

UNA PICCOLA DIGA DI CALCESTRUZZO ARMATO FUNZIONANTE A MENSOLA

M. SCALABRINI - L. CARATI - E. DEL FELICE (*)

SOMMARIO: L'impianto idroelettrico del torrente Belviso Superiore della Società Acciaierie e Ferriere Lombarde Falck funziona attualmente con una presa ad acqua fluente che crea un serbatoio di regolazione giornaliera di circa 20.000 m³.

Lo sbarramento è costituito da lastre di cemento armato affiancate alte 16 m, dei quali m 7 incastrati nel terreno morenico-alluvionale dell'alveo e m 9 a sbalzo.

La parte sottostante all'alveo serve contemporaneamente da incastro per la parte sovrastante e da taglione contro il passaggio dell'acqua.

La lastra, che è sfiorante, ha una sporgenza verso valle al piano dell'alveo che contribuisce alla sua stabilità e serve come protezione per gli scalzamenti che l'acqua sfiorante potrebbe determinare.

L'opera è lunga m 30, ha pianta arcuata con raggio di 66 m, e si prolunga nei fianchi della valle con due taglioni lunghi m 18 cadauno.

Si riferisce sul metodo di calcolo seguito, su alcuni dettagli costruttivi, sulle misure degli spostamenti osservati dopo la messa in carico che sono risultati di minima entità.

La Società A. F. L. FALCK ha in costruzione un impianto idroelettrico sul torrente Belviso Superiore, affluente di sinistra dell'Adda Alpina, tra le quote 1400 e 913.

E' in corso di costruzione una diga ad arco-gravità alta m 130, impostata in roccia, per la creazione di un serbatoio stagionale della capacità di 50.000.000 m³.

Interessava poter funzionare durante la costruzione di detta opera con l'impianto ad acqua fluente. La presa relativa capitava per ragioni topografiche ed altimetriche circa m 400 a monte della grande diga dove il torrente scorre in una formazione morenica poco elaborata e piuttosto permeabile. In detta posizione occorreva anche creare un piccolo invaso di regolazione giornaliera. L'opera conseguente, che ha carattere provvisorio, doveva essere quindi realizzata con minima spesa e senza la possibilità di costose opere di impermeabilizzazione del terreno.

Occorreva quindi affidarsi ad un taglione per opporsi al possibile sifonamento dello sbarramento.

I taglioni delle dighe a gravità in materiali sciolti costruiti a tale scopo, non hanno normalmente funzione statica. Nella soluzione da noi studiata gli abbiamo invece affidato anche la funzione di incastro statico dell'opera nel terreno in modo che essa possa funzionare come mensola.

Con queste premesse la dighetta risulta costituita da 11 lastroni in calcestruzzo armato affiancati. Di

questi, i cinque centrali sporgono m 9 sull'alveo e sono immersi per 7 m nel terreno. Una soletta sporgente dal lastrone verso valle e ad esso incastrata, contribuisce alla stabilità servendo nello stesso tempo di rivestimento dell'alveo nel punto di caduta della lama d'acqua che può sfiorare sopra il ciglio.

I cinque lastroni centrali sono disposti uno a fianco dell'altro seguendo una curva circolare di 66 m di raggio, mentre quelli che si addentrano nei fianchi della montagna sono dei taglioni in calcestruzzo debolmente armati di altezza decrescente man mano che si addentrano nella massa detritica, tre in destra e tre in sinistra.

Lo spessore nella parte immersa nel terreno per tutti i lastroni è di m 2,10, mentre la struttura ad esse, che forma la parte fuori terra dell'opera, ha spessore variabile dal livello dell'alveo al ciglio sfiorante passando da m 2,50 a m 1,70.

Il ciglio sfiorante è sagomato a becco coi bordi arrotondati per facilitare l'efflusso dell'acqua. La soletta sporgente verso valle ha spessore variabile da m 2,50 a m 1,00.

L'opera nell'insieme e nei particolari costruttivi più interessanti è rappresentata nei disegni allegati.

I lastroni hanno una lunghezza sviluppata di m 6, sono monolitici e tra loro indipendenti, avendo prevista l'eventualità anche di forti cedimenti variabili da lastrone a lastrone.

La tenuta dei lastroni è affidata alla compattezza del calcestruzzo accuratamente confezionato e vibrato.

La tenuta del giunto tra i lastroni è realizzata con una lamiera di rame di 1 mm di spessore e 200 mm di sviluppo, piegata a forma di ampio omega e di-

(*) Dott. Ing. Mario SCALABRINI, Dott. Ing. Luigi CARATI, Dott. Ing. Eugenio DEL FELICE della Soc. Acciaierie e Ferriere Lombarde Falck, Sezione Impianti Idroelettrici.

