

ENEL

Società per azioni

COMPARTIMENTO DI MILANO

RELAZIONE PERITALE SOPRA LE CAUSE CHE HANNO
DETERMINATO LA ROVINA DELLA DIGA DEL PIAN DI
GLENNO IN VAL DI SCALVE, CROLLATA LA MATTINA
DEL 1° DICEMBRE 1923.

RELAZIONE PERITALE SOPRA LE CAUSE CHE HANNO
DETERMINATO LA ROVINA DELLA DIGA DEL PIAN DI
GLENNO IN VAL DI SCALVE, CROLLATA LA MATTINA
DEL 1° DICEMBRE 1923.

Ing^{ri} Prof^{ri} GAETANO GANASSINI e ARTURO DANUSSO

(TAV. XIII a XX).



ISTITUTO
IDRAULICO

Premesse. — Il sig. Giudice Istruttore del Tribunale di Bergamo dr. avv. cav. Giuseppe Pace, chiamato ad esperire la istruttoria per l'accertamento delle eventuali responsabilità penali del disastro cagionato dalla rottura della diga del Pian di Glenno rovinata la mattina del 1° dicembre 1923, invitava i sottoscritti ad assumere la veste di periti giudiziarij per indagare in linea tecnica quali potevano essere state le cause del disastro.

Il mandato peritale veniva concretato in un unico quesito così concepito : « Fatti tutti gli accertamenti che reputeranno necessarij, esperite tutte le indagini di indole tecnica e costruttiva, presa notizia di tutte le testimonianze che potranno recare luce sui criteri tecnici e costruttivi adottati per il progetto e la costruzione della diga, espongano i periti quali possano essere state le cause originarie ed immediate del disastro ».

Successivamente per istanza della Procura del Re veniva aggiunto un quesito supplementare di natura geologica così enunciato : « I periti accertino anche se e quali conseguenze debbono derivarsi dal fatto dell'essersi formato il lago artificiale nel luogo che da secoli serviva di scarico al ghiacciajo del Glenno e nel quale perciò è presumibile che la terra avesse poca consistenza, senza prima avere accertata la natura geologica del terreno, e cioè senza prima avere accertato se quella terra e quella roccia avevano le qualità occorrenti per garantire la tenuta delle acque ».

Gli scriventi per la espletazione del loro mandato hanno in primo luogo fatto accurati accertamenti metrici sul posto rilevando direttamente la località dello sbarramento : hanno poi richiesto tutta la documentazione tecnica del progetto stata presentata al Ministero dei Lavori Pubblici agli effetti delle vigenti disposizioni sulle derivazioni di acque pubbliche : hanno assistito agli interrogatori degli imputati ottenendo dall'Autorità Giudiziaria la facoltà di rivolgere direttamente agli imputati stessi domande di indole tecnica : hanno prelevato dei campioni delle murature costituenti la diga e li hanno assoggettati a prove di resistenza presso il Laboratorio di Scienza delle Costruzioni del R. Politecnico di Milano : per quanto riguarda infine il quesito geologico hanno ritenuto indispensabile affidare l'indagine relativa all'III. prof. ing. Augusto Stella, Direttore della Scuola Mineraria del R. Politecnico di Torino, che per l'alta dottrina scientifica e per la speciale conoscenza dei problemi geologici attinenti alla creazione dei laghi artificiali si era sicuri che

poteva dare il più completo affidamento per il delicato responso. (Le relazioni del prof. Stella sono allegate in originale alla presente relazione).

Tutte le ricerche, gli studi e gli esperimenti istituiti sono riassunti nella presente relazione che gli scriventi hanno cercato di disporre con lo stesso ordine con cui la logica delle analisi in un primo tempo, e quella dei riassunti deduttivi, in seguito, hanno guidato la impostazione e la delineazione delle conclusioni.

PARTE I.

DESCRIZIONE DEL TIPO DI DIGA COSTRUITO.

Fasi diverse del progetto originario — Risulta dagli atti di istruttoria ed è confermato da tutte le deposizioni testimoniali e dalle dichiarazioni dei titolari della Ditta proprietaria dell'impianto e dell'Ingegnere Consulente, che originariamente si era progettata una diga a gravità, con un tampone ad arco in basso, sostituito poi questo tampone da una struttura composta da tre arconi a generatrici verticali appoggiati a due robusti piloni centrali oltre che sulle due spalle rocciose.

