



Claudio Datei

Vajont

La storia idraulica



LIBRERIA
INTERNAZIONALE
CORTINA PADOVA

Ai sensi del Codice Penale, della legge sul diritto d'autore e del Codice Civile
è vietata la riproduzione di questo libro o di parte di esso con qualsiasi mezzo,
elettronico o meccanico, per mezzo di fotocopie, microfilm, registrazioni o altro.

ISBN 88-7784-238-5

PROPRIETÀ LETTERARIA RISERVATA
LIBRERIA INTERNAZIONALE CORTINA - PADOVA

Copyright 2003 by C. Datei

Stampato in Italia - Printed in Italy

CLAUDIO DATEI

VAJONT. LA STORIA IDRAULICA



LIBRERIA
INTERNAZIONALE
CORTINA PADOVA

INDICE

INDICE.....	V
PREMESSA	VII
Personaggi principali ed enti.....	X
Cronologia degli avvenimenti.....	XII
Ringraziamenti.....	XV
1. ANCORA UN LAVORO SUL VAJONT. PERCHÈ?.....	2
2. I LIMITI DEL LAVORO	7
3. BREVI NOTE SUL LIBRO DI SEMENZA	8
3.1. Analisi critica delle storie precedenti.....	8
3.2. La cultura geologica di quel tempo.....	11
- 3.3. La diga più alta del mondo: peccato di superbia?.....	14
4. UN PICCOLO GIALLO.....	15
5. SINTESI DEGLI STUDI GEOLOGICI, GEOMECCANICI E GEOSISMICI	17
5.1. Premessa	17
5.2. I primi geologi	19
5.3. La relazione di Semenza e Giudici del 1960	21
5.4. La frana del novembre del 1960	22
5.5. La relazione di Müller del 1961.....	25
5.6. La relazione di Penta del 1961	26
5.7. Le relazioni di Caloi	27
6. I PROVVEDIMENTI ADOTTATI DOPO IL 4 NOVEMBRE DEL 1960	29
6.1. Dal 4 novembre 1960 al 30 ottobre 1961	29
6.2. Dal 30 ottobre 1961 al 9 ottobre 1963	31
7. IL MODELLO IDRAULICO	36
7.1. Sui modelli in generale	36
7.2. Gli elementi forniti dalla Sade per il modello	39
7.3. Sui tempi di caduta della frana adottati nel modello	43
7.4. Sintesi dei risultati delle prove	45
8. LA GIUSTIZIA	47
8.1. L'imputazione.....	47
8.2. Sul reale tempo di caduta.....	48

8.3. Sull'altezza dell'onda	54
8.4. Sull'impiego della ghiaia per simulare la frana	57
9. LA QUOTA 700	60
9.1. Il problema	60
9.2. Gli spostamenti del versante	62
10. ALCUNE CONCLUSIVE RIFLESSIONI	69
10.1. La mia "infanzia" accademica e le dighe	69
10.2. Alcuni segnali	70
10.3. Dubbi e meditazioni sulle cose allora possibili	72
APPENDICE	76
A. La diga del Vajont	76
B. La relazione del modello idraulico	84

PREMESSA

Il 9 ottobre del 1963 un'immane onda, prodotta dal repentino crollo del versante sinistro del monte Toc nel serbatoio del Vajont, distrusse l'abitato di Longarone. Le vittime furono più di 2000.

L'evento, a partire dalle indagini promosse dal Tribunale di Belluno, da quelle di carattere amministrativo subito avviate dal Ministero dei Lavori Pubblici e, infine, da quelle nate dai procedimenti giudiziari, fu ampiamente studiato: alla ricerca, naturalmente, delle responsabilità, da un lato; per la difesa delle persone rinviate a giudizio, da un altro.

Le materie sulle quali la pubblica Accusa e, ovviamente, la Difesa concentrarono la massima attenzione furono essenzialmente due: la materia geologica e quella idraulica. La prima – la parte posta a fondamento della progettazione – affidata a un relativamente copioso insieme di studi (non pubblicati) che parte dagli anni '20 e si conclude negli anni che precedono il 1963; e che prosegue poi negli anni successivi per opera dei Periti delle parti e dei Ricercatori; la seconda limitata invece al solo modello idraulico, commissionato nel 1961 dalla Società Adriatica di Elettricità (SADE) all'Istituto di Idraulica e Costruzioni Idrauliche dell'Università di Padova, per sperimentare gli effetti di un'eventuale frana nel lago formato dalla diga del Vajont.

La mia partecipazione alla vicenda, per il ruolo che avevo all'interno dell'Istituto, prese origine poco dopo, per l'interesse che nutrivo ai temi di natura idraulica proposti dall'immane tragedia nel rapporto con il modello e con i risultati che la ricerca, sotto la responsabilità di Augusto Ghetti, aveva indicato nella relazione rassegnata nel luglio del 1962 alla SADE. Una partecipazione legata, ovviamente, alla ragionevole prospettiva che la Giustizia avrebbe chiamato Ghetti a dare conto del suo operato.

I temi geologici e idraulici, ampiamente trattati nei diversi gradi di giudizio, ma con particolare profondità nel primo grado, ebbero invece negli anni successivi un diverso sviluppo sul fronte propriamente scientifico.

Gli aspetti geologici della formazione interessata dalla diga e dall'invaso si arricchirono, infatti, nel corso degli anni, per l'interesse che il singolare evento aveva prodotto nella Comunità scientifica, di molti contributi, come la letteratura tecnica ampiamente illustra.

Gli aspetti idraulici trovarono, invece, solo in sede processuale l'occa-

sione per essere esaminati con la necessaria profondità, quando Augusto Ghetti, responsabile appunto della ricerca, fu chiamato a risponderne: trattazione che valse, per i contributi che la discussione e i risultati che le ulteriori ricerche misero in evidenza, la sua assoluzione con formula piena.

Il problema idraulico del modello, che la trattazione aveva chiarito in tutti i suoi aspetti, rimase così sepolto nella sentenza, a differenza di quello geologico. Una sepoltura accettata, naturalmente, però senza pace: ch  il ruolo della sperimentazione idraulica non ebbe, n  poteva forse avere, nella presentazione alla pubblica opinione della sentenza, come la stampa dell'epoca di varia ispirazione ampiamente rappresent , la documentata sistemazione data invece alla materia dal dispositivo d'assoluzione.

Il risultato fu, ma forse ancora  , che dal 1970 a oggi, nel comune modo di sentire o, se si vuole, nella pubblica opinione, il modello di Padova fosse stato ritenuto un abile artificio o strumento (pseudoscientifico?) sperimentato per consentire alla SADE d'ottenere dal Servizio Dighe¹ le autorizzazioni (richieste e ottenute) agli invasi sperimentali al di l  del limite che una severa stima dello stato d'instabilit  del versante sinistro del Toc avrebbe dovuto imporre. Senza escludere, in quest'ipotesi, che il limite avrebbe potuto anche essere non la riduzione dell'invaso, ma la proibizione a invasare.

La posizione degli Idraulici e della Scuola di Padova fu in realt  ben diversa nel rapporto sia con il problema sottoposto su modello alla sperimentazione, sia con la SADE. Ma che la sensazione test  tratteggiata fosse, e forse tuttora sia, non infondata ha trovato alcune esemplari conferme, recenti e relativamente recenti, in scritti e rappresentazioni intorno alla tragedia del Vajont.

Il saggio che, con il titolo *Vajont. La storia idraulica*, oggi pubblico prende appunto le mosse dagli scritti e dalle rappresentazioni appena ricordate: certo, per la vasta eco che, credo giustamente, hanno suscitato ; ma anche, e specialmente, per la sensazione che le ombre sul ruolo (complice?) della Scuola di Padova ostinatamente ancora ci avvolgano. Alle quali, se non altro, va per  riconosciuto il merito, per le emozioni che hanno ripro-

¹ Il Servizio Dighe (dal 1993 RID: Registro Italiano Dighe)   un Organo dello Stato deputato a trattare delle dighe, della loro progettazione, costruzione ed esercizio. In quegli anni, il Servizio faceva parte della IV Sezione del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici.

dotto in me, d'averne rimosso la polvere che il tempo aveva depositato sui problemi che allora trattai come consulente associato alla difesa del collega Ghetti. Così, il tema del Vajont è ritornato con la drammaticità che la rilettura delle mie note d'allora e dei documenti hanno rinverdito. E insieme alle emozioni rivissute, il disegno di disseppellire il nostro lavoro per mostrarne la qualità e i risultati: per una rilettura pubblica che, accanto al tema che ci fu proposto dalla SADE, valga anche a chiarire quale uso di essi fu fatto, o che si sarebbe dovuto fare.

Lo scopo che mi sono proposto con questo lavoro non è, naturalmente, la riabilitazione della figura di Augusto Ghetti – a questo provvede la sentenza – anche se, inevitabilmente, una certa parte dell'esposizione ruota intorno a lui. L'obiettivo è più alto: rettificare, con semplici considerazioni, alcune errate proposizioni per dissipare i dubbi che certa distorta e maliziosa interpretazione ha tratteggiato intorno al ruolo avuto dalla Scuola idraulica dell'Università di Padova in quella tragica vicenda. Un atto che sento di dovere, testimone accademico e, in qualche modo, protagonista di quella stagione, agli allievi che la Scuola ha chiamato intorno a sé con l'alto compito di provvedere alla loro educazione tecnica e civile.

La Storia tratta della vicenda del Vajont a partire dal 1959 fino all'ottobre del 1963. Gli aspetti considerati riguardano, essenzialmente, i problemi relativi al modello idraulico: come è stato proposto e quale è stato il rapporto tra la materia geologica e quella idraulica, rivissuto attraverso le posizioni assunte dai rispettivi Consulenti e la SADE e criticamente riletto nel comportamento adottato dalla SADE stessa nella gestione degli invasi.

L'esposizione richiama, in una successione non sempre cronologica, i diversi personaggi che, a vario titolo, s'occuparono del fondamentale problema rappresentato dalla temuta frana del versante sinistro della valle del Vajont. Non sono sicuro d'essere riuscito a mantenere il distacco dai temi trattati e dal comportamento dei protagonisti che la determinazione di scrivere una storia dovrebbe comportare: il tempo trascorso e la mia età, di regola strumenti di mitigazione, non sono sempre bastati a contenere il giudizio critico.

La lettura può trarre qualche vantaggio se dei principali personaggi che appaiono nei diversi momenti della Storia siano note la funzione e la posizione. Del pari, la successione cronologica degli avvenimenti legati al rapporto tra la SADE e l'Istituto di Idraulica intorno al modello e ai problemi

idraulici ad esso associati – l'esercizio degli involti sperimentali, per esempio – può rappresentare un riferimento utile per dare ordine all'esposizione, semmai nel testo apparisse di non averlo puntualmente rispettato.

Un elemento utile può essere, infine, la planimetria del tratto della valle compreso tra la diga e l'abitato di Longarone indicata dalla figura 1.

Personaggi principali ed enti

- *Batini Curzio* (†): Presidente della IV Sezione del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici.
- *Biadene Alberico* (†): Direttore del Servizio Costruzioni idrauliche della SADE dopo la morte dell'ing. *Carlo Semenza*.
- *Broili Luciano* (†): Esperto di Geomeccanica, Aiuto di *Leopold Müller*.
- *Caloi Pietro* (†): Professore, Direttore dell'Istituto Nazionale di Geofisica; Consulente della SADE.
- *Centro Modelli Idraulici "Ettore Scimemi"* (CIM): laboratorio costituito nel 1953 dalla SADE e dall'Istituto di Idraulica dell'Università di Padova per la sperimentazione su modello dei problemi idraulici relativi agli impianti idroelettrici della SADE. Il laboratorio fu attrezzato nell'area della centrale idroelettrica di Fadalto a Nove di Vittorio Veneto.
- *Commissione di collaudo*: *Francesco Penta* (†), *Francesco Sensidoni* (†), *Pietro Frosini* (†) (già Presidente della IV Sezione del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici), *Luigi Greco* (†) (già Presidente generale del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici).
- *Dal Piaz Giorgio* (†): Professore di Geologia dell'Università di Padova, Consulente della SADE.
- *Datei Claudio*: Professore Emerito di Costruzioni Idrauliche dell'Università di Padova.
- *Ferniani Vincenzo* (†): Ingegnere, maestro di *Carlo Semenza*.
- *Ghetti Augusto* (†): Professore di Idraulica dell'Università di Padova; responsabile del modello.
- *Giudici Franco*: Geologo, Aiuto di *Edoardo Semenza*.
- *Indri Egidio* (†): Ingegnere e Professore (Libero Docente di Costruzioni Idrauliche), Dirigente della SADE.
- *Martinelli Renzo*: Regista del film *Vajont*.

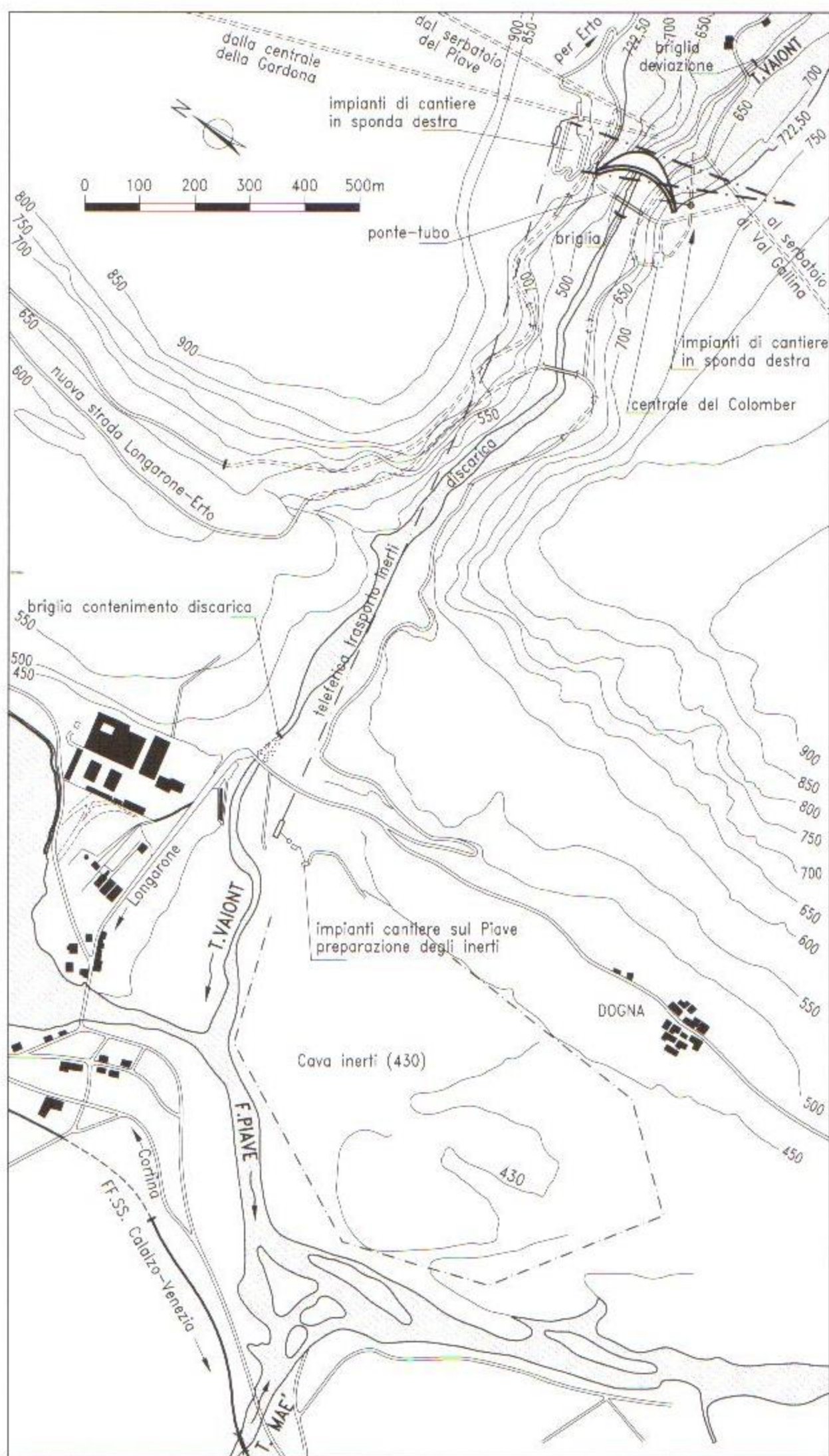


Fig.1: planimetria della valle del Vajont compresa tra la diga e l'abitato di Longarone.

- *Marzolo Francesco* (†): Professore di Costruzioni Idrauliche dell'Università di Padova; nel 1961-62 Direttore dell'Istituto di Idraulica e Costruzioni Idrauliche.
- *Merlin Tina* (†): Giornalista.
- *Müller Leopold* (†): Esperto di Geomeccanica; Consulente della SADE.
- *Padoan Giovanni* (†): Presidente generale del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici.
- *Palmieri Nicola Walter*: Giurista e Scrittore: *Vajont, Stava, Agent Orange. Il costo di scelte irresponsabili*; CEDAM, 1997.
- *Pancini Mario* (†): Ingegnere, Dirigente della SADE; Direttore dei lavori della diga del Vajont.
- *Paolini Marco*: Attore; *Vacis Gabriele*: Coautore: *Il racconto del Vajont*; Garzanti, 1997.
- *Penta Francesco* (†): Professore di Geologia applicata dell'Università di Roma; Consulente della SADE e membro della Commissione di collaudo.
- *SADE*: Società Adriatica di Elettricità, Venezia; concessionaria degli impianti del Piave.
- *Semenza Carlo* (†): Ingegnere, Direttore del Servizio Costruzioni Idrauliche della SADE; progettista della diga del Vajont.
- *Semenza Edoardo* (†): Professore di Geologia dell'Università di Ferrara; figlio di Carlo.
- *Sensidoni Francesco* (†): Capo del Servizio Dighe del Ministero dei Lavori Pubblici e membro della Commissione di collaudo.
- *Tonini Dino* (†): Capo dell'Ufficio Studi della SADE; dal novembre 1962 Professore di Idrografia e Idrologia dell'Università di Padova.
- *Zuccalà Giuseppe*: Professore di Diritto Penale dell'Università di Padova; difensore del prof. *Augusto Ghetti*.

Cronologia degli avvenimenti

La cronaca riproduce fedelmente, compreso il titolo, l'elenco degli avvenimenti annotati dal prof. Francesco Marzolo (da alcuni appunti in mio possesso) nella sua ricostruzione della vicenda fatta poco dopo il 9 ottobre del 1963. Altre cronache, di gran lunga più esaurienti e analitiche, sono riportate in lavori che avrò occasione di richiamare, con altra ampiezza, nel corso dell'esposizione.

Il riferimento a questa sintetica cronaca è stato solo dettato dal proposito di riproporre, in qualche modo, quella stagione.

- *22 marzo 1959*: serbatoio di Pontesei sul torrente Maè, affluente di destra orografica del Piave, con sbocco a Longarone; in sinistra del torrente, in località Fagarè, franano nel lago circa 3 milioni di m³.
- *agosto 1959*: Edoardo Semenza espone al padre l'opinione che la massa affiorante in sinistra poco a monte della diga del Vajont sia ciò che resta d'una antica frana (paleofrana) e rappresenta la possibilità che gli invasi possano porla in movimento.
- *giugno-agosto 1960*: Edoardo Semenza e Franco Giudici rassegnano la relazione sullo stato del versante, confermando l'opinione del '59; è indicata la possibile forma della superficie di separazione.
- *4 novembre 1960*: serbatoio del Vajont: frana di circa 700.000 m³ staccata dal monte Toc, a qualche centinaio di metri dalla diga.
- *31 gennaio 1961*: riunione a Padova dei professori Marzolo, Ghetti, Indri (SADE) e ing. Pasa (SADE) per trattare i problemi del modello relativi al rapporto della diga e del serbatoio con la frana.
- *16 marzo 1961*: lettera del professor Indri al professor Marzolo con alcune direttive di massima per la costruzione del modello.
- *primavera del 1961*: inizio della costruzione del modello nell'area della centrale di Fadalto.
- *18 giugno 1961*: lettera del prof. Marzolo all'ing. Semenza sulla granulometria dell'ammasso franoso.
- *21 giugno 1961*: risposta dell'ing. Semenza.
- *12 luglio 1961*: sopralluogo degli ingegneri Rolla e Benedini dell'Istituto di Idraulica, collaboratori di Ghetti, al Vajont e incontro con l'ing. Pancini; forniti elementi per il modello.
- *17 luglio 1961*: visita ai lavori del modello dell'ing. Semenza e del figlio Edoardo. Incontro con gli ingegneri Rolla e Benedini.
- *19 luglio 1961*: lettera del prof. Indri al prof. Ghetti.
- *1 settembre 1961*: inviati a Nove i disegni della superficie di scorrimento dall'ing. Pancini della SADE.
- *19 settembre 1961*: visita al Centro Modelli di Nove del Presidente del Consiglio Superiore LL.PP. ing. Giovanni Padoan e del Presidente della IV^a Sezione ing. Curzio Batini (succeduto nella carica al prof. Frosini).

- 5 ottobre 1961: richiesta della SADE al Servizio Dighe per l'autorizzazione all'invaso sperimentale fino a quota 680, da attuarsi in primavera.
- 30 ottobre 1961: morte dell'ing. Carlo Semenza.
- 16 novembre 1961: autorizzazione dell'ing. Batini all'invaso fino a quota 640 m s.m.m.
- 5 dicembre 1961: nuova domanda della SADE per portare l'invaso a quota 680 m s.m.m.
- 23 dicembre 1961: l'ing. Batini autorizza l'invaso fino a quota 655 m s.m.m.
- 31 gennaio 1962: chiesta l'autorizzazione all'invaso a quota 680 m s.m.m.
- 8 febbraio 1962: lettera dell'ing. Biadene al prof. Ghetti.
- 9 febbraio 1962: perviene alla SADE l'autorizzazione all'invaso fino a quota 675 m s.m.m.
- 14 febbraio 1962: risposta del prof. Ghetti.
- 30 marzo 1962: riunione del Comitato Direttivo del CIM.
- 24 aprile 1962: ultima prova sul modello (la XIX^a).
- 3 maggio 1962: richiesto dalla SADE di elevare l'invaso da quota 675 m s.m.m. a quota 700.
- 8 maggio 1962 : sopralluogo dell'ing. Picozzi (SADE) a Nove (invio della relazione provvisoria).
- 8 giugno 1962: l'ing. Batini autorizza l'invaso a quota 700 m s.m.m.
- 22 giugno 1962: il Sindaco di Erto e Casso ordina il divieto di accesso nell'area della diga sotto la quota 730 m s.m.m. su sollecitazione della SADE (Biadene indica quota 723,50).
- 4 luglio 1962: invio della Relazione ufficiale del prof. Ghetti alla SADE.
- 30 novembre 1962: il livello del lago tocca quota 700,03 m s.m.m.
- 20 marzo 1963: richiesto l'invaso fino alla quota 715 m s.m.m.
- 22 aprile 1963: l'ing. Batini autorizza l'invaso a quota 715. m s.m.m.
- 29 maggio 1963: lettera espresso ai membri del Comitato CIM sul rinvio a data da destinarsi della riunione del Comitato CIM prevista per il 30 maggio, "data l'assenza di alcuni membri del Comitato Direttivo".
- 30 agosto 1963: raggiunta, col livello del lago, quota 709,15 m s.m.m., poi portata a 710,00 nei primi quattro giorni di settembre.

Le note del Prof. Marzolo si chiudono al 30 agosto 1963.

La Legge 6 dicembre 1962, n. 1643, pubblicata sulla Gazzetta Ufficiale il 12 dicembre 1962, stabilì la Nazionalizzazione della produzione e distribuzione dell'energia elettrica. Il Decreto del Presidente della Repubblica del 4 febbraio 1963, n. 36, affidò alle Imprese elettriche gli impianti in custodia. Il successivo D.P.R. 14 marzo 1963, n. 221 (G.U. 16 marzo 1963) trasferì gli impianti della SADE all'ENEL.

Ringraziamenti

La documentazione che ho consultato è, essenzialmente, quella raccolta da Augusto Ghetti durante le fasi del procedimento giudiziario. A questa documentazione s'è aggiunta, naturalmente, quella in mio possesso.

Augusto Ghetti, prima della sua morte, istituì un fondo che raccoglie la documentazione sul Vajont presso l'Istituto Veneto di Scienze, Lettere e Arti di Venezia, del quale fu Presidente. All'Istituto, che ha posto a mia disposizione la raccolta dei documenti, va il mio ringraziamento. La documentazione in mio possesso è, invece, depositata presso il Dipartimento di Ingegneria Idraulica, Marittima, Ambientale e Geotecnica (Dipartimento IMAGE) della Facoltà di Ingegneria dell'Università di Padova.

Un particolare ringraziamento rivolgo al prof. Franco Ricci Lucchi del Dipartimento di Scienza della Terra e Geologico Ambientale dell'Università di Bologna per avermi consentito di riprodurre parte dei disegni che accompagnano uno studio di grande interesse sulla frana del Vajont. Il lavoro, ordinato dalla Commissione d'inchiesta nominata dal Ministro dei Lavori Pubblici il 14 ottobre del 1963, fu pubblicato nel 1964 sul Giornale di Geologia.

Devo un affettuoso ringraziamento al Collega Prof. Luigi Da Deppo per l'aiuto che mi ha offerto durante la stesura del saggio e a mia figlia Silvia che ha letto e riletto il testo con la severità del revisore e molte osservazioni.

Padova, luglio 2003

Claudio Datei

VAJONT. LA STORIA IDRAULICA

1. ANCORA UN LAVORO SUL VAJONT. PERCHÈ?

Il 9 ottobre del 1963 dal versante sinistro della valle del Vajont, alle 22^h 38^m, poco a monte della diga posta alla stretta di Colomber, si staccò repentinamente una massa il cui volume fu stimato dell'ordine di 250 milioni di m³, 50 dei quali penetrarono nel lago, spostando un eguale volume d'acqua che si divise circa a metà tra la coda del serbatoio e la valle verso Longarone. La massa, animata da una velocità massima di circa 27÷28 m/s, produsse nel lago – che, abbassandosi, aveva raggiunto la quota di 700,42 m s.m.m. – una gigantesca onda e un'altrettanto gigantesca tracimazione della diga: la corrente mobilitata dall'impatto, investito dapprima il versante destro – gli abitati di Casso ed Erto –, s'incanalò nella forra del Vajont, raggiunse l'abitato di Longarone e lo distrusse. Le vittime furono più di 2000.

La vicenda è stata di recente pubblicamente riproposta all'attenzione degli Italiani in varie forme: una rilettura critica dell'evento e dei comportamenti degli Uomini e degli Istituti che variamente concorsero a determinarlo.

L'interesse intorno alla tragedia, giustamente mai sopito – ricordando gli appassionati, numerosi e vigorosi contributi offerti in passato dalla giornalista Tina Merlin² – è stato ridestato alcuni anni fa da una rappresentazione, in forma di monologo, di Marco Paolini. Ripresa poi dallo stesso Attore³, assieme a Gabriele Vacis, in un libro pubblicato nel 1997. In aggiunta al quale sono stati pubblicati altri due lavori: l'uno, ancora del 1997, di Nicola Walter Palmieri⁴; l'altro, più recente, del novembre 2001, di Edoardo Semenza⁵. E, naturalmente, per concludere la rassegna, il film del 2001 di Renzo Martinelli dal titolo *Vajont*.

Io vissi la vicenda del Vajont fin dai primi momenti. Con un ruolo che, all'interno dei temi propriamente idraulici associati alla catastrofe, può defi-

² Merlin, T.: *Sulla pelle viva. Come si costruisce una catastrofe. Il caso Vajont*, CIERRE edizioni; Verona, pp. 194, 1997. La prima edizione è del 1983. Molti articoli furono pubblicati dalla Giornalista su quotidiani (specialmente l'Unità) e periodici a partire dal 1959.

³ Paolini, M. e Vacis, G.: *Il racconto del Vajont*, Garzanti, pp. 142, 1997.

⁴ Palmieri, W. N.: *Vajont, Stava, Agent Orange. Il costo di scelte irresponsabili*, CEDAM, Padova, pp. 453, 1997.

⁵ Semenza, E.: *La storia del Vajont*, Tecomproject Editore Multimediale, Ferrara, pp. 279.

nirsi centrale. Un ruolo determinato, da un lato, dalla mia appartenenza all'Istituto di Idraulica e Costruzioni Idrauliche dell'Università di Padova, incaricato nel 1961 dalla Società Adriatica di Elettricità (SADE) della ricerca su modello fisico degli effetti (idraulici) della frana; da un altro, dalla colleganza con Augusto Ghetti, Ordinario di Idraulica, responsabile della ricerca, chiamato dalla Giustizia nel 1969 a rispondere del suo operato; e, da un altro ancora, dall'assistenza che gli prestai per trattare, nel Collegio dei difensori, gli aspetti scientifici dei problemi che la vicenda propose alla nostra attenzione.

Una partecipazione, pur vissuta all'interno di un tema scientifico, dolorosa; e resa ben più cruda dal dubbio che accompagnò, almeno in una prima parte del percorso, il mio lavoro e la quotidiana consuetudine con Ghetti intorno ai risultati della ricerca eseguita da Ghetti stesso sul modello idraulico. Non il dubbio generico sull'interpretazione di un certo fenomeno: la prima, salutare condizione che stimola la curiosità scientifica e avvia alla ricerca; ma quello nato dal tormento di capire quale sarebbe potuto essere il giudizio – una sorta di sentenza, dunque – che le mie ricerche per indagare il processo idraulico e la loro conclusione avrebbero potuto prospettare: dunque, anche il modello errato tra le possibilità. Con quale ricaduta, in quest'ipotesi, è facile immaginare: sul piano umano, ben prima che su quello della Giustizia, per l'Uomo (non il professore) Augusto Ghetti; e, seppure in una diversa collocazione, per noi e per la Casa dov'eravamo vissuti, la Scuola e l'Università: un'indicibile e insopportabile colpa.

Quella lunga stagione – gli anni dal '63 al '70 – e le tensioni che accompagnarono il mio lavoro, non rimosse, ma sedimentate – almeno così credevo – accanto ai ricordi del mio tempo, le nuove recenti letture della tragedia del '63 le hanno ridestate, riproponendo, quelle angolate letture critiche, le tensioni d'allora in una forma inattesa. Già: inattesa; indotto a pensare che sulla vicenda si fosse depositata la polvere del tempo trascorso, per le tante volte che, ormai senza emozione, ne avevo parlato a Scuola, in Aula e con i molti che, per la mia Arte o appunto per la mia Scuola, m'avevano interrogato per sapere. La pietà, le amare riflessioni sulla gente della Valle, su di noi, sul nostro ruolo e il prezzo pagato da tanti: come polvere, appunto, stesa sulla vicenda.

Quale sia stato il processo che ha riproposto a me oggi, come dicevo, con la dolorosa tensione d'allora, il tema non saprei dire con esattezza: l'avvio,

quasi certamente, dal film di Martinelli. Gli Uomini – i protagonisti della vicenda – rappresentati in modo così diverso da come, per la consuetudine che li legava alla Scuola, li avevo conosciuti: Giorgio Dal Piaz, Carlo Semenza e molti altri; e, fra loro, Augusto Ghetti con il suo modello e l'appuntamento con la fatale quota 700 del lago. Uno stato, quello mio, non so se irritato o risentito per la distorta immagine che l'opera, pur tutto concedendo alla rappresentazione e al linguaggio, aveva tratteggiato di quegli Uomini e del lavoro di Ghetti; e, con lui, del nostro Istituto. Così, quasi per una verifica, l'emozione ridestata dal Martinelli, ma ancora con le incertezze che una diversa lettura di un fatto può proporre, mi ha rimandato agli scritti della Merlin e di Paolini; alla *Storia del Vaiont* presentata da Edoardo Semenza; e, infine, agli appunti miei e ai documenti che avevo conservato, ridestati dal lungo sonno. E, con la rilettura, la rappresentazione completa o quasi dei fatti e degli Attori s'è ricomposta: gli Abitanti della Valle e, con loro e per loro, la Giustizia; la SADE e i suoi Consulenti. Su tutti, la dominante figura di Carlo Semenza e il suo tormentato rapporto con Edoardo: che, giovane geologo, incaricato dal padre dell'indagine, prospettò nel 1959 lo stato d'instabilità del versante sinistro della valle. Il rapporto è teso: la vacillante incredulità del padre, da un lato; il razionale giudizio del figlio, da un altro. Ma furono gli unici, credo, che avessero capito. Tutto si chiude con l'improvvisa morte del padre il 30 ottobre 1961.

Con la scomparsa di Carlo Semenza il problema del monte Toc e del temuto crollo si avvia alla deriva. Sì, alla deriva: ché l'autorità del padre e il tormento che l'intuizione del figlio, con Franco Giudici, aveva depositato in lui, avrebbero – fu ed è, avendolo conosciuto, una mia solida opinione – evitato la tragedia: non il crollo ovviamente, ma, quasi certamente, un crollo controllato senza vittime.

Il tormento di Carlo Semenza s'avverte nella lettera⁶ all'anziano suo maestro, l'ing. Vincenzo Ferniani, del 20 aprile del 1961: «*Non le nascondo che il problema di queste frane mi sta preoccupando da mesi: le cose sono probabilmente più grandi di noi e non ci sono provvedimenti pratici adeguati, a meno di pensare di fare cadere buona parte del materiale addirittura, con grandi mine, come proporrebbe l'ingegnere Sensidoni; ma è il caso di arrivare a tanto?*

⁶ Semenza, E.: *op. cit.*, la lettera è integralmente riportata nell'appendice E, p.225-227.

I professori Dal Piaz e Penta sono piuttosto ottimisti: tendono a non credere che avvenga un scivolamento in grande massa e sperano (anch'io lo spero!) che la parte mossa si sieda su se stessa. Sono però d'accordo su ogni provvedimento di sicurezza, primo fra tutti la galleria "by-pass"». Ed è questo profondo cruccio che aveva portato Carlo Semenza, nel gennaio del 1961, a proporre al professor Francesco Marzolo, Direttore allora dell'Istituto di Idraulica e di Costruzioni Idrauliche dell'Università di Padova, la costruzione di un modello in scala ridotta del tratto di serbatoio interessato dall'eventuale crollo del versante sinistro della valle per sperimentare e valutare quali conseguenze idrauliche dal crollo stesso sarebbero potute derivare.

La ricerca che Istituto svolse – con la responsabilità scientifica di Augusto Ghetti – sul modello idraulico per valutare gli effetti ondosi del crollo, le conclusioni e l'uso che dei risultati fu fatto ebbero, a partire dal 1961 (e tuttora hanno), un ruolo che può definirsi, sotto le varie angolazioni in cui fu visto, centrale: nei comportamenti della SADE, dei suoi Consulenti e dei Controllori, nelle decisioni che precedettero il crollo e nei giudizi che seguirono: dalle sentenze giudiziarie alle libere, spesso emotive, non sempre puntuali, interpretazioni critiche quali possono cogliersi dalla lettura dei lavori ricordati poc'anzi; e anche dai commenti della gente comune, annotati in non poche occasioni.

In tutta la vicenda, e negli aspetti e nei comportamenti che da essa presero origine, quelli giudiziari in primo luogo e quelli che derivano dal comune sentire – oggi si direbbe: dalla gente –, io avvertii, fin dal primo giudizio del dicembre 1969 emesso dal Tribunale dell'Aquila, un distacco nei due modi d'intendere e di giudicare: due diverse sentenze. All'interno delle quali, il modello e gli attori – la SADE e i suoi Consulenti, da una parte; Augusto Ghetti e l'Accademia universitaria, da un'altra – ebbero, e forse ancora hanno, una collocazione e un ruolo molto diversi.

Si trattò di un esperimento scientifico corretto nei modi e nel linguaggio nel rapporto col tema assegnato, secondo la sentenza dell'Aquila; si trattò invece di un compiacente modello nella rappresentazione di Tina Merlin⁷, che scrive «...Prende forma [ai primi del 1961] l'idea di realizzare al Centro modelli di Nove di Vittorio Veneto, proprietà della SADE, una prova su

⁷ Merlin, T.: *op. cit.*, p. 115-116.

modello per studiare e valutare la dinamica di caduta della frana e le sue conseguenze. Qui, fuori dall'Università in cui lavorano, si trasferiscono Ghetti ed altri ricercatori, funzionari dello Stato. Ma gli esperimenti non saranno finalizzati a fornire allo Stato utili indicazioni sul futuro del Vajont, bensì a fornire a una potente Società privata le "prove" che desidera avere».

