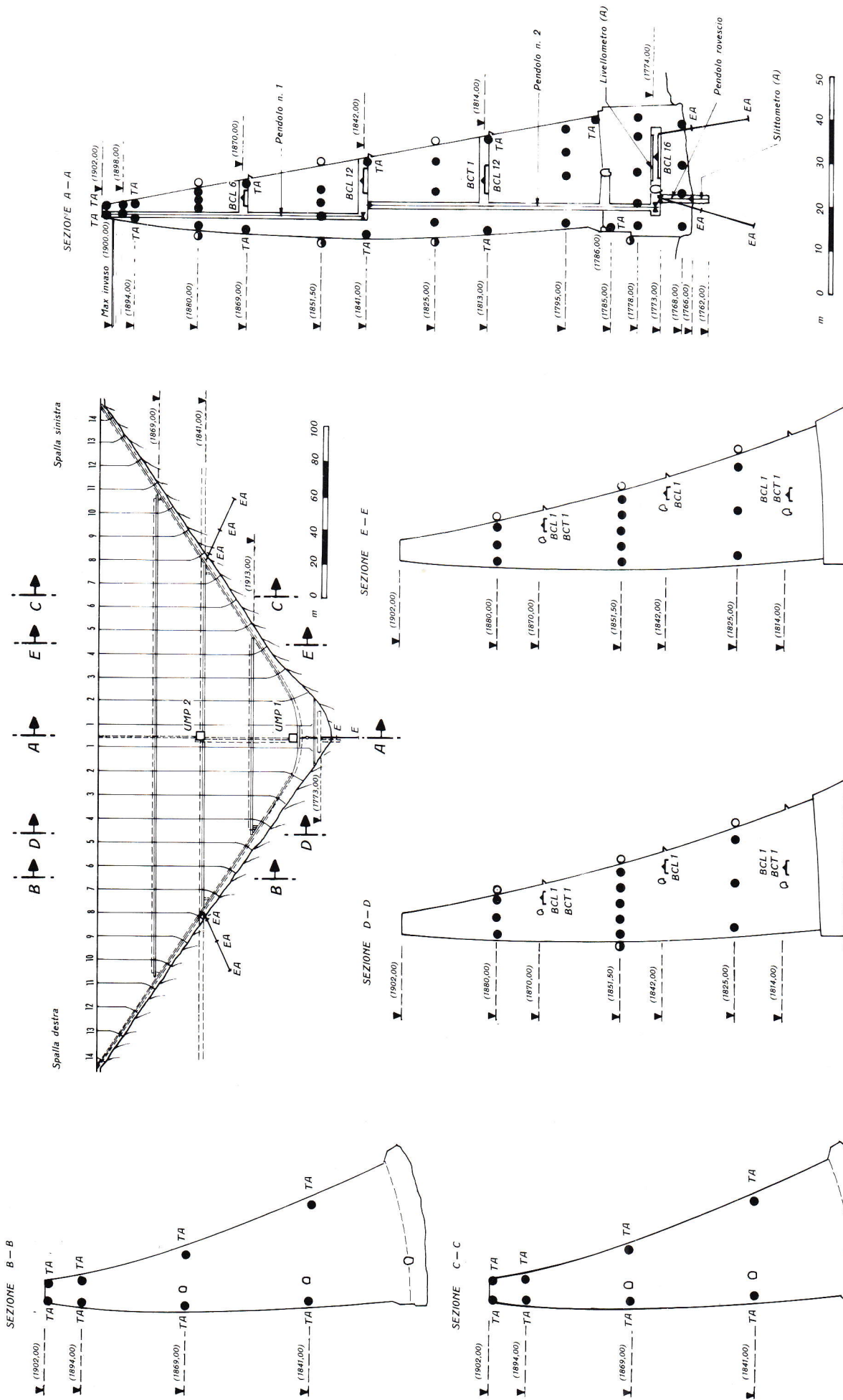
SCHEMA DELLA RETE DI COLLIMAZIONE ESTERNA

ARCO DI CRESTA A QUOTA 1902,00



DIGA DI CANCANO

UBICAZIONE DELLA NUOVA RETE TERMOMETRICA ED ESTENSIMETRICA - SUPERFICIE SVILUPPATA DEL PARAMENTO DI VALLE

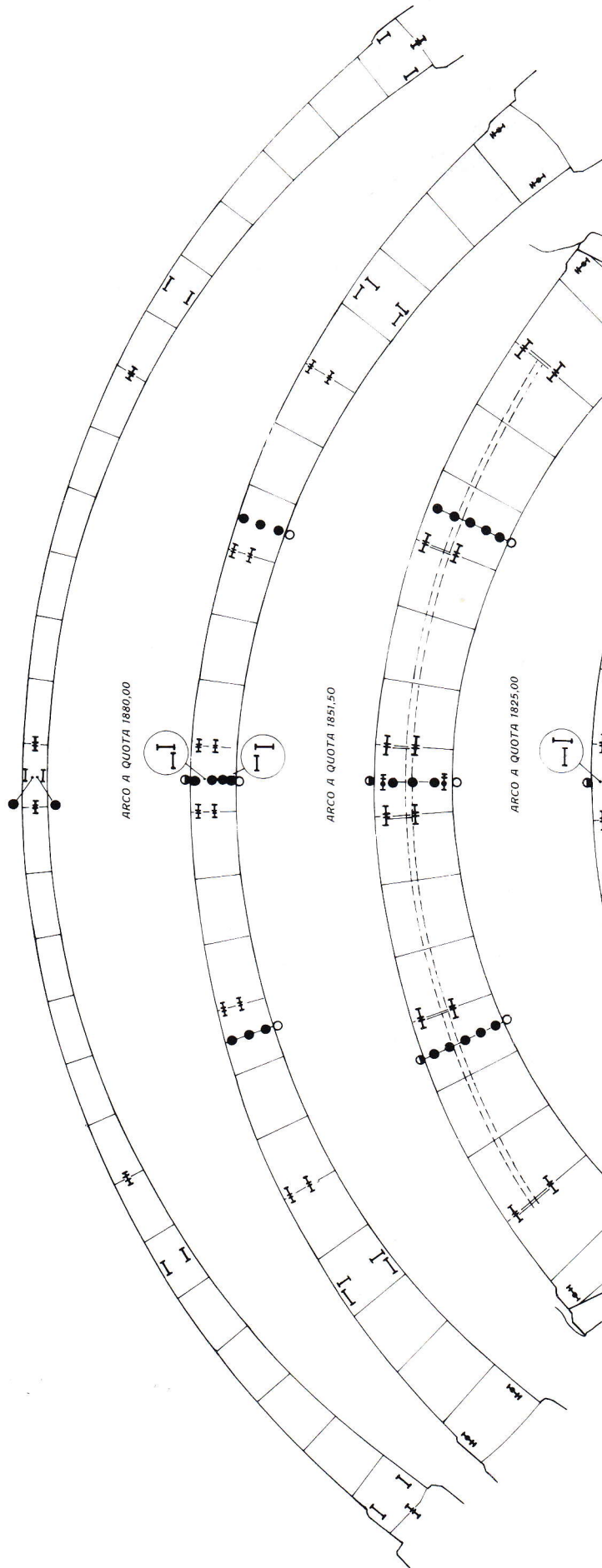


- LEGENDA:**
- Termometro in aria
 - Termometro in acqua
 - ⊙ Termometro nel calcestrutto
 - ⊠ Estensimetro
 - ⊡ Gruppo di n clinometri
 - BCL = base clinometrica longitudinale
 - BCT = base clinometrica verticale
 - UMP = unità di misura periferica

La lettera "A", indica l'acquisizione automatica dei dati

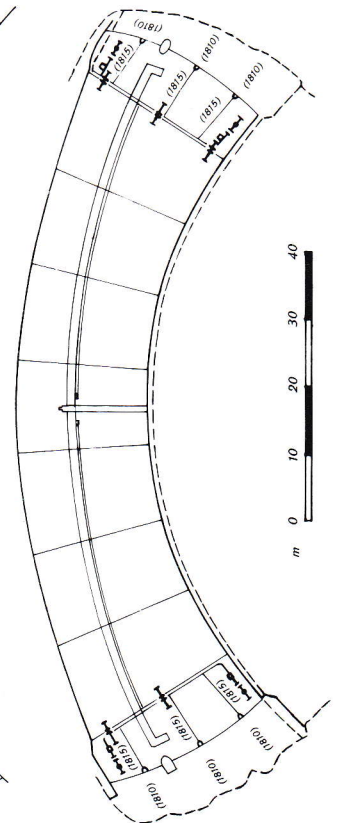
DIGA DI CANCANO

ARCO A QUOTA 1898,00



LEGENDA:

- Termometro nel calcestruzzo
- Termometro in acqua
- Termometro in aria
- ⊕ Termostensimetro a rosetta (in pianta)
- I Estensimetro
- ⊥ Dilatometro
- Cassette terminali



DIGA DI CHIOTAS (costruzione 1974-78)

1. Finalità

Il bacino creato fa parte dell'impianto Chiotas-Piastra ed è utilizzato per il pompaggio puro fra i due serbatoi del Chiotas e della Piastra con un salto geodetico massimo di 1048 m ed una producibilità annua di 40 GWh da deflussi propri e 1000 GWh da deflussi pompati.

Il bacino è ottenuto mediante la costruzione di due sbarramenti, detti rispettivamente del Chiotas e di Colle Laura.

2. Ubicazione

Nell'alta Val Gesso in località Chiotas in comune di Entracque, provincia di Cuneo.

3. Dati principali

| | | |
|---|----------|---------|
| — Livello di ritenuta normale | m s.m. | 1978.00 |
| — Livello di massimo invaso | m s.m. | 1979.00 |
| — Capacità di invaso: | | |
| * complessiva | mc 10**6 | 30.20 |
| * utile | mc 10**6 | 27.30 |
| — Superficie del bacino: | | |
| * direttamente sotteso | kmq | 11.60 |
| — Portate delle opere di scarico: | | |
| (con invaso alla quota di massimo invaso) | | |
| * superficie (*) | mc/sec | 240.00 |
| * fondo | mc/sec | 90.00 |

(*) Lo scarico di superficie è adiacente alla diga di Colle Laura facente parte dello stesso bacino.

4. Notizie geologiche del bacino e della fondazione

L'area del bacino e la sezione di sbarramento sono caratterizzate dalla presenza di gneiss omogenei e relativamente compatti con fessurazioni sigillate.

6. Caratteristiche della diga

— Tipo

La diga è del tipo ad arco-gravità simmetrica in calcestruzzo; essa è suddivisa in conci larghi 12.5 m eccetto i due laterali che sono larghi 18 m e trasmette i carichi alla roccia tramite un pulvino di fondazione a cui si raccorda mediante un giunto perimetrale.

La diga di colle Laura, di minor dimensione, sbarra una sella laterale ed è a gravità massiccia in calcestruzzo con andamento rettilineo.

— Dati geometrici principali

| | | |
|---|--------|---------|
| — Quota coronamento | m s.m. | 1980.00 |
| — Altezza del coronamento sul punto più depresso delle fondazioni | m | 130.00 |
| — Franco del coronamento: | | |
| * sul livello normale di ritenuta | m | 2.00 |
| * sul livello di massimo invaso | m | 1.00 |
| — Sviluppo del coronamento | m | 230.00 |
| — Spessore della sezione maestra: | | |
| * al coronamento | m | 5.00 |
| — Spessore massimo al piede | m | 37.50 |
| — Volume diga | mc | 360000 |
| — Diga di Colle Laura | | |
| — Altezza del coronamento sul punto più depresso delle fondazioni | m | 30.00 |
| — Sviluppo del coronamento | m | 70.00 |
| — Volume diga | mc | 14000 |

7. Rete di monitoraggio

| Grandezze misurate | Tipo di sensore | N° punti di misura | Frequenze |
|---|------------------------|--------------------|--------------------|
| Livello invaso | bilancia idrometrica | 2 | plurigiornaliera/A |
| | manometro a corda vib. | 2 | |
| Precipitazioni | pluviometro | 1 | plurigiornaliera |
| Temperatura aria | termometro | 7 | plurigiornaliera/A |
| Temperatura acqua (param. di monte) | termometro | 4 | plurigiornaliera/A |
| Temper. calcestruzzo | termometro | 47 | plurigiornaliera/A |
| Spostamenti orizzont. 3 pendoli dritti | coordinometro | 6 | bisettimanale |
| | coordin. automatici | 2 | plurigiornaliera/A |
| 5 pendoli rovesci | coordinometri | 11 | bisettimanale |
| | coordin. automatici | 6 | plurigiornaliera/A |
| Deformazioni corpo diga | rosette termoestens. | 184 | plurigiornaliera/A |
| | estensimetri orizz. | 28 | plurigiornaliera/A |
| | estens. isolati | 34 | plurigiornaliera/A |
| | teledilatometri | 16 | plurigiornaliera/A |
| roccia di fondazione | rockmetri a più basi | 36 | settimanale |
| | rockmetri automatici | 3 | plurigiornaliera/A |
| Rotazioni | clinometri | 7 | settimanale |
| | clinom. automatici | 1 | plurigiornaliera/A |
| Tensioni | capsule tensiometr. | 27 | plurigiornaliera/A |
| Sottopressioni | piezometri | 38 | bisettimanale |
| | piezom. automatici | 32 | plurigiornaliera/A |
| Perdite | misuratore a volume | 7 | settimanale |
| | misuratore a stram. | 1 | plurigiornaliera/A |

A = sensori ad acquisizione automatica

8. Esiste un sistema di monitoraggio che permette il controllo continuo delle grandezze (A); le rimanenti grandezze sono acquisite manualmente.