La concessione governativa della derivazione d'acqua appare infatti riferita ad un progetto a firma ing. Gmùrr di Bergamo, dove la diga ha il tipo normale a gravità solo a partire dal ciglio dell'incisione, mentre questa, che è stretta e profonda ed ha l'aspetto di una forra, doveva chiudersi con una struttura chiamata a funzionare come arco.

Le opere erano già avviate secondo questo progetto ed una parte della muratura del tampone era già stata eseguita, quando si prospettò la sostituzione del muro a gravità nella parte superiore con un tipo di diga ad archi multipli lasciando sempre intatto il concetto di chiudere l'incisione profonda in basso con una struttura massiccia. La tripla arcata venne abolita ed in basso si pensò di lasciare una specie di tombone, largo da 3 a 4 metri, destinato a servire per lo scarico di fondo, e chiuso a monte da un arco di calcestrutto a generatrici verticali. Il piano di appoggio degli speroni della diga ad archi multipli venne stabilito ad una quota molto più alta (oltre 20 metri) della quota di fondo dell'incisione originaria: la parte di muratura che era stata costruita sul lato destro dell'incisione, e che doveva incorporarsi con la diga a gravità da sovrapporsi al tampone ad arco, venne in parte demolita e comunque sistemata per creare gli zoccoli degli speroni secondo il nuovo progetto.

Appare ad ogni modo che il concetto di adottare strutture staticamente diverse nelle due zone della sezione dello sbarramento (la forma angusta in basso e quella a forma largamente trapezoidale più in alto), era già stato adottato originariamente così che l'adozione del tipo ad archi multipli, limitatamente alla zona superiore dello sbarramento, non ha rappresentato, nella fase, diremo così, storica del progetto, che la sostituzione del tipo a gravità già predisposto per la sola parte superiore.

Siccome d'altra parte l'ampiezza della base per una diga a speroni è notevolmente maggiore che per una diga a gravità per una stessa altezza di

ritenuta, così è stato necessario integrare le dimensioni del tampone con aggiunte di muratura di cui principale è stata una briglia di calcestruzzo gettata a ridosso del paramento a monte.

Si vedrà più avanti nella discussione delle risultanze tecniche degli interrogatori come possono essere, in linea di ricostruzione storica, delinente le modalità con cui queste integrazioni sono state eseguite.

Caratteristiche tecniche del complesso dello sbarramento. — Si riportano: un disegno completo della sezione trasversale dello sbarramento in corrispondenza della parte più depressa della struttura per un riferimento alle cifre descrittive (Tav. XIII): una pianta della diga (Tav. XIV): il piano a curve di livello originario (Tav. XV): (I disegni sono desunti dal progetto presentato al Genio civile con le correzioni introdotte in sede di costruzione e rilevate direttamente).

Planimetricamente la diga consta di due tratti rettilinei laterali tangenti ad una parte centrale ad arco di m. 93,50 di raggio riferito all'asse della strada sul ciglio: la lunghezza sviluppata dell'arco centrale è di m. 72: la parte rettilinea destra è di m. 96,00 oltre 4 metri occupati dalla pila-spalla, e quella rettilinea sinistra di m. 32,00 oltre 4 metri della pila-spalla e m. 12,00 di spalla sul fianco della montagna.

Il così detto tampone secondo il progetto doveva essere foggato ad arco concentrico a quello della parte centrale a struttura ad archi multipli ed avere uno spessore in ciglio, alla quota 1521, di m. 32,20. Si vedrà più avanti come in linea costruttiva si siano avute delle varianti.

Il numero delle volte è di 25 con un'equidistanza tra gli assi (eccettuate quelle adiacenti alle pile-spalle) di m. 8,00.