Né più benevolo giudizio si trova nei passi che Marco Paolini dedica al modello – anzi, *modellino*, secondo la sua definizione –, già a partire dal luogo dove esso fu costruito e sperimentato: in casa della SADE, a Nove, fuori da sguardi indiscreti. E i ricercatori dell'Istituto di Idraulica, se non Ghetti stesso, presentati come carbonari; poi sottoposti, tutti, alla sferzante e irridente denuncia d'incapacità – ottusamente Idraulici specialisti – per avere simulato il crollo del Toc verso il lago con manciate di ghiaia: «*La ghiaia è rotonda, levigata. Scivola: non ha la massa compatta della frana rocciosa*»⁸. Giusta, ma maliziosamente incompleta, descrizione delle proprietà della ghiaia e del suo uso, anche se ridimensionata dalla successiva dichiarazione «*E' ovvio che sono tendenzioso, accidenti, non mi nascondo mica dietro un dito*»⁸ Certo, lo spettacolo in primo luogo. Nessuna riflessione, invece, intorno alle modalità sperimentali d'impiego della ghiaia e alla velocità con la quale la massa ghiaiosa fu posta in moto: sufficiente il conforto di due stimati Geologi (Idraulici in servizio di complemento?) per rappresentare la differenza tra ghiaia e roccia nel rapporto con le acque.

Composto, naturalmente, il giudizio dato da Edoardo Semenza sul modello e sul suo corretto impiego. Una ricerca voluta, come ho ricordato poc'anzi, dal padre: convinto sostenitore del valore delle ricerche sui modelli fisici (quelli matematici muovevano, allora, i primi passi). A Carlo Semenza si dovette, infatti, l'istituzione e la realizzazione, in tempi non sospetti, con il supporto scientifico dell'Istituto di Idraulica di Padova, del Centro Modelli Idraulici di Nove per trattare i diversi problemi idraulici, scientifici e tecnici, che la progettazione e la gestione degli impianti di volta in volta proponevano.

⁸ Paolini, M. e Vacis, G.: *op. cit.*, p.88-89.

2. I LIMITI DEL LAVORO

La sintetica descrizione che ho tratteggiato del rapporto che legò l'Istituzione – l'Istituto di Padova e i suoi ricercatori, e Ghetti in ispecie – con la SADE nella tragica vicenda del Vajont, con l'immagine che di quel rapporto fu accreditata nella comune opinione, non vuole rappresentare la premessa per una nuova esposizione dell'evento, riletto dopo circa 40 anni. Ha, invece, il significato di un richiamo: per definire, secondo il linguaggio fisico-matematico che mi è familiare, le condizioni al contorno dalle quali intendo partire per collocare, finalmente in una corretta (e, spero, giusta) luce, il tema affidato alla sperimentazione idraulica, il suo svolgimento e l'uso che ne fu fatto dalla SADE. Dunque, una sorta di processo: al centro del quale, per la parte recitata dal modello, porre la Scuola idraulica di Padova con il suo ruolo istituzionale, culturale ed educativo. Convinto come sono (e fui) che quella ricerca non fu un fatto privato tra Ghetti e la SADE: ma un incarico affidato all'Istituto di Idraulica e Costruzioni Idrauliche svolto, con la direzione della ricerca di Ghetti, presso il Centro Modelli Idraulici di Nove.

Lo svolgimento del tema che mi accingo a sviluppare potrebbe forse apparire, separato dall'insieme dei fatti che caratterizzarono il comportamento e le decisioni dei Protagonisti di quel tempo, come una sorta di steccato costruito intorno ai soli e particolari problemi rappresentati dal modello idraulico e dal suo uso. Con il rischio, dunque, che il riesame critico di quell'aspetto possa essere giudicato, estratto dal resto, come la difesa d'una certa corporazione, quella, appunto, degli Idraulici accademici; resa, la difesa, oggi più facile da sostenere per la caduta di tensione che il tempo trascorso potrebbe avere prodotto intorno ai fatti d'allora e nella memoria di quella generazione o dei sopravvissuti.

Certo, il pericolo, e forse la tentazione, d'una versione corporativa dei fatti legata solo alla nostra partecipazione potrebbe forse presentarsi nel corso dell'esposizione: separando, in qualche modo, il fatto *Modello* dal fatto *Vajont*, coniugato alla maniera usata dalla SADE. Anche per qualche difficoltà che possa insorgere, dopo 40 anni, nel ricomporre la piccola comunità dei Ricercatori dell'Istituto: con la diversa distribuzione dei ruoli accademici e dei rapporti che i nostri maggiori trattenevano con l'esterno. E con la SADE in ispecie: da un lato, per un legame stretto, forse fraterno e certo di sti-

ma, tra Francesco Marzolo e Carlo Semenza, nato ai primi del '900 con la costruzione dei primi impianti idroelettrici; da un altro, per la suggestione tecnica e scientifica che le grandi dighe esercitavano su di noi, acerbi ingegneri del primo dopoguerra: i molti cantieri aperti lungo le valli a chiamarci, per capire il lavoro al di fuori dell'Accademia; e quell'eccitazione – una sorta di droga, forse – che era il progettare e il costruire in grande; e che animava tutti, indistintamente, maestri e scolari.

Ritrovare e distinguere oggi, tra i ricordi sfumati dal tempo, i segni di quella stagione per disegnare del nostro lavoro d'allora la giusta immagine: ecco il compito che con questo lavoro mi propongo di svolgere. Un debito, una sorta di conto da saldare: certamente con la gente della Valle, ma anche con gli Scolari che hanno segnato la mia lunga stagione accademica: per illuminare quell'angolo pieno d'ombre nel quale fummo, noi e la Scuola, confinati da una sorta di sentenza, appunto sul ruolo della Scuola stessa; sentenza non scritta, solo variamente declamata. Essendo io tra gli ultimi, temo, con Edoardo Semenza, Carlo Lotti, Camillo Linari e pochi altri, di quella generazione ancora in grado di pagare con una testimonianza dolorosamente vissuta all'interno della tragedia. Oggi un po' più soli: ch  Edoardo Semenza ci ha lasciati nei primi mesi del 2002, poco dopo l'uscita del suo libro, quel sofferente debito di figlio.

3. BREVI NOTE SUL LIBRO DI SEMENZA

3.1. Analisi critica delle storie precedenti

La *Storia del Vaiont* di Edoardo Semenza consta, essenzialmente, di due parti: la Storia; e un corposo insieme di Appendici dedicate agli Autori ricordati poc'anzi, completate da Note di commento e precisazioni intorno a diversi aspetti trattati nella prima parte e, infine, dalla Bibliografia.

Il lavoro di Semenza tratta, con profonda conoscenza e competenza, nella prima parte l'essenza della Storia, cio  i problemi geologici legati alla vicenda; e ancora dei comportamenti che, accanto agli Ingegneri della SADE, i Consulenti Geologi, Geomeccanici, Geofisici e gli Idraulici modellisti, ebbero ad assumere a partire dall'inquietante frana del 4 novembre 1960: all'interno, naturalmente, dell'evento rivissuto nella cultura e nelle conoscenze di quel tempo.

Una visione dei fatti geologici, quella di Semenza, aggiornata per i molti successivi contributi coi quali i nuovi modi della Geologia hanno arricchito il patrimonio di conoscenza. Ma a quel tempo, il principale contributo, per il ruolo che esso ebbe nel processo che allora s'avviò per capire e inquadrare i fenomeni, fu offerto, nel settembre del 1964, dalle ricerche ordinate dalla Commissione d'inchiesta nominata dal Ministro dei Lavori Pubblici il 14 ottobre del 1963⁹.

La geologia della valle del Vajont formò oggetto, dopo il lavoro appena citato di Selli⁹ e altri del 1964, di un altro lavoro di Edoardo Semenza¹⁰, naturalmente, meno ricco di quello presentato ne *La Storia del Vajont*.

L'interesse de *La Storia* di Semenza è concentrato, come s'è scritto, sulla descrizione della formazione geologica della stretta di Colomber e sul processo di conoscenza che prese l'avvio dai primi segnali d'instabilità dei versanti. Ma con qualche esitazione, per il lettore ovviamente, sul senso e sul taglio dati alla Storia: per la sensazione che il pur esauriente inquadramento geologico del tema possa avere rappresentato l'occasione più che la causa che ha indotto l'Autore a esporla. Con l'obiettivo, certo, di cogliere la verità nell'intreccio che nacque nel '59 tra i problemi della diga, con i suoi primi invasi, e gli Uomini che ne trattarono; ma anche, e forse essenzialmente, con quello di restituire l'immagine autentica del padre Carlo, distorta dagli scritti del tempo e dalle più recenti rappresentazioni: in primo luogo, per il disegno, ripetutamente affermato, di cedere alla tentazione di volere costruire la diga ad arco più alta del Mondo. Sullo sfondo, la SADE e i suoi Consulenti; al centro della Storia, il giovane Semenza e, finché visse, il padre, progettista della diga; e ancora la Comunità della Valle, principalmente con la voce della giornalista Tina Merlin che rivive nella sua scrittura la vicenda.

La seconda parte – le Appendici – è una serrata analisi critica degli scritti di Tina Merlin, di Marco Paolini con Gabriele Vacis e di Walter Palmieri; e anche del film di Renzo Martinelli. Ed è in quest'analisi, specie quella dedicata ai due primi lavori, che forse può cogliersi, l'aspetto che consolida la

⁹ Selli, R.-Trevisan, L.: *Caratteri e interpretazioni della fra del Vajont*, p. 8-65; Carloni, G. C.- Mazzanti, R.: *Rilevamento geologico della frana del Vajont*, p.105-122; Ciabatti, M.: *La dinamica della frana del Vajont*, p. 139-154; *Giornale di Geologia*, 1964.

¹⁰ Semenza, E.: *Sintesi degli studi geologici sulla fra del Vajont dal 1959 al 1964*, Memorie del Museo Tridentino di Scienze naturali, vol.16, 1966-67, p. 1-15.

sensazione esposta poc'anzi, scandita attraverso le puntigliose osservazioni di Edoardo Semenza sulle inesattezze e i non appropriati riferimenti o interpretazioni dei documenti fatti dagli Autori.

La posizione di Edoardo Semenza¹¹ è chiara, come il suo obiettivo. Apre, infatti, l'Appendice A dedicata alla giornalista Merlin con: «*Perciò, per il rispetto della verità nei confronti soprattutto di mio padre, ma anche di ogni persona coinvolta nella vicenda, credo sia mio dovere di far sapere tutto quello che penso di questo libro; ...*

Cercherò di esporre le mie considerazioni, seguendo un ordine che non è quello del testo ma quello del procedimento logico che probabilmente ha portato l'autrice a vedere tutta la vicenda in un'ottica particolare.».

L'interpretazione che questa prospettiva propone trova il sostegno d'alcune osservazioni che possono appuntarsi sul taglio dato ai commenti che Semenza presenta nell'Appendice. Commenti che, prima ancora di applicarsi all'annotazione degli errori di varia natura, comprensibilmente inevitabili, nei quali gli inesperti incappano, tratteggiano il profilo "politico" degli Autori; o, meglio, «*La sua visione politica*» riferita alla giornalista Merlin e al recitante attore Paolini: con coloritura comunista, per Merlin; assunta successivamente a paradigma, per quanto i tempi fossero ben diversi, da Paolini.

Una grossolana osservazione: per un momento immaginandomi solo lettore, senza velleità polemica, da uomo senza la qualità d'esperto: solo per inquadrare le posizioni culturali e i rispettivi ruoli. I fatti essenziali: dichiara Edoardo Semenza¹². nell'Introduzione «*Sono il geologo che ha scoperto la grande frana del Vaiont nell'agosto 1959, più di quattro anni prima che scivolasse producendo il disastro...*» Il 9 ottobre del 1963 crolla nel lago il versante sinistro della valle: un blocco di circa 250 milioni di m³: un'onda alta più di 200 m, con un infinito potere distruttivo.

L'uno, il Semenza geologo, scopre e indaga, da esperto, sullo stato del versante Toc. I segnali: il 22 marzo 1959, la frana nel serbatoio di Pontesei sul torrente Maè di circa 3 milioni di m³; il 4 novembre 1960, sul Vajont dal monte Toc, 700.000 m³ rovinano nel lago poco a monte della diga. L'altra, la giornalista Merlin, raccoglie i timori e le ansie della Valle e, da donna

¹¹ Semenza, E.: *op. cit.*, p.141.

¹² Semenza, E.: *op. cit.*, Introduzione.

della Valle, forse ancor prima che da Giornalista, ne scrive. Ha ragione: inascoltata Cassandra. Ecco, allora, l'osservazione o la domanda: qual'è il senso de «*La sua visione politica*» nell'ordine dei fenomeni geologici che travolsero la valle?

Un ultimo cenno, per completezza, sulla documentazione bibliografica.

Edoardo Semenza presenta una documentazione completa e aggiornata del tema Vajont, prima e dopo la catastrofe, suddivisa in due sezioni: la prima è rivolta agli aspetti tecnici e scientifici, essenzialmente geologici, secondo le valutazioni che precedettero, nelle fasi di studio, la progettazione e, dopo l'evento, le interpretazioni dell'accaduto; la seconda sezione ricorda, accanto alle Relazioni delle varie Commissioni che indagarono sull'evento, gli articoli e i saggi che analizzarono, fino ai giorni nostri, secondo varie prospettive, l'evento attraverso il comportamento dei diversi Attori che concorsero a determinarlo.

3.2. La cultura geologica di quel tempo

Alcune annotazioni di Edoardo Semenza, distribuite nel testo, trattano dello stato dell'Arte geologica di quel tempo in materia di frane e dell'impostazione concettuale che la cultura d'allora esprimeva nel rapporto tra le opere di sbarramento in genere, non necessariamente quella del Vajont, e la roccia che le doveva accogliere. Richiamare oggi, seppure in modo sintetico, gli appunti che l'Autore muove a quell'indirizzo rappresenta un elemento d'interesse per ripercorrere la strada che condusse alla sperimentazione sul modello idraulico.

E' scritto, infatti¹³: «*Qualcuno potrebbe pensare che lo studio sulla stabilità della zona d'invaso avrebbe dovuto essere fatto prima del 1959. E alla luce della prassi attuale è vero. In realtà questo studio era stato eseguito, già da tempo, ma non con quel dettaglio che sarebbe stato necessario per riconoscere tutti gli eventuali indizi di instabilità dei versanti. Il fatto è che gli studi, che di solito a quei tempi si facevano sulle frane, erano piuttosto scarsi, e non esistevano, almeno in Italia, una scuola e una cultura sufficienti al riguardo.*

Gli studi preliminari erano sempre concentrati soprattutto sui problemi

¹³ Semenza, E.: *op. cit.*, p. 33.

d'imposta della diga [in speciale evidenza nel testo]. Se ne doveva indagare la stabilità e la tenuta idraulica, così come si doveva valutare la tenuta idraulica dell'intero bacino. Questi erano i compiti di tipo geologico che andavano svolti».

Ed ancora. Il torrente Maè, in val Zoldana, affluente di destra del Piave, è sbarrato da una diga a cupola che forma il serbatoio di Pontesei; pochi chilometri in linea d'aria lo separano, sul versante opposto, dal serbatoio del Vajont. Una lunga fessura a pianta arcuata era comparsa, nell'agosto del 1957, sul versante sinistro della valle, in località Fagarè, con l'invaso a quota circa 790 m s.m.m.: 10 m circa sotto la quota di coronamento della diga. Il 22 marzo del 1959 la massa delimitata dalla fessura – 3 milioni di m³ –, poche centinaia di metri a monte della diga, si staccò rovinando nel lago, che era a quota 787 m s.m.m. Morì, travolto dall'ondata, l'operaio Arcangelo Tiziani. Afferma il Nostro¹⁴: «Il fenomeno [dopo il 1957, ovviamente] tuttavia venne sottovalutato. Evidentemente, se vi fosse stata una maggiore esperienza nel campo delle frane, tutto l'insieme dei fenomeni ... avrebbe potuto consigliare un diverso comportamento da parte di chi gestiva l'impianto. Non risulta che nessun geologo se ne sia occupato prima del franamento del 22 marzo 1959. L'incarico al professore Penta fu dato subito dopo.....È possibile che l'abbassamento del livello abbia provocato un'accelerazione della frana, ma d'altra parte ne ridusse probabilmente le conseguenze... Da tutto ciò si può constatare una volta di più che a quei tempi l'analisi di stabilità dei versanti in materiale sciolto, al giorno d'oggi ben nota agli specialisti, non veniva eseguita con studi approfonditi e organici».

La frana di Pontesei, dunque, quasi un incidente di poco conto. Che però, forse, rivive in Carlo Semenza come un avvertimento quando, nel 1959, il figlio rappresenta in modo preoccupante lo stato di stabilità del versante sinistro del Toc. E che diventa allarme quando, il 4 del novembre del 1960, una frana di 700.000 m³ si stacca dal Toc e una grande fessura disegna sul versante la traccia, a forma di una grande M, d'una possibile frana. Pontesei: un modello del Vajont?

Né giudizio più benevolo Edoardo Semenza riserva al professor Pietro Caloi, geofisico, incaricato dalla SADE, nel novembre del 1959, di

¹⁴ Semenza, E.: *op. cit.*, p. 40-41.

un'esplorazione geosismica nella zona della Punta del Toc. A proposito della quale, e dell'ottimistico giudizio rassegnato, il Nostro annota «...*purtroppo diede risultati contrastanti con le evidenze geologiche [quelle scoperte da Semenza]: indicavano infatti che la roccia della massa, già da pochi metri al disotto della superficie, era di una solidità eccezionale, mentre dall'evidenza di campagna risultava molto fratturata. Ho sempre pensato perciò a errori d'esecuzione o di interpretazione dei risultati*»¹⁵.

La frana del 4 novembre 1960 determina un'ulteriore indagine di Caloi: con il sorprendente risultato che Semenza¹⁶ richiama «...*a differenza di quanto era stato trovato nelle prime indagini, .. la roccia aveva caratteristiche meccaniche pessime. Ciò venne ritenuto [da Caloi] l'effetto dei movimenti intervenuti*».

Dunque: un giudizio severo sulla cultura dei Geologi del tempo, la prima parte della riflessione di Semenza; un clamoroso infortunio, a essere miti, il parere del Geofisico: più propriamente, un errore con un'indefinibile conseguenza.

Una cultura, la geologica d'allora, essenzialmente naturalista, lontana da quella geomeccanica, necessaria per capire la possibile evoluzione di un dissesto in termini propriamente meccanici: le forze, le velocità, le accelerazioni, i tempi di caduta.

Scriveva, poco dopo, la giornalista Merlin¹⁷: «*Si era dunque nel giusto quando, raccogliendo le preoccupazioni della popolazione, e memori delle precedenti esperienze di Vallesella e di Forni di Zoldo, si denunciava l'esistenza di un sicuro pericolo costituito dalla formazione del lago...E le larghe fenditure del terreno, che abbracciano una superficie di interi chilometri non possono certo rendere tranquilli.*». Ed ancora ¹⁸: «*Ora si sta determinando l'irreparabile, quello che avevamo sempre temuto e denunciato. Una enorme massa di 50 milioni di metri cubi di materiale, tutta una montagna sul versante sinistro del lago artificiale, sta franando. Non si può sapere se il cedimento sarà lento o se avverrà con un terribile schianto. In quest'ultimo caso non si possono prevedere le conseguenze. Può darsi che*

¹⁵ Semenza, E.: *op. cit.*, p. 74.

¹⁶ Semenza, E.: *op. cit.*, p. 86.

¹⁷ Merlin, L.: *l'Unità*, 7 novembre 1960.

¹⁸ Merlin, L.: *l'Unità*, 21 febbraio 1961.

la famosa diga tecnicamente tanto decantata, e a ragione, resista (se si verificasse il contrario e quando il lago fosse pieno sarebbe un immane disastro per lo stesso paese di Longarone adagiato sul fondo valle), ma sorgessero lo stesso altri problemi di natura difficile e preoccupante. I più illustri tecnici fatti convocare per l'occasione da varie parti del mondo, hanno suggerito alla SADE di costruire una galleria per fare defluire l'acqua da un lago all'altro quando la montagna, cadendo, avrà di fatto formato due invasi».

Ritornano così, collocate nella prospettiva d'ignoranza geologica (colpevole?) disegnata da Edoardo Semenza, la riflessione e la domanda di poc'anzi sull'appunto che egli muove alla *visione politica* della Merlin: distorto strumento di lettura degli eventi che precedettero il crollo del monte Toc? Assolutamente no: invece, un'interpretazione dei fatti di singolare lucidità: solo il solido, solidissimo buon senso dei comuni e, forse, delle donne; quello che mancò ai Consulenti e alla Direzione della SADE prima e dell'ENEL dopo, venuta meno con la morte di Carlo Semenza, quasi certamente, l'autorità ch'era necessaria per decidere altrimenti.

3.3. La diga più alta del mondo: peccato di superbia?

Un aspetto che riaffiora con certa sistematicità negli appunti mossi all'impianto dai più recenti commentatori riguarda, non tanto gli aspetti produttivi legati alla maggiore capacità del serbatoio, quanto l'altezza della diga. Il peccato (di superbia?) che, secondo queste opinioni, fu commesso dalla SADE e, forse, dal progettista Carlo Semenza: avere voluto, progettato e costruito la diga ad arco più alta del mondo.

La valle del Vajont, come le molte altre valli che sboccano nel Piave, era nei disegni d'utilizzazione della SADE fin dagli anni '20. Con qualche incertezza intorno al sito dove costruire la diga e, dopo il 1945, alla sua altezza: se la diga dovesse sorgere a Ponte di Casso o, poco più a valle, alla stretta di Colomber, per la migliore qualità dei terreni d'imposta. Fu scelta la sezione di Colomber. La quota del massimo invaso passò da 667 m s.m.m.¹⁹ del primo progetto a 679 e, successivamente, a 722,50 nell'ultima versione: un incremento d'altezza di ben 55,50 m e di circa 110 milioni di m³ (da 60 a

¹⁹ Il riferimento al medio mare è sottinteso nelle successive pagine.

170) di capacità. Il coronamento della diga a quota 725,50 m; il fondo a quota 462 m.: dunque, 263,50 m d'altezza; appunto, la più alta diga ad arco del mondo.

La descrizione della diga e alcuni particolari della sua struttura e degli interventi eseguiti per il consolidamento della roccia d'imposta sono riportati nell'Appendice A che completa questa Storia: un documento forse utile per dare sostegno all'esposizione dei problemi legati allo stato del versante sinistro della valle – il monte Toc – posto a ridosso della diga stessa.

Afferma Edoardo Semenza²⁰ che «L'impresa era tale da coinvolgere non solo l'interesse, ma anche il prestigio della SADE, il cui Presidente, conte Vittorio Cini, volle rendersene conto personalmente andando a visitare la stretta [nel luglio del 1953]». Affermazione, questa, che lascia però insoluto il problema: se, in realtà, il disegno per un'opera così spinta riguardasse essenzialmente l'attività produttiva o se il concorso a realizzarla in questi termini fosse anche legato al prestigio e all'immagine della SADE.

Il sospetto, tuttavia, non è privo di fondamento. E ha anche il conforto d'una testimonianza che ho raccolto dopo l'evento, nel corso di un pacato discorrere intorno ad esso con un dirigente della SADE, ingegnere, d'alto rango. Il quale ricordava una certa, determinata resistenza del *Capitale* – in questo modo egli definiva gli azionisti di riferimento – a investire in un'impresa di quella proporzione. Oltre tutto, non pochi lampi, alla fine degli anni '50, illuminavano lo scenario che la spinta verso la nazionalizzazione della produzione elettrica prospettava: così da rendere certamente poco propenso il *Capitale* a ulteriori investimenti nel settore idroelettrico.

4. UN PICCOLO GIALLO

Un piccolo giallo. Accadde pochi giorni dopo l'evento del 9 ottobre 1963. Un fatto di nessuna rilevanza nel rapporto con la successiva evoluzione giudiziaria della vicenda: il grande processo, ovviamente. Ma che lasciò, tuttavia, un segno nell'immagine che la pubblica opinione, informata dalla stampa, poté formarsi intorno all'Istituto d'Idraulica dell'Università di Padova – il modellista idraulico della frana – e alla parte che aveva svolto.

Il fatto: la pubblicazione, dopo pochi giorni, ne *l'Unità* e, forse, anche ne

²⁰ Semenza, E.: *op.cit.*, p. 34.

Il Giorno, della Relazione dell'Istituto d'Idraulica alla SADE sui risultati delle prove sul modello della frana svolte, nella centrale di Nove, per simulare gli effetti ondosi del crollo. Facili da immaginare i commenti e la risonanza; e una rappresentazione un po' appannata dell'Istituto e, naturalmente, della classe accademica.

Dopo l'evento, subito convenimmo con Ghetti che la documentazione relativa al rapporto dell'Istituto con la SADE e la relazione sullo svolgimento delle prove sul modello della caduta del monte Toc dovessero essere raccolte per porle a disposizione dell'Autorità giudiziaria. Ghetti ritenne però, forse ingenuamente e con il mio concorso, che fosse non opportuno rimuovere la Relazione dall'archivio che raccoglieva le ricerche per non suscitare nel personale la sensazione o il sospetto che si volesse sottrarre quell'importante, forse scottante, documentazione alla Magistratura; proponendoci di raccogliere la documentazione per porla, successivamente, a disposizione dell'Autorità giudiziaria.

Accadde il contrario: scomparve la Relazione. Si sospettò che un Tecnico dell'Istituto, forse ipotizzando un disegno della Direzione in qualche modo delittuoso, avesse sottratto la Relazione. La quale, affidata a certi intermediari, comparve sui due quotidiani ricordati poc'anzi; per ricomparire, alcuni pochi giorni, nell'archivio, un poco spiegazzata: i segni del suo viaggio. Un indizio, secondo una certa interpretazione, della colpevolezza del Tecnico: indizio ricordato, infatti, nel successivo giudizio, ma demolito, in men che non si dica e con sferzante ironia, dall'abile difesa.

La scomparsa fu, nel frattempo, tempestivamente denunciata alla Procura della Repubblica, ovviamente con quel sospetto. Il processo al Tecnico, che si svolse in tempi assai brevi, si concluse con la sua assoluzione.

È abbastanza interessante annotare come recentemente, in occasione di un incontro sollecitato dal film di Martinelli sul Vajont, il Tecnico abbia ammesso d'essere stato l'autore della sottrazione della Relazione in quel lontano ottobre del 1963. Notizia, ovviamente, di scarso interesse per chi abbia avuto conoscenza diretta dei fatti e altrettanto scarso interesse a ricercare prove di colpevolezza per un gesto che, pur con l'aspetto formale del furto, fu certamente ritenuto da Lorenzo Rizzato (il nome può ora farsi, senza timore di peccare), e apprezzato da certa parte, come un giusto atto d'infedeltà o di disobbedienza civile.

Solo alcune note per concludere.

La prima: la rimozione della Relazione avvenne senza scasso, tant'è che essa fu ricollocata dal Rizzato, e quindi ritrovata, nello stesso archivio, liberamente accessibile.

La seconda: la denuncia della scomparsa della Relazione fatta dalla Direzione dell'Istituto fu, ovviamente ed esclusivamente, un atto dovuto. La pubblicità che fu accordata dai quotidiani ricordati poc'anzi alla Relazione potrebbe definirsi, con il linguaggio d'oggi, uno *scoop* giornalistico. Nessun commento, naturalmente, su quest'aspetto: sacrosanto essendo il diritto a darne notizia, quella notizia in specie! Ma, del pari, è insostenibile accreditare la versione secondo la quale la pubblicazione della nostra ricerca sul modello, grazie al modo scelto dal Rizzato, fosse il solo mezzo disponibile per denunciarne l'esistenza o, forse, per impedire che la documentazione non venisse a giorno: fu una ricerca come tante altre, finita in archivio e facilmente accessibile.

L'episodio non fu, dunque, di gran conto. E non sarebbe stato necessario scriverne in quest'occasione se esso (allora) non avesse concorso, non fosse bastato il nostro modello, a colorire di qualche compiacenza, se non di complicità, il rapporto dell'Istituto d'Idraulica con la committente SADE: una sensazione che accompagnò lungo il percorso la nostra condizione accademica, come gli scritti della Merlin e il monologo di Paolini non mancarono, pur con diverso taglio, di accreditare.

Certo, consuetudine e amicizia vi fu tra gli Uomini: tra Francesco Marzolo e Carlo Semenza; tra Augusto Ghetti e parte della Dirigenza della SADE: per il padre che fu Presidente, in una certa stagione dell'immediato dopoguerra, della Società e per il fratello, dirigente d'elevato grado. Consuetudine e amicizia, dunque, ma non complicità.

5. SINTESI DEGLI STUDI GEOLOGICI, GEOMECCANICI E GEOSISMICI

5.1. Premessa

Il modo migliore per trattare del rapporto che si stabilì, riguardo alla vicenda del Vajont, tra l'Istituto d'Idraulica dell'Università di Padova e la SADE è forse quello che rivive nel procedimento giudiziario che chiamò, tra gli altri, Augusto Ghetti, direttore e responsabile della ricerca sul modello idraulico, a rispondere penalmente del suo operato per l'ipotesi di colpa as-

sociata alle conclusioni che lo studio aveva disegnato intorno ai fenomeni ondosi che il crollo del monte Toc avrebbe potuto determinare.

La storia rivive, dunque, almeno in parte, attraverso gli atti processuali che la difesa di Ghetti produsse: da un lato, per la conoscenza dei fatti che avviarono alla sperimentazione su modello; da un altro, per gli elementi che la ricerca successiva mise in luce.

In questa prospettiva, per trattare della funzione assunta dall'Istituto e, quindi, di quella di Ghetti, credo sia necessario, prima ancora di definire i rispettivi ruoli e la qualità delle prestazioni, tratteggiare, seppure in forma sintetica, le diverse posizioni assunte dai Consulenti geologici intorno ai problemi posti dalla temuta frana: per chiarire con quali modalità, collocati nella giusta luce gli studi e gli avvenimenti che precedettero l'evento, il problema idraulico fu posto dalla SADE e proposto per la sperimentazione su modello.

L'inquadramento che segue s'avvale, naturalmente, almeno in parte, di quanto la letteratura tecnica e non tecnica ha prodotto sul tema del Vajont. Né potrebbe essere altrimenti: lo stimolo a proporre la rilettura dell'evento e del ruolo degli Idraulici nasce, infatti, essenzialmente dalle presentazioni del tema ricordate al principio. Si potrebbe anzi dire, cedendo a una forma di moda, dalle provocazioni distribuite nei lavori di Paolini e di Martinelli; e anche, seppure in una diversa luce, dagli scritti della Merlin. Ma si avvale anche, e forse principalmente, d'alcuni miei scritti di quel tempo: per la freschezza del taglio, quella stessa che accordo, a differenza degli altri Autori, agli scritti della Merlin con la loro dolorosa autenticità.

L'esame critico appare necessario per la stretta dipendenza della trattazione del problema idraulico – e dunque per le responsabilità che ne derivarono agli operatori – dal modo con il quale fu formulato dalla SADE, in base ai pareri rassegnati, a partire dal 1959, dai suoi Consulenti con l'obiettivo di fissare le caratteristiche fondamentali del temuto evento: modo del crollo o dei crolli e tempi di caduta.

L'esposizione e la scrittura che ritrovo nei miei appunti hanno un taglio forse severo: una durezza imposta non tanto dalle necessità difensive, naturalmente spiegate a favore di Ghetti, quanto dagli elementi che vennero alla luce dopo l'evento. I quali concorsero a ridisegnare il rapporto tra l'Istituto e la SADE, e tra questa e gli Istituti deputati al controllo dell'opera, in modo affatto diverso dalla norma.

Le posizioni assunte dagli studiosi che, a vario titolo e in epoche diverse, s'occuparono del Monte Toc prima della catastrofe presentano un notevole interesse: per il rapporto che le loro conclusioni ebbero, da un lato, nella gestione della vicenda da parte della dirigenza della SADE; da un altro, per la definizione dei fenomeni che la dirigenza stessa propose di sperimentare con il modello idraulico.

La rassegna critica di queste posizioni assume dunque, per l'obiettivo che il lavoro si propone, un valore essenziale.

5.2. I primi geologi

Il professor Giorgio Dal Piaz fu tra i primi geologi a occuparsi per conto della SADE della valle del Vajont. Numerose indagini e relazioni, a partire dal 1928 fino al 1948 (seguite da relazioni del 1957, 1958 e 1960), accompagnarono le prime ipotesi di sbarramento della valle alla stretta di Colomber o a quella, posta a monte, di Ponte di Casso: concludendo per la stretta sezione di Colomber. Nel valutare le condizioni di stabilità dei versanti e della sezione d'imposta, egli ammise che non erano peggiori delle altre sezioni sbarrate da dighe nei torrenti della valle del Piave.

Egli riconobbe che i fianchi della valle, in sinistra dove si ergeva il monte Toc, erano rivestiti da vastissimi depositi morenici. In particolare, il Pian della Pineda (figura 2) era formato da un ammasso detritico, prodotto d'una antichissima frana, in corso di cementazione a opera della secolare infiltrazione delle acque meteoriche. Ammise la possibilità di smottamenti nel lago dovuti all'alternarsi delle operazioni d'invaso e svaso, ma di proporzioni contenute. Parimente, fu ritenuto possibile qualche franamento nella zona compresa tra la Pineda e il Pian della Pozza.

Una manifesta preoccupazione Dal Piaz invece nutrì, almeno in un primo momento, per la presenza d'una dolina, il cui asse longitudinale, parallelo alla valle, portò a pensare all'esistenza d'una spaccatura delle roccia sottostante. Ma anche in questo caso, Dal Piaz ritenne che essa non dovesse essere fonte d'apprensioni: gli eventuali distacchi, infatti, si sarebbero prodotti per *fette singole*; e l'evoluzione del fenomeno sarebbe stata molto lenta.

Una visione, quella di Dal Piaz, dunque ottimistica: un'evoluzione contenuta e controllata degli eventuali fenomeni franosi, seppure con qualche timore o esitazione.