È stato realizzato un modello di tipo deterministico per il controllo del comportamento dell'opera attualmente utilizzato fuori linea per controlli periodici.

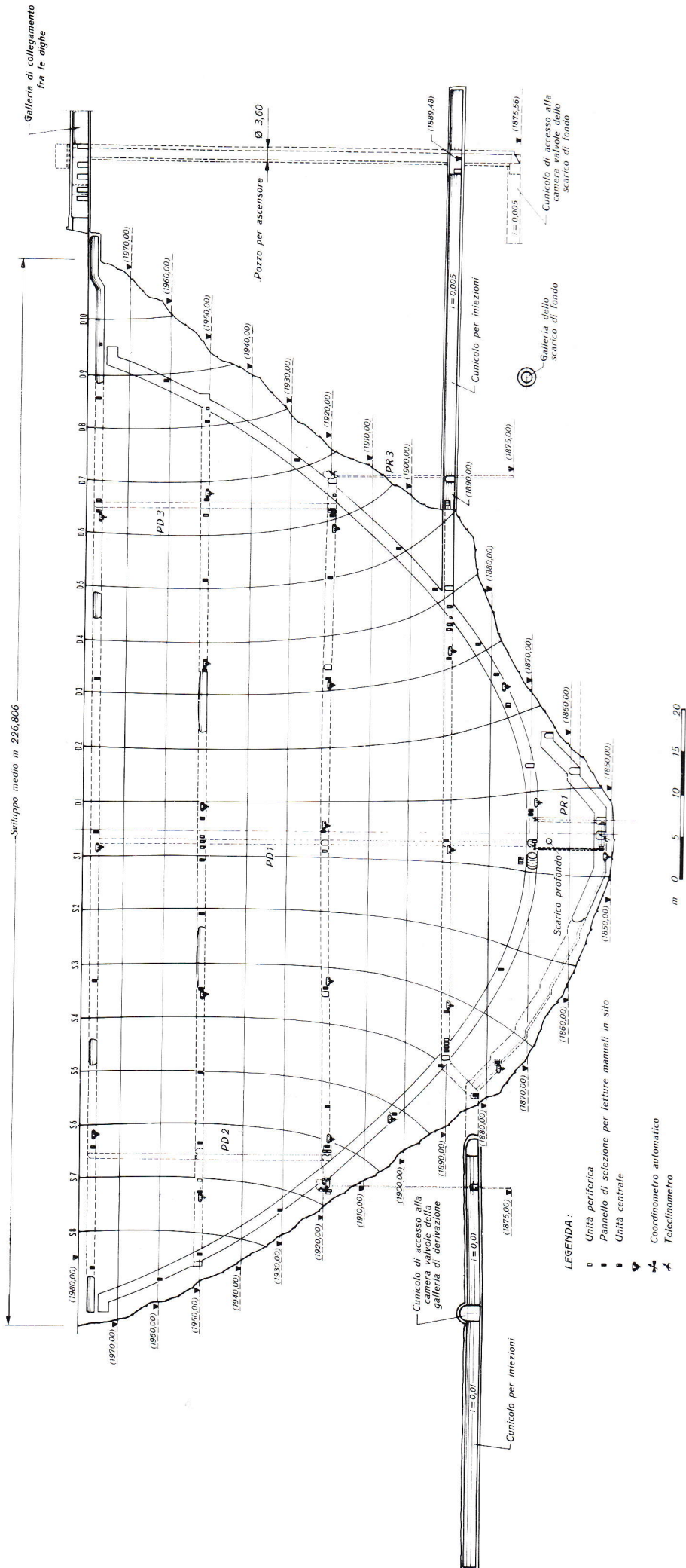
9. Bibliografia

— M. APPENDINO, E. MANTOVANI:

«Centralized measurement and processing system developed for the control of the Chiotas dam»
XIV Congress des Grand Barrages, Rio de Janeiro - 1982.

DIGA DI CHIOTAS

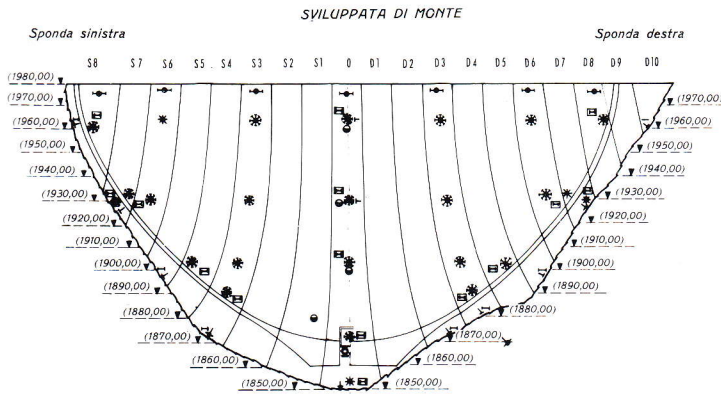
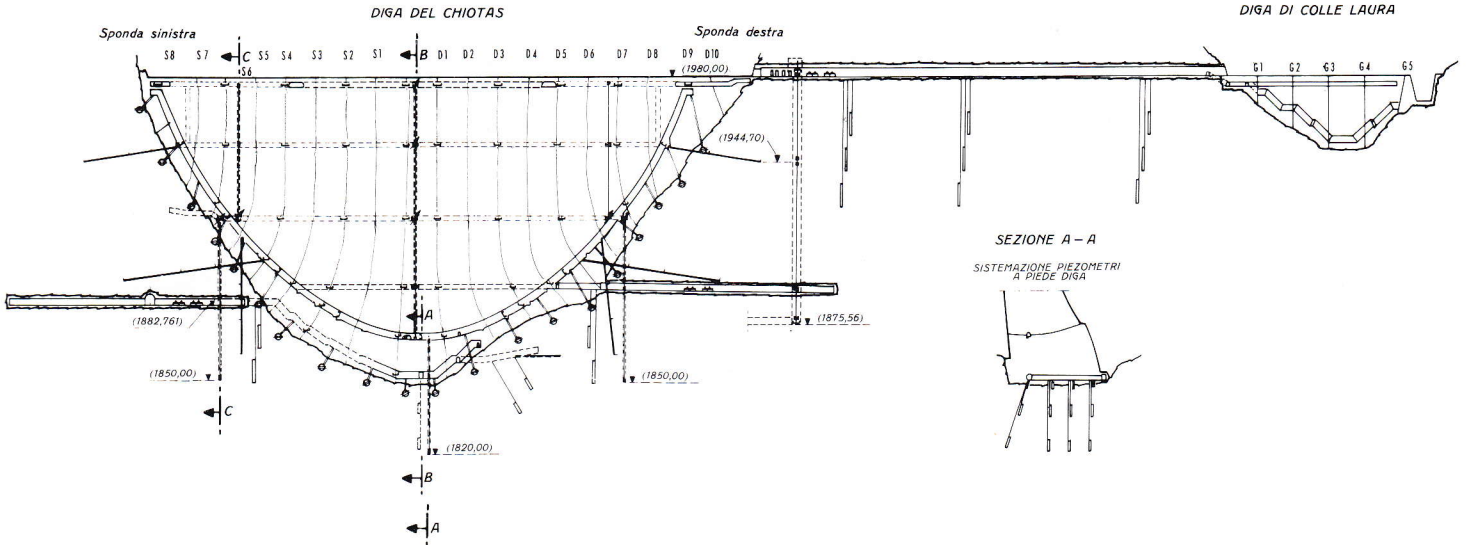
UBICAZIONE DEI PUNTI DI MISURA
MANUALE E CENTRALIZZAZIONE



DIGA DI CHIOTAS

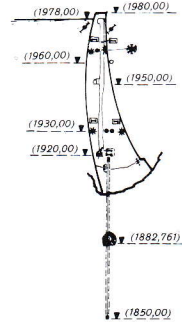
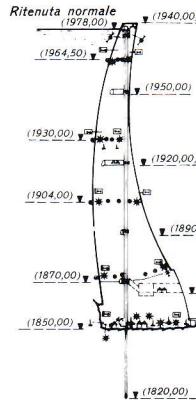
DISPOSIZIONE GENERALE DEI PRINCIPALI STRUMENTI
DI MISURA E DI CONTROLLO

SEZIONE LONGITUDINALE SULL'ASSE DEL CUNICOLO PERIMETRALE



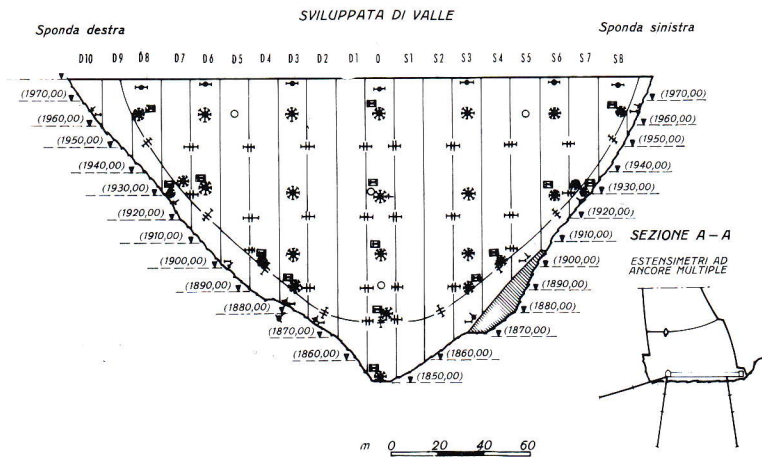
SEZIONE B - B

SEZIONE C - C



LEGENDA:

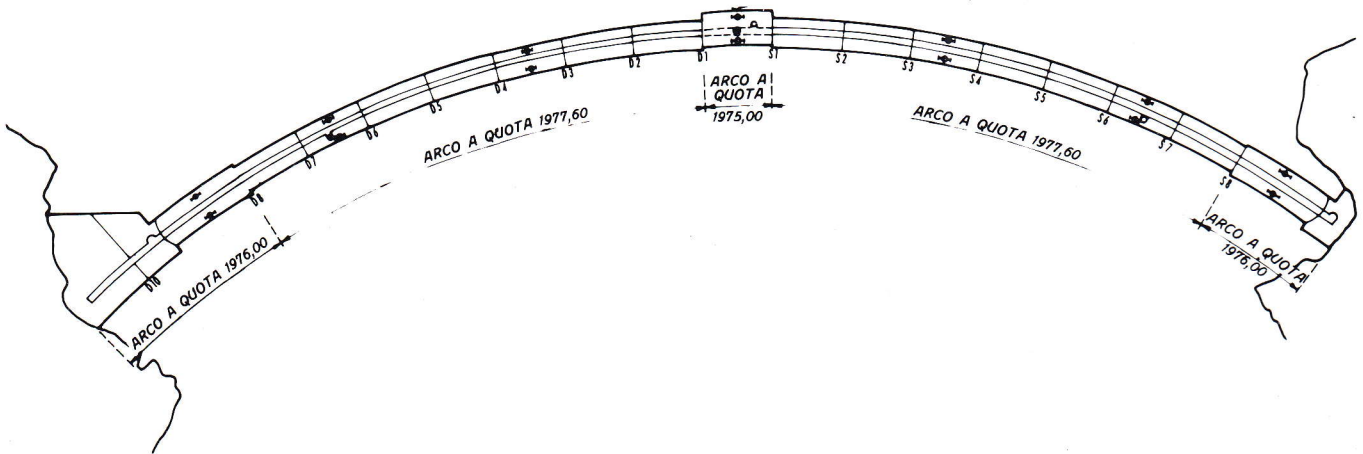
- ⊕ Coordinometro
- ⊕⊕ Coordinometro automatico
- Termometro nel calcestruzzo
- ⊙ Termometro in acqua
- Termometro in aria
- ⊖ Clinometro
- ⊖ Teleclinometro
- ⊖ Teledilatometro
- ⊖ Rosetta estensimetrica (n. 4 estensimetri)
- ⊖ Rosetta estensimetrica con abbinata misura delle temperature
- ⊖ Estensimetro isolato
- ⊖ Estensimetro
- ⊖ Termoestensimetro
- ⊖ Pressimetro
- ⊖ Termopressimetro
- ⊖ Piezometro per sottopressioni
- ⊖ Coppia di sedi per calibro estensimetrico
- ⊖ Assesimetro in roccia
- ⊖ Piezometro in roccia



