

Diga di terra fondata su materiale di frana

K. TERZAGHI: *Storage dam founded on landslide debris* - Journal of the Boston Society of Civil Engineers - Anno 1960, vol. 47, pag. 64-94.

La diga descritta nella nota che qui recensiamo è sita sul fiume Cheakamus, circa 52 miglia a nord della città di Vancouver, nella Columbia Britannica. Il serbatoio da essa originato fa parte degli impianti della *British Columbia Electric Co.* di Vancouver.

La diga poggia su di un recente deposito di frana dello spessore massimo di circa m 45, che a sua volta ricopre i resti di un'antica foresta. Essa ha l'altezza massima di m 26 ed è circondata da montagne che superano i 1.800 metri d'altezza. L'acqua invasata viene portata ad ovest del fiume mediante una galleria lunga 6,5 miglia, alla quale segue la condotta forzata.

so SW e successivamente verso la vallata del fiume Cheakamus, anch'essa già ricoperta da ghiacci. Con lo sciogliersi di questi, i depositi lavici si conformarono variamente sbarrando temporaneamente le acque di disgelo. Circa cento anni or sono la più imponente di tali barriere franò, dando origine al trasporto di materiale vario nella stretta incisione del fiume Cheakamus. Al disotto di tale materiale franoso trovasi l'alluvione del vecchio corso del fiume.

La diga è poggiata sopra la stretta incisione, profonda circa m 90, che il fiume Cheakamus ha intagliato sul piano vallivo e le cui pareti (v. Fig. 1) sono formate da granito degradato e altamente fratturato a sua volta sormontato da formazioni basaltiche. Attraverso le litoclasti della sponda destra l'acqua di pioggia s'infiltra e discende sino al contatto tra il materiale di frana e la sottostante foresta sepolta, contatto molto permeabile in alcuni

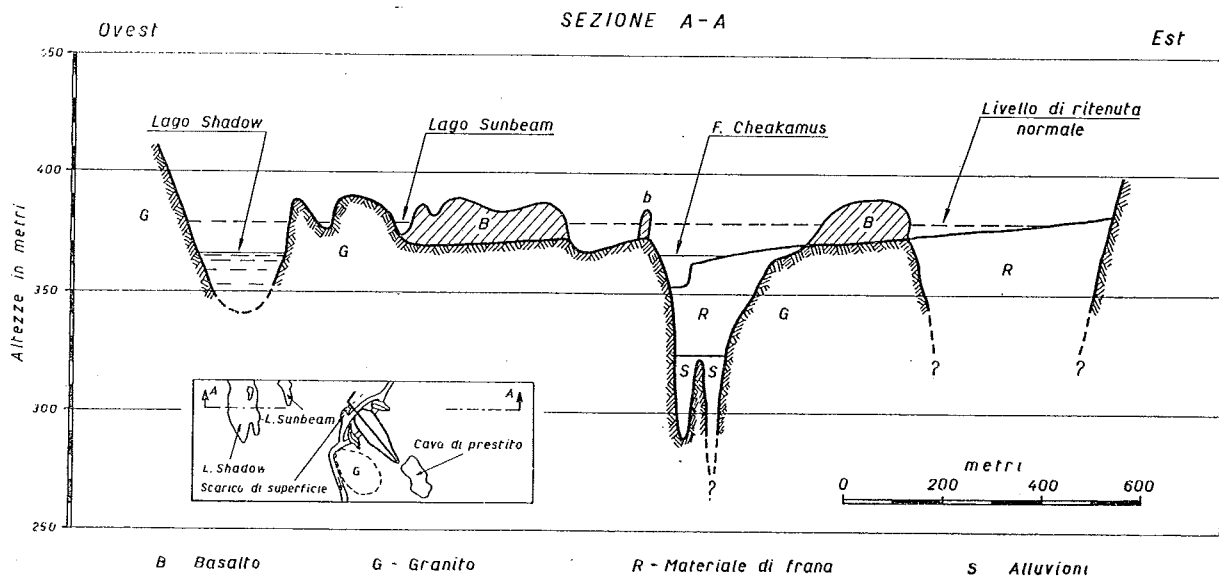


Fig. 1 - Sezione geologica della zona d'imposta diga.

La struttura di tenuta della diga è formata da materiale prelevato dal deposito franoso, con elementi della dimensione massima di circa cm 60. La spalla destra poggia contro una superficie rocciosa profondamente sconnessa che declina rapidamente sotto il piano d'imposta.