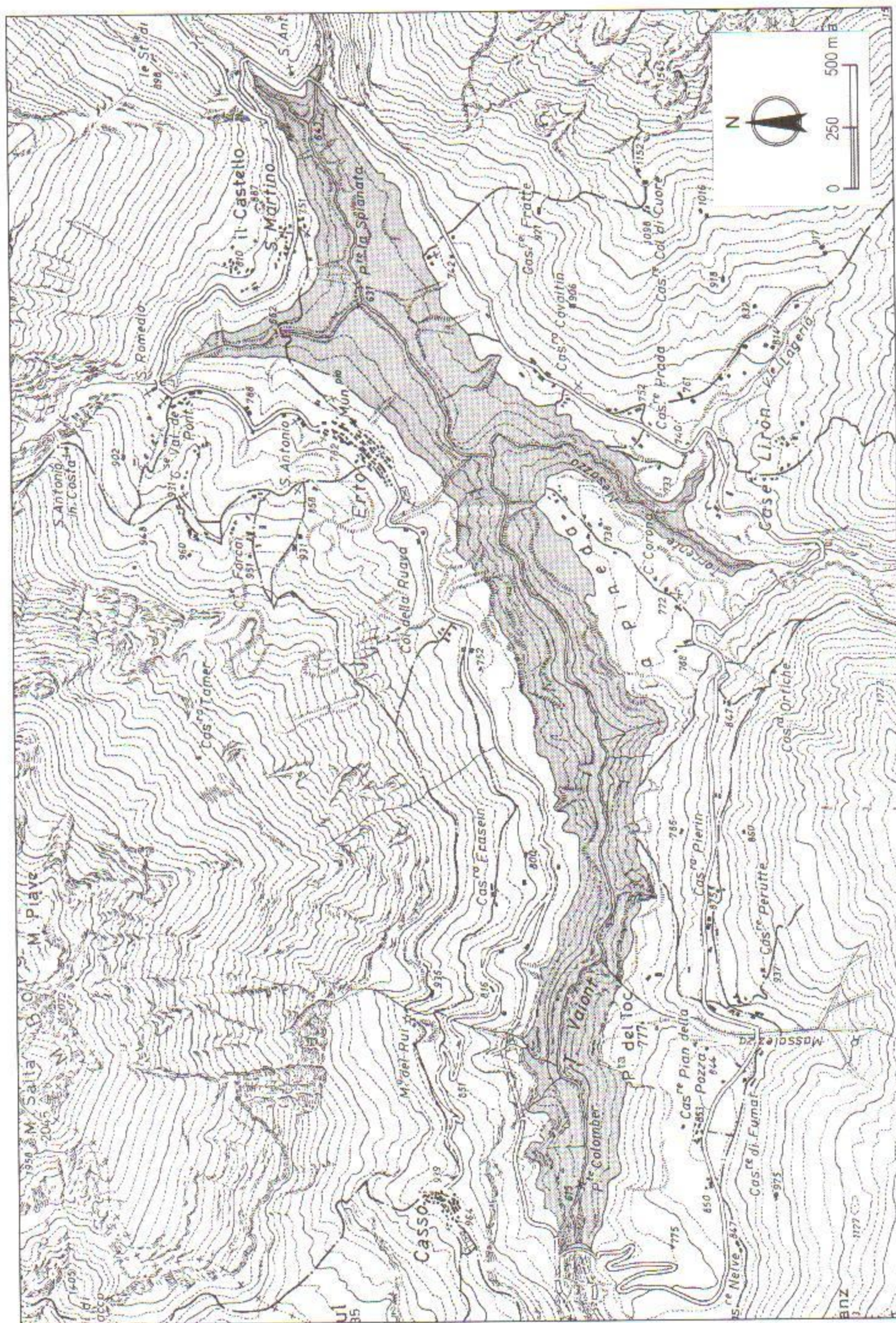


Fig. 2: valle del Vajont prima del 4 novembre 1960 con il serbatoio formato dalla diga. (da Selli e Trevisan: *op.cit.*)

5.3. La relazione di Semenza e Giudici del 1960

Nel giugno del 1960, i geologi Edoardo Semenza e Franco Giudici²¹ presentarono una relazione sulla situazione geologica del versante sinistro della valle del Vajont. Il documento presenta un interesse notevole, anche per il ruolo che esso ebbe nel rapporto tra Edoardo e il padre Carlo: una lettura dello stato della formazione rocciosa ben diversa da quelle prospettate dagli studi di Dal Piaz e dalle conclusioni che Caloi aveva tratto dall'indagine geofisica del novembre 1959.

Lo studio definì il Pian della Pineda un enorme ammasso di materiale incoerente e pseudo-coerente: nella parte meridionale, con materiali detritici provenienti dal monte Toc. Lo spessore di questi depositi fu stimato di 130÷150 m. Trattando della zona compresa tra la casera Pierin e il Colomber – la zona che fu interessata dal crollo del 9 ottobre 1963 –, Semenza e Giudici espressero il timore che la condizione di stabilità dell'ammasso potesse essere ben diversa, e ben più grave, da quella che le riflessioni di Dal Piaz avevano prospettato. La lettera inviata da Edoardo al padre rappresentò, infatti, in una forma ben più che ipotetica, un preoccupante stato del versante «...qualora il piano d'appoggio dell'intera massa, o della sua parte più vicina al lago, fosse inclinato (anche debolmente) o presentasse una apprezzabile componente di inclinazione verso il lago stesso. In questo caso il movimento potrebbe essere attivato dalla presenza dell'acqua, con conseguenze difficilmente valutabili attualmente »²². La lettera conteneva anche uno schizzo schematico del temuto piano di scivolamento: una sorprendente intuizione nel confronto con quello che il crollo disegnò

Semenza e Giudici proposero una campagna di sondaggi per avere una conoscenza più approfondita intorno allo stato del versante sinistro e al carattere dei temuti fenomeni.

Un commento d'oggi: per le sensazioni, allora appena avvertite, che il tempo trascorso ha sedimentato. Una posizione, quella del geologo Semenza, poco più che trentenne alla fine degli anni '50, caratterizzata da una profonda inquietudine. La quale, annotata, certo ansiosamente, dal padre Carlo,

²¹ Semenza, E. e Giudici, F.: *Studio geologico del serbatoio del Vajont*, 1960, Relazione inedita.

²² La lettera era un documento del quale la difesa Ghetti ebbe disponibilità. Lo schizzo che indicava il piano di scivolamento è riportato anche nel libro di Semenza a p. 76.

diede l'avvio a una sorta di processo critico: per verificare il fondamento delle ipotesi formulate dal figlio intorno allo stato della formazione del versante sinistro a fronte di quelle sostenute dal geologo Dal Piaz e dal geofisico Caloi; con l'invito del padre, anzi, a sottoporre la relazione al professore Dal Piaz, accettando d'attenuare, eventualmente, qualche affermazione²³.

Un passaggio delicato quello tra il padre e il figlio: per gli incontri, certamente, che il padre sollecita tra il Maestro e l'Allievo. Un passaggio da interpretare, però, non tanto per il formale e burocratico proposito d'aver "le carte a posto" – l'uomo Semenza non era di questa taglia –, quanto, altrettanto certamente, per lenire l'acuto tormento che le ipotesi, probabilmente condivise, fossero fondate: venivano dal figlio, non dai Consulenti.

5.4. La frana del novembre del 1960

Il 4 novembre 1960, una frana di circa 700.000 m³ si staccò, in sinistra, 300 m circa a monte della diga; il lago era a quota 647 m. Una larga fessura, estesa per circa 2.500 m, a forma di M, comparve sul fianco del Toc, disegnando, col rilassamento del versante, il dominio della frana (figura 3).

Le precedenti riflessioni di Semenza e di Giudici dovettero apparire al padre Carlo, con questo preoccupante segno premonitore, ben più fondate di quanto avesse pur temuto. Egli mobilitò, infatti, con la SADE ovviamente, i professori per le ulteriori indagini che l'evidenza dell'accaduto aveva reso necessarie: Leopold Müller, geomeccanico; Francesco Penta, geologo e componente della Commissione di collaudo della diga; e, di nuovo, il geofisico Caloi; e ordinò, naturalmente, lo svasso del lago. Il quale fu portato molto lentamente, in poco più di due mesi, a circa quota 600 m: quota mantenuta, con modeste variazioni, fino all'ottobre del 1961. Tra il febbraio e il settembre 1961 fu costruita, per sicurezza, una galleria di *by-pass*, con imbocco e sbocco, rispettivamente, a monte e a valle del tratto affacciato alla zona definita dalla fessura a M. Il 5 ottobre del 1961 la SADE chiese l'autorizzazione a un ulteriore invaso sperimentale fino alla quota 680. La concessione fu accordata il 16 novembre del 1961, limitata però alla quota 640.

²³ L'invito è contenuto in una lettera di Carlo Semenza al figlio: un documento della quale la difesa Ghetti ebbe disponibilità.

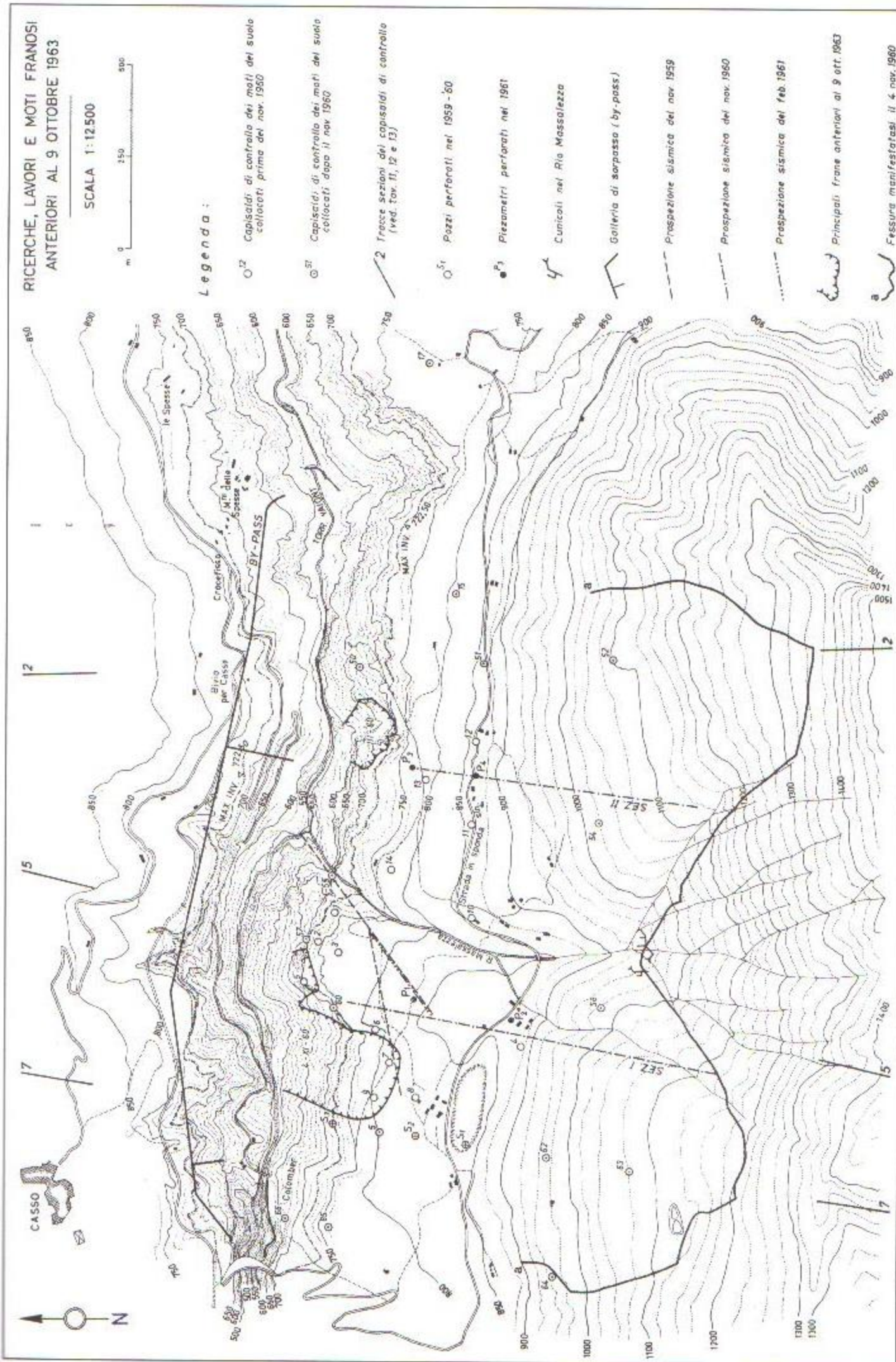


Fig. 3: la valle del Vajont dopo la frana del 4 novembre 1960 con la traccia della fessura a M comparsa sul versante. Sono indicati i capisaldi per l'osservazione dei movimenti, le sezioni sismiche e il tracciato, in destra della valle, della galleria di by-pass (da Selli e Trevisan: *op.cit.*).

Il 30 ottobre del 1961, venne a mancare, improvvisamente, Carlo Semenza.

L'anno che trascorse tra il novembre 1960 e la morte di Semenza segnò, dunque, l'avvio delle ulteriori ricerche che la SADE, dopo l'evento, aveva programmato: indagini geologiche in primo luogo, per interpretare le possibili evoluzioni del fenomeno d'instabilità del versante; ricerche idrauliche per un'ipotesi di rottura della diga. L'inizio delle quali fu definito dalla richiesta che Semenza rivolse, il 27 novembre del 1960, al professor Francesco Marzolo: uno studio per valutare quale sarebbe potuta essere l'onda che la rottura della diga avrebbe potuto determinare. Nel gennaio del 1961 si prospettò, per la prima volta, l'opportunità di una ricerca su modello idraulico per indagare sugli effetti ondosi prodotti dal crollo del versante sinistro del Toc. Fu scritto²⁴: «*Indagini relative ad ipotetiche condizioni di emergenza per il serbatoio e diga del Vajont*». Le istruzioni preliminari per il programma delle prove furono inviate dal professore Egidio Indri, alto dirigente della SADE, al professor Marzolo il 16 maggio del 1961.

Un breve commento. Il periodo di tempo tra il 4 novembre del 1960 e la morte di Carlo Semenza si caratterizza, essenzialmente, per il credito che il padre accorda alle ipotesi del figlio: alla ricerca, non tanto di conferme, quanto dei modi coi quali il versante avrebbe potuto mettersi in moto. Volumi mobilitati e tempi di caduta: per avere, da un lato, la misura o l'ordine di grandezza dei fenomeni ondosi legati alle varie e possibili ipotesi d'invaso; per definire, da un altro, un piano per fronteggiare l'evento che la frana del 4 novembre, in una scala ridotta, aveva annunciato: quale la scala di quello temuto? Questo il senso della ricerca sul modello idraulico assegnata agli Idraulici di Padova e delle indagini affidate al geomeccanico Müller e al geologo Penta: per fornire gli elementi d'ingresso per le prove idrauliche.

La scomparsa di Semenza pare segnare un diverso comportamento della SADE nel rapporto col monte Toc e il suo temuto crollo. Cade la tensione che animò Carlo Semenza – un concorso, certo, alla sua improvvisa morte – rivolta alla conoscenza per decidere. Il “dopo Semenza” pare, infatti, caratte-

²⁴ La frase appare con le virgolette nei miei appunti. Non ricordo la fonte: mi pare che potesse essere una lettera della SADE; non escludo, però, che possa anche essere stata estratta da un verbale d'una riunione del C.I.M. di Nove.

rizzarsi per il prevalere d'una diversa visione, si potrebbe dire aziendale: rivolta più a una sorta di collaudo del sistema diga-monte Toc, piuttosto che al processo di conoscenza da perseguire con la ricerca. Come provano le richieste che la SADE, a partire dal dicembre del 1961 e, dopo il 16 marzo 1963, formalmente l'ENEL rivolgono con continuità al Servizio Dighe per potere invasare a quote sempre più elevate: fino alla fatale, e concessa il 22 aprile 1963, quota 715.

5.5. La relazione di Müller del 1961

Il professor Müller rassegnò la sua relazione il 3 febbraio del 1961. In essa, utilizzando, in aggiunta alla sue indagini, le osservazioni del giovane Semenza e di Giudici, individuò due zone esposte a possibili franamenti: una zona, nella parte occidentale del Toc, a valle del torrente Massalezza e una orientale, compresa tra il torrente e la Pineda (figura 2). Egli ipotizzò che l'intera massa potesse scivolare distinta in due parti, a Ovest e a Est del Massalezza, ma con diverse modalità di movimento. Ritenne, poi, che la prima zona (l'occidentale) fosse ulteriormente suddivisa: una parte inferiore, abbondantemente fratturata si sarebbe mossa nel modo tipico dei ghiacciai (moto senza accelerazioni o *creep flow*), scorrendo appoggiata alla superficie inferiore di contenuta inclinazione (il *piano del sedile*, secondo la definizione di Semenza), premuta e sollecitata dal moto della parte superiore molto inclinata. La parte orientale «era invece praticamente tutta appoggiata su una superficie di scivolamento molto inclinata, ma si muoveva poco perché questa superficie probabilmente non coincideva più con le superfici di stratificazione, ma le tagliava...».²⁵

Qualche perplessità sul fondamento delle ipotesi formulate da Müller fu determinata dai risultati delle prospezioni geosismiche ripetute, dopo il 4 novembre 1960, da Caloi. Il risultato dell'indagine: una roccia che, secondo la sua interpretazione, gli invasi avevano degradato: pessime proprietà meccaniche. Sconcertante conclusione se comparata con quella precedente del novembre del 1959 del Caloi stesso: una formazione rocciosa d'eccezionale solidità. Un infortunio: errate misure, le prime, o loro errata interpretazione?

Il professor Müller riconobbe, dunque, l'esistenza della frana e le sue

²⁵ Semenza, E.: *op. cit.*, p.257.

reali dimensioni, ma non condivise l'opinione dei giovani geologi che si trattasse di una paleofrana suscettibile di un movimento veloce: una grande frana, in sostanza, in lento movimento da secoli.

La massa della frana fu stimata di circa 200 milioni di m³, posta su una profonda superficie di scorrimento. Lo spessore: 200÷250 m nella sua metà inferiore. L'esercizio dell'invaso avrebbe determinato, naturalmente, un acceleramento del processo di moto della massa; ma nessuna indicazione fu fornita intorno alle velocità o ai tempi coi quali, per la presenza dell'acqua, essa si sarebbe posta in movimento. Un processo, un lento processo che nessun artificio avrebbe potuto controllare e, tanto meno, arrestare: questa fu la conclusione di Müller.

5.6. La relazione di Penta del 1961

Il 28 novembre del 1960 la Commissione di collaudo svolse il terzo sopralluogo. Il professor Penta annotò, in un promemoria del dicembre, il timore che la fessura, estesa per circa 2500 m, che segnò il distacco del versante, potesse «...essere interpretata come l'intersezione con il terreno di una superficie di rottura profonda e che arriverebbe praticamente al fondo valle, separando dalla montagna una enorme massa di materiale...»²⁶.

Nell'ottobre del 1961, Penta rassegnò, dopo altri sopralluoghi avvenuti nell'aprile e nell'ottobre dello stesso anno, una relazione. La quale prospettò due diverse interpretazioni intorno al distacco verificatosi nell'anno precedente.

La prima interpretazione: egli stimò più probabile che la comparsa della fessura fosse ascrivibile al movimento limitato di una lama superficiale, una coltre detritica dello spessore di 10÷20 m. Nella seconda prospettò l'ipotesi già tratteggiata nell'appunto del dicembre 1960, aggiungendo che, in questo caso, «...si dovrebbe ammettere la possibilità che si verifichi un distacco improvviso di una massa enorme di terreno (suolo e sottosuolo) ...».

Il professor Penta non esclude, dunque, l'interpretazione di Müller, seppure con una diversa lettura del comportamento – un distacco improvviso in luogo di un moto a lenta evoluzione –, ma con un credito ben minore di

²⁶ Il promemoria e la successiva relazione, inediti documenti processuali, erano documenti interni della SADE.

quello accordato all'ipotesi di un contenuto scorrimento epidermico, da lui ritenuta più probabile.

Compare, per la prima volta, un'interessante considerazione: il distacco improvviso. Essa, introducendo la nozione di un'evoluzione rapida, forse rapidissima, del distacco, avrebbe dovuto porre, tra tutti gli aspetti che una siffatta ipotesi avrebbe dovuto suggerire, anche il problema (centrale per il modello idraulico) del tempo di caduta della massa; e stimolare una ricerca in una prospettiva ben diversa da quella alla quale Penta aveva accordato, senza riserve, credito.

Un'osservazione di Edoardo Semenza²⁷ sulla prima ipotesi di Penta è degna di nota: «...Ma è per me inspiegabile, oggi come allora, che uno specialista così famoso abbia avanzato una simile ipotesi, che contrastava con le osservazioni di campagna, sia col comportamento della massa; essa infatti si muoveva chiaramente, benché con modalità non ovunque identiche, in un blocco unico, com'era dimostrato dall'apertura della lunghissima fessura, apertura che era praticamente uguale lungo tutto il margine meridionale...».

5.7. Le relazioni di Caloi

Il professor Caloi svolse, a partire dal 1953, numerose prospezioni geosismiche per stabilire, in concorso coi geologi, le caratteristiche meccaniche globali delle rocce interessate dalle opere e dal serbatoio; e per valutare le loro variazioni in relazione agli interventi di consolidamento delle imposte. Le indagini furono ripetute alla fine del 1959 e riprese, alla fine del 1960, dietro richiesta di Carlo Semenza per controllare, in aggiunta al parere di Dal Piaz, lo stato della formazione del versante sinistro della valle, ritenuto dal figlio Edoardo e da Giudici, per i risultati dello studio eseguito dopo la frana del 4 novembre '60, in preoccupanti condizioni di stabilità. La figura 3 indica le tracce delle traverse indagate da Caloi con le prospezioni geosismiche del 1959 e del 1960.

La prima relazione del dicembre del 1959 espone i risultati della campagna del novembre 1959. Essi portarono Caloi ad affermare che²⁸ «... i valori

²⁷ Semenza, E.: *op.cit.*, p. 80.

²⁸ Caloi, P. e Spadea, M. C.: *Serie di esperienze geosismiche eseguite in sponda sinistra a monte della diga del Vajont*, dicembre 1959, Relazione inedita.

ottenuti per le velocità [la celerità di propagazione delle onde prodotte dalle prove geosismiche] sono fra i più elevati di tutte le campagne eseguite, paragonabili a quelli avuti, a suo tempo, sul fondo della stretta del Vajont, in zona diga...». L'elevato valore del modulo elastico ottenuto indusse Caloi a concludere che «...il massiccio roccioso in sponda sinistra, nella zona presa in esame, si è formato in loco...».

Un'informazione e un commento.

L'informazione: un sintetico giudizio sulle proprietà meccaniche d'una roccia o d'una formazione rocciosa è fornito dal valore del modulo elastico. Una grandezza, questa, legata al rapporto tra lo sforzo cui sia sottoposto un campione e la deformazione che esso produce. La quale, quando sia riferita a una formazione rocciosa, offre, però in modo globale, la misura del suo stato strutturale, se compatto o fratturato o detritico. Al calcolo del modulo si provvede, con un modello assai schematico, utilizzando i valori della velocità di propagazione della perturbazione ondosa prodotta con la simulazione sismica dalle prove geofisiche e rilevate in sito. La velocità e i suoi valori sono strettamente correlati alle proprietà elastiche del materiale sperimentato: proprietà riassunte dalla misura d'una grandezza definita modulo elastico. Le prove del 1959 offrirono un quadro d'assoluta tranquillità: valori del modulo addirittura superiori a quelli di un eccellente calcestruzzo.

Il commento: i risultati, con i singolari valori ottenuti, del tutto fuori misura nel rapporto con la norma, avrebbero dovuto fare sorgere qualche dubbio intorno all'affidabilità della deduzione, anche accordando al risultato, in ragione del carattere schematico del modello utilizzato, il significato di sola indicazione. Si deve, infatti, ricordare come il modello sia usato con profitto essenzialmente per valutare, per confronto, il miglioramento che gli usuali e normali interventi di consolidamento introducono nelle proprietà meccaniche delle formazioni rocciose: ripetendo, cioè, dopo gli interventi di bonifica, le stesse prove e annotando le variazioni nell'assetto strutturale.

La successiva relazione del 10 febbraio 1961 rappresentò i risultati ottenuti con le prove eseguite nella stessa zona nel dicembre del 1960, poco dopo il distacco del 4 novembre 1960. Caloi non rinvenne superfici riflettenti nei primi 60÷70 m di profondità, annotando invece riflessioni provenienti da profondità superiori, in qualche caso, a 150 m.

Il decadimento delle proprietà meccaniche della formazione, messo in

evidenza dal confronto con le precedenti prove (annota Caloi²⁹ «...il contrasto è veramente nettissimo...»), fu definito «...indubbia conseguenza di un'azione di frantumamento del setto di roccia robustissima che reggeva – almeno fino al dicembre 1959 – il sovrastante carico di materiale di frana...». Caloi concluse la Relazione, con una nota aggiuntiva, confermando l'esistenza di un primo strato di materiale molto sciolto dello spessore di 20÷40 m, al di sotto del quale il materiale, fino a una profondità di 100÷150 m, era fratturato. Solo a maggiore profondità, la formazione presentava caratteristiche meccaniche comparabili con quelle rilevate nel novembre del 1959.

Il lago, al momento delle prove del dicembre 1960, era in corso di svaso. Il serbatoio era stato invasato, a partire dalla quota 595 m s.m.m. del maggio 1960, fino alla quota 647: in corrispondenza della quale, il 4 novembre 1960, si produsse la frana di 700.000 m³; e, con la frana, il nuovo corso di studi.

6. I PROVVEDIMENTI ADOTTATI DOPO IL 4 NOVEMBRE DEL 1960

6.1. Dal 4 novembre 1960 al 30 ottobre 1961

La sintetica rassegna svolta nelle pagine precedenti rappresenta lo stato delle discordanti conoscenze prima del crollo del 9 ottobre 1963. Essa s'inquadra, infatti, come un passo necessario nel rapporto con le ricerche che la SADE affidò, al principio del '61, agli Idraulici di Padova.

La letteratura scientifica e tecnica intorno alle formazioni geologiche della valle nota prima dell'evento del '63 – ricerche essenzialmente commissionate dalla SADE – è, naturalmente, più ricca di quella richiamata in queste pagine, come mostra l'esauriente bibliografia riportata nella *Storia del Vajont* di Edoardo Semenza: fondata in larga misura su numerosi lavori (inediti) di Giorgio Dal Piaz, a partire dal 1928, e di Leopold Müller, tra il

²⁹ Caloi, P.: da una Relazione inedita del 1960. L'Autore, nonostante l'evidenza delle dimostrazioni date sullo stato geologico del versante, già a partire dallo studio di E. Semenza del 1959, mantenne anche dopo l'interpretazione riportata nel testo. Un severo giudizio è riferito in Semenza, E.: *op. cit.*, p. 87. Si annota che i sismogrammi delle prove di Caloi del 1960 non furono ritovati.

1957 e il 1961; e su quelli richiamati poc' anzi di Caloi, Penta e Semenza.

I risultati della rassegna possono riassumersi, come prima conclusione, in alcuni punti.

Gli eventi motori: la tesa relazione di Semenza e Giudici del giugno del '60; la frana (a conferma) del 4 novembre del 1960 e la grande ed estesa fessura ad M sul Toc; il preoccupante segnale della frana di Fagarè nel serbatoio di Pontesei sul torrente Maè del 22 marzo del 1959. I successivi pareri dei Consulenti: un ammasso detritico di grandi dimensioni (Müller), ma, per Penta, solo un'ipotesi scarsamente affidabile; con opinioni discordanti sui modi di porsi in movimento.

Diagnosi diverse, dunque, prima e dopo la frana del 4 novembre del 1960. Per controllare le quali, prima della frana, fu avviata nel maggio del 1960, e conclusa nel luglio, una campagna di sondaggi per verificare l'esistenza della paleofrana prospettata da Edoardo; e fu estesa, inoltre, ma solo dopo il 4 novembre, la rete di capisaldi per la misura degli spostamenti che era stata disposta, con l'inizio degli invasi, fin dal maggio del '60: un'osservazione sistematica e puntuale, chiusa il 9 ottobre del 1963, con risultati di enorme interesse per le deduzioni che si sarebbero potute fare – e che non furono fatte – sulle reali condizioni di stabilità dell'ammasso.

I sondaggi non poterono essere spinti fino a raggiungere la roccia sana («*il Calcare del Vajont, che certamente doveva esserci*», secondo E. Semenza³⁰) per lo stato intensamente fratturato della roccia. Esso era, infatti, tale da rendere pressoché impossibile il proseguimento delle perforazioni; con il risultato, però, di rendere fondata e solida l'ipotesi dell'esistenza della paleofrana, giacché solo ad essa si poteva addebitare, per il suo movimento di qualche migliaia d'anni precedente, l'imponente fratturazione della massa; e con l'ulteriore risultato di dare fondamento al sospetto che le sue dimensioni dovessero essere ben maggiori di quelle supposte nella prima stima.

L'anno 1960 si chiuse, dunque, con la certezza che la massa disegnata dalla fessura a M era d'imponenti dimensioni e, secondo Müller, d'impossibile controllo; e con l'incertezza di quale potesse essere una possibile evoluzione del suo assai precario stato di stabilità.

In queste condizioni, Carlo Semenza prese, come s'è detto, due importanti decisioni. La prima. Provvide, oltre al lento svasso del serbatoio che

³⁰ Semenza, E.: *op. cit.*, p.75.

raggiunse da 647 m la quota 600 m nel dicembre del 1960, a disporre il progetto d'una galleria di *by-pass* sul versante destro della valle per assicurare la continuità dei deflussi del torrente, nell'ovvia ipotesi che la temuta frana del versante sinistro potesse sezionare la valle stessa. La galleria, del diametro di 4,50 m e lunga circa 2 km, fu costruita tra il febbraio e il settembre del 1961; l'imbocco, a quota 617,40 m, fu posto a monte del tratto di valle affacciato alla zona del possibile movimento; lo sbocco, a quota 600,70 m, poco a monte della diga (figura 3).

La seconda. Diede incarico, nei primi mesi del 1961, al Centro Modelli Idraulici di Nove (Vittorio Veneto), col supporto scientifico dell'Istituto di Idraulica di Padova, di svolgere una ricerca su modello idraulico, per esaminare gli effetti di una possibile frana nel lago-serbatoio del Vajont, nei riguardi dell'inondazione delle sponde e dello sfioro sulla cresta della diga in seguito ai conseguenti fenomeni di moto vario nell'acqua del bacino.

La progettazione del modello idraulico per simulare i processi ondosi legati al crollo e la sua costruzione impegnarono la primavera e l'estate del 1961; i primi esperimenti ebbero luogo sul finire dell'estate.

È interessante annotare un aspetto di non trascurabile rilievo nel rapporto tra gli operatori dell'Istituto di Idraulica e la SADE: Augusto Ghetti, responsabile della ricerca, con i collaboratori professori Pierantonio Rolla e Marcello Benedini, da un lato; il professore Egidio Indri e l'ingegnere Mario Pancini (il direttore dei lavori per la costruzione della diga) dall'altro; e su tutti, naturalmente, Carlo Semenza.

Solo, dunque, gli Idraulici di Padova e la SADE, con l'assistenza del figlio Edoardo nella seconda parte delle prove: senza il contributo dei Consulenti geologi, che non fosse quello riportato e mediato dai dirigenti SADE. La separazione delle culture: un disegno?

E ancora, un evento, centrale per la storia del Vajont: Carlo Semenza muore, come s'è ricordato, il 30 ottobre del 1961.

6.2. Dal 30 ottobre 1961 al 9 ottobre 1963

Le prove sul modello, svolte seguendo due fondamentali indirizzi del processo di simulazione in rapporto ai materiali usati e ai tempi di caduta, si conclusero nel 1962 con la relazione di Augusto Ghetti del 4 luglio.

Le conclusioni – un anticipo necessario per collocare nel tempo i com-

portamenti della SADE e il ruolo delle Istituzioni – furono³¹:

«Sembra pertanto potersi concludere che, partendo dal serbatoio al massimo invaso [722,50 m s.m.m.], la discesa del previsto ammasso franoso solo in condizioni catastrofiche, e cioè verificandosi nel tempo eccezionalmente ridotto di 1-1,5 minuti, potrebbe arrivare a produrre una punta di sfioro dell'ordine di 30.000 m³/s, ed un sovrizzo ondoso di 27,5 m; appena raddoppiando questo tempo il fenomeno si attenua al disotto di 14.000 m³/s di sfioro e di 14 m di sovrizzo.

Diminuendo la quota dell'invaso iniziale, questi effetti di sovrizzo e di sfioro si riducono rapidamente, e già la quota di 700 m s.m. può considerarsi di assoluta sicurezza nei riguardi anche del più catastrofico prevedibile evento di frana.

Sarà comunque opportuno, nel previsto prosieguo della ricerca, esaminare sul modello convenientemente prolungato gli effetti nell'alveo del Vajont ed alla confluenza nel Piave del passaggio di onde di piena di entità pari a quella sopra indicata per i possibili sfioro sulla diga. In tal modo si avranno più certe indicazioni sulla possibilità di consentire anche maggiori invasi nel lago-serbatoio, senza pericolo di danni a valle della diga in caso di frana».

La morte di Carlo Semenza introduce una fondamentale sezione nella storia della vicenda Vajont.

Una comune opinione, alla quale le vicende del “dopo Semenza” paiono offrire una solida conferma, fa ritenere che Carlo Semenza abbia vissuto, fino a quel momento, la vicenda del Vajont avendo come problema centrale quello della sicurezza: che rappresenta, accanto all'uso controllato delle risorse, il fondamento dell'Arte dell'Ingegnere, progettista e costruttore, prima ancora che impiantista (della SADE, nella specie); come provano del resto, dopo il drammatico 4 novembre, le ricerche avviate e la costruzione del *by-pass*.

Il “dopo Semenza” parrebbe, invece, dominato dalla cultura aziendale: con la richiesta sistematica rivolta al Servizio Dighe del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici, a partire dal novembre 1961 fino al marzo del 1963, di potere invasare a quote sempre più elevate.

Edoardo³², trattando di quel periodo, scrive: *«A dir la verità la ricostru-*

³¹ Si veda nell'Appendice B la Relazione del modello.

zione dei comportamenti che i tecnici ebbero in quel periodo (da novembre 1961 al 9 ottobre 1963) mi è molto difficile, in quanto non venni più incaricato di occuparmi della cosa. Ripresi a farlo dopo il 9 ottobre 1963, quando ebbi un nuovo incarico dall'ENEL. Qualche notizia l'ho avuta da varie persone che si occuparono dei lavori; ma molto meglio di quanto posso dire io, hanno già scritto altri, ad esempio l'ingegnere Paolo Sembenelli³³ (1992) e i proff. Hendron e Patton³⁴ (1985), i quali, oltre a puntualizzare gli errori compiuti, e a dire ciò che si sarebbe dovuto fare per gestire meglio una situazione obiettivamente molto difficile, hanno sottolineato la scarsa comunicazione intercorsa in quegli anni tra i vari esperti che si occuparono del fenomeno».

L'aspetto di maggiore evidenza che s'impone all'attenzione è rappresentato, dopo l'ottobre del '61, dalla mancanza di un'attività d'approfondimento dello stato del versante sinistro: necessarie per accertare, da un lato, il fondamento delle preoccupanti condizioni prospettate specialmente da Semenza e da Müller e, tiepidamente, non escluse da Penta; e per governare, da un altro, la gestione del serbatoio: con l'eventuale prospettiva di porlo fuori servizio.

Prevalse, invece, a giudicare dai criteri d'esercizio adottati, l'opinione che si potesse procedere al controllo del comportamento del versante con gli invasi sperimentali, accreditando, implicitamente, l'ipotesi di Penta di un eventuale moto corticale della massa detritica.

L'osservazione che dopo il 4 novembre 1960, con l'abbassamento del livello del lago a quota 600 m fino all'ottobre del '61, i movimenti dei capisaldi s'erano pressoché arrestati, indusse la Commissione di collaudo, in occasione della visita (l'ultima) del 17 ottobre del 1961, a verbalizzare³⁵ che «...i dati raccolti non consentono di sciogliere completamente le riserve che furono avanzate nel pro-memoria del professor Penta il 1° dicembre 1960 in merito al tipo e alle caratteristiche del dissesto del fianco sinistro della

³² Semenza, E.: *op. cit.*, p.107.

³³ Sembenelli, P.: *Reflections on the methodology in engineering geology. The Vajont case*, in: Semenza, E., Melidoro, G. (ed); 1992.

³⁴ Hendron, A.J., Patton, F.D.: *The Vaiont slide, a geotechnical analysis based on new geological observations of the failure surface*, Tech. Rep. GL- 85-5, Department of the Army, U.S. Corp of Engineers, Washington D.C., 1985.

³⁵ Dal verbale della Commissione di collaudo; documento della difesa Ghetti.

valle. Non è cioè possibile decidere se...».

Così, nel dubbio, si procedette agli invasi del serbatoio, senza il sostegno di ulteriori ricerche che potessero descrivere quale influenza l'invaso avrebbe potuto determinare sulle condizioni di stabilità del versante. Disponendo, oltre tutto, di un modello sperimentale reale: il primo invaso a quota 647 m e la frana del 4 novembre 1960; ma limitando le ricerche al solo modello idraulico: per stabilire quali onde si sarebbero potute produrre; dunque, assumendo, implicitamente, l'inevitabilità del crollo.

Si dava così luogo, senza percepire la portata d'una siffatta impostazione, a quel tipo di prove che nelle esperienze di laboratorio sui materiali sono definite prove a rottura o distruttive.

La successione delle richieste d'invaso e delle relative autorizzazioni è, da questo punto di vista, assai significativa.

Il 5 ottobre del 1961 la SADE chiese al Servizio Dighe d'invasare fino a quota 680 m; il 16 novembre fu autorizzata la quota 640 m con prescrizioni (incrementi non superiori al metro per giorno e rapporti quindicinali sul comportamento). Il 5 dicembre fu rinnovata la domanda, ottenendo, il 23 dicembre, quota 655 m. Ed ancora, nel 1962, alla richiesta del 31 gennaio fu risposto il 6 febbraio, accordando la quota 675 m. L'ultima domanda della gestione SADE fu del 3 maggio: la quota 700 m fu autorizzata l'8 giugno. Circa un anno dopo, il 20 marzo del 1963, l'ENEL, subentrata alla SADE, chiese d'invasare fino alla quota 715 m; l'autorizzazione fu accordata il 30 marzo.