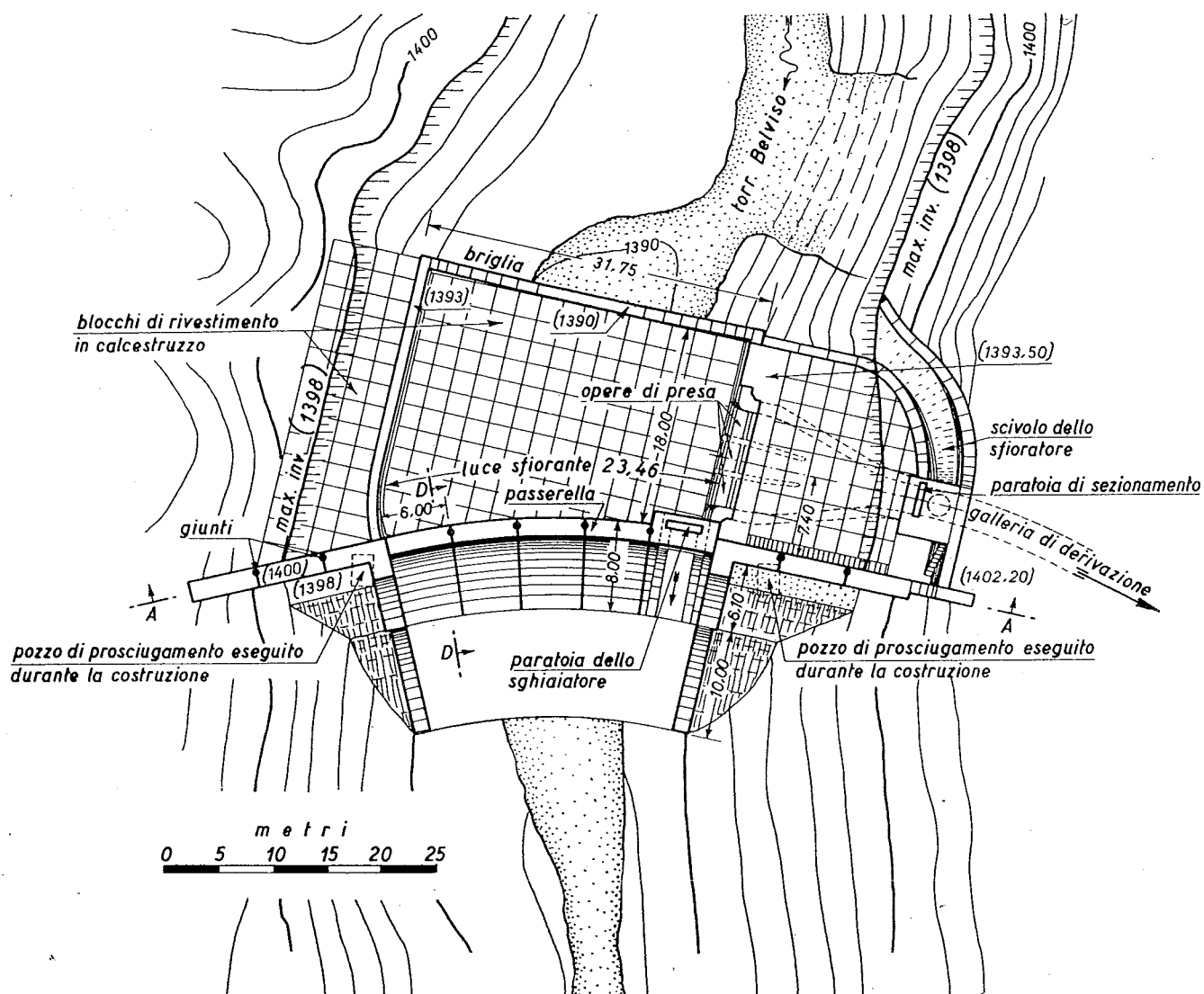


Fig. 1 - Planimetria

sposta a 20 cm dal paramento di monte. La lastra di rame realizza un'ottima tenuta pur consentendo dei movimenti relativi tra lastone e lastone anche di 4 ÷ 5 cm. Nell'ipotesi che si verificassero spostamenti maggiori e che la lastra di rame si rompesse, è stata prevista la possibilità di effettuare la tenuta mediante l'introduzione tra i lastroni di un tappo di catrame, da rammollirsi in opera mediante riscaldamento elettrico, ed attuabile anche a serbatoio invaso, come indicato nella figura 3. Questo provvedimento non ha avuto bisogno di essere attuato perché i movimenti dei lastroni sono risultati, come illustreremo, modestissimi.

