

**RASSEGNA TECNICA
DEL FRIULI VENEZIA GIULIA
& NOTIZIARIO INGEGNERI**

rt
NUOVA SERIE

394

Monografia sul Vajont (1963-2023), a cura di Nino Aprilis e Giorgio Dri

Testi di: Nino Aprilis, Matteo Benvegnù, Alberto Bolla, Sonia Bortoluzzi, Matteo Buratin, Antonio Carrara, Paolo Chemello, Luigi Da Deppo, Giorgio Della Longa, Giorgio Dri, Rinaldo Genevois, Saverio Maisto, Elisa Minto, Parco Dolomiti friulane, Paolo Paronuzzi, Martina Toffolo





**ASSOCIAZIONE DEGLI INGEGNERI
DELLA PROVINCIA DI UDINE**

L'atto costitutivo della Associazione Ingegneri della Provincia di Udine risale al 25 marzo 1961 e da allora opera con veste di Personalità giuridica, dotata di proprio statuto. Documenti conservati nell'archivio dell'Ordine degli Ingegneri di Udine e presso la biblioteca civica "Vincenzo Joppi" attestano che nella provincia udinese era presente, fin dall'immediato dopoguerra, una istituzione rappresentativa degli ingegneri denominata "Ordine e Associazione degli Ingegneri della Provincia di Udine".

Nel corso degli anni l'Associazione è stata presieduta dagli ingegneri:

- Carlo Gaggia, fino al 1960;
- Mario Bosco, 1960-1961;
- Gastone Conti, 1962-1973;
- Giorgio Stroppolati, 1973-1974;
- Michele Gubana, 1974-1991;
- Gaetano Cola, 1991-1995;
- Maurizio Asquini, 1995-1999;
- Marino Donada, 1999-2017;
- Giancarlo Saro, dal 2017.

Il Consiglio Direttivo dell'Associazione, in carica nel triennio 2021-2023, è composto dagli ingegneri:

Giancarlo Saro, presidente;
Roberto Lago, vicepresidente;
Fabrizio Cimenti, segretario;
Paolo Mantoani, tesoriere;
Marcello Bonioli, Adriano Mansutti, Pietro Paulon, Tamara Pizzamiglio, Andrea Zini, consiglieri;
Stefano Del Giudice, Marino Donada, consiglieri aggiunti (secondo statuto);
Giacomo Biasutti, Vincenzo Facchin, revisori dei conti.

L'Associazione è apartitica e senza scopo di lucro ed è iscritta al n. 937 del Registro regionale delle associazioni di Promozione sociale.

L'Associazione principalmente opera per:

- tutelare la figura dell'ingegnere e il suo ruolo nella professione e nella società;
- promuovere studi, convegni, conferenze su problemi di carattere tecnico, scientifico e culturale su tutti i campi dell'ingegneria, anche attivando corsi formativi e di aggiornamento tecnico, in accordo con gli Ordini Professionali e/o gli Enti accreditati dal Consiglio Nazionale Ingegneri;
- promuovere e organizzare visite tecniche e di studio a cantieri e a realtà produttive in Italia e all'estero;
- intrattenere rapporti e promuovere collaborazioni con Università ed Enti scientifici a beneficio dei propri associati;
- essere un punto di riferimento per tutti i laureati in ingegneria che intendono far parte attiva di una associazione che si propone di tutelare e valorizzare tutte le competenze ingegneristiche.

L'Associazione ha sede a Udine, via Monte San Marco 56,
telefono +39 338 4251810,
posta elettronica: segreteria@associazioneingegneriudine.it,
associazioneingegneriudine@pec.it
Sul sito www.associazioneingegneriudine.it sono reperibili ulteriori informazioni e lo statuto.

associazione ingegneri e architetti
della provincia di pordenone

plazetta Ado Furlan 2/8
33170 pordenone
t. 0434 550250 | f. 0434 551229
associazione@ordineingegneri.pn.it

L'Associazione degli Ingegneri del Circondario di Pordenone è stata istituita nel 1966, anticipando la creazione della Provincia di Pordenone. Successivamente assume il nome di «Associazione Ingegneri e Architetti della Provincia di Pordenone» e possono associarsi gli iscritti agli Ordini degli Ingegneri, degli Architetti, dei Geologi, degli Agronomi e Forestali e agli Ordini di tutte le altre professioni tecnico/scientifiche del territorio nazionale.

L'Associazione degli Ingegneri e Architetti della Provincia di Pordenone è stata presieduta da:

- ing. Mario Marzin, 1966-1968;
- ing. Frediano Pegolo, 1968-1973;
- ing. Zeno Biondo, 1973-1980;
- ing. Pietro Cescutti, 1980-1983;
- ing. Tito Pasqualis, 1983-1986;
- ing. Ivano Bordugo, 1986-1989;
- ing. Frediano Pegolo, 1989-1992;
- ing. Alberto Scorrano, 1992-1994;
- ing. Ottorino Argentieri, 1995-2003;
- ing. Nino Aprilis, 2003-2009;
- ing. Matteo Bordugo, 2009-2013;
- ing. Nino Aprilis, 2013-2015;
- ing. Andrea Sarcinelli, 2015-2019;
- ing. Nino Aprilis, dal 2019.

L'Associazione è senza scopo di lucro e si propone di promuovere e di svolgere tutte le attività atte a tutelare e valorizzare l'opera e la professionalità degli associati, elevandone le funzioni e il prestigio in campo tecnico, economico e sociale e, non ultimo, tutelare i titoli accademici e professionali anche per l'inserimento nel contesto professionale europeo, mediante:

- la preparazione culturale e professionale degli associati, agevolandoli nella conoscenza del progresso delle Scienze e della Tecnica, facilitandoli nella partecipazione a convegni culturali ed a visite informative;
- la promozione di studi e proposte su questione tecniche;
- la collaborazione alla formazione dei futuri professionisti, facendoli partecipare alla vita culturale dell'associazione e assistendoli nella scelta delle loro specializzazioni e attività future;
- la collaborazione al perfezionamento e all'addestramento dei tecnici e delle maestranze.

L'Associazione è comproprietaria della rivista periodica "Rassegna Tecnica del Friuli Venezia Giulia" che viene distribuita agli iscritti agli Ordini degli Ingegneri della Regione.

L'Associazione ha sede a Pordenone, piazzetta Ado Furlan 2/8;
telefono +39 0434 550250
fax +39 0434 551229;
posta elettronica: associazione@ordineingegneri.pn.it

ANNO LXIX - SETTEMBRE/DICEMBRE 2023

DIREZIONE

GIORGIO DRI Direttore responsabile

REDAZIONE DELLA RASSEGNA TECNICA

Roberto Carollo, Vittorio Drigo,
Alessandro Gasparetto, Daniele Goi,
Giuseppe Longo, Elio Padoano,
Carlo Tomaso Parmegiani

REDAZIONE DEL NOTIZIARIO INGEGNERI

Roberta Mallardo, Elena Moro (coordinatrice)
Andrea Zagolin, Enrico Zorzi

EDITORE

Rassegna tecnica del Friuli Venezia Giulia s.r.l.
33100 Udine, via Monte San Marco, 56
C.F. e P. IVA n. 01339660308

CONSIGLIO DI AMMINISTRAZIONE

Presidente: Antonio Nonino
Consiglieri: Antonino Colussi, Marino Donada, Vittorio Drigo,
Adriano Mansutti, Andrea Sarcinelli

SEDE

33100 Udine - via Monte San Marco, 56
e-mail: info@rassegnatecnica.fvg.it
web: www.rassegnatecnica.fvg.it

PROPRIETÀ

Associazione Ingegneri della Provincia di Udine
Associazione Ingegneri e Architetti della Provincia di Pordenone

STAMPA

Cartostampa Chiandetti
33010 Reana del Rojale (UD) - via Vittorio Veneto
tel. 0432 857054 - fax 0432 857712
e-mail: info@chiandetti.it

REGISTRAZIONI

Tribunale Udine n. 245 del 17.1.1970
Iscrizione al R.O.C. n. 1747

ISSN 2421-0889



Associato all'USPI
Unione Stampa Periodica Italiana

La rivista si riceve solo per abbonamento.

L'abbonamento annuo ordinario è di € 15,00 (costo copia € 3,00).
Modalità di pagamento: bonifico su c/c della Banca di Cividale
Filiale di Udine, via Cotonificio (IBAN IT36 05484 12303 CC0530418133),
intestato a Rassegna tecnica del Friuli Venezia Giulia s.r.l.
L'abbonamento annuo per gli iscritti agli albi professionali
degli Ingegneri è ridotto a € 10,00.

La pubblicazione di una memoria non implica riconoscimento
o approvazione dei giudizi espressi dagli autori.
Gli originali dei testi, i disegni e le fotografie, anche se non pubblicati,
non si restituiscono, salvo preventivi accordi con la direzione.

SOMMARIO

- 4 **Appunti sul Vajont**
GIORGIO DRI
- 8 **La diga del Vajont**
NINO APRILIS
- 16 **Vajont 1963: la storia idraulica**
LUIGI DA DEPPO
- 27 **La storia nella storia**
MARTINA TOFFOLO
- 36 **Gli abitanti di Erto e Casso
che continuano a resistere sulle loro montagne**
ANTONIO CARRARA
- 38 **Comuni di Erto e Casso e di Vajont.
L'urbanistica della ricostruzione**
GIORGIO DRI
- 42 **Ri-costruire identità.
Le chiese e i cimiteri di Erto e Vajont**
GIORGIO DELLA LONGA
- 52 **Diga del Vajont. Verifiche strutturali
dello sbarramento a 60 anni dalla frana**
PAOLO CHEMELLO, MATTEO BURATIN
- 60 **Il ruolo delle figure tecniche professionali
dell'Autorità di controllo statale sulle grandi dighe**
ELISA MINTO, MATTEO BENVENÙ
- 66 **Una sintesi delle interpretazioni
della frana del Vajont (9 ottobre 1963)**
RINALDO GENEVOIS
- 78 **I tecnici di fronte alla complessità del Vajont:
carenze conoscitive e accondiscendenza**
PAOLO PARONUZZI, ALBERTO BOLLA
- 86 **Lo sviluppo economico
per contrastare lo spopolamento della montagna**
SAVERIO MAISTO
- 88 **Ricordare il dolore**
GIORGIO DRI
- 90 **Museo di Longarone "Attimi di storia"**
SONIA BORTOLUZZI
- 92 **Vajont, immagini e memorie
nella ex scuola elementare di Erto**
PARCO DOLOMITI FRIULANE

In copertina:

Nel Bosco Vecchio del Vajont sono presenti degli alberi sopravvissuti
alla tragedia che hanno assunto nel corso del tempo
una forma straordinaria: i rami dei tronchi, inclinatissimi a causa
del terreno franato, si sono trasformati in veri e propri alberi



MODESTO
ASCENSORI

50th

In ogni contesto, con ogni forma
NOI CI SIAMO
dal 1971



www.modestoascensori.it
0432 785753



**Degano.
Grandi collaborazioni
per grandi opere.**



DEGANO PER WARTSILA SPA. Intervento di rifacimento tetto e smaltimento amianto in collaborazione con l'azienda di servizi elicotteristici Elifriulia, per un risultato garantito e in totale sicurezza.

 **DEGANO**
PRODUZIONE, VENDITA, INSTALLAZIONE TETTI
DAL 1961

SICURO, È DEGANO.

Appunti sul Vajont

Per inquadrare la tragedia e la ricostruzione del territorio sconvolto dall'esonazione del serbatoio del Vajont è utile prendere in considerazione due profondi cambiamenti avvenuti nella vita economica e politica italiana nei mesi precedenti il 9 ottobre 1963. La istituzione dell'Ente nazionale per l'Energia elettrica disposta con legge 6 dicembre 1962, n. 1643¹, da un lato, e dall'altro la partecipazione del partito socialista al governo. Dapprima con l'appoggio esterno, nell'esecutivo presieduto dall'onorevole Amintore Fanfani, democristiano (febbraio 1962-giugno 1963), poi con il coinvolgimento organico, nel successivo presieduto dall'onorevole Aldo Moro, democristiano (dicembre 1963-luglio 1964). Con Moro ebbe inizio il cosiddetto "centro-sinistra organico" con vari deputati socialisti nominati ministri. Fra questi, Pietro Nenni nella carica di vicepresidente del Consiglio dei ministri, Antonio Giolitti al Bilancio e Giovanni Pieraccini ai Lavori pubblici, che di fatto indirizzeranno l'azione dello Stato nella ricostruzione e sviluppo di quella che, fin da subito, entrerà nell'immaginario collettivo come la "tragedia del Vajont".

La nazionalizzazione dell'energia elettrica

Fra gli elementi qualificanti la "partecipazione" socialista nel governo rientra la nazionalizzazione dell'energia elettrica per eliminare la gestione monopolistica del settore. Il neoistituito ente assorbì più di un migliaio di operatori privati, produttori di elettricità con diverse tecnologie, che la distribuivano con diverse utilità. Se l'obiettivo dichiarato dell'Enel era di fornire l'energia necessaria alla modernizzazione delle strutture e l'industrializzazione della produzione del Paese, altrettanto esplicita era la modalità principale di generazione dell'elettricità: gli impianti idroelettrici, cioè l'"oro bianco".

Nel panorama italiano in posizione di favore si trovava la società Adriatica di Elettricità, fondata nel lontano 1905 a Venezia da Giuseppe Volpi (poi nominato conte di Misurata) e dal conte Giuseppe Revedin, che rappresentava il maggior fornitore di energia elettrica per le grandi città venete e i territori friulani e giuliani con importanti diramazioni in Emilia-Romagna. La Sade (anzi, la società Idroelettrica delle Dolomiti, poi incorporata nella Sade) aveva avviato, fin dai primi decenni del secolo scorso, la realizzazione del progetto "Grande Vajont" per lo sfruttamento delle acque dei corsi d'acqua Piave, Boite, Maè, Vajont, con la realizzazione di varie dighe, numerose centrali e un articolato sistema di interconnessioni. In questo progetto rientrava (come un vero e proprio gioiello della ingegneria italiana) anche la diga ad arco del Vajont progettata nel 1929 dall'ingegnere Carlo Semenza, alta 130 metri e invaso di 34milioni di metri cubi (l'opera realizzata avrà un'altezza doppia, esattamente 261,60 metri, e formerà un bacino lacustre cinque volte maggiore, esattamente 168,7milioni di metri cubi).

Ultimata la costruzione delle opere principali e complementari, vennero avviate le prove di collaudo con l'invaso e lo svasso del bacino artificiale per certificare il suo corretto funzionamento e rendere operativa la centrale idroelettrica. Secondo taluni, fu proprio la fretta nell'eseguire le prove propedeutiche al collaudo a causare la frana del monte Toc precipitata nel bacino del Vajont (con un volume stimato di 260 milioni di metri cubi), ma questa circostanza non venne ritenuta plausibile dalla magistratura. L'indennizzo degli impianti passati dalla Sade allo Stato non era infatti condizionato alla funzionalità degli impianti espropriati ma dal valore delle azioni quotate in Borsa.



Il ruolo dello Stato nella ricostruzione

A nemmeno un mese dal disastro, il Parlamento approvò (4 novembre 1963) la legge (n. 1457) che avrebbe disciplinato la ricostruzione dei territori sconvolti dall'onda che scavalcò la diga del Vajont. Fra gli obiettivi emerge un aspetto innovativo per l'epoca: i piani urbanistici dei comprensori. Era questa una novità disciplinare, anche se la legge urbanistica nazionale (legge 17 agosto 1942, n. 1150) prevedeva i piani territoriali di coordinamento, che tutto sommato perseguivano le medesime finalità².

L'articolo 3 della legge specificò: «Ai fini dell'organico e programmato assetto della zona, sono redatti i piani urbanistici per i comprensori dei territori ricadenti nel territorio della provincia di Belluno e in quello della provincia di Udine» (allora la provincia di Pordenone non era istituita). Di questi piani, il cui onere per la compilazione fu a carico dello Stato, vennero sommariamente definiti gli obiettivi e i contenuti:

- le previsioni per l'impianto, lo sviluppo e la trasformazione degli insediamenti abitativi e produttivi, con le destinazioni di uso e le relative norme;
- il sistema delle infrastrutture, gli impianti e le attrezzature pubbliche e di uso pubblico;
- i perimetri delle zone di interesse paesistico e storico artistico, le relative modalità di utilizzazione e le eventuali prescrizioni speciali di uso;
- i programmi e le fasi di attuazione.

Vennero pure indicate le modalità della loro adozione e approvazione stabilendo l'efficacia loro assegnata, pari a quella di piano particolareggiato di esecuzione.

Da questi semplici richiami si intuisce il carattere di stretta integrazione tra pianificazione urbanistica e programmazione economica che lo Stato volle assegnare al ripristino degli insediamenti lungo la valle del Piave e nella pedemontana pordenonese: un cavallo di battaglia della componente socialista al governo. Un cavallo di battaglia anche dell'architetto Giuseppe Samonà, all'epoca direttore dell'Istituto universitario di Architettura di Venezia, che in quei tempi stava sperimentando un simile intreccio di contenuti economici e urbanistici nel piano provinciale del Trentino.

La progettazione urbanistica condotta dal gruppo di progettazione coordinato da Samonà³ su Longarone e sull'area comprensoriale – comprendente 29 comuni – del Piave venne quasi fin dall'inizio contestata dagli amministratori comunali e dai superstiti. Pur apprezzando l'assetto viabilistico e l'azzonamento di Samonà, non vennero in particolare gradite e condivise le tipologie edilizie previste: case a schiera e a gradoni, piastre sospese, giardini pensili sui tetti. Questi e altri contrasti produrranno ritardi nella ricostruzione e, di conseguenza, vanificheranno l'impostazione generale di Samonà che teneva uniti – sul versante disciplinare – i momenti della pianificazione urbanistica e dell'intervento edilizio.

Ripensando a questa esperienza possiamo dire che a Longarone si affermò una modalità che solamente molti anni conquistò un ruolo e una funzione nei rapporti tra pubblico e privato: l'urbanistica partecipata. Infatti, il Comitato dei superstiti espresse la forte determinazione che la ricostruzione venisse attuata con l'assenso della comunità degli aventi diritto alle nuove case e nel rispetto della tradizione locale, individuata nei tetti a falda, cortine edilizie lungo le strade, diversi trattamenti delle facciate principali.

Per esaudire le richieste fatte da amministratori e superstiti, finalizzate a modificare il piano urbanistico e la specificazione delle unità di abitazione da ricostruire, vennero coinvolti vari professionisti esterni: fra questi, gli udinesi Roberto Novarin, ingegnere, a cui venne affidato l'ufficio Tecnico di Longarone, Gianni Avon e Francesco Tentori, architetti, incaricati di coordinare e progettare l'edilizia privata rispetto all'assetto planivolumetrico contenuto nel piano particolareggiato.

In pratica a Longarone, considerando le abitazioni, le strutture di servizio, le opere pubbliche, vennero rispettate solo in minima parte le scelte operate a livello generale della pianificazione urbanistica. Il paese ricostruito ai giorni nostri fornisce l'impressione di un insediamento di recente edificazione, anonimo, caratterizzato da manufatti che genericamente ricordano la cultura

tradizionale di montagna. Gli episodi architettonici che impegnarono diversi professionisti nella progettazione e realizzazione di architetture riconosciute e storicizzate dalla critica, piuttosto estranee alla cultura e tradizione locale (la scuola primaria “Bambini del Vajont” di Costantino Dardi, la “casa alta” di Valeriano Pastor, la chiesa di Santa Maria Immacolata di Giovanni Michelucci, le scalinate dei Murazzi di Gianni Avon e Francesco Tentori, opere assai diverse fra loro ma tutte connotate da una grande attenzione all’articolazione degli spazi, alla composizione dei volumi, alle funzioni da svolgere), “si perdono” in un paesaggio urbano indifferenziato, che non propone altri motivi di interesse.

Lo “scollamento” tra queste diverse modalità di intervento è ancora oggi, a sessant’anni dal tragico 9 ottobre 1963, argomento di dibattiti, motivo di distinguo politico, oggetto di confronti tecnici.

Infine, molte di queste architetture, che configurano un archivio di opere contemporanee realizzate in poco più di un decennio, soffrono (e non da oggi) di evidenti problemi di “invecchiamento” e di “inadeguatezza”: è quindi evidente che questo patrimonio suggerisce la necessità di individuare specifici interventi di salvaguardia, con azioni di restauro e di recupero fisico e funzionale.

La tragedia del Vajont non è una calamità naturale

I sessant’anni trascorsi dal 9 ottobre 1963 hanno raggiunto un punto fermo: nella comunità nazionale – soprattutto per merito di tanti autori generalmente estranei al mondo delle professioni tecniche che hanno documentato con libri, rappresentazioni teatrali, film, attraverso quali pratiche dannose, spregiudicate, negligenti, si sviluppò la realizzazione della diga e dell’invaso del Vajont – si è consolidata la conoscenza che questo progetto costituiva una forzatura tecnica di indiscriminato sfruttamento idroelettrico a danno dell’ambiente e della gente che abitava quelle terre da sempre.

E si sono affermate la conoscenza e la convinzione che a causare il disastro non fu una calamità naturale, imprevedibile e imponderabile, ma furono le ripetute sottovalutazioni, da parte di chi rivestiva i compiti di gestione dell’impianto e di conduzione dei lavori, degli inequivocabili segnali della movimentazione della frana del monte Toc (aumento della velocità di traslazione della roccia, allargamento delle fessure nel terreno, considerevole caduta di sassi, evidente inclinazione degli alberi) che la gente del Vajont (amministratori e abitanti della valle) evidenziò in vari modi, rimanendo inascoltata.

Il presidente della Repubblica, Sergio Mattarella, nel corso della visita a Longarone e a Erto e Casso nell’ottobre di quest’anno affermò: «La tragedia che qui si è consumata reca il peso di gravi responsabilità umane».

Una sottovalutazione fatale, una colpevole “leggerezza” che va imputata – come le sentenze definitive hanno stabilito – soprattutto all’ingegnere Alberico Biadene, direttore del servizio Costruzioni idrauliche della Sade, che non seppe prendere in tempo le decisioni che le circostanze richiedevano. E che il suo comportamento sia stato perlomeno leggero, lo si può dedurre da quanto annotò, a penna, sul retro di una lettera dattiloscritta inviata la mattina del 9 ottobre all’ingegnere Mario Pancini, capo cantiere, per richiamarlo al lavoro. Il post scriptum, si conclude così: «Che Iddio ce la mandi buona».

GIORGIO DRI

NOTA 1

Il decreto del Presidente della Repubblica 4 febbraio 1963, n. 36 contiene le clausole relative al passaggio all’Enel dei beni utilizzati per la produzione elettrica e tutti i documenti che attestino l’attività svolta dalle imprese private “nazionalizzate”.

NOTA 2

La pratica urbanistica italiana si era già impegnata e si stava applicando su una dimensione “compre-

soriale” della pianificazione, con il Piano regolatore della Valle d’Aosta (1936-37) coordinato da Adriano Olivetti, con il Piano intercomunale dell’area Milanese (fine anni Cinquanta), la cui formazione venne disposta dal ministero dei Lavori pubblici, con il Piano urbanistico provinciale di Trento (anni Sessanta) curato da Giuseppe Samonà.

NOTA 3

È da sottolineare che l’incarico a Giuseppe Sa-

monà venne assegnato dal Consiglio superiore dei Lavori pubblici nel dicembre 1963. Il gruppo di progettazione del Piano urbanistico comprensoriale del Vajont è formato da (giovani) docenti legati dell’Iuav, Istituto universitario di Architettura di Venezia: Giuseppe Samonà (coordinatore), Costantino Dardi, Emilio Mattioni, Valeriano Pastor, Gianugo Polesello, Luciano Semerani, Massimo Tessari. Quattro componenti su sette erano della nostra regione.

La diga del Vajont

ING. NINO APRILIS, libero professionista, in Pordenone

8 RT 394 La diga del Vajont – all’epoca della sua costruzione la più alta struttura ad arco del mondo – ultimata dalla Sade sul torrente omonimo in provincia di Belluno, si inserisce col suo serbatoio nell’impianto idroelettrico Piave-Boite-Maè-Vajont, contribuendo a migliorare e aumentare l’energia prodottavi.

L’impianto Piave-Boite-Maè-Vajont è costituito essenzialmente da una serie di serbatoi sul tronco medio del fiume Piave (da Pieve di Cadore a Ponte nelle Alpi) e sui suoi effluenti. I serbatoi sono collegati da un sistema di gallerie in pressione della lunghezza di una cinquantina di chilometri fino al pozzo piezometrico della centrale utilizzatrice che è a Soverzene. I serbatoi sono formati dalle dighe di Valle, Vodo, Pieve di Cadore, Val Gallina, Pontesei, Vajont.

Situazione geologica

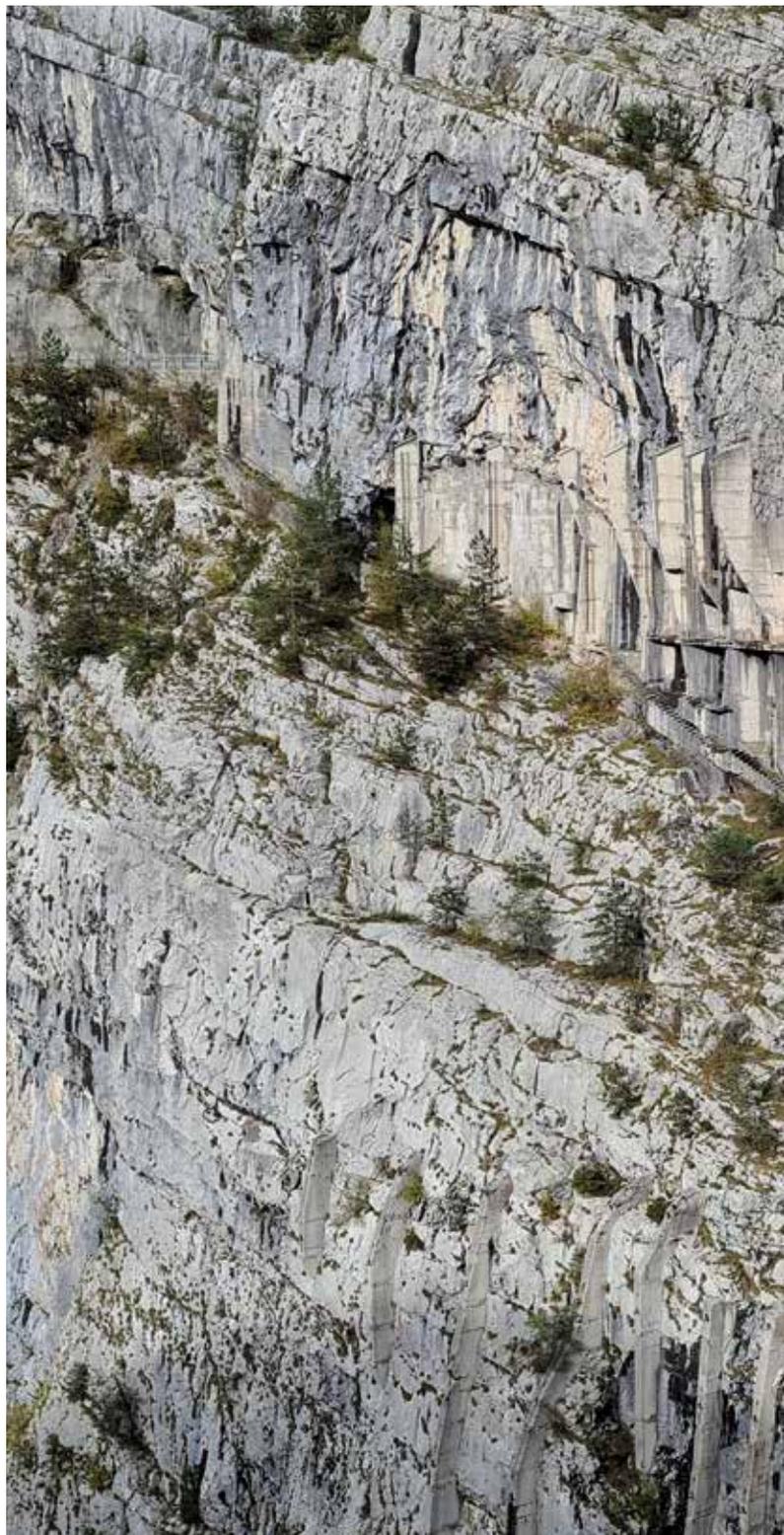
La diga è situata in una grandiosa gola di erosione nei calcari del Giurese medio del torrente Vajont, affluente del Piave a Longarone. I banchi rocciosi sono inclinati verso monte e quindi con una giacitura favorevole; la roccia è buona salvo in qualche punto nella parte più alta della gola, dove è alquanto fratturata, sia secondo piani verticali paralleli al piano assiale della valle, sia per piani verticali, ma a 45° rispetto ai precedenti. Questa situazione, che ha potuto essere constatata dai geologi nella sua vera entità soltanto a seguito degli scavi per le imposte, ha costretto oltre che a scavi supplementari dell’ordine di 50mila metri cubi.

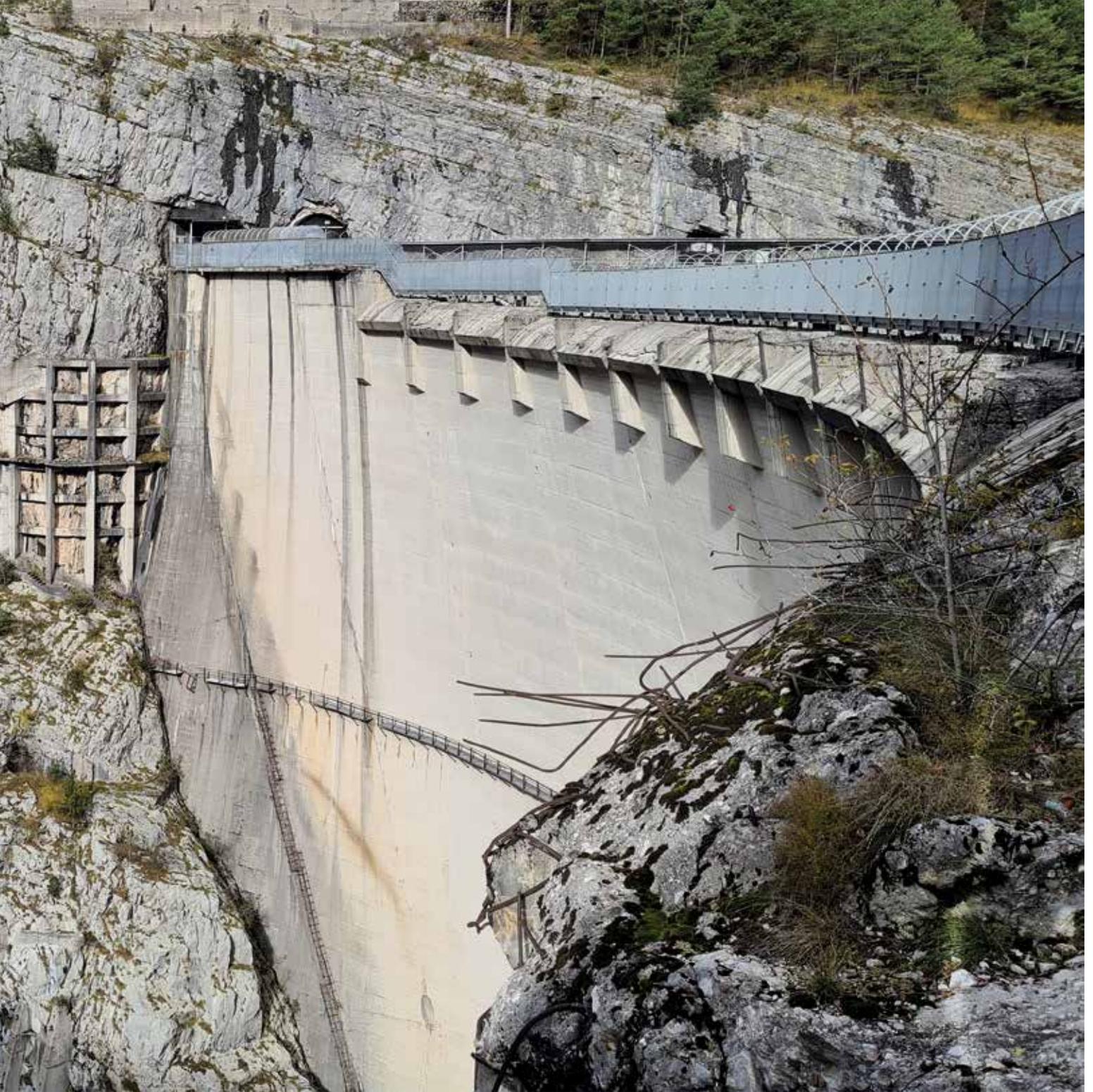
L’impermeabilità dei fianchi rocciosi è risultata nella media abbastanza buona; in alcune zone del fianco sinistro, tuttavia, si sono riscontrati degli assorbimenti anche notevoli. Il miglioramento ottenuto dopo la prima campagna di iniezioni è stato comunque assai soddisfacente, come hanno mostrato alcuni fori di controllo.

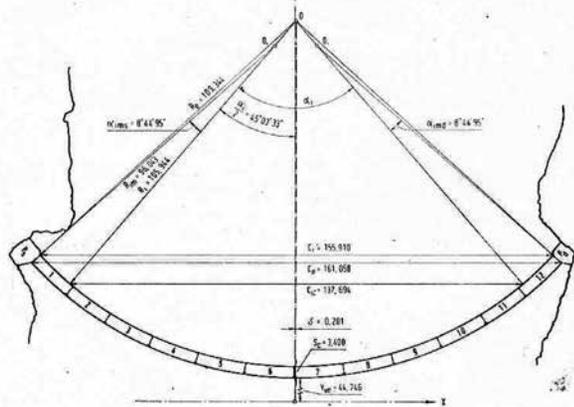
Dati geometrici

La diga è una struttura in calcestruzzo ad arco a doppia curvatura, o come si suol dire “a cupola”, lievemente asimmetrica; però le singole sezioni orizzontali della volta sono simmetriche rispetto a una superficie curva avente un andamento mediamente inclinato di circa il 4% rispetto alla verticale.

L’altezza massima dell’opera è di 261,60 metri, lo sviluppo al coronamento è di 190. Gli spessori in chiave sono i seguenti: in sommità 3,40 metri; alla base 22,11. Il volume è di 351mila metri cubi, volume relativamente ridotto date le eccezionali dimensioni dell’opera e comunque alquan-







to inferiore a quello della diga della stessa altezza che si prevedeva prima di eseguire le prove su modello. Questo dimostra il lavoro di affinamento che si è potuto effettuare attraverso le indagini di laboratorio, raggiungendo contemporaneamente un miglioramento nel coefficiente di sicurezza.

La «cupola» propriamente detta poggia su un «pulvino» di fondazione in calcestruzzo, gettato lungo tutta l'imposta. Un giunto perimetrale continuo è pertanto realizzato lungo l'imposta stessa. Altri due tipi di giunti sono realizzati nella struttura: una serie di giunti di lavoro temporanei, subverticali in ragione di uno ogni 12 metri; tre giunti sub-orizzontali a diverse quote, permanenti, per suddividere la cupola in quattro parti secondo i risultati del modello.

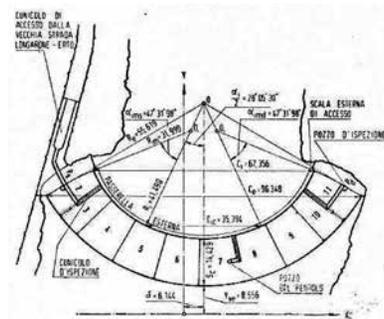
Le dighe a volta o ad arco

Si dicono dighe a volta unica o ad arco gli sbarramenti di calcestruzzo semplice o armato nei quali gli sforzi vengono trasmessi principalmente alle sponde della valle per effetto d'arco. Con essi, cioè, si tende a conseguire la stabilità con la forma della struttura anziché col peso e tanto meglio quanto più essa è sottile, compatibilmente con le esigenze della statica. Condizione essenziale per l'adozione di questo tipo di diga è di avere lungo tutto l'appoggio perimetrale terreni costituiti da rocce di particolare compattezza, stabilità e resistenza.

Il campo di applicazione delle dighe a volta interessa le gole montane aventi una larghezza in sommità fino a quattro volte l'altezza sull'alveo; eccezionalmente sono stati raggiunti valori maggiori, fino a 5,5.

Una diga a volta presenta un maggiore sviluppo planimetrico in confronto a una gravità massiccia (un esempio nella nostra regione è la diga di Ravedis) adatta alla stessa sede e di pari altezza; ma il profilo più snello comporta minori volumi della muratura, che si traducessero, all'epoca, in risparmio nella spesa e nel tempo necessario per la costruzione. In condizioni morfologiche favorevoli, la riduzione di volume della struttura ad arco può superare il 40% a fronte di un notevole maggiore volume degli scavi. Quest'aspetto conseguiva dalla necessità di progettare volte a forma simmetrica rispetto al piano verticale di mezzeria, dando luogo a incisioni talora profonde nelle sponde della valle da sbarrare.

Le dighe a volta sono strutture che offrono larghe e imponderabili risorse di sicurezza, laddove la stabilità delle sponde sia garantita, condizione che non si verificò per la diga di Malpasset in Francia. Era uno sbarramento artifi-



←
Sezioni orizzontali della diga:
• arco a quota 720
• arco a quota 590

ziale costruito a circa 7 chilometri da Fréjus, sul torrente Reyran, nel dipartimento del Var. La diga si ruppe nel 1959 causando un'inondazione che provocò la morte di 423 persone. Circa 50 milioni di metri cubi di acqua scesero a valle a una velocità di 70 km/h, con un'onda di piena alta circa 40 metri. L'onda distrusse l'abitato di Malpasset, dove si lamentò la quasi totalità delle 421 vittime ufficialmente censite; venti minuti dopo il crollo della diga, l'onda arrivò sino a Fréjus. Si tratta della più grave catastrofe dovuta a bacini idraulici artificiali che abbia mai interessato la Francia. Si attribuì il crollo alla cattiva qualità del calcestruzzo, in particolare alla sua disomogeneità, impiegato nella costruzione della diga, completata e posta in esercizio solo dieci anni prima. Ulteriore concausa furono le violente piogge abbattutesi nei giorni precedenti l'evento sulla Costa Azzurra. Le acque piovane ebbero modo di infiltrarsi sotto le fondazioni poiché, allorché furono condotte le sommarie indagini geologiche preliminari che risultano dagli atti giudiziari, le rocce sulle quali queste poggiavano si rivelarono permeabili assai più di quanto stimato.

La diga del Vajont è una diga a raggio variabile, essendo impostata su una sezione della stretta che si restringe verso il basso: L'opportunità statica di disporre gli archi inferiori con ampiezze non minori di 80-90° comportò la necessità di avvicinare i centri di curvatura alla diga, ovvero il razionale criterio di accostare il più possibile l'asse geometrico alla linea delle pressioni condusse a realizzare anelli a direttrice policentrica con spessore variabile dal vertice alle imposte, dal che conseguirono volte con generatrici inclinate, curve e anche a strapiombo. In questi casi la volta tende ad accostarsi a uno spicchio di cupola, e all'orditura di archi e di mensole viene a sostituirsi un doppio sistema di archi, orizzontali e verticali: questi ultimi puntano in basso sulla fondazione e in alto contro un anello rinforzato che funge da coronamento.

