



UNIVERSITÀ DI NAPOLI
FACOLTÀ DI INGEGNERIA
ISTITUTI IDRAULICI

MICHELE VIPARELLI - GIUSEPPE MERLA

L'ONDA DI PIENA SEGUITA ALLA FRANA DEL VAJONT

L'onda di piena seguita alla frana del Vajont

Nota del socio ordinario MICHELE VIPARELLI e di GIUSEPPE MERLA

Nel volume « La frana del Vajont » i proff. Trevisan e Selli¹ hanno dato una vivace descrizione ed una approfondita interpretazione delle modalità di evoluzione della frana verificatasi il 9 ottobre 1963 nella vallata del Vajont. Tra l'altro hanno in esso citato alcuni dati ricavati da una breve relazione idraulica che gli scriventi avevano steso nel corso dei lavori della Commissione di inchiesta nominata dal Ministro dei Lavori Pubblici. Della Commissione, presieduta dal Presidente del Consiglio di Stato, avv. Carlo Bozzi, gli scriventi furono membri insieme agli stessi proff. Selli e Trevisan.

Tali citazioni hanno incoraggiato gli scriventi a dare al breve studio fatto a suo tempo sulla piena seguita alla frana una maggiore pubblicità riferendone all'Accademia Pontaniana, anche perché spesso sono state loro rivolte domande sull'argomento.

Per vero il fenomeno idraulico verificatosi in occasione della frana è stato di dimensioni e caratteri ancora più straordinari della frana stessa e da questo lato era sembrato agli scriventi che la sua conoscenza non potesse risultare di grande vantaggio in analoghi problemi tecnici. Ma si ha sempre interesse a chiarire un fenomeno dell'imponenza di quella piena, anche se non destinato a ripetersi, se non altro perché una migliore conoscenza di quanto è accaduto vale ad evitare la probabile nascita di leggende. A tale scopo soprattutto è destinata la breve comunicazione che segue.

Conviene premettere alcuni brevi cenni sulla situazione dei luoghi al momento della frana.

La mattina del 9 ottobre 1963 nel serbatoio artificiale creato, con geniale e ardita diga a cupola alta 266 m, sul T. Vajont, erano invasati 116 milioni di mc d'acqua, superando il pelo libero di poco la quota di 700 m s.m.

Dalla diga al Piave corrono gli ultimi 1400 m della gola del Vajont, piuttosto stretta, tagliata in alte masse rocciose con asse orientato da est ad ovest e

¹ SELLI, TREVISAN, CARLONI, MAZZANTI, CIABATTI, « *La frana del Vajont* », Giornale di Geologia, Annali del Museo Geologico di Bologna, Serie 2°, Vol. XXXII, 1964.

quindi praticamente perpendicolare al corso del Piave che, nel tronco in cui in sinistra riceve il T. Vajont, corre quasi esattamente da nord a sud (fig. 1).

Proprio sulla destra della confluenza del Vajont nel Piave si trovava una cartiera, sorta lì probabilmente al fine di utilizzare le acque captate dal torrente con un piccolo acquedotto. Di fronte alla confluenza, sulla sponda destra del Piave, si trova il piccolo centro abitato di Rivalta, e poco più in alto Longarone.

Lungo il corso del Piave, verso monte, poco a nord della confluenza, hanno sede, l'uno di fronte all'altro, gli altri due abitati di Roggia e Codissago, e ancora 2,5 Km a nord Castello Lavazzo da cui parte la strada per Codissago con un ponte sul Piave. Verso valle, a sud, si trovano via via in destra del Piave Pirago, Villanova, Faè; in sinistra Dogna e Provagna; ancora più a sud in destra Fortogna e, a poco più di 6 Km, in sinistra Soverzene allacciato alla strada statale, che corre sull'opposta sponda, mediante un lungo rilevato ed un ponte che tagliano normalmente il largo alveo del Piave.

Ai piedi di Soverzene sono le opere esterne della grande centrale idroelettrica omonima, alimentata anche attraverso il serbatoio del Vajont dalle acque del Piave; altra piccola centrale idroelettrica, detta di Colomber, destinata a funzionare solo a lago invasato, era situata in caverna, subito a valle della diga, in sponda sinistra. Il collegamento elettrico tra le due centrali era assicurato dalla linea di trasmissione elettrica Lienz-Soverzene, che corre lungo la sponda sinistra del Piave, e da un breve allacciamento tra la centrale di Colomber e detta linea lungo il Vajont. A Soverzene fanno capo altre due linee di trasmissione, l'una che proviene da Polpet, l'altra da Scorze.