Nell'intento di ottenere un perfetto contatto tra muratura e terreno naturale e ridurre le possibili filtrazioni lungo i paramenti e sulla fondazione, è stata disposta, nell'interno della muratura, una serie di tubi di ferro $\varnothing 2\frac{1}{2}$, posti alla distanza di 3 m tra loro e con diramazione ogni 2 m sui due paramenti. In questi tubi è stata iniettata, procedendo dal basso verso l'alto per sezioni, malta di sabbia

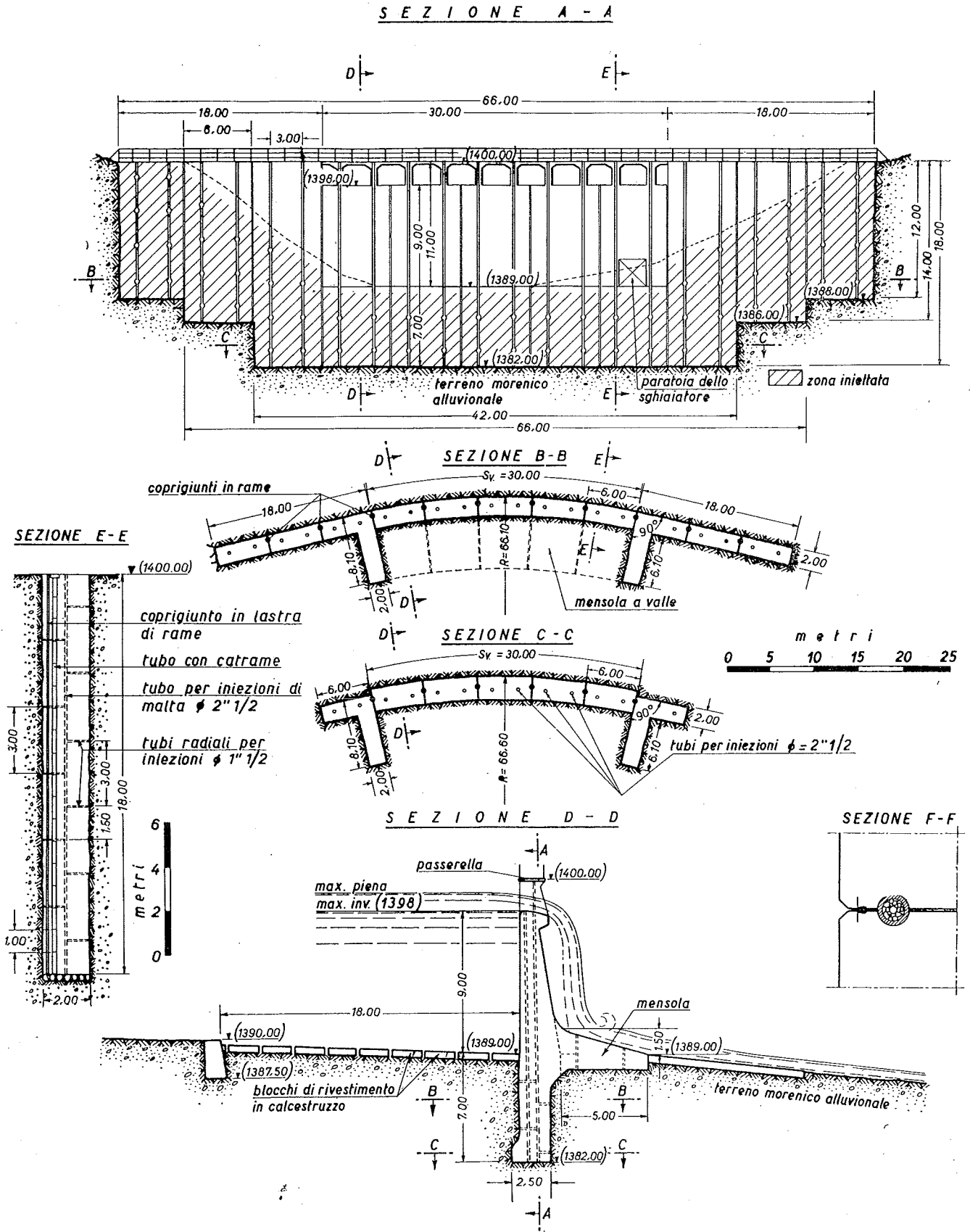
(con dimensioni massime di 2 mm) e cemento, alla pressione di 5 ÷ 6 kg/cm². L'assorbimento totale è stato sui due paramenti di circa 45 m³, corrispondenti a circa 40 litri per m² di paramento.