Il livello del lago cominciò ad aumentare, partendo da quota 600 m circa, nella prima decade dell'ottobre '61, terminata la costruzione della galleria di sorpasso. L'invaso del serbatoio procedette con continuità, arrendendosi alla metà di novembre del '62 quando fu raggiunta la quota 700 m. Il secondo svaso, dopo quello del novembre '60, terminò circa a quota 650 m nella seconda quindicina del marzo '63. Ripreso il riempimento verso la fine dell'aprile, il livello del lago fu portato a quota 710 m alla fine di settembre; e svasato rapidamente per il considerevole incremento dello spostamento dei capisaldi. Il crollo avvenne il 9 ottobre con il lago a quota 700,42 m.

Ricerca nell'esercizio del serbatoio il carattere sperimentale invocato dalla SADE nelle ripetute, e autorizzate, richieste d'invaso può essere giudicato, secondo l'Arte che l'Ingegneria esprime, un comportamento non corretto (colposo?), pur dovendosi convenire come gli invasi gradualmente e con-

trollati rappresentino, di norma, l'unico modo di procedere al collaudo d'una diga. Nel caso del Vajont, il primato nelle attività di controllo si sarebbe dovuto accordare, per i fatti già accaduti e per quelli temuti, ai problemi di stabilità del versante piuttosto che a quelli della diga. Una fondata ipotesi intorno al criterio adottato nell'esercizio induce a pensare che gli invasi sperimentali avrebbero dovuto dare modo, secondo l'opinione dei Geologi, di sciogliere le riserve di Penta intorno alle proporzioni del temuto slittamento e al processo di distacco: infatti «.. i professori Dal Piaz e Penta ... sperano che la parte mossa si sieda su se stessa...» [dalla lettera di Semenza a Ferniani, aprile '61³⁶].

Un esercizio che avvenne invece – almeno così appare – senza porre in conto che le maggiori quote d'invaso, oltre all'aggravamento delle condizioni di stabilità della massa in movimento, avrebbero accresciuto, con il temuto (e atteso) crollo, gli effetti delle formazioni ondose d'impatto imprevedibile. In questa prospettiva, l'affermazione di poc'anzi che si trattasse, sostanzialmente, di prove a rottura, è da ritenersi ragionevolmente provata, pur accordando al gestore un diverso, ma certamente errato, proposito: quello, forse, di collaudare la diga. Il consenso di Penta (uno dei collaudatori) alla quota 700 m, espresso in una lettera al Servizio Dighe del maggio 1962, consoliderebbe questa opinione.

Un'ultima nota. La relazione finale di Ghetti del luglio '62 sui risultati del modello aveva indicato che la quota 700 m «...può considerarsi di assoluta sicurezza nei riguardi anche del più catastrofico prevedibile evento di frana...».

Indicazione disattesa, dunque, avendo chiesto e ottenuto la quota 715 m. Il Servizio Dighe, che aveva autorizzato l'invaso, conosceva la relazione Ghetti? Che il Servizio, diretto da Francesco Sensidoni (membro della Commissione di collaudo), fosse, almeno in modo non formale, al corrente della ricerca in corso presso il Centro Modelli Idraulici di Nove non può dubitarsi. Il modello fu, infatti, visitato, il 19 settembre del 1961 dagli ingegneri Giovanni Padoan e Curzio Battini, Presidenti, rispettivamente, del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici e dalla 4^a Sezione del Consiglio stesso, che assistettero a una delle prime prove.

³⁶ Semenza, E.: *op.cit.*, p. 227.

7. IL MODELLO IDRAULICO

7.1. Sui modelli in generale

Il diffuso uso degli elaboratori elettronici ha reso familiare, negli anni recenti, il termine “modello”: il termine, forse, più che il significato. Un modello matematico è, infatti, frequentemente riferito e indicato come strumento per trattare problemi di varia natura, con l'ovvia condizione che il fenomeno da indagare si presti a una descrizione matematica.

Il modo forse più semplice d'introdurre la nozione di modello è quello di pensare a un oggetto riprodotto in scala ridotta rispetto all'originale: si passa dall'uno all'altro semplicemente moltiplicando ogni dimensione del modello per il denominatore della scala. Modelli comuni sono: la rappresentazione di un fabbricato, con un disegno in scala 1:100; la riproduzione, in forma di giocattolo, d'una automobile: una Ferrari, per la gioia d'un bambino. La similitudine tra i due elementi, l'originale e il modello, è solo geometrica, non immaginando un uso diverso da quello di giudicare, in modo sintetico, una soluzione architettonica, in un caso o di giocare, nell'altro caso. Ma se, nel caso dell'automobile, il modello, in scala ovviamente diversa, dovesse essere utilizzato per valutare le resistenze al moto a diverse velocità, la soluzione non potrebbe essere che quella di sottoporlo a una serie di prove in una galleria del vento. In questa diversa prospettiva, la lettura del comportamento dovrebbe avvenire, in funzione ancora della scala geometrica usata, ma misurando anche, e specialmente, le grandezze d'interesse per la descrizione dei fenomeni indagati, con l'ovvio obiettivo di trasferirle all'originale. Il trasferimento delle quali comporterebbe però che fossero definite, a partire dalla geometrica, anche le scale delle grandezze: le velocità e le pressioni, per esempio. La teoria della similitudine – un suggestivo capitolo della Meccanica – definisce, appunto, le scale di lettura, ponendo in conto, naturalmente, le proprietà geometriche, meccaniche e fisiche dei materiali impiegati.

La nozione di similitudine e di modello, estensivamente intesa, può applicarsi dunque, con regole naturalmente più complesse di quella solo geometrica, alla rappresentazione di un fenomeno che sia retto, nel reale e modello, dalle stesse leggi fisiche. I procedimenti per modellare un fenomeno possono essere due: un modello fisico in scala ridotta oppure, avvalendosi

della sua descrizione matematica, di un modello numerico. Il primo dei quali integra, sperimentalmente, le stesse equazioni poste alla base del secondo.

I modelli fisici e il linguaggio sperimentale trovano largo impiego nella trattazione di problemi per i quali la varietà degli aspetti, geometrici, fisici e concettuali da descrivere e porre in conto limita la capacità dei modelli numerici di rappresentare in forma compiuta l'ambiente e il fenomeno.

Un modello può, dunque, definirsi la rappresentazione, secondo un pre-scritto metodo, di un fenomeno più o meno schematizzato sia nelle relazioni che lo descrivono, sia nell'ambiente all'interno del quale esso si svolge, con l'essenziale condizione che tra modello e fenomeno si abbia una corrispondenza non ambigua, nel senso che la riduzione fisica o matematico-numerica del fenomeno stesso non sia viziata da fenomeni secondari, detti parassiti, che sovrapponendosi a quello reale, possano, per i disturbi che producono, descrivere un comportamento del modello diverso da quello dell'originale.

Molti problemi idraulici, spesso complessi – quelli, appunto, che caratterizzano i sistemi idraulici naturali, i fiumi, per esempio –, sono trattati impiegando la modellazione fisica sperimentale. Il criterio che guida la riproduzione su modello di un certo fenomeno impone che tra modello e originale debbano essere in similitudine le forze che regolano i fenomeni (simili) nelle due scale. Questa condizione definisce, fissata la scala geometrica, le scale delle grandezze idrauliche e la scala dei tempi.

Il moto delle acque nei sistemi idraulici a grande scala (i fiumi, appunto) è essenzialmente regolato dalle forze gravitazionali e da quelle d'inerzia³⁷. Nasce da questa semplice osservazione il criterio che rende simili due processi idraulici che si svolgano in scale geometriche diverse, un tratto di fiume, per esempio, e il suo modello in scala ridotta: il criterio di similitudine impone, infatti, che il rapporto tra le forze d'inerzia e quelle gravitazionali sia lo stesso nei due processi. Il criterio è noto come regola di Froude (William Froude; 1810-1879).

La regola dà modo di determinare le scale delle grandezze che descrivono

³⁷ L'originale e il modello operano, com'è evidente, nel campo gravitazionale, utilizzando, appunto, un fluido pesante: l'acqua. Il cui mutevole assetto, quando sia in moto per opera della gravità, mobilita però altre importanti forze legate, in quanto l'acqua possiede una massa, alle variazioni della velocità e ai suoi cambi di direzione: classicamente, le forze d'inerzia.

il fenomeno. Un facile esempio. Se il modello riproduce l'originale in scala 1:49 (il denominatore 49 è scelto per comodità numerica, ma scale dello stesso ordine sono tra le più usate), le scale dei tempi e delle velocità sono date dalla *radice quadrata* di 49: un fatto che nel reale avvenga in 70 secondi deve essere riprodotto nel modello in $70/7=10$ secondi; la velocità di 2,10 m/s diventa $2,10/7=0,30$ m/s; una portata reale di $300 \text{ m}^3/\text{s}$ è ridotta nel modello nel rapporto $300/49^{5/2} = 0,0178 \text{ m}^3/\text{s} = 17,8 \text{ l/s}$. Si possono dunque scrivere in modo piano, indicato il denominatore della scala geometrica con λ , rispettivamente le scale di lettura dei tempi, della velocità e delle portate: rispettivamente $\lambda_t = \lambda_v = \lambda^{1/2}$; $\lambda_Q = \lambda^{5/2}$.

La teoria della similitudine non si limita, naturalmente, alla sola regola di Froude, potendosi anche considerare altre forze operanti nel campo fluido. Le quali, però, nei modelli idraulici ricordati poc'anzi, svolgono un ruolo del tutto trascurabile rispetto al dominante ufficio della gravità e dell'inerzia.

Un'ultima annotazione sulle possibili, ma di norma tollerabili, imperfezioni d'un modello idraulico: v'è da osservare, infatti, come la similitudine di fenomeni nei quali la presenza dell'aria, ovviamente nel suo rapporto con l'acqua, possa svolgere un ruolo non trascurabile cada in difetto, per il diverso legame che esiste tra i due fluidi (aria e acqua) nel modello e nella realtà.

La scelta della scala del modello d'un sistema idraulico naturale, fluviale o lagunare, rappresenta un problema meritevole di qualche attenzione, specie quando il tratto da riprodurre sia abbastanza esteso o ampio e le altezze d'acqua siano d'un ordine di grandezza significativamente minore della lunghezza del tratto. L'uso della stessa scala per le lunghezze e le altezze – scelta legata, ovviamente, all'estensione: un elevato denominatore, dunque – potrebbe, infatti, dare luogo a una riproduzione non corretta dei fenomeni per l'insorgere di fenomeni parassiti, legati cioè a un modo di defluire dell'acqua del tutto diverso e non più simile al reale. In queste condizioni, il ricorso a due scale diverse è la regola: per esempio, le scale 1: 250 per le lunghezze e 1: 20 per le altezze sono state scelte per il modello della Laguna di Venezia costruito nel Centro Sperimentale Modelli Idraulici di Voltabarozzo (Padova). Il modello a scale diverse è detto distorto, con un rapporto di distorsione pari a $250/20 = 12,5$. Scale usuali per i modelli (non distorti) delle opere idrauliche comportano, di norma, riduzioni da 30 a 50 volte circa.

La scala del modello del Vajont, realizzato e sperimentato secondo la regola di Froude, fu 1:200: scala appropriata all'estensione e all'altezza d'acqua realizzata dall'invaso, superiore a 200 m.

7.2. Gli elementi forniti dalla Sade per il modello

L'iniziativa di studiare su modello i fenomeni ondosi associati al temuto crollo del versante sinistro del monte Toc fu presa, come s'è scritto, al principio del 1961 da Carlo Semenza. Le prime notizie intorno a questo proposito sono contenute in un pro-memoria del 2 febbraio, che riferì di una riunione del 31 gennaio nella quale fu trattato di «... ipotetiche condizioni di emergenza per il serbatoio e diga del Vajont...»³⁸. Decisione, quella di sperimentare su un modello, pressoché contestuale ai pareri rassegnati dai Consulenti Penta, Müller e Caloi, ma presa, quasi certamente, per le allarmanti prospettive d'evoluzione del movimento indicate dal figlio Edoardo, che il crollo del 4 novembre del 1960 avevano reso drammaticamente fondate.

Il Centro Modelli Idraulici (CIM) "Ettore Scimemi", istituito nel 1954, aveva sede presso la centrale idroelettrica di Nove di Fadalto. Il Centro era diretto da un Comitato composto dai professori Francesco Marzolo e Augusto Ghetti per l'Università di Padova e dai professori Dino Tonini, Egidio Indri e altri ingegneri per la SADE. Alle riunioni del Comitato partecipavano, talvolta, Carlo Semenza, i professori Mario Mainardis e Roberto Marin; e, dopo la morte di Semenza, l'ingegnere Alberico Biadene.

Le prime indicazioni e una possibile impostazione delle ricerche sono contenuti in una lettera³⁹ che Egidio Indri inviò a Ghetti il 19 luglio 1961. Eccola:

Carissimo Augusto,

A seguito di quanto ha detto l'ing. Semenza agli ingg. Benedini e Rolla a Nove e con riferimento ad alcuni chiarimenti che l'ing. Benedini stesso mi ha chiesto, credo opportuno di riepilogarti, sentito anche l'ing. Semenza, i punti fondamentali delle prove preliminari sul Modello del serbatoio del Vajont.

³⁸ Dal verbale d'una riunione tenuta presso l'Istituto di Idraulica di Padova il 31 gennaio 1961.

³⁹ Documento processuale; nel carteggio Ghetti e, in copia, in quello di Datei.

L'entità della frana non è facile da precisare, data anche la difficoltà, o l'impossibilità, di individuare in sito un piano di scorrimento. Comunque si può ragionare in questo modo: siccome è presumibile che la massa franosa abbia a scivolare più o meno compatta ed unita traslandosi fino a fermarsi contro la sponda opposta, il volume che effettivamente darà luogo al fenomeno ondoso potrà al massimo essere uguale al corrispondente volume d'invaso disponibile sul fronte della frana; con tale ipotesi, il volume massimo dovrebbe non superare i 40÷50 milioni di m³. Cioè maggiori volumi non dovrebbero incrementare il movimento ondoso. [l'ultima frase è un'aggiunta autografa di Carlo Semenza].

Nel modello, predisposto un opportuno piano medio di scorrimento, si potrebbero perciò immettere nel serbatoio dei volumi corrispondenti una volta a 20 milioni di m³ e una volta a 40 milioni di m³, eventualmente facendo in un primo tempo franare solo il volume corrispondente alla metà del fronte più lontano dalla diga. [ipotesi di Müller; § 5.5]

Molto più difficile da valutare è il tempo di caduta della frana; io penso che esso potrà essere tutt'al più dell'ordine di qualche minuto; se fossero ad esempio 8 minuti (valore cioè fisicamente possibile) si avrebbe una massima piena "liquida" dell'ordine di 10.000 m³/sec. Potrebbe essere questo un ordine di grandezza per una prima prova.

Non penserei che abbia invece molta importanza, almeno nei riguardi delle prove, stabilire per quale livello nel serbatoio possa "innescarsi" il moto franoso generale. Probabilmente tale quota è attorno alla 650: si potrebbe per ciò fare una serie di prove con il livello rispettivamente a q 680; 700; 720 e riesaminare poi entrambi i problemi (tempo di scorrimento e quota di invaso) in seguito ai risultati di queste prove di orientamento.

Penso comunque che sia necessario fare al più presto queste prove iniziali e di orientamento; fra l'altro, si avvicina il mese di agosto, con il suo inevitabile rallentamento del lavoro. Io sono comunque sempre a tua disposizione, perché tutto il mese di agosto rimango in ufficio, mentre l'ultima settimana di luglio io rimarrei in casa a Venezia (sempre quindi reperibile) dovendo cambiare alloggio.

Molti cari saluti.

(ing. E. Indri)

La lettera pone, per la prima volta e finalmente, i problemi da considerare, limitandosi ad accennare, in forma generica, ad alcuni elementi: il volume che sarebbe potuto penetrare nel lago (il valore di 50 milioni di m^3 fu circa quello che in realtà invase il lago); la compattezza della massa e il tempo di caduta. Accanto ad alcune notevoli indeterminazioni: quale potesse essere l'intera massa mobilitata; l'ipotesi intorno al tempo di caduta e ai modi del crollo in due tempi; la forma della superficie (un piano medio) di scorrimento; la quota del lago che avrebbe potuto avviare il movimento.

Questi gli elementi per partire. In solitudine, si potrebbe dire: ch  del contributo dei Geologi e dei Geomeccanici in questa fase non v'  traccia.

Il modello fu costruito nell'estate del 1961. La scala delle lunghezze fu 1:200; pertanto, i tempi misurati e le velocit  osservate, per essere riferiti alla scala reale, secondo la regola di Froude, dovevano moltiplicarsi per $200^{1/2} \Rightarrow 14,14$.

Il modello riprodusse l'intero lago, dalla diga (compresa, ovviamente) fino alla coda del serbatoio: un'estensione di circa 5 km; completato, naturalmente, dal versante sinistro della valle. Il modello copriva un'area lunga circa 29 m e larga circa 12 m.

Gli elementi geometrici del serbatoio e della valle furono forniti dagli ingegneri della SADE, con un'impostazione indeterminata, nella rappresentazione del piano di scorrimento del versante sinistro. In un prima serie di prove, infatti, la superficie sulla quale l'ammasso instabile avrebbe dovuto scorrere fu costruita con due diverse disposizioni di un piano inclinato. Solo in un secondo tempo, per un'elementare riflessione critica nata con le prime sperimentazioni, l'ammasso che avrebbe dovuto simulare la temuta frana verso il lago fu collocato su una pi  affidabile superficie di scorrimento, secondo le indicazioni nate da una ragionevole riflessione di Edoardo Semenza.

Il punto merita qualche osservazione intorno al ruolo degli attori e al loro rapporto: i Geologi, e un po' isolato Edoardo Semenza, e un (solo) Geomeccanico da una parte; gli Idraulici da un'altra; e la Dirigenza SADE da un'altra ancora; o, meglio, tra le parti. La SADE, infatti, secondo un disegno che con difficolt  pu  ritenersi non voluto, provvide, s , alla programmazione e all'assegnazione dei compiti e dell'attivit  sperimentale, ma evitando, con la separazione dei rispettivi uffici, che Idraulici e Geologi trattassero congiuntamente del comune problema; come, del resto, prova il fatto che gli

Idraulici non ebbero in lettura le relazioni dei Consulenti geologi. Non venne, dunque, sollecitato il confronto critico tra le due diverse impostazioni culturali, meccanica l'una, naturalistica l'altra: confronto, invece, fondamentale per intendere gli aspetti, essenzialmente meccanici, del temuto fenomeno. Grazie al quale, gli Idraulici avrebbero potuto definire l'ambito della sperimentazione sui modi del crollo e sui tempi di caduta, utilizzando però nelle prove modi e tempi che riprodussero, sì, le ipotesi ottimistiche di Müller (crollo in due tempi) e di Penta, ma anche quella pessimistica appena accennata dal Penta stesso e, invece, temuta, con ben maggiore fondamento, da Edoardo.

In questa diversa e razionale prospettiva, la definizione degli elementi del modello – modi del crollo e tempi – con una serrata interpretazione degli eventi del marzo '59 a Pontesei sul Maè e del novembre '60 sul Vajont, avrebbe potuto orientare in altra direzione le ricerche, a partire da un primo modello: applicato, appunto, alla frana di Fagarè a Pontesei. E frenare probabilmente, specie dopo la morte di Carlo Semenza, con un inquadramento finalmente corretto del problema in termini di tempi e d'onde, la corsa agli invasi.

Il tema, invece, fu: frana d'una massa di materiale suddivisa in due parti e tempi di caduta dell'ordine dei minuti; dunque, l'ipotesi ottimistica.

Un modello schematico della frana di Pontesei – gli aspetti idraulici, ovviamente – sarebbe stato poi costruito e provato, ma nel 1968, nel Laboratorio dell'Istituto a Padova per fissare il legame funzionale tra i valori massimi dell'onda provocata dalla frana e i tempi della sua caduta. Modello poi ripetuto, ancora con lo stesso schema, per il crollo del Toc: approfondimenti, questi, dettati dall'impegno, processuale, di Ghetti per provare la corretta taratura del modello del Vajont.

Nel 1961 la riproduzione nel modello del naturale processo di frana (più propriamente, crollo) nel più fedele dei modi, fu prospettata secondo due diversi orientamenti, come s'è anticipato.

Il primo fu quello d'immaginare, in base all'impostazione proposta dalla SADE, che nel modello potesse ottenersi la similitudine del movimento franoso, mobilitato, come nello stato naturale, dalla gravità per il crollo della ripida pendice che limitava verso il lago l'ammasso instabile. La superficie di scorrimento fu rappresentata con un piano inclinato, sperimentato con due pendenze: l'una a 30°, l'altra a 42°. Il materiale ghiaioso era trattenuto da

flessibili reti metalliche (la ripida parete affacciata al lago), la cui repentina rimozione mobilitava l'ammasso, simulando il crollo.

Scrive Ghetti⁴⁰: «Il secondo indirizzo, seguito successivamente, si basa sul concetto di non poter ottenere nel modello un'attendibile similitudine del fenomeno della frana, e di rimettersi quindi alle previsioni che in tal senso può fornire lo studio geologico, cercando di far avvenire l'evento nel modello corrispondente alle previsioni stesse

In base a questi studi, la frana dovrebbe prevedibilmente muoversi lungo superfici concoidi di scorrimento, i cui profili indicati dai geologi sono in parte riportati nella Tav. VII.».

Il movimento all'ammasso ghiaioso, trattenuto prima del crollo da reti di canapa, era impartito da settori rigidi immersi, verso monte, nella ghiaia e trainati da un trattore. La velocità del quale era regolata per simulare i diversi tempi di caduta; il traino era arrestato appena il piede dell'ammasso raggiungeva l'opposta sponda. Il dispositivo di traino fu realizzato in modo da consentire che potessero essere riprodotte, secondo le indicazioni della SADE, le due ipotizzate frane: l'una a monte, l'altra a valle rispetto al torrente Massalezza che scorreva a metà circa del versante instabile. La durata dell'operazione di traino rappresentava il tempo di caduta: tempo regolabile dunque, entro certi limiti, a volontà, mentre con la prima disposizione tempi diversi avrebbero potuto ottenersi solo inclinando variamente il piano, ma con scarsa se non nulla affidabilità dei risultati, essenzialmente per la diversa forma della superficie di scorrimento e, naturalmente, per la diversa massa mobilitata.

7.3. Sui tempi di caduta della frana adottati nel modello

Le indicazioni fornite dalla SADE sui tempi di caduta della massa o, meglio, delle masse, in ragione del costante riferimento a due crolli separati, furono assai generiche: dell'ordine dei minuti, fino a 8 primi, secondo la nota scritta da Egidio Indri a Ghetti; ma giudicando, ancora i dirigenti della SADE in occasione delle riunioni a Nove, che i tempi di 1 o 2 minuti sperimentati fossero eccessivamente contratti e che non corrispondessero alla possibile evoluzione del fenomeno.

⁴⁰ Dalla Relazione sul modello, riportata in Appendice.

La nozione di tempo di caduta merita un approfondimento per il ruolo che questa grandezza ebbe, oltre che per gli aspetti fisici e meccanici, nella vicenda giudiziaria: per il suo rapporto con i risultati del modello e con la posizione del responsabile delle ricerche.

Dunque: quale sia l'istante dal quale si conta l'avvio del fenomeno e quale quello della sua conclusione. Se è affatto agevole individuare nell'arresto della massa contro l'opposto versante l'istante che conclude il processo di moto, più incerta è la definizione dell'istante iniziale. Si deve distinguere, infatti, nell'intervallo di tempo che precede l'arresto, la fase temporale di preparazione dell'evento, entro la quale si creano le condizioni per la successiva manifestazione, da quella del repentino distacco: per passare cioè – ed è la condizione iniziale – da uno stato di relativa quiete al primo istante d'elevatissima accelerazione. La durata del processo di moto, o tempo di caduta, si conta da quest'istante fino a quello dell'arresto: è solo ai valori della velocità e delle sue variazioni, infatti, che sono da attribuire le manifestazioni ondose, prodotte dall'urto dell'imponente massa in moto su una massa liquida di pari imponenza.

La stessa definizione fu adottata per misurare i tempi nelle prove su modello; con molta cura, naturalmente, essendo stati ridotti, nella scala dei tempi, di circa 14 volte.

La determinazione dei tempi da impiegare nelle sperimentazioni rappresentò un aspetto della ricerca che ebbe, come i fatti successivi avrebbero posto in evidenza, un ruolo fondamentale. Fondamentale, certo, ma a quel tempo indeterminato: da un lato, per l'assenza di notizie bibliografiche intorno a eventi osservati che fossero comparabili con quello temuto; e, da un altro, per le attenuate e abbastanza generiche indicazioni fornite dalla SA-DE, nonostante l'allarmante ipotesi prospettata nel 1960 (prima della frana del 4 novembre) da Edoardo Semenza, poi richiamata, ma con poco credito, da Penta nel 1961.

In queste condizioni, per circoscrivere un possibile e ragionevole ordine di grandezza del tempo di caduta, parve opportuno rivolgere l'attenzione alla frana prodottasi il 22 marzo 1959 nel lago di Pontesei, ancorché essa fosse di proporzioni ben minori di quelle temute per il Vajont. Un volume di circa 3 milioni di m^3 rovinò nel lago posto, in quel momento, alla quota di 787 m s.m.m. e con una capacità di circa 6,1 milioni di m^3 , essendo 800 la quota di sfioro dello scaricatore di superficie e del ciglio della diga (traci-

mabile). La frana produsse un'onda d'altezza stimata tra 20 e 30 m.

Intorno al tempo di caduta le opinioni non furono ben definite: meno di 3 minuti, secondo l'ing. Mario Pancini (direttore dei lavori al Vajont, dolorosamente suicida nel novembre del 1968, poco prima dell'avvio del processo); tra 2 e 3 minuti, la notizia de *IL GAZZETTINO* del 23 marzo 1959. Dopo la seconda prova sul modello, nel settembre del 1961, fu ancora confermato dalla Dirigenza SADE, ritenuta eccessiva la velocità di caduta utilizzata nella prova stessa, il tempo di circa 3 primi per la frana di Pontesei. Dal verbale della XIV riunione del Comitato direttivo del CIM del 30 marzo 1962: furono proposte esperienze con crolli più lenti, fino a 5 minuti, ritenuto che tempi di 1 o 2 minuti fossero troppo brevi in relazione all'andamento che questi fenomeni normalmente hanno; fu anzi affermato, in quell'occasione, che la frana di Pontesei fosse avvenuta in un tempo di circa 10 minuti. Tempi generici, dunque, e certamente diversi da quelli che segnarono i fatti ondosi prodotti dal crollo a Pontesei; e trapiantati in una prospettiva d'evoluzione dei movimenti del versante del Toc affatto ottimistica

I tempi sperimentati nel modello furono variamente composti, ma con la notevole determinazione di Ghetti di adottare tempi significativamente ben più ridotti di quelli suggeriti dalla Dirigenza SADE. Nella prova più severa fu adottato, con il lago a quota 700, il tempo di caduta, riferito al reale, di 60 secondi per il crollo della parte del Toc posta in sinistra del rio Massalezza, con una manifestazione ondosa d'altezza compresa tra 27 e 31 m: il risultato che portò Ghetti ad affermare essere la quota 700 d'assoluta sicurezza, in rapporto – il punto è essenziale – alle valutazioni che dei tempi di caduta aveva invece fatto la Dirigenza SADE.

7.4. Sintesi dei risultati delle prove

Le esperienze cominciarono alla fine dell'agosto del 1961 e terminarono nel febbraio del 1962.

Il crollo nelle varie prove fu simulato, distinguendo le frane a monte e a valle del rio Massalezza: sia separatamente, sia in successione. In quest'ultimo caso, l'intervallo di tempo tra i crolli fu definito in modo da dare luogo al massimo effetto di sovrapposizione dei fatti ondosi: la frana di monte per prima e, successivamente, quella di valle per i più gravosi effetti

che il suo precipitare determinava a ridosso della diga. Le prove furono 23.

Furono fatte solo cinque prove della prima serie, con la quota al massimo invaso (722, 50 m s.m.m.) e con scorrimento della massa rocciosa su piani a varia inclinazione (30° e 42°). I risultati furono giudicati di scarso interesse, com'era naturale che accadesse, per l'impossibilità di potere riprodurre in similitudine, in aggiunta al processo idraulico, anche il movimento franoso, ancorché governato, come nella realtà, dalla gravità. Queste prove, infatti, furono abbandonate nel giro di circa 20 giorni.

Le prove della seconda serie, in numero di 17, si svolsero con varie modalità nella successione dei crolli e nello stato dell'invaso: otto esperimenti con il lago a quota 722,50 m; sei con la quota 700 m e tre con il serbatoio a quota 670 m. I tempi di caduta adottati, riferiti alla condizione reale, furono compresi tra 225 e 60 secondi.

La prova assunta come riferimento da Augusto Ghetti per indicare la quota di sicurezza fu la 19^a, con il lago a quota 700 m s.m.m.; 180 secondi il tempo di caduta della frana a monte del rio Massalezza, 60 secondi quello della successiva; separati, i due crolli, da un intervallo di tempo di 640 secondi. Le altezze massime dell'onda, misurate sul modello e tradotte nel reale, furono 27 m in prossimità della diga e circa 31 m alla distanza di 430 m: con 21.000 m³ scaricati a valle e una portata massima di 2.280 m³/s. Con la finale affermazione, certamente poco sorvegliata, che «... la quota di 700 m s.m. può considerarsi di assoluta sicurezza nei riguardi anche del più catastrofico prevedibile evento di frana».

Il modello uscì, con le sue conclusioni, dal Laboratorio senza la prova che esso fosse tarato: sperimentato, cioè, per riprodurre un evento noto e misurato col quale stimare l'affidabilità dei risultati, rendendo così corretto il suo impiego per descrivere eventi diversi, e più severi, da quello di riferimento. Né maggiore aiuto poté trarsi, come s'è scritto, dalla letteratura tecnica e scientifica: ricca, sì, di frane e crolli, ma solo sul fronte geologico. L'unica opportunità sarebbe potuta essere quella offerta dalla frana occorsa nel serbatoio di Pontesei nel marzo del 1959: un modello che avrebbe forse dato modo di mettere a punto i diversi aspetti che un modello di nuova concezione pone, essenzialmente sui materiali da usare e sui tempi da sperimentare.

La taratura del modello sarebbe stata provata, invece e tragicamente, dall'evento del 9 ottobre del 1963: infatti, se sperimentato col tempo di ca-

duta reale (registrato dal sismografo di Pieve di Cadore), la risposta del modello sarebbe stata quella osservata nella realtà.

La relazione conclusiva dal titolo ESAME SU MODELLO IDRAULICO DEGLI EFFETTI DI UNA EVENTUALE FRANA NEL LAGO-SERBATOIO DEL VAJONT (Soc. Adriatica di Elettricità - Venezia) è integralmente riportata nell'Appendice B.

Può essere notato che il documento reca l'intestazione ISTITUTO DI IDRAULICA E COSTRUZIONI IDRAULICHE DELL'UNIVERSITÀ DI PADOVA. CENTRO MODELLI IDRAULICI " ETTORE SCIMEMI "; e la firma di Augusto Ghetti come Direttore delle ricerche. La Relazione fu licenziata a Padova il 3 luglio 1962.

Augusto Ghetti fu chiamato dalla Giustizia a rispondere, penalmente, del suo operato per i legittimi dubbi che nacquero intorno al modello, al risultato della ricerca e alla definizione della quota di sicurezza. E, insieme a lui, sullo sfondo, l'immagine della Scuola idraulica di Padova e della sua Università.

8. LA GIUSTIZIA

8.1. L'imputazione

Il procedimento istruttorio avviato dal Tribunale di Belluno si concluse con due fondamentali atti: il 22 novembre 1967, fu depositata la requisitoria del Pubblico Ministero; il 20 febbraio 1968, fu depositata la sentenza del Giudice Istruttore del procedimento penale contro Alberico Biadene, Mario Pancini, Pietro Frosini, Francesco Sensidoni, Curzio Batini, Francesco Penta, Luigi Greco, Almo Violin, Dino Tonini, Roberto Marin, Augusto Ghetti.

Penta e Greco erano nel frattempo deceduti; Mario Pancini si tolse la vita il 28 novembre del 1968.

Il processo di primo grado iniziò a L'Aquila il 29 novembre 1968.

L'imputazione rivolta ad Augusto Ghetti fu semplicissima. Essa si fondò, essenzialmente, sul valore del tempo di caduta calcolato dal Collegio dei Periti nominato dal Tribunale di Belluno; e, di conseguenza, sui difformi risultati ottenuti sul modello rispetto a quelli che l'evento mise, in modo catastrofico, in evidenza.

La documentazione topografica, con i rilievi fatti, aveva fornito al Colle-

gio la posizione del versante prima e dopo il crollo. Schematizzata la superficie di separazione della frana sulla base dei rilievi esterni, l'aspetto geometrico che la massa presentava nelle due posizioni suggerì, abbastanza correttamente, che il movimento della frana potesse essere descritto come quello di un corpo rigido. Lo studio si limitò, pertanto, a considerare il moto del baricentro della massa stessa tra la posizione iniziale e quella finale: ipotesi affatto lecita, derivata dall'aver assunto il suo comportamento di corpo rigido, cioè senza deformazioni significative dell'assetto, come lo schema della figura 4 mostra. La posizione consentì ai Periti d'affermare⁴¹: *«È anche abbastanza agevole ricavare un valore orientativo del tempo che deve avere impiegato la frana a raggiungere la zona più depressa. Per semplicità, nell'effettuare questo calcolo ammetteremo che lo scorrimento sia avvenuto lungo la corda AB anziché lungo l'arco, cioè con accelerazione costante»*.

Il tempo calcolato fu 55 secondi. Il commento dei Periti: *«Siamo dunque di fronte ad una durata del fenomeno assai bassa, inferiore a tutte quelle che abbiamo trovato indicate: anche accettandola con qualche riserva, certo anch'essa vale a testimoniare dell'assoluta eccezionalità dell'evento»*.

Il fondamento dell'imputazione principale nacque da una semplice osservazione: l'altezza dell'onda prodotta dal crollo fu di circa 250 m, superiore di circa 9 volte – un ordine di grandezza – all'onda di 27-31 m ottenuta nel modello con un tempo di caduta, 60 secondi, sostanzialmente uguale al tempo di 55 secondi accreditato dai Periti; il lago a quota 700,42 m s.m.m.

Un modello errato, dunque, la lecita presunzione: concluso con la colposa affermazione relativa alla quota di 700 m s.m.m., definita quota d'assoluta sicurezza.

8.2. Sul reale tempo di caduta

Il primo passo da compiere, in quella ristretta cerchia che la vicenda aveva quasi spontaneamente costituito – Augusto Ghetti, Giuseppe Zuccalà, amico e suo difensore, ed io – fu stabilito che dovesse essere una severa analisi dell'elaborato e del modello: a partire dall'impostazione concettuale per giungere ai passi operativi sui modi, sui tempi e sui materiali impiegati.

⁴¹ Dalla prima Perizia del Collegio dei Periti nominati dalla Procura di Belluno, 1967.

Ma con una rilettura critica del comportamento di Ghetti che, se da un lato, Giuseppe Zuccalà proponeva, naturalmente, in termini di dottrina giuridica, da un altro, in ragione del mio rapporto con Ghetti, si caricava dei tormentosi dubbi che il confronto tra la previsione del modello e l'accaduto aveva drammaticamente posto. E con la consapevolezza della condizione umana di Ghetti, attore in una vicenda dolorosa al limite del sopportabile, quale che potesse essere il giudizio che la Giustizia avrebbe dato: un permanente, esistenziale stato di sofferenza.

Il primo passo, dunque: rivedere, sì, il nostro lavoro, ma a partire dal risultato che il Collegio dei Periti aveva ottenuto intorno al tempo di caduta.