Determinazioni preliminari

Oltre ai normali rilievi topografici e geologici, questi ultimi anche a mezzo di estesi sondaggi, furono eseguite le seguenti determinazioni:

- modulo elastico dinamico delle imposte rocciose in prossimità della diga con metodo geosismico;
- modulo elastico dinamico dopo effettuate le iniezioni generali dello schermo pure con metodo geosismico;
- determinazione del modulo elastico (statico) entro cinque cunicoli aperti sulle sponde della valle;
- modulo elastico (statico) mediante martinetto;

- rilievi con sonda ottica per l'esame delle condizioni all'interno della roccia. I rilievi, di notevole interesse, furono condotti su nove fori di lunghezza massima di 25 metri;
- rilievi sistematici, col metodo geosismico, del modulo elastico prima, durante e dopo le iniezioni di consolidamento delle zone d'appoggio dei pulvini, in modo da assicurare di aver raggiunto uno standard prefissato nella velocità di propagazione delle onde elastiche.

Dal rilievo della velocità di propagazione delle onde sismiche (provocate) di compressione si ricavano notevoli informazioni sulla consistenza e sul grado di omogeneità della roccia e si aveva la possibilità di calcolare il modulo di elasticità dinamico della formazione rocciosa esplorata, cosicché il confronto con le stesse grandezze misurate prima del consolidamento offriva la misura di quanto fossero migliorate le caratteristiche della formazione stessa.

Il modulo di elasticità della roccia Er fu assunto variare linearmente da un massimo di 75.000 kg/cm² a quota 620 metri s.l.m. a un minimo di 37.500 kg/cm² a quota 720, mantenendosi costante esternamente a questo intervallo. Per il rapporto di contrazione laterale della roccia pr si adottò un valore costante per tutta l'altezza della gola sbarrata e uguale a quello del calcestruzzo pari a 0,16. La roccia su cui è fondata la diga fu considerata elastica e i relativi cedimenti valutati in base alle formule del Vogt.

Analisi di calcolo

Il progetto della diga fu sottoposto a una serie di calcoli analitici con i più attendibili procedimenti in uso per le dighe ad arco (metodi del Guidi), ad archi indipendenti a spessore variabile (metodo del Tolke).

Nel primo caso la volta viene suddivisa in un numero finito di archi orizzontali, soggetti alla pressione idrostatica uniforme sull'estradosso e alle variazioni termiche. Gli archi vengono ritenuti perfettamente incastrati ai due estremi nelle sponde rocciose della stretta e non reagenti in alcun modo l'uno sull'altro. La verifica della stabilità della diga si riduce così a risolvere, tante volte quante sono gli archi orizzontali, il problema dell'arco incastrato agli estremi, il cui grado di iperstaticità, grazie alla simmetria tipica di questa situazione, si riduce a due. Le soluzioni che si sviluppano di solito si basano sulle ipotesi della perfetta elasticità dell'arco e della indeformabilità dell'arco.

Il metodo del Tolke si basa sulla teoria del serbatoio e si propone di pervenire a una determinazione indicativa della ripartizione del carico idrostatico tra elementi orizzon-

tali e verticali in corrispondenza della mensola maestra, e delle conseguenti tensioni.

L'importanza della costruzione consigliò un'ulteriore verifica mediante un metodo di ripartizione dei carichi tra archi e mensole. In una diga arcuata monolitica si ha sempre una resistenza longitudinale (arco) e una resistenza trasversale (mensola), il rapporto delle quali va variando col mutare dei rapporti fra dimensioni longitudinali e trasversali, e quindi della rigidità trasversale rispetto alla longitudinale.

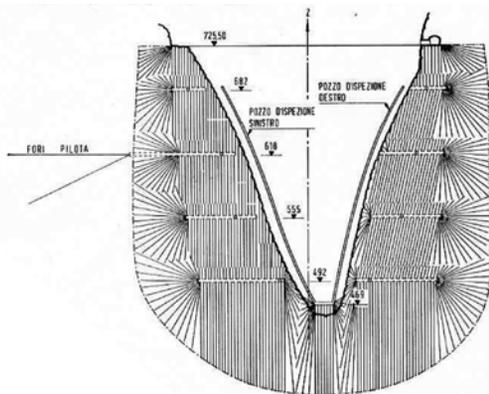
Il calcolo per anelli elastici indipendenti trascura la mutua azione fra anello e anello; ciò mentre contribuisce alla stabilità della struttura in quanto considera gli archi soggetti a una pressione maggiore di quella effettiva, non pone in conto le sollecitazioni e i momenti derivanti dall'effetto mensola che possono portare in definitiva a tensioni maggiori.

Un migliore accostamento al reale comportamento statico della diga si ebbe supponendo la struttura formata da un sistema di anelli indipendenti fra loro e da un sistema di mensole pure indipendenti fra loro, ma in modo che sussista la congruenza tra gli spostamenti dei due sistemi portanti. Seguendo questo criterio si tratta di cercare una ripartizione del carico idrostatico fra gli archi e le mensole, tale che lo spostamento di un punto qualunque della diga sia il medesimo, lo si consideri come appartenente all'arco o alla mensola che in esso si intersecano.

Si utilizzò l'Algebraic Load Method, sviluppo del Trial Load Method, che presenta la caratteristica di ricercare la congruenza delle deformazioni tra elementi verticali e orizzontali, mediante la risoluzione di un sistema di equazioni lineari algebriche.

Mentre nelle precedenti applicazioni del metodo si erano considerate per i carichi esterni (radiali) soltanto le deformazioni radiali delle sezioni orizzontali, nella verifica a mezzo del calcolatore elettronico FINAC dell'Istituto nazionale per le Applicazioni del Calcolo, a Roma, si determinarono anche le deformazioni lungo le linee dei centri delle predette sezioni (deformazioni tangenziali) nonché le loro rotazioni (deformazioni angolari), ciò che ha richiesto l'introduzione di carichi interni tangenziali e torcenti. Le azioni dovute ai carichi termici, a differenza di quanto fatto in analoghe precedenti analisi, furono calcolate, con il metodo proposto dall'Arredi, indipendentemente da quelle dei carichi idrostatici per poter avere gli elementi di confronto con i risultati ottenuti con le prove su modello.

In conclusione, si definì che la diga lavorava essenzial-



mente in compressione, raggiungendo un massimo a quota 550 metri s.l.m. in chiave, per le tensioni radiali sinistre prodotte a monte del carico idrostatico, che si incrementa leggermente d'estate e d'inverno a causa del carico termico. Le analoghe sollecitazioni massime a valle erano leggermente più modeste sempre a quota 550 metri all'imposta. Non mancavano zone in cui si verificano delle trazioni di lieve entità, precisamente nella parte centrale della diga a valle fra le quote 490 e 520. A monte le zone di trazione si trovano invece al coronamento verso l'imposta, del tutto insignificanti.

Prove su modello

Fu eseguita una serie di prove su modello. Precisamente, a Bergamo, al laboratorio Ismes, sotto la direzione del professore Oberti, furono eseguiti due grandi modelli in scala 1:35 su due progetti successivi della struttura. Il secondo modello in particolare, corrispondente al progetto definitivo, risultante delle modifiche richieste dall'avanzamento degli scavi in roccia, ha consentito un affinamento della struttura e conseguentemente una notevole economia; nello stesso tempo ha dimostrato che era stata raggiunta una migliore distribuzione negli sforzi e una riduzione dei loro valori massimi. Sono stati inoltre eseguiti modelli e prove particolari sulle imposte degli archi, sulla roccia, sui materiali impiegati.

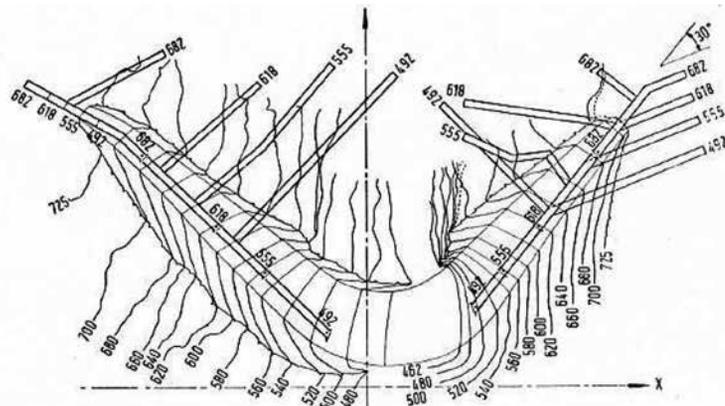
Con 175 martinetti idraulici erano simulate le spinte dell'acqua sul corpo diga e sulle rocce vicine. Con cavi collegati alla base dei modelli venivano misurate le tensioni cui era sottoposto il corpo della diga.

Le sollecitazioni unitarie massime della struttura, desunte dalle prove, sono risultate dell'ordine di 65 kg/cm² a compressione, e di poco superiori quelle desunte dall'analisi; mentre le sollecitazioni di trazione sono risultate pressoché trascurabili.

Esecuzione degli scavi. Briglia di contenimento

Gli scavi furono eseguiti all'aperto, dall'estate 1957 all'agosto 1958, procedendo contemporaneamente a difficili lavori di consolidamento della roccia e di armatura delle pareti. Si impiegarono fori di lunghezza variabile da 30 metri nella zona più esterna a 1,60 metri in vicinanza delle imposte. Anche le cariche di esplosivo venivano man mano diminuite in modo da non provocare fessurazioni. Nella maggior parte dei casi si impiegarono cariche microritardate con inneschi elettrici

Il volume totale degli scavi, previsto originariamente



in 330mila metri cubi, ha raggiunto 417mila metri cubi. Il materiale che cadeva sulla fondazione della diga veniva trasportato in discarica con autocarri, sia attraverso una apposita galleria, sia lungo il letto del torrente. Tutto il materiale scavato è stato disposto a valle della diga, fra la diga principale e una briglia in calcestruzzo costruita allo sbocco del torrente Vajont nel Piave, con lo scopo di contenere la discarica.

Il pulvino d'imposta e i problemi costruttivi

La necessità che tutti gli elementi geometrici dell'opera e della sua fondazione, oltre a essere ben proporzionati, siano distribuiti e variabili con gradualità, evitando singolarità o discontinuità geometriche di qualsiasi tipo, si traduceva nella raccomandazione che la linea d'imposta (e, quindi, anche della diga) fosse, per quanto possibile, simmetrica rispetto al piano verticale contenente i centri di curvatura. Il risultato venne ottenuto regolarizzando con getti in calcestruzzo la sezione di sbarramento (non simmetrica nelle condizioni naturali), così da trasferire la reale imposta degli archi su una superficie geometricamente regolare e ben definita, separata dalla roccia dal cosiddetto "pulvino d'imposta". La superficie sulla quale si dispongono le imposte degli archi materializza una separazione tra dighe e fondazione chiamata "giunto perimetrale".

Da un punto di vista costruttivo, la creazione del pulvino col giunto perimetrale determina alcuni vantaggi, fra i quali i principali sono:

- dà luogo a un'integrazione della roccia e realizza la regolarità del vincolo;
- il getto della diga può procedere secondo un ordine molto razionale, in quanto la costruzione del pulvino può precedere anche di mesi quella dei conci;
- i provvedimenti di saldatura alla roccia (iniezioni di cucitura) vengono facilitati nella loro esecuzione.

La ricostruzione del piano d'appoggio degli archi a mezzo del pulvino dà modo di modificare la gola da sbarrare (si veda, a maggiore esempio, la diga di Ponte Racli, sul torrente Meduna) così da consentire, oltre che l'adozione di archi abbastanza ampi nella parte bassa e forme regolari della volta, l'impostazione degli archi (orizzontali) alle diverse quote in modo corretto rispetto alle corrispondenti curve di livello, ovvero curando che la tangente alla fibra media di ogni arco incida, tramite il pulvino la curva secondo un angolo il più possibile uguale a 90°.

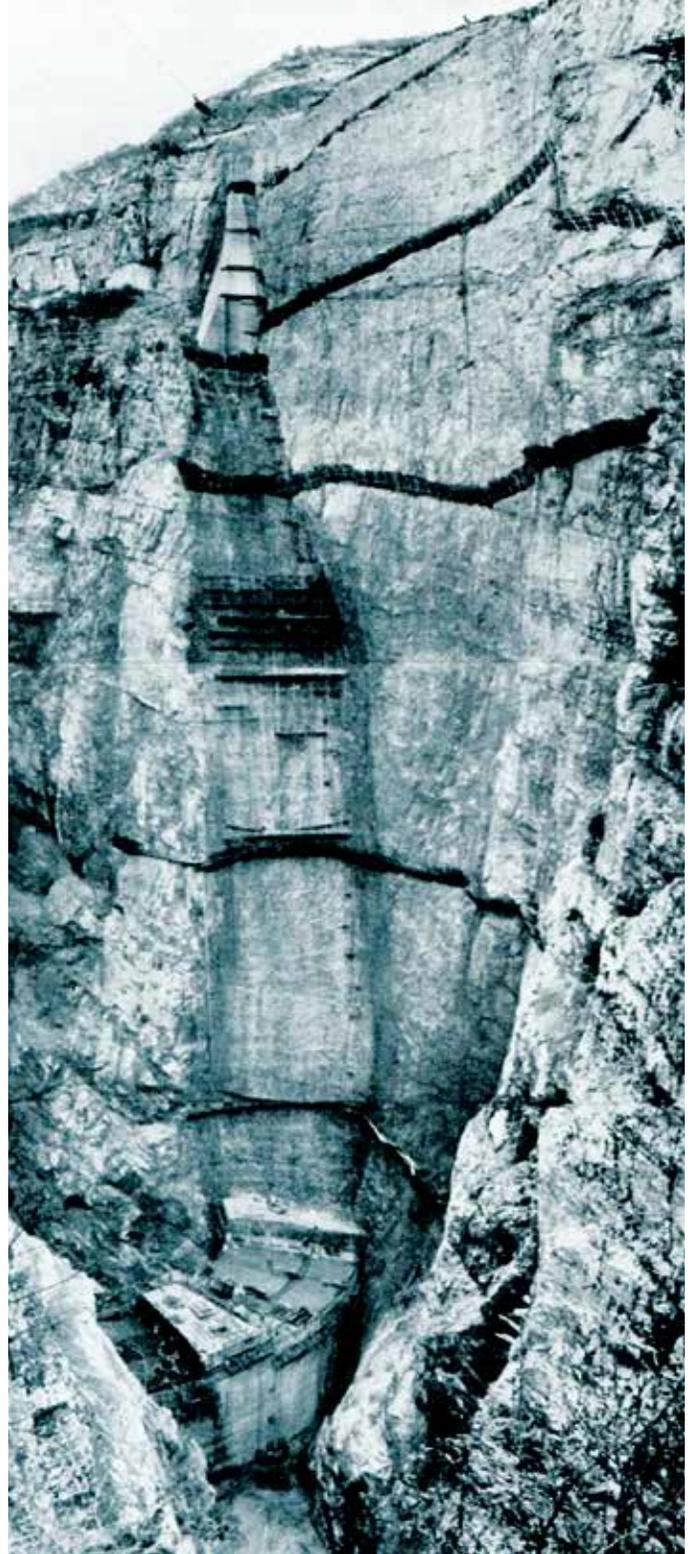
Il tracciamento della diga porta a sezione trasversali, soprattutto nella parte centrale strapiombanti verso val-

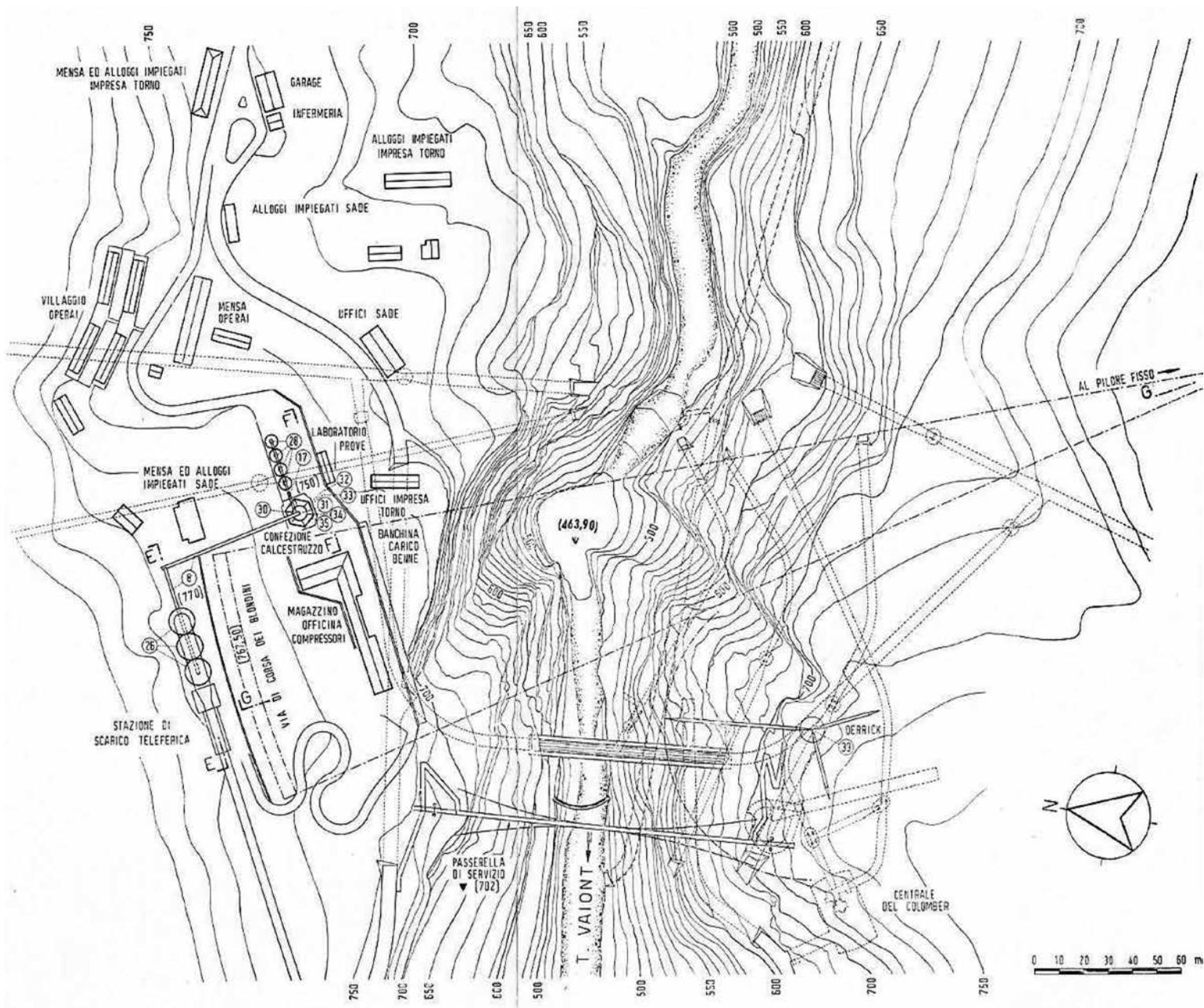
←
Schema della impermeabilizzazione

→
Planimetria degli impianti di cantiere
in corrispondenza della diga

←
Cunicoli per le iniezioni in destra e in sinistra
alle quote 682, 618, 555, 492

↓
Le superfici di contatto della diga
con le sponde rocciose della stretta del Vajont:
• imposta sinistra
• imposta destra





le, il che porta a qualche problema costruttivo e statico in fase di getto del conglomerato, ricordando che la costruzione avviene per conci separati, edificando un insieme di mensole verticali divise fra loro dai giunti di costruzione normali alle superfici di estradosso e intradosso.

I maggiori oneri costruttivi dovuti al fissaggio delle casseforme per l'accentuato strapiombo e la necessità di evitare che il calcestruzzo, di getto recente, sia sottoposto a sforzi di trazione indussero a limitare lo strapiombo massimo entro il 30% e ad adottare speciali modalità nella distribuzione dei getti fra i conci e nella velocità di crescita dei conci stessi.

A getti ultimati, si provvede alla sigillatura per iniezioni dei giunti: la diga diventò da quel momento, con pienezza di comportamento, una lastra curva.

I giunti realizzati furono, dunque di tre tipi:

- giunto perimetrale: corre dalla sommità alla fondazione lungo tutto il pulvino;
- giunti di lavoro (temporanei), subverticali, mediamente uno ogni 12 metri;

- giunti suborizzontali, effettuati per dividere la struttura in quattro parti, secondo i risultati del modello e, ove necessario, in corrispondenza all'origine di nuovi giunti verticali.

I giunti di lavoro nascono sempre da un cunicolo orizzontale in modo da evitare il prolungarsi della fessura nella zona sottostante; a questo scopo furono disposte anche delle armature metalliche. Il cunicolo venne poi chiuso verso monte con apposito tampone prefabbricato.

I dispositivi di tenuta dei giunti sono costituiti da un nastro di resina sintetica situato a 0,41-0,21 metri (a seconda della quota) dal paramento di monte e da un lamierino di rame a 20 centimetri dal precedente. I giunti sono chiusi verso valle con cordoli di materiale plastico aventi lo scopo di contenere la boiaccia dopo le iniezioni.

Calcestruzzo

Il calcestruzzo veniva preparato con 250 kg di cemento ferrico pozzolanico tipo 500 fornito dalla Cementeria di

Vittorio Veneto. Il cemento aveva le seguenti caratteristiche: circa 160 kg di clinker e 90 kg di pozzolana; calore di idratazione a 28 giorni, 60 cal/gr; contenuto alluminato tricalcico del clinker, nullo; contenuto di silicato tricalcico, circa 55%.

Gli inerti erano costituiti da materiale naturale di fiume (il Piave), con elementi compresi tra 0,06 e 100 millimetri, suddivisi in sei classi (due classi di sabbia ottenute con separatore idraulico e quattro tipi di ghiaia).

Fino a quota 671,50 metri il calcestruzzo veniva disposto in strati da 60 centimetri con un'altezza massima complessiva ogni 72 ore di 2,40 metri. Ciascuna ripresa veniva resa scabra mediante «lavaggio» con aria e acqua in pressione e fu munita di cordolo perimetrale plastico a 20 centimetri dal paramento a monte; prima dell'inizio del getto veniva posto in opera uno strato di 1-2 centimetri malta. Dalla quota 671,50 metri e cioè per gli ultimi 50 metri di diga, sono stati eseguiti invece tre strati da 50 centimetri cadauno nelle 72 ore in modo da ridurre il ritmo di getto in relazione agli strapiombi verso valle della struttura.

Il calcestruzzo, trasportato sul posto con benne da quattro metri cubi, veniva spianato con un piccolo trattore e costipato con vibrator a siluro, diametro 125 millimetri, di lunghezza 90 centimetri, 11.800 vibrazioni al minuto primo. Il calcestruzzo veniva infine raffreddato in tutti i punti dove lo spessore della diga oltrepassa i 12,50 metri (quota 620) mediante circolazione di acqua entro serpentine disposte ogni 2,40 metri, impiegando l'acqua del serbatoio del Piave.

Iniezioni

L'insieme dei lavori di iniezioni comprende:

- uno schermo impermeabilizzante profondo 85 metri al di sotto del piano di fondazione e largo da 150 metri alla base a 60 in sommità, lungo le due sponde con una superficie totale di 80 mila metri quadrati; le iniezioni venivano eseguite a partire da otto cunicoli, quattro per sponda. I fori, uno per ogni 3,50-4,50 metri (a seconda della quota), sono disposti su due file distanti fra loro 1,50 metri; le pressioni variavano da 5 a 100 atmosfere a seconda della profondità;
- un complesso di iniezioni di consolidamento lungo le due imposte per una profondità da 15 a 30 metri, ponendo un foro ogni 6 metri quadrati, con pressioni da 2 a 25 atmosfere; ogni 5 metri di altezza veniva determinata, con metodo geosismico, la velocità di propagazione delle onde elastiche, prima e dopo le iniezioni di consolidamento; le iniezioni vengono eseguite fino a raggiungere lo standard di velocità minima pari a 3.000 m/s;
- iniezioni di cucitura fra roccia e calcestruzzo con una media di 30 metri per foro ogni metro di imposta con pressioni da 30 a 40 atmosfere.

La miscela normalmente usata era costituita da 50 kg di cemento, 1 kg di bentonite e 100 litri d'acqua.

L'assorbimento medio per metro di foro è stato di 75 kg di miscela normale.

Le iniezioni di impermeabilizzazione servono a impedire la formazione di vie d'acqua e a rendere impermeabile la fondazione

Le iniezioni di consolidamento servono a integrare le deficienze naturali del terreno di appoggio.

Strumenti di controllo

Nella diga è installata una complessa rete di controllo e di misura comprendente circa 350 tra strumenti e punti di misura. Essa è costituita da termometri, termopressimetri, termodilatometri, termoestensimetri e termopressimetri premontati su blocchi di calcestruzzo sezioni clinografiche (sulla sezione maestra), pendoli nella diga (nella sezione maestra), pendoli in roccia (nel pozzo montacarichi, sponda sinistra), stazioni clinografiche in roccia in sponde sinistra e destra, una stazione sismica in sponda sinistra, estensimetri a lunga base in roccia, oltre a una rete di triangolazione, di livellazione e di misura con collimatori.

Opere di scarico

Le opere di scarico del serbatoio comprendono tre scarichi in pressione:

- di alleggerimento;
- di mezzo fondo;
- di fondo,

capaci di scaricare in totale 284 m³/s. La diga è inoltre sfiorante nella parte centrale, attraverso sedici luci della larghezza di 6,60 metri, per una portata massima di 140 m³/s: la parte d'alveo posta a valle della diga deve poter sopportare le azioni che il getto trasmette.

Andamento della costruzione

La costruzione è stata iniziata nel 1956 con una deviazione stradale di circa 6 chilometri, resasi necessaria a causa della formazione del nuovo serbatoio. Gli scavi sono stati effettuati quasi completamente nell'estate del 1957 e nel 1958 fino al mese di agosto.

I getti sono cominciati nell'agosto del 1958, alla fine della stagione lavorativa del 1959 avevano raggiunto 298 mila metri cubi su un totale di 351 mila, mentre venivano ultimati nel settembre 1960.

Per la sola costruzione della diga propriamente detta hanno lavorato per due anni 250 operai per un totale di 750.000 ore lavorative.

Il presente scritto è un commento all'articolo di Carlo Semenza, *La diga del Vaiont e alcune delle maggiori opere idroelettriche della regione veneta*, apparso su *Tecnica Italiana*, vol. XXV, n. 4, pag. 257.

BIBLIOGRAFIA

- FELICE CONTESSINI, *Dighe e traverse. Progetto e costruzione*, Ed. C. Tamburini, Milano 1953
- CLAUDIO DATEI, *Introduzione allo studio delle dighe. Sbarramenti in muratura*, Ed. Libreria Cortina, Padova 1976
- CLAUDIO DATEI, *Vajont, La storia idraulica, seconda edizione*, Ed. Libreria Internazionale Cortina, Padova 2005
- AGOSTINO SACCHET, *Vajont la diga*, Associazione Pro loco, Longarone, terza edizione aggiornata, ottobre 2008
- DINO TONINI, R.PASQUALI, U.PICOZZI, *Calcolo di verifica della diga del Vaiont mediante la ripartizione dei carichi tra archi e mensole*, L'Energia Elettrica, n. 11, 1961

Vajont 1963: la storia idraulica

ING. LUIGI DA DEPPO, professore emerito di Costruzioni idrauliche all'Università di Padova

16
RT 394

Dopo la Seconda guerra mondiale si andò via via concretizzando il progetto della Sade (società Adriatica di Eletticità, fondata nel 1905), per lo sfruttamento idroelettrico delle acque del Piave e dei suoi affluenti ($S = 3.899 \text{ km}^2$). Il progetto, realizzato a partire dal 1911, prevedeva una serie di dighe, che con numerose centrali e interconnessioni, giungevano alla centrale di Soverzene (220 MW, in funzione dal 1951), dalla quale si dipartiva poi il sistema idroelettrico S. Croce-Nove-Fadalto.

Il sistema Piave-Boite-Maè-Vajont, realizzato nel periodo 1946-1960, con un complesso di quattro centrali e sei serbatoi, doveva utilizzare integralmente il corso medio del Piave con i suoi affluenti Boite, Maè e Vajont, e corsi minori (fig. 1), fra lo scarico dell'esistente impianto Piave-Ansiei a quota 683,50 metri s.m.m. e la presa degli esistenti impianti Piave-S. Croce a Soverzene a quota 390, stabilendo la continuità fra i due impianti Piave-Ansiei e Piave-S. Croce. In fig. 1 sono rappresentate anche le dighe di S. Caterina e del Comelico che non appartengono allo schema.

Una delle dighe previste era quella del Vajont, in provincia di Udine (dal 1968 Pordenone), del tipo a volta a doppia curvatura, situata nella gola rocciosa dell'omonima valle, circa 2 chilometri a monte dello sbocco in Piave, in prossimità di Longarone (Belluno). L'impianto si sviluppa secondo il seguente schema. Dal serbatoio di Pieve di Cadore (64,3 milioni di metri cubi e massimo invaso a quota 683,50 metri) parte la galleria principale di adduzione, lunga 27 chilometri. A questa confluiscono, attraverso galleria secondaria, le acque del Boite, regolate dal serbatoio di Valle di Cadore (4,3 milioni di metri cubi) e le acque del Maè, regolate dal serbatoio di Pontesei (9,1 milioni di metri cubi). La galleria principale attraversa la gola del Vajont, a valle della diga omonima, su ponte tubo, e va ad alimentare il serbatoio di Val Gallina (6,2 milioni di metri cubi) che ha funzione di regolazione giornaliera e di vasca di carico per la centrale di Soverzene principale utilizzatrice delle acque di tutto l'impianto. Dallo scarico della centrale le acque sono addotte agli impianti Piave-S. Croce-Nove-Fadalto.

Il serbatoio del Vajont (bacino proprio $S = 62 \text{ km}^2$) era stato concepito, nello schema generale, con quota di massimo invaso di 679, altezza massima della diga di 220 metri e volume utile di 60 milioni di metri cubi, ossia con una quota tale da poter essere alimentato dagli altri serbatoi del sistema. L'acqua del serbatoio si inseriva, nella derivazione principale, circa 6 chilometri a monte del serbatoio di Val Gallina.

Fra le molte soluzioni studiate nel secondo dopoguerra

per il nuovo serbatoio (fig. 2), è stata adottata quella che consentiva di utilizzare al massimo le caratteristiche della valle, particolarmente favorevoli alla costruzione di uno sbarramento di grande altezza. La soluzione realizzata, con quota di massimo invaso di 722,50, aveva una capacità utile di 150 milioni di metri cubi, altezza massima di 261,60 metri, sviluppo al coronamento di 190,15 metri e volume di calcestruzzo di 360.000 metri cubi: risultando così la diga a cupola più alta del mondo. «Peccato di superbia?» si chiede Claudio Datei (2005).

La diga, trattandosi di una struttura a quell'epoca eccezionale, fu sottoposta, nel 1957, a modello strutturale fisico, in scala 1:35, presso l'Istituto sperimentale Modelli e Strutture di Bergamo.

Dato che il livello di massimo invaso è 40 metri più elevato di quello della piezometrica della galleria principale di derivazione, per il riempimento del serbatoio al di sopra di tale piezometrica occorre provvedere con derivazioni supplementari da quota superiore a 722,50.

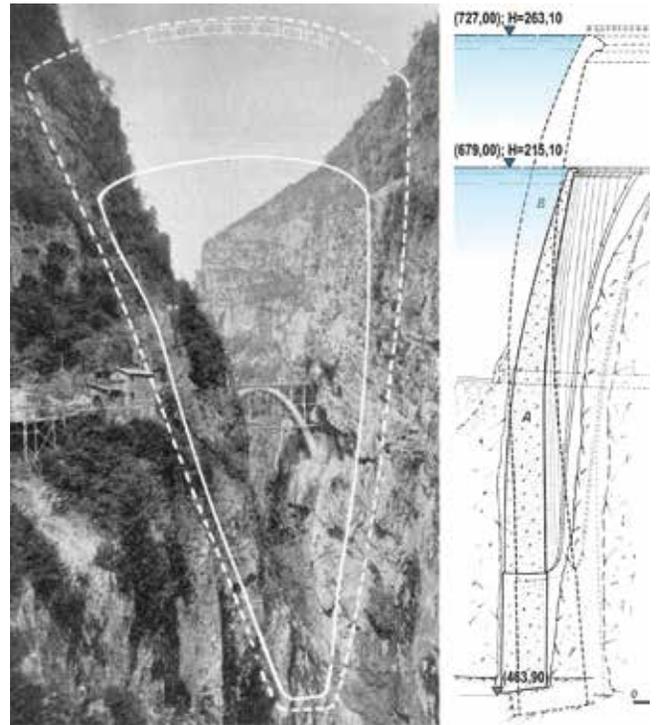
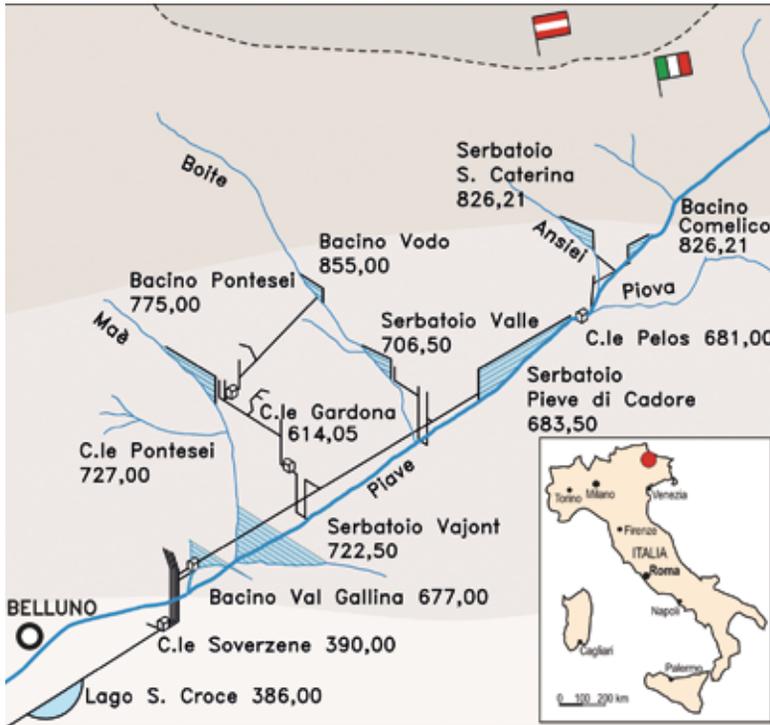
Le portate del Maè, derivate a quota 800, sarebbero state sufficienti al riempimento, ma per maggiore elasticità, fu adottata nel Maè parte delle acque del Boite derivate da Vodo. Dal Maè si poteva effettuare l'alimentazione del Vajont, fino al massimo invaso di 722,50 (attraverso l'esistente derivazione alla centrale di Gardona e una galleria separata).