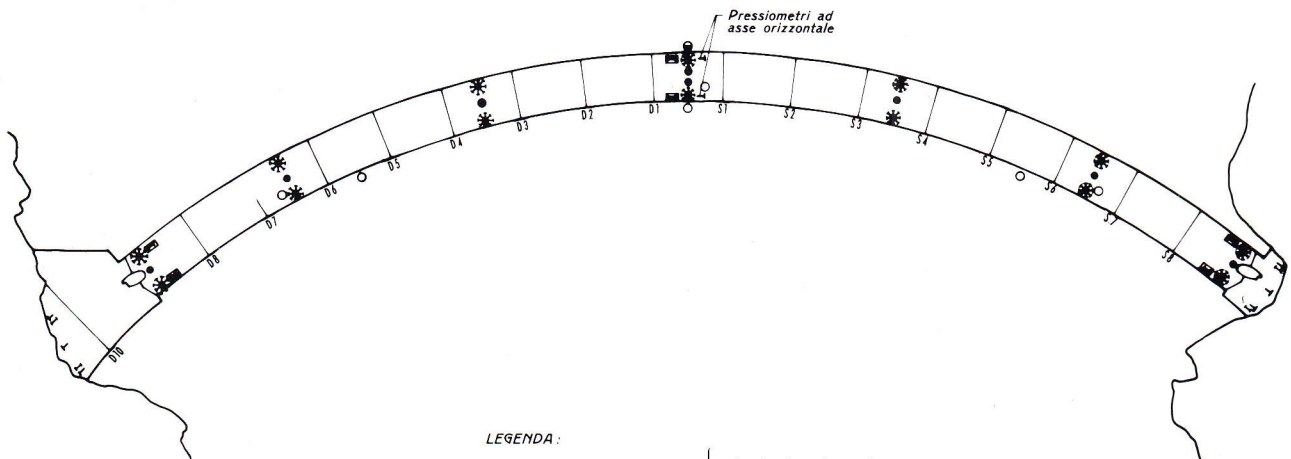
DIGA DI CHIOTAS

DISPOSIZIONE GENERALE DEI PRINCIPALI STRUMENTI
DI MISURA E DI CONTROLLO

ARCO A QUOTA 1975,00 1976,00 1977,60



ARCO A QUOTA 1964,50



LEGENDA:

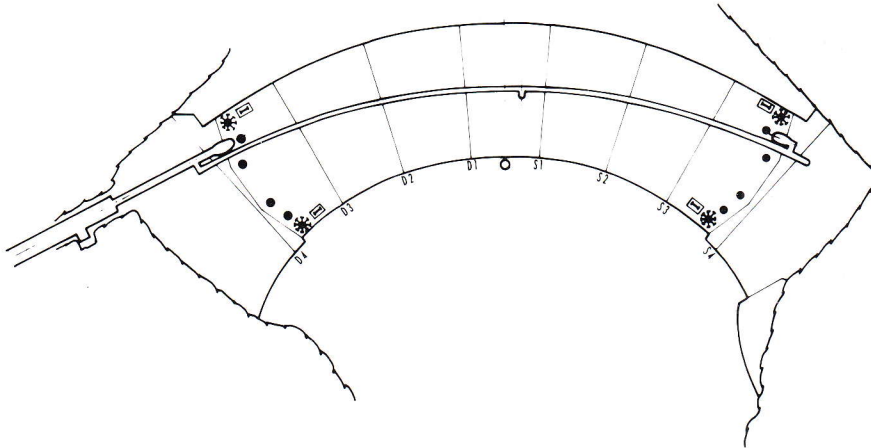
- | | |
|---|--|
| <ul style="list-style-type: none"> * Rosetta estensimetrica ▢ Estensimetro isolato — Estensimetro ● Termometro nel calcestruzzo * Rosetta estensimetrica con termometro incorporato nei singoli estensimetri ⊥ Pressimetro ↓ Termopressimetro ● Termometro in acqua ○ Termometro in aria → Termoesensimetro orizzontale | <ul style="list-style-type: none"> estensimetro orizzontale estensimetro verticale estensimetro inclinato a 45° verso monte estensimetro inclinato a 45° verso valle |
|---|--|

m 0 10 20 30 40 50

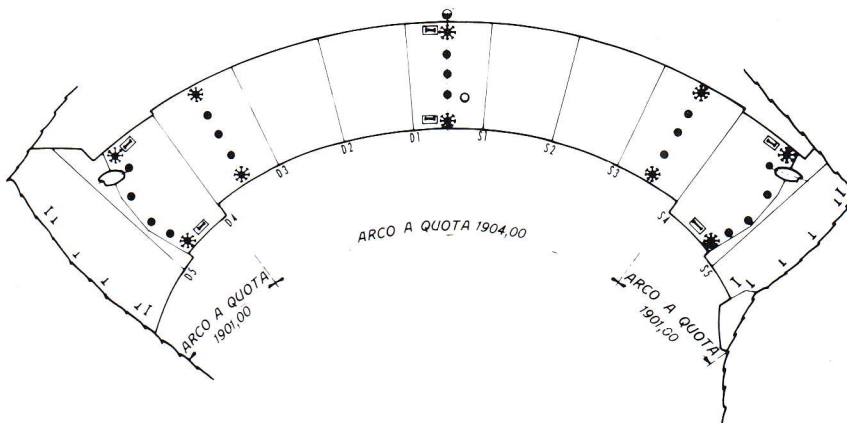
DIGA DI CHIOTAS

DISPOSIZIONE GENERALE DEI PRINCIPALI STRUMENTI
DI MISURA E DI CONTROLLO

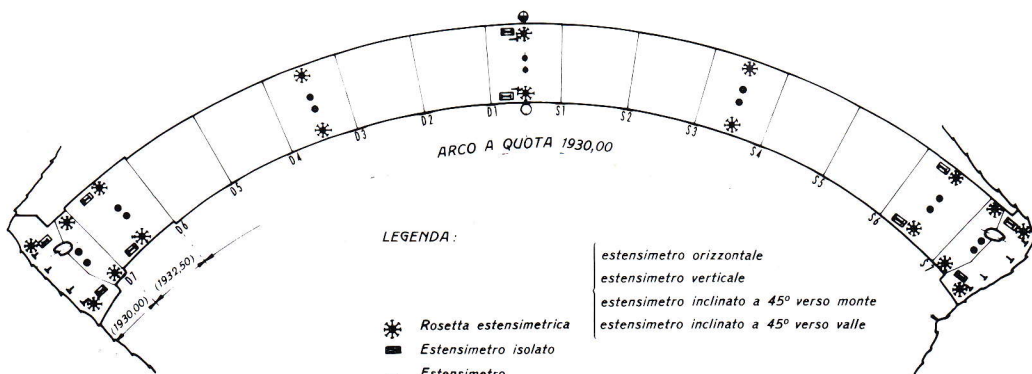
ARCO A QUOTA 1890,00



ARCO A QUOTA 1901,00 1904,00



ARCO A QUOTA 1930,00 1932,50



LEGENDA:

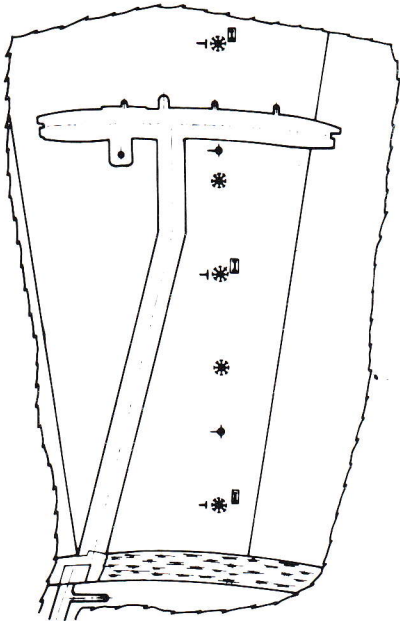
- | | |
|--|--|
| <ul style="list-style-type: none"> * Rosetta estensimetrica ■ Estensimetro isolato — Estensimetro ● Termometro nel calcestruzzo * Rosetta estensimetrica con termometro incorporato nei singoli estensimetri ⊥ Pressiometro ⬇ Termopressiometro ○ Termometro in acqua ○ Termometro in aria ➔ Termoestensimetro orizzontale | <ul style="list-style-type: none"> estensimetro orizzontale estensimetro verticale estensimetro inclinato a 45° verso monte estensimetro inclinato a 45° verso valle |
|--|--|

m 0 10 20 30 40 50

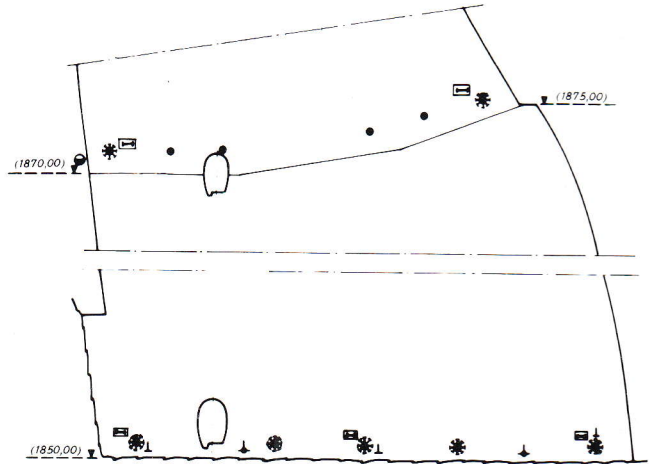
DIGA DI CHIOTAS

DISPOSIZIONE GENERALE DEI PRINCIPALI STRUMENTI
DI MISURA E DI CONTROLLO

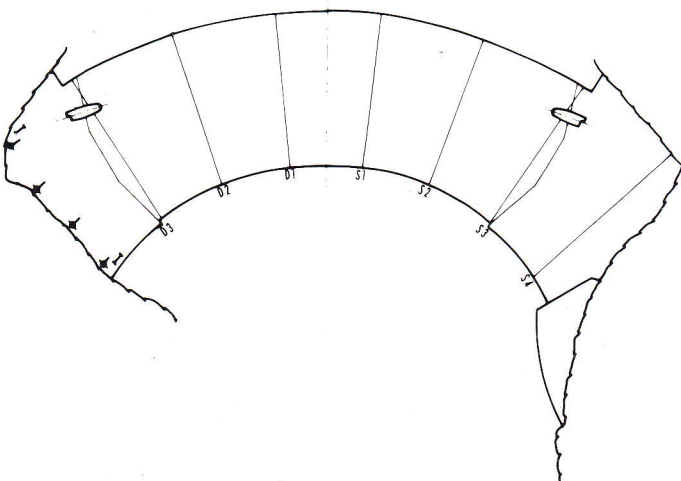
ARCO A QUOTA 1852,00



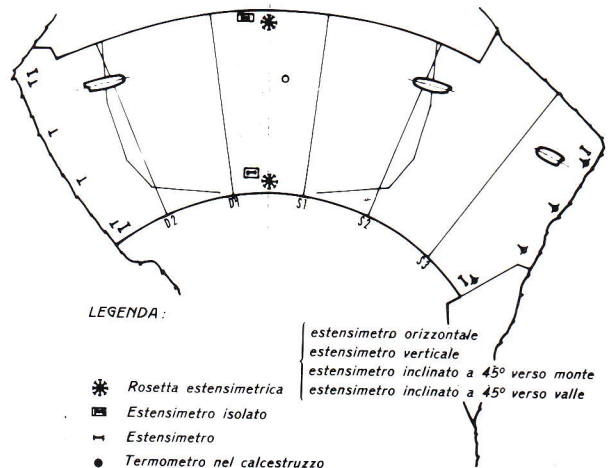
SEZIONE VERTICALE SUL CONCIO "0",



ARCO A QUOTA 1883,00

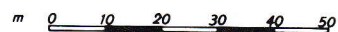


ARCO A QUOTA 1875,00



LEGENDA:

- * Rosetta estensimetrica
 - Estensimetro isolato
 - ⊥ Estensimetro
 - Termometro nel calcestruzzo
 - * Rosetta estensimetrica con termometro incorporato nei singoli estensimetri
 - ⊥ Pressiometro
 - ⬇ Termopressiometro
 - Termometro in acqua
 - Termometro in aria
 - Termoestensimetro orizzontale
- estensimetro orizzontale
estensimetro verticale
estensimetro inclinato a 45° verso monte
estensimetro inclinato a 45° verso valle



DIGA DI RIDRACOLI

(costruzione 1976-82)

1. Finalità

Il bacino creato è destinato all'approvvigionamento idrico di 37 comuni delle province di Forlì e Ravenna e di S. Marino, e consente la regolazione annua di oltre 60 milioni di mc. È previsto un utilizzo secondario di tipo idroelettrico.

2. Ubicazione

In località Ridracoli in comune di S. Sofia, alla confluenza del fiume Bidente e del rio Celluzze, Provincia di Forlì.