Nella Valle del Vajont, a monte della diga, e dal lato opposto rispetto alla sponda poi franata, si affacciano poco più su dell'invaso gli abitati di Erto e di S. Martino; alto sulla diga è anche il paese di Casso.

A completare le notizie da premettere alla descrizione dell'ondata di piena va ricordato che nel 1961 si era manifestata una linea di distacco tra terreni saldi e quelli instabili a tergo della sponda sinistra del T. Vajont, al disotto del monte Toc, linea che si estendeva dalla diga verso est per oltre 1700 m. Nel timore di un probabile fenomeno di frana venne pertanto eseguito, presso il Centro Modelli di Nove, a cura dell'Istituto di Idraulica dell'Università di Padova, un modello inteso a stabilire l'entità dell'ondata che sarebbe seguita ad eventuale crollo della sponda.

La sera del 9 ottobre, rottosi completamente l'equilibrio della pendice sotto il monte Toc, il tronco, lungo 1700 m, della sponda sinistra della gola del Vajont a tergo del quale era apparso nel 1961 la linea di distacco si mette in solidale precipitoso movimento verso la sponda opposta, sospingendo davanti a sé l'acqua del serbatoio sia innalzandola sulla pendice compresa tra i due abitati di Erto e Casso, sia facendola rifluire nel lago residuo a monte della frana (d'ora in poi si farà ad esso riferimento come *lago residuo*).

Al rifluimento si accompagna un'onda dello stesso tipo di quella che si era

prodotta nel modello studiato dal prof. Ghetti. In questo l'acqua spostata creava un'onda che nelle condizioni sperimentali più gravi (livello lago a quota 700) raggiungeva un'altezza di oltre 30 metri. Durante la catastrofe del 9 ottobre l'analogica onda ha superato dovunque almeno di poco i 40 m. Ma mentre nel modello di Ghetti la massima altezza di 31 m si verifica solo nella zona della frana, e si attenuava poi altrove a 12 m, durante la catastrofe i 40 m si sono verificati in tutto il lago residuo. Di conseguenza i 40 m vanno piuttosto paragonati ai 12 m del modello².

L'altra porzione di acqua, quella che la sponda in movimento sospinge avanti a sé, raggiunge quote notevolmente superiori agli 800 m (in qualche punto al centro del tratto tra diga e lago residuo anche i 900 m). Cessato il movimento della massa franosa, o probabilmente già negli ultimi istanti di movimento, l'acqua ricasca indietro e, non più contenuta ai due estremi, in forma di tumultuosa corrente muove sia verso la diga, sia verso il lago residuo. A tali moti si accompagnano enormi spruzzi di acqua commista a grosse pietre, se spruzzi si possono chiamare le grandi masse d'acqua che ricadendo hanno sfondato i tetti di varie case di Casso a quota di oltre 950 m. La porzione di acqua, che precipita verso la periferia di Erto sotto forma d'impetuosa corrente, imprime ai movimenti ondosi nel lago residuo, e più probabilmente all'onda che seguì quella iniziale di rifluimento, disordinate oscillazioni trasversali. Di tali oscillazioni si ha la riprova (fig. 1) dai numerosi punti: prime case di Erto, la Pineda, la sponda opposta di Erto, la confluenza Tuora-Vajont; nei quali l'acqua ha superato notevolmente la quota 740 m.

Spentosi il fenomeno ondosio, il livello del lago residuo si placa a quota 712. Poiché esso poco prima del fenomeno era a quota 700,42, precisamente alle ore 22 secondo il diario giornaliero della centrale idroelettrica di Soverzene, si è potuto valutare che nel lago residuo si sono invasati 20 milioni di mc di tutto il volume d'acqua spostato dalla frana.

È stato anche possibile calcolare, sulla scorta dei rilievi topografici eseguiti prima e dopo il 9 ottobre, che dei 300×10^6 mc circa di materiali venuti giù durante il fenomeno franoso, 48×10^6 mc sono andati a spostare un eguale volume d'acqua³. Se si assumono in complessivi 3 milioni di mc i volumi d'acqua rimasti subito a tergo della diga, nella pozza che si è formata laddove una volta era il Rio Massalezza e nei piccoli vuoti della massa franata (fig. 2), si ha che attraverso la gola del Vajont sono defluiti verso il Piave 25 milioni di mc.