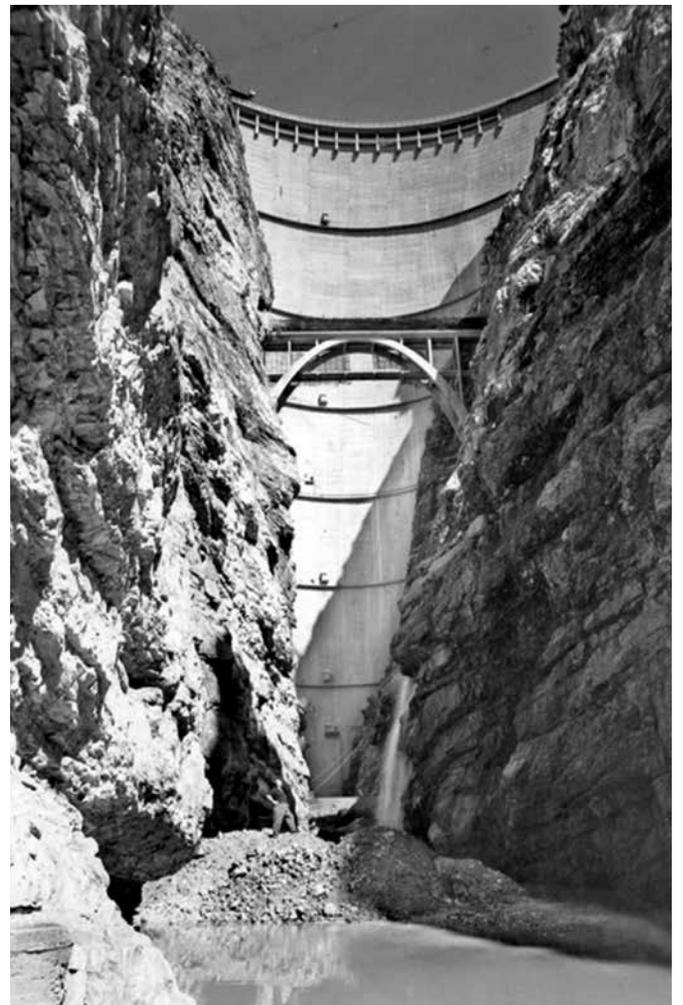
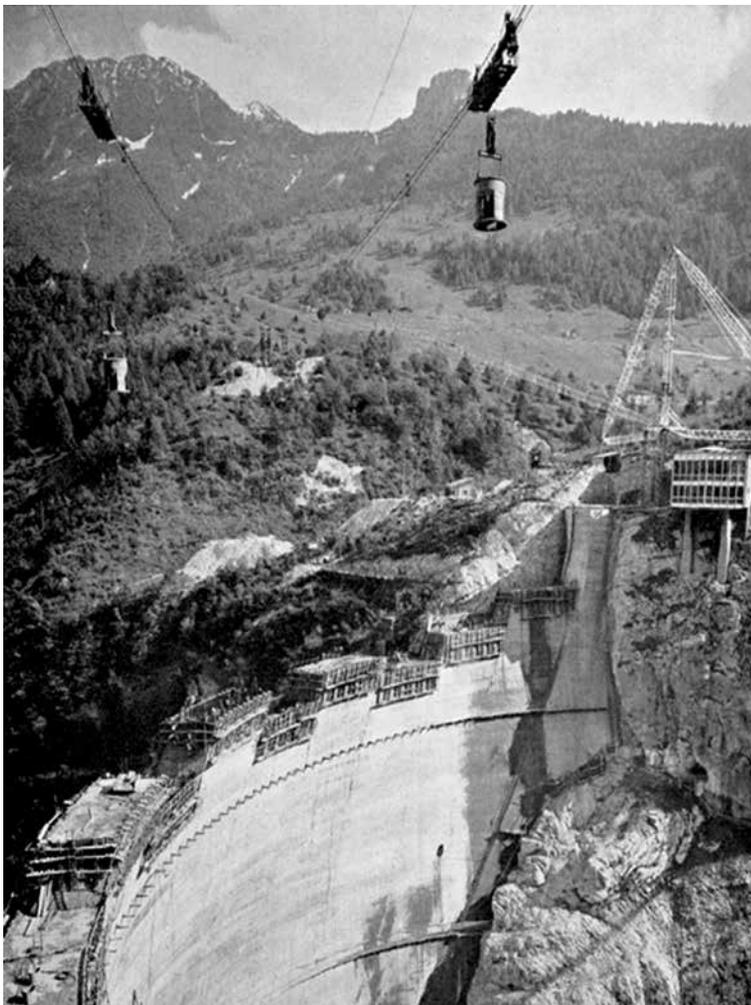
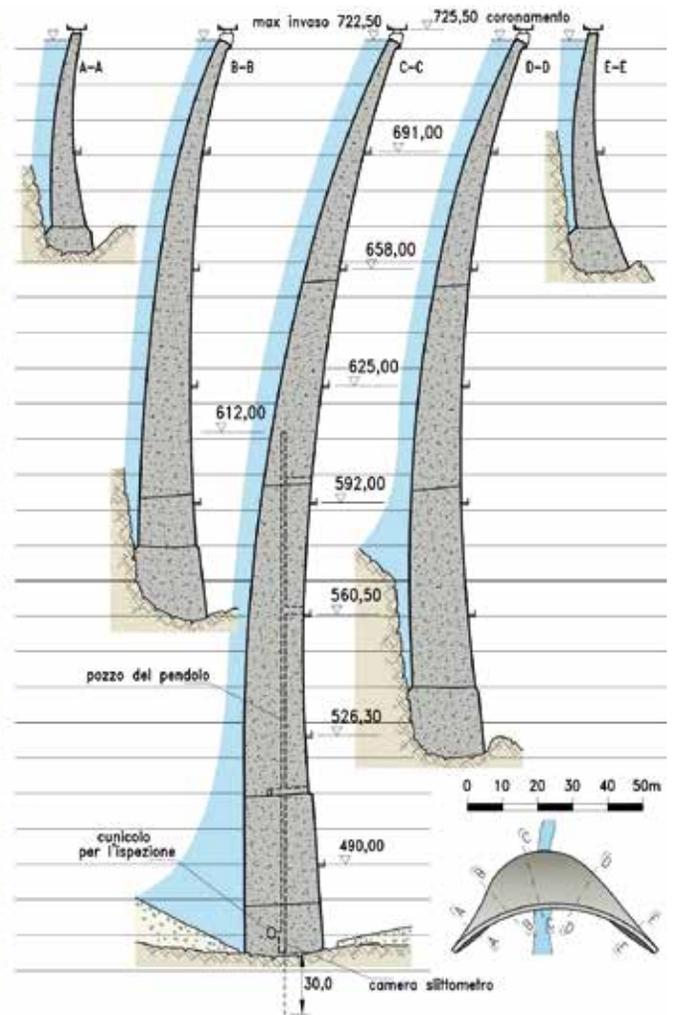
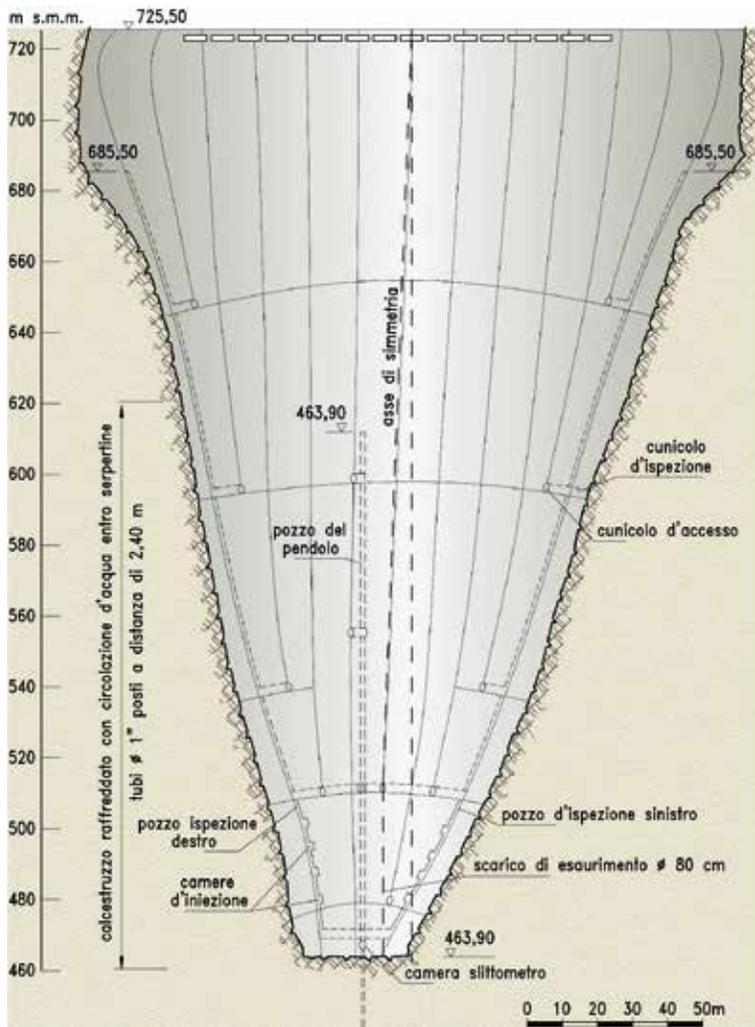
Oltre alla sopra illustrata funzione di regolatore dei deflussi del bacino del Piave, era previsto che il serbatoio del Vajont fosse adibito anche a parziale regolazione delle acque del limitrofo bacino del torrente Cellina. Era infatti progettato il convogliamento nel serbatoio di una parte dei deflussi degli alti corsi del Cellina e dei suoi affluenti: parte che, dopo la regolazione, sarebbe stata restituita al Cellina, senza alcun pregiudizio dei diritti di terzi.

Il dislivello fra le quote di invaso nel serbatoio del Vajont e della piezometrica nella galleria Pieve di Cadore-Val Gallina, sarebbe stato utilizzato nella centrale del Colomber (potenza di 9 MW). Le acque venivano poi scaricate nella galleria principale dell'impianto e addotte al serbatoio di Val Gallina. Quando il serbatoio del Vajont fosse risultato invaso alla quota degli altri serbatoi del sistema, le portate sarebbero state immesse direttamente nella galleria principale.

La costruzione della diga ad arco più alta del mondo

La diga del Vajont, progettata dall'ingegnere Carlo Semenza, iniziata nel 1957 e ultimata nel 1960, sbarra una gola in-





↑

Fig. 6 Prospetto sviluppato da Valle e sezioni caratteristiche della diga (Sade, 1960, ridisegnata)

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
volume di invaso	169x10 ⁶ m ³
quota max invaso	722,50 m s.m.m.
quota fondo scavo	463,90 m s.m.m.
volume di calcestruzzo	360x10 ³ m ³

Fig. 7 Diga in avanzata fase di costruzione (a sinistra, Anidel) e subito dopo il completamento

(a destra, VENETO1 CC BY-SA 4.0, via Wikimedia Commons)

→

Fig. 8 Bacino del Vajont con lago a quota a 700 metri, impronta della fessura apertasi dopo la frana del 4 novembre 1960 e galleria di by-pass (Selli e Trevisan, 1964, modificata)

La circostanza portò Semenza a far svasare il serbatoio fino a quota 600 e a chiedere l'intervento del geomeccanico austriaco Leopold Müller, del geologo Francesco Penta e del geofisico Caloi. Furono inoltre significativamente incrementati i caposaldi nella zona di frana per il controllo degli spostamenti. Caloi nella relazione del 10 febbraio 1961 indicava la presenza di un primo strato di materiale sciolto di 20-40 metri, sotto il quale, fino alla profondità di 100-150 metri, il materiale era fratturato. Solo a maggiore profondità le caratteristiche del materiale erano simili a quelle riscontrate nel 1959. Attribui lo scadimento delle proprietà meccaniche a un'azione di frantumamento del setto di roccia robustissima che reggeva, almeno fino al 1959, il sovrastante carico di materiale di frana.

Tra febbraio e settembre 1961 fu scavata, in destra, una galleria di by-pass, del diametro di 4,50 metri e lunga 2 chilometri, con imbocco a quota 624 e sbocco a quota 614, che consentisse il collegamento tra le due parti nelle quali sarebbe rimasto diviso il lago nel caso di crollo della frana (fig. 8).

Müller, nella sua relazione del 3 febbraio 1961, rappresentò la frana nelle sue reali dimensioni, in lento movimento e senza possibilità di controllo, con volume di 200 milioni di metri cubi e con spessore, nella parte inferiore, di 200-250 metri. Nessuna ipotesi fu formulata intorno al tempo di caduta.

La frana in sponda sinistra del serbatoio di Pontesei sul torrente Maè del 22 marzo 1959

Negli anni 1955-1957, la Sade aveva realizzato a Pontesei, in val Zoldana, sul torrente Maè, una diga a cupola con quota di massimo invaso 800,00 (9,1 milioni di metri cubi di invaso). Preceduta da una lunga fessura a pianta arcuata, comparsa nell'agosto del 1957, in sponda sinistra, in località Fagarè, con l'invaso a quota 787, il 22 marzo 1959, dopo l'inizio dei lavori del Vajont, una frana del volume di circa 6 milioni di metri cubi si staccò dalle falde del monte Castellin e dello Spiz, su di un fronte di 500 metri e precipitò, in 2-3 minuti, occupando parzialmente il lago. Con il bacino oltre 10 metri sotto il massimo invaso, la frana provocò un'ondata che sormontò la diga e travolse una persona, che non fu mai ritrovata e il ponte sul Rio Bosconero. Lo smottamento occupò parzialmente il bacino, riducendo il volume d'invaso utile a 3,57 milioni di metri cubi. L'incidente è considerato un'anticipazione del disastro del Vajont, e già allora, mentre si costruiva la diga nella vicina Longarone, fu visto con grande preoccupazione.

Per la messa in sicurezza, dopo l'alluvione del 1966, venne realizzato un nuovo scarico di superficie con soglia a quota 775; il volume utile è ora di 0,8 milioni di metri cubi.

Studi sul modello idraulico del bacino d'invaso e loro conclusioni

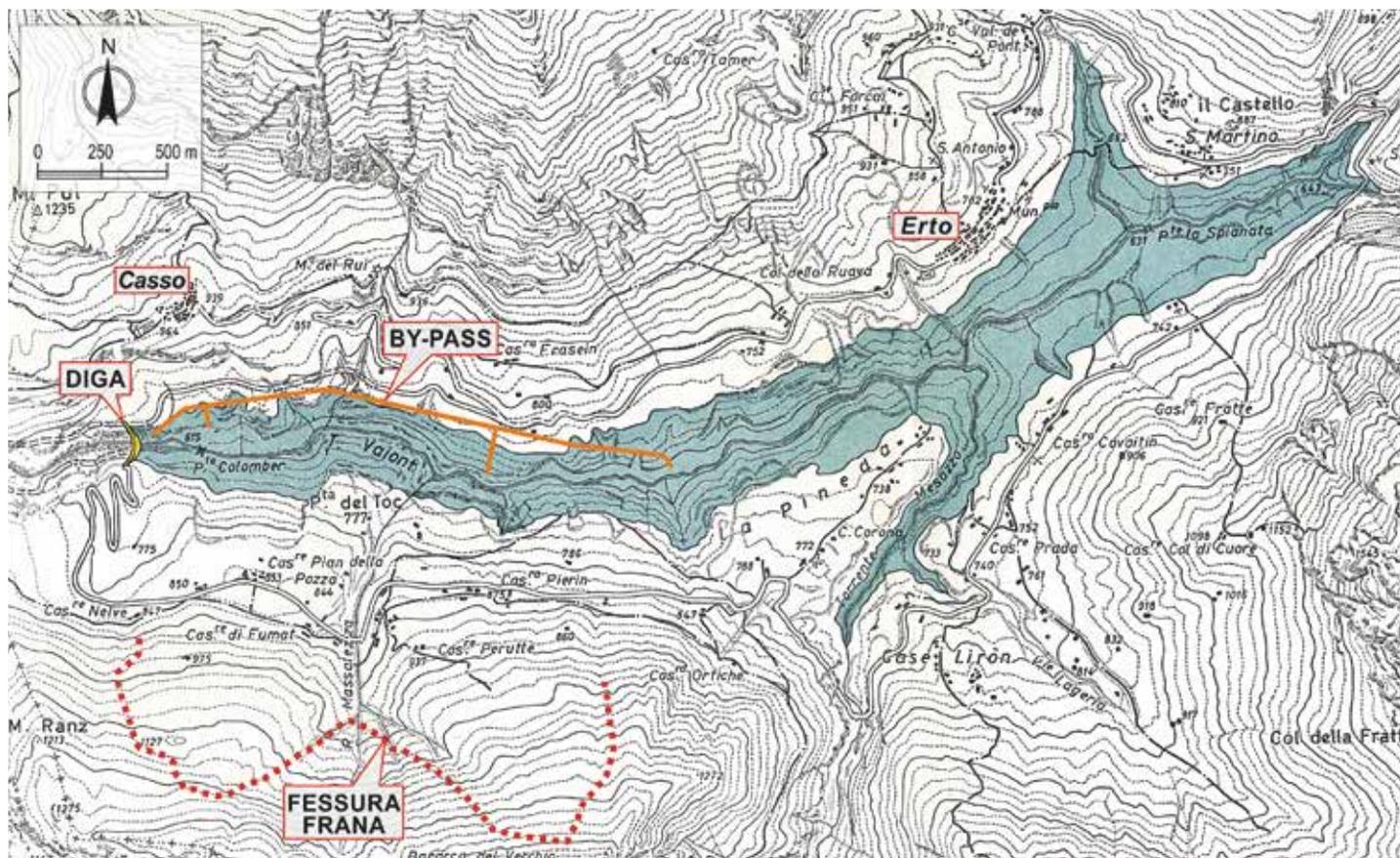
Dopo la scoperta della frana sulle pendici settentrionali del monte Toc, la Sade decise di approfondire gli studi sulle azioni dinamiche sulla diga e quelli sugli effetti d'onda nel serbatoio, nonché su eventuali pericoli per le località vicine, con particolare attenzione al paese di Erto, nel caso di crollo della frana. Ritenne inoltre fosse da considerare l'ipotesi di una parziale rottura della diga con conseguente esame dell'onda prodotta e della sua propagazione lungo l'ultimo tratto del Vajont e, lungo il Piave, fino oltre Soverzene. Penta con la relazione dell'ottobre 1961 prospettò due interpretazioni del distacco del 1960. La prima era che la fessura fosse dovuta al movimento di una coltre detritica di spessore di 10-20 metri. La seconda che la fessura rappresentasse l'intersezione con il terreno di una rottura profonda che arrivava al fondo valle, separando dalla montagna una enorme massa di materiale, con possibilità di distacco improvviso, senza indicazioni sul tempo di caduta.

Lo studio delle azioni dinamiche sulla diga venne eseguito presso l'Ismes [Chemello e Francescon, 2013]. Nel gennaio 1961 iniziarono i contatti con Francesco Marzolo, direttore dell'istituto di Idraulica dell'Università di Padova, per la sperimentazione su modello fisico degli effetti di un eventuale crollo della frana: fu pertanto decisa la costruzione di un modello fisico-idraulico in scala 1:200 del serbatoio presso la centrale di Nove di Fadalto (Treviso) dove era stato creato dalla Sade il centro Modelli idraulici. Gli esperimenti furono affidati alla direzione di Augusto Ghetti.

Il 30 ottobre 1961 mancò il progettista dell'opera Carlo Semenza.

Il modello riprodusse l'intero lago e il versante di sinistra della valle. La planimetria della fig. 9 rappresenta anche la disposizione dei settori rigidi immersi nella ghiaia (con la quale era riprodotto l'ammasso franoso) che venivano trainati con funi agganciate a un trattore per lo spostamento controllato della massa. La fig. 10 mostra il modello con lago vuoto con visibile il materiale riprodotto la frana, sostenuto da reticelle di canapa fissate con corde; mostra anche il lago pieno, visto da monte.

La Sade aveva indicato che il tempo di caduta della fra-



na dovesse essere al più dell'ordine di qualche minuto. Successivamente espresse la convinzione che il tempo di 1 minuto sperimentato da Ghetti fosse troppo breve.

Si riporta lo stralcio più significativo delle conclusioni della Relazione delle prove su modello datata 3 luglio 1962 [Datei, 2005]. «Sembra pertanto potersi concludere che, partendo dal serbatoio al massimo invaso, 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, e un sovrizzo ondosso di 27,50 metri; appena raddoppiando questo tempo il fenomeno si attenua al disotto di 14.000 m³/s di sfioro e di 14 metri di sovrizzo. Diminuendo la quota dell'invaso iniziale, questi effetti di sovrizzo e di sfioro si riducono rapidamente, e già la quota di 700 metri può considerarsi di assoluta sicurezza nei riguardi anche del più catastrofico prevedibile evento di frana.»

Gli invasi del serbatoio e l'evoluzione della frana

Completata la galleria di sorpasso, la Sade chiese al servizio Dighe (servizio del ministero dei Lavori pubblici delegato al controllo e alla sicurezza delle dighe) ripetute autorizzazioni all'invaso.

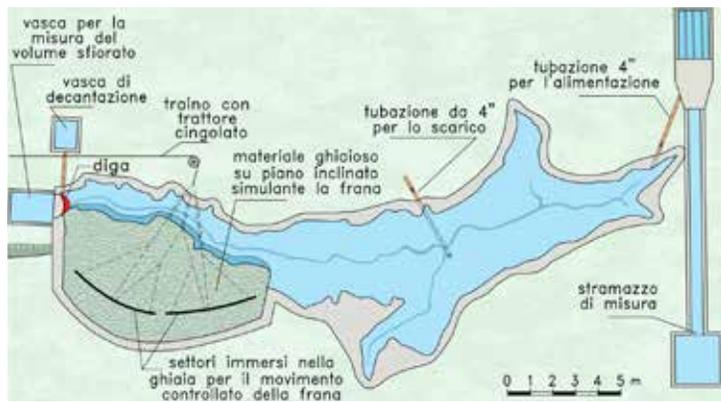
Il livello del lago iniziò ad aumentare, partendo da quota 600 circa, quota che era stata raggiunta con lo svaso a inizio ottobre 1961, seguito alla frana del 4 novembre 1960. L'invaso del serbatoio procedette con continuità, arrestandosi alla metà di novembre del 1962, quando fu raggiunta

la quota 700. Il secondo svaso, dopo quello del novembre 1960, terminò, nella seconda metà del marzo 1963, circa a quota 650.

La legge n. 1643 del 27 dicembre 1962 aveva nel frattempo portato alla nazionalizzazione dell'energia elettrica e alla nascita dell'Enel che subentrò alla Sade il 16 marzo 1963.

Ripreso il reinvaso alla fine di aprile 1963, il livello del lago fu portato, alla fine di settembre, a quota 710 metri, dieci oltre la quota di sicurezza indicata dalle prove su modello, forse per la convinzione di alcuni che i tempi sperimentati su modello fossero stati troppo brevi. Il lago fu poi svasato di circa un metro al giorno, fino agli inizi di ottobre 1963, per l'anomalo incremento dello spostamento osservato per i caposaldi. Il crollo avvenne il 9 ottobre con il lago a quota 700,30.

Nella fig. 12 sono riportati gli spostamenti misurati per alcuni caposaldi collocati in corpo frana, con indicate le fasi di invaso e svaso. La figura è stata ridisegnata da Selli e Trevisan (1964), nel cui lavoro è anche riportata la collocazione planimetrica dei vari caposaldi. Gli andamenti mostrano chiaramente che la frana riprendeva a muoversi subito dopo che la quota del lago, in fase d'invaso, aveva raggiunto e superato il massimo livello dell'invaso precedente, imbibendo la frana a quote sempre più elevate, mai interessate dall'azione dell'invaso. Mostrano inoltre che la velocità degli spostamenti dei caposaldi aumentava in modo più che lineare con gli invasi, e ancor più con gli svasi rapidi per l'effetto delle pressioni interstiziali sul-



←

Fig. 9 Planimetria del modello, in scala 1:200, del serbatoio del Vajont

↓

Fig. 10 Modello del serbatoio visto da monte: vuoto, con la frana prima della frana (a sinistra) e con lago pieno (a destra)



→

Fig. 11 Longarone prima (a sinistra) e dopo (a destra) la distruzione

le azioni resistenti e del venir meno della contropinta dell'acqua. Lo spostamento era visibilmente proporzionale alla sua velocità; un'evoluzione divenuta irreversibile con il terzo invaso, al di sopra della quota 700 [Datei, 2005].

Si osserva che nei sei giorni precedenti il 9 ottobre 1963 le precipitazioni nella zona furono significative (il giorno 3 si ebbe il massimo mensile). A Longarone l'altezza di precipitazione fu di 78,50 millimetri, di 65 a Erto. Il bacino imbrifero sotteso dalla fessura della frana era di circa 2 km², quello del corpo frana fino al lago era di circa 2 km². Si può ritenere quindi che sul piano di scivolamento della frana si sia infiltrato un volume di 200.000 metri cubi, che ha alzato alquanto la quota della falda a tergo, che era già, per lo svasso rapido, certamente più alta della quota del lago.

La frana del 9 ottobre 1963

La sera del 9 ottobre 1963, alle ore 22:39, la massa costituente il corpo di frana in sinistra orografica, circa 260 milioni di metri cubi di materiale, precipitò nel sottostante bacino, che conteneva, con invaso a quota 700,30 metri, circa 115 milioni di metri cubi d'acqua, con una velocità massima stimata di 27-28 m/s. Il volume entrato nel lago fu di circa 50 milioni di metri cubi e spostò un ugual volume di acqua, che si divise in parti circa uguali verso la coda del lago e verso la valle sfociante a Longarone. L'onda sollevata, alta circa 250 metri, risalendo sulla sponda opposta provocò la distruzione di alcune frazioni di Erto e Casso e sormontò il coronamento della diga, e provocando la distruzione di Longarone (fig. 12). I morti furono 1909.

La velocità della frana fu notevole e spiegabile con la generazione di calore per frizione durante il movimento, in quantità tale da aumentare la pressione nei pori lungo il piano di rottura, con conseguente diminuzione delle tensioni efficaci.

La velocità di propagazione dell'onda, da Longarone a Soverzene, misurata dai tempi di apertura degli interruttori delle linee ad alta tensione, fu di 6 m/s [Rivis, 2012].

Il bacino rimase diviso in tre parti: un lago di dimensioni significative a monte della frana, conosciuto oggi come lago di Erto, un lago più piccolo a valle tra la frana e la diga, e un terzo, poi scomparso, formatosi sul corpo stesso della frana, in corrispondenza del torrente Massalezza (fig. 3).

I provvedimenti di messa in sicurezza

La grande frana aveva ostruito tutti gli imbocchi delle gallerie che immettevano o derivavano acqua dal serbatoio, compresi imbocco e sbocco della galleria di by-pass realizzata dopo la frana del 4 novembre 1960. Il lago formatosi a monte della frana, ove erano rimasti 85 milioni di metri cubi, dei 115 contenuti nel lago al momento della frana, si alzò in breve tempo di 14 metri, fino circa a quota 714.

Come provvedimento provvisorio fu realizzato un impianto di sollevamento a due stadi che pompasse le acque del lago, oltre il passo S. Osvaldo (quota 827), poco lontano dalla coda del lago, verso la val Cimoliana (Friuli).

Il primo stadio, con 10 pompe, scorrevoli su binari per seguire il livello del lago, sollevava a un vascone posto 40 metri più in alto. Da questo prelevavano 14 pompe che sollevavano, entro tre condotte di acciaio, 100 metri più in



alto; da qui l'acqua era mandata, con un canale, realizzato con legname, oltre il passo S. Osvaldo: la portata era di 2,7 m³/s. Alla messa in servizio dell'impianto il lago era cresciuto fino a quota 724. L'impianto rimase in servizio per sette mesi.

Inoltre, poiché si temeva la caduta di un diedro di roccia che era al limite della zona franata, sul lato verso la coda del lago, per evitare che l'eventuale onda superasse il passo S. Osvaldo e si scaricasse in Val Cimoliana, sulla sommità del passo fu realizzato un muro di gabbioni con un'apertura per il passaggio dei veicoli. Contemporaneamente sulla stessa sommità fu costruito un diaframma profondo 60 metri per impedire l'eventuale deflusso attraverso il materiale morenico.

Come provvedimenti definitivi furono completate due gallerie verso la Val Cimoliana, gallerie che in parte erano già state realizzate per portare l'acqua dall'alto Cellina al Vajont e per restituire alla Val Cimoliana acque del Vajont durante il periodo irriguo.

Per lo scarico verso il Piave fu prolungata, partendo da valle della diga, la galleria di by-pass realizzata dopo la frana del 1960. Per liberare l'imbocco del by-pass, a monte, da un pontone, furono realizzati due fori di diametro di 80 centimetri, fino a intercettare la galleria, che permisero la riattivazione del deflusso e, svasato il lago, la realizzazione di un nuovo imbocco a quota più elevata.

Per ripristinare lo schema idroelettrico preesistente alla frana fu ricostruito il ponte tubo di collegamento sulla galleria Pieve-Soverzene. Collegamento rimesso in funzione nell'agosto 1964. Nel 1985, allo scopo di diminuire le perdite di carico, il ponte tubo è stato sostituito con una galleria realizzata a monte della diga, entro il corpo frana.

I processi

Il 22 novembre 1967 venne depositata, a Belluno, la requisitoria del Pubblico ministero. Il 20 febbraio 1968 il Giudice istruttore di Belluno depositò la sentenza del procedimento penale contro Curzio Batini (Consiglio superiore dei Lavori pubblici), Alberico Biadene (Sade), Pietro Frosini (CsLLpp), Augusto Ghetti (Università di Padova), Luigi Greco (CsLLpp e membro della commissione di collaudo), Roberto Marin (Sade), Mario Pancini (Sade, direttore dei lavori della diga), Francesco Penta (professore all'Università di Roma e membro della Commissione di Collaudo), Francesco Sensidoni (Servizio Dighe e membro della Commissione di Collaudo), Dino Tonini (Sade e, dal 1962, Università di Padova), e Almo Violin (capo del Genio civile

di Belluno). Penta e Greco, nel frattempo deceduti, non furono processati. Pancini si tolse la vita il 28 novembre 1968. Gli aspetti sui quali la pubblica accusa pose attenzione furono quello geologico e quello idraulico; nulla poteva dirsi della parte strutturale, avendo la diga resistito alle spaventose sollecitazioni.

Il 29 novembre 1968 iniziò a L'Aquila (dove era stato spostato per "legittima suspicione") il processo di primo grado che si concluse il 17 dicembre del 1969. L'accusa chiese 21 anni per tutti gli imputati (eccetto per Violin, per il quale vennero chiesti 9 anni) per: disastro colposo di frana e disastro colposo d'inondazione, aggravati dalla previsione dell'evento e omicidi colposi plurimi aggravati. Batini, Biadene e Violin vennero condannati a sei anni di reclusione, di cui due condonati, per omicidio colposo, colpevoli di non aver avvertito del pericolo e di non avere provveduto allo sgombero; assolti tutti gli altri.

La prevedibilità della frana non fu riconosciuta.

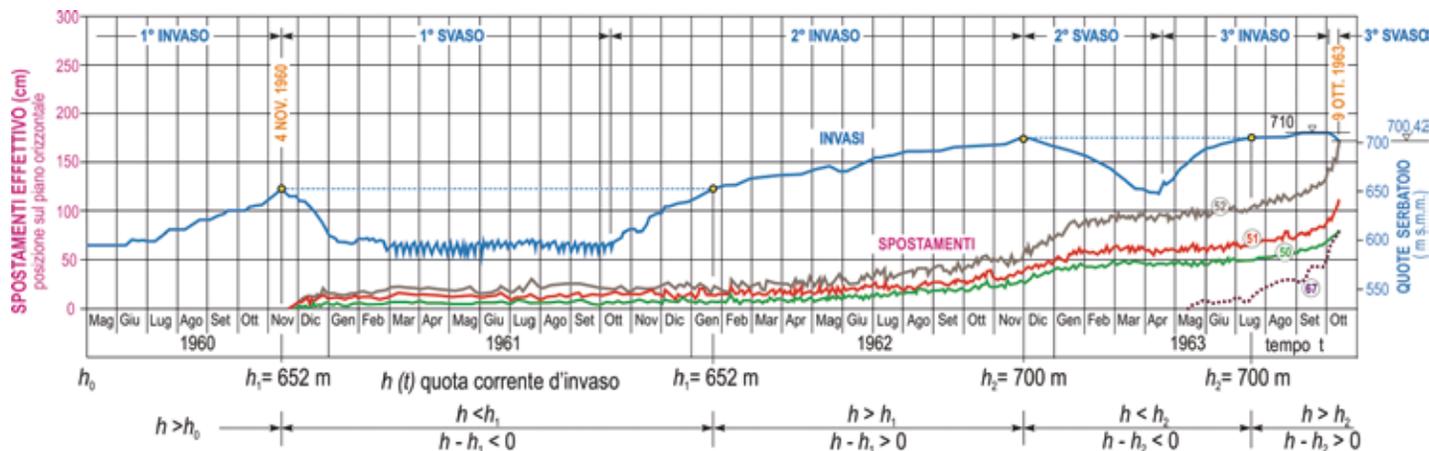
Il 26 luglio 1970 iniziò a L'Aquila il processo d'appello, con lo stralcio della posizione di Batini, gravemente malato. Il 3 ottobre la sentenza riconobbe la colpevolezza di Biadene e Sensidoni, che vennero riconosciuti colpevoli di frana, di inondazione e degli omicidi e furono condannati a sei e a quattro anni e mezzo (entrambi con tre anni di condono). Frosini e Violin vennero assolti per insufficienza di prove; Marin e Tonini assolti perché il fatto non costituisce reato; Ghetti per non aver commesso il fatto.

Tra il 15 e il 25 marzo del 1971 si svolse, a Roma, il processo di Cassazione. Vennero ridotte le pene a Biadene e a Sensidoni: il primo fu condannato a cinque anni di reclusione, il secondo a dieci mesi, ma in seguito a Biadene verranno condonati tre anni per problemi di salute. La sentenza fu pronunciata quindici giorni prima della prescrizione.

Le accuse al modello idraulico e la difesa di Ghetti

Le conclusioni più significative della relazione di Ghetti sono state riportate precedentemente, la frase: «e già la quota di 700 metri può considerarsi di assoluta sicurezza nei riguardi anche del più catastrofico prevedibile evento di frana è definita da Datei (2005)... l'infelice garanzia d'assoluta sicurezza...anche per la scelta del tempo di caduta, per il quale, dice ancora Datei, ... Ghetti fissò, con una scelta forse arbitraria, il limite inferiore di 60 secondi».

I periti del tribunale avevano calcolato in 55 sec. il tempo di caduta della frana. Poiché l'altezza dell'onda reale fu



di circa 250 metri, con il lago a quota 700,30 contro i 27-31 metri ottenuti dal modello, con il lago a quota 700, la prima conclusione fu che il modello fisico fosse errato. Una delle critiche al modello era di aver impiegato ghiaia per simulare la frana, frana che era invece di materiale compatto.

A queste osservazioni sono da aggiungere le critiche di qualche parte per aver realizzato il modello in un luogo di proprietà della Sade e non presso l'istituto di Idraulica, oltre che per il rapporto tra l'istituto (Ghetti in particolare) e la Sade, committente del modello. A questo proposito scrive *Datei* (2005): «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 ma non complicità».

Dopo il disastro e le contestazioni dell'accusa, la difesa di Ghetti si attivò per dimostrare che l'utilizzo della ghiaia, anziché di una massa compatta, era ininfluenza sui risultati del modello e per valutare il reale tempo di caduta della frana. Il tempo di caduta fu ricalcolato in 24,6 sec., tempo che concordava con quanto si poteva dedurre, con qualche non scontata assunzione, dalle letture del sismogramma registrato alla diga di Pieve di Cadore (fig. 13), distante circa 18 chilometri da quella del Vajont; tempo valutato da Caloi in 19 sec., avendo egli fissato gli istanti di termine della fase preparatoria e quello dell'urto contro il versante destro. Un tempo di caduta compreso dunque tra i 20 e i 25 sec.

Le critiche sull'impiego della ghiaia furono smontate dalla difesa che mostrò che l'elevata velocità di caduta della frana dava luogo a un comportamento analogo a quello di un corpo compatto.

Presso il laboratorio di Idraulica di Padova fu realizzato, nel 1968, un modello schematico della frana di Pontesei per stabilire la relazione tra il tempo di caduta della frana del 22 marzo 1959 e la conseguente altezza d'onda.

Per valutare l'effetto, per il serbatoio del Vajont, di un tempo di caduta assai minore di 60 sec., la difesa di Ghetti fece eseguire, ancora nel laboratorio di Padova, un modello fisico in scala 1:500. Il modello si limitò alla riproduzione di una parte della frana, sostanzialmente un modello bidimensionale. Con l'invaso a quota 700 metri e tempo di caduta di 20 sec. l'altezza d'onda fu di 190 metri, valore in accordo con quello riscontrato nella realtà. La difesa di Ghetti poté concludere che se il tempo di caduta fosse

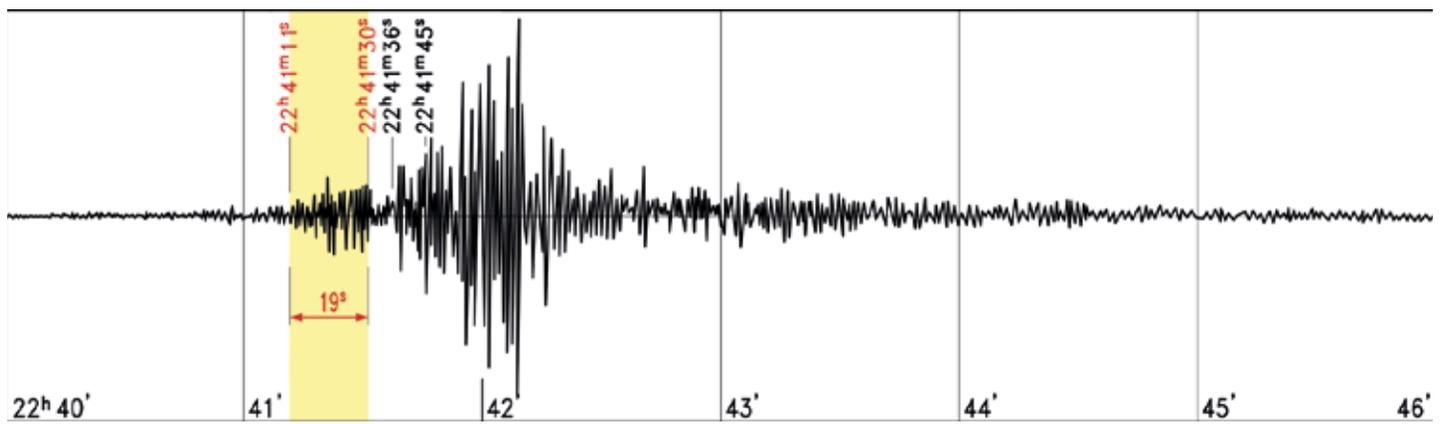
stato correttamente stimato, il modello avrebbe fornito i risultati che si sono poi avuti nella realtà.

La ricostruzione e alcune scelte tecniche e politiche da me non condivise

Immediatamente dopo il disastro il governo provvide con numerose leggi e cospicui stanziamenti alla ricostruzione. I percorsi furono affatto differenti per Erto e Casso rispetto a Longarone: per i primi fu scelta la soluzione della delocalizzazione. Vennero quindi individuate alcune aree dove i paesi potevano essere ricostruiti. Una parte degli abitanti, tra quelli che non avevano scelto fin da subito di spostarsi in altri luoghi, preferì trasferirsi a Ponte nelle Alpi in prossimità di Belluno, molti preferirono invece spostarsi in un nuovo Comune, cui fu dato il nome di Vajont, sorto in un'area appositamente staccata dal Comune di Maniago (allora provincia di Udine, Pordenone dal 1968).

Per Longarone fu scelto di ricostruire il paese nell'area che occupava prima della distruzione. I punti fermi furono: la ferrovia, che costeggiava il Piave e la relativa stazione (immediatamente ripristinate nella vecchia sede); la viabilità dalla sede del municipio, rimasto in piedi, che venne mantenuta verso Castellavazzo (mentre verso Faè la viabilità fu in parte rivista, anche con la costruzione di un nuovo ponte sul Maè); la chiesa, della quale era rimasto solo l'ampio pavimento (diventato eliporto per gli elicotteri americani nelle fasi successive alla catastrofe), fu ricostruita dov'era.

Numerose e anche aspre furono le critiche per come stava avvenendo la ricostruzione, sia da parte dei superstiti che da esperti di urbanistica e architettura. In queste note, senza considerare nel dettaglio questi aspetti, si vuole ricordare la creazione della vasta zona industriale e sportiva nell'ampia superficie di divagazione del Piave situata a valle della ferrovia, un'area dove da sempre, escluse ovviamente le segherie, non si era costruito per elementari considerazioni di sicurezza (con rare eccezioni, per esempio villa Malcom). La scelta, politica ma anche tecnica, si manifestò a tutti improvvisa già a urbanizzazione appena iniziata. Infatti, si deve ricordare che il 4 novembre 1966 una grave alluvione colpì le tre Venezie con ingenti danni tra i quali l'allagamento di Venezia (per inciso, contemporaneamente si verificò anche l'alluvionamento di Firenze). In quella circostanza il nuovo ponte sul



Maè, costruito dopo il disastro, fu spazzato via insieme ad alcune difese alla confluenza tra Maè e Piave e alle prime opere realizzate per la zona industriale. Dopo il disastro venne subito ricostruito il ponte sul Maè, fu sistemata la confluenza, furono riparate e quindi riprese le opere di urbanizzazione della zona industriale programmata per 2.500 addetti.

Gli enormi contributi e le straordinarie facilitazioni concessi a chi insediava attività nella nuova zona industriale portarono rapidamente molte imprese a Longarone, facendo spostare ivi, fin da subito e nei decenni successivi, anche molte industrie già presenti in altre parti della provincia, per esempio da paesi del Cadore, ove esistevano difficili condizioni di viabilità e mancanza di servizi generali. Conseguentemente molti lavoratori si trasferirono a Longarone grazie anche all'abbondanza di immobili residenziali a basso prezzo, realizzati per un paese dove purtroppo gli abitanti erano in gran parte morti. Ciò diede quindi inizio, con l'impoverimento, allo spopolamento di molti paesi.

Come è possibile che la classe politica non abbia messo in conto questo fatto? E che non abbia considerato che lo spopolamento e l'abbandono dei territori avrebbe portato all'abbandono delle attività e delle manutenzioni che vi si svolgevano, causando la perdita di un secolare equilibrio che difendeva il territorio e proteggeva le comunità?

Non stupisce quindi che, in occasione del sessantesimo anniversario della sciagura, vi sia stato chi ha ancora vantato l'importanza della zona industriale di Longarone e delle sue migliaia di posti di lavoro, senza un cenno agli squilibri determinati in altre zone per gli eccessivi posti di lavoro creati in un paese dove gran parte della popolazione era purtroppo deceduta.

Se si fossero restaurati i paesi di Erto e Casso e create poche piccole industrie, si sarebbero potute conservare quelle comunità in buona parte disperse con le scelte di delocalizzazione.

Per decenni, inoltre, ogni anno lo stato assegnava fondi per opere da realizzare a Longarone e Castellavazzo, si noti bene: in questi due comuni e non in una più ampia area intorno, con un eccesso di opere pubbliche a Longarone che accentuava lo squilibrio con i paesi vicini, mantenendo precarie le condizioni della viabilità e dei servizi di una provincia, o quantomeno di una sua parte "collocata

ai confini dell'Impero", come avrebbero detto i Romani. Se si fosse, per esempio prolungata l'autostrada Venezia-Vittorio Veneto, non solo fino a Belluno, ma almeno fino al Cadore, si sarebbe eliminata una delle criticità per quei luoghi.