Il fondo e le pareti del serbatoio sono state pavimentate con lastroni di calcestruzzo fino a circa 18 m a monte dello sbarramento e fino a quota 1398 allo scopo di creare una ulteriore maggior difficoltà alla permeazione dell'acqua.

Il lastrone in prossimità dell'imposta sinistra, nel quale è ricavato lo scarico di fondo, costituito da una luce di metri 2,50 x 2,50 è opportunamente rinforzato da due speroni sul paramento a valle.

Lo sbarramento è sfiorante: la continuità del passaggio pedonale è assicurata da una passerella al coronamento, con giunti in corrispondenza dell'unione dei lastroni.

L'opera è stata eseguita nei mesi di Aprile e Maggio 1955, procedendo allo scavo del terreno dell'alveo e dei fianchi della valle, fino alle quote di fondazione mediante trincee armate a cielo aperto ed eseguendo



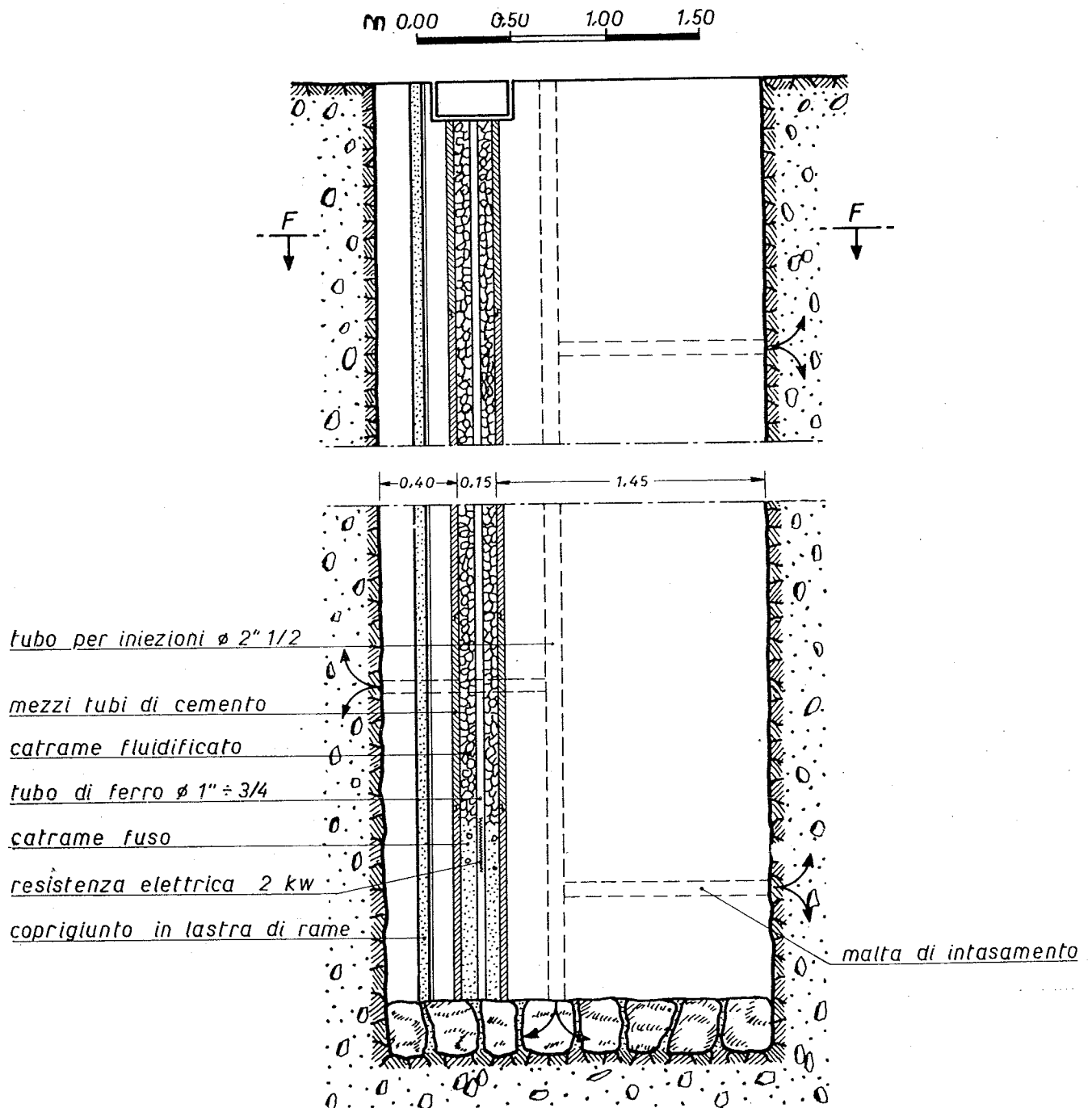


Fig. 3 - Particolare del giunto

il getto della struttura in cemento armato a conci alternati.