Rivivo quel momento, per le molte volte ch'è ritornato a me negli anni, con la freschezza d'allora. Ghetti, in possesso di quella parte della Perizia che tratta del tempo di caduta (i 55 secondi contro i 60), si ferma, passando per recarsi in aula, nel mio studio; e ne parla con ammirevole controllo. Ma la tensione s'avverte quando dice d'aver il dubbio che i Periti abbiano immaginato la traiettoria rettilinea del baricentro della massa – il più breve dei percorsi possibili tra la posizione iniziale e la finale – come la più opportuna per contrarre il tempo di caduta. Difficile, pertanto, in quel momento, ipotizzare che il crollo possa essere avvenuto in un tempo più breve dei 55 secondi calcolati. La riflessione successiva porta, inevitabilmente e drammaticamente, a temere che il modello possa essere non tarato: uno strumento, cioè, che aveva dato risposte errate. Il tormento di Ghetti – non ne parla, ma ne avverto l'intensità, ne avremmo riparlato molti anni dopo – non è dovere pagare alla Giustizia il suo debito: è la tragedia che s'è consumata nella Valle.

Lessi rapidamente il documento, prendendo nota degli schematici disegni che l'accompagnavano. Osservai come, dando per ovvio che la traiettoria rettilinea fosse la più breve, non potesse escludersi che una diversa e più lunga traiettoria avrebbe però potuto essere percorsa in tempi anche apprezzabilmente più brevi, facendo conto su una diversa accelerazione della massa in moto.

Dopo: Ghetti a lezione; e io a cimentarmi con quel problema. Lo stimolo e, forse, lo stato di necessità mi indussero a trattarlo subito, quel problema, con mezzi che potrei definire, rispetto ai moderni oggi disponibili, artigianali: una grande tensione verso il risultato, i numeri, con un ingegnoso procedimento per determinare la posizione dei baricentri e definire il percorso

per il loro collegamento con un arco di cerchio, come la figura 4 schematicamente illustra.

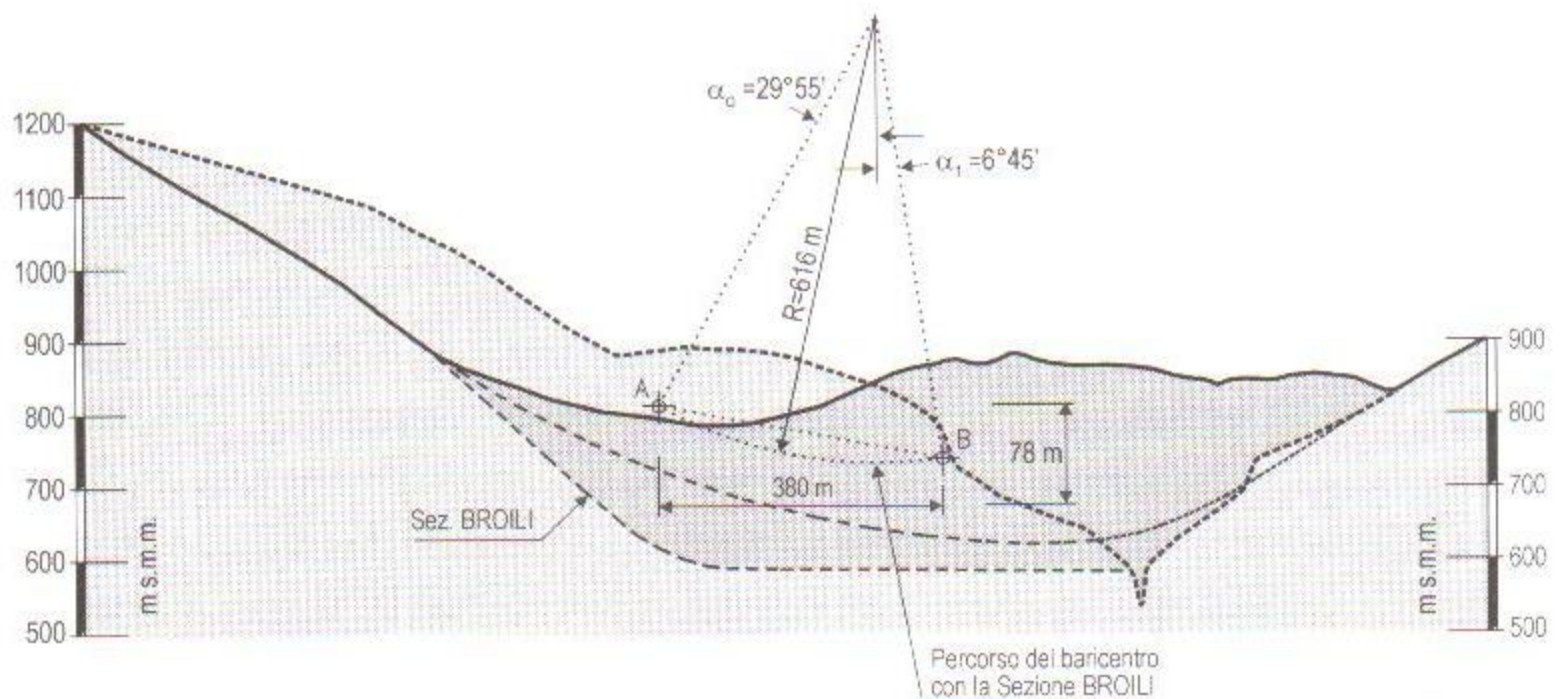


Fig. 4: sezione tipo del versante ricavata dai successivi rilievi; sono indicati i percorsi del baricentro: rettilineo secondo i primi Periti e secondo un arco di cerchio.

Poi, inevitabilmente, la Matematica. La trattazione, alla quale diede luogo il diverso (rispetto a quello dei Periti) schema meccanico del moto, portò il calcolo del tempo di caduta a una scorbutica, in quel momento almeno, espressione integrale: un dispettoso semaforo rosso, fantasiosamente aggirato, in modo affatto affidabile, con un ulteriore artificio matematico. Il risultato: un tempo di caduta di circa 29 secondi e una velocità massima della massa di circa 25 m/s, di poco inferiore, in altri termini, a circa 100 km/ora. Il risultato Ghetti lo accetta con apparente distacco: lo stesso controllo col quale m'aveva informato intorno a quello ottenuto dai Periti. Rimaneva da dimostrare che, sperimentando con quel tempo, il modello avrebbe dato un risultato comparabile con quello reale. Ma rimaneva, sullo sfondo, la tragedia, pur senza colpa: come il breve, teso e intimo processo che avevamo vissuto in quelle poche ore.

La ricerca sarebbe stata poi sviluppata con maggiore cura e commenti e data alle stampe⁴²; solo con qualche riserva intorno alla forma della superfi-

⁴² Datei,C.: *Su alcune questioni di carattere dinamico relative ad un eccezionale scoscendimento di un ammasso roccioso*; Atti dell'Accademia Patavina di SS.LL.AA., Vol. LXXXI (1968-69).

cie di scorrimento, annotando come quelle «...usate nelle precedenti determinazioni non sono del tutto sicure, specialmente nella parte inferiore ricoperta dal materiale ch'è provenuto dal monte Toc: ci si potrebbe attendere, pertanto, qualche modifica nei risultati...».

Successive prospezioni geomorfologiche, dovute a Luciano Broili⁴³ (allievo di Leopold Müller), e più tranquille determinazioni, avrebbero poi portato a definire con precisione la forma della superficie di scorrimento, rettificando quelle utilizzate (con riserva) nella prima ricerca. Il nuovo calcolo ridusse il tempo di caduta a 24,6 secondi, confermando il valore della velocità massima in circa 25 m/s.

Ritornando a quel teso incontro con Ghetti – il secondo passo, per valutare in che misura il nuovo risultato potesse correlarsi all'onda prodotta dal crollo – ipotizzai, come ulteriori ricerche avrebbero poi dimostrato, che la dipendenza dell'altezza dell'onda dal tempo di caduta dovesse essere ben più che lineare: cioè che, per un tempo di caduta circa metà di quello sperimentato – un rapporto, dunque, pari a 2 –, l'onda dovesse incrementarsi nella misura d'una potenza del rapporto tra i tempi compresa tra 2 e 3: dunque tra 4 e 8 volte; pertanto, da circa i 30 m del modello per 60 secondi ai 120-240 m per 29 secondi. Il risultato era importante, per quanto schematico fosse stato il calcolo: centinaia di metri l'ordine di grandezza dell'altezza dell'onda. Così, accreditando il valore dell'onda al limite inferiore, la quota di sicurezza sarebbe dovuta essere di 120 m inferiore alla quota 722,50 m del massimo invaso: dunque circa 600 m, con un invaso utile di pochi milioni di m³. E la diga, un inutile monumento.

L'ulteriore calcolo, con gli elementi geometrici ricavati da Broili, portò il tempo di caduta a 24,6 secondi; e il nuovo rapporto di $60:24,6 = 2,44$, indicò, mediamente, un incremento di circa 9 volte: un'onda, dunque, d'una altezza dell'ordine di 260-270 m, quella stessa che travolse la valle del Vajont.

La prima, confortante, conclusione apparve con chiarezza: il modello, sperimentato con quei tempi di caduta, avrebbe dato risultati che avrebbero riprodotto, negli ordini di grandezza, quelli osservati la notte del 9 ottobre 1963.

⁴³ Broili, L.: *New Knowledge on the geomorphology of the Vajont Slide Slip Surface*, Rock Mechanics and Eng. Geology; Vol. 5/1, 1967.

La sofferenza immutata, ma liberati, in quel febbrile incontro di poche ore, dal senso di colpa che la conclusione dei Periti aveva scolpito con quei drammatici 55 secondi. Senza curarsi, in quel momento almeno, del giudizio che l'imminente esame processuale avrebbe dato del modello.

Quel frettoloso e semplice, direi domestico, modello, chiuso da una soluzione matematica e dall'extrapolazione numerica che l'intuizione aveva disegnato, per quanto concettualmente solido, avrebbe avuto bisogno d'un conforto sperimentale per dare credito alla stima proposta per il tempo di caduta e per definire il fondamento di quel legame, inventato lì per lì, tra il tempo stesso e la massima altezza della formazione ondosa.

Il conforto fu offerto dal sismogramma registrato alla stazione di Pieve di Cadore (figura 5) e dalla lettura fatta da Caloi⁴⁴: *«Le registrazioni iniziano visibilmente verso le 22^h 38^m; con soste, e sempre più vistose riprese, continuano fino alle 22^h 41^m 30^s (secondo più secondo meno). Queste preliminari vibrazioni non possono essere attribuite a fenomeni parziali esterni (con rotolamento di materiale sciolto, su materiale incoerente, di notevole spessore, elasticamente pressoché inerte): solo materiale fortemente compresso può provocare vibrazioni trasmissibili a Pieve di Cadore e, in misura più ridotta, a Tolmezzo (52,5 km) e a Somplago (55 km): tali vibrazioni, pertanto, vanno attribuite a frane interne... Ritengo che le perturbazioni, registrate con tanto anticipo a Pieve di Cadore, siano da attribuire – come si è detto – a scorrimenti interni; cioè a zone in movimento lungo la superficie limite rocciosa del Toc. Le fratture avvenute sul fondo avevano probabilmente eliminato gli ultimi ostacoli al convogliamento del materiale sovrastante verso la sottostante zona... Solo a scorrimenti interni, di materiali compressi, costretti a moti lungo una superficie solida, può essere associata l'energia sufficiente alla propagazione dei moti elastici. Non vedo altra via per spiegare la sequenza dei micromovimenti che si sono susseguiti a Pieve di Cadore a partire dalle 22^h 38^m... Ora quindi si può ritenere che il cedimento che si era verificato sulla sinistra del Vajont, a quota inferiore a quella del bacino, aveva finito per trascinare a sé la massa sovrastante di materiale sconnesso. Ad un certo punto l'ammasso intero, facendo perno sulla base inferiore, ha ruotato verso l'altra sponda sulla quale si è infine*

⁴⁴ Caloi, P.: *L'evento del Vajont nei suoi aspetti geodinamici*, Annali di Geofisica, Vol. 19/1, 1966.

letteralmente rovesciato. Ciò è avvenuto alle $22^h 41^m 30^s$, come è provato...

L'improvvisa serie di ampie, rapide vibrazioni che comincia alle $22^h 41^m 45^s$ va probabilmente attribuita alla valanga d'acqua in uscita, violentemente e improvvisamente proiettata contro la parete rocciosa verso Casso. Queste oscillazioni durano una decina di secondi; dopo qualche secondo di movimenti attenuati, verso le $22^h 42^m 02^s$, inizia la serie più e duratura di rapide vibrazioni, serie che è da ritenere corrisponda alla caduta dell'enorme massa nella forra del Vajont, da un'altezza di alcune centinaia di metri. È a questa caduta che va ascritta la seconda "mazzata", nettamente più forte della prima e più ampiamente registrata in tutta Europa».

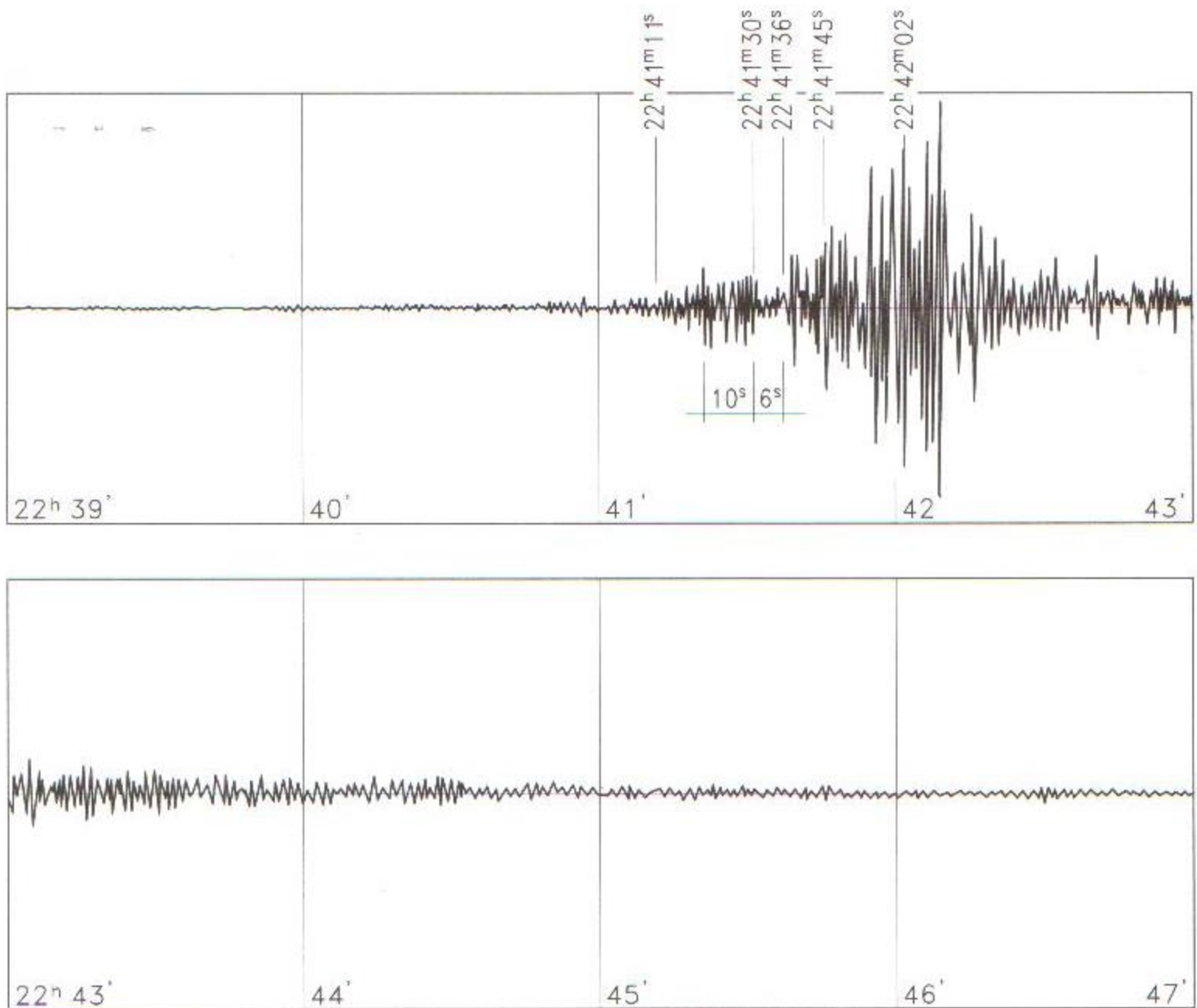


Fig. 5: sismogramma registrato alla stazione sismografica di Pieve di Cadore.

Non è difficile individuare, basandosi sulla precedente analisi e sulla registrazione sismografica, il momento che segna il principio del fenomeno

dinamico vero e proprio, la durata del quale sia intesa nell'accezione assegnata alla misura del tempo di caduta: esso può, infatti, collocarsi nel momento definito dall'istante $22^{\text{h}} 41^{\text{m}} 11^{\text{s}}$, a partire dal quale scompaiono nel sismogramma le interruzioni e le pause tipiche della fase preparatoria cominciata verso le $22^{\text{h}} 38^{\text{m}}$; le vibrazioni vanno sempre più accentuandosi fino all'istante $22^{\text{h}} 41^{\text{m}} 30^{\text{s}}$. In questo momento, 19 secondi dopo lo stacco, avviene l'urto contro il versante destro dell'ammasso solido in movimento: la prima mazzata. Un tempo di caduta, quello registrato, che può dunque valutarsi tra 20 e 25 secondi, e che conferma, con il tragico conforto sperimentale, quello calcolato.

8.3. Sull'altezza dell'onda

L'assunzione che il rapporto tra il tempo di 60 secondi sperimentato sul modello e quello reale dedotto dal sismogramma, di fatto eguale a quello calcolato, potesse, se elevato a una potenza compresa tra 2 e 3, essere usato come moltiplicatore della massima onda osservata sul modello stesso (mediamente, 29 m circa) per dedurre un valore dell'altezza che fosse comparabile con quella reale, non poteva, ovviamente, possedere il rigore d'un teorema: assunzione del tutto ragionevole, ma da doversi dimostrare. E la strada da percorrere non poteva che essere quella sperimentale.

Ghetti diede incarico all'Istituto di Idraulica di Padova di progettare il nuovo modello e di procedere alla sperimentazione. Un affidamento, come tanti altri eseguiti per conto di Società o dello Stato, con Ghetti col ruolo del Committente: ricerca, dunque, annotata tra le normali attività sperimentali dell'Istituto e, naturalmente, finanziata dal Committente stesso.

Il progetto del modello da allestire per definire il legame funzionale tra altezza massima e tempo di caduta s'avvalse di una semplificazione notevole. L'osservazione che il fronte della frana affacciato al torrente (figura 3), delimitato dalla fessura perimetrale ad M comparsa il 4 novembre del 1960, possedesse un'estensione di circa 2000 m suggerì l'ipotesi che, per la velocità che aveva animato l'ammasso e il suo moto da corpo quasi rigido, il fenomeno idraulico ondoso della massa liquida prodotto dall'urto potesse assumersi uguale in ogni sezione trasversale: un moto, dunque, sostanzialmente bidimensionale, con l'ovvia eccezione delle due zone terminali. La stessa ipotesi, del resto, aveva guidato, con successo, l'impostazione data al

calcolo del tempo di caduta e della velocità dell'ammasso. La costruzione del modello fu pertanto limitata alla riproduzione solo d'una larga "fetta" dell'ammasso e della valle: uno schema, appunto, bidimensionale. La scala adottata fu 1:500, secondo la regola di Froude: scala corretta per la notevole altezza idrica da sperimentare; e senza timori per l'eventuale insorgere di fenomeni parassiti, altrimenti temibili con riduzioni spinte e limitate altezze idriche. La larghezza del fronte di frana fu assunta di 0,60 m, corrispondenti nella scala del modello a 300 m reali.

La sperimentazione si svolse ipotizzando che il crollo avvenisse con diversi tempi di caduta; e assumendo, naturalmente, in tutte le prove il serbatoio invasato alla quota 700 m s.m.m. L'analisi della formazione dell'onda prodotta con diverse velocità d'impatto, definita dalla massima altezza raggiunta, fu svolta distinguendo quale parte dell'altezza stessa fosse da attribuire al solo dislocamento volumetrico – un puro incremento statico d'altezza – e quale fosse, invece, la parte da assegnare al carattere dinamico del fenomeno: essendo via via dominante l'aspetto dinamico su quello statico a misura che si riduceva il tempo di caduta, in ragione della maggiore velocità e del maggiore volume di materiale penetrato nel serbatoio. Il contributo dinamico nella formazione dell'onda funzione, dunque, del tempo di caduta; quello statico, funzione, essenzialmente, del volume penetrato nel serbatoio, ancorché dipendente, seppure in ridotta misura, dalla velocità (quindi, ancora dal tempo).

Il risultato della ricerca sperimentale, riferito al reale, è riassunto e rappresentato dalla figura 6 che riporta, in funzione del tempo di caduta, quale sia stato il contributo dinamico nella formazione dell'onda: circa 21 m per un tempo di caduta di 60 secondi (quelli indicati nella ricerca sul modello del 1962); circa 190 m per il tempo di 20 secondi: la parte tratteggiata della figura.

Gli incrementi di livello statico legati a diversi valori del dislocamento sono indicati, a partire dalla quota 700 m s.m.m., sulla curva che rappresenta i volumi d'invaso in funzione della quota della superficie del lago. I volumi considerati furono tre: 20, 40 e 58,25 milioni di m³, ricordando che i primi due furono indicati dalla SADE (la lettera di Indri a Ghetti del 19 luglio 1961) all'avvio della sperimentazione.

La conclusione: il modello sarebbe stato in grado, se sperimentato col tempo di caduta di 20 o 25 secondi dell'evento reale, di fornire risultati cor-

retti, certamente dell'ordine di grandezza di quelli osservati. Dunque, il modello era tarato per dare risposte giuste se correttamente interrogato.

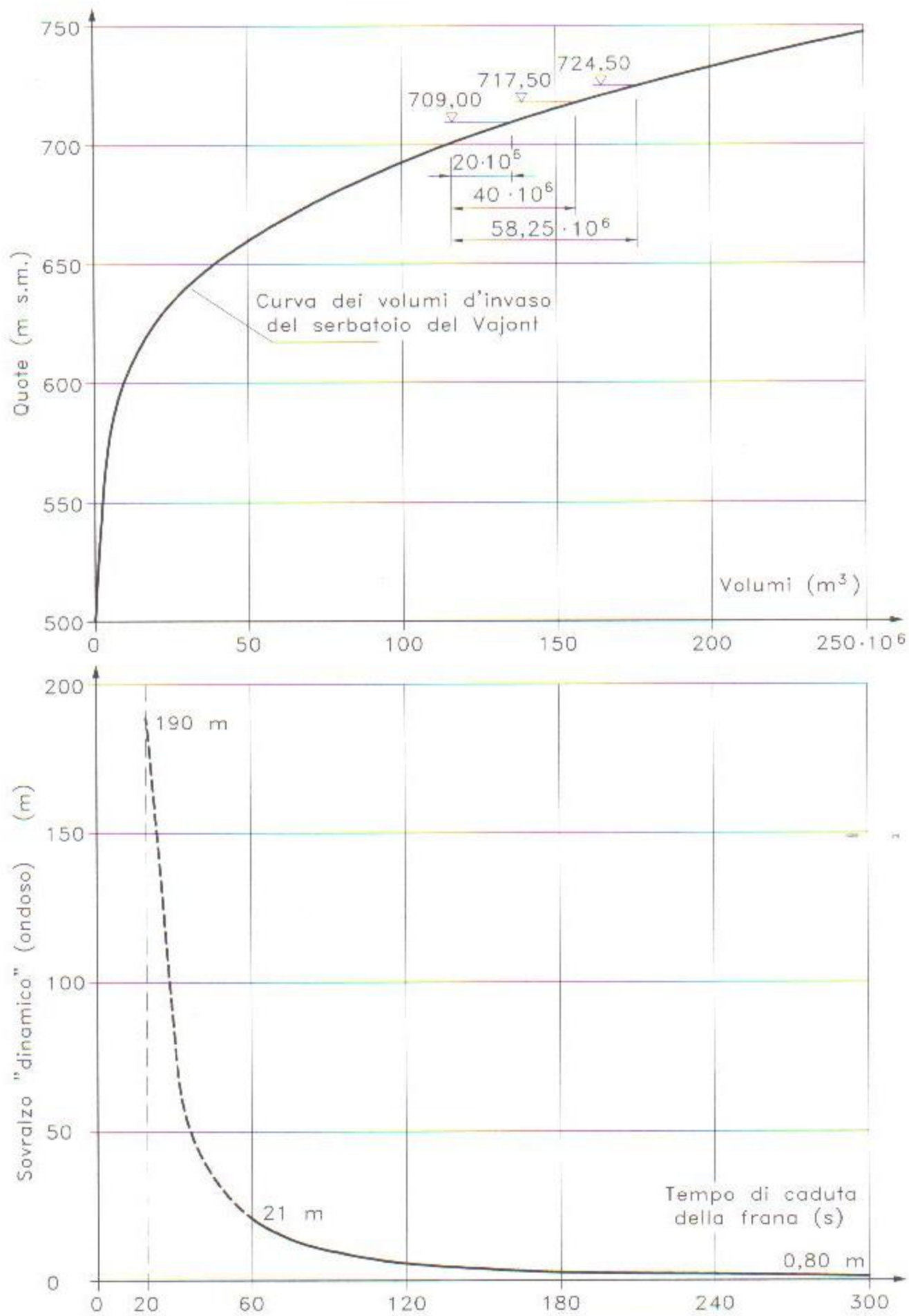


Fig. 6: curva dei volumi d'invaso del serbatoio in funzione della quota; contributo dinamico nella formazione dell'onda in funzione del tempo di caduta: risultati sperimentali.

8.4. Sull'impiego della ghiaia per simulare la frana

L'appunto, forse il più grave, mosso al modello nelle prime fasi del procedimento giudiziario fu quello di ritenere che la ghiaia usata per modellare l'azione dell'ammasso in movimento non avesse potuto, in ragione della sua permeabilità, riprodurre correttamente i fenomeni ondosi ai quali il crollo aveva dato origine: la proposizione, non priva di suggestione, enunciata per dare conto della disparità dei risultati rilevata tra il comportamento simulato e quello reale.

L'impiego di materiale ghiaioso, assai permeabile, poteva, infatti, fare sorgere il dubbio che i caratteri del moto (ondoso) dell'acqua nel serbatoio potessero essere stati alterati rispetto a quelli che un'eguale massa di materiale, ma impermeabile, avrebbe potuto determinare: nella lecita ipotesi che il volume d'acqua assorbito per filtrazione dalla massa porosa avesse potuto rappresentare una frazione non trascurabile di quello mobilitato, sottratto, naturalmente, a quello penetrato nel lago. Un'ipotesi che l'inattesa sproporzione, a parità di tempo di caduta, tra il risultato del modello e la catastrofica realtà rendeva affatto ammissibile.

Il dubbio, nella prospettiva dell'Inquirente, poteva, dunque, avere fondamento; e doveva, anzi e giustamente, essere proposto: ché la dissonanza dei risultati impegnava ad approfondire.

Molti anni dopo, quella stessa riflessione – ma un malizioso sospetto più che il dubbio – avrebbe trovato credito nel monologo di Paolini sul Vajont: l'irrisione come arma per tratteggiare un'immagine del modellista e del suo lavoro di ricerca, sospesa tra ignoranza e complicità.

Il problema di quale materiale dovesse essere composto l'ammasso si pose, ovviamente, come primo tema nella fase di progettazione del modello. Un materiale sciolto incoerente – un ghiaietto arrotondato, di circa 10 mm di diametro – fu ritenuto il più adatto: essenzialmente, per la sua adattabilità a scorrere sulla prevista superficie di distacco e per la relativa facilità di imprimere alla massa, con un traino artificiale, le velocità necessarie per riprodurre i presunti tempi di caduta del versante.

La questione dell'elevata permeabilità del materiale ghiaioso e della sua influenza sul fenomeno ondoso, per il rapporto che con esso il processo di filtrazione poteva avere, non fu però ritenuto rilevante: l'elevata velocità dalla massa e del fronte ne avrebbe assicurato la compattezza, quasi dimen-

ticandosi, la massa, in quegli istanti e per la brevissima durata del fenomeno, se così possa dirsi, la sua natura di materiale permeabile.

Il fondamento di questa proposizione, come accade per il tempo di caduta, ha una semplice dimostrazione. Essa s'ottiene ponendo a confronto, (figura 7) il comportamento del serbatoio nelle due possibili condizioni del fronte d'urto: ipotizzato impermeabile in un caso e permeabile nell'altro. Lo schema geometrico usato per rappresentare il fenomeno è molto semplice: un serbatoio d'estensione indefinita è limitato su un lato, in un caso, da una parete impermeabile che simula il versante in movimento; nell'altro caso, da una parete che limita un ammasso permeabile. La dimostrazione, fondata su elementari considerazioni intorno al bilancio dei volumi mobilitati nelle due situazioni, è riportata con qualche estensione nella nota.⁴⁵

⁴⁵ Si consideri il semplice schema della figura 7a: un lago di profondità h è limitato, su un lato (verticale), da un ammasso impermeabile in moto con velocità costante v . Il movimento determina il dislocamento di un certo volume d'acqua nel lago. Il quale dà luogo, alzandosi il livello, alla formazione di un'onda, schematicamente rappresentata a fronte verticale, che si propaga, sovrapposta alla superficie (definita, per questo, onda positiva), con celerità c in modo concorde col moto del fronte. Un elementare bilancio di volumi: un certo volume d'acqua è mobilitato nell'unità di tempo (un secondo, per esempio) dal movimento del fronte; esso

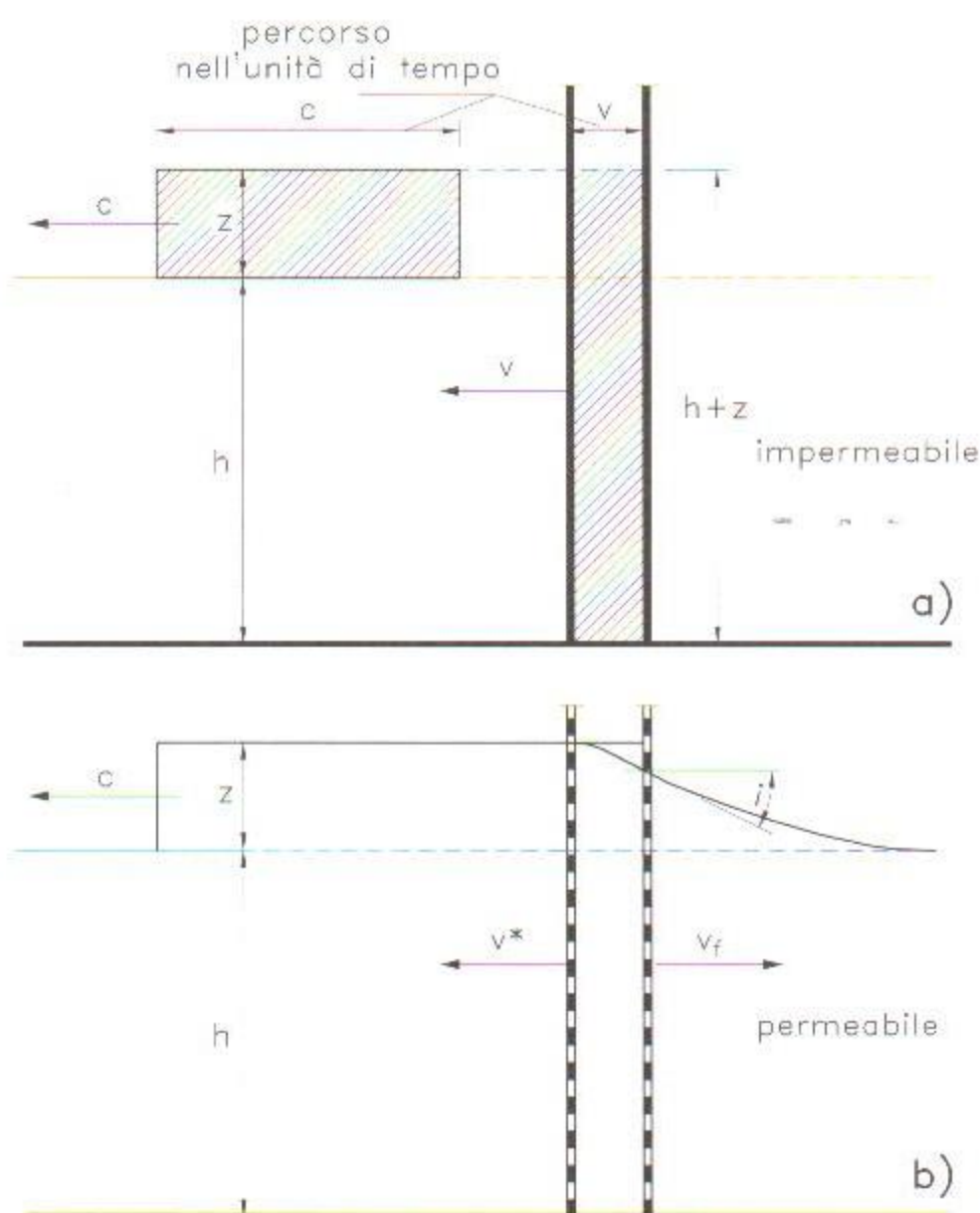


Fig. 7: schema dell'onda prodotta dal moto di un ammasso impermeabile e di un ammasso permeabile.

s'accumula e si muove nel serbatoio. L'eguaglianza dei volumi porta alla scrittura d'una semplice equazione

$$cz = v (h + z),$$

come facilmente può dedursi dalla figura 7a), eguagliando le aree dei due rettangoli tratteggiati.

Si supponga ora che l'ammasso, limitato ancora da un fronte verticale, sia permeabile (figura 7b) e sia v^* , in luogo di v , la sua velocità d'avanzamento; e v_f la velocità con la quale l'acqua si muove, in regime di filtrazione e ovviamente in senso contrario, all'interno dell'ammasso stesso. Anche in questa diversa condizione, il bilancio volumetrico è di facile scrittura, ponendo in luogo di v la differenza $v^* - v_f$:

$$cz = (v^* - v_f) (h + z).$$

Affinché, nella medesima condizione geometrica, possa prodursi nel serbatoio un fatto ondoso uguale a quello determinato dall'ammasso impermeabile – dunque, la stessa celerità di propagazione c dell'onda e lo stesso sovrizzo z – è di tutta evidenza che il fronte permeabile debba spostarsi con una velocità v^* maggiore di v . Perché ciò si verifichi, deve essere: $v = v^* - v_f$, come può facilmente dedursi dal confronto tra le due equazioni. La relazione, risolta rispetto a v^* , dà la velocità con la quale il fronte permeabile debba muoversi per ottenere gli stessi effetti:

$$v^* = v + v_f = v (1 + v_f/v).$$

Per giudicare in che rapporto stiano le due velocità v e v_f , è interessante considerare il loro rapporto. La velocità di filtrazione v_f dipende, secondo la nota e consolidata legge di Darcy (1856), dalla pendenza i della superficie libera che si crea all'interno dell'ammasso poroso: dunque dal sovrizzo z e dal percorso di filtrazione, come la figura 7b) rappresenta in modo schematico; e, naturalmente, dalle proprietà meccaniche e geometriche del materiale che forma l'ammasso, in aggiunta a quelle del fluido che lo percorre. La legge di Darcy assegna alla velocità d'infiltrazione l'espressione $v_f = ki$, nella quale il coefficiente k (detto di conduttività idraulica) sintetizza le proprietà ricordate poc'anzi. Il coefficiente k potrebbe essere definito come la misura della velocità di filtrazione in un certo mezzo poroso quando la cadente o pendenza i fosse pari a 1 m/m. Il suo valore è di qualche ordine di grandezza minore della velocità con la quale l'acqua si muove liberamente, in un canale, per esempio: in ragione, essenzialmente, della ben maggiore resistenza che la struttura del mezzo poroso, al suo interno, offre al moto. Solo una sintetica indicazione numerica: la normale velocità dell'acqua, in un canale appunto, è dell'ordine di 1 m/s; il coefficiente di un mezzo costituito da un ammasso ghiaioso è circa 0,01 m/s: velocità 100 volte minore (due ordini di grandezza, dunque), quando s'assume per la pendenza l'inconsueto valore di $i=1$.