Circa la durata del fenomeno di sfioro sulla diga si hanno alcuni dati sicuri.

² La sostanziale differenza fra le due altezze d'onda va attribuita sia alla velocità di caduta della frana, assolutamente eccezionale, (vedi relazione Bozzi pag. 63), sia al volume della massa franata che è stato quasi il doppio di quello che valutato nel 1961 dai geologi venne posto a base degli esperimenti su modello.

³ Invero dalla planimetria del bacino rilevata molto prima della catastrofe si dedurrebbe un volume di poco più di 49×10^6 mc, da cui però vanno detratti i materiali scoscesi nel lago dal 1959 al 9-10-1963 in circa 1 milione di mc.

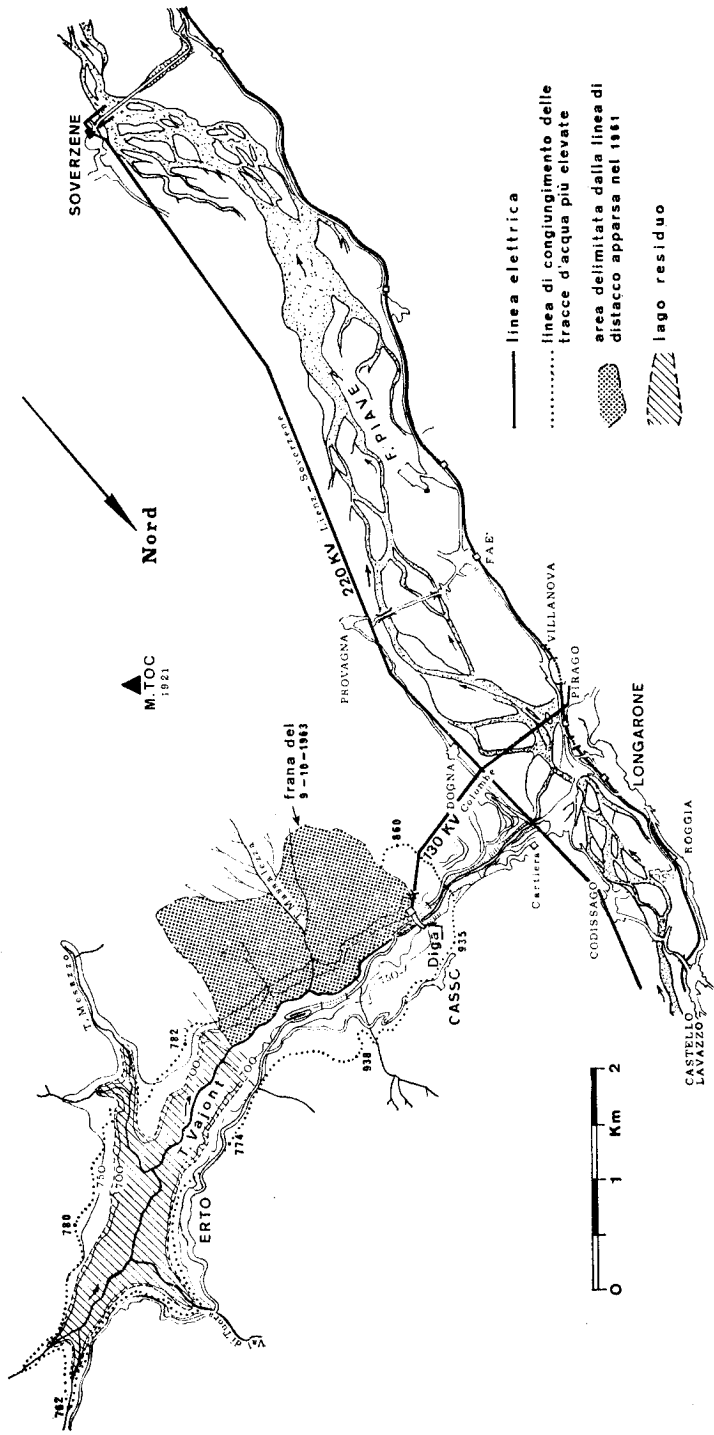


FIG. 1

Nel volume citato in nota 1, i proff. Selli e Trevisan riportano i sismogrammi registrati la sera del 9 ottobre alle stazioni di Roma, Pieve di Cadore e Tolmezzo. In particolare da quello di Pieve di Cadore hanno dedotto che le onde sismiche, che erano provocate dal frangersi del getto nella gola al disotto della diga, hanno avuto la massima intensità nei primi 48 secondi, e che in ogni caso netta è stata la differenza tra entità delle onde sismiche prodotte nei tre minuti iniziali rispetto agli altri sette successivi.