Ampia parte della zona industriale è ora ovviamente classificata dal Piano di Assetto Idrogeologico come pericolosa, con rischio crescente per la presenza di attività sempre di maggior valore. Si consideri che anche per proteggere dalle alluvioni la zona industriale si è fatto ricorso alla facile imposizione di un significativo svasso autunnale per la diga di Pieve di Cadore (realizzata dal 1946 al 1949). Per la diga in oggetto è infatti imposto che nel periodo dal 15 settembre al 30 novembre, siano tenuti a disposizione per la laminazione delle piene 29 milioni di metri cubi, con una riduzione della quota dal massimo invaso di 16,5 metri (da quota 683,50 alla quota 667,00). Ciò comporta una significativa perdita di produzione idroelettrica, in un periodo dove la richiesta è prossima ai massimi annuali e causa negative ricadute sugli aspetti ambientali e paesaggistici per i paesi collocati intorno al lago.

Conclusioni

Il sistema idroelettrico Piave-Boite-Maè-Vajont ha rappresentato, nel secondo dopoguerra, in Italia e non solo, uno tra i più importanti esempi di utilizzo idroelettrico delle risorse di un ampio bacino, nel rispetto degli antichi diritti irrigui.

Le reali condizioni geologiche e geomeccaniche sono state erroneamente valutate in fase di progettazione e, a diga realizzata, tragicamente sottovalutate nelle loro conseguenze; queste manchevolezze, unite forse al desiderio di realizzare la diga ad arco più alta del mondo, hanno portato a una catastrofe di dimensioni immani, con 1909 morti.

Dopo la prima limitata frana del 4 novembre 1960, gli studi integrativi avrebbero dovuto portare, accanto a una attenta e prudente gestione degli invasi, a ipotesi attendibili sul tempo di caduta del materiale instabile rimasto in posto (250 milioni di metri cubi), tempo da impiegarsi per indirizzare correttamente le prove da svolgersi sul modello fisico appositamente predisposto, e stabilire quindi la quota di invaso da non superare per garantire la sicurezza. Analogamente avrebbero forse dovuto essere utilmente

↑

Fig. 12 Spostamenti nel tempo di alcuni caposaldi collocati in corpo frana, con indicate le fasi di invaso e di svaso (Selli e Trevisan, 1964, modificata)

↑

Fig. 13 Sismogramma

impiegati, per la valutazione dei tempi di caduta e la taratura del modello, anche i dati della frana del 22 marzo 1959 nel serbatoio di Pontesei.

Il tragico evento del Vajont, con la coeva nazionalizzazione delle imprese idroelettriche, portò di fatto all'abbandono delle costruzioni di dighe per uso idroelettrico in tutta Italia, comprese realizzazioni significative già in corso, per esempio quella della diga di Digionera sull'alto Cordevole (Piave-Belluno), opera già in avanzato stato di realizzazione, che avrebbe avuto un'altezza di 125 metri.

Nel 1963 la quota di energia idroelettrica in Italia era circa il 60% del totale; attualmente, con il valore della produzione idroelettrica sostanzialmente invariata, è di circa il 12%. Il blocco delle realizzazioni in Italia ha portato in breve tempo alla perdita di molte conoscenze progettuali e delle tecnologie di realizzazione che, nel secondo dopoguerra, avevano portato progettisti e imprese italiane a primeggiare nel mondo.

BIBLIOGRAFIA ESSENZIALE

- ANIDEL (1961). *Le dighe di ritenuta degli impianti idroelettrici Italiani. Tecnica delle dighe di ritenuta in Italia*. Vol.1
- BENEDINI M. (2013). *Hydraulic models for the effect of landslides in lakes and reservoirs*, in Adami A.: *Physical Hydraulic Models - Past and Present*. Marcianum Press
- BROILI L. (1967). *New Knowledge on the Geomorphology of the Vajont Slide Slip Surface, Rock Mechanics and Eng. Geology*. Vol. 5/1
- CALOI P. (1966). *L'evento del Vajont nei suoi aspetti geodinamici*, Annali di Geofisica, Vol. 19/1, 1966
- CARLONI G.C. e R. MAZZANTI (1964). *Rilevamento geologico della frana del Vajont*, pp. 105-122; *Giornale di Geologia*
- CHEMELLO P. e O. FRANCESCO (2013). *La diga del Vajont. Considerazioni a cinquant'anni dall'evento del 9 ottobre 1963*, *Rassegna Tecnica del Friuli Venezia Giulia* n. 2
- CIABATTI M. (1964). *La dinamica della frana del Vajont*, pp. 139-154; *Giornale di Geologia*
- DA DEPPO L. (2014). *Vajont 1963*, *L'Acqua* n. 2
- DATEI C. (1968). *Su alcune questioni di carattere dinamico relative ad un eccezionale scosciamento di un ammasso roccioso*, *Atti dell'Accademia Patavina di SS.LL.AA.*, Vol. LXXXI
- DATEI C. (1970). *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
- DATEI C. (2005). *Vajont. La storia idraulica, Seconda edizione*, Libreria internazionale Cortina, Padova
- GENEVOIS R. & PRESTININZI A. EDITORS. (2013). *International Conference on Vajont 1963-2013. Thoughts and analyses after 50 years since the catastrophic landslide*, *Italian Journal of Engineering Geology and Environment*. Book Series 6 ISBN 978-88-95814-96-4. Sapienza-Università editrice

Dopo sessant'anni da quella tragica sciagura sarebbe ora di riprendere in Italia la realizzazione di nuove opere, rivedendo, alla luce delle nuove disposizioni normative e conoscenze tecniche, anche progetti del dopoguerra rimasti abbandonati. Le nuove opere andrebbero ovviamente affrontate con una aggiornata visione degli aspetti ambientali e con una più ampia prospettiva dei vari usi cui destinare ogni singola opera: acquedottistico, difesa dalle piene, irriguo, energetico, ambientale e ricreativo. Dovrebbero inoltre essere a regolazione pluriennale o inserite in uno schema con tale caratteristica di regolazione.

RINGRAZIAMENTI

Ringrazio la collega Enrica Belluco per gli apprezzati contributi, il signor Gianluigi Bugno per la consueta cura dedicata alla grafica e l'ingegnere Maurizio Olivier, longaronese e, un tempo, mio laureando, per alcune utili informazioni.

- HENDRON A.J. e F.D. PATTON (1985). *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.
- RIVIS L. (2012). *La storia idraulica del Grande Vajont*, *Momenti AiCS editore*, Belluno
- RIVIS L. (2018). *Vajont. Quello che conosco perché allora ero un addetto ai lavori e quello raccontato da altri*, *Momenti AiCS editore*, Belluno
- REBERSCHAK M. (2013). *Il Grande Vajont*, *Cierre edizioni*. Verona
- SACCHET S. (2018). *Vajont: l'industrializzazione dopo il disastro*, tesi di Laurea triennale. Relatrice Krasna F., Università di Trieste
- SADE (1956). *Impianto idroelettrico Piave-Boite-Maè-Vajont*, Volume a cura dell'ufficio Studi
- SADE (1960). *Impianto idroelettrico Piave-Boite-Maè-Vajont-Diga del Vajont*, *depliant a cura dell'ufficio Studi*
- SELLI R. e L. TREVISAN (1994). *Caratteri e interpretazioni della frana del Vajont*, pp. 8-65, *Giornale di Geologia*
- SEMBENELLI P. (1986). *Reflections on the methodology in engineering geology. The Vajont case*, in: Semenza e Melidoro
- SEMENTA E. (2005). *La storia del Vaiont*, *K-Flash editore*
- SEMENTA C. (1955). *Criteri generali della progettazione e dell'esecuzione dell'impianto Piave-Boite-Maè-Vajont*, *L'Energia Elettrica*, vol. XXXII n. 2, pag. 97-137
- SEMENTA E. (1966). *Sintesi degli studi geologici sulla frana del Vajont dal 1959 al 1964*, *Memorie del Museo Tridentino di Scienze naturali*, vol. 16, 1966-67
- SEMENTA E. e MELIDORO G., 1992, *Proceedings of the meeting on the 1963 Vaiont landslide*, Ferrara
- VIELMO I. (1998). *La Diga del Vajont vista/vissuta durante la costruzione e dopo - Problemi e decisioni in corso d'opera*, manoscritto.

La storia nella storia

ARCH. MARTINA TOFFOLO

«...1.917 vittime delle quali 1.450 a Longarone, 109 a Castellavazzo, 158 a Erto e Casso e 200 persone originarie di altri comuni. Tra essi numerosi lavoratori addetti alla diga e tecnici addetti ai controlli con le loro famiglie.» Queste sono le cifre del disastro estrapolate dalla relazione finale della commissione parlamentare d'inchiesta istituita dopo il 9 ottobre 1963 (Senato della Repubblica, IV legislatura, commissione parlamentare d'inchiesta sul disastro del Vajont, legge 22 maggio 1964, n. 370, Roma 1965). Queste, assieme ai dati relativi alla frana (due chilometri quadrati di superficie per circa 260 milioni di metri cubi di volume in grado di sollevare un'onda di 50 milioni di metri cubi di acqua e materiale solido della quale una parte, circa 25 milioni di metri cubi, si incanalò nella forra percorrendo in quattro minuti circa 1.600 metri, presentandosi allo sbocco della gola del Vajont con un'altezza di 70 metri dal fondo dell'alveo) sono la parte ufficiale, sono ciò che impressionò e impressiona ancora oggi l'opinione pubblica. Numeri talmente grandi da risultare inimmaginabili.

La storia del Vajont è, però, soprattutto altro. È una vicenda che non termina e non inizia il 9 ottobre 1963. È una storia che tutt'oggi non ha trovato una conclusione perché è una vicenda fatta di soprusi, di grandi interessi economici e di piccola gente calpestata, di complicità e di omessi controlli.

È una storia che crediamo di conoscere ma che, avendo molti piani di lettura, può condurci a liberatorie conclusioni come quelle che portarono l'11 ottobre 1963 Dino Buzzati, cronista del Corriere della Sera, a scrivere: «Un sasso è caduto in un bicchiere colmo d'acqua e l'acqua è caduta sulla tovaglia. Solo che il bicchiere era alto centinaia di metri, il sasso era grande come una montagna e sotto, sulla tovaglia, stavano migliaia di creature umane che non potevano difendersi».

Quello che segue è un riassunto ragionato che focalizza l'attenzione principalmente su due questioni, ovvero quella legata alle questioni politiche, alle relazioni e agli interessi e quelle invece relative agli studi e alle indagini che, troppo spesso, hanno avuto lo scopo di assecondare gli interessi economici anziché tutelare la polis.

1900, 10 gennaio

Viene presentata la prima domanda di ampia utilizzazione delle acque del torrente Vajont, richiesta dal longaronese Gustavo Protti, a uso forza motrice da impiegare nella cartiera di sua proprietà, sita a Codissago nel comune di Castellavazzo.

1901, luglio

Il prefetto di Udine autorizza la costruzione di una diga di sbarramento alta 7,40 metri costituita da un canale a condotta forzata dalla presa alla fabbrica di Gustavo Protti.

Il Nord Italia sta vivendo lo sviluppo industriale rappresentato dal “triangolo industriale” comprendente Piemonte, Lombardia e Liguria ma del quale risente favorevolmente tutto il nord del paese. Nel 1905 viene fondata la Sade con un capitale iniziale di 300.000 lire (oggi equivalente a 1.325.136 euro). Il fondatore è Giuseppe Volpi di Misurata che diventerà uno dei più importanti imprenditori del settore idroelettrico del paese e uno dei maggiori sostenitori della trasformazione del porto di Venezia (1906) da porto commerciale a centro industriale.

1925-1926

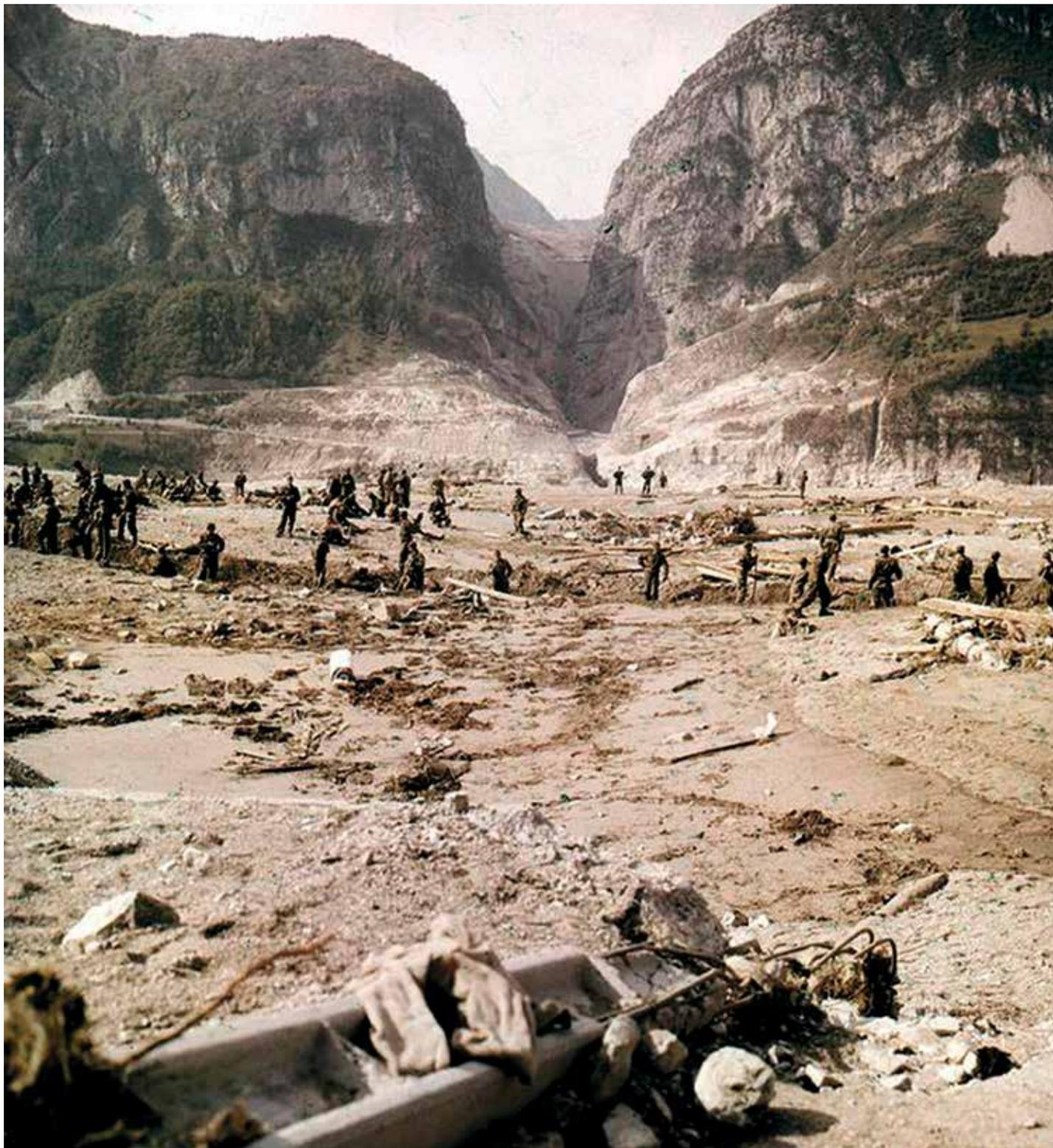
Iniziano i progetti per la sistemazione del torrente Vajont finalizzati all'utilizzazione delle sue acque per la produzione di energia idroelettrica. In quest'anno colui che sarà il progettista del “Grande Vajont” l'ingegnere Carlo Semenza comincerà una corrispondenza epistolare con il geologo svizzero Jakob Hug relativa alla possibilità di costruire una diga e di creare un bacino idroelettrico nella valle del Vajont. Nell'anno la corrispondenza tra l'ingegnere Semenza e il geologo Hug si infittisce e si arricchisce della collaborazione del geologo Giorgio Dal Piaz. I geologi si confrontano tra due diverse posizioni della diga: presso il ponte di Casso (Hug) o presso il ponte del Colomber (Dal Piaz): «... la roccia (dei fianchi) si dimostra evidentemente uniforme e compatta in modo che si potrebbe dire perfetto» (Relazione del 4 agosto 1928).

1929, 30 gennaio

Viene presentato il primo progetto organico di sfruttamento delle acque del Vajont da parte della società Idroelettrica veneta di Venezia (fusasi con la Sade) al ministero dei Lavori pubblici. Lo studio è a firma dell'ingegnere Semenza (perizia geognostica del geologo Hug). Il progetto prevede una diga ad arco alta 130 metri, con un invaso massimo a quota 656 e capacità di 33.600.000 metri cubi, da erigere presso il ponte di Casso.

↓
Longarone il giorno dopo la tragedia,
con sullo sfondo la diga del Vajont

28
RT 394



Tra il 1930 e il 1931 inizia la costruzione del sistema Piave-Boite-Vajont-Val Gallina-Maè, composto da otto centrali terminali, tre centrali intermedie e nove serbatoi. Nel suo complesso il sistema avrebbe dovuto essere composto nel seguente modo.

A. TESTA DEL SISTEMA

- centrale terminale di Pelos di Cadore (potenza efficiente di 30.000 kw per una potenza media annua di 145.000.000 kmh);
- serbatoio di Piave nel Comelico (altezza 58,50 metri, serbatoio di capacità di invaso di 6.680.000 metri cubi e quota di massimo invaso a 830 metri);
- serbatoio di Santa Caterina d'Auronzo (altezza 58,50 metri, serbatoio di capacità di invaso di 6.680.000 metri cubi e quota di massimo invaso a 830 metri).

B. CENTRO DEL SISTEMA

- centrale terminale di Soverzene (potenza efficiente di 220.000 kw, potenza media annua di 825.000.000 kmh);
- centrale intermedia di Pontisei (potenza efficiente di 7.900 kw, potenza media annua di 21.000.000 kmh);
- centrale intermedia di Gardona (potenza efficiente di 18.000 kw, potenza media annua di 66.000.000 kmh);
- centrale intermedia di Soverzene (potenza efficiente di 9.000 kw, potenza media annua di 24.000.000 kmh);
- serbatoio di Vodo sul Boite (altezza 42,00 metri, serbatoio di capacità di invaso di 1.187.000 metri cubi e con la quota di massimo invaso a 855 metri);
- serbatoio di Valle di Cadore sul Boite (altezza 61,25 metri, con un serbatoio di capacità di invaso di 4.300.000 metri cubi e quota di massimo invaso a 706,25 metri);
- serbatoio di Pieve di Cadore sul Piave (altezza 112,00 metri, serbatoio di capacità di invaso di 4.300.000 metri cubi e quota di massimo invaso a 683,50 metri);
- serbatoio di Pontisei sul Maè (altezza 90,00 metri, serbatoio di capacità di invaso di 9.100.000 metri cubi e quota di massimo invaso a 800 metri);
- serbatoio del Vajont sul Vajont (altezza 261,60 metri, serbatoio di capacità di invaso utile di 150.000.000 metri cubi e invaso massimo di 168.715 metri cubi, quota di massimo invaso a 722,50 metri);
- serbatoio di Val Gallina (altezza 92,37 metri, serbatoio di capacità di invaso di 6.240.000 metri cubi e quota di massimo invaso a 677 metri).

C. CODA DEL SISTEMA

- centrale terminale di Fadalto sul lago Morto (poten-

za efficiente di 70.000 kw, potenza media annua di 286.000.000 kmh);

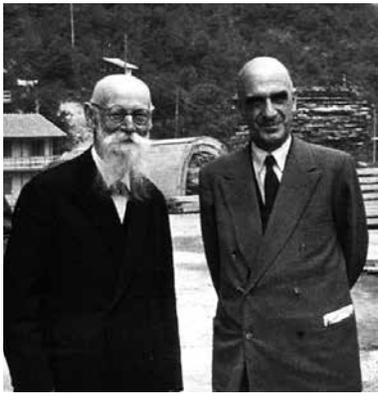
- centrale terminale di Nove sul lago Restello (potenza efficiente di 6.000+45.000 kw, potenza media annua di 253.000.000 kmh);
- centrale terminale di San Floriano sul lago Nigrisiola (potenza efficiente di 9.000 kw, potenza media annua di 54.000.000 kmh);
- centrale terminale di Caneva (potenza efficiente di 32.000 kw);
- centrale terminale di Livenza (potenza efficiente di 5.400 kw);
- centrale terminale di Castelletto (potenza efficiente di 18.600 kw);
- serbatoio lago di Santa Croce (altezza diga di terra 10,50 metri (anno 1911-12), lunghezza diga di terra 1.975,25 metri, capacità del lago di 20.000.000 metri cubi e quota di massimo invaso a 386 metri).

Nel 1932 viene pubblicato il trattato in lingua tedesca del professore Albert Haim sulla genesi dei movimenti franosi: «Nessuno scivolamento si produce da un minuto all'altro. Tale comportamento è impossibile per una montagna. (...) Per i grandissimi scivolamenti la preparazione può durare decine oppure centinaia di anni. Anzitutto deve essere raggiunto l'equilibrio tra le forze gravitazionali dirette verso il basso da una parte e le forze resistenti dall'altra, ma anche a questo punto numerosi "fili" devono essere ancora rotti perché la gravità prevalga. E tutto ciò si protrae per un certo tempo e per un certo numero di giorni; i "fili" rimasti si romperanno uno dopo l'altro finché la massa non precipita in qualche minuto con grande accelerazione a valle».

L'11 dicembre 1933 il governo fascista approva il "Testo unico delle leggi sulle Acque e sugli Impianti elettrici" che concede agevolazioni alle società idroelettriche tra le quali contributi a fondo perduto variabili dal 30 al 60% della spesa, fatta salva la possibilità di sfruttare gli impianti per trenta anni.

1937, 5 agosto

L'ingegnere Semenza richiede al professore Dal Piaz di occuparsi dell'insidia solida relativamente al progetto della diga del Vajont in località Colomber. Nella richiesta l'ingegnere indica espressamente che può usare la stessa relazione presentata nel 1930, modificando la località dello sbarramento. Il Dal Piaz accoglie la



←
Il geologo Giorgio Dal Piaz, a sinistra,
e l'ingegnere Carlo Semenza, a destra

30 **RT 394** *proposta. Nella sua relazione si legge: «...la valle del Vajont è una tipica gola di erosione incisa nei calcari liasici compatti, i quali formano una potente pila stratigrafica regolare e continua. I fianchi della sezione da sbarrare sono tra loro strettamente legati di continuità col fondo pure roccioso ciò che offre condizioni statiche particolarmente favorevoli per la costruzione di una diga anche di notevole altezza».*

1937, 12 agosto

L'ingegnere Semenza produce per la Sade un progetto esecutivo della diga localizzata presso il ponte del Colomber, conforme alle indicazioni del professore Dal Piaz e innalzata fino a 190 metri con un massimo invaso del serbatoio a 660 metri, per una capacità di 46.000.000 metri cubi.

1939, 18 gennaio

Viene presentato a nome della società Idroelettrica Dolomite, appartenente al gruppo società Idroelettrica piemontese cui la Sade è legata da una serie di partecipazioni incrociate, il piano di utilizzazione delle acque del torrente Boite a Vodo di Cadore, con uno sbarramento e un serbatoio artificiale, e del Piave a Pieve di Cadore, sempre con una diga e un bacino. Questi due progetti sono strettamente correlati alla diga del Vajont.

1940, 5 giugno

Nella relazione geologica sulle zone interessanti le opere principali della derivazione idroelettrica Boite-Piave-Vajont del professore Dal Piaz si legge: «... se vi è una località la quale colpisce l'osservatore per le peculiari sue caratteristiche morfologiche particolarmente adatte per opere di sbarramento in genere, questa è appunto la valle del Vajont».

La Sade il 22 giugno 1943, a firma dell'ingegnere Semenza, presenta al ministro dei Lavori pubblici la domanda di concessione dal titolo "Derivazione dai fiumi Boite-Piave-Vajont: fusione e coordinamento di precedenti domande". La Sade si presenta come unica titolare delle precedenti istanze, avendo incorporato anche la Idroelettrica Dolomite. Nella domanda si legge: «...Negli ultimi anni il solo consumo di energia di Venezia e del porto industriale di Marghera ha sorpassato il mezzo miliardo di kmh, vale a dire oltre un terzo di tutta l'energia prodotta

nella regione considerata, con tendenza ad ulteriori rapidissimi incrementi, in conseguenza della richiesta delle industrie ivi installate. Pertanto, i circa 340.000.000 Kw producibili dagli impianti in oggetto troveranno immediatamente impiego servendo a coprire l'immane ulteriore fabbisogno che si verificherà nei prossimi anni». La Sade chiede anche la concessione delle agevolazioni previste dal testo unico dell'11 dicembre 1933.

Il 24 luglio 1943 la direzione generale delle Acque del ministero dei Lavori pubblici dà il suo parere favorevole al programma formulato dalla Sade nel giugno del 1940 e trasmette la documentazione al Consiglio superiore dei Lavori pubblici.

Il 25 luglio 1943 il Gran Consiglio del Fascismo vota la mozione di sfiducia contro Mussolini. Vittorio Emanuele II coglie l'occasione per destituirlo e farlo arrestare, assegnando il ruolo di capo del Governo al generale Badoglio. Nel settembre dello stesso anno, Mussolini liberato dalla prigionia da un commando tedesco fonda la Repubblica di Salò.

Il 15 ottobre 1943, pochi giorni dopo la proclamazione dell'armistizio dell'8 settembre, la IV Sezione del Consiglio superiore dei Lavori pubblici della Repubblica sociale italiana, approva con voto favorevole la domanda della Sade del 22 giugno. All'adunanza sono presenti 13 componenti su 34, quindi non vi è il numero legale.

Il 5 ottobre 1944 il Governo Bonomi emana il decreto legislativo n. 249 che, all'art. 1, sancisce che: «Sono privi di efficacia giuridica i seguenti atti o provvedimenti adottati sotto l'impero del sedicente governo della Repubblica sociale italiana: 1) i provvedimenti legislativi, le norme regolamentari e gli atti di governo» abrogando di fatto il voto favorevole alla domanda della Sade.

Il 5 agosto 1946, con atto 692, viene confermato il voto favorevole al progetto della Sade che era stato annullato dal decreto n. 249.

Un'attenzione particolare va rivolta a uno dei protagonisti di questa vicenda e cioè a Giovanni Volpi ovvero al fondatore della Sade (1905), sostenitore della trasformazione in polo industriale del porto di Venezia (1906), senatore del partito nazionale fascista (1922), ministro delle Finanze del governo Mussolini dal 1925 al 1928, dal 1926 proprietario del giornale Gazzetta di Venezia, presidente della Confederazione fascista degli Industriali (dal 1934 al 1943). Nell'agosto del 1944 Giovanni Volpi, rifugiatosi in Svizzera su suggerimento dell'esponente della DC Piero Mentasti, cede alla Democrazia Cristiana il pacchetto azionario del giornale Gazzettino e versa 20 milioni al Comitato di Libe-



←
Il conte Giuseppe Volpi
di Misurata, fondatore della Sade



←
Vittorio Cini,
presidente della Sade nel 1957

razione nazionale, oltre a prodigarsi in opere di carità. La commissione d'inchiesta composta da rappresentanti del Cnl, che doveva giudicarlo in base al suo ruolo durante il fascismo, lo assolverà tenuto conto delle sue benemerite durante la resistenza. Storia simile sarà quella di Vittorio Cini che diventerà presidente della Sade nel 1957, accompagnandola fino alla nazionalizzazione.

1947, 4 giugno

La Sade chiede l'autorizzazione provvisoria all'esecuzione dei lavori e la dichiarazione di indifferibilità e urgenza agli effetti delle operazioni di esproprio per il bacino del Vajont.

1948, 25 marzo

Il professore Dal Piaz redige la Relazione geologica su una sezione della valle del Vajont presa in esame per la costruzione di una diga di sbarramento. Ripete l'analisi da lui già formulata nel 1940.

Dopo aver ottenuto la concessione definitiva con decreto del Presidente della Repubblica Luigi Einaudi n. 729 (21 marzo 1948), il 15 maggio 1948 la Sade presenta al ministero dei Lavori pubblici il progetto esecutivo connesso alla domanda del 20 giugno 1940.

Rispetto al progetto iniziale vi sono delle innovazioni:

- il serbatoio di Vodo sul Boite viene spostato a Valle di Cadore (incremento della capacità di invaso da 1.187.000 a 4.260.000 metri cubi);
- il serbatoio di Pieve di Cadore sul Piave viene aumentato (incremento della capacità di invaso da 4.300.000 a 64.300.000 metri cubi e con la quota di massimo invaso da 677 a 683,50 metri);
- il serbatoio del Vajont sul Vajont viene aumentato (l'altezza della diga viene fissata a 202 metri, con il livello di ritenuta a massimo invaso a quota 697, precedentemente fissato a 677, per una capacità di 71.400.000 metri cubi di cui 58.200.000 utili);
- viene previsto un nuovo serbatoio in Val Gallina (serbatoio di capacità di invaso di 5.900.000 metri cubi);

Tutto il sistema doveva far riferimento come punto terminale alla centrale di Soverzene (potenza nominale di 97.287,45 kw).

1948, 25 marzo

Per la prima volta negli atti ufficiali si parla di "Grande Vajont" e per la sua realizzazione la Sade prevede

la necessità di espropriare nel comune di Erto e Casso oltre 3.000 ettari coinvolgendo 170 abitazioni. In tale data l'estensione del comune di Erto e Casso comprende complessivamente 5.222 ettari, di cui 1.761 classificati "molto improduttivi", 1.710 di bosco, 1.708 di prato e pascolo e 48 di seminativo.

Intanto nel luglio del 1948 viene presentato il progetto del bacino di Pontisei sul torrente Maè. Sarà proprio il bacino di Pontisei, i cui lavori subiranno una pausa fino al 1952, a rendere possibile la messa a regime del serbatoio del Vajont.

1948, 5 ottobre

Per la prima volta le popolazioni delle valli del Vajont vengono ufficialmente informate dell'intenzione della Sade di costruire un bacino artificiale. La giunta comunale di Longarone prende in esame la domanda della Sade con l'elenco dei beni da espropriare di proprietà comunale siti in val Vajont (località Dogna) e ne delibera l'alienazione.

1948, 11 ottobre

L'ingegnere Semenza chiede al professore Dal Piaz di approfondire gli studi sul serbatoio del Vajont visto che: «... si tratterebbe ora di esaminare la possibilità di elevare il livello del serbatoio oltre la quota attuale prevista (677), eventualmente fin verso la 730. (...) a tale altezza la capacità del serbatoio sarebbe dell'ordine di quasi 340 milioni di metri cubi».

1948, 15 ottobre

Il professore Dal Piaz risponde: «Le confesso che i nuovi problemi prospettati mi fanno tremare le vene ai polsi. (...), dal punto di vista geologico, richiedono un esame scrupoloso. (...) Bisognerà però fare un esame dei fianchi e specialmente di quello di destra dove a quote superiori a 677 m si hanno delle variazioni litologiche che potrebbero essere interessate nel caso del nuovo invaso (...)».

1948, 24 novembre

Relazione del professore Dal Piaz: «L'impressione d'insieme ricavata dall'esame preliminare del 20 corrente non è contraria ad un eventuale innalzamento della diga. Il fianco destro, nonostante la cavernosità di un certo livello è più favorevole del sinistro, dove, proprio all'inizio dello svaso della sezione su questo lato, si presenta una fessurazione».



32 1948, 21 dicembre

RT 394

Nella "Relazione sulla Struttura geologica della valle del Vajont agli effetti degli smottamenti dei fianchi che possono derivare dal progettato invaso e delle oscillazioni del livello del lago" il professore Dal Piaz, relativamente alla parte superiore della valle del Vajont, scrive che è caratterizzata: «da vastissimi rivestimenti di materiali detritici di natura morenica e specialmente franosa» e prosegue: «questo materiale di frana non mancherà di dar luogo specialmente in conseguenza a fenomeni di svaso, a distacchi e smottamenti più o meno notevoli».

1949, 11 maggio

Con ordinanza dell'ingegnere capo del Genio civile di Belluno viene pubblicato nei comuni interessati il progetto esecutivo della diga. Iniziano i problemi relativi agli espropri che porteranno la Sade a proporre dei valori variabile dalle 18 alle 40 lire al metro quadrato contro un valore di mercato di 150-200. Nel timore di non ricevere nulla o di vedere i fondi vincolati, molti ertani accetteranno 18 lire al metro quadrato. In questo periodo sia il sindaco di Longarone sia quello di Erto e Casso presenteranno opposizione al ministro dei Lavori pubblici.

1950, 13 dicembre

Il Consiglio superiore dei Lavori pubblici dà voto favorevole al nuovo progetto per la diga del Vajont.

Tra il settembre 1950 e il dicembre 1951 vengono ultimate le dighe di Pieve di Cadore, di Val Gallina e di valle di Cadore. Nel 1957 saranno in attività tutti i bacini dell'impianto Piave-Boite-Maè-Vajont a eccezione di quest'ultimo che è ancora concepito come camera di carico della centrale di Soverzene.

1957, gennaio

Senza autorizzazione ministeriale la Sade inizia i lavori della diga del Vajont.

1957, 31 gennaio

La Sade presenta la domanda di variante alla concessione delle acque del Vajont: nasce ufficialmente il progetto del "Grande Vajont". Nelle premesse al voto su tale documento del Consiglio superiore si legge che le varianti relative al bacino del Vajont erano state suggerite dall'esperienza acquisita nell'esercizio dell'impianto

di Soverzene e dall'aumento di richiesta di energia, soprattutto nelle ore di punta nel periodo invernale.

1957, 6 febbraio

Il professore Dal Piaz scrive all'ingegnere Semenza: «Ho tentato di stendere la dichiarazione per l'alto Vajont, ma le confesso sinceramente che non m'è riuscita bene, e non mi soddisfa. Abbia la cortesia di mandarmi il testo di quello ch'ella mi ha esposto a voce, che mi pareva molto felice». Il giorno successivo Semenza manderà la nota nella quale si sostiene la fattibilità della sopraelevazione di 45,40 metri della diga con quota di massimo invaso a 722,50. Al progetto esecutivo, consegnato il 2 aprile 1957, viene allegata la relazione rielaborata del 5 giugno 1940.

1957, 31 maggio

Il servizio Dighe si esprime sul progetto del Vajont: «... la grandiosa diga del Vajont trova sicure possibilità tecniche di realizzazione date le neutrali caratteristiche della valle del Vajont, determinate dal concorso di eccezionali favorevoli caratteristiche morfologiche e geognostiche».

1957, 15 giugno

L'assemblea generale del Consiglio superiore dei Lavori pubblici approva il progetto del "Grande Vajont" con parere favorevole tenuto conto che: «... con tali osservazioni e suggerimenti, dettati dall'obbligo di assicurare all'amministrazione che l'opera che si va a costruire dia sufficienti garanzie per la pubblica incolumità...». La Sade non risponderà mai alla prescrizione del completamento delle indagini geologiche: né il ministero né il Genio civile di Belluno rileveranno questa lacuna.

1957, 16 agosto

Viene presentata la seconda relazione geologica del dottor Müller (la prima era stata consegnata il 15 luglio). Il geologo segnala in sponda sinistra una zona milonitizzata che potrebbe agire come superficie di scorrimento e quindi dovrebbe essere adeguatamente studiata. «...Anche il terreno in sponda sinistra, caratterizzato da ammassi di sfasciume, su cui verdi pascoli sorgono numerosi casolari, è in forte pericolo di frana, sebbene sia una formazione rocciosa. La roccia è ivi molto fratturata e degradata e può, pertanto, facilmente scoscendere o essere posata in movimento.»

1957, 8 novembre

Il dottor Müller visita il bacino.

1958, 16 gennaio

Il presidente della IV Sezione del Consiglio superiore dei Lavori pubblici designa i componenti della commissione di collaudo. I componenti della commissione avevano concorso all'approvazione del progetto esecutivo ed erano consulenti diretti della Sade (professore Penta).

1958, 25 marzo

Alle ore 7.00 si verifica una frana di 4.000 metri cubi alla sezione di imposta in sponda destra tra la quota 500 e 585.

1958, 17 aprile

Il sindaco di Erto e Casso richiede alla Sade che venga costruita dalla Sade la passerella per unire le due sponde della valle. Viene invece criticata la proposta della Sade di costruire una strada circumlacuale.

1958, 14 agosto

Quarta relazione del dottor Müller, successiva alla visita del bacino.

1958, 29 ottobre

Il professore Dal Piaz presenta la relazione per la costruzione della strada perimetrale. La relazione è importante perché la strada attraversa la zona nella quale si verificherà la frana.

1958, 24 novembre

Quinta relazione del dottor Müller inviata all'ingegnere Semenza: «...temo che i risultati delle nostre ricerche non La soddisferanno, in quanto, dopo lunga riflessione, abbiamo stabilito che sarà indispensabile rafforzare artificialmente la parte superiore in corrispondenza ai due Widerlagern. (...) Io credo però che siamo così vicini al limite estremo della sicurezza che, per me, sarebbe un grosso rischio tralasciare queste misure addizionali, facendo semplicemente affidamento sulla forza di resistenza della roccia».

1958, 24 novembre-1959, febbraio

Si accresce la corrispondenza tra l'ingegnere Pancini, direttore dell'ufficio lavori al cantiere del Vajont,

l'ingegnere Tonini, capo dell'ufficio studi della Sade, l'ingegnere Torno dell'impresa di costruzioni e il professore Dal Piaz, dalla quale emerge come vi siano delle preoccupazioni sul comportamento della montagna. Il 4 marzo 1959 l'ingegnere Torno risponde al professore Dal Piaz di sentirsi: «... perfettamente tranquillo».

Il 22 marzo 1959 nel bacino di Pontisei sul torrente Maè, alle 7 di mattina cade una frana di detriti di falda sciolti in blocchi del volume di circa 3.000.000 di metri cubi.

1959, 19 luglio

Primo sopralluogo della commissione di collaudo. Nonostante l'ingegnere Semenza esponga la situazione delle sponde, dopo un dibattito tra l'ingegnere Semenza, il professore Dal Piaz, il professore Oberti e il professore Penta, quest'ultimo conclude che si possa: «esprimere parere favorevole sulla situazione generale delle imposte» e che la proposta di consolidamento avanzate dall'ingegnere Semenza: «... è sproporzionata al pericolo reale».