Se si assumono, appunto con qualche esagerazione, per la cadente i valori di 1 o 2 m/m e $k = 0,01$ m/s, valore proprio del ghiaietto arrotondato, s'ottengono per le velocità, rispettivamente, i valori $v_f = 0,01$ m/s e $v_f = 0,02$ m/s. La velocità v^* del fronte del modello, nella sua scala ovviamente, può dedursi dal rapporto tra il suo percorso, 2 m circa, e il

La conclusione che può trarsi dalle valutazioni offerte dalla nota corrisponde all'attesa: i fatti ondosi osservati nel modello, legati all'urto della massa in moto, sono pressoché indipendenti dal materiale usato (ghiaietto da 8 a 10 mm di diametro, nella specie). La differenza del comportamento tra le due condizioni esaminate è, infatti, assolutamente trascurabile: in altre parole, l'elevata velocità (la condizione essenziale) che anima nel modello la massa ghiaiosa assicura un comportamento sostanzialmente compatto al fronte d'urto, "senza memoria" del suo stato di materiale permeabile.

Un'ulteriore ricerca, d'impostazione più solida nella formulazione e più complessa nel linguaggio matematico, confermò il risultato della più semplice trattazione⁴⁶.

9. LA QUOTA 700

9.1. Il problema

Giuseppe Zuccalà, pur rassicurato dai risultati che le ricerche intorno al tempo di caduta e alla taratura del modello avevano offerto alla difesa di Ghetti, pose il problema su come potesse (o dovesse) leggersi, nel rapporto con la nozione di sicurezza, la quota 700 m indicata da Ghetti stesso, appunto, come quota d'assoluta sicurezza; in altre parole, se il suo avvenuto superamento – la SADE, in possesso di quel limite, chiese invece, e ottenne, di potere invasare fino a 715 – dovesse intendersi come sezione del nesso di causalità tra quanto sarebbe potuto accadere al di sotto e al di sopra della quota 700.

La dimostrazione dell'esistenza di una condizione siffatta – quale sarebbe

tempo di caduta di circa 4,2 secondi (60 secondi nel reale): dunque, $v = 0,50$ m/s circa. Il rapporto v_f/v assume, pertanto, rispettivamente i valori 0,02 e 0,04; e, di conseguenza, la velocità v^* le due determinazioni seguenti:

$$v^* = v(1 + v_f/v) = 1,02 \quad \text{e} \quad v^* = 1,04v;$$

con la conclusione che, per conseguire gli stessi effetti ondosi, le velocità del fronte permeabile risultano superiori a quelle del corrispondente fronte compatto in misura affatto trascurabile. L'impiego del materiale ghiaioso fu, dunque, corretto.

⁴⁶ Datei, C.: *Considerazioni sull'impiego di materiali incoerenti e permeabili per lo studio su modello di fenomeni di moto vario nei serbatoi*; XII Convegno di Idraulica e Costruzioni Idrauliche; Bari, ottobre 1970.

potuto essere il giudizio sul modello e i suoi risultati – poneva il problema del comportamento della SADE su un piano diverso da quello strettamente legato alla dimostrata affidabilità del modello stesso: un'acuta e sottile riflessione, certamente, dettata però, non tanto dalla necessità d'irrobustire la difesa quanto, ed essenzialmente, da quella di capire: il dovere di capire per collocare criticamente, nella ricerca della verità, quel comportamento.

La risposta al quesito che Giuseppe Zuccalà aveva posto sarebbe stata relativamente semplice, se affidata ai soli numeri: i classici procedimenti geotecnici dell'equilibrio globale applicati all'ammasso, assunto in vari stati di saturazione, avrebbero certamente mostrato una condizione d'instabilità; ma, altrettanto certamente, una diversa distribuzione dei valori delle proprietà meccaniche delle terre avrebbe potuto dare, seppure con difficoltà, un giudizio diverso dello stato d'equilibrio: essenzialmente per impossibilità di descrivere in modo compiuto la struttura e le proprietà d'una massa detritica di circa 250 milioni di m³.

Una ricerca inutile? No: solo fuori tempo, ché una ricerca di questa natura si sarebbe dovuta fare prima: per i sospetti del 1959 di Edoardo Semenza; per la frana di Fagarè del marzo 1959 nel serbatoio di Pontesei; per quella del 4 novembre 1960 poco a monte della diga del Vajont. Una ricerca rivolta non tanto a cogliere, coi numeri e coi parametri propri della Geotecnica, lo stato reale del versante, quanto a circoscrivere, con quei numeri appunto, un possibile intorno di comportamenti incerti o instabili del versante: un solido avviso, almeno, per approfondire con altri mezzi le ricerche.

La risposta al tema proposto da Giuseppe Zuccalà non avrebbe potuto essere, in queste condizioni, fondata che su osservazioni sperimentali: una riletture di quanto era stato osservato e misurato intorno al movimento dei capisaldi installati e distribuiti nel corpo della frana dopo il 4 novembre 1960. Il tema era, dunque, ben definito. Ma con ben poche tracce sulle quali lavorare nell'elaborato dei Periti intorno al rapporto tra invasi e spostamenti dei capisaldi. Forse perché la quota 700 era stata raggiunta nel novembre del 1962, costruita la galleria di *by-pass*, al termine d'una lentissima operazione d'invaso senza che si fossero manifestati segni d'instabilità che potessero preoccupare. O meglio: annotando solo una lenta ripresa nella parte tarda dell'invaso, resa però più vistosa dopo lo svaso che seguì la raggiunta quota 700.

L'osservazione che potesse trattarsi di un pigro comportamento della

montagna sembrava potesse offrire qualche fondamento alle ipotesi ottimistiche formulate dai Consulenti geologi negli anni precedenti: con la conclusione che la quota 700 non avrebbe avuto un significato diverso da quello d'una qualsiasi altra quota.

Strada chiusa, dunque? No: solo il ritorno alle origini, alle misure tante volte, forse stancamente, considerate. Ricominciare. La consueta fonte: le osservazioni che erano state pubblicate in quel citato ed eccellente lavoro di Raimondo Selli e Livio Trevisan del 1964 a conclusione dell'inchiesta promossa, subito dopo la tragedia, dal Ministro dei Lavori Pubblici. Le misure affidate alle figure 3 e 8 estratte da quel lavoro: rispettivamente, la distribuzione dei capisaldi sul versante e l'andamento dei loro movimenti in funzione del tempo. Le figure spiegate davanti a me nel pomeriggio d'una certa domenica del '68, a parlare il loro linguaggio per leggere, con un'ostinata interrogazione, il comportamento della montagna.

Una lunga, lunghissima meditazione sui diagrammi degli spostamenti dei capisaldi: e il loro sonnolento evolversi nel tempo, quasi un rumore di fondo che distoglieva dall'essenza del fenomeno annidato in quelle osservazioni. Poi, finalmente, l'illuminazione: la definizione della correlazione tra andamento degli invasi e degli spostamenti, ma letta in una scala dei tempi e delle quote diversa da quella che il trascorrere del tempo solo cronologico proponeva per la loro evoluzione.

9.2. Gli spostamenti del versante

L'esame degli spostamenti dei capisaldi (misurati come proiezione orizzontale dello spostamento) correlati alla gestione degli invasi offrì la chiave di lettura del comportamento della montagna: una chiave di lettura individuata, credo, per la prima volta solo allora, in seguito a quella lunga meditazione. E oggi, come allora, con l'angosciosa domanda sulla possibile ragione che quella lettura, ordinata in un modo che poco dopo m'apparve quasi ovvio, fosse sfuggita agli osservatori.

Il percorso d'allora: gli spostamenti dei capisaldi 3, 5, 7, 50, 51, 52, 58, 62 e 63 osservati dal novembre del 1960 al 9 ottobre del 1963; i capisaldi 2 e 67 osservati solo dal maggio 1963, durante il 3° invaso.

Le operazioni: dal maggio 1960 all'ottobre 1963 furono fatti tre invasi e tre svasi. La successione fu la seguente:

- 1° invaso a quota 652 fino al 4 novembre 1960 e successivo svasso, dopo la frana, fino alla quota 592 (media) raggiunta il 1° gennaio 1961;
- 2° invaso: da quota 592 a partire dal 10 ottobre 1961 (terminata la galleria di by-pass) fino alla quota 700 raggiunta il 20 novembre 1962; svasso fino a 647 intorno al 10 aprile 1963;
- 3° invaso fino a quota 710 e permanenza a 710 dal luglio per quasi tutto il settembre 1963; svasso rapido: il 9 ottobre – il lago a quota 700, 42 – il crollo.

L'esame del comportamento dei capisaldi propose, con immediatezza, l'esistenza d'una stretta correlazione tra il loro spostamento e la successione delle operazioni d'invaso e svasso del serbatoio: il concorde e sistematico, ma vario, aumento dei movimenti col procedere delle operazioni.

Il versante pareva annotasse, infatti, coi suoi movimenti l'incremento dell'invaso – la presenza dell'acqua che permeava la struttura detritica – un poco pigramente nella prima fase del processo. Alla quale faceva seguito una fase a più rapido incremento, come mostrano gli andamenti più ripidi delle curve (l'inclinazione dà la misura della velocità) che rappresentano, nella figura 8, l'evoluzione nel tempo dei movimenti; e con un ulteriore aumento della velocità degli spostamenti durante la prima fase dello svasso successivo: una reazione un poco ritardata del monte Toc rispetto all'azione esterna, sia nell'invaso che nello svasso.

Il comportamento descritto era comune, pur con diversa velocità, a tutti i capisaldi, ma con un procedere del movimento che la parte del versante posta a Ovest del rio Massalezza, tra il rio stesso e la diga, accusava in forma significativamente più acuta rispetto alla parte posta a Ovest, come mostra la figura 8 per i capisaldi 2, 3, 7 e 58.

Esaurito il movimento che seguiva lo svasso, il versante pareva rallentare il suo movimento: un prolungato, in qualche modo rassicurante, stato di quiete durante la permanenza della quota regolata; stato mantenuto anche nella prima fase del successivo processo d'invaso, ma con una ripresa degli spostamenti solo al di sopra d'una certa quota. Con la tentazione di interpretare questa non allarmante, all'apparenza almeno, correlazione tra invasi e spostamenti come la pigra risposta della montagna alla presenza dell'acqua a quote via via più elevate: alla ricerca, dunque, nella probabile opinione del Gestore, d'un assetto che un esercizio paziente avrebbe finito col consolidare

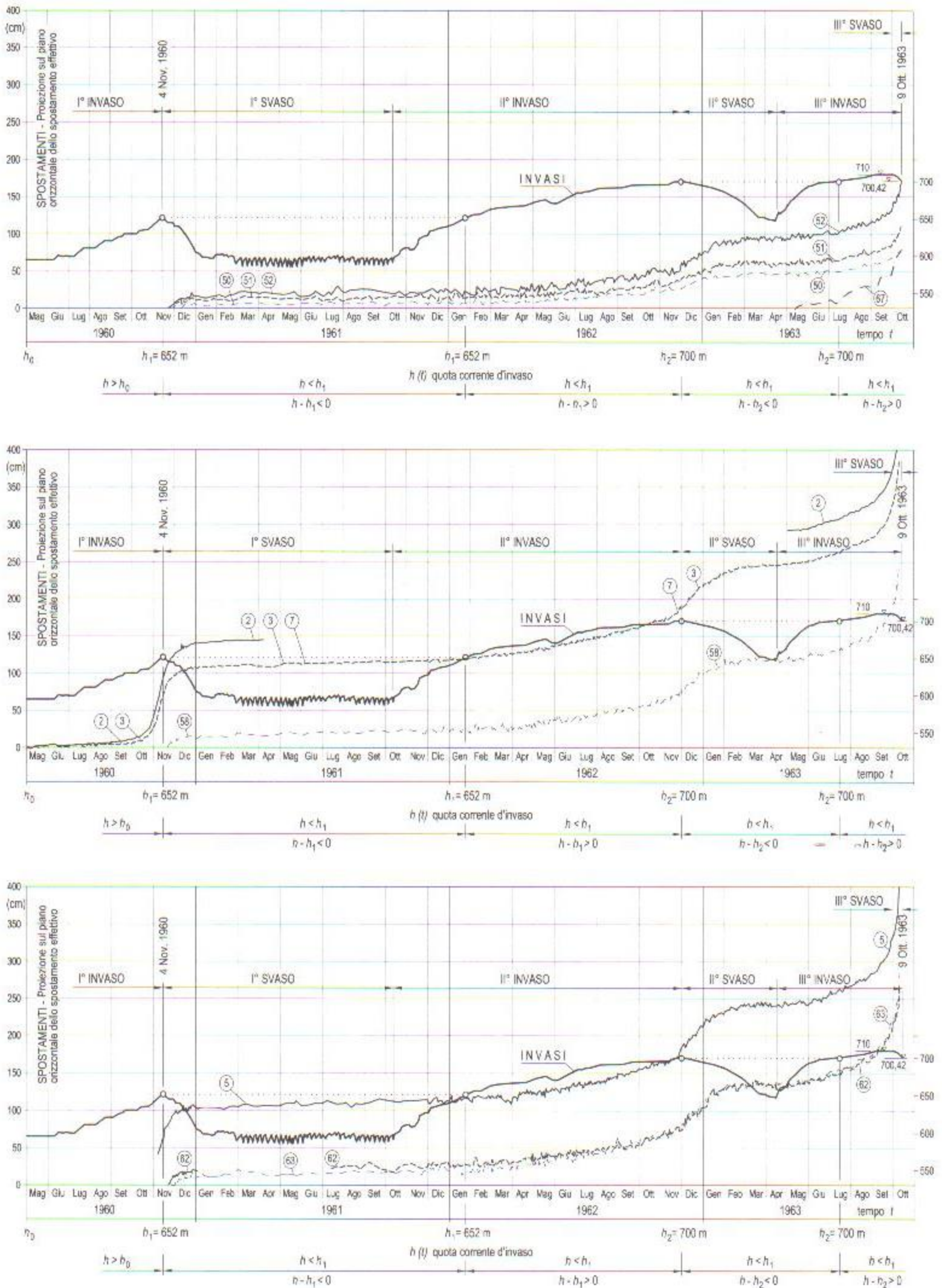


Fig. 8: spostamento dei capisaldi e andamento delle operazioni d'invaso e svaso rappresentati in funzione del tempo (da Selli e Trevisan: *op. cit.*).

senza danni, avvalorando l'impostazione ottimistica.

Un sintetico esame, per cogliere gli aspetti singolari del comportamento del versante sinistro, può agevolmente farsi osservando gli spostamenti dei capisaldi indicati nella figura 8 e la successione delle operazioni d'invaso e svaso.

Il maggio del 1960 segna l'avvio degli invasi sperimentali per le operazioni di collaudo della diga. Il serbatoio è a quota di poco inferiore a $h_0 = 600$ m. Il primo invaso termina, drammaticamente, con la frana di circa 700.000 m^3 avvenuta, in sinistra della valle, il 4 novembre 1960; il lago è a quota $h_1 = 652$ m.

I capisaldi 2 e 3 annotano, già a partire dal settembre, movimenti significativi. I quali s'incrementano nell'ottobre del '60 in modo che, forse, si sarebbe dovuto considerare con attenzione: la conclusione è, infatti, la frana appena ricordata. Lo svaso, inevitabile, si conclude ai primi del gennaio 1961 a un livello del lago di poco inferiore a 600 m. Ma il movimento continua, in forma acuta, fino alla metà di dicembre.

Gli spostamenti, di fatto, non aumentano nel periodo compreso tra il dicembre 1960 e il gennaio 1962; il lago a quota costante (600 m circa) fino all'ottobre 1961. Terminata la costruzione della galleria di by-pass, decisa dalla SADE dopo la frana del 4 novembre, in destra della valle, nell'ottobre del '61 appunto, riprende l'invaso (il secondo) da 600 verso i 700 m. E il monte Toc, quando il lago supera la massima quota precedente $h_1 = 652$ m, riprende a muoversi, in modo dapprima sonnacchioso e poi decisamente aggressivo, specialmente a Ovest del Massalezza; talché, raggiunta alla fine di novembre 1962 la fatale quota $h_2 = 700$ m, inizia lo svaso. Che si conclude a quota 650 m circa verso la fine di marzo del 1963; durante il quale, però, si produce una preoccupante impennata degli spostamenti. Il successivo, consueto stato d'apparente quiete si mantiene circa fino alla fine di giugno 1963; ma ripreso l'invaso (il terzo) nell'Aprile, la quiete relativa termina quando il lago raggiunge e supera la quota $h_2 = 700$ m; e l'acqua permea la parte vergine del versante posta al di sopra di 700 fino ai 710 m, raggiunti a metà di settembre 1963. Secondo l'ormai consolidato modello di comportamento, gli spostamenti del monte Toc s'incrementano in modo preoccupante superata la quota 700 m; lo svaso (rapido) successivo, a partire da 710 m, accentua drammaticamente la loro evoluzione. Ed è il crollo, con il lago a quota 700,42 m: è il 9 ottobre del 1963.

La sintetica analisi precedente si concluse con due osservazioni; e con un diverso modo di descrivere l'evoluzione del fenomeno. La quale, chiaramente definita dagli spostamenti dei capisaldi, m'apparve (dopo) quasi ovvia: l'interpretazione a portata di mano, afferrata dopo poche ore di riflessione, possibile che fosse sfuggita ai Geologi e ai Dirigenti della SADE-ENEL?

La prima osservazione: che la montagna riprendeva a muoversi subito dopo che il livello del lago in corso d'invaso aveva raggiunto e superato il massimo livello dell'invaso precedente, esponendo la parte alta ancora vergine all'azione dell'acqua.

La seconda: che la velocità degli spostamenti dei capisaldi s'incrementava in modo ben più che lineare con gli invasi, e ancor più con gli svassi rapidi: un elementare rapporto tra pressioni interstiziali e azioni resistenti.

L'impostazione che nacque da questa diversa lettura degli spostamenti si presentò in modo assolutamente immediato ed elementare.

Si consideri, per fissare concretamente le idee, il primo svasso: quello deciso dopo il crollo del 4 novembre. La quota massima raggiunta dal lago fu $h_1 = 652$ m. Indicata con il simbolo h la variabile quota istantanea del lago (una funzione del tempo), può facilmente notarsi dalla figura 8 come, per tutto il periodo di tempo durante il quale la quota h rimase al di sotto di $h_1 = 652$ m (dal novembre del '61 fino al gennaio del '62; dunque, per $h - h_1 < 0$), gli spostamenti non abbiano annotato incrementi. I capisaldi, invece, ripresero il movimento, con crescente velocità, quando la quota superò il massimo precedente $h_1 = 652$ m: cioè per $h - h_1 > 0$. La lettura del comportamento del versante, inteso secondo le grandezze testé definite – lo spostamento s di un caposaldo come funzione della differenza $h - h_1$ – consente una rappresentazione di straordinaria efficacia per l'interpretazione del comportamento stesso: la velocità dello spostamento è, infatti, nulla (lo spostamento è costante, cioè il versante è fermo) nel campo dei valori negativi di $h - h_1$; la velocità dello spostamento del caposaldo aumenta nel quadrante positivo per $h - h_1 > 0$, cioè quando è $h > h_1 = 652$ m.

Lo stesso modello d'interpretazione vale, naturalmente, anche per le operazioni che seguono: il secondo invaso è spinto fino alla quota $h_2 = 700$ m (fine novembre 1962) e il successivo svasso (il secondo) porta il lago a circa 650 m; seguiti dalla relativa quiete durante i mesi da marzo a luglio 1963, e dalla (attesa?) ripresa del movimento, ormai inarrestabile, al di sopra della

quota 700 m. Il precipitoso svasso da 710 m a 700,42 m ; e il crollo del versante.

Ordinate le misure degli spostamenti secondo questo nuovo criterio, con riferimento ai due invasi massimi $h_1 = 652$ m e $h_2 = 700$ m, la rappresentazione dell'insieme degli spostamenti s dei capisaldi, dedotti dalla figura 8, in funzione delle differenze $h - h_1$ (secondo invaso) e $h - h_2$ (terzo invaso) offrì una drammatica sintesi dell'evoluzione del movimento del versante Toc, ben diversa da quella prospettata dalla convenzionale registrazione cronologica, come la figura 9 illustra: la montagna ferma finché le differenze di quota $h - h_1$ e $h - h_2$ si mantenevano negative; in movimento, progressivamente accelerato, a misura che cresceva la differenza: lo spostamento visibilmente proporzionale alla velocità con la quale esso avveniva; un'evoluzione irreversibile (iperbolica?) al di sopra della quota 700.

Il significato della quota 700, nel senso posto dal quesito che Giuseppe Zuccalà aveva formulato intorno a quel valore, trovò nelle due rappresentazioni la risposta, con l'inattaccabile solidità delle osservazioni sperimentali. E, con essa, una proiezione di responsabilità di ben più ampia portata di quella che le ricerche in difesa di Ghetti e della Scuola di Padova avessero comportato: per capire, appunto, il senso della quota 700.

La congettura che l'evoluzione del movimento possa essere stata di tipo iperbolico m'è apparsa, oggi, meritevole d'essere considerata: un esercizio, suggerito dall'andamento degli spostamenti dei capisaldi dopo il terzo invaso. L'ipotesi è: che la rapidità con la quale aumentò la velocità del movimento (dunque, l'accelerazione) fosse proporzionale alla velocità stessa. Il risultato – una non difficile trattazione matematica⁴⁷ – dà luogo a una relazione iperbolica degli spostamenti in funzione del tempo. La taratura di questo modello ha consentito di definire i due parametri che caratterizzano la relazione. L'applicazione della quale, estrapolata alla fine di settembre del 1963, offre un risultato numerico che non lascia dubbi: uno spostamento

⁴⁷ La relazione è stata tarata con riferimento agli spostamenti s (metri) del caposaldo 5, contati, in funzione del tempo t (dato in giorni) dal 1° maggio 1963 (figura 8). La relazione è:

$$s = 1,4395 \cdot 10^{-9} [\exp(0,159t) - 1].$$

Per $t = 123$ giorni (fine agosto) è $s = 0,45$ m; per $t = 153$ giorni (fine settembre) è $s = 52,88$ m.

dell'ordine delle decine di metri: dunque, il crollo. Il risultato è, certamente, suggestivo; l'ipotesi merita, tuttavia, una severa verifica.

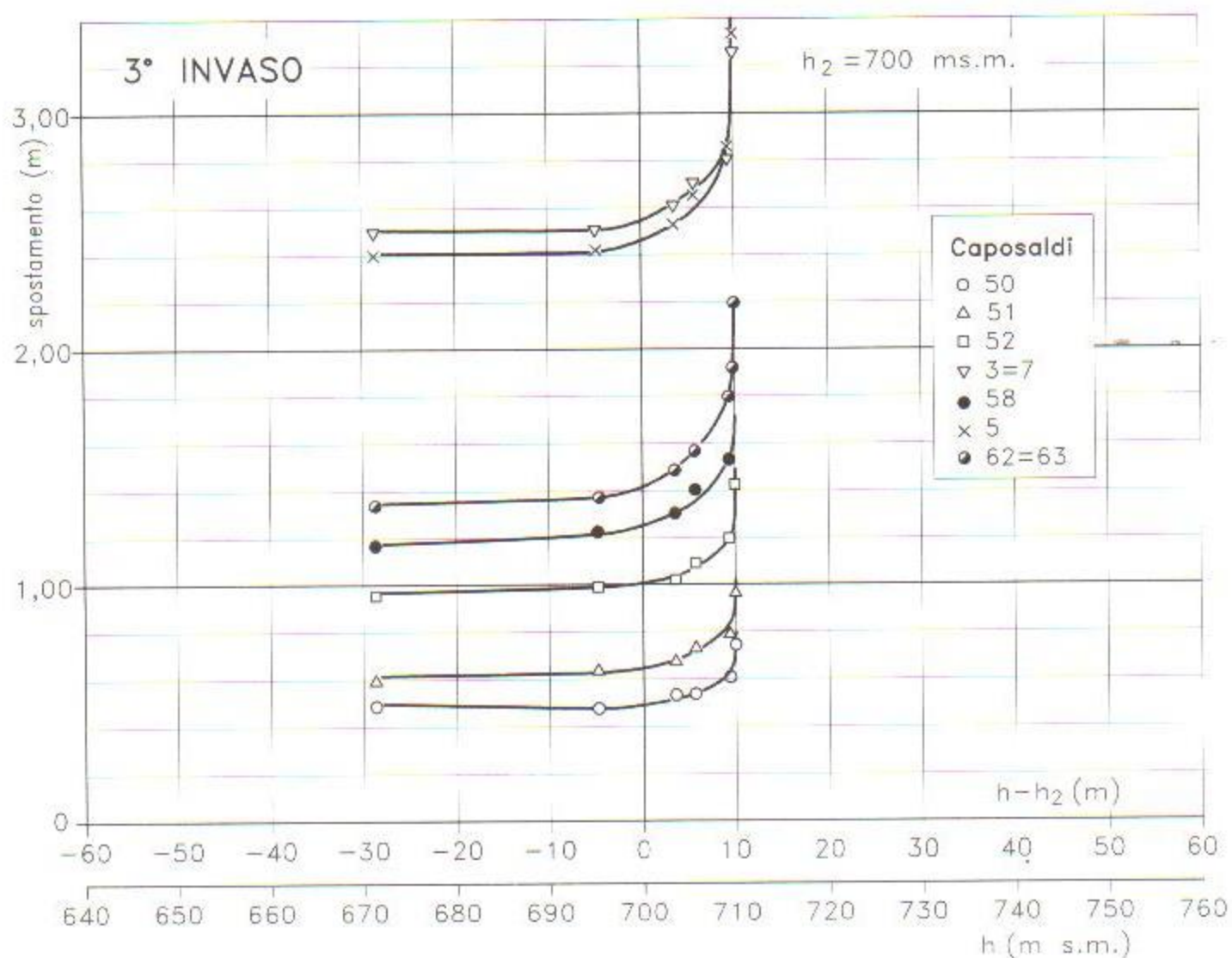
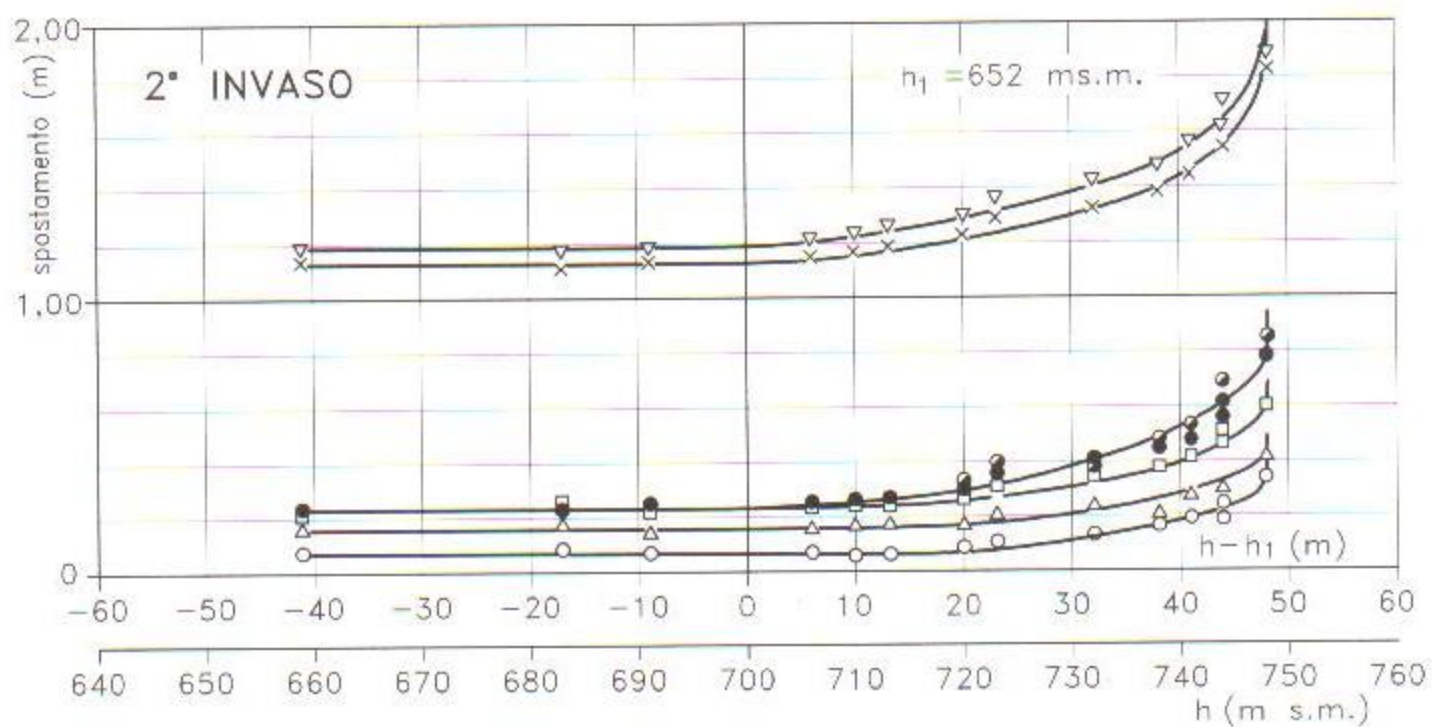


Fig. 9: spostamento dei capisaldi 50, 51, 52, 3 e 7, 58, 5, 62 e 63 durante il 2° e 3° invaso, in funzione, rispettivamente, di $h - 652 \text{ (m)}$ di $h - 700 \text{ (m)}$.

10. ALCUNE CONCLUSIVE RIFLESSIONI

10.1. La mia “infanzia” accademica e le dighe

Quale potesse essere la ragione perché in un ragazzo, sul chiudere degli anni '40, s'accendesse il fuoco intorno a un tema così specifico come le dighe è difficile dire. Un poco di legna per alimentarlo, quel fuoco, venne per certo a me, laureando, dalle lezioni di Francesco Marzolo sulle dighe: disegnavano, semplici e lineari, mai banali, com'era suo costume, un mondo d'arditezze fisico-matematiche, per coglierne il comportamento, che affascinava, ma che la pur severissima (allora) cultura del biennio affidato ai Matematici non pareva offrisse gran che per poterle avvicinare. Poi, dal poderoso trattato del Tölke, consultato in Biblioteca, la conferma delle difficoltà: un mondo di singolari eleganze matematiche, all'apparenza quasi inaccessibili per un laureando. Eppure, le dighe si costruivano: e, tra esse, quelle sottili cupole tese come vele al vento (contrario) a sbarrare le valli dolomitiche: per stregarci, con le imponenti attrezzature dei cantieri, nelle frequenti visite che la Scuola di Marzolo associava alle lezioni.

Uno stimolo potente, dunque, per alimentare la salutare ed essenziale curiosità di sapere. La quale, associata, da un lato, all'asinina presunzione giovanile e, da un altro, all'ancora (mia) povera cultura bibliografica, accompagnò gli anni di quella mia stagione: con qualche risultato, naturalmente, ma – quel che forse più contò – con un grande e fruttuoso vagare tra i lavori dei Matematici e dei Fisici matematici del tempo, i modelli numerici (cosiddetti matematici), allora, forse ai primi vagiti.

Mi si può chiedere quale sia, oggi, il senso di questa nota intorno al mio percorso d'allora. La risposta, che si colloca ormai nel passato, è semplice: per definire in qualche modo, già a partire dall'Accademia, i limiti culturali nel rapporto che la progettazione e la costruzione d'una diga trattenevano, a quei tempi, con le forme della montagna e dei versanti; si direbbe oggi, con l'Ambiente. Perché il clima culturale di quel tempo, che si chiude con l'evento dell'ottobre del 1963, portava gli Ingegneri, culturalmente Meccanici dei materiali, e i Geologi, per buona parte naturalisti, a concentrarsi essenzialmente sulla diga e sul modo di legarla alla roccia.

La diga del Vajont, con quella sottile – quasi una sciabola – sua sezione meridiana, come le altre cupole della Valle: eccezionalmente solida. Per re-

sistere, come l'evento avrebbe mostrato, ad azioni statiche e dinamiche di singolare intensità, certamente dieci volte, e forse più, maggiori di quelle per le quali fu progettata. A dare, dunque, dimostrazione come Meccanici (ingegneri) e Naturalisti (geologi) potessero, anche allora, integrarsi in comunità d'intenti, per dare luogo alla sintesi rappresentata dall'opera e, per la sua continuità strutturale con la roccia dell'imposta, dalle sue sicure risorse di resistenza.

La montagna, il suo bacino, i versanti e le alterne vicende degli invasi e degli svassi l'anello debole della catena: qualche volta, come sul Maè a Pontesei nel 1959 e, quasi una maledizione biblica, sul Vajont nel 1963. Ma pur sempre un vuoto culturale: con l'autorevole parere di Edoardo Semenza⁴⁸: *«Il fatto è che gli studi, che di solito a quei tempi si facevano sulle frane, erano piuttosto scarsi, e non esistevano, almeno in Italia, una scuola e una cultura sufficienti al riguardo. Gli studi preliminari erano sempre concentrati soprattutto sui problemi d'imposta della diga. Se ne doveva indagare la stabilità e la tenuta idraulica, così come si doveva valutare la tenuta idraulica dell'intero bacino. Questi erano i compiti di tipo geologico che andavano svolti».*

10.2. Alcuni segnali

C'è, nel ricordo di quegli anni, un episodio che lasciò un segno. Nel settembre del 1960, Osvaldo Protti sollecitò, per mezzo del figlio Gian Pietro, un mio parere su una certa derivazione d'acqua dal Piave a Longarone per la Società Faesite. Il sopralluogo avvenne in una splendida giornata d'autunno, guidati lungo il greto del fiume, il figlio ed io, da Osvaldo Protti: un solido, autoritario oltre che autorevole, gentiluomo d'altri tempi. Il vagare in alveo, trattato il problema della derivazione, ci portò, chiacchierando, sulla sponda destra del Piave quasi davanti allo sbocco del Vajont: sullo sfondo, il grigio triangolo della diga. Ricordo Osvaldo Protti fermo ed eretto, il braccio teso verso la valle: *«è impossibile – affermò, questa la sostanza del suo discorso – che con quell'opera e quegli invasi tutto rimanga come prima».* Mi colpì la forza dell'espressione: solenne, inappellabile. Convenni – sarei dovuto essere l'esperto – su certe possibili modifiche che l'esercizio del serbatoio

⁴⁸ Semenza, E.: *op. cit.*, p.32.

avrebbe determinato nell'assetto delle falde: ma fummo, suo figlio ed io, non posti in conto, non dirò ruvidamente, ma certo con poco spazio per discuterne⁴⁹.

Poco dopo, il 4 novembre del 1960, il primo segnale; e l'allarmante disegno del distacco sul versante: la traccia esterna ad M della superficie di separazione. Non sufficiente però, pur con il necessario avvio del piano di misure degli spostamenti ordinato da Carlo Semenza, per integrare nel gruppo dei Consulenti mobilitati dalla SADE quel processo che il senso comune di Osvaldo Protti e, poco dopo, l'azione giornalistica di Tina Merlin avevano tracciato e sollecitato.

Qualche notizia sul dissesto del Toc, nei primi mesi del '61, circolava per l'Istituto di Idraulica, anche con qualche numero intorno al volume della temuta frana. Me ne parlò, in una certa occasione, Dino Tonini, forse accennando ai primi passi sulla possibilità di svolgere una ricerca su un modello idraulico, secondo l'avviso espresso da Carlo Semenza a Francesco Marzolo. Dino Tonini, allora Capo dell'Ufficio Studi della SADE, era Incaricato, da anni, dell'insegnamento di Idrografia e Idrologia: disciplina poi assunta a dignità di Cattedra con la sua chiamata, da parte della Facoltà, nel novembre del 1962.

Ricordo d'essere stato colpito dalla possibile misura del fenomeno e dalla preoccupazione che, pur controllata, traspariva dal discorso di Tonini: così da indurmi, cedendo forse più all'emozione che alle scarse notizie, a suggerire che convenisse procurarne il crollo in modo artificiale, ovviamente con le necessarie garanzie per la sicurezza. Non sapevo, allora, d'essere in compagnia, per questa opinione, di Francesco Sensidoni, capo del Servizio Dighe del Ministero dei Lavori Pubblici. Carlo Semenza⁵⁰, infatti, scrivendo angosciato nell'aprile del '61 all'Ing. Ferniani, sosteneva che «*non ci sono provvedimenti pratici adeguati, a meno di pensare di fare cadere buona parte del materiale addirittura, con grandi mine, come proporrebbe l'ingegnere Sensidoni; ma è il caso di arrivare a tanto?*».