Altro dato di notevole interesse è stato raccolto nella centrale di Soverzene.

Alle ore 22,39 del giorno 9 fu avvertito un irregolare rumore rapidamente cessato nel funzionamento delle macchine della centrale; alle ore 22,43 seguì il distacco della linea di trasporto di energia da Soverzene a Lienz in Austria. Il personale della centrale ha poi interpretato tali disturbi nel senso che al primo di essi è corrisposta l'ondata sulla diga, che ha distrutto la centrale di Colomber, ed al secondo l'arrivo dell'onda al traliccio della linea di trasporto, sito allo sbocco della valle del Vajont nel Piave. La distruzione della piccola centrale di Colomber ha infatti portato una modesta alterazione dei carichi sulla rete e quindi solo una analoga alterazione del moto delle macchine; l'arrivo dell'onda al Piave, facendo crollare uno dei tralicci della linea di Lienz, ne ha interrotto il funzionamento. Grazie a tali disturbi, notati dal personale della centrale di Soverzene, si può affermare che la prima onda dovuta allo sfioro ha impiegato 4 minuti a percorrere i 1400 m tra la diga ed il Piave (fig. 2).

Collegando le due osservazioni, si deduce che la straordinaria intensità degli impulsi, che provocarono le onde sismiche registrate a Pieve di Cadore nei primi 48 secondi, va messa in relazione al fatto che in tale breve periodo l'acqua, precipitando nella gola, batteva direttamente sulla roccia. Successivamente, e sempre nei primi 3 minuti nei quali l'entità delle onde sismiche registrate risulta maggiore che nei 7 successivi, la gola del Vajont tra diga e valle del Piave si è andata riempiendo, sicché l'urto del getto sul fondo veniva attutito da un cuscino di acqua sempre crescente.

Infine si ha motivo di arguire che negli ultimi 7' l'entità delle onde sismiche si sia ridotta più che per una diminuzione delle portate, per la forte diminuzione del salto che il getto compiva liberamente nell'aria prima di immergersi nella corrente sottostante.

Va infatti osservato che le tracce d'acqua nella gola poco a valle della diga sono ad altezza rispetto al fondo di oltre 150 m, i quali a loro volta rappresentano un'aliquota notevole del dislivello totale dell'ordine di 300 m. Inoltre valutazioni energetiche derivanti dalla interpretazione dei sismografi, secondo affermazioni dei geologi, consentono di affermare che le portate verificatesi lungo lo sfioro sono state dell'ordine di 100×10^3 mc/sec.

Tale risultato è in buon accordo con quanto si deduce da valutazioni idrauliche.

Nella fig. 3 sono riportate alcune sezioni rilevate dall'E.N.E.L.⁴ nel tronco finale della gola del Vajont poco prima dello sbocco nel Piave. In due di tali sezioni, BB e CC, facendo riferimento alla traccia di acqua più bassa