1959, 24 luglio

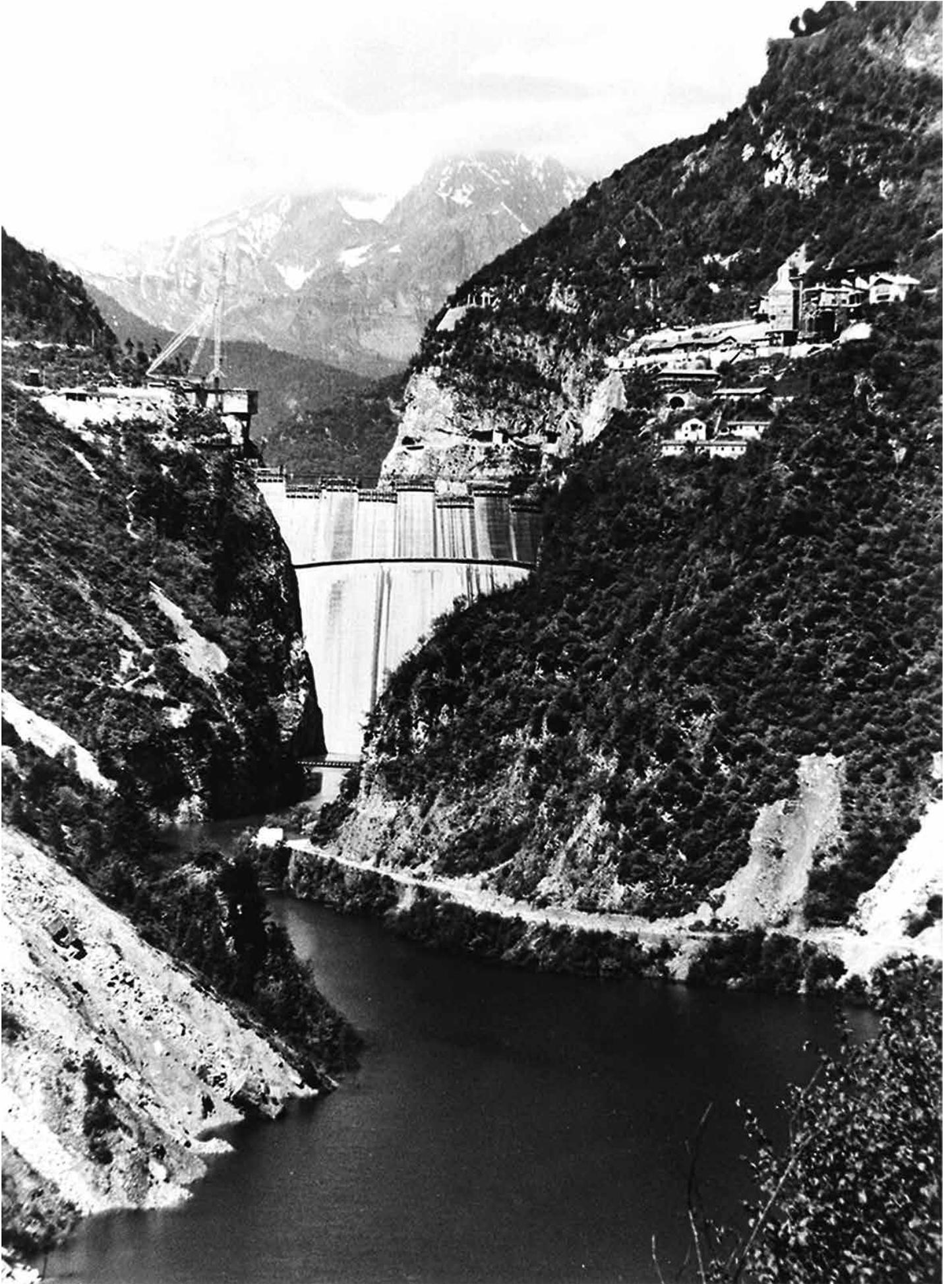
Il professore Müller, dopo aver ricevuto le relazioni geologiche precedenti dall'ingegnere Semenza, scrive al geologo Edoardo Semenza un piano di analisi geologica che interessa tutto il bacino.

1959, 1° settembre

Su consiglio dell'ingegnere Biadene (prima collaboratore dell'ingegnere Semenza e dopo la sua morte, nel 1961, direttore del servizio costruzioni idrauliche, vicedirettore generale Enel-Sade e direttore dell'ufficio Produzione ed Energia dell'Enel) la relazione del consulente geosismico Caloi, nella quale vengono segnalate che su entrambe le sponde vi sono state delle rotazioni della roccia, non viene diffusa.

1959, 22 ottobre

Mentre continua un costante scambio epistolare tra i vari professionisti relativamente ai problemi geologici, si svolge il secondo sopralluogo della commissione di collaudo. Nella sentenza n. 85/1964 del 20 febbraio 1968 a firma del giudice Mario Fabbro si legge: «Dalla visita della commissione di collaudo la realtà del Vajont divenne duplice: l'una ufficiale, da valere per gli uffici del Genio civile, del ministero dei Lavori pubblici, per



le amministrazioni comunali interessate, per i parlamentari che proposero interrogazioni e interpellanze (il giudice si riferisce ai parlamentari di minoranza), per i prefetti che chiesero informazioni, per i comandi dei carabinieri che quelle informazioni fornirono, raccogliendole nell'ambiente della concessionaria e inquadrando, anziché nei problemi della sicurezza collettiva – legittimamente agognata – nei ruoli della politica locale, arbitrariamente interpretata: vedasi il processo celebratosi a Milano il 30 novembre 1960 a carico del direttore e del corrispondente de l'Unità (Tina Merlin), imputati di aver diffuso notizie false e tendenziose – nel maggio del 1959 – relative alle apprensioni nutrite nella valle del Vajont per la presenza del bacino idroelettrico. Il giudizio si concluse con l'assoluzione degli imputati, essendosi accertata veritiera l'esistenza del timore degli Ertani. L'altra realtà, quella non ufficiale, ma bensì più aderente alla gravità delle situazioni, venne riservata ad alcuni consulenti, al personale tecnico del servizio costruzioni idrauliche e degli uffici studi, ai funzionari di grado superiore fino alla direzione generale, senza esclusione della vicepresidenza e della presidenza della Sade (verbale del consiglio di amministrazione del 29 marzo 1961) (il presidente della Sade tra il 1953 e il 1963 è Vittorio Cini). (...) Fu posta ogni cura, perciò nell'evitare che la situazione del Vajont venisse a trapelare in ambienti esterni posto che l'intento principale della Sade era quello di completare le opere e giungere sollecitamente al collaudo. Fu in questo clima che maturarono le indagini geologiche del dottor Edoardo Semenza, quelle del professore Dal Piaz del 1960, le preoccupazioni dell'ingegnere Carlo Semenza confidate al suo diario tecnico, i provvedimenti di consolidamento delle imposte affidati al dottor Müller, le nuove esperienze sul modello statico, le domande

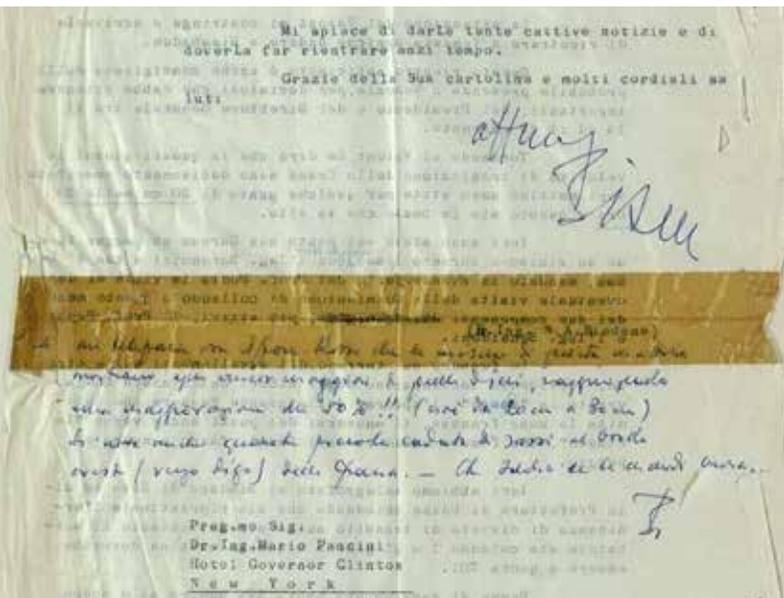
di invaso sperimentale – ormai completata l'opera di sbarramento – fino a toccare la quota di 650 metri».

La storia continua ed è forse quella che abbiamo sentito più spesso raccontare. Perizie, sopralluoghi, studi, scambi epistolari, ipotesi di intervento fino alla frana del 4 novembre 1960 con un distacco dal monte Toc tra i 400 e gli 850 metri di circa 800.000 metri cubi. Solo dopo questo evento l'attenzione della Sade si sposta sulla sponda sinistra visto che, fino a questo momento, il pericolo era stato identificato con la natura del territorio circostante all'abitato di Erto. La Sade avvertirà il servizio Dighe e il Genio civile di Belluno solamente il giorno successivo con un telegramma nel quale il distacco viene descritto come di «qualche centinaio di migliaia di metri cubi di materiale sciolto».

E poi nuovamente studi, analisi, ipotesi, ordinanze di divieto di accesso e di pericolo e la corsa contro il tempo per arrivare il prima possibile al collaudo definitivo. Intanto con la legge n. 1643 del 6 dicembre 1962 viene istituito l'Ente nazionale Energia Elettrica e con decreto n. 221 del 14 marzo 1963 viene disposto il trasferimento dell'impresa elettrica Sade all'Enel: da questa data tutti i beni e rapporti giuridici, compresa la concessione idroelettrica del Vajont e compreso il personale, diventano proprietà dello Stato.

* * *

Oggi, nelle mattinate di inverno la prima cosa che si incontra andando alla diga del Vajont è la nebbia. È una nebbia strana che prima della costruzione del bacino non c'era mai stata e che non si sposta da esso: scivola lungo la parete concava della diga per poi ridiscendere nella forra ricordando enormi onde in continue evoluzioni che rendono il paesaggio, già di per sé inquietante, surreale.



Gli abitanti di Erto e Casso che continuano a resistere sulle loro montagne

ANTONIO CARRARA, sindaco di Erto e Casso

36 RT 394 Sessanta anni fa, il 9 ottobre, la valle del Vajont fu teatro della più grande catastrofe causata dall'uomo, un evento che rimane impresso nella memoria collettiva. La diga, ancor oggi in piedi, testimonia la maestria dell'ingegneria italiana, malgrado la tragedia che colpì la comunità.

Contrariamente a quanto si potrebbe pensare, la tragedia del Vajont non fu frutto di incuria, bensì di una volontà spietata di perseguire il profitto a ogni costo, ignorando gli evidenti segnali di un progetto destinato al fallimento. Quasi duemila vite furono spezzate, di cui 500 bambini, a causa di questa volontà irrazionale.

La tragedia non fu solo un disastro naturale; per le comunità di Erto e Casso, il 10 ottobre segnò la fine delle loro esistenze nei rispettivi paesi. Evacuati, dispersi tra paesi vicini e lontani, gli abitanti diventarono gli sfollati del

Vajont. Il divieto di rientrare nelle proprie case perdurò a lungo, e le precauzioni dovute vennero adottate solo dopo la tragedia.

In un periodo di prosperità economica, molti propugnavano l'abbandono delle montagne faticose a favore di nuove opportunità lavorative in pianura. La scelta di ricostruire altrove prevalse, ma una minoranza decise di resistere sulle montagne dove erano cresciuti, nonostante l'opposizione delle istituzioni.

Gli anni Sessanta videro iniziare la costruzione di un nuovo centro abitato più a monte, considerato più sicuro, ma diverso dal precedente. Sebbene offrì più comodità, mancava del calore caratteristico del vecchio paese. Attualmente, la maggioranza dei 380 abitanti di Erto Casso risiede in questo nuovo nucleo.



←
1971, presidio di fronte al municipio provvisorio di Cimolais
durante il posto di blocco per rivendicare il diritto
di avere nuovamente la sede municipale a Erto

↓
Posto di blocco dei carabinieri
intenti a impedire agli ertani di ritornare nelle loro case

↓
Scritta storica di pochi anni dopo il Vajont
quando molte persone sceglievano di andarsene da Erto



Nonostante la tragedia, il Vajont ha portato anche benefici. Le sovvenzioni statali hanno stimolato l'industrializzazione nella regione, con nuove zone industriali che, ancora oggi, impiegano la maggior parte della popolazione lavorativa locale.

Il territorio vanta anche numerose attività ricettive, alimentate dal turismo della memoria. La diga del Vajont è il secondo luogo più visitato in Friuli Venezia Giulia, contribuendo all'attrattività della nostra regione, inclusa nel Parco delle Dolomiti friulane, parte del Patrimonio mondiale dell'Umanità insieme alle altre Dolomiti.

La resilienza e la rinascita di Erto e Casso sono tangibili, un segno della forza della comunità nel superare le sfide più difficili.



Comuni di Erto e Casso e di Vajont. L'urbanistica della ricostruzione

GIORGIO DRI

38
RT 394

Giuseppe Samonà, ripensando al lavoro svolto dopo la tragedia del Vajont, annotò in una relazione dattiloscritta queste osservazioni: «Tutta l'esperienza del passato e contro i piani megalomani che vedono nuovo ad ogni costo, con utopie di strutture e infrastrutture e confondono le cose che impegnano un enorme quantità di denaro in opere che potrebbero essere eseguite in maniera assai più semplice e che alla fine poiché non persuadono molti sono sottoposte a un numero imprecisato di lungaggini e di varianti...». Riferendosi poi a quanto si stava programmando in Friuli, dopo i disastrosi terremoti del 1976: «Mi auguro che finalmente in Friuli si instauri questo modo più umano di pianificare con la volontà e la partecipazione che sono veramente interessati alla ricostruzione, coloro che non hanno più una casa»¹.

Queste riflessioni del principale protagonista della pianificazione urbanistica dei paesi distrutti dalla frana del monte Toc, a poco più di dieci anni di distanza dagli eventi, mettono in luce un profondo esame critico del proprio operato in contesti che condividono molti elementi simili, sebbene non propongano i medesimi caratteri insediativi e non siano pienamente assimilabili – per vastità e distribuzione dei territori coinvolti – fra di loro. Una sorta di richiamo agli “errori” commessi per fornire un utile insegnamento sulla strada da imboccare per arrivare a risultati che abbiano il consenso degli amministratori e la condivisione delle persone che sono rimaste prive di casa. E che conseguano nel migliore dei modi gli effetti programmati e attesi.

La pianificazione urbanistica

Ma come si sviluppò il percorso della ricostruzione dei paesi distrutti?

Il Parlamento approvò in tempi brevi, meno di un mese (4 novembre), la legge (n. 1457) che avrebbe disciplinato la ricostruzione. All'articolo 2, oltre alle iniziative che riteneva necessario venissero attivate (ripristino delle opere pubbliche e delle opere idrauliche, riparazione e ricostruzione di edifici pubblici, acquedotti, fognature...), era previsto anche «...l'eventuale trasferimento di abitati». In questo caso «Il Ministero per i lavori pubblici, di concerto con il Ministero per l'interno, su proposta del Consiglio superiore dei lavori pubblici e d'intesa con le Amministrazioni comunali interessate, determinerà i centri abitati che dovranno essere trasferiti».

Il riferimento al “trasferimento degli abitati” era evidentemente legato alle ancora non ben definite condizioni

di sicurezza dei paesi distrutti (soprattutto Longarone) o gravemente danneggiati (soprattutto Casso) dall'onda trascinata dal lago del Vajont. Una incertezza che, nel breve volgere di tempo, venne effettivamente superata dai tecnici e consentì l'avvio delle attività di progettazione di ricostruzione dei nuovi insediamenti.

Innanzitutto, va detto che molto diverse furono le scelte operate per il comune di Longarone e il territorio veneto, da un lato, e per il comune di Erto e Casso dall'altro, pur derivando tutte dalle stesse regole-guida predisposte dallo Stato per il reinsediamento delle persone rimaste prive di casa e il riassetto fisico ed economico delle realtà e delle comunità colpite dalla tragedia.

Nella valle del Piave la vastità delle distruzioni ebbe l'effetto di concentrare l'attenzione soprattutto sul centro maggiore: Longarone. Fu così che immediatamente dopo la tragedia si consolidò l'idea di elaborare un piano urbanistico di ricostruzione per Longarone e Castellavazzo (questo comune nel 2014 venne soppresso e associato nel nuovo comune di Longarone) perseguendo i seguenti obiettivi:

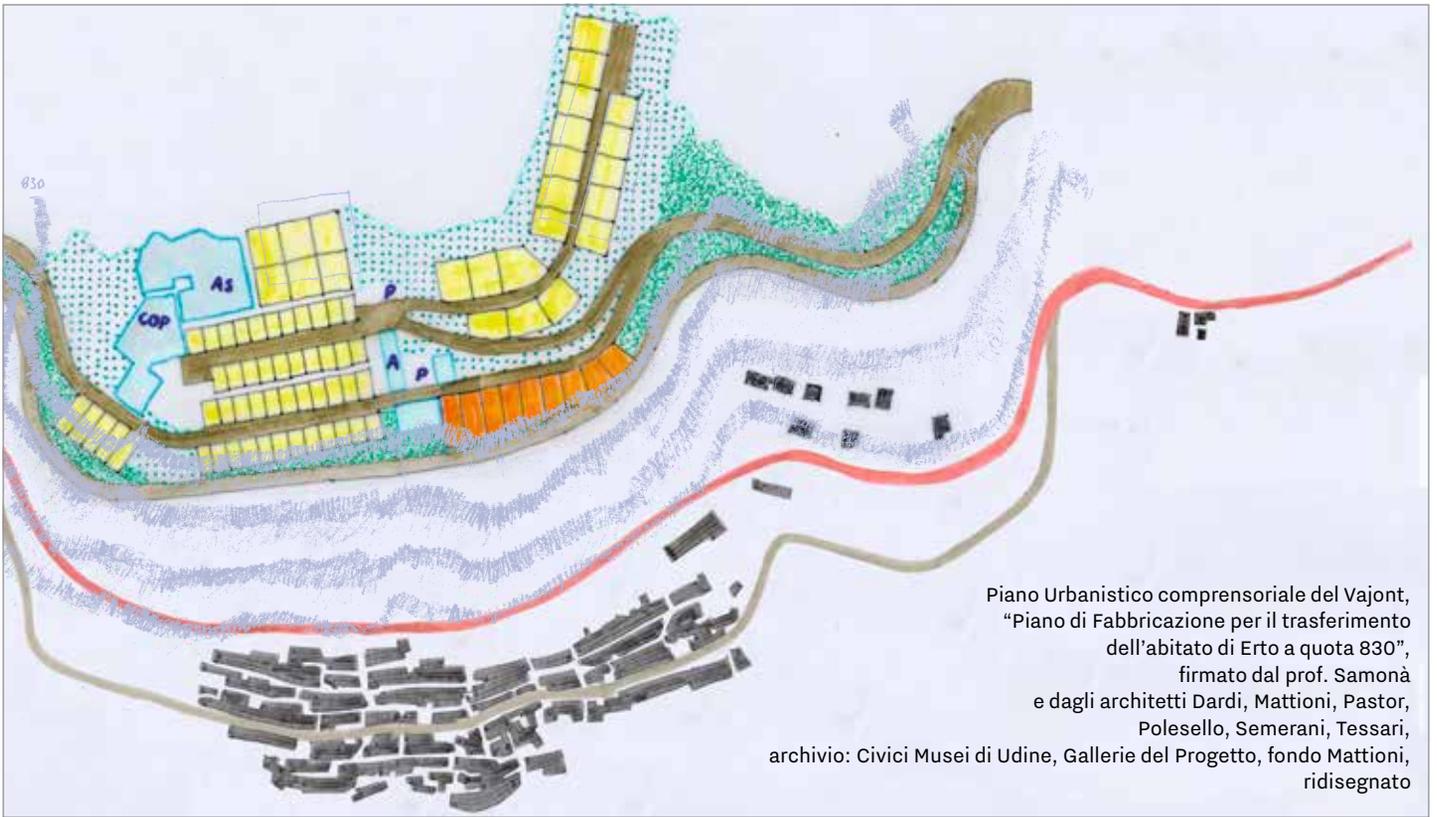
- ricostruire Longarone com'era e dov'era, confermando e aumentando il suo ruolo di centro di servizi del territorio circostante;
- integrare Longarone con Castellavazzo per formare un unico sistema urbano;
- integrare questa nuova realtà urbana in un più vasta unità comprensoriale.

I progetti urbanistici per Longarone furono prontamente elaborati ma la ricostruzione edilizia segnò il passo e rispettò solamente alcune delle indicazioni contenute nella pianificazione generale in conseguenza delle contrarietà espresse da amministratori, superstiti, autorità locali.

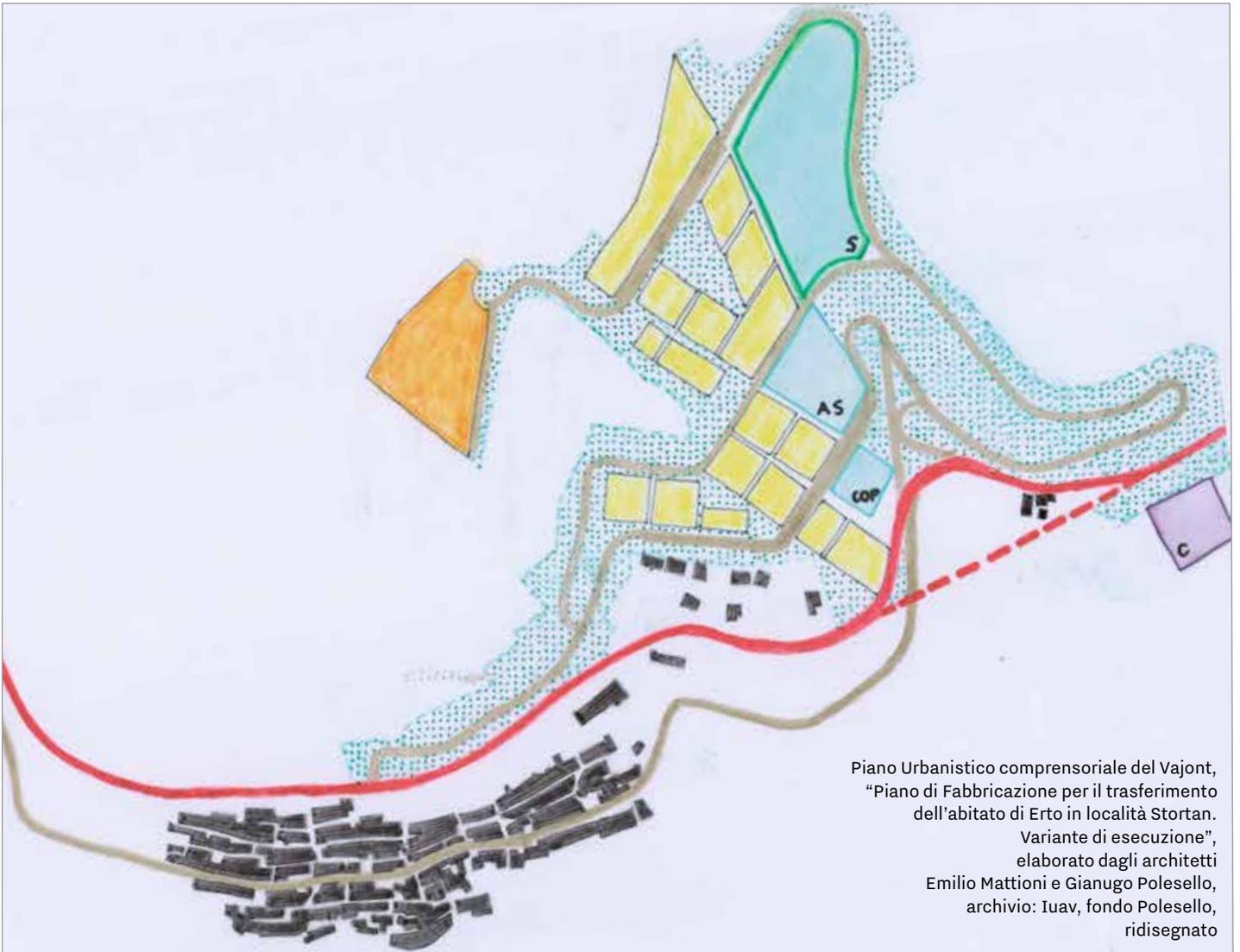
Le previsioni urbanistiche per Erto

Nel territorio friulano la tragedia provocata dalla frana del monte Toc produsse – come anticipato – morti e distruzioni soprattutto nel centro abitato di Casso e in alcune borgate del comune poste a quote di poco superiori al bacino artificiale del Vajont. L'ipotesi del trasferimento, prima, e l'effettivo trasferimento, poi, degli abitati creò non poche tensioni nella valle: ne sono testimonianza ancor oggi a sessant'anni dalla tragedia i contrasti che dividono i superstiti di Erto e Casso tra quelli rimasti nei paesi nati e gli “emigrati” in altri centri.

Le opzioni proposte furono tre:



Piano Urbanistico comprensoriale del Vajont,
 "Piano di Fabbricazione per il trasferimento
 dell'abitato di Erto a quota 830",
 firmato dal prof. Samonà
 e dagli architetti Dardi, Mattioni, Pastor,
 Polesello, Semerani, Tessari,
 archivio: Civici Musei di Udine, Gallerie del Progetto, fondo Mattioni,
 ridisegnato



Piano Urbanistico comprensoriale del Vajont,
 "Piano di Fabbricazione per il trasferimento
 dell'abitato di Erto in località Stortan.
 Variante di esecuzione",
 elaborato dagli architetti
 Emilio Mattioni e Gianugo Polesello,
 archivio: Iuav, fondo Polesello,
 ridisegnato

- la proposta di rimanere a Erto seppure in un nuovo insediamento da costruire accanto allo storico paese;
- la possibilità di recarsi nella valle del Piave e reinsediarsi a Ponte delle Alpi;
- l'allontanamento dalle zone montane del disastro e il trasferimento in una nuova realtà urbana da realizzare nella pianura di Maniago, "ritagliando" una porzione quadrangolare di quel territorio per destinarlo a diventare il nuovo Comune di Vajont (questa operazione ricorda l'esperienza delle "città di fondazione" create quasi dal nulla, nel ventennio fascista).

Da queste opzioni ebbero origine sostanzialmente due distinte operazioni progettuali nella valle, relative a Erto e a Vajont.

A Erto venne proposta la realizzazione di un nuovo insediamento urbano a monte della quota 830 metri s.l.m. ritenuta "area sicura" (il dislivello tra il livello superiore del bacino Vajont e l'area prescelta è di una cinquantina di metri).

Il primo progetto della nuova Erto è contenuto nel piano Urbanistico comprensoriale del Vajont ed è denominato "Piano di Fabbricazione per il trasferimento dell'abitato di Erto a quota 830". Il progetto è firmato dal professore Samonà e dagli architetti (tutti impegnati all'istituto di Architettura di Venezia) Dardi, Mattioni, Pastor, Polesello, Semerani, Tessari, lo stesso gruppo che elaborò il piano Comprensoriale di Longarone.

Il primo aspetto che emerge osservando gli elaborati planimetrici (disegnati sia su mappa catastale e sia su rilievo aerofotogrammetrico) è la localizzazione della nuova Erto, organizzata a monte di un nuovo asse viario che si dirama dalla strada statale 251 (che collega Cimolais a Longarone) con un andamento pressoché parallelo. In pratica con questa operazione si creò una frattura non solo insediativa ma anche sociale tra la Erto storica² e la nuova Erto: due realtà che risultano piuttosto vicine in linea d'aria ma abbastanza distanti se consideriamo lo spazio da percorrere a piedi o con mezzi meccanici. Due realtà contrapposte anche dal punto di vista della vita di relazione: una comunità che conviveva in spazi limitati e schiere edilizie multipiano, da un lato, e un insieme di famiglie alloggiato in edifici autonomi all'interno di lotti fisicamente separati fra loro, dall'altro.

Le destinazioni urbanistiche prevedono nuclei per edifici di abitazione, aree per servizi e attrezzature che comprendono funzioni amministrative, scolastiche, ricreative-culturali, per il culto, alberghiere; prevista è pure un'area per attrezzature produttive miste. Al contorno del nuovo insediamento sono indicate ampie zone di verde di rispetto e attrezzato. Tutte le aree sono accessibili da una rete viaria molto articolata, che disegna rami paralleli di strade aderenti le curve di livello del pendio, raccordate da ampi tornanti.

Il progetto che verrà seguito nella effettiva costruzione della nuova Erto si differenzia non poco da quello appena descritto: le planimetrie che ne delineano la struttura riportano ancora la dizione Piano Urbanistico comprensoriale del Vajont con la specificazione di "Piano di Fabbricazione per il trasferimento dell'abitato di Erto in località

Stortàn-Variante di esecuzione". Sono elaborate dagli architetti Emilio Mattioni e Gianugo Polesello³.

Il nuovo insediamento, rispetto alla prima previsione, pur confermando la localizzazione a monte della quota 830 metri s.l.m., è traslato verso est; inoltre è disposto quasi a contatto con la strada statale 251, così che la estensione e figurazione della infrastrutturazione viaria di accesso e di distribuzione interna è più contenuta, malgrado l'edificazione si estenda verso monte più della precedente. In questa variante esecutiva sono presenti zone residenziali con diverse possibilità e operatività edificatorie, aree per servizi e attrezzature, zone produttive industriali e artigianali; nuove sono la previsione del nuovo cimitero e la rettifica stradale della 251.

La configurazione attuale della nuova Erto conferma integralmente l'impianto urbanistico di Mattioni e Polesello con la novità che l'accessibilità alle zone residenziali poste su gradoni del pendio è assicurata da tronchi a fondo cieco di strada (inizialmente non presenti) e non dal percorso meccanizzato che lambiva le case ed effettivamente introduceva una modalità di ragguardevole modernità e comodità nell'organizzazione della vita nel nuovo paese.

La nuova Vajont

L'intervento progettuale della nuova realtà comunale di Vajont non è condizionato da alcun fattore ambientale, orografico o infrastrutturale, così che il disegno che ne deriva è frutto unicamente della cultura professionale degli autori. Anche questo progetto, elaborato dagli architetti Emilio Mattioni e Gianugo Polesello, rientra nel Piano Urbanistico comprensoriale del Vajont ed è denominato "Piano di Fabbricazione per il trasferimento dell'abitato di Erto-Casso in Comune di Maniago". La località è conosciuta come Luogo del Giulio.

L'impianto generale è contenuto in una forma quadrata, organizzata attraverso una rete regolare e ortogonale di strade che delimitano quattro quartieri comprendenti varie tipologie di edifici di abitazione e attrezzature urbane di livello comunale (municipio, strutture scolastiche, chiesa, mercato). L'impressione che si ricava dall'esame della planimetria di insediamento è di un "castrum", accampamento romano privo del fossato che ne delimitava il perimetro esterno e delle porte in corrispondenza del limite tra città e territorio.

A completare l'insediamento di case, strade e servizi, verso il fiume Cellina sono previste ampie zone di verde attrezzato e per attrezzature sportive (campo di calcio), è perimetrata l'area destinata a chiesa e opere parrocchiali (cimitero), ed è individuato un parco faunistico. In generale molto articolata è l'attenzione nei confronti delle aree inedificate, variamente distinte dalle piantagioni (alberature a filare, siepi, boschetti...) delle essenze vegetali.

L'asse centrale orientato nord-sud è configurato come viale alberato che sottolinea una edificazione di case a schiera con un colonnato in facciata. A parte la "stecca" a schiera, l'edificazione è del tipo autonomo su lotto isolato (comprendente varie estensioni di superficie, sufficienti a contenere la casa di abitazione e le pertinenze esterne).

L'elemento figurativo che propone un rilevante impatto



visivo è quello della “superstrada” sopraelevata che segna figurativamente il nuovo insediamento, pur rimanendo un segno estraneo alla struttura urbana che delimita. Va detto che questo asse viario garantisce il superamento di Vajont, sulla strada provinciale 69, senza interferire con la viabilità locale e connette il nuovo insediamento e i paesi della Valcellina con la zona industriale di Maniago, la più vasta delle aree produttive del nucleo di Industrializzazione della provincia di Pordenone, promosso dalla legge per la ricostruzione dopo il disastro del Vajont.

NOTA 1

La citazione: GIUSEPPE SAMONÀ, *Terremoto Friuli Venezia Giulia Intervento Samonà*, relazione dattiloscritta, senza data ma successiva al 1976, è contenuta nel contributo di ALESSANDRA FERRIGHI, *Dopo il disastro del Vajont, i piani di Samonà per Longarone*, in *Rileggere Samonà Re-reading Samonà* (a cura di LAURA PUJIA), Roma Tre-Press 2021.

NOTA 2

Nel 1976 il nucleo storico di Erto, per la specificità

e l'importanza architettonica degli edifici che lo compongono, venne assoggettato a vincolo monumentale ai sensi della legge 1089 del 1939. Questa la parte principale della motivazione: «... il complesso monumentale e storico ... rappresenta un esempio di architettura spontanea realizzata secondo i moduli tipici della costruzione rustica in pietra di monte lavorata a mano e dalla composizione altamente integrata dei singoli edifici e dalla maglia di percorsi prevalentemente pedonali...». Tale vincolo, per un

↑
Piano Urbanistico comprensoriale del Vajont, “Piano di Fabbricazione per il trasferimento dell'abitato di Erto-Casso in Comune di Maniago”, elaborato dagli architetti Emilio Mattioni e Gianugo Polesello, archivio: Iuav, fondo Polesello, ridisegnato

vizio procedurale, venne revocato e non risulta più emanato (*L'azione di tutela della Soprintendenza*, in: MARIA GIULIA PICCHIONE (a cura di) *Vajont. Paesaggio e architettura a cinquant'anni dal disastro*, 2015).

NOTA 3

I piani di Fabbricazione dei comuni di Erto e Casso, località Stortan, e di Vajont, località Luogo di Giulio, e vennero approvati il 18 aprile 1966, con due distinti atti (5937/SG e 5938/SG).

Ri-costruire identità.

Le chiese e i cimiteri di Erto e Vajont

ARCH. GIORGIO DELLA LONGA

42
RT 394

Complessi parrocchiali con le relative chiese, e cimiteri con le relative cappelle, sono relegati dalla pianificazione urbanistica del secondo dopoguerra al variegato mondo delle "attrezzature collettive" di servizio alla città. Ma chiese e cappelle, portano con sé un carico di significati che va ben oltre l'arido confine posto dagli strumenti che pianificano lo sviluppo delle nostre città. Portano valori, sia in ambito religioso sia civile, che appartengono alla complessa sfera identitaria, all'appartenenza.

Il recente sisma in Emilia, ad esempio, ha manifestato quanto condivisa sia stata tra la popolazione, credenti e non credenti, la volontà di ricostruire chiese rese inagibili e campanili distrutti dal terremoto; di manifestare attraverso la chiesa-edificio la continuità tra un prima e un dopo, attribuendo all'architettura ecclesiale un significato complesso che travalica il senso e l'uso confessionale e religioso.

Ciò è valso anche e con declinazioni particolari per la ricostruzione di chiese e cimiteri del territorio devastato dall'immane onda del Vajont. I milioni e milioni di metri cubi di roccia, terra e vegetazione scivolati dal monte Toc nella valle sottostante hanno anche originato una diga tra un prima e un dopo. I paesi del versante friulano sono stati delocalizzati e le loro chiese e cimiteri ricostruiti, all'opposto del "com'era e dov'era" che ha innervato la ricostruzione, ad esempio, del post-terremoto in Friuli.

L'opzione tra il ricostruire com'era e il nuovo edificare è stata, nel caso del Vajont, fortemente divisiva. Il "caso serio" della chiesa parrocchiale di Longarone è emblematico; potrebbe essere letto come una tragedia dentro la grande tragedia. Interrogarsi su quanto è accaduto è di grande interesse ben oltre lo spazio e il tempo dello specifico episodio, e lo faremo prima di passare in terra friulana.

Il caso serio della chiesa dell'Immacolata Concezione della Vergine a Longarone

Ci ha insegnato il Filarete che il concepimento di ogni architettura necessita di un padre e di una madre: il padre, il committente, e la madre, l'architetto. Non sempre l'intesa è però feconda: l'insanabile distanza tra l'architetto e i destinatari dell'opera – in questo caso il committente fu ben lungi dall'essere univocamente definito – generò incomprensioni e contrasti che raggiunsero vertici assoluti. La Chiesa locale, rappresentata dalla comunità parrocchiale col suo intraprendente pastore, manifestò infatti una radicale contrarietà nei confronti dell'opera dell'architetto prescelto, il già allora affermato Giovanni Michelucci¹.

La vicenda della nuova chiesa di Longarone prende avvio da una apparente semplice necessità: ricostruire una chiesa parrocchiale distrutta, in questo caso letteralmente spazzata via, dall'onda devastatrice di quella notte di sessant'anni fa. Ripercorreremo sinteticamente tali vicende rimandando a quanto già pubblicato con i relativi documenti d'archivio e i preziosi carteggi che meritano l'interesse di chi volesse approfondire una controversia che assunse i caratteri del paradigma². Il caso della chiesa di Longarone travalicò infatti la dimensione locale e l'ambito disciplinare sino a investire la sfera politica; se ne occuparono sia la stampa nazionale³ sia, sull'opposto versante, i critici di architettura, Bruno Zevi e Giovanni Klaus Koenig su tutti.

È dell'aprile 1964 la lettera con cui il sindaco di Longarone, su suggerimento di Giuseppe Samonà⁴, invita l'architetto pistoiese a occuparsi della progettazione della chiesa da ricostruire⁵. Alle porte di Firenze sono appena scesi i veli del cantiere della chiesa di San Giovanni Battista, la celebrata Chiesa dell'Autostrada. L'architetto però rifiuta con motivazioni di ordine personale: l'argomento, scrive, lo "sgomenta".

Nel febbraio dell'anno seguente, il ministero dei Lavori pubblici affida all'Istituto per lo Sviluppo dell'Edilizia sociale la gestione della riedificazione degli edifici collettivi del Vajont; del progetto della chiesa è incaricato proprio Michelucci. Nel frattempo l'amministrazione locale, prima di centrosinistra, divenuta democristiana, prende l'iniziativa di affidare in maniera autonoma gli incarichi per il progetto delle opere. E anche il parroco, don Pietro Bez, si muove in autonomia incaricando del medesimo progetto un fidato e giovane architetto locale in virtù delle esperienze già condotte con proficua intesa. Non bastasse, l'intricata vicenda si complica allorchè l'ufficio regionale dell'Ises individua nel milanese Ignazio Gardella il professionista cui affidare il progetto dell'opera.

Per evitare che la questione degenerasse in un insanabile conflitto, Arnaldo Foschini, allora presidente dell'Ises, nel luglio 1966 propone l'onorevole soluzione di un "Concorso di selezione" invitando una rosa di progettisti tra cui gli architetti sino ad allora individuati dalle parti coinvolte⁶. Nel novembre 1966 la commissione emette il verdetto: il progetto prescelto è quello di Giovanni Michelucci.

Nonostante la parrocchia fosse stata rappresentata nella commissione di giuria il parroco, contrario al verdetto, non s'arrende e coi rappresentanti dell'amministrazione



comunale e della comunità religiosa si reca a Fiesole da Michelucci. Il maestro, resosi conto dei complessi precedenti della vicenda, del gradimento di altro progetto e delle attese per la sua realizzazione, scrive al presidente dell'Ises che «... ragioni umane, sindacali, professionali, mi impediscono di confermare la mia accettazione dell'incarico» e conclude: «i parrocchiani vedono rispettate le loro richieste e preferenze, io evito il disagio di sentirmi un intruso in un ambiente in cui sono stabiliti da tempo dei rapporti tra la popolazione e il professionista».

Baldo De Rossi, subentrato a Foschini alla presidenza dell'Ises, non sente ragioni, minaccia di addebitare alla parrocchia non solo il rimborso delle spese sostenute per il concorso ma anche i danni causati e conferma l'incarico.

Fu comunque richiesto all'architetto un confronto con la parrocchia, la diocesi e l'amministrazione comunale. Nell'incontro, avvenuto nell'agosto 1967, la Chiesa locale non si presenta e lascia solo un'informale memoria scritta dell'avversione al progetto, rattristando non poco Michelucci.