Alla domanda di Tonini, certamente fatta tanto per fare, su come io pensassi di provvedere al crollo, suggerii – un'idea nata lì per lì – che un bom-

⁴⁹ Osvaldo Protti e molti suoi famigliari morirono il 9 ottobre 1963, travolti dall'onda che s'abbatté su Longarone.

⁵⁰ Semenza, E.: *op. cit.*, Appendice E, p.227.

bardamento aereo forse sarebbe stata la soluzione più sicura. Mi sono chiesto per anni, e ancor oggi, come la mia proposta potesse essere considerata; oppure se potesse avere avuto qualche fondamento. Il discorso si chiuse con un'alzata di spalle. Eppure, quale che potesse essere il modo, il crollo controllato sarebbe stata la soluzione: certamente un tonfo sul piano dell'immagine, ma solo un tonfo.

Questa prospettiva non fu, per quanto è noto, presa in considerazione, forse per la prematura morte di Carlo Semenza il 30 ottobre del 1961. Con qualche dubbio però, se non certezza, che essa potesse essere considerata e discussa, in ragione, essenzialmente, della rigida (voluta?) suddivisione di compiti adottata dalla SADE nel rapporto con i Consulenti.

10.3. Dubbi e meditazioni sulle cose allora possibili

Una domanda che accompagna da allora le mie meditazioni sulla catastrofe. Meglio: non una domanda, ma la domanda, l'unica: l'incontro degli Idraulici con i Geomeccanici avrebbe potuto produrre, nel confronto che ne sarebbe derivato, l'integrazione culturale necessaria per passare dalle inesplorate e discordanti ipotesi dei Geologi intorno ai possibili movimenti del Toc alle valutazioni delle possibili evoluzioni dei fenomeni: il calcolo del tempo di caduta e delle velocità dell'ammasso, per esempio, per modellare il crollo e i temuti processi ondosi? E, in quest'ipotesi, di quale credito avrebbero potuto godere i risultati, dedotti dal modello teorico del crollo poi utilizzato per dare conto dei fatti accaduti e osservati, nel rapporto con la scala dei fenomeni, affatto singolari nei loro termini meccanici, che essi avrebbero descritto?

Riprendo la già citata osservazione di Edoardo Semenza che, trattando del periodo successivo alla morte del padre, dopo il novembre del '61, scrisse: «...*Qualche notizia l'ho avuta da varie persone che si occuparono dei lavori; ma molto meglio di quanto posso dire io, hanno già scritto altri, ad esempio l'ingegnere Paolo Sembenelli (1992) e i proff. Hendron e Patton (1985), i quali, oltre a puntualizzare gli errori compiuti, e a dire ciò che si sarebbe dovuto fare per gestire meglio una situazione obiettivamente molto difficile, hanno sottolineato la scarsa comunicazione intercorsa in quegli anni tra i vari esperti che si occuparono del fenomeno*».

Già: la scarsa comunicazione!

La Relazione sui risultati del modello idraulico reca la data del 4 luglio 1962, con l'indicazione della fatale quota 700: non l'imposizione o la prescrizione a non superarla, ovviamente, ch  di quel potere Augusto Ghetti non poteva disporre, ma solo l'affermazione che quella quota, ipotizzata la caduta dell'ammasso in 60 secondi, poteva ritenersi, ahim , d'assoluta sicurezza.

La Relazione non fu per  inviata al Servizio Dighe, istituzionalmente deputato a trattare, allora come oggi, dei problemi della sicurezza relativi, non solo alla progettazione e alla costruzione degli sbarramenti, ma anche alle operazioni proprie dell'esercizio dei serbatoi. L'invaso sperimentale a quota 700, richiesto dalla SADE nel maggio e autorizzato l'8 giugno 1962, fu raggiunto nel novembre dello stesso anno; e riportato a quota 647 nell'aprile del 1963. La domanda, cruciale per potere ipotizzare un comportamento della SADE diverso da quello adottato,  : l'invaso sperimentale a quota 715, richiesto il 20 marzo 1963 e ottenuto il 30 marzo – superando, dunque, la quota 700 – sarebbe stato autorizzato se la relazione sul modello fosse stata inviata al Servizio Dighe? La risposta  : certamente no, se la trasmissione del documento avesse seguito il normale e doveroso percorso burocratico.

I problemi che nacquero da questa mancata comunicazione e la ricerca delle responsabilit , nel rapporto che essa ebbe con i protagonisti, la SADE e gli Istituti, riguardano aspetti che furono trattati e approfonditi, a partire dalla sentenza di rinvio a giudizio della Magistratura di Belluno del 1968, nei vari gradi di giudizio che seguirono. Essi non presentano, pertanto, interesse per i temi che quest'esposizione ha inteso considerare, essenzialmente legati ai fenomeni idraulici. L'esame dei quali, fatto oggi, a circa 40 anni dall'accaduto, non vuole rappresentare –   necessario essere assolutamente chiari – n  un esercizio erudito sui fatti d'allora, n  un processo ai protagonisti di quel tempo: ch  a questo provvede, appunto, la Giustizia. Tuttavia, la prospettiva indicata in queste pagine d'una possibile diversa evoluzione degli eventi, legata (allora) al solo rispetto delle regole – la burocratica e dovuta trasmissione della Relazione al Servizio Dighe, come esempio tra i pi  significativi – presenta aspetti che sono da considerare con interesse: essenzialmente per il valore educativo che essi possono avere: un riferimento, quasi ossessivo, che ha segnato il mio percorso accademico nella Scuola degli Ingegneri e che questo saggio, *Vajont. La storia idraulica* offre l'occasione di ripresentare.

La domanda è, dunque, in quest'ipotesi: quali comportamenti avrebbe potuto determinare l'osservanza delle regole, in parte scritte – il *Regolamento per la compilazione dei progetti, la costruzione e l'esercizio delle dighe di ritenuta* del 1959– e in parte legate all'Arte propria dell'Ingegnere.

Pur convenendo come a questa domanda non possano darsi risposte certe, alcune appaiono, tuttavia, a fondamento molto solido. La prima: il superamento della quota 700 non sarebbe stato concesso; la seconda: la quota autorizzata sarebbe stata, quasi certamente, inferiore a 700. Comportamento, questo, dettato, da un lato, dal carattere di valore limite che l'indicazione possedeva, nonostante l'infelice garanzia d'assoluta sicurezza data dalla Relazione sul modello; e, da un altro, dalle consolidate regole di prudenza alle quali, di norma, il Servizio Dighe, formalmente partecipe, s'atteneva (e s'attiene). Dunque, un campo ampio a sufficienza per assumere decisioni e per determinare comportamenti ben diversi da quelli adottati; col sostegno anche della definizione della stretta correlazione che l'osservazione aveva posto in evidenza tra invasi e spostamenti dei capisaldi. Eppure, il passo formale di trasmissione della relazione sul modello al Servizio Dighe non fu compiuto.

Qualche numero: a quota 700, l'invaso era di circa 115 milioni di m³; a quota 660, circa 50 milioni di m³. Certo, in quest'ipotesi d'invaso, un Vajont diverso da quello progettato, ma anche, naturalmente, un storia con un epilogo diverso.

Il comportamento fu, invece e quasi certamente, dettato dall'opinione che la successione degli invasi a quote progressivamente più alte avrebbe determinato il graduale assestamento del versante verso una configurazione stabile: comportamento, questo, che non figura però nelle regole dell'Arte, per l'ovvio primato della nozione di sicurezza che avrebbe richiesto, appunto, per garantire l'incolumità della popolazione, decisioni fondate su soluzioni certe: l'ultima delle quali – l'estrema – sarebbe dovuta essere lo sgombero di Longarone e della Valle.

Eppure, un precedente – un modello da imitare – esisteva che avrebbe dovuto ispirare il comportamento del Gestore.

Riprendo, per proporre il modello, un passo della lettera di Carlo Semenza all'ing. Ferniani nell'aprile del '61 che merita d'essere richiamato⁵¹: «Sic-

⁵¹ Semenza, E.: *op. cit.*, Appendice E, p.226.

come la superficie delle due masse in movimento è dell'ordine di 2 chilometri quadrati, ella vede subito che se realmente dovessimo avere dei movimenti fino alla profondità dell'ordine di 100 metri, la quantità di materiale che potrebbe cadere nel serbatoio sarebbe ingente, tale da creare, data la ristrettezza della valle, probabilmente un'ostruzione intermedia e quindi anche una divisione in due parti dello specchio liquido: quella a monte sarebbe chiusa e il suo livello potrebbe risultare incontrollabile. E su questa parte giace, 50 metri sopra il livello massimo, l'abitato di Erto. Ella può immaginare il mio stato d'animo in questa situazione».

La decisione assunta da Carlo Semenza fu impeccabile: la rapida costruzione di una galleria per collegare i due serbatoi: nel segno della sicurezza, secondo i canoni dell'Arte; e questo fu fatto. Carlo Semenza scompare poco dopo. Se fosse vissuto, la storia avrebbe avuto un altro epilogo: quel 30 ottobre del 1961, il giorno della sua morte, una data cruciale.

APPENDICE

A. La diga del Vajont

A.1. La diga che ha sbarrato la valle del Vajont, per la tragedia che ha preso origine dall'esercizio degli invasi sperimentali, merita forse anch'essa d'essere collocata all'interno della storia esposta nelle pagine precedenti, per la prova alla quale fu sottoposta. La sezione della stretta, vista da valle, prima della costruzione è rappresentata nella fotografia 1.



Foto 1: la stretta del Vajont al Colomber prima della costruzione della diga.

Quali conseguenze sarebbero potuto derivare dal suo crollo, per le sollecitazioni affatto singolari alle quali l'onda prodotta dalla frana del Toc sottopose la struttura della diga, fu problema non trattato nei passi successivi della vicenda. Può però abbastanza facilmente immaginarsi che le proporzioni dell'evento, in rapporto alla mobilitazione dei materiali, alla sua durata e all'estensione del territorio esposto, avrebbero potuto essere ben maggiori.

Se l'evento non assunse questa ancora più vasta e diversa dimensione, la ragione è da ricercarsi nella perfezione del progetto, nell'esecuzione parimente perfetta e nel solido legame della diga alla roccia: un doloroso e tragico pregio.

A.2. Il serbatoio del Vajont è parte del sistema d'impianti che la SADE realizzò per l'integrale utilizzazione idroelettrica delle acque del bacino del Piave. Il sistema raggruppa tre sottoinsiemi interconnessi denominati: impianti Alto Piave e Piave-Ansiei; impianti Piave-Boite-Maè-Vajont; impianti Piave-Santa Croce. Le figure A.1 e A.2 rappresentano rispettivamente la distribuzione planimetrica e il profilo altimetrico del sistema.

Il serbatoio del Vajont sottende un bacino relativamente limitato rispetto alla sua capacità utile, alla quota di regolazione, di poco inferiore a 170 milioni di m^3 : l'estensione di 62 km^2 avrebbe infatti contribuito, mediamente per anno, solo con circa 60 milioni di m^3 alla formazione del volume. Inoltre l'elevato valore della quota di massimo invaso, 722,50 m s.m.m. avrebbe impedito di potere contare sulle acque provenienti dal serbatoio di Pieve di Cadore per il completamento dell'invaso. Al quale si provvede, invece, collegando il serbatoio di Forni di Zoldo (diga di Pontesei) collocato a quota più elevata, e ulteriormente integrato dalle acque provenienti dal Boite (serbatoio di Vodo), con quello del Vajont.

A.3. La diga è inserita, a chiusura della valle, alla distanza di circa 1900 m dallo sbocco in Piave del torrente. Si tratta di una classica struttura a volta a doppia curvatura, con una curvatura però poco accentuata nel piano meridiano.

Le caratteristiche geometriche di maggiore interesse sono: quota del coronamento 725,50 m s.m.m.; massimo invaso a quota 722,50 m; altezza massima 261,60 m; spessori: in chiave 22,11 m a quota 470 m e 2,52 m a 724,50 m. Il volume di conglomerato cementizio fu di 351.000 m^3 . Le figure rappresentano, rispettivamente:

- A.3 la planimetria della diga, con i numerosi collegamenti del serbatoio agli impianti posti a monte, a valle e in destra del Piave;
- A.4 il prospetto della diga vista da valle;
- A.5 le sezioni trasversali;

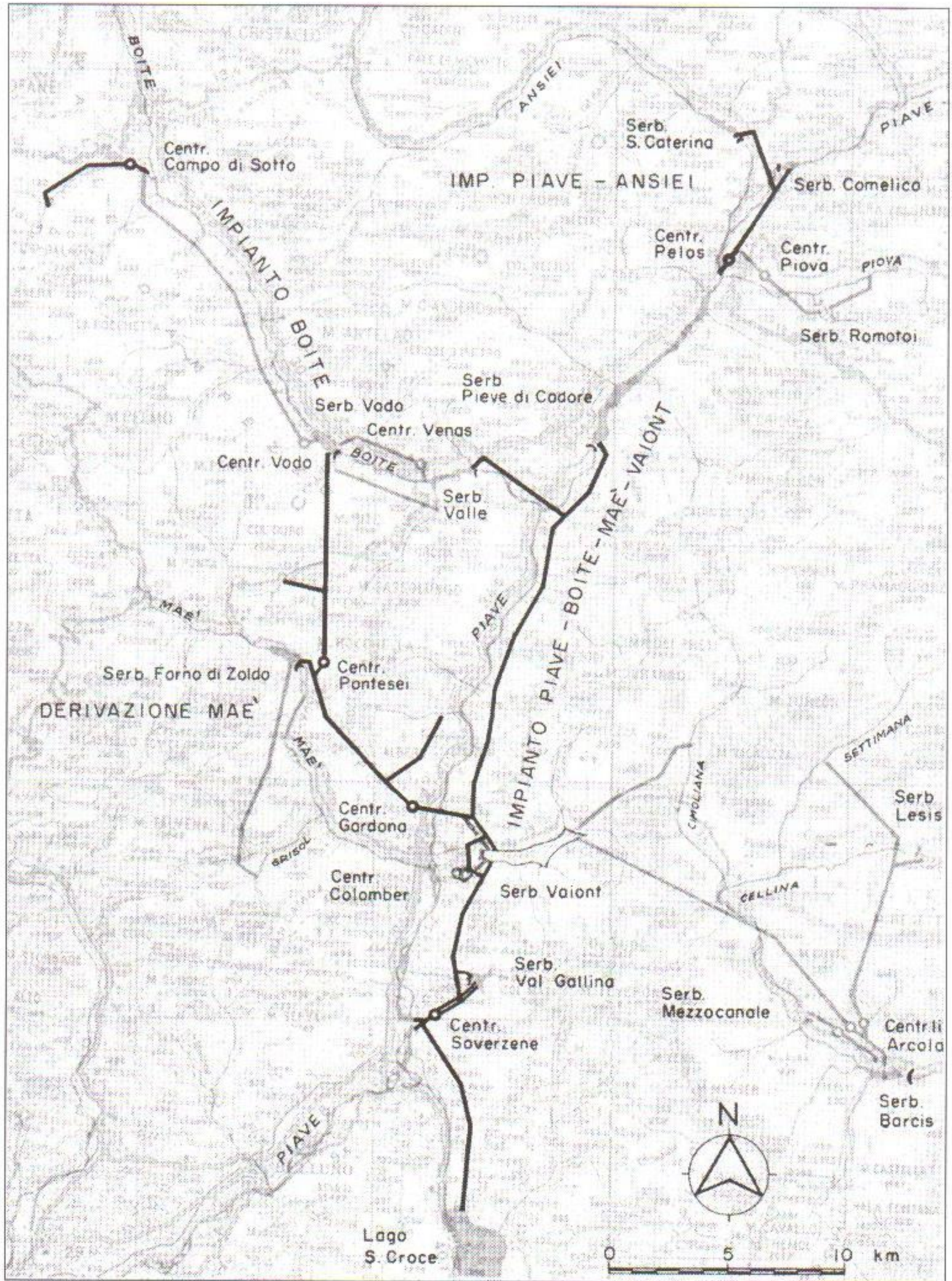


Fig. A1: gli impianti del Piave; corografia.

- A.6 lo schermo di iniezioni praticate in destra e sinistra per impermeabilizzare e consolidare la roccia d'imposta.

Lo scarico di superficie della diga è costituito da 16 luci a soglia libera, ciascuna ampia 6,60 m. La portata massima che può trascinare la diga è 355 m³/s, con un'altezza d'acqua sulla soglia di 1,60 m. Gli scarichi profondi sono 3: di fondo (80 m³/s), intermedio (132 m³/s) e di alleggerimento (69 m³/s); per un totale, con il massimo carico, di 281 m³/s.

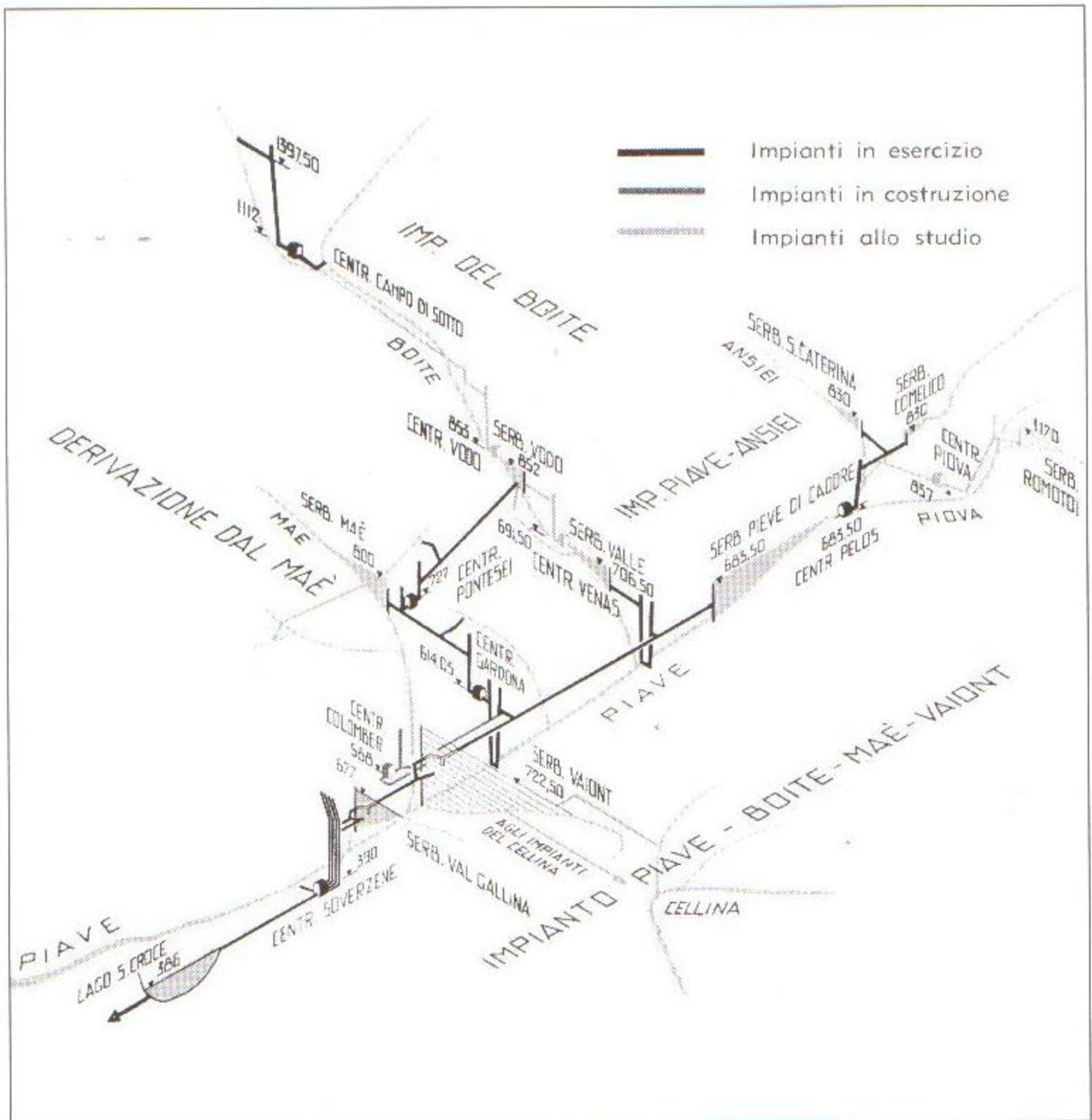


Fig. A2: gli impianti del Piave; profilo altimetrico.

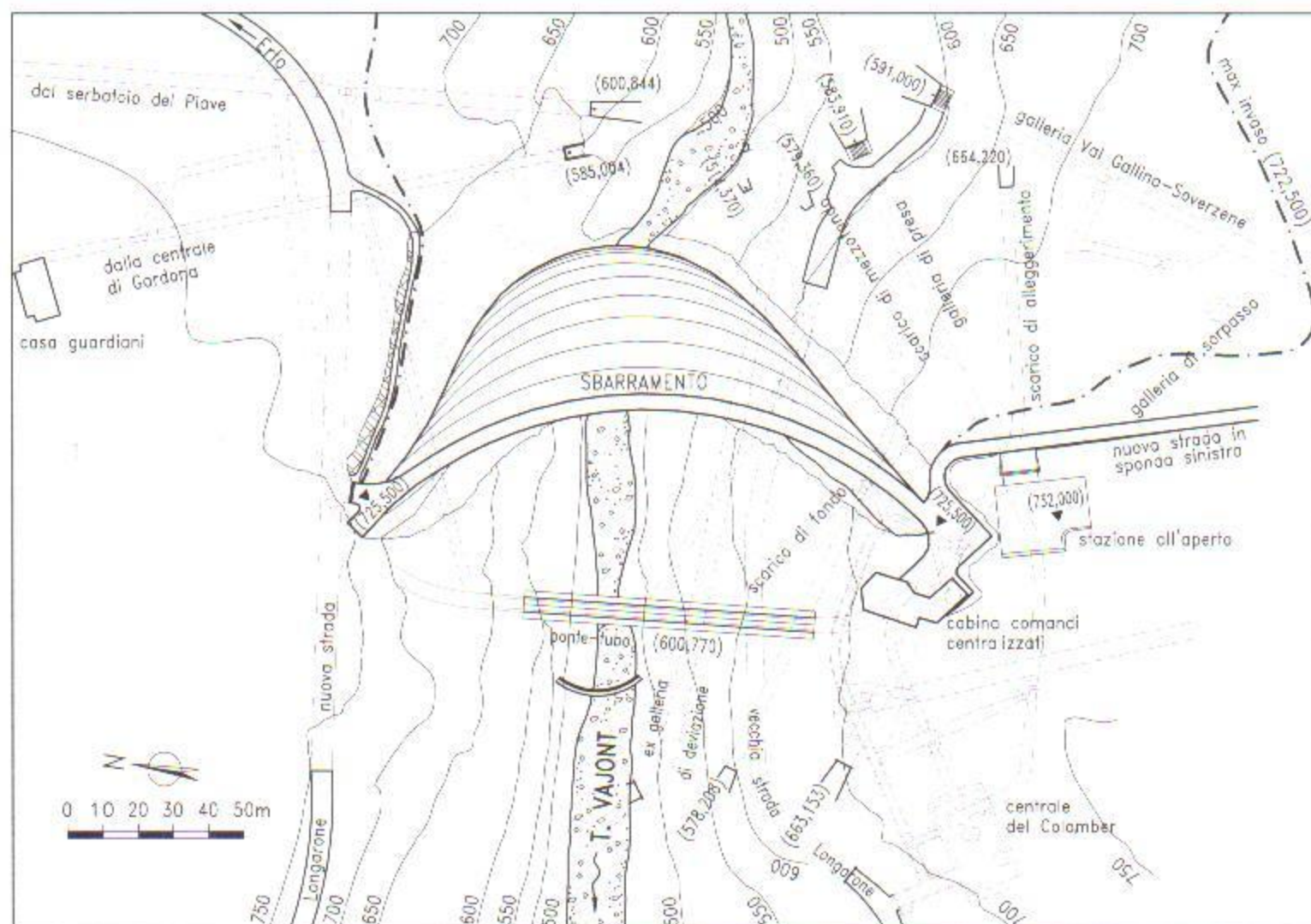


Fig. A3: planimetria della diga.

Gli aggregati per la costruzione della diga furono estratti da un deposito alluvionale di natura calcarea in prossimità della confluenza tra il Vajont e il Piave a quota 430 m s.m. L'impianto di preparazione degli aggregati fu situato presso la cava.

Gli aggregati classificati venivano trasportati, con teleferica, ai siti di alimentazione dell'impianto di confezione del calcestruzzo, che si sviluppava in sponda destra sopra il coronamento della diga. L'impianto di confezione era commisurato a una produzione oraria di 90 m^3 di calcestruzzo; la punta massima giornaliera fu di 1854 m^3 . Durante la sola stagione lavorativa 1959 furono gettati 236.000 m^3 .

Il calcestruzzo, posto in benne della capacità di 4 m^3 , era distribuito con due blondins a spostamento radiale con campata di 436 m e portata al gancio di 13 t. Completava le installazioni per la distribuzione un derrick in sponda sinistra, servito dai blondins. I getti erano effettuati in casseforme dell'altezza di 2,40 m; lo stendimento del calcestruzzo era eseguito con bulldozers.

altezza max diga	261,60 m
lunghezza coronamento	190,15 m
spessore in chiave max a q 470	22,11 m
spessore in chiave min a q 724,50	2,92 m

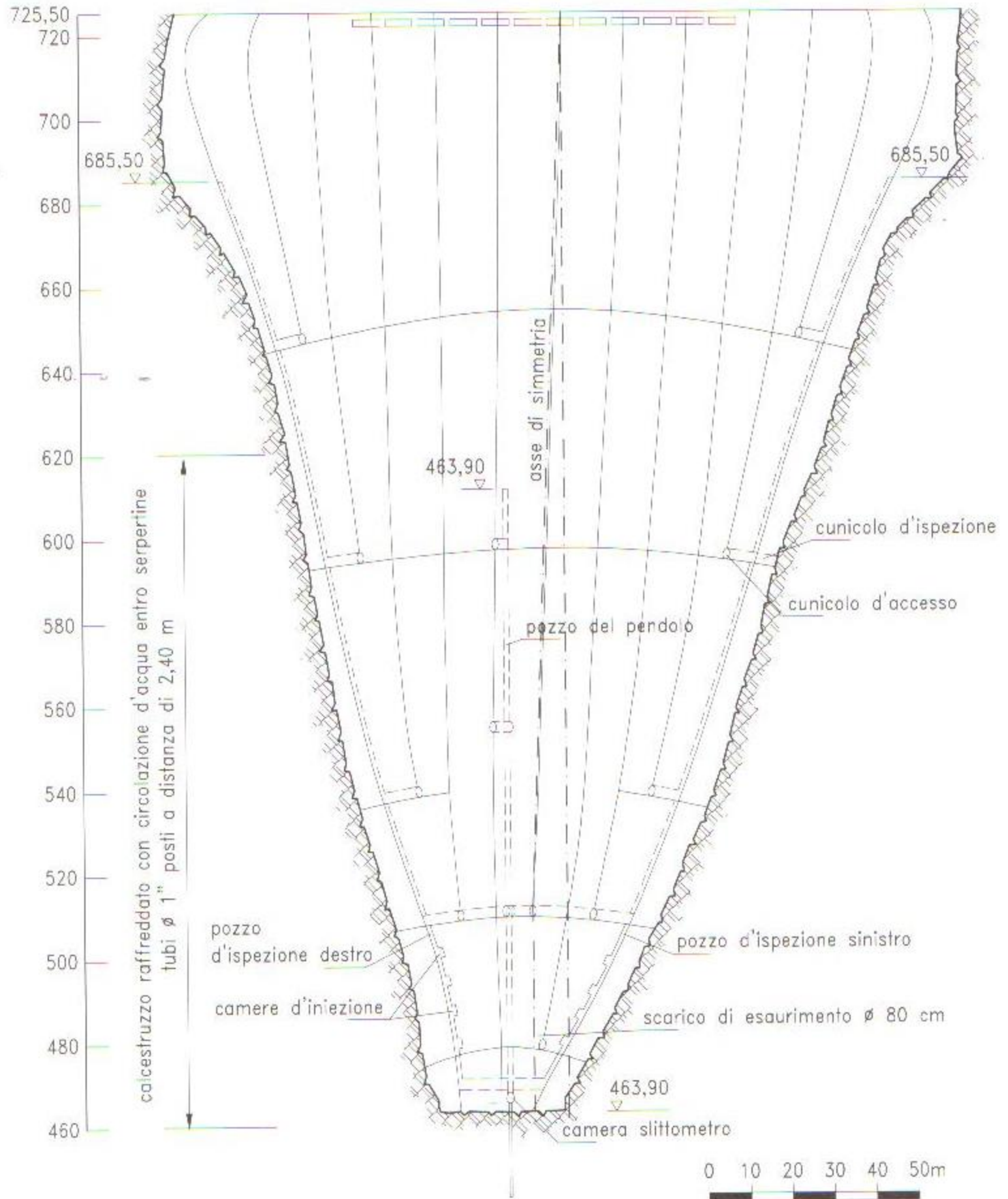


Fig. A4: prospetto di valle.

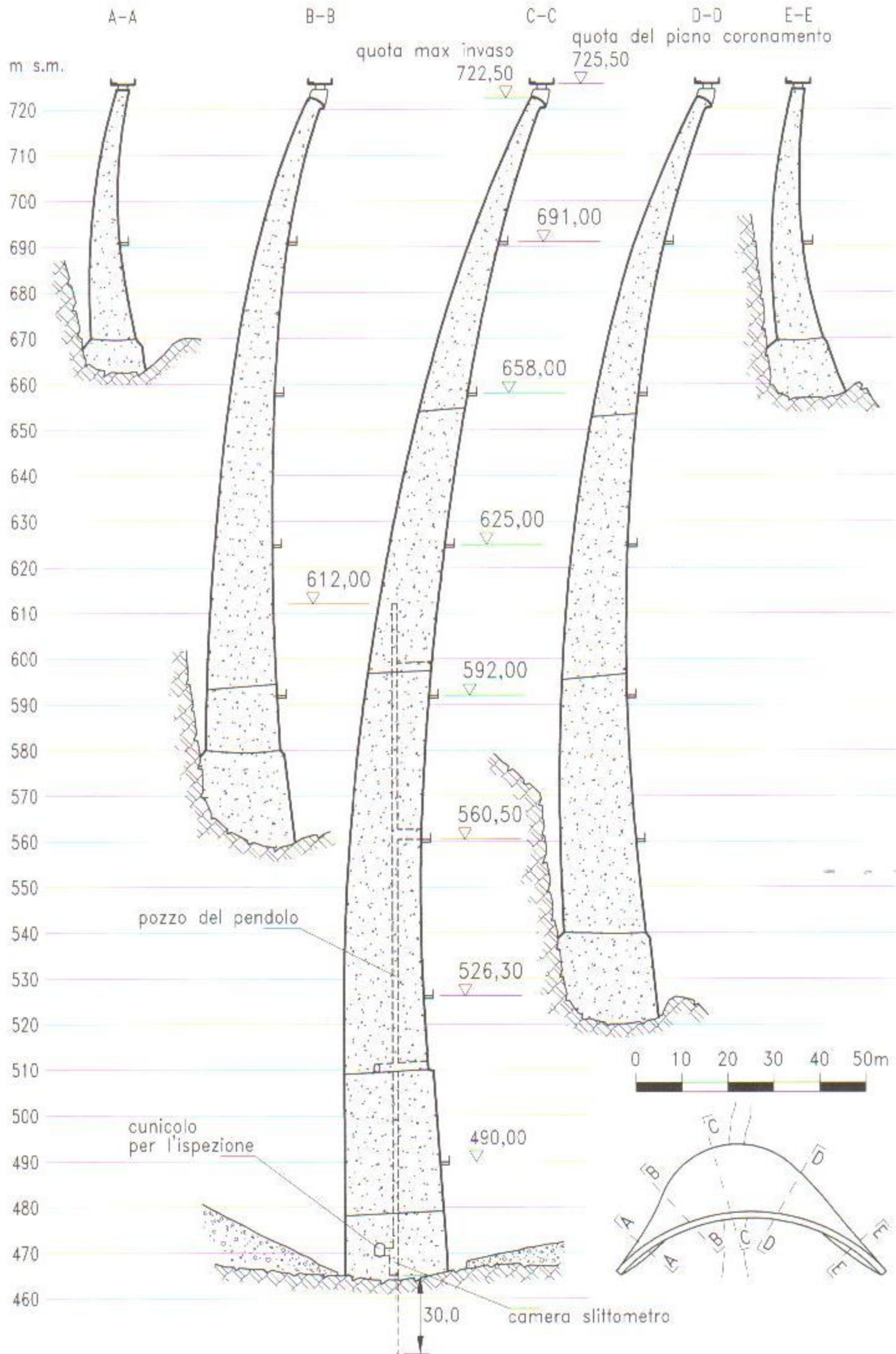


Fig. A5: sezioni meridiane della diga.