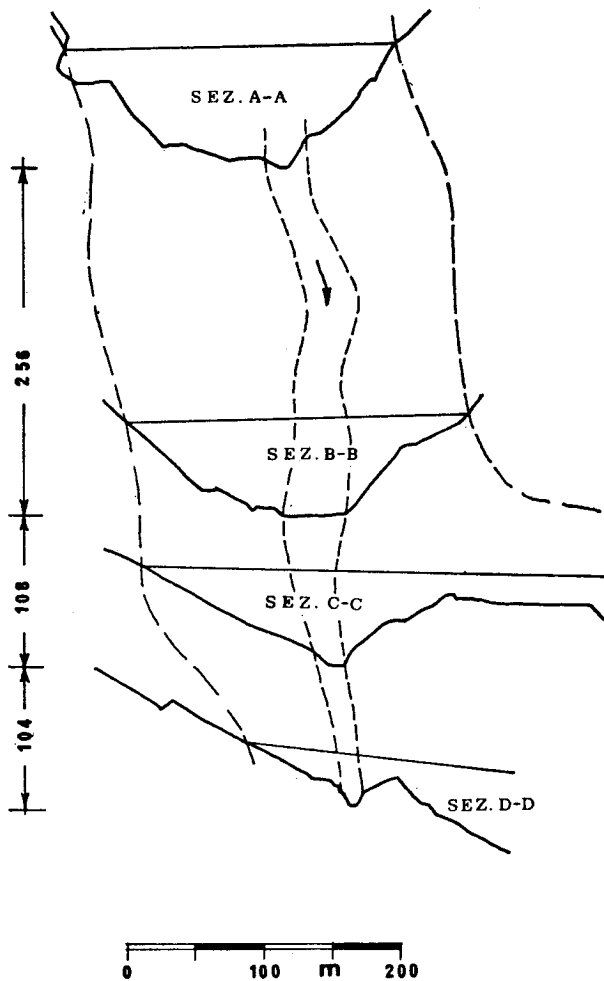


FIG. 3

tra quelle rilevate sulle sponde, si sono misurate due aree idriche rispettivamente di 12×10^3 e 14×10^3 mq. Si sono valutate inoltre, in base al rilievo fotogrammetrico in scala 1:5000 fatto eseguire dall'E.N.E.L. dopo la catastrofe, le

⁴ In particolare della collaborazione data con la raccolta di questi e di altri dati qui utilizzati si ringraziano gli ingg. Baroncini, Di Brai e Buondonno.

aree di alcune sezioni idriche desunte in base al presumibile andamento del pelo libero nella gola quale appare dal profilo della fig. 4.

Assumendo che le massime altezze d'acqua, e quindi le aree idriche sopra valutate, si siano avute nei primi momenti in cui la corrente idrica ha defluito

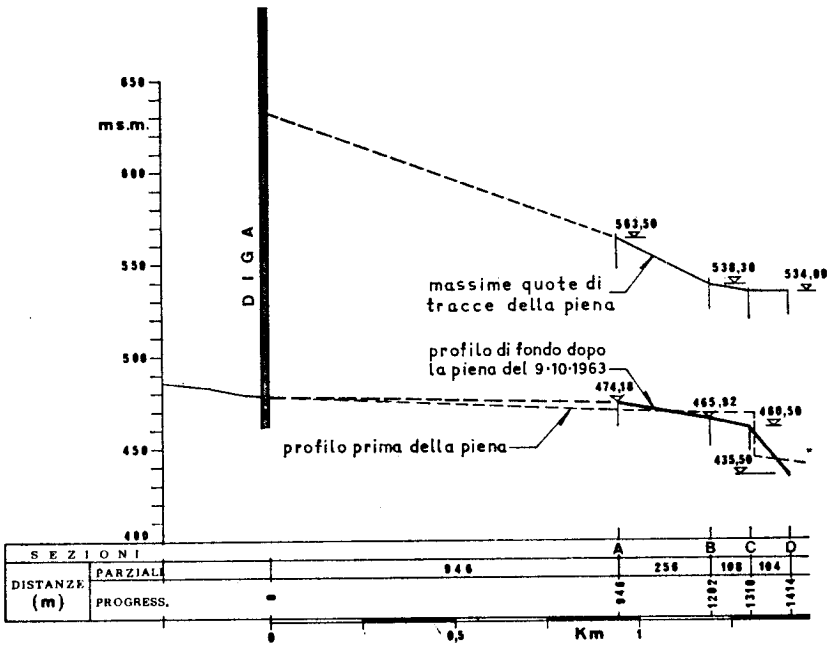


FIG. 4

in tutta la lunghezza della gola del Vajont dalla diga al Piave, si deduce che nella gola tra diga e Piave è stato invasato un volume di circa $12,5 \times 10^6$ mc.

Ammettendo, per quanto si è detto, che ciò avvenisse nei primi 4 minuti, si ritrova una portata media di sfioro della diga di $\frac{12,5 \times 10^6}{240} \cong 50 \times 10^3$ mc/sec.