Lo scavo era mantenuto asciutto mediante pompaggio delle acque di infiltrazione a mezzo di pompe disposte in due pozzi spinti 8 m sotto l'alveo.

Il calcestruzzo di tipo plastico, con dosaggio di 300 kg/m³ è stato accuratamente vibrato in modo da riempire completamente lo scavo, recuperando totalmente le armature.

In Giugno è stato effettuato un primo invaso parziale.

Nonostante che la larghezza di calcolo e la

serietà della esecuzione non lo richiedessero, l'invaso è stato fatto per gradi.

Nell'intento di registrare gli eventuali movimenti dei lastroni che si verificassero durante gli invasi, è stato predisposto un sistema di controllo costituito da 3 allineamenti con scopi mobili disposti alla sommità di ciascun lastrone.

Detti movimenti della sommità dei lastroni sono stati controllati con collimatore Galileo capace di misurare 0,2 mm, secondo lo schema indicato in fig. 5

I lastroni centrali che sporgono dal terreno fino a 9 m, hanno avuto spostamenti permanenti verso valle

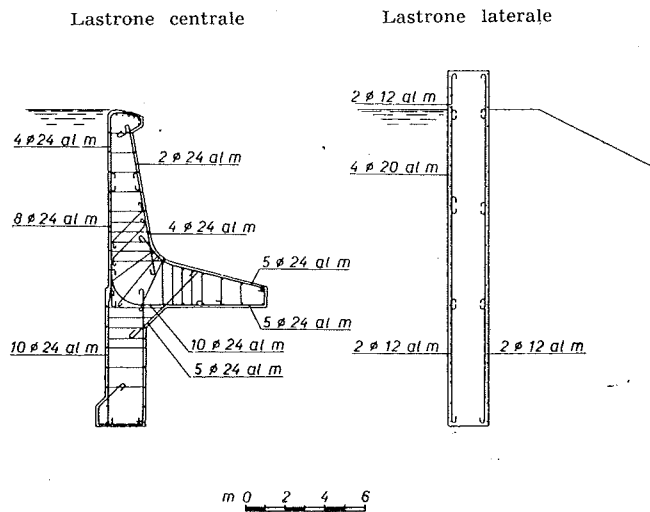


Fig. 4 - Schema delle armature

di 5 ÷ 6 mm, misurati alla quota della passerella; quelli laterali hanno registrato spostamenti irrilevanti.

A titolo indicativo nella figura 6 sono riportati, per i mesi da Agosto a Novembre 1955, i diagrammi degli spostamenti di 7 lastroni unitamente a quelli degli invasi del serbatoio e delle temperature dell'aria.

Lo sbarramento così costruito ha dimostrato una ottima tenuta anche col persistere dell'invaso e nessuna perdita o filtrazione è stata rilevata nell'alveo a valle. Si sono invece constatate delle filtrazioni provenienti dal terreno costituente la sponda destra

del serbatoio, ma queste perdite non hanno nulla a vedere con lo sbarramento.

La struttura è stata calcolata in ogni sua parte per le condizioni più gravose nelle quali può venirsi a trovare.

Le forze esterne agenti sulla struttura sono:

— carico idraulico a monte, dovuto al serbatoio pieno e con una lama d'acqua sfiorante di m 1,80 sul ciglio, cioè invaso sino a quota 1399,80;

— controbattente a valle di m. 3,00, cioè sino a quota 1392;

— sottospinta sul taglione e sulla fondazione della mensola a valle determinata secondo la legge di BLIGH e con cadente piezometrica di m 0,166.

Il diagramma di questi carichi è rappresentato nella figura 7.

Queste forze e quelle dovute al peso della struttura, danno origine ad una distribuzione di sollecitazioni sul piano di appoggio orizzontale, al di sotto del taglione e della mensola a valle, che si determina considerando la diga come struttura ad elle, con appendice costituita dal taglione.

Dall'elaborazione dei calcoli è risultato che la massima sollecitazione di compressione si ha in corrispondenza dell'estremo a valle della mensola. Essa è di 1,15 kg/cm².