Fu il vescovo della Diocesi di Belluno-Feltre, Giacomo Muccin, che espresse in una lettera l'apprezzamento dell'opera, aprendo di fatto la strada alla definitiva approvazione del progetto da parte della Commissione diocesana per l'Arte Sacra nell'ottobre dello stesso anno. Ma prima di deporre le armi il comitato parrocchiale promosse una consultazione in cui venne chiesto ai capifamiglia di esprimersi sul progetto. La prevalenza dei giudizi sfavorevoli fu schiacciante e il parere negativo fu ufficializzato in una lettera inviata il 29 dicembre all'onorevole Giacomo Mancini, ministro dei Lavori pubblici, con l'intento mai

sopito di riuscire a impedire la realizzazione di quel progetto. Le motivazioni di avversione al progetto meritano di essere riportate: «1) non si inserisce armonicamente nel contesto urbanistico e naturale; 2) riproducendo nella linea architettonica il Calvario, simbolo esemplare – a dire dello stesso progettista – della Passione di Longarone, genera un senso di sgomento e di cupo dolore. L'Architetto si ferma alla tragedia del Calvario, richiamando alla mente e al cuore dei superstiti un dolore fine a sé stesso che non si apre alla Speranza né si sublima nella Resurrezione, come converrebbe alla chiesa parrocchiale di un paese risorto dalle macerie; 3) il progetto presentato – al quale non neghiamo un intrinseco valore artistico per ispirazione ed originalità di realizzazione – potrebbe essere indicato quale Tempio Votivo, Monumento ricordo delle Vittime della tragedia, ma non si addice alla chiesa parrocchiale perché [...] non realizza quell'atmosfera di calore, di intimità e di raccoglimento che sono esigenza fondamentale dello spirito religioso della nostra gente. Essa intende trovare nella propria Chiesa una seconda casa dove la Famiglia parrocchiale, più che commemorare la morte, si riunisce per trovare alimento alla vita; 4) l'assoluta originalità della concezione è in aperta antitesi con una tradizione gloriosa in fatto di architettura sacra, alla quale la gente non si sente di rinunciare completamente».

La lunga polemica, qui solo tratteggiata, che fu concausa del lungo percorso dal primo incarico alla posa della prima pietra sul finire del 1975, fornisce alcune chiavi di lettura per la comprensione di un'opera tormentata e controversa.

Certamente una chiesa *difficile*, figlia della personale interpretazione della riforma sancita in quegli stessi anni col Concilio Vaticano Secondo; figlia ovviamente della dirimpiente matita dell'architetto che con la Chiesa dell'Autostrada aveva sancito una discontinuità con la sua prima maniera ancorata a una intesa anche formale con la tradizione delle chiese; figlia dunque di un primario interesse per un prova di architettura di "un progettista che del dubbio, della lacerazione interiore ha fatto una cifra poetica ed esistenziale"⁷ in cui riecheggia nelle palesate intenzioni il dramma vissuto e la ricerca del suo superamento, ma al tempo stesso mostra una mancata attenzione per le esigenze ripetutamente espresse dalla comunità parrocchiale.

La chiesa dell'Immacolata Concezione della Vergine a Longarone è stata consacrata il 9 ottobre 1983. Il bianco calcestruzzo che plasma la cavea interna e la piazza superiore da cui si traguarda la gola con la sagoma della diga, si mostra nella sintesi espressiva in cui, quell'inquietudine generata da un "impulso creativo da cui si percepisce la violenza quasi fisica" si legge ancora oggi tutta. Uno spazio liturgico sin troppo concentrato sulla centralità dell'altare con una cavea che ricorda lo spazio dello spettacolo e con la copertura trasfigurata in calvario-piazza-anfiteatro per perpetuare la memoria della tragedia: credo che la chiesa-memoriale nel suo precario equilibrio tra lirico frutto della creatività e chiesa per gli uomini, ancora continuerà a dividere. Nell'occasione dei sessant'anni dalla tragedia don Pietro Bez, il parroco di allora oggi novantaduenne, ci ricorda che ci vorrà ancora tempo per placare gli animi⁹.

È lecito chiedersi, ad esempio, se il contesto culturale odierno sia tale da consentire di portare a compimento un processo analogo. Di certo nella ricostruzione del Friuli terremotato, pochi anni dopo, l'esperienza di Longarone è riecheggiata in maniera paradigmatica per favorire invece percorsi profondamente diversi.

Il versante friulano della ricostruzione

Se da Longarone percorriamo la strada provinciale per raggiungere la Valcellina, appena superata la diga e accanto alla sua convessa mole, una bianca cappella non può che confrontarsi con la memoria della tragedia. La chiesetta santuario dedicata a Sant'Antonio da Padova, in località Colomber, aveva il destino segnato dal futuro livello dell'acqua del bacino. Nel 1958 la Sade incarica l'ingegnere Vincenzo Barcelloni Corte, di predisporre il progetto per la ricostruzione. La chiesa viene in parte smantellata, portati altrove gli oggetti sacri, salvate parti

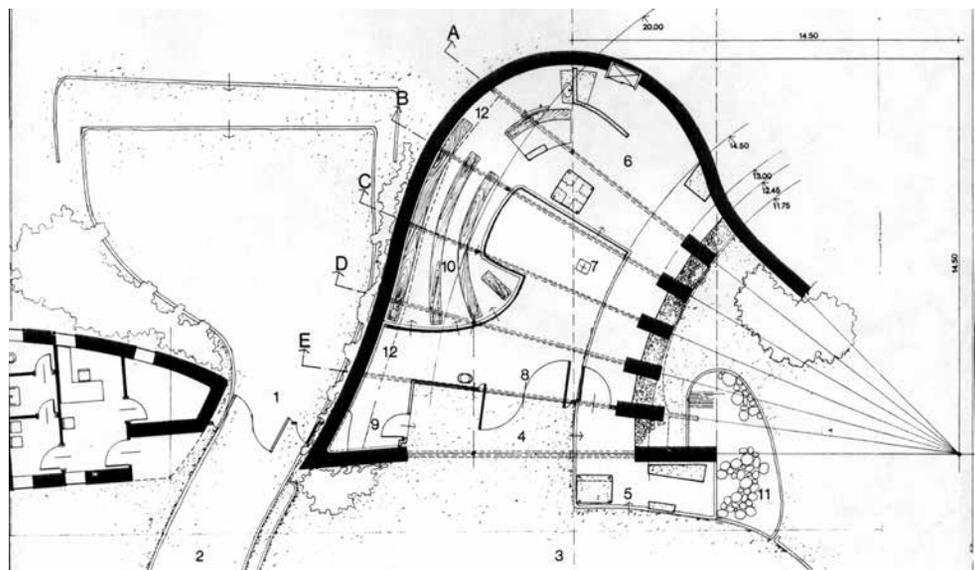
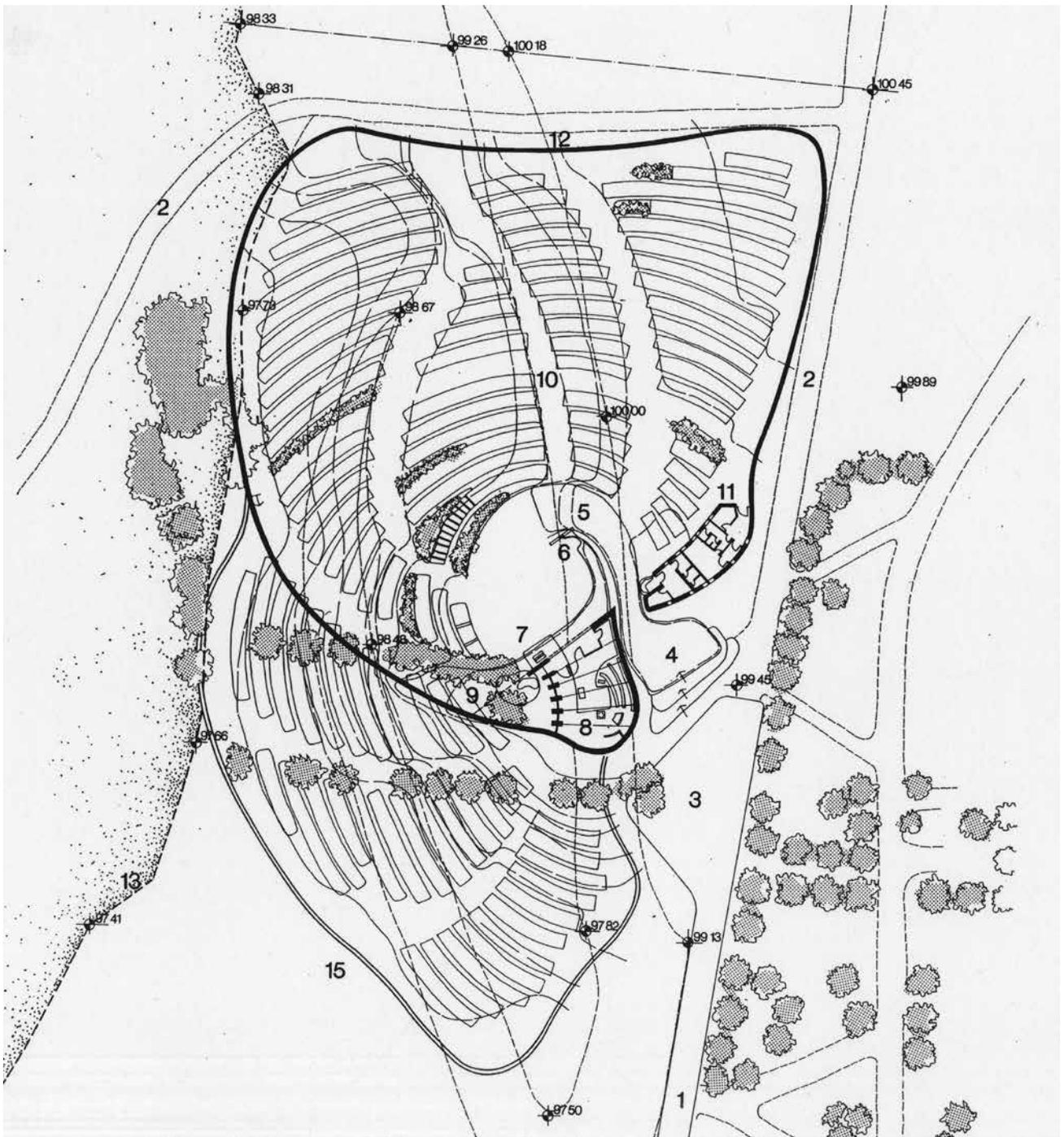
di pregio dell'architettura perché fosse replicata in luogo sicuro¹⁰.

Quella notte tragica del 1963 mise fine all'iniziativa anche perché le parti recuperate della chiesa furono spazzate via dall'onda. Nel 1967 l'Enel, subentrata alla Sade nella proprietà dell'impianto, incarica lo stesso professionista bellunese di progettare una nuova. La cappella non avrebbe potuto che far memoria della tragedia avvenuta: due lapidi commemorano i sei caduti nella costruzione della diga e i sessanta lavoratori presenti e travolti dall'onda nella tragica notte. Così si legge nella targa commemorativa posta nel 2015: «Le forme poco usuali del progetto, nel quale le linee rette risultano praticamente bandite, la semplicità dei materiali, il modesto volume della chiesa dominato dal bassorilievo del Cristo Risorto, la spirale esterna costituita dalla parete che, in un crescendo verso la guglia terminale, simbolicamente rappresenta la catarsi raggiunta dall'uomo con la sofferenza e la morte, creeranno un senso di mistico raccoglimento inteso a dare consolazione e speranza attraverso l'esempio della Risurrezione del Cristo».

L'autore interpreta il programma facendo ricorso alla plastica del bianco calcestruzzo, sedotto forse dalla bianca sagoma della cappella di Ronchamp che aveva aperto inaspettate nuove strade all'architettura sacra¹¹ e, forse, influenzato da ciò che Michelucci stava elaborando per la chiesa di fondovalle. Non mi addentro oltre sul terreno della suddetta simbolica dell'edificio che aggiunge allegorici segni laddove sarebbe più opportuno, a mio parere, il silenzio.

Scendiamo allora lungo il versante friulano per incontrare le opere di Glauco Gresleri affiancato dal pordenonese Silvano Varnier. Molte opere ha consegnato al Friuli il team professionale, a partire dal Centro comunitario parrocchiale di Budoia che precede i lavori del Vajont¹².

Glauco Gresleri era un giovane architetto bolognese, "costruttore di chiese" nella stagione della campagna *Nuove Chiese* promossa dal cardinale Giacomo Lercaro per pianificare la dotazione di centri parrocchiali nella periferia di Bologna¹³. Perché dunque affidarsi a Gresleri? Ce lo spiega lui stesso: «A seguito del disastro del Vajont, quando lo Stato decise di trasferire l'abitato di Erto a Valle, tra Pordenone e Maniago, con un nuovo impianto urbano affidato allo staff di architetti della facoltà di Architettura di Venezia sotto la guida del prof. Giuseppe Samonà, i progetti per vari edifici pubblici furono distribuiti tra i vari professori, ma nessuno volle accettare il tema del campo-



santo, perché troppo di natura spirituale. Fu allora che il parroco don Gastone Liut, ricordandosi delle lezioni che dieci anni prima io avevo tenuto alla Basilica dell'Abbazia di Santa Giustina in Padova, fece il mio nome al responsabile del Genio civile perché fosse assegnato a me l'incarico per il cimitero di Vajont prima, per quello di Erto poi, ed ancora successivamente per la chiesa parrocchiale di Vajont e per quella pure di Erto...»¹⁴.

Il sasso, il recinto, lo spazio sacro. Cappella e cimitero di Vajont, 1967-69

Glauco Gresleri con Silvano Varnier

Il lavoro di Gresleri e Varnier nell'area disastata del Vajont prende avvio con l'incarico per il cimitero posto al margine nord della città di Vajont in località Ponte Giulio nella piana di Maniago. Organicamente connessi sono il camposanto e la cappella, come organicamente legati lo sono al territorio circostante. Un contesto in cui «Pochi segni essenziali formano un paesaggio solenne, di rara astrazione: l'aprirsi della gola montuosa del Cellina, lo spigolo netto con cui il fiume incide la brughiera». Quello del camposanto è uno spazio, tracciato con linea sinuosa, che prende origine dalla cappella e occupa il pianoro in leggero declivio in fronte all'arco pedemontano di cui «ne recinge una porzione, la sacralizza, senza separarla».

Spazio costruito per il rito delle esequie, quello della cappella: un'ampia vetrata si spalanca per relazionare l'interno con l'esterno, guidare e amplificare il rituale dell'accompagnamento del feretro alla terra che lo ospiterà.

Una costruzione di grande semplicità; un muro costruito col sasso che cinge l'intero sito e si trasforma in setti nel contromuro che forma la cappella. Profondi squarci di luce sono generati all'interno della cappella; la tesa falda lignea racchiude lo spazio luminoso, sereno. «Il senso di raccoglimento che lo spazio di questa cappella ispira fa sì che la popolazione lo adoperi anche per manifestazioni paraliturgiche e per ricorrenze civili» avverte Glauco Gresleri.

Blocchi lapidei formano luoghi e segni per la liturgia all'aperto; questi certamente riverberano in questo spicchio orientale del Friuli la poetica del maestro di Ronchamp non meno che nel coevo oratorio di Gresleri nella non lontana frazione di Navarons di Spilimbergo¹⁵.

Il 2 novembre 1969 fu consacrato il cimitero del paese e, nella medesima giornata, fu posata la prima pietra per la costruzione della nuova chiesa parrocchiale.

La nuova chiesa nella città di fondazione. Chiesa del Crocifisso, Vajont, 1968-71

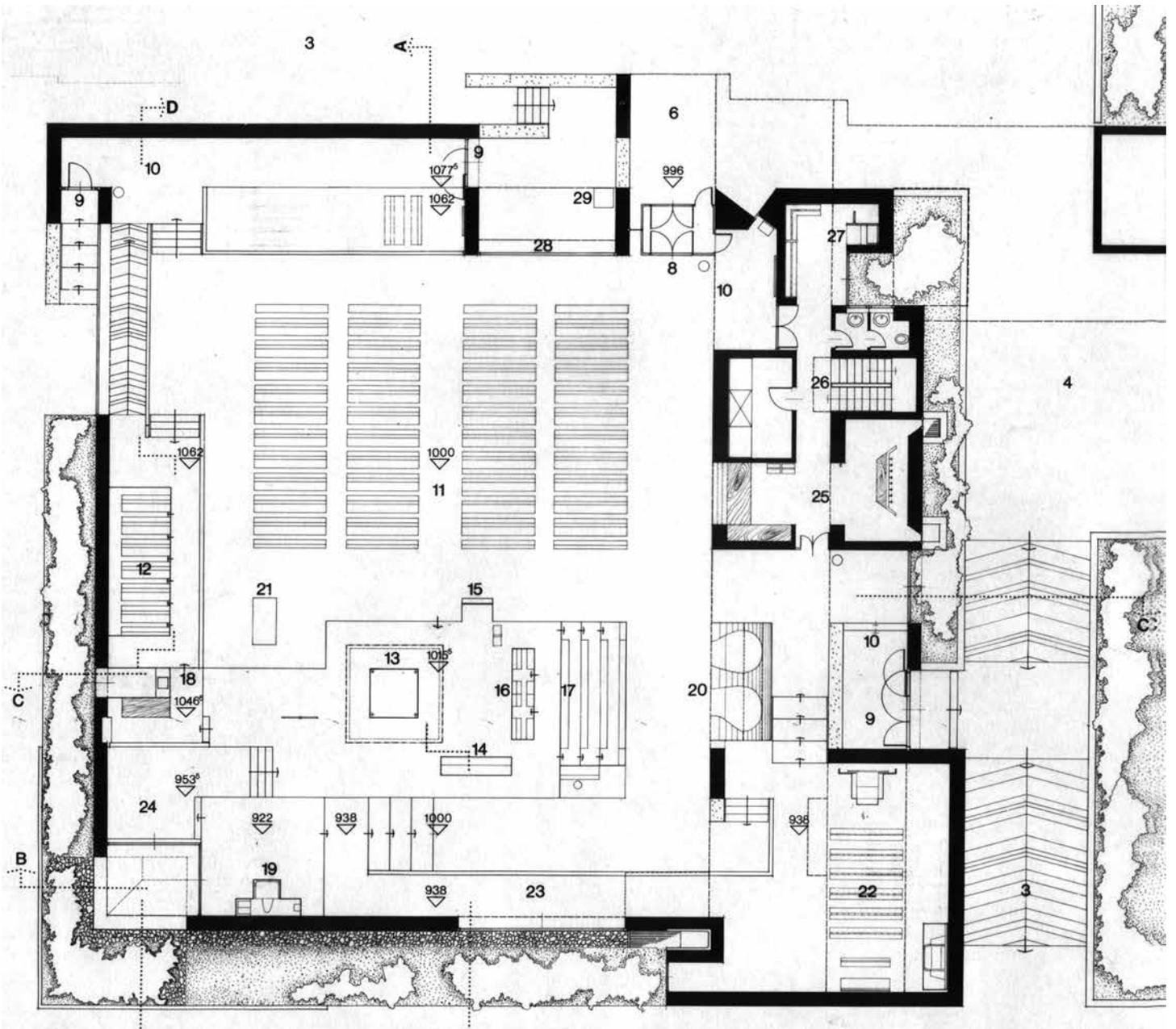
Glauco Gresleri con Silvano Varnier

Di tutt'altro segno ed espressività è il complesso parrocchiale progettato e realizzato poco dopo. Lo spazio cimiteriale ritagliato con linea morbida si tramuta nello spazio governato dalla poetica dell'angolo retto. La loquace materia si tramuta in un semplice, povero intonaco dipinto di bianco.

È un intervento che non intende dissimulare un sostanziale rifiuto di quanto fu pianificato e realizzato nella piana di Maniago per accogliere quanti avevano perso la casa a Erto. Lascio ogni commento alle parole di Gresleri: «È tipico dei paesi "progettati", un effetto di "subtopia" come il vuoto spaziale che ripartisce in rigidi quadranti il nuovo villaggio di Vajont, costruito in pianura dopo la catastrofe che distrusse in parte la vecchia Erto in Valcellina. La griglia di stampo razionalista, ha perso via via i suoi contenuti e si è degradata ad ogni fase del processo, dal piano urbanistico alla realizzazione delle urbanizzazioni, alla costruzione delle anonime casette. Nessun "segno" ha la forza di riscattare quel deserto, degli alberi che crescono, delle istintive attribuzioni che la gente, vivendo, conferisce ai frammenti del paese, ricostruendo come un mosaico vivo. Nei primissimi anni di vita, un sentiero nel prato inselvaticato, rompendo la rigida griglia stradale, fu la prima manifestazione di una embrionale appropriazione dello spazio urbano. Attorno a quel sentiero sono stati articolati gli edifici costituenti il centro parrocchiale, la chiesa, la canonica, le sale per incontri. La chiesa è un grande volume impostato su una depressione rispetto alla strada ed ai retorici colonnati del centro commerciale, cui essa volge le spalle».

Quel bianco muro della chiesa privo di aperture volge appunto le spalle al monumentale portico rifiutando qualsiasi dialogo urbano. Viene invece originato un luogo altro "ad alta capacità di libera associazione all'aperto" quale nodo su cui si affaccia il pronao stesso della chiesa. Il campanile, "poco più alto delle case" formato da una struttura metallica priva di ogni retorica a reggere il carillon di campanone, cerca e trova relazioni con l'edificio del municipio confrontandosi nello spazio aperto in cui un memoriale ricorda le vittime del Vajont.

L'interno della chiesa rivela la personale, matura interpretazione della riforma liturgica conciliare da parte di Gresleri, uno spazio in cui un'intensa luce zenitale concen-



tra ogni tensione sulla mensa dell'altare, quadrato, centrale. «Nel presbiterio sono segnati con precisione ed evidenziati gli spazi rituali: per il battesimo, gli sposi, il feretro; la Madonna non è più su un altare ma immersa anch'essa nella luce: la religiosità popolare della gente dell'esodo aveva bisogno di segni chiari per ritrovare ancora un'identità in questa nuova chiesa. Ogni momento ecclesiale e sacrale viene così a trovare un suo luogo preciso, una sua spazialità e una forte carica di caratterizzazione...».

Il posto per gli sposi e i testimoni, la positura della cerimonia funebre, il fonte battesimale a cui si accede da un percorso iniziatico a scendere per poi risalire nell'aula, hanno un luogo con sapienza dedicato.

La nuova chiesa fu consacrata il 7 dicembre 1974.

La chiesa-casa tra le case.

Chiesa di San Bartolomeo, Erto e Casso, 1970-74

Glauco Gresleri con Silvano Varnier

L'immane onda sconvolse il territorio affacciato sull'invaso del comune di Erto e Casso. L'abitato di Erto, sostanzialmente salvato dall'onda grazie alla formazione rocciosa antistante, fu comunque dichiarato inagibile. A monte di Erto fu realizzato il nuovo abitato in località Stortàn, pianificato anch'esso dal gruppo guidato da Giuseppe Samonà. La storia, a tratti surreale del nuovo paese e della tenacia degli abitanti a non abbandonare il loro vecchio paese, mostra l'incolmabile distanza «...che separa un abitato sedimentato e vissuto nei secoli da un agglomerato di case generato a distanza, senza alcuna attenzione per le caratteristiche del luogo e le sue tradizioni».16

Gresleri e Varnier si misurano dunque con l'incarico per la chiesa del nuovo abitato di Erto a monte del paese duramente colpito ma ancora oggi almeno in parte abitato e in cui sono stati recuperati la vecchia chiesa e il cimitero.

Ancora con le parole di Glauco Gresleri: «Una balza erbosa a picco sulla forra del Vajont: la tensione di un ambiente in equilibrio precario è esaltata dalla memoria della frana. Rifiutata l'ipotesi di un "oggetto" che riverberasse la tensione con inevitabile retorica, venne scelto di costruire una casa, complessa, abbarbicata sul pendio, elevata nel sovrapporsi di vari livelli interni; come erano, essenzialmente, le case di pietra rosa della vecchia Erto (dove pure la gente viveva e vive, nonostante la sensazione di precarietà, sospesa sul baratro). Una casa, dunque, scompartita dal basso in alto: le opere parrocchiali, la chiesa, e a sini-

stra, le aule catechistiche e la casa del sacerdote... Dalla chiesa, con un portone scorrevole a tutta parete per i giorni di grande festa, si passa nella strada, direttamente...».

Una casa tra le case di questo nuovo borgo, quindi, con il rifiuto della retorica se non nel momento in cui il fedele entra a pregare e si relaziona ai segni propri della chiesa cristiana. Una chiesa, nel ventre del piccolo centro pastorale, che non si manifesta ma si confonde con le case della nuova Erto.

Se nella parrocchiale di Vajont la rinuncia al dialogo con la città pianificata era programmaticamente dichiarata, qui la rinuncia a una eloquente espressione dell'edificio ecclesiale anche per riscattare l'anonimato circostante è più difficile da comprendere. Gresleri è radicale: fuori da ogni retorica fa ricorso alla chiesa-casa, cellula fondativa della Chiesa degli inizi, nel modo delle "case di pietra rosa della vecchia Erto".

Lo struggente dialogo con la propria terra.

Cimitero di Erto e Casso, Erto a Monte, 1970-72

Glauco Gresleri e Silvano Varnier

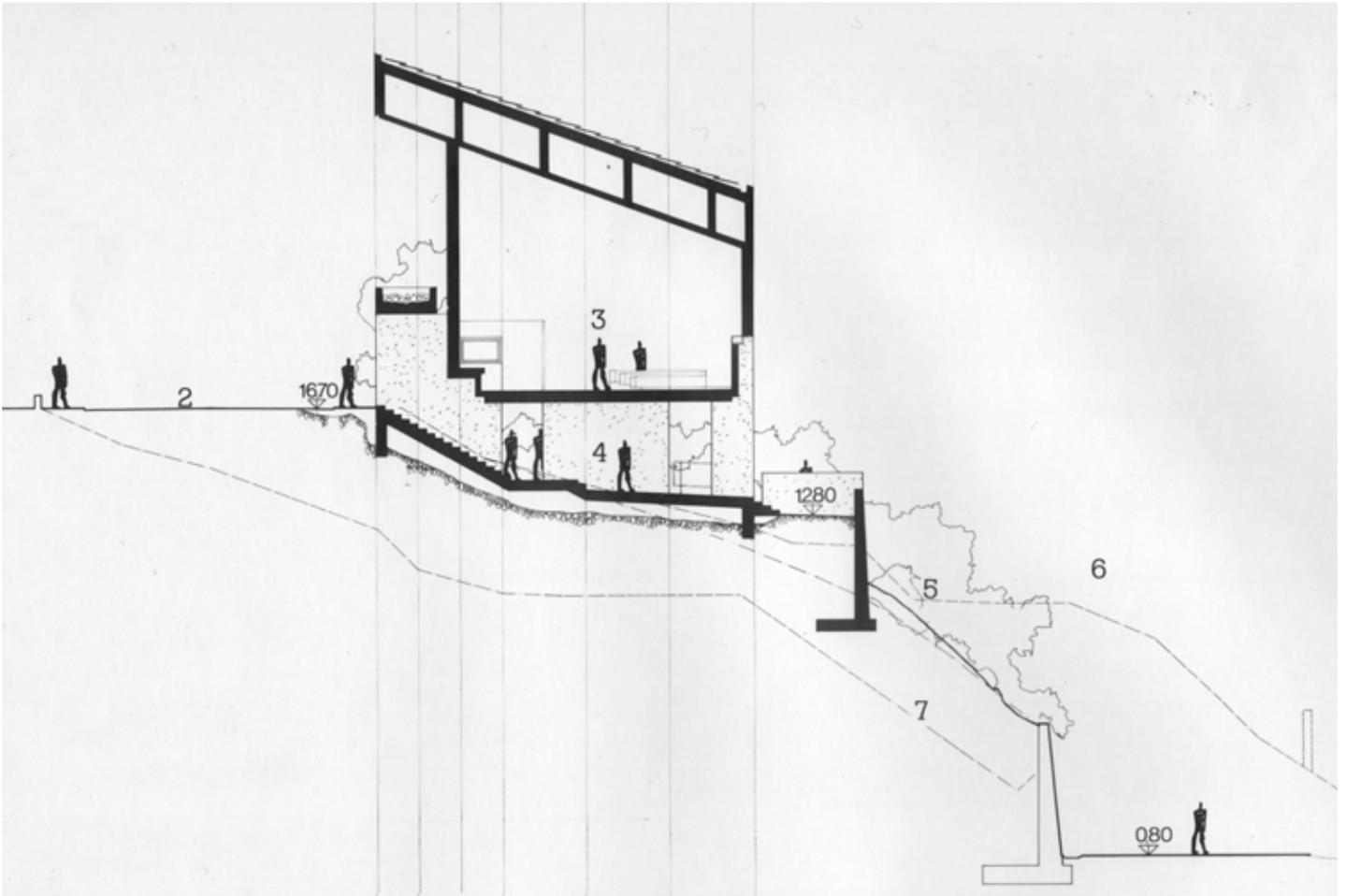
L'ultimo degli incarichi riguarda il cimitero di Erto e Casso, un'opera che dialoga con il contesto naturale, con la madre terra, prima che col luogo antropizzato.

Quest'opera è l'occasione per far memoria anche dei cimiteri della valle sottostante alla diga.

A Longarone, sin dal primo momento seguente alla tragedia, si dovette affrontare l'incombenza di individuare un'area adeguata dove poter seppellire l'enorme numero di salme e per consentirne l'ardua opera di censimento. In località san Martino, nella frazione di Fortogna a sud di Longarone, su un campo di granoturco consacrato, si iniziarono a scavare le fosse ove calare le bare.

Il Cimitero monumentale delle Vittime del Vajont, camposanto e memoriale, oggi ospita con cartesiana organizzazione 1910 cippi marmorei bianchi, uno per ogni vittima della tragedia, a prescindere dal ritrovamento, dal riconoscimento o dal luogo di effettiva sepoltura.

Ma l'immane onda non aveva certo risparmiato il cimitero di Longarone; il nuovo cimitero di Muda Maè, frazione di Longarone, posto poco più a nord sullo stesso versante del memoriale, lo sostituì. L'incarico per la progettazione viene assegnato nel 1966 a un gruppo composto dai friulani Gianni Avon e Francesco Tentori, affiancati dal milanese Marco Zanuso.





L'opera è caratterizzata dallo stretto legame con l'orografia del sito prescelto entro cui i manufatti cimiteriali si inseriscono nel terreno con uno scavo in trincea. La direttrice dello scavo traguarda in lontananza proprio la gola del Vajont. «La scelta di organizzare le pareti di loculi secondo una sezione ricavata in trincea riflette la volontà di non inserire elementi di discontinuità nello scenario delle montagne dolomitiche, privilegiando un impianto longitudinale che asseconda la morfologia del suolo, seguendo il profilo della scarpata. I servizi vengono raccolti entro la struttura dell'atrio: un muro spesso, che segna una profonda soglia di passaggio tra esterno e interno, marcando l'unico accesso al cimitero in corrispondenza della stretta gola del pianoro. All'interno, il cimitero si presenta come una radura che inquadra un pezzo di paesaggio dolomitico di bassa quota...»¹⁷.

Non sfuggono forti similitudini tra le due opere cimiteriali, a Muda Maè ed Erto, sostanzialmente coeve.

Anche «a seguito del gradimento popolare per la realizzazione del Cimitero di Vajont» viene conferito a Gresleri e Varnier l'incarico per il camposanto della nuova Erto e Casso. È necessario ancora ricordare che a Erto non solo la chiesetta ma anche il piccolo cimitero rimase ed è tuttora in funzione. «Infatti la comunità locale ha continuato a usare il vecchio camposanto come segno di riscatto nei confronti di una politica che troppo spesso ha fatto piovere decisioni dall'alto»¹⁸.

Così Gresleri presenta il suo lavoro: «Con un andamento antropomorfo, il cimitero dall'alto del crinale, apre le

braccia e scende verso il lago. Successivi terrazzamenti realizzano così, in sequenza progressiva, il muro di spalle, la seduta del visitatore, il luogo della sepoltura, la siepe che taglia la vista verso il lago. L'andamento naturale entro la dolce orografia del sito fanno di questa struttura un luogo di verso silenzio e di pace».

È mia convinzione che questa piccolo cimitero privo di recinto e immerso nel paesaggio sia un'opera che emana una struggente sacralità. Ne ho scritto in un breve testo che mi fu richiesto dal fratello di Gresleri, Giuliano, architetto e storico dell'architettura, quale prefazione di un volume in memoria del fratello scomparso.¹⁹ Concludo, citando me stesso, perché non so trovare altre parole per descrivere la piccola emozionante opera che le foto in bianco e nero di allora magnificano.

«È il cimitero realizzato a Erto. "Uso attuale: nessuno" si evince dalla scheda Id 3713 del Patrimonio culturale curato dalla Regione autonoma Friuli Venezia Giulia. Non ha potuto accogliere i defunti del paese perciò ha perso il suo valore d'uso. Non conosco fino in fondo il perché. Forse è un'opera che non doveva essere nemmeno realizzata dato che Erto il suo cimitero la aveva e lo ha ancora, proprio dall'altra parte del paese... Quel cimitero è stato realizzato e, all'opposto dei campisanti che ritagliano rigidamente una parte del territorio, il cimitero di Erto a Monte si adagia sulle curve di livello e si apre al paesaggio confondendosi con esso. Il principio è basilare, primitivo, come primitivi sono i gesti dell'uomo nel creare nei declivi i terrazzamenti per le proprie colture. Il muro a monte

protegge le spalle di colui che sosta sulla sinuosa seduta a terra. Una siepe limita lo sguardo e invita a raccogliersi nella memoria dei propri cari sepolti in terra. Dal microcosmo al macrocosmo, se ti alzi, lo sguardo va oltre la siepe e ritrova il paesaggio, i confini della valle, il silenzio e la propria identità. L'ho visitato pochi anni fa ormai aggre-

dito dalla vegetazione. Mi chiedo se, pur privo di uso, il bene pubblico non debba ricevere almeno una ordinaria manutenzione per tenerlo in dignitoso ordine. Privo d'uso, ma sublimato nel paesaggio, ha i caratteri involontari di un'opera di land-art e forse è giusto che la natura si riappropri di questo segno fatto dall'uomo e mai adoperato».

NOTA 1

Architetto di fama internazionale già allora. Si legga a riguardo, R. DULIO, *Longarone, la chiesa di Michelucci. La fortuna critica*, in «Casabella» 728-729, dicembre 2004, gennaio 2005.

NOTA 2

Oltre alle monografie sull'opera di Michelucci, per le vicende della chiesa di Longarone si raccomanda, S. SODI (a cura di), *Giovanni Michelucci e la Chiesa italiana*, Edizioni San Paolo, Cinisello Balsamo 2009. Al suo interno, in particolare, il testo di Stefano Sodi, *Michelucci e le chiese locali*, con un ricco rimando alle fonti documentarie tratte da l'Archivio Fondazione Michelucci, l'Archivio storico del Comune di Longarone e l'archivio parrocchiale.

NOTA 3

Su tutti l'intervento di Indro Montanelli, *La discussa chiesa di Longarone*, sulle pagine de «La Domenica del Corriere» del 26 marzo 1968.

NOTA 4

Giuseppe Samonà, architetto e rettore dello IUAV, incaricato dal ministero dei Lavori pubblici della pianificazione dell'intera area del Vajont colpito dalla tragedia.

NOTA 5

In relazione alla chiesa di Longarone d'ora in avanti i riferimenti alle fonti sono omessi rimandando alle puntuali note del testo di Stefano Sodi citato in precedenza.

NOTA 6

Oltre a Michelucci e Gardella e i professionisti graditi agli enti locali, Armen Gurekian e Silvio Malatesta, furono invitati i BBPR, Lucio Carlo Daneri e Gino Valle.

NOTA 7

C. CONFORTI, *Longarone, la chiesa di Michelucci. Il progetto*, in «Casabella» 728-729, dicembre 2004, gennaio 2005.

NOTA 8

C. CONFORTI, *Longarone...* ibid.

NOTA 9

A. DI BUSSOLO, *Don Pietro e il ricordo del Vajont: "1917 vittime vicarie, come Gesù sulla croce"*, in Vatican News, <https://www.vaticannews.va/it/chiesa/news/2023-10/disastro-vajont-diga-60-anni-longarone-don-pietro-bez-parroco.html>

NOTA 10

In quegli stessi anni i templi di Abu Simbel minacciati dalle acque con la realizzazione della diga di Assuan per regolare le piene del Nilo, subirono la stessa sorte, meravigliando il mondo per l'entità della operazione.

NOTA 11

L'onda d'urto generata dalla comparsa della bianca sagoma della cappella di Le Corbusier a Ronchamp e dalla sua fortuna critica, avevano sdoganato possibilità sin troppo ampie per coloro che da allora affronteranno il tema dell'architettura sacra.

NOTA 12

Per il regesto delle opere, tra cui quelle in terra friulana vedi la pagina *Glauco Gresleri* su Wikipedia, https://it.wikipedia.org/wiki/Glauco_Gresleri.

NOTA 13

Nel 1955 il cardinale Giacomo Lercaro, protagonista del Concilio ecumenico Vaticano Secondo, vescovo di Bologna dal 1952 al 1968, inaugura il programma di pianificazione della periferia destinato a dotare la città di 44 nuovi centri parrocchiali. Lercaro istituisce l'ufficio *Nuove Chiese* proponendo una visione della città che vede i

nuovi complessi ecclesiali come eminenti centralità nelle nascenti periferie urbane.

NOTA 14

D'ora in avanti tutte le citazioni, se non altrimenti specificato, sono tratte dalle relazioni accompagnatrici dei progetti scritte di pugno da Glauco Gresleri.

NOTA 15

In questa piccola chiesa a servizio della frazione di Spilimbergo, Gresleri tocca, credo, l'apice della sua produzione. Questa matura opera è stata accostata dalla critica all'opera di Le Corbusier, intensamente frequentato da Gresleri al tempo del coinvolgimento del maestro svizzero per la costruzione di una chiesa a Bologna da parte del cardinal Lercaro.

NOTA 16

S. PRATALI MAFFEI, B. RODEGHIERO, *Erto/Stortan a cinquant'anni dal Vajont*, in AA.VV., *La ricostruzione dopo una catastrofe: da spazio in attesa a spazio pubblico*, Atti del Convegno, 2013, <https://issuu.com/urbinfo/docs/ud005>.

NOTA 17

A. CARLINI, *Il cimitero di Longarone*, in L. FRANCIOSINI (a cura di), *Cimiteri*, M.E. Architectural Book and Review, Roma 2011.

NOTA 18

A. CARLINI, *Paesaggio della memoria: dal disastro del Vajont alle architetture del ricordo. Glauco Gresleri e i cimiteri di Erto a Monte e Ponte Giulio*, in AA.VV. *Glauco Gresleri (1930-2016). Parole, progetti, relazioni*, in_bo, v. 10 N. 14, 2019, <https://doi.org/10.6092/issn.2036-1602/v10-n14-2019>

NOTA 19

G. DELLA LONGA, Glauco, in G. GRESLERI (a cura di) *Glauco Gresleri. Architettura di chiese*, Bononia University Press, Bologna 2021.

Diga del Vajont. Verifiche strutturali dello sbarramento a 60 anni dalla frana

ING. PAOLO CHEMELLO, responsabile Enel Green Power, Sicurezza Dighe e Opere idrauliche, Venezia

ING. MATTEO BURATIN, Enel Green Power, Sicurezza Dighe e Opere idrauliche, Venezia

52
RT 394

La diga del Vajont, costituita da una struttura in calcestruzzo ad arco a doppia curvatura alta 261,60 metri rappresentò – al tempo della realizzazione – la più razionale, economica ed elegante soluzione ingegneristica d'avanguardia per lo sbarramento idraulico della stretta e profonda gola del torrente Vajont, in località "Colomber" (fig. 1). Il progetto è dell'ingegnere Carlo Semenza, direttore del servizio Costruzioni idrauliche della società Adriatica di Eletticità, principale progettista di dighe in Italia e nel mondo.

La diga è costituita da tre parti: i pulvini a contatto con la roccia di spalla, il tampono in fondazione e il corpo centrale che è diviso in quattro parti dai giunti suborizzontali a loro volta suddivise in conci dai giunti radiali.