Ad un valore maggiore, ma non del tutto discordante, si giunge eseguendo il calcolo della portata con cui avanza la testa dell'onda nella gola del Vajont. Poiché l'onda ha impiegato 240 sec (4') a percorrere la gola, la sua testa a fronte ripido si è mossa con una velocità di circa 6 m/sec. Moltiplicando tale velocità per una sezione media nell'ultimo tronco di 13×10^3 mq, si giunge ad una portata di circa 80×10^3 mc/sec circa.

Secondo entrambi i valori trovati appare plausibile la valutazione dei geologi di un ordine di grandezza di 100×10^3 mc/sec.

La portata media degli ultimi 6 minuti del fenomeno, con criterio analogo a quello più sopra esposto, si può calcolare pari a $\frac{(25-12,5) \times 10^6}{360}$ mc/sec = 35×10^3 mc/sec e cioè non molto inferiore a quella dei primi 4'.

È chiaro che detti valori rappresentano solo una media di quelli effettivi estremamente variabili, perché specie nei primi istanti ci devono essere state oscillazioni notevoli nelle grandezze in gioco.

All'uopo si è tentato una valutazione dell'ordine di grandezza della massima portata istantanea di sfioro, considerando il ciglio della diga come la base della sezione terminale di un canale trapezio e prendendo a riferimento le tracce d'acqua sulle due imposte. Indubbiamente la forte differenza tra le quote delle tracce rilevate sui due lati denuncia anche qui, come per l'onda nel lago residuo, notevoli oscillazioni trasversali: la luce costituita dal ciglio diga è rappresentata in pianta da un arco di lunghezza non molto maggiore del carico rappresentato dal dislivello tra tracce d'acqua e ciglio diga. Tutto ciò rende estremamente precario il calcolo. Ma ove si assuma un tirante pari al dislivello tra la più bassa delle due tracce d'acqua ed il ciglio diga, cioè dell'ordine dei 100 m, e si sostituisca all'arco della diga la corda, per ottenere la lunghezza dello sfioro, si trae una portata massima non inferiore a 400×10^3 mc/sec. Tale valore istantaneo non sembra del tutto infondato⁵.

Alle straordinarie portate si accompagnano altezze d'acqua forse ancora più straordinarie, essendo comprese tra gli 80 e i 100 m nelle ultime sezioni della gola del Vajont, con dislivelli massimi tra superficie libera nelle ultime sezioni della gola e il fondo valle del Piave non inferiori ai 100 m.

Di conseguenza la corrente giunta al Piave, non più contenuta tra le pareti della valle del Vajont, si slarga a ventaglio, accelerando non solo verso Longarone sito sulla sponda opposta, ad ovest, ma verso nord e sud.

La velocità raggiunta, in conseguenza del salto di 100 m, consente all'acqua di attraversare in brevissimo tempo la valle del Piave e di risalire sulla sponda

⁵ Per la valutazione delle portate, ed in genere per una più dettagliata conoscenza del fenomeno idraulico, molto utile si sarebbe appalesato il ricorso al modello già utilizzato dal prof. Ghetti, ma difficoltà derivanti dagli accertamenti giudiziari in corso lo hanno impedito. D'altra parte la valutazione della portata con le formule della foronomia appare giustificata dal momento in cui l'acqua ha occupato l'intero ciglio diga, cioè dal momento in cui la centrale di Colomber è stata distrutta.

Né sarà inutile sottolineare che dalla foronomia si trae anche argomento per comprendere lo straordinario comportamento statico della diga che pur sormontata con un'altezza d'acqua di oltre 100 m ha ottimamente resistito.

Ora, solo ad una certa distanza dal ciglio stesso, in un punto a tergo di una soglia sfiorante le pressioni raggiungono ordine di grandezza pari al carico sulla luce più l'affondamento dal ciglio diga del punto stesso. Di conseguenza gli archi alti della diga sono stati sollecitati da pressioni, sempre maggiori di quelle di calcolo, ma molto inferiori a quelle corrispondenti al carico di 100 e più metri con cui si verificava lo sfioro; gli archi bassi sono stati sollecitati invece con pressioni aumentate di quantità corrispondenti al carico o quasi, ma questo non era ormai multiplo più volte dell'affondamento dell'arco stesso.

opposta, tutto distruggendo sul suo cammino (Rivalta, Longarone). Per effetto delle resistenze incontrate nel suo movimento l'acqua perde parte della sua energia e risparmia le case dei Comuni di Longarone e Pirago site al disopra di quota 495 m s.m.⁶ inferiore, seppure non troppo, ai 535 del pelo d'acqua nella sezione di sbocco del Vajont nel Piave. Già nella parte più a nord di Longarone l'onda si arresta a quota 475. La corrente sulla sponda direttamente opposta al Vajont non colpisce soltanto Longarone e Pirago, ma anche più a sud Villanova (fino a quota 440).