3. Dati principali

| | | |
|---|----------|--------|
| — Livello di ritenuta normale | m s.m. | 557.30 |
| — Livello di massimo invaso | m s.m. | 559.60 |
| — Capacità di invaso: | | |
| * complessiva | mc 10**6 | 33.03 |
| * utile | mc 10**6 | 30.00 |
| — Superficie del bacino: | | |
| * direttamente sotteso | kmq | 36.77 |
| * allacciato | kmq | 36.11 |
| * totale | kmq | 72.88 |
| — Portate delle opere di scarico: | | |
| (con invaso alla quota di ritenuta normale) | | |
| * superficie | mc/sec | — |
| * mezzofondo | mc/sec | 135.00 |
| * fondo | mc/sec | 173.50 |
| * esaurimento | mc/sec | 36.50 |

4./5. Notizie geologiche del bacino e della fondazione

Nell'area del bacino e della sezione di sbarramento affiorano pressoché ovunque i terreni della formazione miocenica «marnosa-arenacea» romagnola.

Essa è costituita da un'alternanza ritmica di arenarie, siltiti, marne e talora argilliti.

I quattro tipi litologici, secondo l'ordine suddetto, formano una unica sequenza con spessori variabili da pochi dm a oltre 5 m e continuità orizzontale estremamente estesa.

L'area direttamente interessata dallo sbarramento e quella adiacente sono caratterizzate da un andamento monoclinale estremamente regolare con pendenza media degli strati variabile tra 27 e 30 gradi.

È presente in sponda sinistra una faglia orientata NE-SW, non rilevabile superficialmente, che è stata comunque impermeabilizzata e consolidata.

6. Caratteristiche della diga

— Tipo

La diga è del tipo ad arco-gravità a doppia curvatura praticamente simmetrica rispetto al piano della sezione maestra; essa è poggiante su un pulvino di fondazione che si sviluppa lungo il profilo di scavo con vario spessore fino ad estendersi al coronamento e a formare spalle della larghezza di 10 m.

— Dati geometrici principali

| | | |
|---|--------|--------|
| — Quota coronamento | m s.m. | 561.00 |
| — Altezza del coronamento sul punto più depresso delle fondazioni | m | 103.50 |
| — Franco del coronamento: | | |
| * sul livello normale di ritenuta | m | 3.70 |
| * sul livello di massimo invaso | m | 1.40 |
| — Sviluppo del coronamento | m | 432.00 |
| — Corda dell'arco di fibra media del coronamento | m | 341.45 |

| | | |
|--|----|--------|
| — Freccia dell'arco di fibra media del coronamento | m | 80.56 |
| — Rapporto tra la corda dell'arco di fibra media del coronamento e la altezza massima della diga | m | 3.30 |
| — Spessore della sez. maestra: | | |
| * al coronamento | m | 6.62 |
| — Spessore alla base (struttura q. 475) | m | 25.18 |
| — Spessore alla fondazione (pulvino q. 460) | m | 36.46 |
| — Raggi estradosso: | | |
| * al coronamento | m | 226.62 |
| * alla base (struttura q. 475) | m | 162.88 |
| — Raggi di intradosso: | | |
| * al coronamento | m | 220.00 |
| * alla base (struttura q. 475) | m | 117.67 |
| — Volume diga | mc | 600000 |

7. Rete di monitoraggio

| Grandezze misurate | Tipo di sensore | N° punti di misura | Frequenze |
|---|--|--------------------|---------------------------|
| Temperatura aria | termografo | 1 | continua |
| Pressione atmosferica | barografo | 1 | continua |
| Umidità atmosferica | igrografo | 1 | continua |
| Pioggia | pluviografo | 1 | continua |
| Neve | asta graduta | 1 | giornaliera |
| Insolazione | eliofonografo | 2 | continua |
| Vento | anemografo | 1 | continua |
| Livello d'invaso | bilancia dinamometr. stadia idrometrica | 1 1 | continua/A giornaliera |
| Temper. acqua superf. | termometro elettrico | 1 | plurigiornaliera/A |
| Temper. acqua —5 m | termometro elettrico | 1 | plurigiornaliero/A |
| Spostamenti orizzont. in diga e fondazione | | | |
| 3 pendoli dritti | coordinometro | 1 | settimanale |
| | coordinometro | 7 | mensile |
| | telecoordinometro | 1 | plurigiornaliera/A |
| 4 pendoli rovesci | coordinometro | 6 | settimanale |
| | telecoordinometro | 2 | plurigiornaliera/A |
| in roccia sulle spalle | | | |
| 1 pendolo dritto | coordinometro | 1 | mensile |
| 4 pendoli rovesci | coordinometro | 4 | mensile |
| Misure distanziom. | distanziometro | 6 | mensile |
| Misure trigonom. | teodolite | 10 | trimestrale |
| Spostamenti verticali reti di livellazione | | | |
| a q. coronam. | livellometro | 22 | mensile |
| a q. 525 | livellometro | 21 | mensile |
| a q. 483 | livellometro | 19 | mensile |
| piede diga | livellometro | 19 | mensile |
| spalla destra | livellometro | 10 | mensile |
| spalla sinistra | livellometro | 9 | mensile |

| Grandezze misurate | Tipo di sensore | N° punti di misura | Frequenze |
|----------------------|-----------------------------|--------------------|--------------------|
| Deformazioni | | | |
| corpo diga | estensimetri elettrici | 60 | plurigiornaliera/A |
| roccia di fondazione | estensimetri elettrici | 9 | plurigiornaliera/A |
| roccia di fondazione | estensim. a base lunga | 36 | plurigiornaliera/A |
| roccia di fondazione | estensim. a base lunga | 14 | mensile |
| spalle | estensim. a base lunga | 19 | bimensile |
| giunti | teledilatometri | 33 | plurigiornaliera/A |
| | calibri estensimetrici | 166 | bimensile |
| Rotazioni | | | |
| livellometri | indicatori livello | 48 | mensili |
| Sottopressioni | piezometri a cella | 47 | settimanale |
| | piezometri a cella | 13 | plurigiornaliera/A |
| Tensioni | capsule tensiometr. | 18 | plurigiornaliera/A |
| Temper. corpo diga | | | |
| interni alla massa | | | |
| muraria | termometri elettrici | 55 | plurigiornaliera/A |
| esterni su param. | termometri elettrici | 3 | plurigiornaliera/A |
| Perdite | stramazzi misuratori | 1 | giornaliera |
| | stramazzi misuratori | 1 | plurigiornaliera/A |
| | misura manuale dei drenaggi | 232 | mensile |

A = sensori ad acquisizione automatica

8. Esiste un sistema di monitoraggio che permette il controllo continuo delle grandezze (A); le rimanenti grandezze sono acquisite manualmente.

È stato realizzato un modello di tipo deterministico per il controllo del comportamento dell'opera attualmente utilizzato fuori linea e di prossima implementazione sul microprocessore del sistema di monitoraggio per un controllo in linea.

Sull'opera è inoltre installato un sistema di controllo per la sorveglianza sismica costituito da:

- * 4 postazioni di accelerometri
- * 6 estensimetri elettrici
- * 2 pressostati

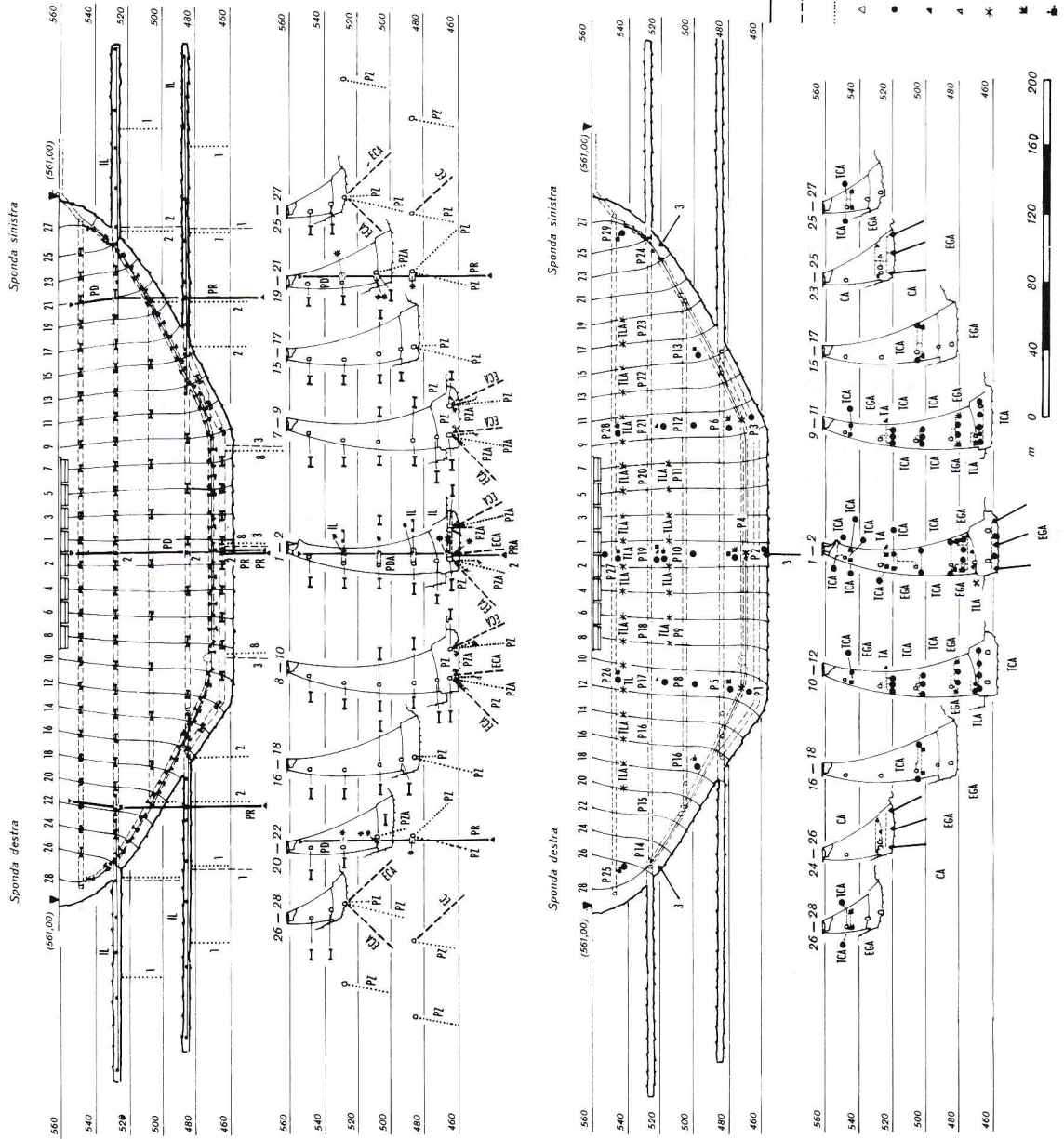
Per la sorveglianza microsismica del bacino è stato predisposto un sistema composto da 5 stazioni periferiche con sismometri e collegamento via radio alla centrale di registrazione.

10. Bibliografia

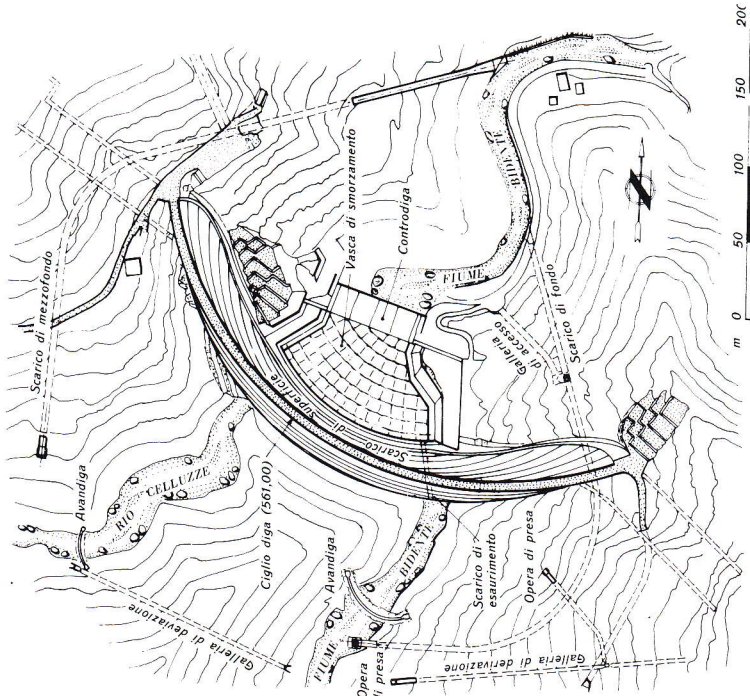
- ALPINA SPA:
«Diga di Ridracoli progetto esecutivo» - Luglio 1976
- F. BAVESTRELLO:
«Stabilizzazione temporanea degli scavi d'imposta della diga di Ridracoli» - A.G.I., Atti del XV Convegno Nazionale di geotecnica - Spoleto.
- R. RICCONI:
«Automated monitoring of Ridracoli dam: organizational aspect» - 14th ICOLD Congress, Rio de Janeiro, May 1982.
- IMPRESA COGEFAR:
«Diga di Ridracoli - CORIDRA (Consorzio diga di Ridracoli)».
- E. CARABELLI, A. MARAZIO, C. PALMERINI:
«Le reti di controllo microsismico nei campi geotermici e nei serbatoi idroelettrici» - Enel - Rassegna tecnica II, 6.