Il serbatoio del Vajont doveva assolvere alla funzione di accumulo e regolazione pluriennale a scopo multiplo idroelettrico e irriguo, dell'intera asta del fiume Piave ed era prevista, inoltre, l'interconnessione con l'asta del torrente Cellina. Il grande serbatoio costituiva la parte centrale di un complesso sistema idroelettrico interconnesso, comprendente sei serbatoi, quattro centrali, oltre 50 chilometri di gallerie, cinque ponti tubo e condotte forzate, per una capacità complessiva di 100 milioni di metri cubi che lo rendeva del tutto singolare e innovativo al tempo.

A partire dal 1986, con la costruzione di un tratto di galleria in frana a monte della diga, sono state collegate le gallerie di derivazione provenienti dai serbatoi di Pieve di Cadore, Valle di Cadore e Pontesei con la galleria di derivazione verso il bacino di Val Gallina (fig. 2); in precedenza per il collegamento si utilizzava il ponte tubo a valle diga.

Le verifiche progettuali

La progettazione della diga del Vajont può essere considerata la sintesi di tutte le conoscenze tecniche maturate dagli uffici studi e lavori della Sade nella costruzione delle numerose dighe realizzate a partire dal dopoguerra e, in particolare, della diga del Lumiei, allora la diga a cupola italiana più alta (136,15 metri). Venne scelta la soluzione a doppia curvatura, risultata tecnicamente più efficiente e più economica per la sezione della valle a "V" di notevole altezza e svasata verso l'alto.

La diga presenta una conformazione ad arco-cupola nella parte medio superiore e a volta spessa nel tampono inferiore di fondazione, quest'ultimo dell'altezza di circa 50 metri a spessore pressoché costante. L'analisi e la verifica degli stati tensionali furono sviluppate adottando uno schema ad archi indipendenti, trascurando quindi ogni efficace contributo degli elementi verticali. Per la condizione

di diga invasata furono determinati valori massimi di compressione di circa 70 kg/cm² e assenza di sforzi di trazione.

Data l'importanza dell'opera il progetto della struttura fu verificato anche con prove su modelli fisici in scala 1:35, presso il laboratorio Ismes di Bergamo, dal professore Oberti. I risultati dei modelli fisici furono confrontati con quelli analitici che risultarono più conservativi per effetto delle maggiori approssimazioni inserite negli schemi di calcolo teorici.

Le verifiche statiche successive all'evento

Nel 1963-64 l'Enel svolse numerosi studi di approfondimento per rispondere alle necessità di valutare la condizione statico-strutturale dello sbarramento in seguito all'evento franoso verificatosi nell'ottobre; gli studi furono svolti da Ismes (professore Oberti, ingegnere Lauretta). Furono eseguite sia analisi numeriche [rif. 3, 4, 5 e 6] sia determinazioni mediante modello fisico [rif. 4], nonché indagini sperimentali sul paramento di valle diga per la misura diretta degli stati di sollecitazione [rif. 5]. I risultati di tali studi furono nel 1992 oggetto di ulteriori riflessioni e valutazioni che portarono a confermare le positive conclusioni già in precedenza raggiunte [rif. 7].

Furono eseguite indagini sperimentali in situ sul paramento di valle, per la misura diretta dello stato tensionale in alcuni punti significativi [rif. 5]; tali misure rappresentarono un'esperienza sicuramente pionieristica per l'epoca.

Verifiche sismiche dello sbarramento

Enel ha incaricato lo studio Lombardi di eseguire una nuova verifica dello sbarramento secondo il decreto 26 giugno 2014 "Norme tecniche per la progettazione e la costruzione degli sbarramenti di ritenuta (dighe e traverse)". Come previsto dalle nuove norme, si è proceduto all'analisi di tutta la documentazione storica, all'analisi delle misure di controllo e all'esecuzione di ulteriori indagini in situ al fine di aumentare il quadro conoscitivo, sia della zona di imposta, sia del corpo diga.

Nel periodo 2021-22 è stata eseguita una specifica campagna di indagine costituita da:

- rilievo fotogrammetrico e Lidar, anche mediante drone, della forra a valle e monte della diga nonché delle opere sotterranee accessibili (fig. 3);
- rilievo geologico, geomorfologico e idrogeologico di un'area di circa 100 ettari intorno alla diga;
- n. 30 stazioni di rilievo geostrutturale e geomeccanico su affioramenti e pareti rocciose subverticali;

↑
Fig. 1 Sviluppata in fibra media della diga a sinistra, sezioni verticali a destra

↑
Fig. 2 Schema di impianto. Assetto attuale

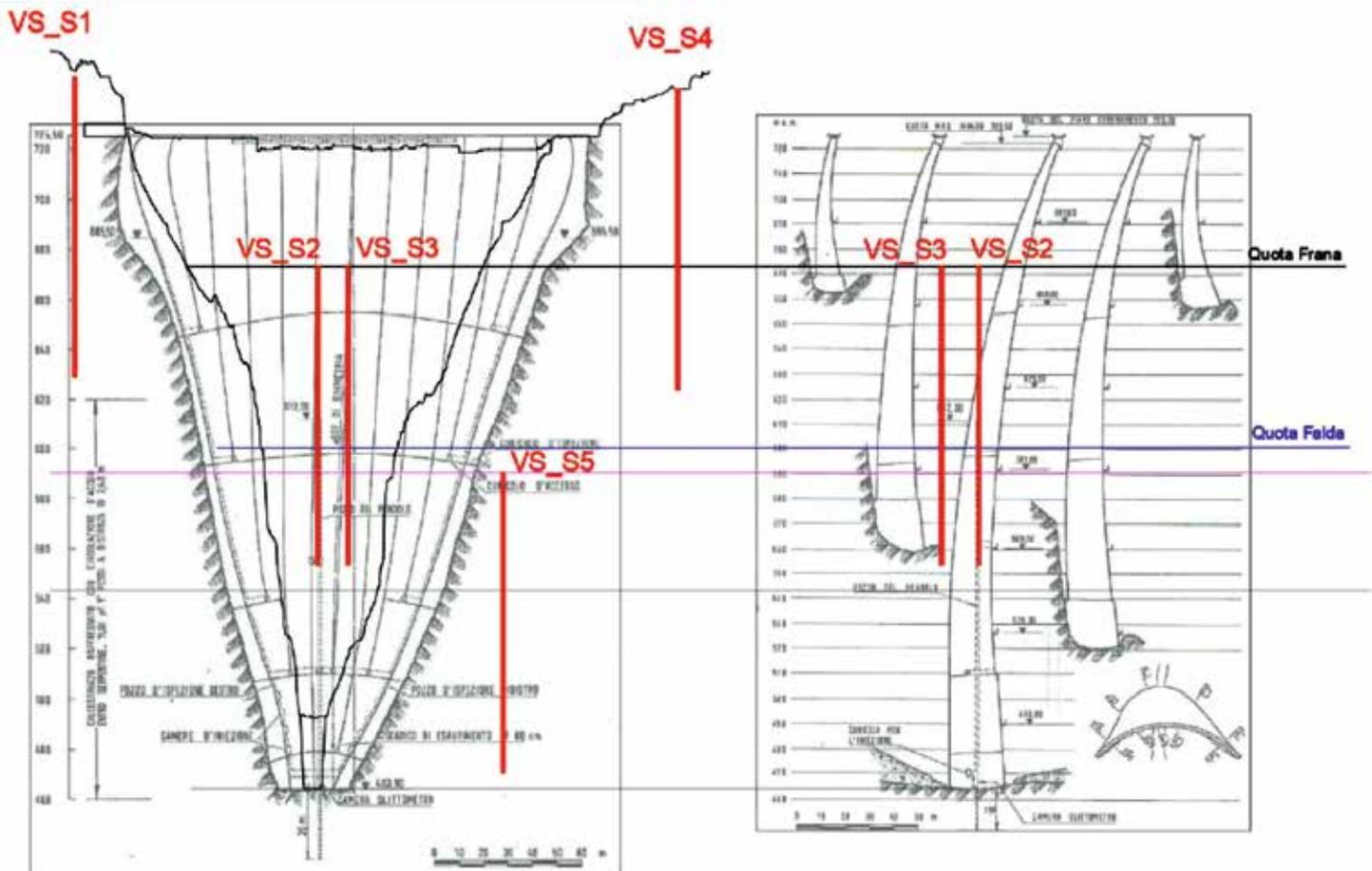
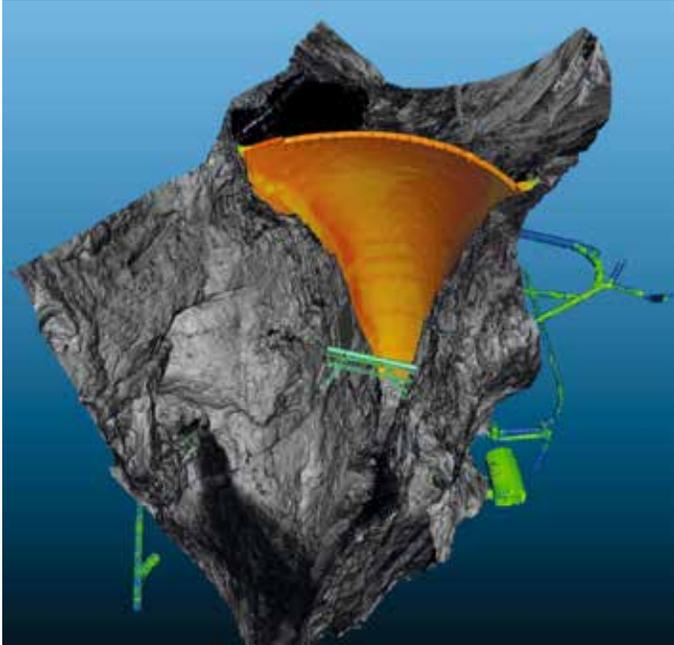
↓
Fig. 3 Rilevamento topografico (anno 2021)

↓
Fig. 4 Rilievi geomeccanici (anno 2021)

↓
Fig. 5 Sondaggi geotecnici (anno 2021). Ubicazione in vista frontale e sezione verticale

54

RT 394



- n. 211 prove di compressione a carico concentrato su roccia (Point Load Test);
- n. 5 sondaggi profondi verticali, ciascuno di 120 metri di lunghezza all'interno dei quali sono stati realizzati rilievi ottici e acustici, prove di permeabilità e prove dilatometriche
- indagini geofisiche di tipo Cross-Hole tra i sondaggi VS-S2 e VS-3 e down-hole nei sondaggi VSS1 e VS-S5 e stendimenti di tipo MASW sul corpo della frana (figg. 5 e 6);
- n. 10 carotaggi da 2 metri sia nel corpo diga sia nella roccia d'imposta con associate prove dilatometriche (2 nel calcestruzzo del corpo diga, 2 in quello del pulvino e le 6 rimanenti all'interno dei cunicoli in roccia);
- n. 19 carotaggi del calcestruzzo diga da 50 centimetri eseguiti nei conci dal paramento di monte della diga;
- prove di laboratorio su 50 campioni di calcestruzzo, 40 campioni di roccia e 20 di terreno;

Rilevamento geologico

È stato effettuato il rilievo geologico di dettaglio della zona di imposta che ha consentito di identificare le principali unità litologiche, le strutture tettoniche e le forme morfologiche presenti in corrispondenza dell'opera. Le attività di rilevamento geologico sono state condotte con l'ausilio di tablet dotati di ricevitore Gps e applicativo Gis che hanno permesso l'editing diretto degli affioramenti. Sono state identificate e classificate le forme morfologiche e gli elementi strutturali che caratterizzano gli ammassi rocciosi.

Rilevi geomeccanici

Tra luglio 2021 e febbraio 2022 è stato eseguito il rilevamento geomeccanico di 30 stazioni: venti su affioramenti rocciosi e dieci su pareti subverticali (fig. 4). I rilievi sono stati distribuiti lungo la sezione di imposta fino a una distanza di 200 metri dal coronamento, includendo le gallerie e i cunicoli non rivestiti, nonché le passerelle esterne distribuite a varie quote. Le litologie interessate dai rilievi sono state la formazione dei calcari del Vajont e la formazione di Fonzaso. Mentre la sezione di imposta della diga si colloca interamente nei calcari del Vajont, i calcari di Fonzaso affiorano in destra idrografica a quote più elevate rispetto al coronamento.

La finalità dei rilievi è stata la definizione delle orientazioni dei principali set di discontinuità che intersecano l'ammasso roccioso e delle loro condizioni in termini di

persistenza, spaziatura, rugosità, ondulazione, alterazione, apertura ed eventuali riempimenti. Le misurazioni eseguite sono state utilizzate per classificare l'ammasso roccioso secondo i sistemi GSI di Hoek e RMR di Bieniawski.

Un totale di 211 prove di Point Load test sono state eseguite secondo lo standard ISRM 1985 su campioni di roccia prelevati dalle aree del rilievo geomeccanico e dalle carote estratte dalle perforazioni.

Sondaggi geotecnici e prove geofisiche

I cinque sondaggi di 120 metri ciascuno, sono stati eseguiti a rotazione con metodo wire-line utilizzando carotieri doppi e tripli con corona diamantata del diametro di 101 millimetri (figg. 5 e 6).

All'interno dei sondaggi sono stati eseguiti un totale di:

- 420 metri di rilievi ottici e acustici;
- 8 prove Lefranc;
- 15 prove Lugeon;
- 20 prove dilatometriche da roccia.

Tutti i fori, a eccezione del VS-S4, sono stati attrezzati per realizzare indagini geofisiche:

- Ttpo Cross Hole da 120 metri con misura onde Vp e Vs tra i sondaggi VS-S2 e VS-S3;
- tipo Down Hole da 120 metri con misura onde Vp e Vs nei sondaggi VS-S1 e VS-S4.

In aggiunta sono state eseguite due MASW sul deposito di frana subito a monte della diga.

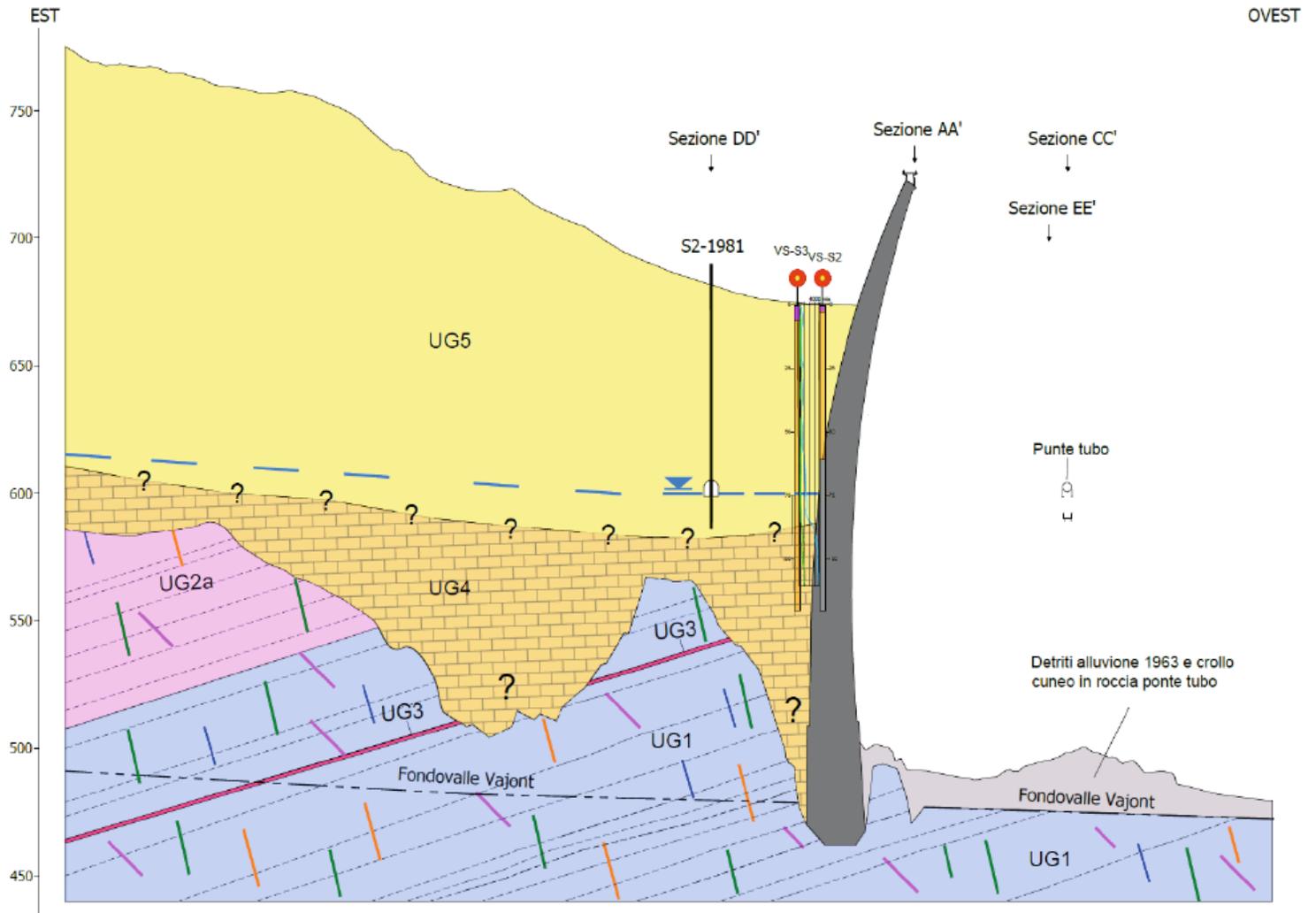
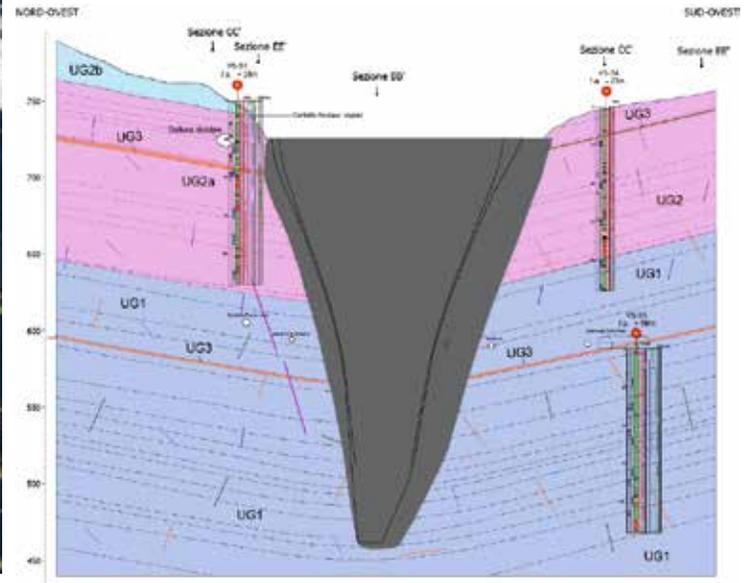
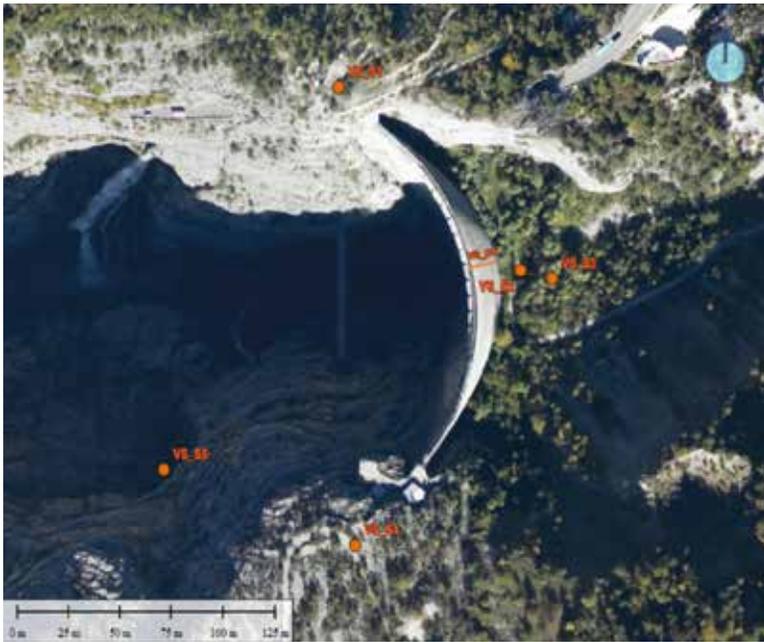
Risultati delle indagini

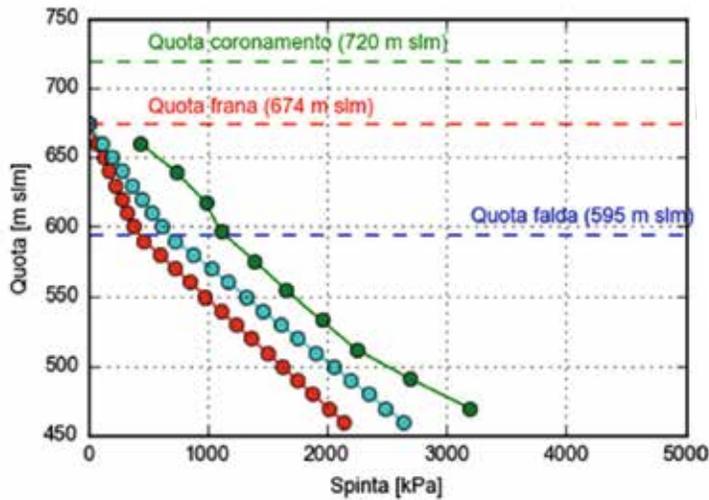
Definizione del modello geotecnico

Il modello geotecnico di riferimento della sezione di imposta della diga è stato elaborato a partire dal modello geologico.

Sono state definite un totale di sei unità geotecniche: quattro per l'ammasso roccioso e due per il deposito di frana che si appoggia sulla diga (figg. 7 e 8):

- UG1: calcari del Vajont poco fratturati (colore azzurro);
- UG2a: calcari del Vajont mediamente fratturati (colore rosa);
- UG2b: calcari della Formazione di Fonzaso mediamente fratturati (colore azzurro chiaro);
- UG3: calcari del Vajont nelle zone di taglio interstrato (spessore 1-3 metri) (colore viola);
- UG4: deposito di frana molto addensato, semi lapideo (colore giallo con campiture);
- UG5: deposito di frana mediamente addensato (colore giallo).





← Fig. 10 Corpo di frana. Spinta sull'opera

● Spinta frana (modello 3D) ● Spinta attiva (anal. $\beta=0^\circ$) ● Spinta a riposo ($k_0=1-\sin(\phi)$)

→ Fig. 11 Analisi SLC. Spostamenti radiali del coronamento

un carico proveniente da un corpo frana, per di più fortemente asimmetrico. Tali trazioni sono tuttavia da considerarsi accettabili se confrontate con la resistenza a trazione offerta dal calcestruzzo.

Gli spostamenti in direzione monte-valle indotti dalla spinta della frana sono dell'ordine di 4 centimetri. Si osserva un generale buon comportamento degli archi, generalmente compressi.

Le verifiche a scorrimento alla base dei conci costituenti la diga, quindi alle quote dei giunti orizzontali, risultano sempre verificate (F.S. minimo 1,59).

La capacità portante della fondazione risulta verificata, gli sforzi trasmessi dalla diga alla roccia di fondazione risultano sempre inferiori agli involuppi di rottura calcolati.

Analisi dinamiche - SLD

Lo spostamento massimo relativo (cresta-base diga) risulta di poco inferiore a 2 centimetri. L'andamento dello spostamento radiale dei conci conferma la piena stabilità durante la sollecitazione sismica.

La compressione massima, localizzata nella parte bassa della diga in corrispondenza del paramento di monte, risulta dell'ordine di 11 MPa, e nella zona centrale, di 8,5 MPa. È presente altresì una concentrazione di sforzo di compressione sulle reni, lato valle, dell'ordine di 9 MPa.

Si sono calcolati dei ridotti sforzi di trazione nel corpo diga dell'ordine di 0,5-1,0 MPa, in direzione prevalentemente sub-verticale, la cui origine è da imputare al moto oscillatorio dei conci in direzione monte-valle. Una concentrazione di sforzi di trazione è riscontrata anche nella porzione inferiore del corpo diga lato valle, in corrispondenza dell'interruzione dei giunti verticali in prossimità del giunto orizzontale a quota 510 metri s.l.m.

Le verifiche a scorrimento alla base dei conci costituenti la diga, quindi alle quote dei giunti orizzontali, risulta sempre abbondantemente superiore al limite di normativa (F.S. 1,15).

La capacità portante della fondazione risulta verificata, gli sforzi trasmessi dalla diga alla roccia di fondazione risultano sempre inferiori agli involuppi di rottura calcolati per lo SLD.

La verifica a scorrimento lungo i giunti in fondazione indica una esigua zona appena a valle del piede diga dove il coefficiente risulta prossimo al limite imposto da nor-

mativa (F.S. 1,20). Tale zona risulta di limitate dimensioni, e caratterizzata da un basso valore di sforzo normale essendo posta a valle dell'opera. Va sottolineato che causalmente è stato trascurato l'effetto stabilizzante del ricoprimento di materiale detritico presente a valle diga, che ha uno spessore di circa 40 metri.

Analisi dinamiche - SLC

Lo spostamento massimo relativo (cresta – base diga) risulta sempre inferiore a 5 centimetri (fig. 11). Durante il sisma è stata rilevata l'apertura dei giunti verticali nella porzione superiore della diga, in particolare:

- alla quota di 715 metri s.l.m., i giunti centrali raggiungono la completa apertura, e ciò si riflette sull'assenza di effetto arco e quindi l'assenza di linee di sforzo tangenziale;
- alla quota 695 metri e 680 metri s.l.m. invece i giunti verticali centrali sono aperti a valle, ma chiusi a monte; l'effetto arco è quindi ridotto, ma presente.

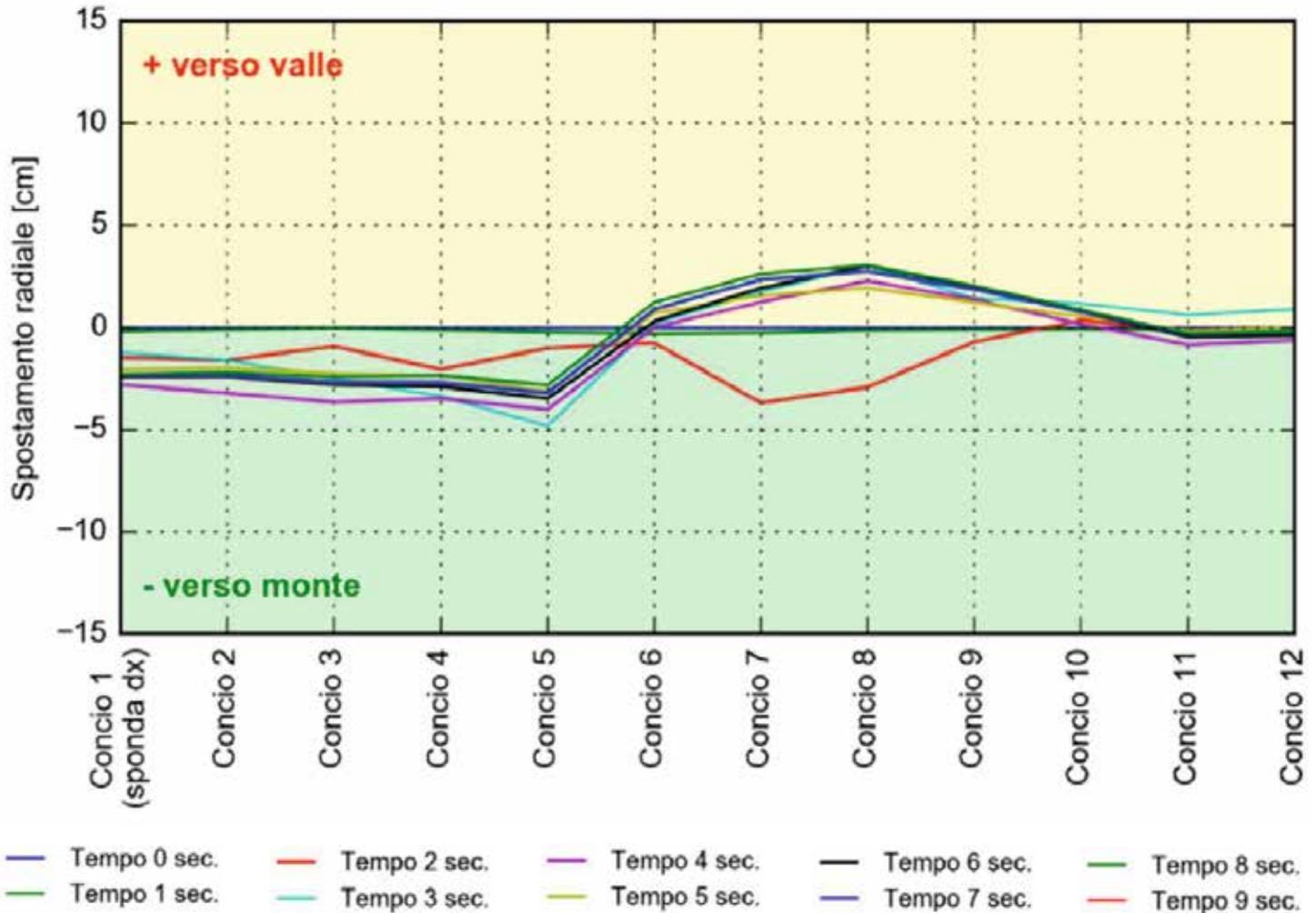
Si sottolinea come la presenza dell'effetto arco, dovuto alla spinta della frana a monte, costituisce di fatto una condizione di confinamento per il concio.

La compressione massima nella zona bassa della diga in corrispondenza del paramento di monte, risulta dell'ordine di 15 MPa, e nella zona centrale di 11 MPa. È presente altresì una concentrazione di sforzo di compressione sulle reni, lato valle, dell'ordine di 12,5 MPa.

Per quanto riguarda gli sforzi di trazione, si registrano degli sforzi di trazione nel corpo diga dell'ordine di 2,5 MPa, in direzione prevalentemente sub-verticale, la cui origine è da imputare al moto oscillatorio dei conci in direzione monte-valle nella zona non confinata dalla frana. Una concentrazione di sforzi di trazione è riscontrata anche nella porzione inferiore del corpo diga, in prossimità dell'interruzione dei giunti verticali contro un giunto orizzontale (quota 510 metri).

Le verifiche a scorrimento hanno fornito esito positivo. Per i conci centrali, posti sopra il giunto orizzontale a quota 675 metri (non caricati da alcuna spinta sul paramento di monte) lo spostamento massimo a fine sisma risulta inferiore a 1 centimetro, valore di tutta sicurezza.

SLC - SM107 Spostamenti radiali coronamento



La capacità portante della fondazione risulta verificata, gli sforzi trasmessi dalla diga alla roccia di fondazione risultano sempre inferiori agli involuppi di rottura calcolati per lo SLC.

La verifica a scorrimento ha dato risultati analoghi a quanto già riportato per la verifica allo SLD.

Considerazioni conclusive

Le conclusioni delle verifiche descritte hanno messo in evidenza che:

- lo stato tensionale del corpo diga, rilevato dalla strumentazione di controllo, è di compressione e che le tensioni massime misurate sono sempre al di sotto dei valori ammissibili di resistenza del calcestruzzo e non vengono rilevate tensioni di trazione;
- le misure di controllo, inoltre, permettono di confermare che la diga ha un comportamento elastico lineare stabile senza derive; gli andamenti oscillatori che vengono registrati sono legati unicamente ai cicli termici stagionali;
- le verifiche effettuate secondo la normativa tecnica del 2014 risultano tutte soddisfatte.

BIOGRAFIA

- [1] SADE, CARLO SEMENZA, *Calcoli di progetto*, Aprile 1957
- [2] SADE, UFFICI STUDI, *Diga del Vajont. Calcolo di verifica – Confronto dei risultati*, Settembre 1958
- [3] ISMES, E. LAURETTA, *Diga del Vajont. Calcoli di verifica di stabilità della diga sotto l'azione della spinta idrostatica e del materiale franoso*, Dicembre 1963
- [4] ISMES, *Pratica n. 401. Esperienze statiche su modello della struttura della diga dissimetricamente caricata*, Dicembre 1963
- [5] ISMES, *Pratica n. 453. Diga del Vajont. Esperienze di controllo degli stati di coazione della diga*, Novembre 1964
- [6] ISMES, E. LAURETTA, *Diga del Vajont. Calcoli di verifica di stabilità della diga sotto l'azione della spinta idrostatica e del materiale franoso – II relazione*, Dicembre 1964
- [7] ENEL-DCO, *Rapporto n. 4052. Diga sul torrente Vajont. Esame comparativo dei dati ottenuti dalle verifiche teoriche dal modello fisico e dalle rilevazioni strumentali*, Luglio 1992

Il ruolo delle figure tecniche professionali dell'Autorità di controllo statale sulle grandi dighe

ING. ELISA MINTO, ING. MATTEO BENVENÙ, ufficio tecnico per le Dighe di Venezia, ministero per l'Infrastrutture e i Trasporti

60 Premessa

Gli eventi avvenuti in Italia quale conseguenza tragica a fenomeni naturali sono stati frequentemente seguiti da interventi legislativi che hanno introdotto nuovi assetti organizzativo-istituzionali e importanti rinnovamenti anche delle normative tecniche. A segnare il mondo delle grandi dighe, non solo italiane, concorre in maniera indelebile il disastro del Vajont, la cui storia ci impegna a continuare ad agire per studiare e monitorare il complesso sistema evolutivo dei luoghi in cui viviamo al fine di mitigare il rischio legato ai fenomeni di dissesto e prevenire potenziali danni.

Nascita ed evoluzione dell'Autorità di controllo statale sulle grandi dighe

I principali momenti di impulso e cambiamento delle norme che regolano il settore delle grandi dighe in Italia sono avvenuti in seguito a due grandi disastri, ossia al crollo della diga del Gleno nel 1923 e agli eventi alluvionali che hanno interessato le città di Firenze e Venezia e il territorio del Triveneto nel 1966. Come spesso accade, l'analisi dell'accaduto, le verifiche sul territorio, una sempre crescente consapevolezza di cura del territorio e protezione civile, di pari passo a una sempre maggiore conoscenza tecnico-scientifica, hanno portato a introdurre nel quadro legislativo generale una normativa di specifica valenza settoriale e di rilevante contenuto tecnico.

Come si può osservare in figura 1, qualche anno dopo quanto successo in val Scalve nel 1923 l'evoluzione normativa introduce il concetto regolamentare delle norme che disciplinano, oltre alla progettazione, la costruzione e anche il controllo dell'esercizio delle dighe di ritenuta, allo scopo di porre maggiore attenzione sulle caratteristiche tecniche dello sbarramento e dei terreni di fondazione.

Un altro momento cruciale in chiave normativa segue al disastro del Vajont: quanto accaduto ha portato a dover valutare con maggior dettaglio i rischi geologici e le caratteristiche non solo del corpo diga e delle sue imposte, ma anche delle sponde, delle zone quindi interessate dall'invaso, anche attraverso l'esecuzione di specifici rilievi geologici e geomorfologici.

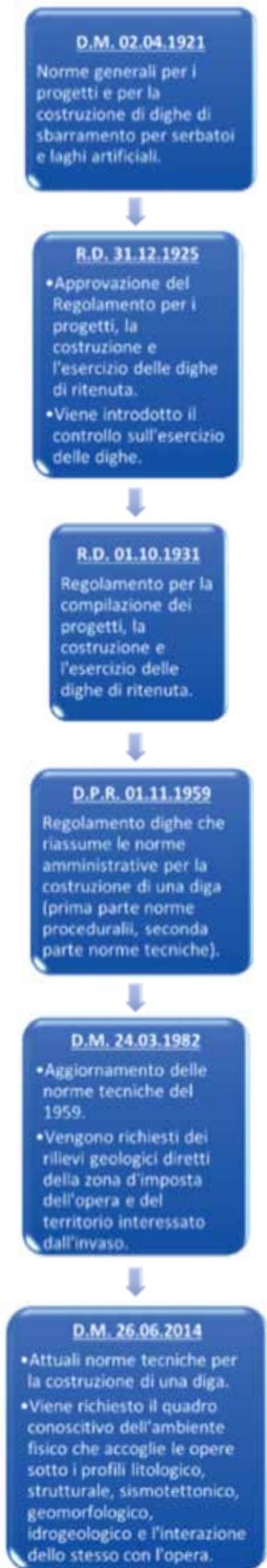
Quale conseguenza alle plurime alluvioni del 4 novembre 1966 il legislatore, mutuando la crescente consapevolezza dell'opinione pubblica, ha cominciato ad affrontare il tema della difesa del suolo nel suo complesso considerando il territorio come l'insieme di diversi elementi che coesistono tra loro, con i diversi bisogni e attenzioni: nel

caso specifico opera di sbarramento, bacino imbrifero e asta fluviale di valle. Di pari passo alla maturazione del pensiero e della sensibilità del pubblico in merito alle tematiche ambientali, gli interventi normativi hanno riguardato anche l'organizzazione delle verifiche e dei controlli da parte dell'istituzione governativa preposta alla sicurezza sulle grandi dighe e la sua struttura.

L'Autorità di controllo statale sulle grandi dighe, come si presenta nella sua forma attuale di assetto istituzionale, è il frutto, infatti, di una evoluzione nel tempo che ha inizio quasi un secolo fa. Come sintetizza la figura 2, da principio era il servizio Dighe presso il Consiglio superiore dei Lavori pubblici che, con il supporto degli uffici territoriali del ministero dei Lavori pubblici, svolgeva le funzioni di sorveglianza.

Fu con la legge 183/1989 relativa a "Norme per il riassetto organizzativo e funzionale della difesa del suolo" che si è istituito il servizio Dighe quale servizio tecnico nazionale presso la presidenza del Consiglio dei ministri, dotato di autonomia scientifica tecnica, organizzativa e operativa, e che si è dato inizio così a un percorso legislativo di indirizzo dell'autorità governativa dal ruolo sempre più centrale e di alta specializzazione tecnica, diretto alla tutela della pubblica incolumità. Tale processo di specializzazione viene completato con la trasformazione del servizio nazionale Dighe in Registro italiano Dighe con le ulteriori nuove competenze attribuitegli in materia di sicurezza idraulica e di territorio (legge 59/1997). L'ultimo grande cambiamento avvenne nei primi anni Duemila, quando il legislatore ha ritenuto di trasferire le competenze del Registro italiano Dighe alla direzione generale per le Dighe, Infrastrutture idriche ed elettriche, riconducendo le funzioni di sorveglianza al ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti (legge 286/2006).

Ad oggi, la direzione generale per le Dighe e le Infrastrutture idriche, così definita e organizzata secondo il Dm 30 novembre 2021 in otto divisioni centrali con sede a Roma (di cui tre di coordinamento, due di alta specializzazione e tre tecnico-amministrativi) e nove uffici tecnici per le dighe dislocati nel territorio italiano, è ancora l'autorità preposta alla sorveglianza sulle grandi dighe (sbarramenti con altezza maggiore di 15 metri o volume di invasore maggiore di 1 milione di metri cubi, così come definiti dalla legge 21 ottobre 1994, n. 584). In figura 4 si osserva la dislocazione delle oltre 500 grandi dighe in tutta Italia suddivisa in aree corrispondenti alle zone di competenza dei vari uffici tecnici indicati.