Inoltre l'acqua contenuta dalla sponda nord della gola del Vajont si presenta ancora altissima sulla cartiera esistente in destra dello sbocco del Piave, precipita su di essa facendola addirittura scomparire, e prosegue poi verso nord, colpendo alcune case di Castello Lavazzo e di Codissago (fino a quota 455). A 2 Km a nord è ancora tanto violenta da distruggere il ponte sul Piave della strada che porta a Codissago.

Invece in sinistra la forma un po' svasata dello sbocco del Vajont nel Piave fa deprimere il pelo libero dell'acqua già nelle ultime sezioni della gola (vedi sez. DD di fig. 3) e così per fortuna indirizza la corrente verso sud in modo da risparmiare Dogna. I livelli presso Dogna e Provagna non superano quota 430.

Gli effetti disastrosi non sono però finiti in quanto pur se dopo tante distruzioni l'acqua ha perduto l'iniziale energia, l'enorme volume pervenuto in tanto breve tempo nel Piave, nel muovere ormai verso il suo recapito finale, dà luogo a portate mai verificatesi nel passato. Con velocità molto minori di quelle assunte allo sbocco della gola, e quindi non più commensurabili al dislivello iniziale di 100 m, la corrente occupa ampie sezioni della valle del Piave, tra l'altro recando gravi danni all'abitato di Faè.

A Soverzene, dove l'onda di piena trova sbarrato il suo corso dal rilevato stradale e dal ponte, il suo arrivo è segnato dallo scatto, alle ore 23,04, della linea di trasporto di energia Soverzene-Polpet interrottasi per la caduta di alcuni tralicci. Due minuti dopo la stessa centrale elettrica di Soverzene viene danneggiata dalle acque e messa temporaneamente fuori uso. Il rilevato stradale, che in prosecuzione del ponte, tagliando la valle del Piave, raggiunge la nazionale che corre sulla sponda di fronte a Soverzene, per un certo tempo fa da argine e contiene le acque provenienti da monte, ma ad un certo punto viene tracimato e distrutto per lungo tratto. Il colmo dell'onda di piena riceve così nuovo incremento.

Poco dopo l'onda raggiunge Ponte delle Alpi, distruggendo la passerella installata dal Servizio Idrografico per la misura delle portate di piena. In effetti l'altezza d'acqua avrebbe superato i 12 m, di fronte a quella massima precedentemente registrata di 3,50 m.

A Belluno, dove il colmo si verifica verso mezzanotte, i livelli raggiungono ancora quote pericolose. Alle 2,30 successive l'onda raggiunge Busche, 42 Km da

⁶ Questa e le altre quote citate sono state cortesemente fornite dall'ing. Travaglini, all'epoca sub-Commissario del Governo per la zona del Vajont.

Longarone. Alla stazione idrografica di Segusino (57 Km) essa si è notevolmente appiattita e le altezze idriche, in aumento dalle ore 3,20, raggiungono dopo le 5 l'altezza di colmo di 4,89 m, che è praticamente eguale alla massima verificatasi per il passato. Alle ore 8,30 del 10, il colmo si verifica a Nervesa della Battaglia (84 Km), ma esso risulta di m 2,33, inferiore a quello 3,01 verificatosi il 28 ottobre 1928.

I dati relativi al Piave sono stati tratti dalla relazione del 23-10-1963 dell'Ufficio Idrografico del Magistrato delle Acque.

In tale relazione appaiono ancora altri due dati che conviene citare in quanto ben concordano con quanto sopra è stato esposto. Infatti l'Ufficio Idrografico, attraverso accurato studio delle scale di deflusso e degli idrogrammi della notte del 9 ottobre relativi alle due stazioni idrometrografiche di Segusino e Nervesa, ha calcolato che il volume totale dell'onda di piena seguita nel Piave alla catastrofe del Vajont è stato rispettivamente di 23×10^6 e 22×10^6 mc.