L'equilibrio allo spostamento orizzontale non è invece assicurato dalle sole reazioni d'attrito della base orizzontale della mensola e del taglione. E' a questi effetti che interviene il taglione immerso nel terreno

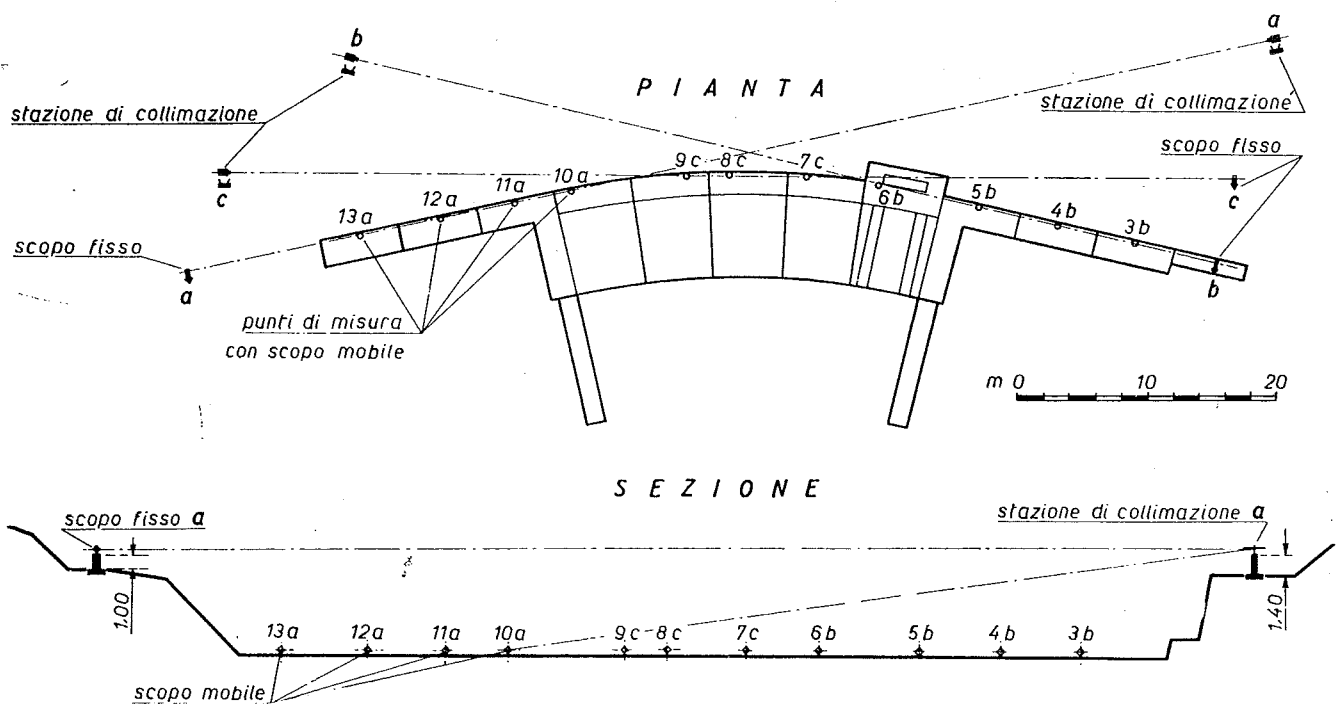


Fig. 5 - Schema del dispositivo di controllo

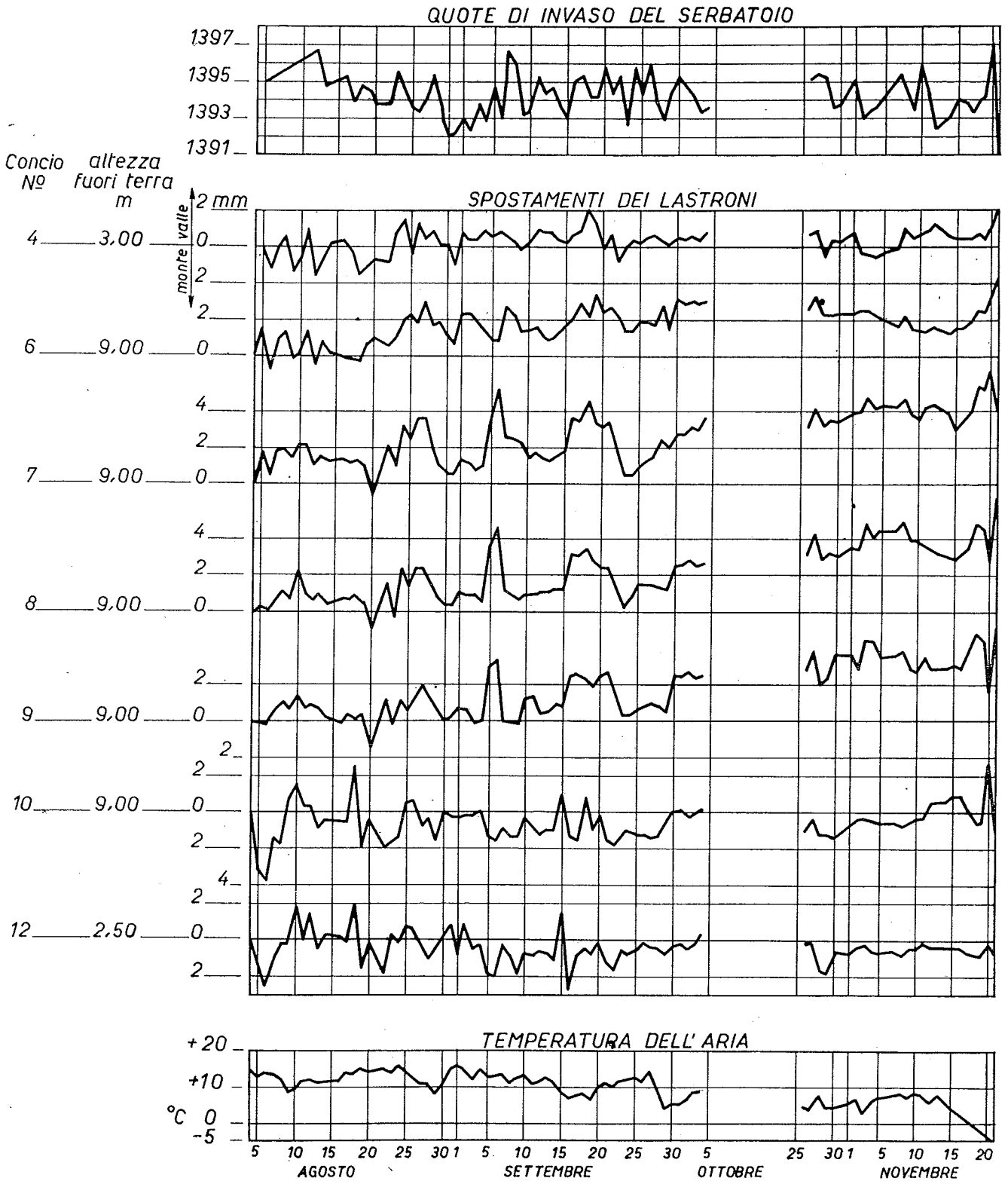


Fig. 6 - Diagrammi degli spostamenti

richiedendo alle superfici verticali del terreno stesso le reazioni necessarie all'equilibrio.

Il terreno così sollecitato è stato poi verificato determinando quale è la spinta passiva che esso è in grado di sopportare.

Gli sforzi interni della struttura sono stati calcolati con le norme delle opere in cemento armato ed in conseguenza si sono dimensionate le armature di ferro.