Le condizioni morfologiche del contatto tra roccia e materiale di frana si dimostrarono tanto complesse da rendere impossibile qualsiasi previsione di perdite d'acqua attraverso il terreno di fondazione. L'Autore si sofferma a descrivere le caratteristiche geologiche della regione, inquadrata nelle vaste formazioni determinate dall'attività dei vulcani pleistocenici siti ad est della zona. Il vulcano principale, alto ben 2.636 metri e denominato Monte Garibaldi, era attivo durante la fine dell'ultima glaciazione: la parte periferica del cono vulcanico, costituito principalmente da lava e altro materiale piroclastico, poggiava sul ghiaccio. Quando questo si sciolse, un grande volume di tale materiale discese ver-

punti. I graniti costituenti le sponde sono localmente indeboliti da frequenti giunti, distribuiti però irregolarmente, tanto da non permettere l'accertamento del grado di continuità.

Una larga parte del fondo valle, circa alla quota di 380 metri s.m., è formata da basalto, per la parte che ha resistito alle azioni disgregatrici, tra cui lo sperone indicato con b nella Fig. 1. Anche il basalto contiene frequenti giunti «a colonna», così da risultare molto permeabile e da esigere particolare attenzione.

Le investigazioni del sottosuolo vennero in un primo tempo limitate a 3 pozzi a cielo aperto e a 26 sondaggi; in seguito, allorché l'A. cominciò a seguire la costruzione dell'opera, vennero eseguiti all'incirca altri 70 sondaggi per meglio determinare l'andamento della superficie superiore della formazione lapidea. L'A. fa rilevare che, in base alle investigazioni effettuate sino all'aprile 1954, sembrava potersi affermare che l'asse della diga dalla par-

te nord venisse a trovarsi sopra una ripida e stretta superficie lapidea mentre dalla parte sud venisse a poggiare sopra uno stretto banco, anch'esso di natura lapidea. Durante i successivi otto mesi, a seguito degli ulteriori accertamenti, risultò invece che la prima ripida e stretta superficie lapidea non esisteva, riscontrandosi invece una unica stretta sinclinale in direzione normale all'asse della diga. Risultò anche che la base lapidea verso nord era intensamente fratturata.

Quanto ai materiali per la formazione della diga, nessun altro materiale apparve disponibile per la struttura di tenuta all'infuori del materiale di frana, denominato « *Rubble Creek Wash* ». Alle indagini eseguite mediante pozzi, dispendiosi e difficoltosi a causa del gran numero di ciottoli contenuti nel materiale, si sostituirono le indagini a mezzo trincee cavate con apripista. Il contenuto d'acqua del materiale di frana risultò elevato e inaccettabile per l'impiego, di talché risultò necessario limitare il prelevamento del materiale alla parte sovrastante la falda freatica. Era inoltre desiderabile che il fondo della cava risultasse al disopra del più alto livello d'acqua del serbatoio e vicino alla zona diga. In base a tali criteri fu prescelta l'area di cava, a valle della diga, e in essa furono scavate nove trincee; i campioni prelevati furono sottoposti alle prove usuali (analisi granulometriche, contenuto d'acqua, prove di consolidamento e di permeabilità): i risultati confermarono la possibilità di utilizzare i relativi materiali per assicurare la tenuta dell'opera.

I risultati delle varie prove portarono alla conclusione che al materiale di frana poteva attribuirsi un coefficiente di permeabilità dell'ordine di 10^{-4} cm/sec, pur essendovi tasche, strati e vene di materiale con coefficienti notevolmente più alti. Non fu possibile stabilire la permeabilità della formazione di contatto contenente la foresta sepolta, variabile entro limiti molto più ampi di quello medio determinato: fu però accertato che la permeabilità di alcune sue parti era dello stesso ordine di grandezza del sovrastante materiale di frana. Risultò anche molto variabile da punto a punto la permeabilità del sottostante granito.

Le principali caratteristiche dell'opera risultano dalle Figg. 2 e 3.

La Fig. 2 rappresenta due tipiche sezioni trasversali della diga, la quale consiste essenzialmente di un'unghia in pietrame a valle e di un corpo impermeabile a monte realizzato mediante il materiale di frana (*Rubble Creek Wash*). Al contatto tra i due materiali (pietrame e materiale di frana) fu interposto un apposito filtro dello spessore di m 4,50. Un filtro di m 0,90 fu interposto tra la base dell'unghia e il materiale sottostante. Verso la sponda sinistra del fiume, temendosi notevoli filtrazioni di acqua a serbatoio pieno, tra il materiale in sito e l'unghia di pietrame fu interposto un filtro dello spessore di m 4,50. Il fondo del fiume, in corrispondenza dell'unghia, fu coperto da un filtro dello spessore di m 0,90. Anche gli affioramenti della formazione di contatto ebbero il loro filtro dello spessore