Altimetricamente, sempre secondo il progetto, il tampone ha una scarpata di 1/10 all'interno e di 1/5 all'esterno: lo sperone una larghezza alla base, alla quota 1523, di m. 24,85, una inclinazione del paramento a monte di 3 di base per 4 di altezza ed il paramento a valle foggato a curva con quattro scarpate diverse e cioè del 25 % dalla base alla quota 1523, del 15 % dalla quota 1528 alla quota 1533, del 10 % dalla 1533 alla 1538 e del 5 % dalla 1538 alla 1543. In linea costruttiva invece è stata tenuta una scarpata unica del 10 % dalla quota 1528 alla quota 1543. A questa quota la sagoma dello sperone diventa irregolare, diremo meglio anzi, che si può dire che a questa quota finisce lo sperone propriamente detto, poichè al di sopra si ha una serie di archi di collegamento che nel progetto del Genio Civile erano previsti di m. 3,50 di larghezza, mentre in linea esecutiva furono tenuti di m. 4,32; (i dati verificati sul posto coincidono con quelli riportati in una tavola di disegno contenuta nell'incarto sequestrato dall'Autorità Giudiziaria presso lo studio dell'ing. Santangelo). Al di sopra di questi archi, spianati a formare una banchina, si ha una nuova struttura formata di tre campate di archi inclinati per ognuna delle campate degli archi principali, sostenuta da piccoli speroni di m. 0,45 di spessore. Qui, come emerge dal disegno, v'è effettivamente una sensibile differenza tra il progetto presentato al Genio Civile e le modalità costruttive; la differenza però è a tutto vantaggio della stabilità della parte più alta dello sperone che con le nuove dimensioni risulta molto più robusta.

Lo spessore degli speroni della parte curva è tenuto costante dal paramento a monte a quello a valle ed è di m. 3,41 alla base, alla quota 1523, e di m. 2,00 alla quota 1543 dove si impostano gli archi orizzontali. Nella parte rettilinea invece lo spessore è costante dal paramento esterno fino a m. 8,50 verso l'interno e poi rastremato fino a raggiungere lo spessore di m. 2,00 in corrispondenza dell'imposta: lo spessore è poi mantenuto costante all'imposta per tutta l'altezza dello sperone. Si è così ottenuto lo scopo di mantenere la perfetta identità delle direttrici di intradosso in tutti gli archi inclinati.

Le volte inclinate hanno uno spessore di m. 0,80 in basso e di m. 0,35 in alto e un raggio di m. 3,00 essendo le volte a pieno centro: l'angolo al centro è di circa 140° riferito alla linea d'incontro dell'estradosso con il piano dello sperone verso acqua.

Ogni pila è appoggiata sopra uno zoccolo che ha due metri di altezza e una risega di 50 cm. tutt'attorno. Questo zoccolo nella parte centrale della diga è appoggiato sul tampone di muratura spianato alla quota 1521.

Sul disegno presentato al Genio Civile la scarpa esterna del tampone è segnata con una inclinazione del 20 % mentre alcuni disegni costruttivi riportano una scarpa del 10 %: la risega dello zoccolo sul ciglio esterno del tampone è negli stessi disegni di m. 2,20, mentre costruttivamente il margine è risultato di soli pochi centimetri.

Le fondazioni della diga, sempre secondo il progetto presentato al Genio Civile, hanno un andamento acclive da monte a valle per le pile dalla 1 alla 6, ed acclive da valle a monte per le pile della parte centrale dalla 7 alla 13, con un dislivello massimo nella pila 8 di m. 17,57 sopra una proiezione di m. 37,18 della struttura muraria: nelle pile 14-15-16-17-18 si ha ancora acclività da monte a valle: dalla pila 19 allo sfioratore l'andamento della fondazione è pianeggiante salvo per la pila 25 che ha ancora un andamento di forte acclività da valle a monte.

Calcoli statici svolti nel progetto presentato al Genio Civile. — I calcoli presentati si riferiscono esclusivamente alla struttura ad archi multipli per la quale è stato seguito il procedimento indicato dal chiarissimo prof. Camillo Guidi.

Per i volti inclinati, stabilita in linea di progetto la caratteristica di una corda di intradosso costante e di un raggio costante di m. 3,00, si è calcolato l'angolo al centro e trovato variabile in dipendenza della variazione degli spessori da un massimo di 71°29' ad un minimo di 70°17'; si è assunto poi, in linea di approssimazione, l'angolo di 70° allo scopo di poter applicare la tabella ed i grafici riportati nelle pubblicazioni del prof. Guidi senza fare interpolazioni.