Il 21 ottobre 1955 si è verificata una piccola piena

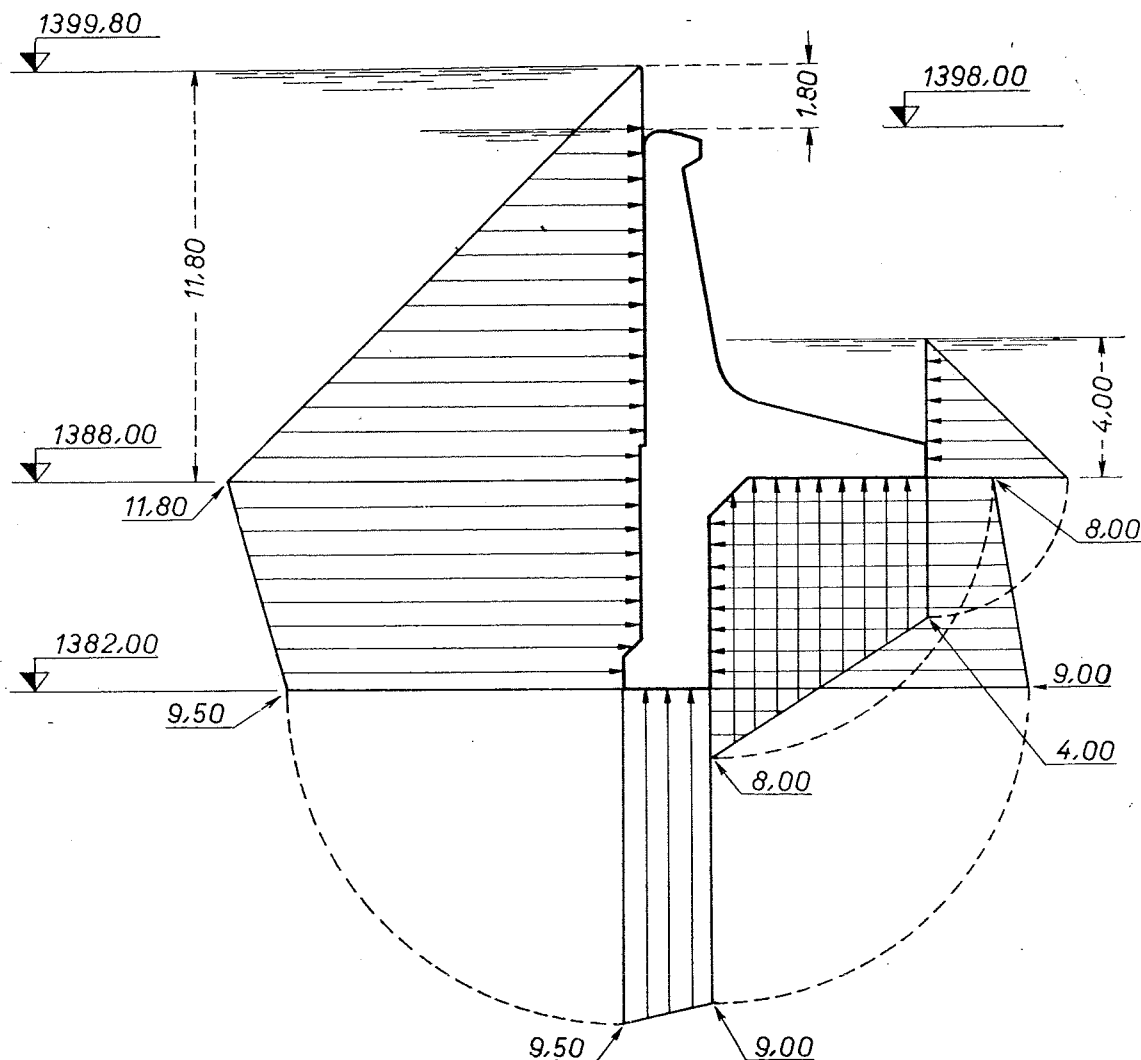


Fig. 7 - Schema dei diagrammi di carico previsti nel calcolo

e la diga ha sfiorato con una lama d'acqua di circa 0,60 m. Il 25 agosto 1956 ha sfiorato con una lama di 0,75 m. In entrambe queste circostanze il com-

portamento dell'opera è stato controllato normale, dimostrando di corrispondere perfettamente alle previsioni di progettazione e di calcolo.

SOMMAIRE — L'aménagement hydroélectrique du Torrent Belviso Superiore de la Società Acciaierie e Ferriere Lombarda Falck fonctionne actuellement avec une prise à fil de l'eau qui crée un réservoir journalier d'environ 20.000 m³.

Le barrage est formé par des dalles en béton armé de 16 m de hauteur, dont 7 m encastrés dans le terrain morenique-alluvional du lit du torrent et 9 m en porte à faux.

La partie au dessous du lit sert dans le même temps comme encastrement pour la partie supérieure et comme parafouille contre la perméation de l'eau.

Les dalles déversoir ont une consolle en aval au niveau du lit du torrent qui contribue à leur stabilité et sert comme protection contre l'érosion que l'eau déversante pourrait provoquer.

L'ouvrage est longue 30 m; il est arquée en plan avec rayon de 66 m et se prolonge dans les flancs de la vallée avec deux parafouilles de 18 m de longueur chacun.

On rapporte les méthodes de calcul, quelques détails de construction, les mesures des déplacements observés après la mise en eau, qui sont très petits.

SUMMARY: The hydroelectric development of the upper River Belviso belonging to the Società Acciaierie Lombarda Falck works actually with a spillway intake creating a daily regulation reservoir of about 20.000 cu m

The dam is formed by joining reinforced concrete slabs 16 m high, of which seven metres are embedded in the morenic-alluvional ground of the river-bed and nine are exposed.

The dam section under the river-bed is used at the same time as foundation for the abovelying part of the structure and as cut-off against seepage.

The spillway slab has a downstream projection at the river-bed plane which contributes both to its stability and to protect against erosion caused by the spilling water.

The structure has a length of 30 m, radius of 66 m and two 18 m each abutments.

Data are given on the adopted calculation methods, on some construction details and on the deflections recorded after impounding, which however are negligible.