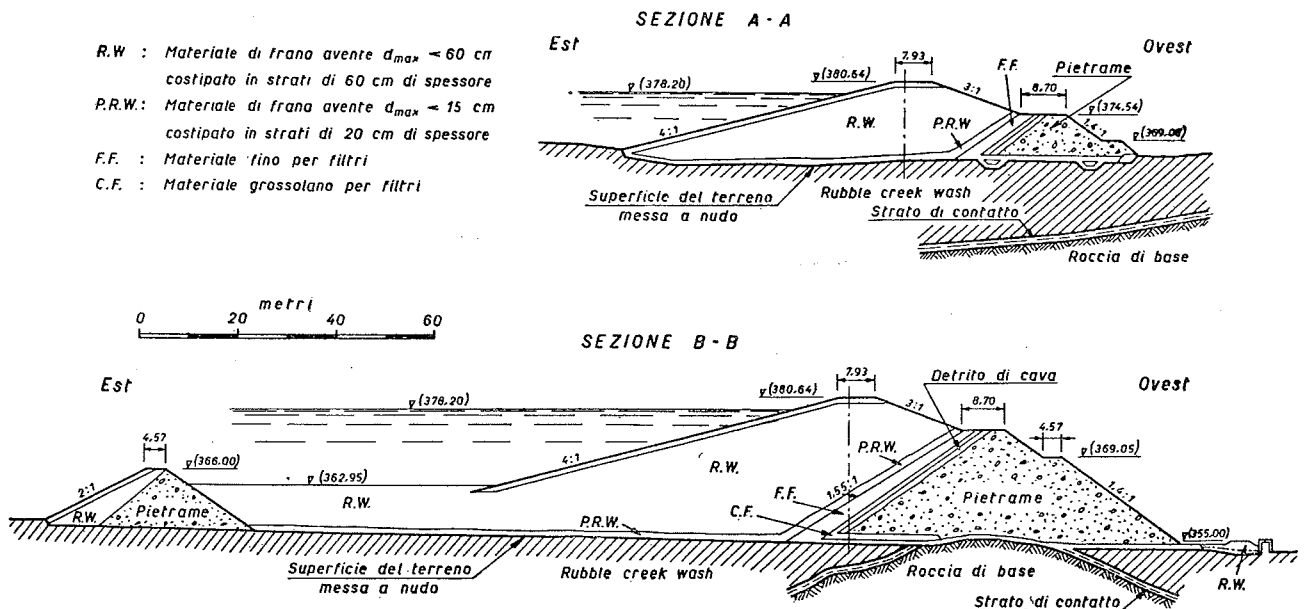


Fig. 2 - Sezioni tipo della diga (v. fig. 3).

La permeabilità del materiale di frana fu determinata adoperando tre differenti metodi: prove di permeabilità in laboratorio sul passante a 4 mesh (4,7 mm); prove in pozzi, consistenti nel riempirli d'acqua e nel misurare la velocità con cui il livello dell'acqua raggiungeva la superficie della falda freatica; infine prove di ritorno su di un pozzo appositamente costruito.

di m 0,60. Per tutti i filtri furono rigorosamente stabiliti il tipo, l'andamento e il recapito dei collettori.

Lo sfioratore e lo scarico del serbatoio furono sistemati in destra della diga, ove fu costruito un muro di calcestruzzo. Anche al contatto tra materiale impermeabile della diga di terra e muro di calcestruzzo fu inserito un filtro dello spessore di

m 4,50; la roccia al disotto del muro di calcestruzzo fu iniettata.

Il punto più delicato della costruzione risultò il contatto tra il materiale impermeabile della diga e l'affioramento di granito altamente fratturato esistente in sponda destra: in quella zona si riempirono con calcestruzzo i vuoti e le scanalature, si guarnirono le superfici frastagliate e si variarono opportunamente l'altezza degli strati, le dimensioni del materiale di frana e il sistema di costipamento.

rivelano i livelli piezometrici al contatto tra la roccia di base e il materiale di frana, ovvero al contatto tra i vari strati rocciosi. Completano gli strumenti di misura alcuni assestimetri posti a m 60 di distanza l'uno dall'altro.

Le perdite d'acqua, misurate mediante le apposite stazioni, risultarono di piccola entità: circa 19 l/sec; gli assestamenti, nel punto più alto della diga, aumentarono durante i primi due anni dalla fine della costruzione e raggiunsero i cm 7,5.