DIGA DI RIDRACOLI

STRUMENTI DI MISURA



PLANIMETRIA GENERALE



EG - EGA = Estensimetro in roccia

EC - ECA = Estensimetro a base lunga (a 3 basi)

PZ - PZA = Piezometro

C - CA = Capsula tensiometrica

TC - TCA = Termometro nel calcestruzzo

Termometro in acqua

TA = Termometro in aria

TL - TLA = Teledilatometro

EG - EGA = Estensimetro in rosetta (da quattro)

EG - EGA = Estensimetro in rosetta (da due)

Biancica dinamometrica

IL = Indicatori di livello a vasi comunicanti

CE = Calibro estensimetrico

Stazione per coordinamento

PD - PDA = Pendolo diretto

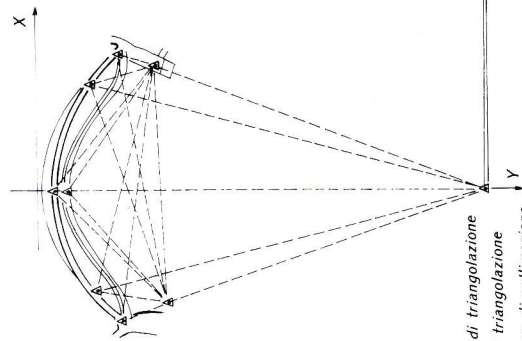
PR - PRA = Pendolo rovescio

La lettera "A" indica l'acquisizione automatica dei dati

DIGA DI RIDRACOLI

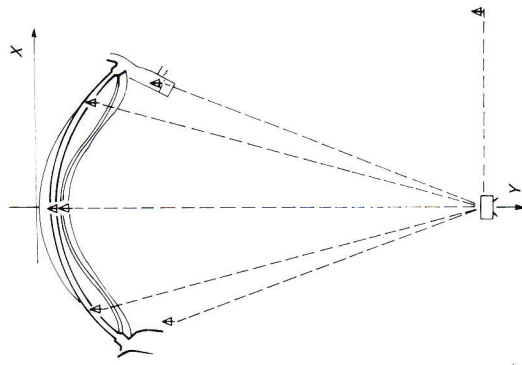
RILIEVO GEODETICO

PLANIMETRIA



COLLIMAZIONI DISTANZIOMETRICHE

PLANIMETRIA

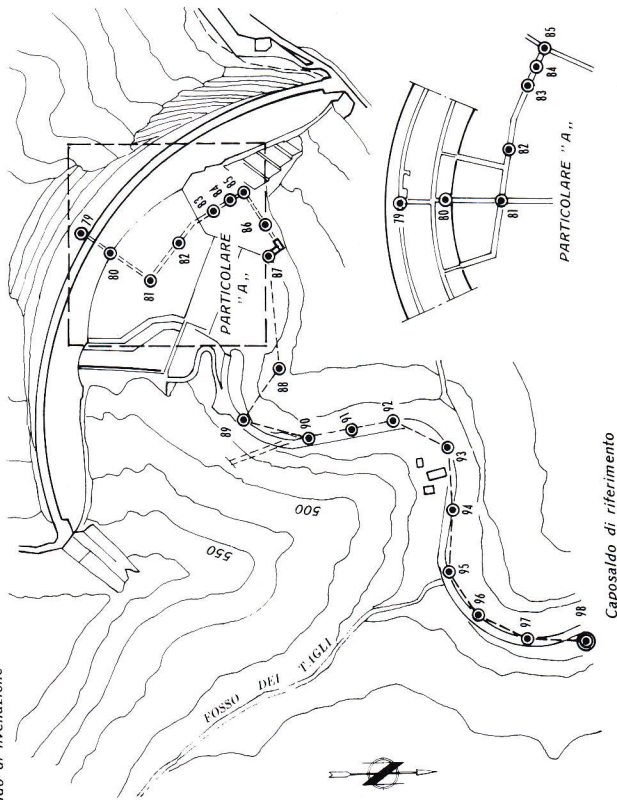


LEGENDA:

- ▲ Caposaldo di triangolazione
- △ Base di triangolazione
- ▲ Mira fissa di collimazione
- Base stazione collimatore
- Caposaldo di livellazione di partenza
- Caposaldo di livellazione

LIVELLAZIONE DI CONTROLLO

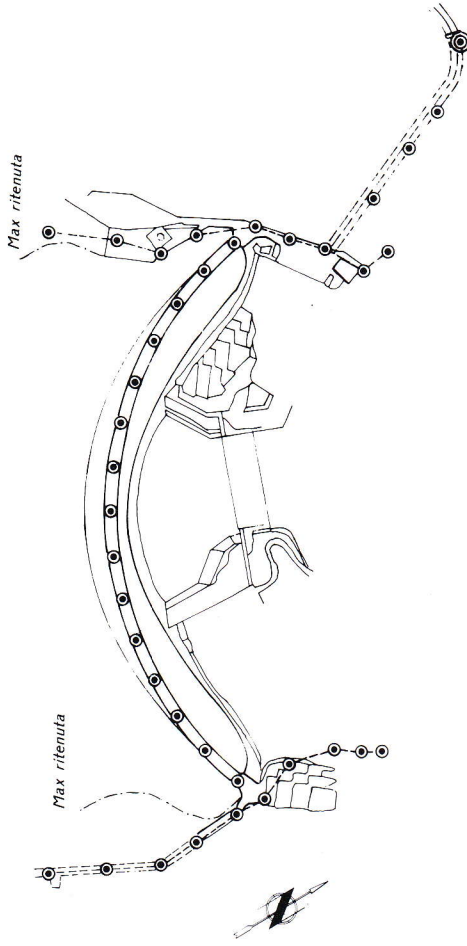
PIEDE DIGA



Caposaldo di riferimento

LIVELLAZIONE DI CONTROLLO

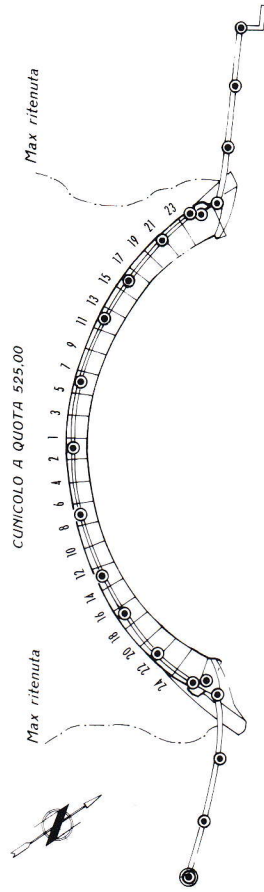
CORONAMENTO



LIVELLAZIONE DI CONTROLLO

CUNICOLO A QUOTA 525.00

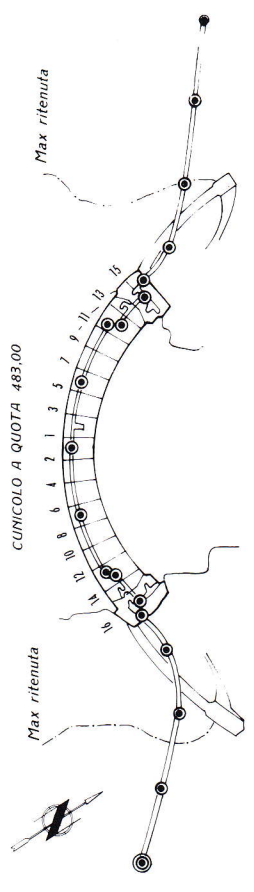
Max ritenuta



LIVELLAZIONE DI CONTROLLO

CUNICOLO A QUOTA 483.00

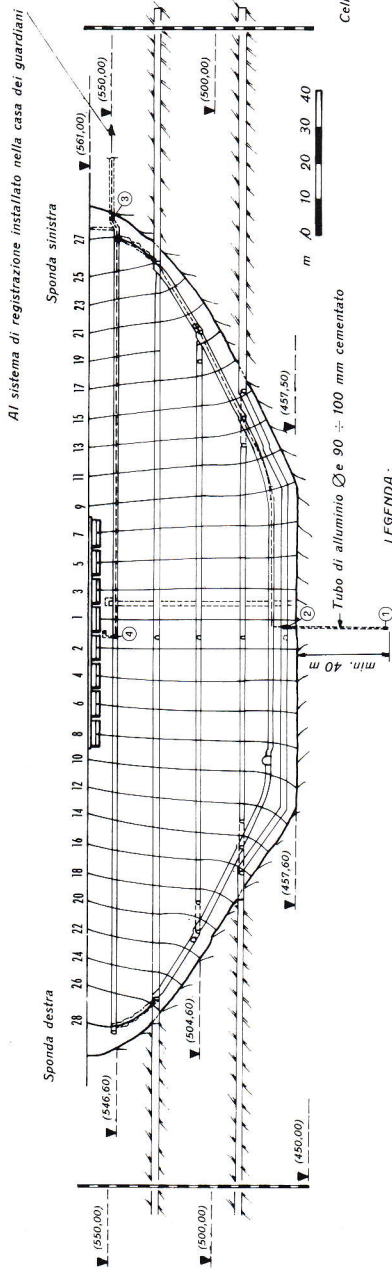
Max ritenuta



DIGA DI RIDRACOLI

STRUMENTAZIONE AUTOMATICA PER SORVEGLIANZA SISMICA.

SEZIONE LONGITUDINALE SVILUPPATA



LEGGENDA:

- ① Postazione
- ② " " " "
- ③ " " " "
- ④ " " " "
- Postazioni
- Percorso cavi

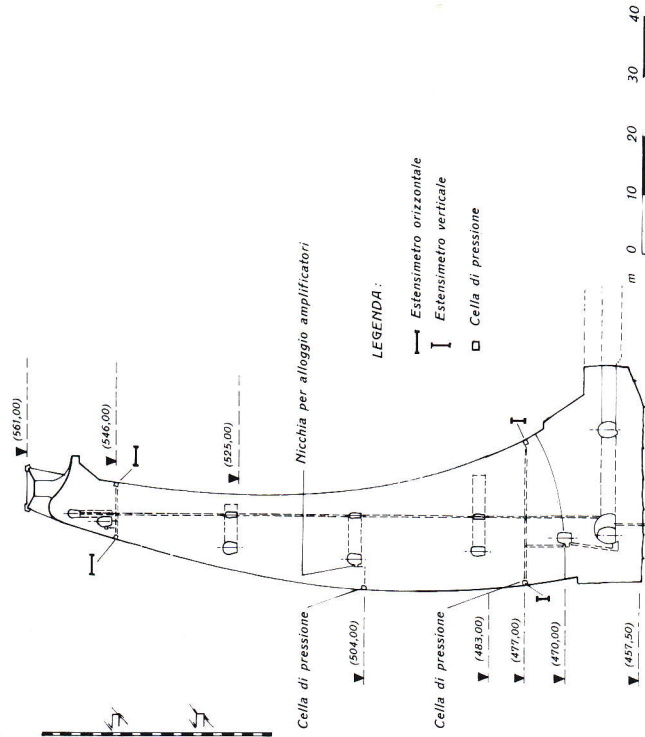
1 : Rilievo del moto sismico effettivo

2 : Rilievo del moto sismico alla base della diga

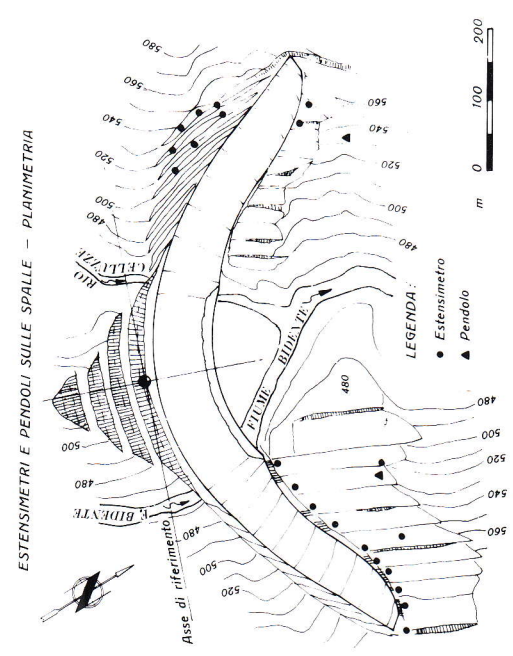
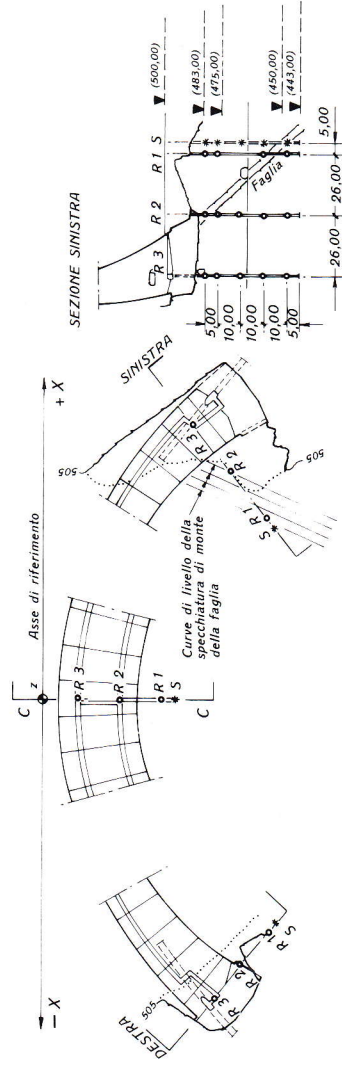
3 : Rilievo del moto sismico sulla sponda sinistra

4 : Rilievo della risposta della diga

SEZIONE MAESTRA



CONTROLLO GEOFISICO DELLE CARATTERISTICHE DELLA ROCCIA DI FONDAZIONE



DIGA DI S. GIUSTINA

(costruzione 1946-50)

1. Finalità

Regolazione annuale dell'energia producibile nell'impianto di Taio e nel sottostante impianto di Mezzocorona appartenente al sistema idroelettrico del Noce.