Schermo principale di impermeabilizzazione
 cunicoli per le iniezioni in destra e sinistra
 alle quote 682-618-555-492

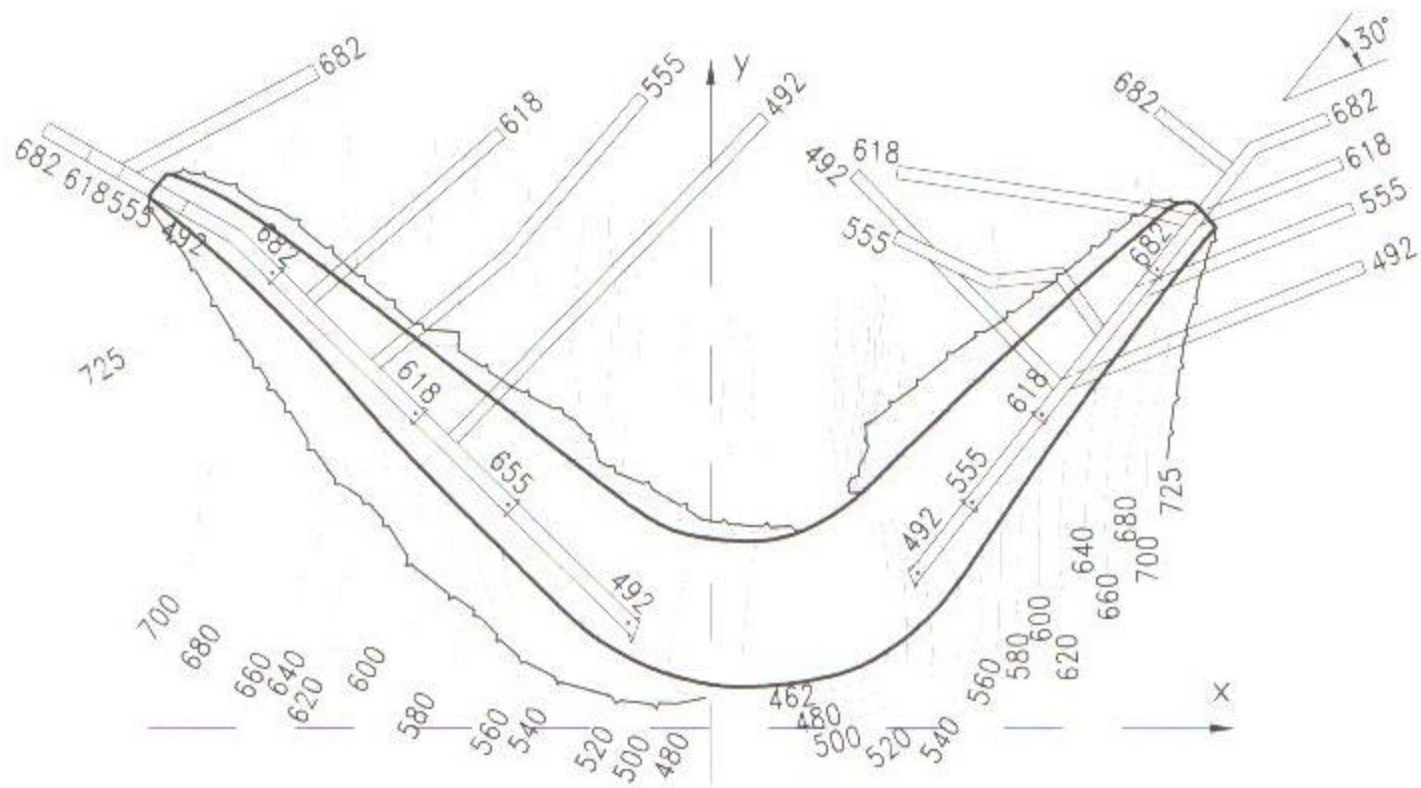
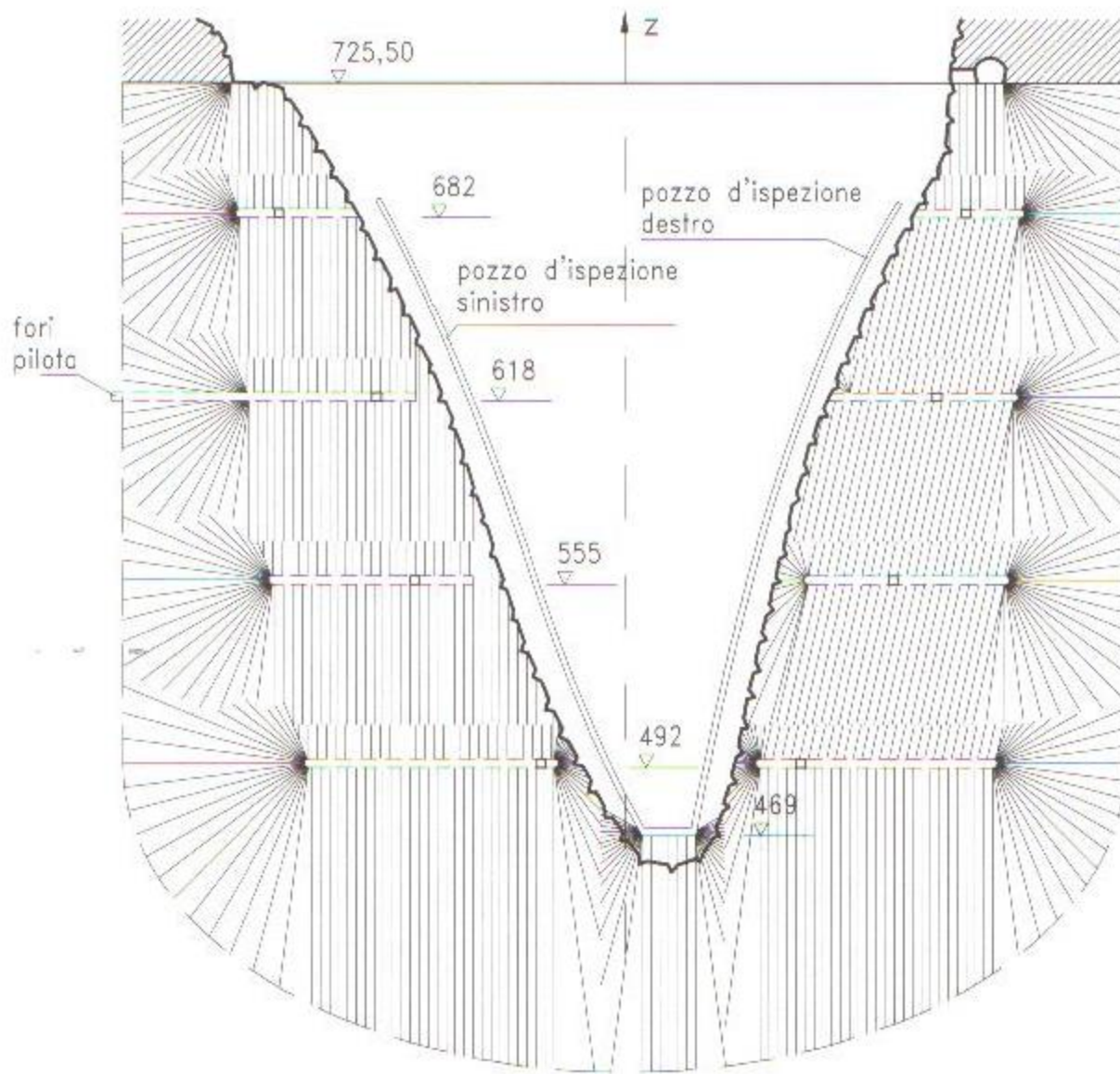


Fig. A6: schermo delle iniezioni.

B. La relazione del modello idraulico.

Si riporta la relazione delle prove sul modello in scala 1: 200 svolte al Centro Modelli Idraulici di Nove. Il testo è, naturalmente, quello originale, però trascritto per dare evidenza tipografica agli aspetti di maggiore rilievo che lo sperimentatore aveva posto in risalto con i criteri in uso in quel tempo.

La relazione rimanda a un insieme di documenti allegati, disegni, tavole e fotografie che non sono stati riprodotti perché ritenuti non necessari per una lettura dell'elaborato; è invece riportata la tavola contenente l'indicazione delle prove svolte, gli elementi utilizzati per lo svolgimento degli esperimenti e i risultati ottenuti.

ISTITUTO DI IDRAULICA E COSTRUZIONI IDRAULICHE
DELL'UNIVERSITÀ DI PADOVA
CENTROMODELLI IDRAULICI "E. SCIMEMI"

ESAME SU MODELLO IDRAULICO DEGLI EFFETTI DI UNA EVENTUALE FRANA NEL LAGO-SERBATOIO DEL VAJONT
(Soc. Adriatica di Elettricità - Venezia)

a) Problema oggetto della ricerca e riproduzione nel modello.

Il Servizio Costruzioni Idrauliche della S. A. D. E. proponeva nei primi mesi del 1961 di svolgere, presso il Centro Modelli Idraulici "E. Scimemi" di Nove, una ricerca su modello idraulico, per esaminare gli effetti di una possibile temuta frana nel lago-serbatoio del Vajont, nei riguardi dell'inondazione delle sponde e dello sfioro sulla cresta della diga per i conseguenti fenomeni di moto vario nell'acqua del bacino.

La frana in questione è localizzata in sponda sinistra, a breve distanza dalla diga, ed è costituita dal movimento di un cospicuo ammasso di terreno sciolto con detriti rocciosi, già da tempo in stato di precario equilibrio, che probabilmente è stato turbato dal riempimento del serbatoio, avvenuto sino alla quota 650 circa, dopo l'ultimazione della diga (agosto 1960).

La sponda in movimento (Tav. I) può distinguersi in due parti, rispettivamente a monte ed a valle del torrente Massalezza, che si estendono rispettivamente in un fronte di 1.000 m e di 800 m.

L'ammasso franoso si sviluppa dalla quota 600 m s.m. circa alla quota 1.200 m s. m. nella parte centrale, con una profondità massima sul piano di scorrimento valutata a circa 200 m. Esso è geologicamente ben distinto dalla roccia su cui si imposta la diga, che dista circa 75 m dal suo limite verso valle. In queste condizioni, nessuna perturbazione statica potendo prevedibilmente compromettere la stabilità della diga, sono soltanto da temersi gli effetti già accennati conseguenti al moto ondoso nel bacino, la cui entità sarà commisurata al volume di terreno che fronerà nel lago, ed alla legge nel tempo secondo cui si verificherà tale scoscendimento.

Tenuto conto di quanto sopra, si è ritenuto necessario riprodurre nel modello l'intero lago-serbatoio, il cui specchio si estende per una lunghezza di circa 5 km dalla diga, occupando con insenature laterali le valli di alcuni torrenti affluenti (Tav. I) . Dovendosi ovviamente effettuare la riduzione in unica scala, cioè senza deformazione geometrica, si è scelto per questa scala il valore 1:200, che era il massimo convenientemente possibile, e che consentiva un'attendibile riproduzione in base alla similitudine di Froude dei fenomeni di moto ondoso senza apprezzabile intervento perturbatore, almeno nelle prime fasi del fenomeno, dei fattori di viscosità o di tensione superficiale.

Il modello, sistemato nella parte centrale dell'area all'aperto disponibile, è stato costruito nell'estate del 1961. Esso occupa una superficie di 29 m di lunghezza, e di larghezza massima di 12 m circa, come risulta dalla Tav. II, ed ha la sommità a circa 1,80 m sul piano campagna. Esso è stato realizzato con struttura muraria (foto n. 1), con superficie interna riprodotte la reale configurazione topografica, avvalendosi di curve di livello e di profili (foto n. 2). La diga è riprodotta nelle sue particolarità (foto n. 3).

Il problema di riprodurre nel modello il naturale evento di frana, nel modo più fedele possibile per ricavarne deduzioni attendibili, poteva essere risolto secondo due diversi indirizzi, che entrambi sono stati seguiti.

Il *primo indirizzo* è stato quello di cercare di ottenere nello stesso modello la similitudine del movimento franoso, facendolo avvenire per azione della gravità e provocato, come è da ritenersi possa verificarsi in natura, per cedimento della ripida pendice che sovrasta lo specchio d'acqua nella zona di frana. Sarebbe stata oltremodo difficile la riproduzione di uno scorrimento a carattere visco-plastico proprio dei terreni argillosi, e perciò si è fatta l'ipotesi più semplice, sotto certi aspetti anche geologicamente attendi-

bile, che si trattasse di materiale incoerente (terreno a detriti di falda). Si è impiegato in suo luogo nel modello materiale ghiaioso tondeggiante (diametro 8-10 mm), allo scopo di ridurre il più possibile gli attriti interni. Benché, nei riguardi della similitudine, l'intervento di questo fattore modifichi certamente, ed in modo non valutabile, l'aspetto gravitazionale del fenomeno, può ritenersi che quest'ultimo risulti ancora prevalente, e si possano perciò determinare le velocità e i tempi di discesa nel rapporto $1/\sqrt{200}$ tra modello e originale.

Per facilitare lo scorrimento, lo si è fatto avvenire nel modello su un piano predisposto, costituito da un tavolato rivestito di lamiera (vedi foto n. 4), a cui potevano venire assegnate diverse inclinazioni (nelle prove: 30° e 42°). Sul piano veniva di volta in volta collocato il materiale incoerente, conformato superficialmente secondo le accidentalità del versante.

L'ostacolo di trattenuta al piede era costituito da reti metalliche flessibili, visibili nella foto n. 5, vincolate con funi in tensione che potevano venire rapidamente allentate, mettendo così in movimento la frana con velocità dipendente dall'azione della gravità e degli attriti. Le prove svolte con questo indirizzo costituiscono la *prima serie di prove*.

Il *secondo indirizzo*, seguito successivamente, si basa sul concetto di non poter ottenere nel modello un'attendibile similitudine del fenomeno della frana, e di rimettersi quindi alle previsioni che in tal senso può fornire lo studio geologico, cercando di far avvenire l'evento nel modello in modo corrispondente alle previsioni stesse.

In base a questi studi, la frana dovrebbe prevedibilmente muoversi lungo superfici concoidi di scorrimento, i cui profili indicati dai geologi sono in parte riportati nella Tav. III. In questa situazione non era evidentemente possibile far avvenire nel modello il previsto scoscendimento per azione della gravità, perché questo avrebbe richiesto il complicato impiego di materiale dotato di particolari requisiti reologici. Si è però ovviato all'inconveniente disponendo nel modello lo stesso materiale ghiaioso delle prove precedenti, sulle superfici concoidi di scorrimento accuratamente riprodotte (vedi foto n. 6 e n. 7), e facendo avvenire artificialmente il movimento mediante traino dell'ammasso. A tal fine si è attuato il dispositivo schematizzato nella Tav. II, costituito da settori rigidi immersi nella ghiaia, azionati per mezzo di funi da un trattore con interposta taglia per regolazione della velocità (foto n. 8 e n. 9). In tal modo gli effetti della frana potevano essere esaminati (traspor-

tando i dati dal modello all'originale nel rapporto $1/\sqrt{200}$), per diverse velocità di discesa, e poteva così commisurarsi il risultato al valore ritenuto ragionevolmente più probabile.

A questo riguardo, tenuto conto che le condizioni geologiche del terreno franoso a valle ed a monte del torrente Massalezza sono diverse, e che pertanto l'eventuale frana può interessare una sola delle due zone, o in una di esse avvenire con qualche ritardo rispetto all'altra, il dispositivo di traino è stato studiato in modo da consentire nel modello il movimento indipendente dell'una o dell'altra zona di frana.

Le prove eseguite secondo questo indirizzo costituiscono la *seconda serie di prove*.

Anche in queste prove il piede dell'ammasso franoso era trattenuto prima del movimento da reti di canapa che venivano rapidamente allentate all'inizio del traino (foto n. 10).

Questo veniva arrestato allorché il piede della frana raggiungeva entro il lago l'opposta sponda; come durata del tempo di discesa era considerata quella stessa del traino.

Nelle foto n.11 e n.12 sono rappresentate alcune particolarità del modello, e cioè l'impalcato costruito per facilitare le operazioni di ricarica del cospicuo volume di materiale che franava nel corso di ogni prova (all'incirca 15 m^3 per la frana completa), ed il bacino costruito per la raccolta e la misurazione del volume d'acqua sfiorato dalla diga.

Per il rilievo dei moto ondoso conseguente alla frana si procedeva con riprese cinematografiche e fotografiche, e si disponeva delle registrazioni di tre idrometrografi a galleggiante (foto n. 13) e delle letture dirette delle massime escursioni in altre 9 posizioni, indicate tutte nella Tav. I, oltre al rilievo dello sfioro sulla diga (foto n. 14).

b) Modalità di svolgimento delle prove.

Le prove venivano eseguite facendo avvenire il movimento dell'ammasso franoso, secondo le diverse modalità già prospettate; e cioè nella *prima serie di prove*, provocando la discesa naturale sul piano inclinato predisposto, per rimozione dell'ostacolo di trattenuta dalla ripida scarpata al piede, e nella *seconda serie di prove* facendo invece avvenire il traino artificiale dell'ammasso, (sempre previa rimozione dell'ostacolo predetto), che veniva sospeso non appena il materiale franato fosse arrivato a ridosso dell'opposta

sponda del lago.

Pertanto, mentre in quest'ultima serie di prove la velocità di discesa della frana, entro certi limiti, era regolabile a volontà, in quelle della prima serie poteva venir variata soltanto modificando l'inclinazione del relativo piano di scorrimento.

Per poter corrispondere entro un esteso campo alle possibilità prevedibili del fenomeno naturale, nelle prove si è cercato di far avvenire separatamente, e con diversa velocità, la discesa delle parti di frana a monte e a valle, del torrente Massalezza, che come si è detto hanno diverse e indipendenti caratteristiche geologiche; facendo precedere la caduta dell'una o dell'altra delle due parti; e facendo seguire quella della restante dopo un intervallo di diversa durata.

Nel corso del fenomeno transitorio conseguente alla frana venivano registrate le escursioni di livello ai predisposti punti di misura presso le sponde, ivi compreso lo sfioro sulla diga (Tab. A e B). In base a questi dati sono state tracciate per varie prove le linee congiungenti le quote di escursione massima lungo le sponde, fornendo così l'indicazione dei *limiti della prevedibile inondazione* (Tav. IV, V e VI). Dal valore massimo dello sfioro sulla diga si è valutata la *portata massima sfiorata*, tenendo conto che, oltre la quota 725,50 m s.m., viene interessata allo sfioro tutta la larghezza della diga (mentre da 722,50 a 724,50 opera lo sfioratore predisposto nella parte centrale). Sulla base delle registrazioni idrometrografiche, (Tav. VII), si è valutato per ogni evento il *volume sfiorato* nelle prime fasi più gravose del fenomeno, e cioè fino a che lo sfioro non scendeva definitivamente al di sotto della quota 724,50 m s.m., prevista come massima per il funzionamento dello sfioratore centrale; indicando altresì la *durata* di questa manifestazione (Tabella A e B).

Altro rilevamento importante è quello del volume di riempimento del serbatoio a seguito della frana. All'uopo, dopo ogni prova, messo all'asciutto il fondo per lento vuotamento, venivano rilevati i profili trasversali del fondo stesso (Tav. VIII), ottenendo da essi il *volume (apparente) di riempimento*, considerato per la parte sottostante alla quota del massimo invaso (722,50 m s.m.). Il confronto con i *totali volumi (reali) sfiorati* (per le prove fatte a partire dal predetto massimo invaso), e con l'*aumento del volume di invaso* più l'eventuale sfioro (per le prove fatte a partire da livelli minori), ha sempre fornito valori soddisfacenti, risultandone un rapporto volume reale:

volume apparente mediamente di 0,75.

c) Resoconto delle prove svolte.

Prima serie di prove (Tab. A): Frana a moto naturale su piano inclinato di scorrimento

Le prove sono state fatte tutte partendo dalla quota d'invaso 722,50 m s.m., cioè a serbatoio pieno.

Due prove (I e II) sono state fatte con piano di scorrimento inclinato di 30° . La frana a monte del torrente Massalezza, che è stata fatta scendere per prima, ha impiegato un tempo rapportato all'originale di 184 sec; quella a valle, fatta scendere successivamente col serbatoio già parzialmente riempito dalla frana precedente, ha impiegato 156 sec.

Altre due prove (IV e V) sono state successivamente eseguite con gli stessi criteri, ma con l'inclinazione del piano aumentata a 42° . Si osserva che il volume di riempimento dell'invaso (al disotto della quota massima 722,50 m s.m.) per la frana a monte discesa per prima, è risultato quasi eguale, poco superiore a $10 \cdot 10^6 \text{ m}^3$, pur essendo minore la velocità di discesa (84 sec). Con l'ulteriore discesa della frana a valle del Massalezza (in 90 sec) si ha un ulteriore riempimento di circa $7,5 \cdot 10^6 \text{ m}^3$, anch'esso dello stesso ordine di grandezza di quello col piano a 31° . Invece la portata massima sfiorata (nella seconda parte della frana) è di $26.450 \text{ m}^3/\text{s}$, col piano a 42° , più del doppio che col piano a 30° , e ciò in relazione alla maggior velocità di discesa. Di conseguenza anche il volume totale dello sfioro è risultato sensibilmente maggiore.

Oltre a queste prove, si ha un'altra prova col piano a 42° in cui è stata fatta scendere (nel tempo pari a 85 sec), la sola frana a valle, con effetto molto cospicuo nei riguardi della portata sfiorata, che ha raggiunto $30.480 \text{ m}^3/\text{s}$ per un sovrizzo sul bordo di sfioro di oltre 22 m. Il volume totale sfiorato nella prima fase di sovrizzo superiore a quota 724,50 m s.m. della durata di 178 sec, è stato di $2,7 \cdot 10^6 \text{ m}^3$.

Nei riguardi delle escursioni del pelo d'acqua nel serbatoio, le esperienze più gravose sono state quelle col piano più inclinato e la maggior velocità di discesa; oltre all'escursione di 22,1 m (prova III) e di 18,8 m (prova V) sul bordo della diga, si fanno rilevare le massime sovrilevazioni rispettivamente di 16,8 m e di 16,0 m alla distanza di circa 800 m dalla diga in sponda destra (Pos. 2 della Tav. I).

Tabella A - Prima serie di prove - Frana a moto naturale su piano inclinato di scorrimento.

Data	Prove	Quota Invaso (msm)	Caratteri della frana	Altezze massime registrate sopra la quota d'invaso iniziale (m) nelle varie posizioni												Tempi di caduta (s)			Volumi* sfiorati (-10 ⁶ m ³)	Tempo* sfioro (s)	Sfioro max (m ³ /s)	Volume franato (-10 ⁶ m ³)				
				P diga	P 1	P 2	P 3	P 4	P 5	P 6	P 7	P 8	P 9	P 10	P 11	P 12	I ^a parte	Inter-vallo					II ^a parte			
30/08/61	I	722,5	a monte del torrente Massalezza inclinazione piano di scorrimento 30°	8,0	-	6,8	-	5,3	-	5,2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,130	350	6445	10,200
30/08/61	II	722,0	a valle del torrente Massalezza con serbatoio parzialmente riempito	11,5	-	7,0	-	5,5	-	3,2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,460	250	11905	7,235
18/09/61	III	722,5	a monte del Massalezza inclinazione piano di scorrimento 42°	22,1	-	16,8	-	-	-	5-5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2,700	178	30480	8,500
19/09/61	IV	722,5	a monte del Massalezza inclinazione piano di scorrimento 30°	8,8	-	9,5	-	-	-	5-0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,405	372	7560	10,300
19/09/61	V	722,5	a monte del torrente Massalezza con serbatoio parzialmente riempito	18,8	-	16,0	-	-	-	4-9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3,405	257	26450	7,500

Tabella B - Seconda serie di prove - Frana a moto controllato sulla presunta superficie di scorrimento.

Data	Prove	Quota Invaso (msm)	Caratteri della frana	Altezze massime registrate sopra la quota d'invaso iniziale (m) nelle varie posizioni												Tempi di caduta (s)			Volumi sfiorati (-10 ⁶ m ³)	Tempo sfioro (s)	Sfioro max (m ³ /s)	Volume franato (-10 ⁶ m ³)				
				P diga	P 1	P 2	P 3	P 4	P 5	P 6	P 7	P 8	P 9	P 10	P 11	P 12	I ^a parte	Inter-vallo					II ^a parte			
31/01/62	VI	722,5	a monte del Massalezza	1,6	-	2,5	2,5	2,0	1,6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,073	346	425	5,490
31/01/62	VII	722,5	a valle del Massalezza con serbatoio parz. riempito dalla frana della prova VI	5,2	-	7,5	6,0	4,2	2,2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,0616	415	2965	3,660
13/01/62	VIII	722,5	a monte del Massalezza*	6,1	-	4,6	-	-	6,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,626	316	3980	5,985
13/01/62	IX	722,5	a valle del Massalezza con serbatoio parzialmente riempito	6,1	-	5,0	-	-	3,6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,904	455	3980	4,015
14/02/62	X	722,5	a valle - Intervallo - Frana a monte	8,0	-	8,0	8,8	8,4	3,3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3,060	950	6445	10,538
20/02/62	XI	722,5	a valle del Massalezza	9,9	-	10,8	8,2	6,0	4,1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,285	278	9270	6,400
21/04/62	XII	722,5	a monte - Intervallo - Frana a valle	12,6	13,2	12,6	10,8	6,2	4,8	6,0	8,2	6,2	8,0	6,0	11,2	8,0	119	630	119	630	119	630	6,180	891	13850	19,350
07/02/62	XIII	722,5	a monte - Intervallo - Frana a valle	15,9	27,5	22,0	9,2	9,0	7,0	-	-	-	-	-	-	-	-	226	57	226	57	226	10,020	990	20280	9,750
19/04/62	XIV	700,0	a valle del Massalezza	10,4	8,8	5,5	5,0	5,4	3,0	5,4	3,0	5,4	9,6	7,6	9,6	5,8	8,4	225	-	-	-	-	-	-	-	6,434
20/04/62	XV	700,0	a monte - Intervallo - Frana a valle	14,2	13,0	9,0	10,6	8,1	4,9	10,0	10,4	10,0	11,6	7,2	10,8	6,0	110	550	130	550	130	550	-	-	-	12,849
05/03/62	XVI	700,0	a valle del Massalezza	13,2	-	10,0	6,5	5,0	4,5	-	-	-	-	-	-	-	-	130	-	-	-	-	-	-	-	7,950
18/04/62	XVII	700,0	a valle del Massalezza	17,0	13,4	11,5	7,0	7,2	3,7	8,4	10,4	10,2	15,0	-	-	-	-	120	-	-	-	-	-	-	-	5,566
12/03/62	XVIII	700,0	a valle del Massalezza	20,6	-	20,7	10,0	9,6	9,0	9,4	-	-	-	-	-	-	-	63	-	-	-	-	-	-	-	9,065
26/04/62	XIX	700,0	a monte - Intervallo - Frana a valle	27,0	31,4	24,0	27,2	25,6	6,3	9,0	11,2	11,2	11,6	6,0	10,8	20,2	180	640	60	640	60	640	0,021	20	2280	20,463
27/02/62	XX	670,0	a valle del Massalezza	15,7	-	15,7	8,0	8,0	6,3	-	-	-	-	-	-	-	-	113	-	-	-	-	-	-	-	6,601
01/03/62	XXI	670,0	a valle del Massalezza	16,8	-	17,0	8,2	9,0	6,8	-	-	-	-	-	-	-	-	85	-	-	-	-	-	-	-	7,139
22/02/62	XXII	670,0	a valle del Massalezza	14,2	-	21,0	8,0	9,2	8,0	-	-	-	-	-	-	-	-	61	-	-	-	-	-	-	-	6,611

* La frana discende in fasi successive, con moto discontinuo.

Seconda serie di prove (Tab. B): Frana a moto controllato sulla presunta superficie di scorrimento.

Le prove sono state fatte partendo da tre differenti quote di invaso, e cioè 722,50 m s.m. (serbatoio pieno), 700 m s.m. e 670 m s.m.

Tutte le prove di questa serie sono state fatte con *movimento continuo* di discesa della massa franosa, artificialmente ottenuto come si è detto più sopra; solo nelle prove VIII e IX si è provocato un *movimento a strappi*, volendo con esso rappresentare una caduta discontinua in fasi successive.

Nella situazione di max. invaso (722,50 m s.m.) sono state ripetute anzitutto le successioni di frana già esaminate a moto naturale, e cioè caduta della frana parziale a monte del torrente Massalezza, e caduta successiva della frana parziale a valle nel serbatoio rimasto parzialmente riempito. Con movimento continuo (prove VI e VII), nel tempo di discesa di 210 sec e 127 sec rispettivamente per le due frane parziali, si sono ottenuti effetti limitati, assai inferiori a quelli delle corrispondenti prove IV e V di discesa naturale con piano inclinato a 42°. Effetti un po' maggiori ma sempre di limitata importanza si sono ottenuti per le stesse cadute di frana in tempi pressoché eguali, col movimento a strappi (prove VIII e IX).

Altra prova limitata alla discesa della sola frana a valle nel tempo di 113 sec, nel serbatoio vuoto (prova XI), ha dato risultati alquanto superiori a quelli della prova VII già ricordata (discesa nel tempo di 127 sec nel serbatoio parzialmente riempito): e cioè una portata massima di sfioro di 9270 m³/s, ed un volume sfiorato (oltre quota 724,50 m s.m.) di 1,28·10⁶ m³.

Le altre prove con l'invaso massimo nel serbatoio sono state fatte esaminando una successione delle due frane parziali, in cui la caduta della seconda parte aveva luogo nel momento più sfavorevole, e cioè allorquando nella zona di frana si manifestava la nuova ascesa di livello, dopo l'abbassamento conseguente all'intumescenza iniziale. Si osserva che facendo scendere per prima la frana a monte, e dopo intervallo quella a valle, si hanno effetti superiori che nel caso inverso con tempi corrispondenti pressoché eguali, come è il caso delle prove XIII e X; e cioè, sfioro massimo di 20.280 m³/s (contro 6.445) ed escursione massima (alla Pos. diga e alla Pos. 2) di 15,9 m e di 22,0 m (contro 8,0 m). Si fa notare il rilevante aumento di livello (27,5 m) alla Pos. 1 per la prova XIII. In questa stessa prova il volume sfiorato nel tempo di 990 sec, è stato di ben 10·10⁶ m³ (portata media 10.000 m³/s).

Paragonando con la successione di prove (VI e VII) frana a monte-frana a

valle dopo lungo intervallo, si osserva un evidente aggravamento degli effetti qualora la discesa della seconda frana avvenga durante l'ascesa del livello (conseguente, dopo l'abbassamento per propagazione ondosa, alla caduta della prima frana), come nelle prove XIII e XII (quest'ultima con effetti minori dell'altra essendo più lungo il tempo di discesa della frana a valle).

Passando ora alle prove svolte a partire da livello iniziale nel serbatoio inferiore al massimo, si ha con la *quota d'invaso 700 m s.m.* che le variazioni di livello nel serbatoio per le prove di discesa parziale della frana (parte a valle) non raggiungono lo sfioro della diga, nemmeno considerando il tempo assai ridotto di 63 sec (prova XVIII). In questo caso, che a il più gravoso, si raggiunge un sovrizzo di 20,6-20,7 m alla Pos. diga e alla Pos. 2.

Considerando la successione delle due frane parziali con intervallo tale da dar luogo al massimo effetto di sovrapposizione, si ha anche qui conferma che, facendo avvenire prima la caduta dalla parte a monte e poi quella a valle, la maggior velocità di quest'ultima discesa è responsabile dei più gravosi effetti (prova XIX), anche se la frana parziale a monte discende in tempo più lungo (confrontare con la prova XV). L'effetto più cospicuo di sovrizzo si ha alla Pos. 1 con 31,4 m, mentre alla diga si ha un sovrizzo di 27 m che determina un limitato sfioro (portata massima $2.280 \text{ m}^3/\text{S}$).

Le prove infine con la *quota iniziale 670 m s.m.*, che sono state fatte per la sola discesa parziale della frana a valle, hanno fornito, per il tempo più ridotto di 61 sec, un sovrizzo massimo di 21 m alla Pos. 2.

d) Riassunto e conclusioni.

Con le esperienze riferite, svolte su un modello in scala 1:200 del lago-serbatoio del Vajont, si è cercato di fornire una valutazione degli effetti che verrebbero provocati da una frana, che è possibile abbia a verificarsi sulla sponda sinistra a monte della diga.

Premesso che il limite estremo a valle dell'ammasso franoso dista oltre 75 m dall'imposta della diga, e che la formazione di quest'imposta è di roccia compatta e consistente e ben distinta, anche geologicamente, dall'ammasso predetto, non è assolutamente da temersi alcuna perturbazione di ordine statico alla diga col verificarsi della frana, e sono perciò da riguardarsi solo gli effetti del sovrizzo ondoso nel lago e dello sfioro sulla cresta della diga in conseguenza della caduta.

Le previsioni sulle modalità dell'evento di frana sono quanto mai incerte

dal punto di vista geologico. Scoscendimenti parziali di limitata entità ebbero a verificarsi negli ultimi mesi del 1960 nella parte più bassa della sponda in movimento, in concomitanza coll'iniziale, ed ancor parziale riempimento dell'invaso. La formazione franosa si estende su una fronte complessiva di 1,8 km, dalla quota 600 alla quota 1.200 m s.m. all'incirca (quota di massimo vaso del lago-serbatoio 722,50) m s.m.). L'esame geologico porta a riconoscere una presumibile superficie concoide di scorrimento, sulla quale l'ammasso franoso, costituito da materiale incoerente e detrito di falda in prevalenza, raggiunge nella parte centrale (a cavallo dell'asta del torrente Massalezza) lo spessore di 200 m. L'andamento della scarpata è più ripido nella parte inferiore che sovrasta il lago; ad un cedimento di questa parte farebbe probabilmente seguito lo scoscendimento dell'ammasso superiore. E' da ritenersi che l'eventuale discesa della frana difficilmente potrà manifestarsi contemporaneamente su tutta la fronte; è più fondata invece l'ipotesi che scenderà per prima l'una o l'altra delle due zone poste a monte o a valle del torrente Massalezza, e che questo scoscendimento sarà seguito, a più o meno breve intervallo, da quello della restante zona.

Tali essendo le valutazioni e le incertezze nella previsione del fenomeno naturale, si è cercato nel modello di esplorare una numerosa varietà di casi, riproducendo il materiale in movimento con ghiaia sistemata in base ai dati di rilievo, e considerando:

a) l'ipotesi dell'ammasso interamente incoerente, e quindi facendo avvenire il movimento a caduta naturale nel modello su piani prestabiliti variamente inclinati per ottenere diverse velocità di discesa;

b) l'ipotesi di materiale parzialmente coesivo, e facendo perciò avvenire il movimento nel modello per via artificiale con diverse velocità, sulla predisposta superficie concoide determinata dall'esame geologico.

Le modalità di queste operazioni sono illustrate nei precedenti paragrafi. In ogni caso si sono fatte avvenire separatamente le discese delle due zone di frana già indicate, considerando anche il caso di una loro successione, con il decorso più sfavorevole nei riguardi del fenomeno ondoso e dello sfioro.

Le prove nel modello sono state fatte a partire dal serbatoio al massimo vaso (quota 722,50 m s.m. corrispondente allo sfioro della diga) ed agli invasi parziali alle quote 700,00 e 670,00 m s.m.

Nelle prove a quota di massimo vaso, la discesa delle due zone di frana è stata fatta avvenire, nella prima serie di prove, a *caduta naturale* in tempi

dell'ordine di 3 min e di 1,5 min (rapportati all'originale). Gli effetti più rilevanti si osservano per la caduta della zona a valle; si tratta in ogni caso di velocità di discesa alquanto elevate rispetto alle possibili previsioni. Con la minor velocità si arriva ad una portata massima di sfioro di circa 12.000 m³/s e ad un sovrizzo alla diga di 11,5 m; con la maggiore si superano i 30.000 m³/s, e si ha un sovrizzo massimo, sempre alla diga, di oltre 22,0 m.

Nella seconda serie di prove, le velocità della caduta artificiale delle due zone di frana sono state regolate in modo da realizzare per ciascuna tempi di caduta compresi fra 1 min e 3,5 min circa. La successione delle cadute è stata fatta avvenire con intervallo da 2,5 min a 10,5 min per determinare la più sfavorevole sovrapposizione di effetti. Anche qui la zona di frana più a valle, susseguita a quella a monte, è responsabile dei più gravosi risultati con la massima velocità di caduta la portata di sfioro è risultata di oltre 20.000 m³/s, ed il sovrizzo di circa 16 m alla diga, e di 27,5 m a circa 430 m da essa. Riducendo il tempo di caduta a 2 min, lo sfioro non raggiunge i 14.000 m³/s, ed il sovrizzo diminuisce a 12,6 m. Se si limita la frana alla sola zona a valle, senza precedente frana a monte, col tempo di caduta di 2 min lo sfioro è un po' superiore a 9.000 m³/s ed il sovrizzo alla diga è di circa 10 m.

Questi dati sembrano sufficientemente indicativi dell'entità che il fenomeno ondoso può presentare pur nelle più sfavorevoli previsioni di caduta dell'ammasso franoso. Si fa osservare che il sovrizzo riscontrato in prossimità della diga è sempre superiore a quello che si manifesta nelle zone più distanti lungo le sponde del lago.

Passando a considerare gli effetti della frana che sopravvenga a lago non completamente invasato, si ha dalle prove che già con l'invaso iniziale portato a quota 700 m s.m. l'evento più sfavorevole, e cioè la caduta della zona a valle in 1 min a seguito di precedente caduta della zona a monte, provoca appena, con sovrizzo di 27 m presso la diga (e massimo di 31 m a 430 m da essa) uno sfioro poco superiore a 2.000 m³/s. Partendo dalla quota d'invaso 670 m s.m., anche con la frana più rapida il sovrizzo è assai limitato e ben al disotto della cresta di sfioro.

Sembra pertanto potersi concludere che, partendo dal serbatoio al massimo invasato, la discesa del previsto ammasso franoso solo in condizioni catastrofiche, e cioè verificandosi nel tempo eccezionalmente ridotto di 1-1,5 minuti, potrebbe arrivare a produrre una punta di sfioro dell'ordine di

30.000 m³/s, ed un sovrizzo ondoso di 27,5 m; appena raddoppiando questo tempo il fenomeno si attenua al disotto di 14.000 m³/s di sfioro e di 14 m di sovrizzo.

Diminuendo la quota dell'invaso iniziale, questi effetti di sovrizzo e di sfioro si riducono rapidamente, e già la quota di 700 m s.m. può considerarsi di assoluta sicurezza nei riguardi anche del più catastrofico prevedibile evento di frana.

Sarà comunque opportuno, nel previsto prosieguo della ricerca, esaminare sul modello convenientemente prolungato gli effetti nell'alveo del Vajont ed alla confluenza nel Piave del passaggio di onde di piena di entità pari a quella sopra indicata per i possibili sfioro sulla diga. In tal modo si avranno più certe indicazioni sulla possibilità di consentire anche maggiori invasi nel lago-serbatoio, senza pericolo di danni a valle della diga in caso di frana.

Padova, 3 luglio 1962

IL DIRETTORE DELLE RICERCHE
(*Prof. Ing. Augusto Ghetti*)

Finito di stampare nel mese di luglio 2003
per conto della Libreria Internazionale Cortina
da Grafiche TPM s.r.l., Padova

Claudio Datei,
nato nel 1922 a Modena,
ha vissuto a Mantova la
giovinezza e il periodo
degli studi fino alla laurea
in Ingegneria Idraulica
nell'Università di Padova.
È Professore Emerito di
Costruzioni Idrauliche
nella stessa Università.
È autore di numerose
pubblicazioni di natura
scientifica e tecnica, tra le
quali figurano alcuni
trattati nel settore delle
opere idrauliche.

€ 15,00

ISBN 88-7784-238-5