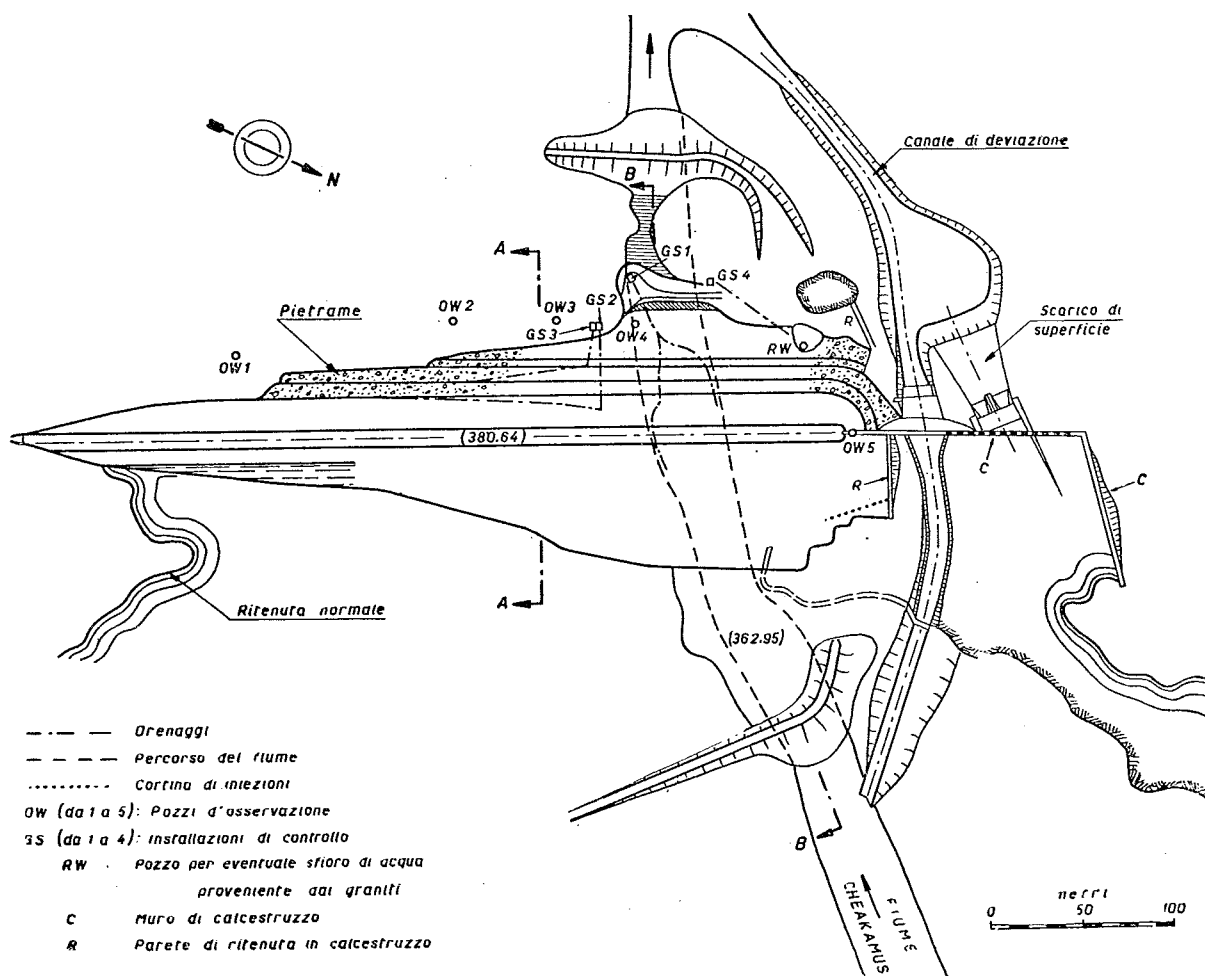


Fig. 3 - Planimetria della diga.

Nella primavera del 1955 il lavoro fu appaltato; la diga fu completata alla fine del settembre 1957. La stagione lavorativa risultò di 8 mesi.

Dal materiale per la struttura di tenuta della diga fu eseguito preventivamente un rilevato sperimentale: in corso d'opera si verificò la buona riuscita mediante frequenti trincee cavate con apripista.

L'invaso fu effettuato un mese dopo il termine della costruzione.

I dispositivi di controllo sono costituiti in 4 stazioni di misura delle portate e in 5 pozzi d'osservazione. Le stazioni di misura raccolgono le acque provenienti dai filtri; i pozzi d'osservazione invece

Le osservazioni permisero di concludere che, ad esempio, un pozzo filtrante, posto al disotto della parte di valle della diga formata con pietrame, era superfluo e che lo schermo di iniezioni risultava di scarsa efficacia.

In complesso, nonostante che in fase esecutiva fosse stato necessario modificare il progetto in base ai risultati di più minuziose indagini sulla natura del sottosuolo, il risultato finale della costruzione fu pienamente soddisfacente e confermò la possibilità di eseguire il corpo impermeabile della diga con il poco costoso materiale di frana, senza nessun trattamento preliminare.

F. Mercogliano