2. Ubicazione

Occupava la media Valle del Noce a monte di una profonda gola in cui è impostata la diga, in comune di Tassullo - Taio, provincia di Trento.

3. Dati principali

| | | |
|--|----------|---------|
| — Livello di ritenuta normale | m s.m. | 530.00 |
| — Livello di massimo invaso | m s.m. | 531.50 |
| — Capacità di invaso: | | |
| * complessiva | mc 10**6 | 182.81 |
| * utile | mc 10**6 | 171.67 |
| — Superficie del bacino direttamente sotteso | kmq | 1050.00 |
| — Portate delle opere di scarico: (con invaso alla quota di massimo invaso) | | |
| * superficie | mc/sec | 1343.00 |
| * intermedio | mc/sec | 346.00 |
| * fondo | mc/sec | 319.00 |

4. Notizie geologiche del bacino

Il bacino interessa generalmente rocce marnose impermeabili.

5. Notizie geologiche della fondazione

È incisa profondamente nelle formazioni di dolomia principale stratificata orizzontalmente con numerose diaclasi minute.

6. Caratteristiche della diga

— Tipo

Diga a volta a semplice curvatura in calcestruzzo con pareti prossime alla verticale. Gli archi sono simmetrici con spessore crescente dalla chiave all'imposta.

— Dati geometri principali

| | | |
|--|--------|--------------|
| — Quota coronamento | m s.m. | 532.50 |
| — Altezza del coronamento sul punto più depresso delle fondazioni | m | 152.50 |
| — Franco del coronamento: | | |
| * sul livello normale di ritenuta | m | 2.50 |
| * sul livello di massimo invaso | m | 1.00 |
| — Sviluppo del coronamento | m | 124.20 |
| — Raggio medio di curvatura planimetrica variabile tra | m | 25.50-44.50 |
| — Apertura angolare variabile | | 77'50''-108' |
| — Spessore al coronamento | m | 3.50 |
| — Volume nella diga | mc | 112000 |

7. Rete di monitoraggio

| Grandezze misurate | Tipo di sensore | N° punti di misura | Frequenze |
|--------------------|--------------------|--------------------|---------------|
| Livello invaso | idrometro | 1 | giornaliera |
| Temperatura aria | termometro | 1 | giornaliera |
| Temperatura acqua | termometro | 1 | giornaliera |
| Spost. verticale | livello | 11 | mensile |
| Spost. orizzontale | collimatore | 1 | quindicinale |
| Spost. orizzontale | teodolite | 1 | mensile |
| Dilat. giunti | estens. removibile | 52 | mensile |
| Dilat. corpo diga | estens. removibile | 21 × 4 | mensile |
| Rotaz. diga | clinometro | 3 | mensile |
| Rotaz. cunicoli | clinometro | 8 | mensile |
| Apertura pulvino | estens. removibile | 2 | bisettimanale |
| Apertura faglia | estens. removibile | 1 | bisettimanale |
| Perdite | stramazzo | 14 | giornaliera |

8. Il sistema di monitoraggio è realizzato tramite:

- letture eseguite dall'uomo distribuite nella struttura.

9. **Misure abbandonate:**

- triangolazione paramento distribuite nella struttura
- rotazioni paramento di valle distribuite nella struttura
- temperature corpo diga centralizzate in casa di guardia
- estensimetri elettroacustici centralizzate in casa di guardia

10. **Bibliografia**

— A. MARAZIO:

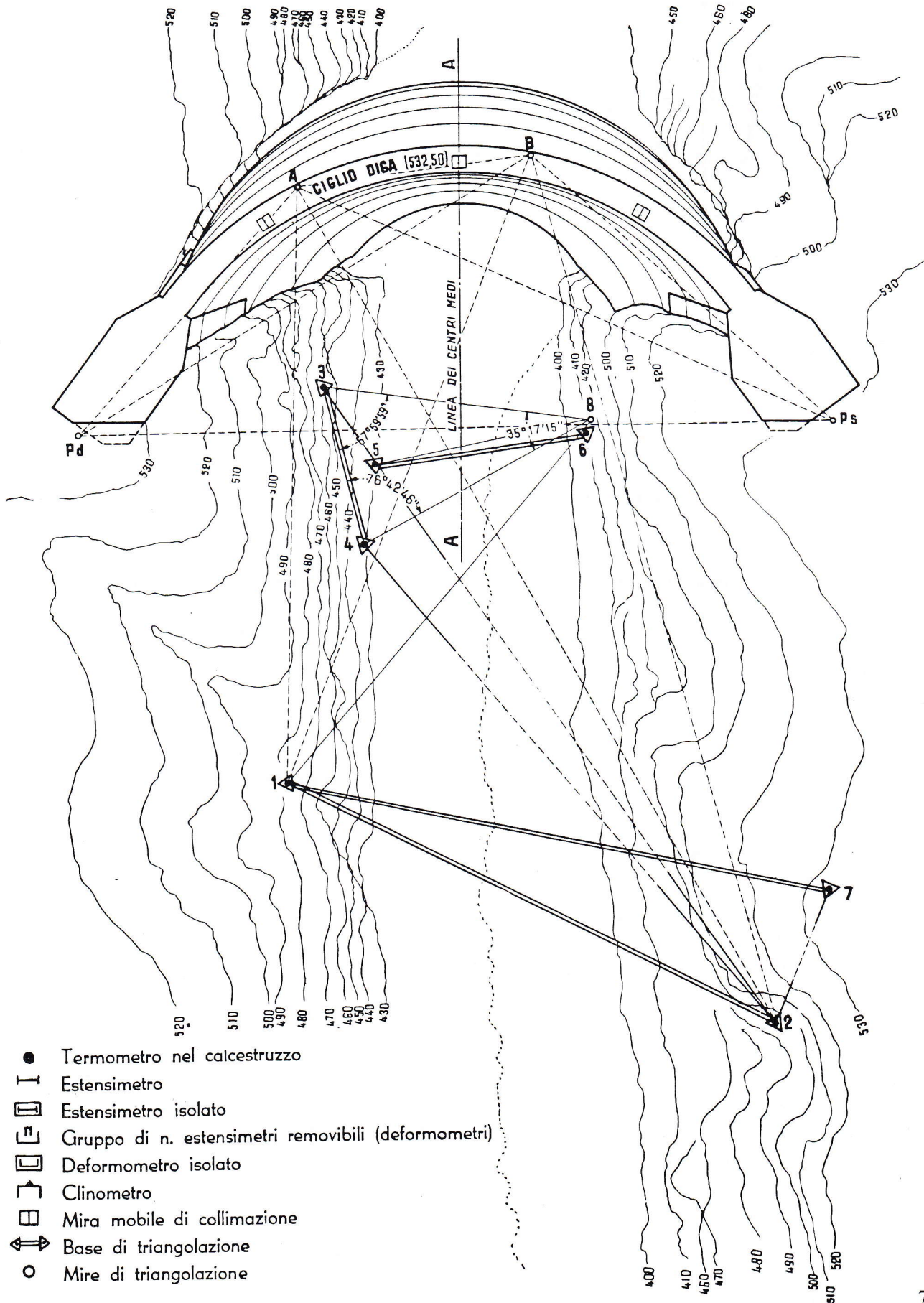
«Le misure geodetiche istituite per lo studio delle deformazioni della grande diga ad arco di S. Giustina della Società Elettrica» - L'Energia Elettrica, 1956, pagg. 233-258.

— ANIDEL:

«Le dighe di ritenuta degli impianti idroelettrici italiani». Vol II, 1951.

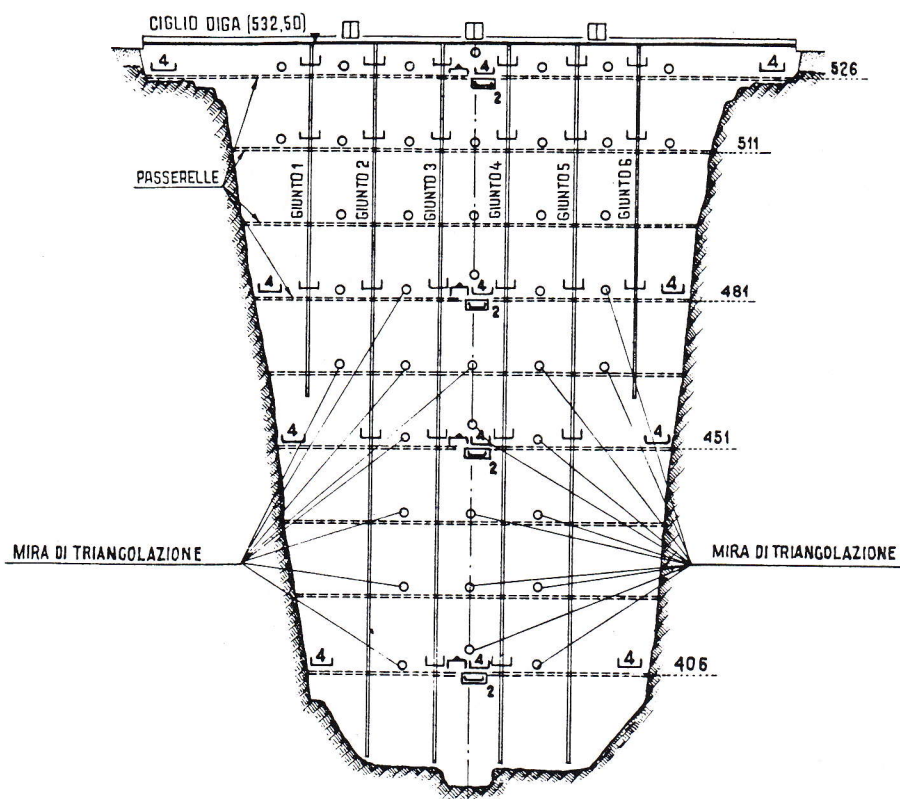
DIGA DI SANTA GIUSTINA

UBICAZIONE DEGLI APPARECCHI DI MISURA PLANIMETRIA

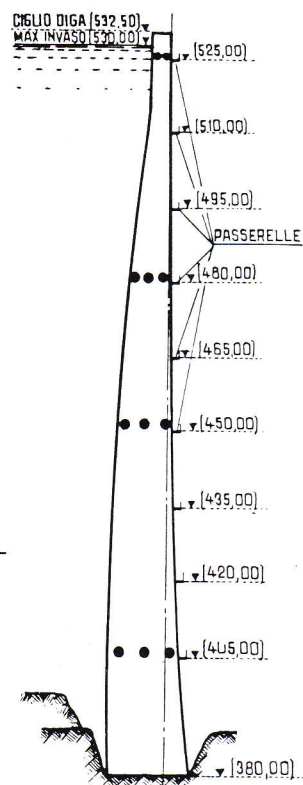


UBICAZIONE DEGLI APPARECCHI DI MISURA

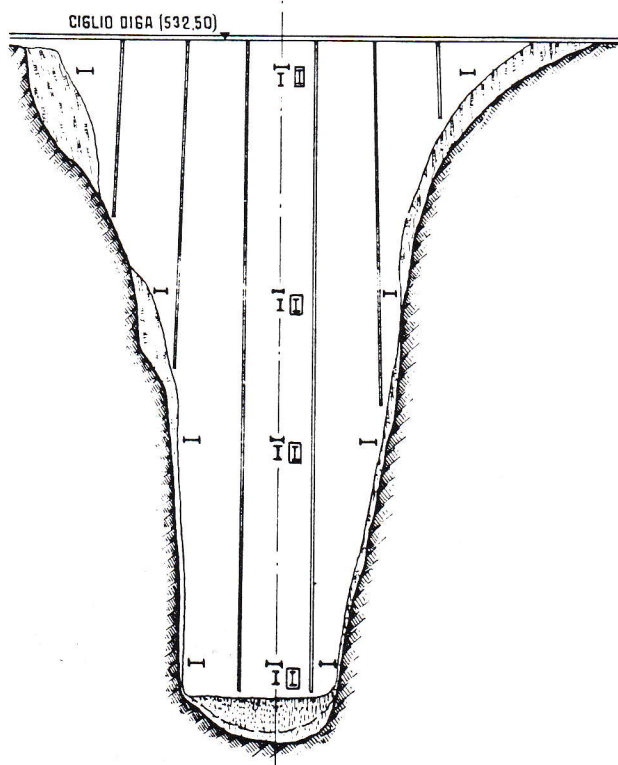
PARAMENTO A VALLE



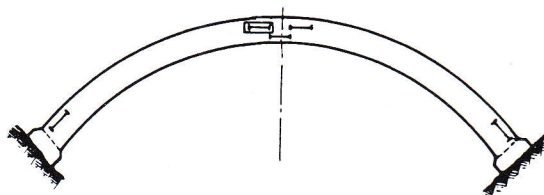
SEZIONE TRASVERSALE A - A



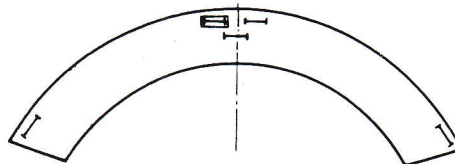
PARAMENTO A MONTE



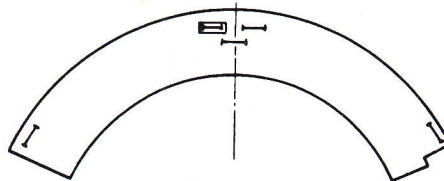
SEZIONE ORIZZONTALE A QUOTA 527,00



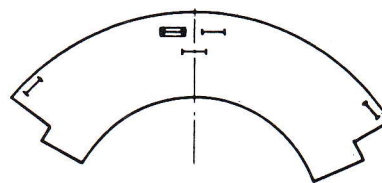
SEZIONE ORIZZONTALE A QUOTA 483,00



SEZIONE ORIZZONTALE A QUOTA 455,50



SEZIONE ORIZZONTALE A QUOTA 407,50



DIGA DI MASSERIA NICODEMO

(costruzione 1970-75)