Tali due valori sono in accordo, quasi sorprendente per chi è pratico di tali calcoli, con i 25×10^6 mc valutati per via diversa nella presente relazione, tanto più che la differenza tra i tre valori appare in armonia con il fatto che il bilancio tra volume iniziale e quelli verificatisi a valle va completato dai quantitativi d'acqua rimasti nel greto del Piave dopo il passaggio dell'onda e lentamente restituiti nei giorni successivi.



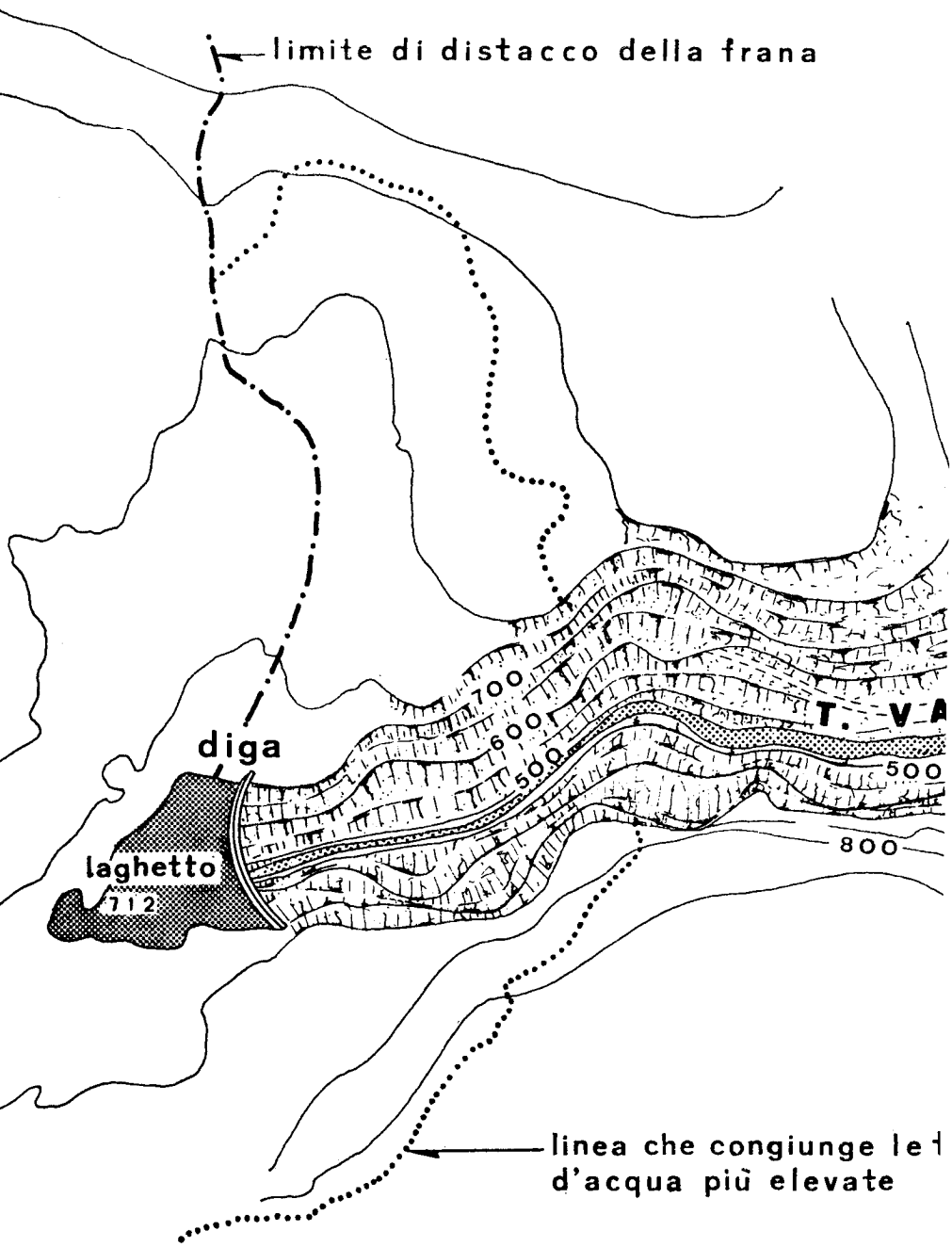


FIG. 2