1. Finalità

Regolazione mensile dell'energia producibile nella Centrale di Castrocucco dell'Impianto Pollino Nord.

2. Ubicazione

In comune di Lauria, Provincia di Potenza, sul F. Sinni a valle della confluenza con il torrente Coliandrino.

3. Dati principali

| | | |
|---|----------|--------|
| — Livello di ritenuta normale | m s.m. | 670.00 |
| — Livello di massimo invaso | m s.m. | 672.05 |
| — Capacità di invaso: | | |
| * complessiva | mc 10**6 | 12.40 |
| * utile | mc 10**6 | 10.00 |
| — Superficie del bacino imbrifero | kmq | 120.00 |
| — Portate delle opere di scarico: | | |
| (con invaso alla quota di massimo invaso) | | |
| * superficie | mc/sec | 493.00 |
| * fondo | mc/sec | 50.00 |

4. Notizie geologiche

I terreni interessati dal serbatoio sono costituiti da formazioni di «scisti argillosi passanti ad argille scagliose» che affiorano con continuità su entrambe le sponde. Sono ricoperti in fondo alveo da una potente coltre alluvionale ghiaioso-sabbiosa, ed assicurano la tenuta naturale del serbatoio.

5. Notizie geologiche della fondazione

In sponda destra affiora, con discreta continuità, una formazione di scisti argillosi con intercalazioni di calcari cristallini presenti in strati al massimo di qualche decimetro, mentre in sponda sinistra la formazione di scisti argillosi affiora con estensione molto più limitata ed è ricoperta, in gran parte, da una coltre di materiale sciolto derivante da disfacimento della stessa formazione.

Sotto il materasso alluvionale in alveo, avente uno spessore che aumenta da destra a sinistra fino ad un massimo di una decina di metri, la formazione di scisti argillosi si estende con continuità e pertanto lo sbarramento ricade su un terreno avente dovunque uniformi caratteristiche meccaniche. I terreni costituenti la stretta da sbarrare hanno in superficie una permeabilità non trascurabile, che decresce rapidamente con la profondità fino a ridursi praticamente a zero a 20-30 m sotto il piano di campagna.

6. Caratteristiche della diga

— Tipo

In terra, con nucleo centrale di tenuta approfondito adeguatamente fino ad immersarsi nella formazione impermeabile di base di scisti argillosi.

— Dati geometrici principali

| | | |
|---|--------|--------------------|
| — Quota coronamento | m s.m. | 674.10 |
| — Altezza del coronamento sul punto più depresso delle fondazioni | m | 43.15 |
| sul piano dell'alveo a valle | m | 32.10 |
| — Franco del coronamento: | | |
| * sul livello normale di ritenuta | m | 4.10 |
| * sul livello di massimo invaso | m | 2.05 |
| — Sviluppo del coronamento | m | 323.26 |
| — Larghezza in sommità | m | 6.00 |
| — Inclinazione (scarpa) del: | | |
| * paramento di monte | | 2.15/1; 3.5/1; 4/1 |
| * paramento di valle | | 1.5/1; 2/1; 3.5/1 |
| — Volume nella diga | mc | 485000 |

7. Rete di monitoraggio

| Grandezze misurate | Tipo di sensore | N° punti di misura | Frequenze |
|--|------------------------------------|--------------------|-----------------|
| Livello d'invaso | teleidrometrografo pneumatico | 1 | continua |
| | aste idrometriche | 1 | giornaliera |
| Temperatura aria | term. a max e min. | 1 | giornaliera |
| Temperatura acqua | term. a immersione | 1 | giornaliera |
| Umidità ambiente | igrometrografo | 1 | continua |
| Spost. verticali: | | | |
| — del coronamento | livell. idrostatica | 7 | non funzionante |
| — di punti esterni del rilevato | livell. geometrica | 8 | saltuaria |
| — in fondazione | assestimetri | 8 | mensile |
| Spost. orizzontali del coronamento e dei paramenti | collimatore ottico | 4 allineam. | mensile |
| Assest. rilevato | assestimetri con bracci a croce | 8 | mensile |
| Pressioni interstiz. | piezometri elettro-acust. | 20 | mensile |
| Pressioni totali | pressiometri elettroacustici | 5 | mensile |
| Livelli di falda: | | | |
| — nel rilevato | colonne assestim. | 8 | mensile |
| — a valle diga | piezometri a tubo aperto | 12 | mensile |
| Perdite | stramazzi | | giornaliera |

8. Il sistema di monitoraggio è realizzato tramite misure eseguite in massima parte manualmente. Sono solo automatizzate e centralizzate, in apposita cabina a valle diga, le misure relative ai piezometri e pressiometri. Non esiste confronto sistematico con dati previsionali.

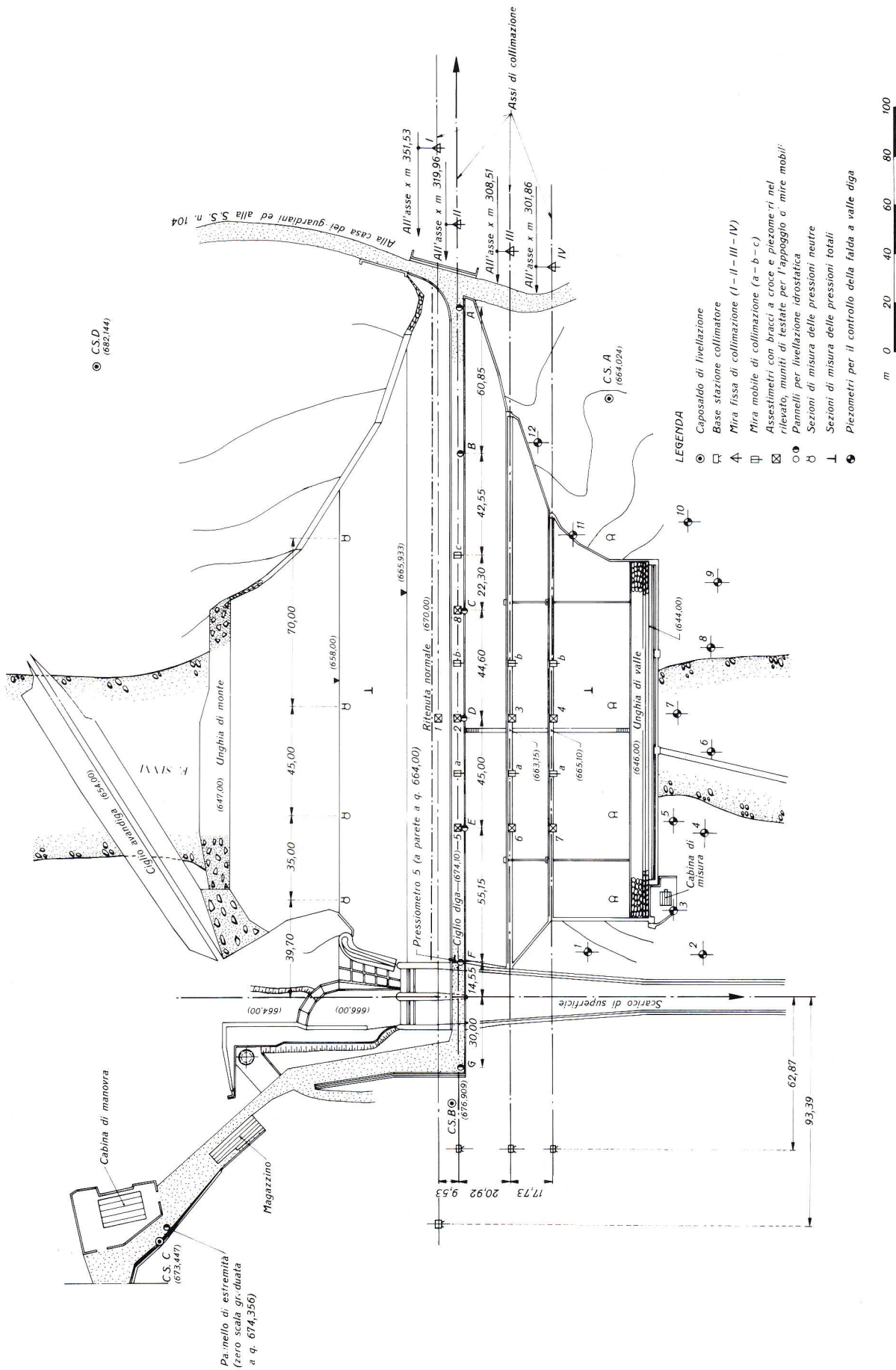
9. Bibliografia

- E. BARONE:
«L'impianto idroelettrico Pollino Nord» - L'Elettrotecnica, Vol. LX, n. 1, Gennaio 1973.
- E. BARONE:
«L'impianto idroelettrico Pollino Nord» - L'Energia Elettrica Vol. LVI, n. 7 - 1979.
- T. SILVESTRI, G. TOCCHETTI:
«Ricerca per diga in terra zonata del cerchio di scorrimento critico mediante elaboratore elettronico» - A.G.I. - X Convegno di Geotecnica, Bari, 26-27 Ottobre 1970.
- T. SILVESTRI:
«Problems concerning the realization of a reservoir in flyschoid formations» A.G.I. - International Symposium 'The geotechnics of structurally complex formations' Capri, 1977.
- R. PAOLINA:
«Diversi tipi di rivestimento provvisorio per cunicolo in flysch» - ENEL - 'Rassegna Tecnica di problemi dell'energia elettrica', Anno XXVI, gennaio-febbraio 1978, fasc. 1, n. 137.

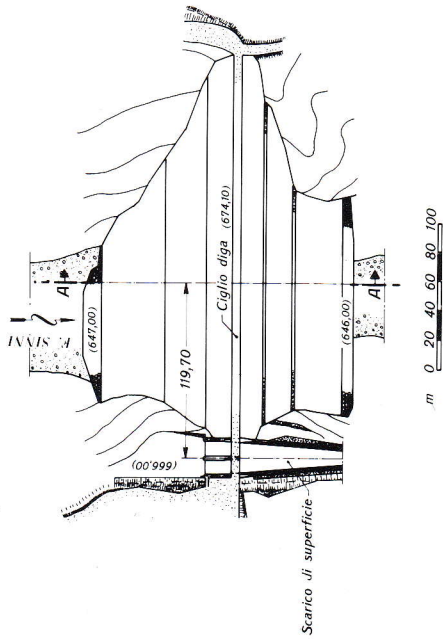
DIGA DI MASSERIA NICODEMO

UBICAZIONE DEGLI APPARECCHI DI MISURA E DI CONTROLLO

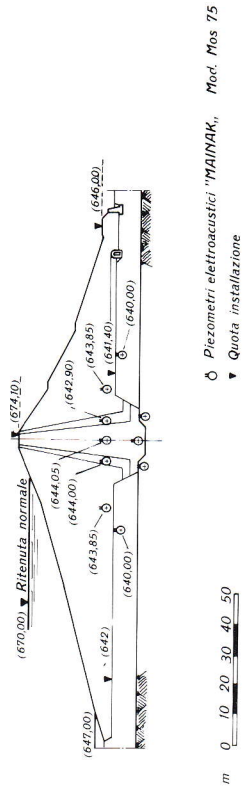
PLANIMETRIA



PLANIMETRIA



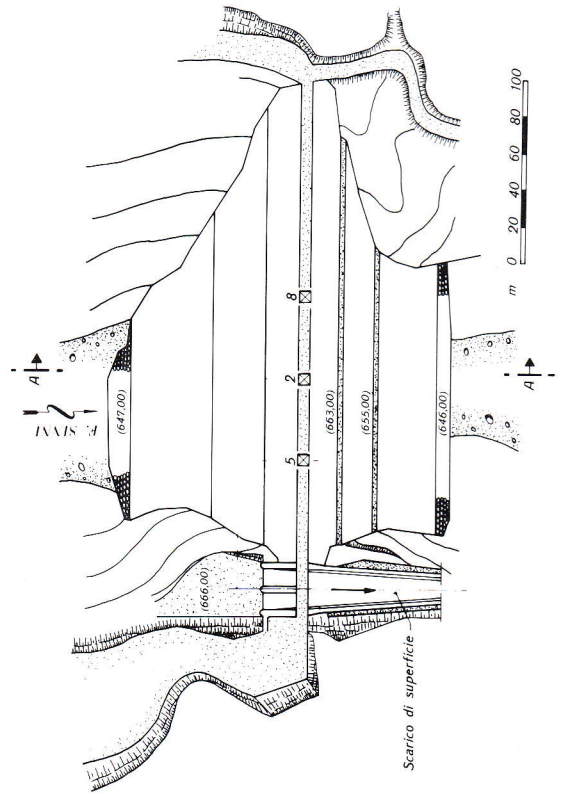
SEZIONE A - A



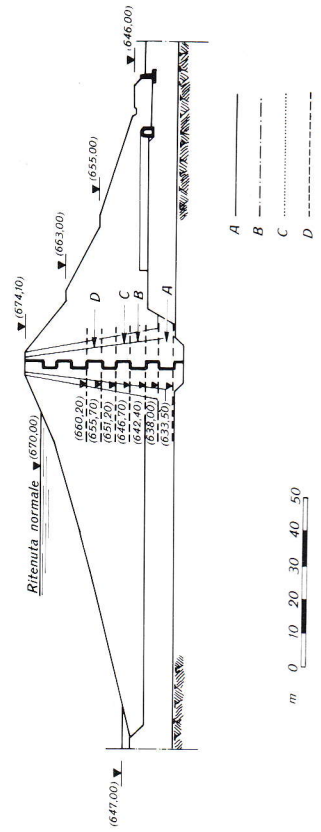
○ Piezometri elettroacustici "MAINAK", Mod. Mos 75
 ▼ Quota installazione

ASSESTAMENTI DEL RILEVATO

PLANIMETRIA



SEZIONE A - A



— A
 - - - B
 ····· C
 - - - - D

DIGA DI PRESENZANO

(in costruzione)

1. Finalità

Costituisce l'arginatura perimetrale del serbatoio inferiore dell'impianto idroelettrico di generazione e pompaggio di Presenzano.

Nel serbatoio di Presenzano vengono accumulati i volumi d'acqua turbinati nella Centrale, durante le ore di punta del carico sulla rete, per ripomparli successivamente nel serbatoio superiore, durante le ore notturne e festive di minor carico, utilizzando l'energia prodotta nelle Centrali termiche e termoneucleari.

2. Ubicazione

Nella piana esistente a sud-est dell'abitato, in comune di Presenzano, Provincia di Caserta.

3. Dati principali

| | | |
|---|----------|--------|
| — Livello di ritenuta normale | m s.m. | 156.05 |
| — Livello di massimo invaso | m s.m. | 156.05 |
| — Capacità di invaso: | | |
| * complessiva | mc 10**6 | 7.2 |
| * utile | mc 10**6 | 6.0 |
| — Superficie del bacino imbrifero | kmq | 0.00 |
| — Portate delle opere di scarico (con invaso alla quota di massimo invaso) | | |
| * scarico di fondo | mc/sec | 24.00 |

4./5. Notizie geologiche del bacino e della fondazione

I terreni di imbasamento del bacino e dello sbarramento sono costituiti da un ammasso caotico di notevole potenza di piroclastiti, più o meno profondamente rimaneggiate e alterate (paleosuoliti), aventi caratteristiche fortemente eterogenee.

6. Caratteristiche della diga

— Tipo

In rockfill, ad andamento planimetrico ad anello chiuso, a permeabilità crescente verso valle, con manto di tenuta a monte in conglomerato bituminoso che si collega con analogo rivestimento del fondo del Serbatoio.

— Dati geometrici principali

| | | |
|---|--------|---------|
| — Quota coronamento | m s.m. | 159.00 |
| — Altezza del coronamento sul punto più depresso delle fondazioni | m | 20.00 |
| — Franco del coronamento: | | |
| * sul livello normale di ritenuta | m | 2.95 |
| * sul livello di massimo invaso | m | 2.95 |
| — Sviluppo del coronamento | m | 3300.00 |
| — Larghezza in sommità | m | 5.00 |
| — Inclinazione (scarpa) del paramento di monte | | 2:1 |
| — Inclinazione (scarpa) del paramento di valle | | 1.5:1 |
| — Volume dei rilevati arginali | mc | 1300000 |

7. Rete di monitoraggio

| Grandezze misurate | Tipo di sensore | N° punti di misura | Frequenze |
|-------------------------------|---|--------------------|-------------|
| Livello d'invaso | idrometrografo | 2 | continua |
| Temperatura aria | termom. a max e min. | 1 | giornaliera |
| Temperatura acqua | termom. a immersione | 1 | giornaliera |
| Spostamenti verticali: | | | |
| — del coronamento | livellaz. geometrica | anello chiuso | trimestrale |
| — del rilevato | assestim. a piastra | 11 | mensile |
| — in fondazione | assestim. ad anelli magnetici ed assestim. a mercurio | 10 | mensile |
| Spostamenti orizzontali: | | | |
| — del rilevato | inclinom. verticali | 2 | mensile |
| — in fondazione | inclinom. verticali | 4 | mensile |
| Perdite | stramazzi | 4 | settimanale |
| Pressioni interstiziali: | | | |
| — nei terreni di fond. | piezometri elettro-acustici | 51 | mensile |
| — nello strato di transizione | piezometri a circuito chiuso | 6 | mensile |
| Livelli di falda a valle | piezometri a tubo aperto | 18 | mensile |
| Pressioni totali | pressiometri elettro-acustici | 22 | mensile |

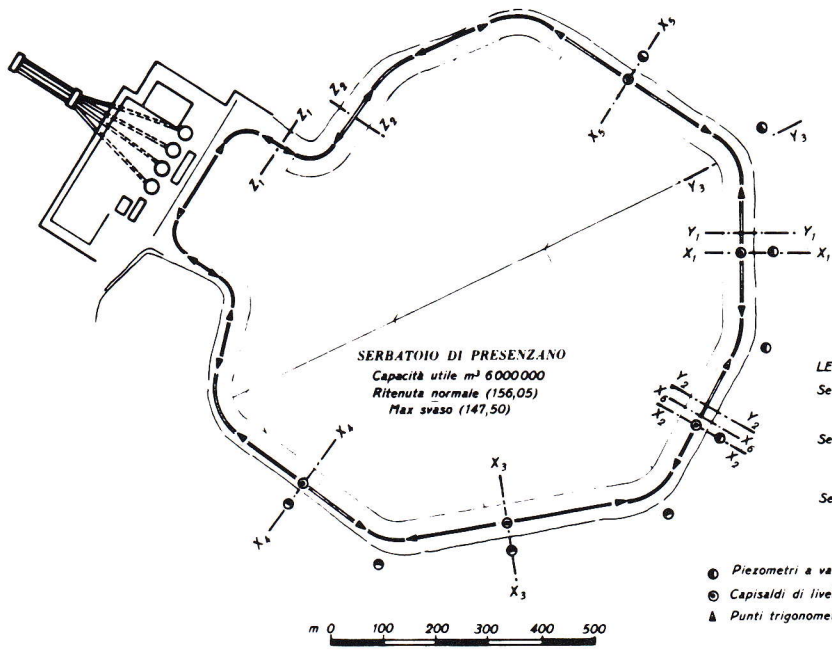
8. Il sistema di monitoraggio è realizzato con misure eseguite manualmente. Non esiste confronto sistematico con dati previsionali.

9. Bibliografia

- P.T. BROWN, G. CALABRESI, G. MANFREDINI, T. SILVESTRI:
«A large test embankment at Presenzano, (Italy)» - International Symposium «In situ testing» Paris, 1983.
- G. MANFREDINI, T. SILVESTRI:
«A large-scale in situ permeability test at Presenzano (Italy)» - International Symposium «In situ testing» Paris, 1983.
- T. SILVESTRI, F. RICCIARDI, M. ROSSETTI:
«Design and seismic stability of fill works in a large powerplant» - XI ICSMFE - San Francisco, 1985.

DIGA DI PRESENZANO

UBICAZIONE DEGLI STRUMENTI DI MISURA E DI CONTROLLO PIANTA



LEGGENDA

Sez. X-X strumentata con: Piezometri elettroacustici, assestimetri a piastra e magnetici

Sez. Y-Y strumentata con: Inclinatori, assestimetri a mercurio, celle di pressione totale, piezometri a circuito chiuso tipo BISHOP

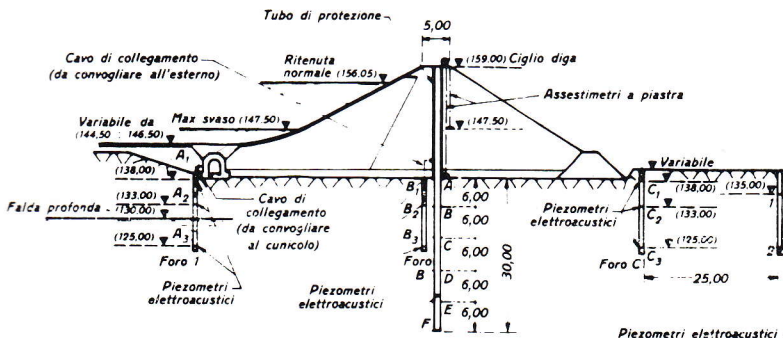
Sez. Z-Z strumentata con: Piezometri elettroacustici, in alinometri

● Piezometri a valle diga (tipo CASAGRANDE)

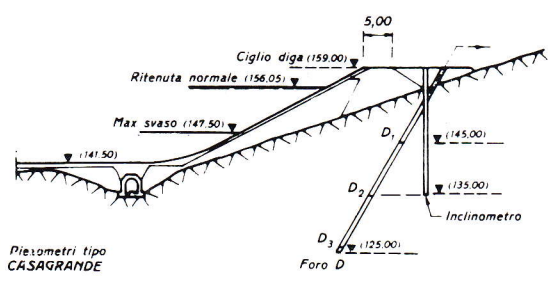
⊙ Capisaldi di livellazione

▲ Punti trigonometrici

PIANTA SEZIONE X₁-X₁ X₅-X₅



SEZIONE Z₁-Z₁ e Z₂-Z₂

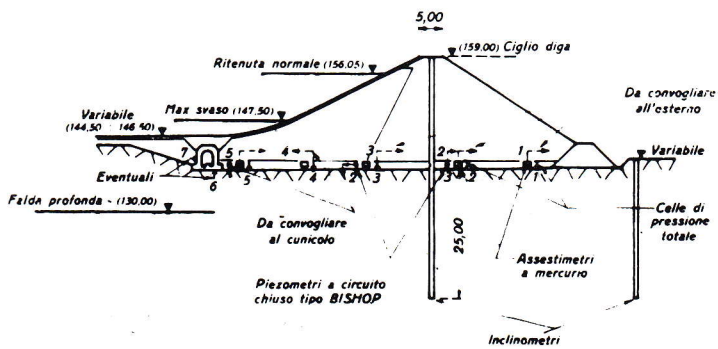


Assestmetro di fondazione - ad anelli magnetici

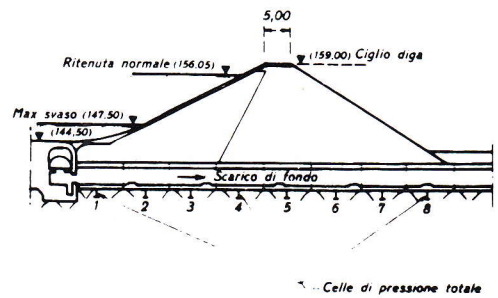
Piezometri elettroacustici con fondo scala 3 kg/cm²: posizioni A₁ - A₂ - C₁ - C₂ - D₁ - D₂ Totale 24
 Piezometri elettroacustici con fondo scala 5 kg/cm²: posizioni A₃ - B₁ - C₃ - D₃ Totale 17
 Piezometri elettroacustici con fondo scala 10 kg/cm²: posizioni B₂ - B₃ Totale 10

In complesso 51

SEZIONE Y₁-Y₁ e Y₂-Y₂



SEZIONE Y₃-Y₃



m 0 10 20 30 40 50