← Fig. 1 Evoluzione normativa nell'ambito delle grandi dighe

↓ Fig. 2 Evoluzione di assetto dell'Autorità di controllo sulle grandi dighe



La direzione generale per le Dighe e le Infrastrutture idriche

Il ruolo dell'Autorità di controllo

Il principale compito della direzione generale per le Dighe e le Infrastrutture idriche è quello di sorvegliare la gestione in sicurezza delle opere affidate ai concessionari e gestori. In particolare ciò si esplica con la vigilanza sulla sicurezza delle grandi dighe e la redazione di istruttorie di verifica e approvazione dei progetti di costruzione o miglioramento/adequamento della sicurezza idraulica e sismica delle strutture di sbarramento esistenti e delle opere accessorie (case di guardia, sfioratori, gallerie di scarico, paratoie, ecc.), in ottemperanza alle normative vigenti considerando tutti i fattori connessi alla progettazione compresi quelli sismici, sismotettonici, idraulici, idrologici, geologici e geotecnici.

Con l'evolversi della struttura organizzativa dell'Autorità di controllo sulle grandi dighe, anche le competenze hanno subito una progressiva specializzazione, riservata nei primi anni del Novecento unicamente alla sorveglianza nel corso della progettazione delle dighe e ai lavori di costruzione. L'attività ora in capo ai funzionari tecnici dell'Autorità di controllo riguarda l'intera vita delle stesse a partire dalla "concezione" della prima ipotesi progettuale fino alla loro dismissione e demolizione, passando per le attività di costruzione, collaudo, esercizio sperimentale e normale esercizio. Tale attività non si traduce in un mero controllo o formale amministrativo di aderenza degli elaborati progettuali a un dettato normativo, ma in una vera e propria attività professionale atta a individuare qualsiasi possibile problematica che possa evincersi dai controlli a vista delle strutture e dalle verifiche puntuali sulle strumentazioni di monitoraggio.

Dall'iniziale verifica di idoneità delle imposte della diga e dei terreni di fondazione, nel tempo sono ricomprese, con il perfezionamento e approfondimento della normativa, anche le competenze sulla sorveglianza delle sponde dei futuri invasi, già a partire dalla fase di progettazione, e sulle opere di derivazione.

Concretamente, l'attività della direzione e dei suoi uffici territoriali (uffici tecnici per le Dighe, incardinati in diversi provveditorati per le Opere pubbliche, ma funzionalmente dipendenti dalla direzione generale per le Dighe e le Infrastrutture idriche di Roma) è incentrata sulle visite di vigilanza effettuate con cadenza semestrale per ognuna delle attuali 528 grandi dighe iscritte all'apposito registro. Per poter svolgere al meglio le visite ispettive, l'attività è accompagnata dallo studio e dall'analisi del comportamento della diga così come viene tradotto da:

- quanto periodicamente trasmesso dal concessionario/gestore, ossia da adeguata documentazione tecnica inerente allo stato dei paramenti, del coronamento, degli scarichi, delle sponde, dei versanti, delle opere accessorie e di tutte le altre parti dell'impianto di ritenuta;
- le misure della strumentazione di monitoraggio e relative serie storiche;
- le evidenze risultanti da altri sopralluoghi, per esem-

pio dalle visite specialistiche a carattere geologico effettuate dalla divisione specialistica VII "Idraulica e Geologia applicata".

Le attività svolte nelle visite di vigilanza principalmente dai funzionari degli uffici tecnici, che fungono da tramite tra gli uffici centrali e il territorio, sono la manifestazione del ruolo della pubblica amministrazione che ha il dovere di cogliere, con la giusta sensibilità e conoscenza tecnica e normativa, gli innumerevoli segnali che possono pervenire attraverso varie forme, tra le quali:

- segnalazioni da parte di cittadini che, sempre più attenti ai luoghi in cui abitano e alla gestione del territorio, individuano e portano alla luce delle possibili situazioni critiche;
- allarmi o indicazioni tecniche restituite dai grafici di lettura delle misure degli strumenti installati sul o nel corpo diga o presso zone limitrofe che, comunque, possono essere influenzate dallo sbarramento o dalla sua presenza e che potrebbero evidenziare un andamento non previsto o non regolare;
- segnalazioni contenute in atti tecnici come perizie o verbali di diversa natura, attinenti per esempio a fenomeni geologici, geotecnici, idrogeologici o di natura idraulica, civile, strutturale e sismica, che devono essere considerati e analizzati nel loro insieme, evitando quindi analisi settoriali e abbracciando la multidisciplinarietà.

Quanto descritto, pur essendo solo una parte, seppur sostanziosa, di quanto svolge e porta avanti la direzione generale per le Dighe, è il risultato della valorizzazione delle conoscenze di ciascun professionista che si esprime sia mettendo in pratica le competenze individuali di ogni funzionario sia in particolar modo attraverso l'interazione con altre figure professionali specializzate, nell'ottica di una profusa condivisione di idee e saperi.

I protagonisti dell'Autorità di controllo

All'interno della direzione generale per le Dighe e le Infrastrutture idriche opera un insieme coordinato di figure professionali tecniche e specializzate iscritte negli albi dei rispettivi ordini. A questo proposito è doveroso ricordare che ricorre quest'anno il centenario dalla legge istitutiva della professione di Ingegnere e Architetto del 24 giugno 1923, n. 1395 (Gazzetta ufficiale n. 167 del 17 luglio 1923) "Tutela del titolo e dell'esercizio professionale degli ingegneri e degli architetti" quale forma di riconoscimento di tali professioni. La necessità di avere nel proprio organico più funzionari di diversa estrazione formativa, che collaborano tra loro per ottenere uno stesso risultato, è risultata negli anni sempre più pregnante. In direzione è presente la figura dell'ingegnere, declinata nelle sue varie forme specialistiche: si trovano infatti ingegneri civili-strutturisti, civili-idraulici, civili-geotecnici, ambientali, informatici. Non solo: sono presenti anche architetti e geologi, questi ultimi ufficialmente inquadrati in direzione solo a partire dal 1997, dopo che nel 1991 era nato il servizio nazionale Dighe in attuazione alla legge 183/1989, precedentemente citata.

Le figure tecniche in questione analizzano autonoma-



↑
Fig. 3 Diga muraria a volta,
altezza 48,75 metri,
nel comune di Barcis

→
Fig. 4 Localizzazione delle grandi dighe in Italia
suddivise per uffici tecnici di competenza



64
RT 394
mente in prima istanza, su tematiche che lo richiedano, le varie problematiche che possono insorgere tenendo conto delle opportune condizioni iniziali e al contorno che, come già sottolineato, richiedono un approccio specialistico combinato e multidisciplinare che non può prescindere quindi dal parere reciproco.

L'attività di vigilanza esercitata dall'Autorità di controllo attraverso l'operato dei funzionari tecnici, in particolare sulle azioni di controllo del comportamento delle opere di sbarramento ed accessorie e delle zone interessate dall'invaso che i concessionari e gestori delle dighe sono obbligati a eseguire, ha il principale e indispensabile obiettivo di assicurare la gestione in sicurezza della diga ai fini della tutela della pubblica incolumità in particolare delle popolazioni e dei territori a valle delle opere stesse. Nell'ambito delle strategie da adottare, i vari funzionari operano monitorando una serie di informazioni di competenza trasversale collaborando e confrontandosi lungo tutto il ciclo di vita dell'opera. Nelle prime fasi di valutazione e progettazione, tale vigilanza si esplica mediante l'approvazione in linea tecnica dei progetti di realizzazione di nuove dighe che si basa fondamentalmente sull'unione di competenze geotecniche, idrauliche e geologiche al fine di poter identificare, ad esempio, le criticità dei luoghi e sviluppare delle soluzioni tecniche adeguate al loro confinamento o rimozione. In successive fasi di esecuzione dei lavori di costruzione, di collaudo e poi di esercizio dell'opera, l'attività di vigilanza si esplica sempre con un attento ed essenziale monitoraggio sui sistemi di osservazione e misura e di controllo delle analisi a seguito del quale possono emergere eventuali difformità, instabilità o anomalie sui dati che analizzano i fenomeni in corso: sulla base di quanto osservato si può talvolta ricorrere, in presenza di circostanze che facciano presupporre una riduzione del grado di sicurezza dell'opera o delle sponde, a imposizioni di limitazione opportuna degli invasi con segnalazione alle autorità preposte alla protezione civile. Al contempo, in ogni fase, ingegneri e geologi devono verificare che ci sia conformità con la normativa vigente e che tutto rispetti i requisiti stabiliti dal progetto esecutivo approvato o, eventualmente, procedere con l'approvazione tecnica di progetti inerenti alla manutenzione straordinaria delle dighe esistenti.

Per conseguire tali fini, nella direzione generale per le Dighe e le Infrastrutture idriche, l'ingegneria (declinata nelle varie specializzazioni sopra citate) si fonde con la geologia grazie alla continua e proficua collaborazione tra uffici tecnici, uffici di coordinamento e divisioni speciali-

stiche come la divisione VI "Strutture e Geotecnica" e la divisione VII "Idraulica e Geologia applicata". A titolo di esempio, l'ingegnere, come figura che vigila sull'impianto di ritenuta, redige verbali in seguito a sopralluoghi (di visita di vigilanza o dedicati a particolari tematiche di interesse) che può svolgere anche in accompagnamento al geologo, il quale ispeziona e analizza gli aspetti di carattere geologico che possono assumere rilevanza ai fini delle condizioni di stabilità dei versanti prospicienti l'invaso e relativo perimetro spondale. Entrambi, al contempo, si occupano delle istruttorie sulle verifiche sismiche/progetti di adeguamento o miglioramento sismico o idraulico: in particolare, per quanto riguarda ad esempio le analisi di rivalutazione della sicurezza sismica della diga, l'ingegnere si focalizza sulla verifica di stabilità e di resistenza della diga e delle sue opere accessorie ai fenomeni sismici, mentre il geologo verifica ed esprime un parere tecnico sugli esiti ricavati dagli studi sismotettonici e di pericolosità sismica. Entrambe le figure tecniche si occupano anche di esaminare ed esprimere un parere, ciascuno per le proprie parti di competenza, sui progetti di gestione degli invasi. Inoltre, gli ingegneri degli uffici tecnici territoriali predispongono i fogli di condizione per l'esercizio e la manutenzione delle dighe (FCEM) approvati dalla divisione V "Coordinamento controllo dighe in esercizio", nei quali sono inserite le parti relative alla descrizione delle sponde e delle problematiche di cui possono essere soggette, e i documenti di Protezione Civile (DPC) approvati in seguito dalle prefetture dopo opportuni confronti con gli enti territoriali regionali (Autorità idraulica, Autorità di bacino distrettuale) e con i concessionari. Il geologo, inoltre, studia i fenomeni di versante e spondali già censiti o ancora da monitorare, i quali devono essere tenuti in considerazione poi ugualmente dall'ingegnere che ha il compito di ispezionarli durante le visite di vigilanza, suggerendo talvolta possibili soluzioni di sistemazione spondale.

Le conoscenze geologiche unite a quelle ingegneristiche, in particolar modo in ambito geotecnico e geomeccanico, sono indispensabili fin dalla concezione dell'opera per conoscere e analizzare le condizioni di stabilità delle imposte delle dighe e delle sponde dell'invaso. In particolare, anche in considerazione di quanto accaduto nel caso del Vajont, in merito ai versanti a quota superiore al serbatoio è fondamentale il contributo del geologo per l'analisi delle condizioni di stabilità volte ad assicurare l'assenza di fenomeni gravitativi incompatibili con la sicurezza dell'invaso, che si possono instaurare anche per ripetuti cicli di "invaso e svaso rapido" soprattutto per bacini dedicati alla laminazione delle piene, in ragione della potenziale capacità generativa di onde impulsive che possono causare il sormonto della diga.

Nelle "Norme tecniche per le Costruzioni" del 2018, che i tecnici devono prendere a riferimento assieme al Dm 26 giugno 2014 "Norme tecniche per la progettazione e la costruzione degli sbarramenti di ritenuta", sono prescritte indagini, studi e relazioni da redigere che sono essenziali per poter analizzare al meglio le interazioni terreno-struttura. Particolare importanza assumono le indagini geognostiche, ossia quelle indagini atte ad approfondire e a determinare le caratteristiche del terreno con il quale un'opera interagisce, come per esempio indagini geofisiche, prove geotecniche, sondaggi geognostici, caratterizzazione delle terre, e così via. Tra le varie indagini, acquisiscono importanza anche i monitoraggi topografici dei versanti, oggetto negli anni di un'evoluzione tecnologica che ha permesso di migliorare e affinare le tecniche di rilievo. Ai tradizionali strumenti di monitoraggio topografico e geotecnico da collocare in loco sul versante oggetto di monitoraggio, cosiddetti sistemi di misura a terra come, ad esempio, inclinometri, piezometri e talvolta pendoli, si affiancano o si aggiungono ulteriori tecniche che prevedono l'utilizzo di strumentazione laserscanner anche da utilizzarsi con drone, o di stazioni totali e mire ottiche e Gps, oppure di rilevazioni tramite piattaforme satellitari che consentono di avere una visione di insieme del versante e permettono un'analisi dinamica più precisa, ossia di confronto della morfologia del versante stesso nel corso di un certo intervallo di tempo.

Studi geologici, geotecnici, idraulici e sismici devono andare quindi di pari passo per garantire la massima sicurezza dell'opera e, di conseguenza, delle popolazioni e dei territori circostanti. Le conoscenze delle dinamiche idrologico-idrauliche e geotecniche, o più in generale inge-

neristiche di progettazione e/o di valutazione di soluzioni efficaci a prevenire o a limitare le conseguenze legate al rischio idrogeologico e ai terremoti, unite alle conoscenze geologiche di valutazione sismotettonica e di stabilità dei versanti o di suscettibilità al rischio geologico, sono alla base dell'individuazione delle criticità dei territori e delle soluzioni adatte a mitigare i vari problemi.

Conclusioni

La direzione generale per le Dighe e le Infrastrutture idriche, come attualmente articolata, provvede durante la costruzione, le fasi di collaudo e l'esercizio dell'impianto di ritenuta, alla vigilanza sulle operazioni di controllo del comportamento dell'impianto di ritenuta e delle zone interessate dall'invaso, che i concessionari e i gestori delle grandi dighe sono obbligati a svolgere al fine della tutela della pubblica incolumità delle popolazioni a valle. Tale vigilanza si esplica attraverso figure tecniche professionali che apportano essenziali contributi tecnici atti alla valutazione e mitigazione dei rischi geologici, idraulici, sismici, associati alla presenza delle grandi dighe.

Opere di tale rilevanza non possono essere monitorate solo con la strumentazione installata e lasciate ad autonome valutazioni da parte dei concessionari e gestori: è necessario affidarsi a figure tecniche professionali in capo allo Stato che interpretino, verifichino e controllino, sulla base delle loro specifiche competenze, i dati, comunicati e in prima istanza validati dal personale tecnico del concessionario/gestore della diga, restituiti dalle strumentazioni di monitoraggio installate.

Il ruolo di queste figure tecniche, di ingegneri e geologi nello specifico, è cruciale: laddove sia segnalata o rilevata una condizione di pericolosità, nell'ottica di una sua rimozione/riduzione, le attività svolte dai funzionari dell'Autorità di controllo hanno sicuramente lo scopo di contribuire a individuare tempestivamente eventuali anomalie, di valutare le soluzioni mitigative, e quindi, preventive, da mettere in atto prima che si origini un problema, nonché quelle di protezione.

Tale approccio è essenziale per evitare o limitare conseguenze e/o impatti negativi sull'ambiente e sulle popolazioni circostanti.

Perché dalla storia dei grandi disastri si ha il dovere di apprendere, non solo per non ripetere gli stessi errori ma affinché si adotti il giusto approccio preventivo che comporti il riconoscimento tempestivo di nuovi scenari di rischio.

Una sintesi delle interpretazioni della frana del Vajont (9 ottobre 1963)

DOTT. RINALDO GENEVOIS, già ordinario di Geologia applicata, Dipartimento di Geoscienze, Università di Padova

66
RT 394

Le frane di grandi dimensioni e di qualsiasi tipo hanno attirato l'attenzione dei ricercatori, soprattutto a partire dalla fine del XIX secolo. Questi grandi movimenti di massa sono infatti estremamente pericolosi poiché possono percorrere grandi distanze (decine di chilometri) e bloccare le valli con sbarramenti naturali, la cui rottura può causare, a sua volta, devastanti colate detritiche e inondazioni distruttive. Nel passato, sono stati registrati volumi anche dell'ordine dei chilometri cubi (ad esempio, i 9 chilometri cubi della frana di Flims in Svizzera). Il grande interesse per questo tipo di frane deriva dalla difficoltà di individuare i meccanismi di rottura iniziale e dalla impossibilità pratica di misurare e riprodurre la loro dinamica. Si tratta, infatti, di fenomeni sovente imprevedibili e di breve durata per i quali è difficile, se non impossibile, acquisire dati sperimentali durante la loro intera evoluzione dall'insacco, al trasporto ed alla deposizione.

La frana del Vajont, considerata uno dei più catastrofici eventi dei tempi storici, è ancora oggi di particolare interesse per la comprensione della potenziale influenza dei bacini idrici sulla stabilità dei versanti adiacenti e del rischio connesso alla possibile generazione di onde di grande altezza. Con gli studi sulla frana del Vajont si può dire che iniziò lo sviluppo di discipline di fondamentale rilevanza quali la Meccanica delle Rocce e degli Ammassi rocciosi, oltre al riconoscimento della Geologia quale fondamentale mezzo per lo studio e la comprensione del territorio.

Dopo una breve sintesi dell'assetto geologico e geomorfologico dell'area e delle indagini di campagna e di laboratorio, l'articolo si propone di riassumere le principali ricerche condotte in merito alla dinamica del fenomeno e alle sue conseguenze nella valle del Piave.

Sintesi degli eventi

Alla fine degli anni 1920 la società privata Sade iniziò le indagini per la costruzione di una serie di dighe lungo il fiume Piave e alcuni suoi affluenti, il cosiddetto progetto del "Grande Vajont". Il progetto della diga sul torrente Vajont fu approvato dal ministero dei Lavori pubblici nell'ottobre 1943. A eccezione degli studi geologici generali (Boyer, 1913; Dal Piaz, 1928), i primi studi geologici specifici iniziarono nel 1949 e riguardarono essenzialmente le spalle d'appoggio della diga in progetto.

Il progettista, ingegnere Carlo Semenza, aveva ideato una diga in calcestruzzo ad arco a doppia curvatura, inizialmente alta 200 metri, successivamente portata nel 1957 a 261.50 (fig. 1), con un volume utile finale di 150 milione di

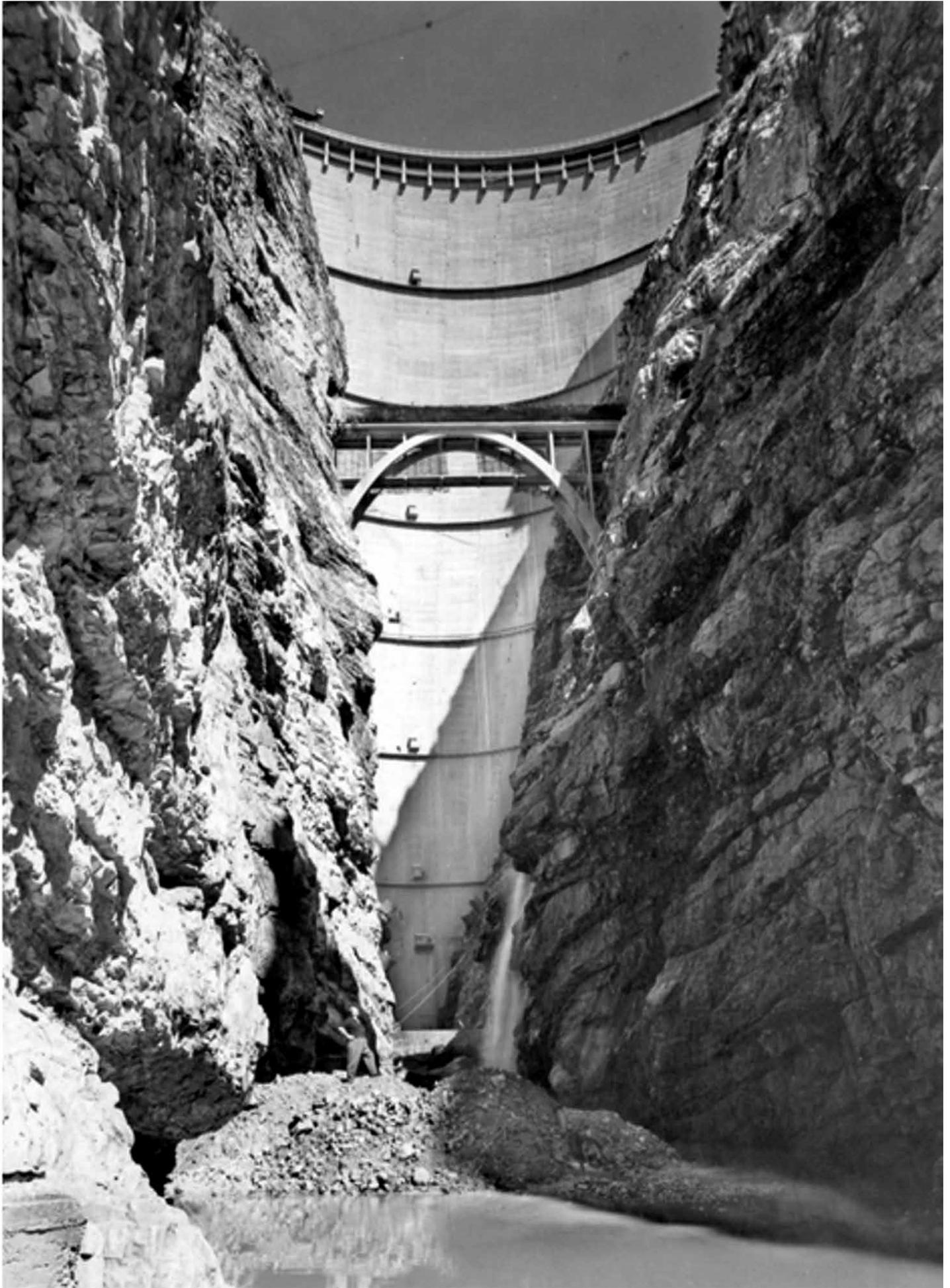
metri cubi. Il primo cantiere fu aperto nel 1956 e la costruzione terminò tre anni dopo. Nella diga era installata una complessa rete di controllo e di misura, che comprendeva circa 350 tra termometri, estensimetri, pendoli, stazioni clinografiche e sismografi.

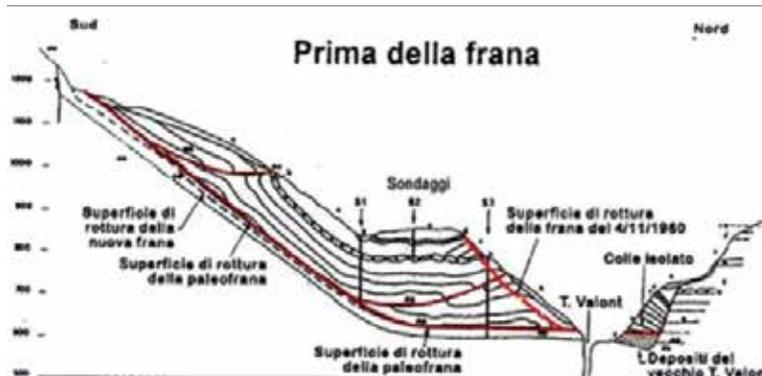
Le operazioni di riempimento dell'invaso iniziarono nel febbraio 1960 e in ottobre, con il livello dell'acqua a 635 metri s.l.m., furono osservati nel versante sinistro dell'invaso un rapido incremento delle velocità di spostamento (sino a 3,5 cm/g) e la formazione di una frattura a forma di M, lunga circa 2 chilometri che indicava i primi movimenti di una grande frana. Nel novembre 1960 una frana di circa 700.000 metri cubi si staccò dal versante in sinistra uccidendo un operaio.

Nel 1961, il geologo Edoardo Semenza individuò la presenza di una paleofrana che, insieme a Leopold Müller, stimò in circa 200 milioni di metri cubi. Fu condotta, quindi, una serie di esperimenti su un modello in scala 1:200 al fine di valutare le conseguenze dell'eventuale collasso della frana. I risultati indicarono che la frana avrebbe generato un'onda alta 25-30 metri senza causare alcun problema ai villaggi di Erto e Casso. Un livello dell'acqua nel bacino alla quota di 700 metri s.l.m. fu quindi considerato sicuro e raggiunto nel novembre 1962.

Le operazioni di primo invaso iniziarono nel febbraio 1960. Il 2 settembre 1963, le operazioni di riempimento furono interrotte con un livello dell'acqua a 710 metri s.l.m., a seguito di un terremoto di magnitudo 4. A causa del continuo aumento degli spostamenti e delle velocità, si decise di abbassare rapidamente il livello dell'acqua ma, nonostante ciò, gli spostamenti continuarono. L'8 ottobre fu vietato l'accesso all'area sotto quota 730 metri. Alle 17:00 del 9 ottobre si chiese la sospensione del traffico nell'area. Alle 22:00 circa il personale avvertì i responsabili che la frana era in procinto di collassare ed era necessario allertare la popolazione di Erto.

Alle 22:39 del 9 ottobre 260 milioni di metri cubi di roccia collassano (fig. 2): la massa si sposta di circa 500 metri a una velocità stimata in circa 30 m/s, risalendo il versante opposto per 140 metri e generando un'onda gigantesca che in parte risale la valle distruggendo le abitazioni di Erto alle quote più basse e, in parte, si sposta verso la diga, sormontandola. L'acqua precipita nella sottostante forra da un'altezza di 261 metri e si incanala nella stretta gola ad una velocità stimabile in circa 100 km/h. Circa tre minuti dopo l'onda, alta ancora 30 metri circa, distrugge l'abitato di Longarone e continua la sua corsa nella valle del Piave





distruggendo gli abitati di Castellavazzo, Pirago, Rivalta, Villanova e Faè.

Le conoscenze geologiche, geomorfologiche e idrogeologiche di base

La geologia e la tettonica dell'area sono riportate dettagliatamente in numerosi articoli (per esempio, Mueller, 1964; Broili, 1967, Rossi & Semenza, 1965; Hendron e Patton, 1985-1986; Bistacchi et al., 2013).

La diga del Vajont è impostata sui ripidi fianchi di una profonda gola incisa nelle sequenze carbonatiche giurassico-cretaciche delle Alpi venete meridionali, la cui stratigrafia è descritta da Semenza (1965). L'assetto tettonico è stato recentemente reinterpretato da Massironi et al. (2013). Nelle ricerche si fa per lo più riferimento all'assetto geologico generale, esistente prima e dopo la frana, come riportato nelle carte geologiche redatte da Rossi e Semenza (1965). Sono state fatte, tuttavia, differenti ricostruzioni della geologia del corpo di frana in merito sia alla distribuzione dei materiali, sia alla forma della superficie di scorrimento. Gran parte degli studi effettuati fa riferimento alla sezione geologica proposta da Rossi & Semenza (1965), in cui si riconosce l'esistenza di una frana preistorica (fig. 3).

Un'interpretazione differente, fondata sull'ipotesi che la frana preistorica sia il risultato di un processo di rottura retrogressivo, è stata proposta da Paronuzzi e Bolla (2012). Recentemente, sulla base di alcune ipotesi sull'evoluzione geomorfologica dell'area e sulla meccanica del fenomeno, Dykes e Bromhead (2018) hanno contestato la stessa esistenza della frana preistorica.

Dal punto di vista geomorfologico, numerosi sono gli studi e le ricerche condotti (per esempio, Mueller, 1964; Semenza, 1965; Hendron & Patton, 1985-1986; Pasuto, 2017; Wolter et al., 2015; Dykes & Bromhead, 2018). La stretta valle del Vajont è generata dall'erosione dei ghiacciai con significativi effetti sulle condizioni di stabilità dei versanti. Lo scarico tensionale, indotto dai cicli glaciali, ha modificato le sollecitazioni orizzontali esistenti in situ e, di conseguenza, una variazione del rapporto tra sollecitazioni orizzontali e verticali che ha portato alla formazione di fratture estensionali, come quelle presenti al piede del versante del monte Toc prima della frana.

A parte i lavori preliminari di Hendron e Patton (1985, 1986), non sono stati effettuati studi sufficienti a descrivere compiutamente l'assetto idrogeologico dell'area in esame. Solo recentemente Fabbri et al. (2013) hanno condotto ricerche idrogeologiche mirate, dalle quali l'area risulta

caratterizzata dalla presenza di poche sorgenti, con basse portate, dovute a una circolazione idrica a carattere carsico. Il monitoraggio dell'unica sorgente con caratteristiche adeguate, sita sul versante occidentale del monte Toc, mostra che la risposta della sorgente si verifica a partire da un giorno dopo l'evento pluviometrico e che, in genere, esiste una certa associazione temporale tra precipitazioni e portata della sorgente.

Le conoscenze geotecniche e geomeccaniche

Le indagini geognostiche sono iniziate nel 1959 quando la costruzione della diga era già praticamente completata. Nel 1961, in seguito all'apertura della fessura perimetrale a forma di "M" e al verificarsi di numerose micrososse locali, furono eseguite tre perforazioni al fine di verificare l'esistenza della paleofrana ipotizzata dal geologo Edoardo Semenza, ma non rilevarono l'esistenza di alcuna superficie di rottura, almeno sino alla profondità raggiunta. Successivamente alla frana, altre perforazioni furono eseguite dalla Rodio nel 1964-1965 per valutare le condizioni di stabilità del versante.

Tra l'aprile-settembre 1960 e il novembre 1961, con lo scopo di correlare i livelli dell'acqua nel bacino con gli spostamenti della frana, furono installati quattordici capisaldi per il controllo degli spostamenti e quattro piezometri a tubo aperto non cementati per il monitoraggio dei livelli della falda.

Negli anni successivi all'evento, e per scopi di ricerca, altre indagini geofisiche sono state condotte nell'area in merito alla correlazione tra micrososse e livello del lago (Migani, 1968; Carli M., 2010), alla ricostruzione della geometria delle unità geologiche presenti e delle loro proprietà meccaniche (Francese et al., 2013) e alla profondità della superficie di scorrimento (Petronio et al., 2016).

Gli studi sulle caratteristiche fisiche e meccaniche dei materiali presenti, sviluppati solo dopo l'evento, hanno riguardato inizialmente le sole proprietà delle argille presenti sulla superficie di scivolamento, con particolare riguardo ai valori della loro resistenza al taglio residua. Kenney (1967) e Nonveiller (1967) indicano valori dell'angolo d'attrito residuo rispettivamente pari a 9° - 16° e a 5° - 7° . I lavori di Hendron e Patton (1985, 1986) riportano valori dell'angolo d'attrito residuo tra $5,9^{\circ}$ e $16,4^{\circ}$ e, se si escludono le prove con pressioni normali inferiori a 350 kPa, tra $9,6^{\circ}$ e $11,4^{\circ}$.

Una notevole diminuzione della resistenza al taglio all'aumentare della velocità di taglio, passando da $9,7^{\circ}$ - $10,6^{\circ}$ alle basse velocità a $4,4^{\circ}$ a velocità superiori a 100

↑
Fig. 1 La diga del Vajont vista da valle prima della frana

←
Fig. 2 La diga ed il bacino di ritenuta del Vajont dopo la frana

←
Fig. 3 Sezione geologica poco a monte della diga prima della frana (da: Rossi e Semenza, 1980)

→
Fig. 4 Proiezioni stereografiche (equiangolare, emisfero inferiore) delle discontinuità rilevate in differenti settori dell'area della frana del Vajont (da: Massironi et al., 2013)

mm/min è stata osservata da Tika e Hutchinson (1999). Ferri et al. (2010, 2011), hanno evidenziato che alle basse velocità (0.04 m/s) l'angolo d'attrito aumenta da 24,2°-25,6° a 34,2° per poi scendere a 5,1° per velocità più alte (circa 1.3 m/s.). Analizzando l'origine e la composizione mineralogica di queste argille, Bolla et al. (2020) e Paronuzzi et al., (2021) ottengono valori dell'angolo di attrito interno residuo di 6,7°-14,9° nei materiali con alto contenuto di minerali argillosi e di 19,5°-26,7° in quelli con grandi quantità di minerali granulari, quali calcite e quarzo.

Oltre alle indagini dirette sono state eseguite negli anni numerose indagini geofisiche. I primi rilievi sismici risalgono al 1953 e furono ripetuti nel 1960, ottenendo indicazioni molto differenti sulle caratteristiche elastiche: l'ammasso roccioso in frana risultava profondamente fratturato e dotato di moduli elastici decisamente inferiori rispetto al passato, probabilmente in seguito a un intenso e progressivo processo di frantumazione (Caloi, 1966).

Il sistematico riconoscimento delle discontinuità presenti nell'ammasso roccioso in posto e nel corpo di frana è iniziato solo alla fine degli anni Novanta con la tesi di dottorato di M. Ghirotti (Ghirotti, 1992, 1994). Tecniche di telerilevamento combinate con le tradizionali indagini sul campo sono state applicate dopo il 2010 per ottenere un quadro più dettagliato e distribuito del contesto morfologico-strutturale e geomeccanico (fig. 4).

Prove con il martello di Schmidt e di carico puntuale (LPT) sono state effettuate sempre dopo il 2010, classificando l'ammasso roccioso in posto e quello in frana secondo vari sistemi (RQD, RMR, Q, GSI) (per esempio, Superchi et al., 2011; Paronuzzi e Bolla, 2012; Superchi, 2012; Massironi et al., 2013; Wolter et al., 2013; Wolter et al., 2015). La resistenza e la deformabilità della roccia intatta sono state determinate con prove di rottura in compressione uniassiale e triassiale eseguite presso il laboratorio di Meccanica delle Rocce del dipartimento di Geoscienze dell'Università di Padova. Le prove effettuate su numerosi campioni delle differenti formazioni presenti sono state effettuate parallelamente e perpendicolarmente alla stratificazione in modo da valutare l'anisotropia della resistenza. I risultati sono utilizzati come parametri di input per stimare la resistenza della roccia intatta e dell'ammasso roccioso utilizzando i criteri di rottura di Mohr-Coulomb o di Hoek-Brown.

Studi e ricerche sulla frana del Vajont

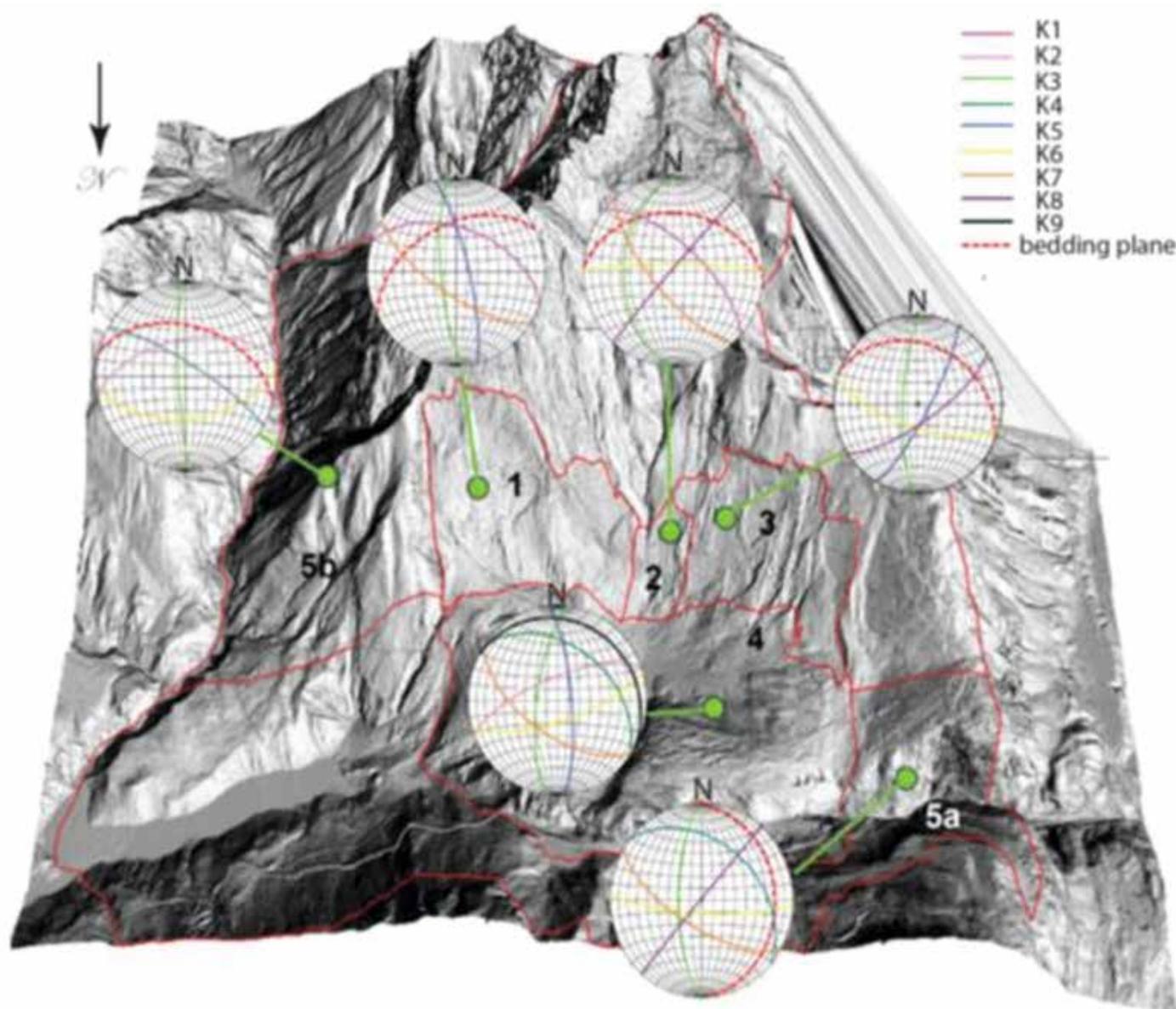
Negli anni successivi, numerosi studi e ricerche (Superchi

et al., 2010), con interpretazioni anche molto differenti, si sono concentrati su due principali aspetti della frana: da un lato la sua dinamica e, dall'altro, l'onda generata dal suo impatto nell'invaso. Molti articoli utilizzano e rianalizzano i dati di pubblicazioni precedenti, ma nuove interpretazioni sono state fornite sulla base di ulteriori osservazioni sul campo e dell'applicazione di nuove metodologie di indagine.

I particolari fattori geologici e meccanici e gli effetti idraulici della frana del Vajont hanno attirato l'attenzione di molti ricercatori in tutte le parti del mondo con interpretazioni del fenomeno anche molto differenziate. Si deve osservare che tutte le analisi condotte per spiegare la meccanica e la dinamica del fenomeno, soprattutto l'elevata velocità raggiunta, sono basate in gran parte sulle osservazioni di campagna, fatte sia prima sia poco dopo l'evento (Giudici e Semenza, 1960; Rossi e Semenza, 1965; Semenza, 1965), e sui risultati delle analisi ed elaborazioni condotte successivamente da Hendron e Patton (1985, 1986).

Poco dopo l'evento, Müller (1964) attribuisce la frana alla spinta dell'acqua o alla diminuzione delle forze resistenti dei livelli argillosi per l'innalzamento del livello dell'acqua nel bacino con un meccanismo di rottura progressiva alla base della massa in frana. Attribuisce alla frana una velocità di 25-30 m/s, causata da "una diminuzione della resistenza interna" e accetta l'ipotesi di una frana preistorica. L'esistenza di una frana preistorica è considerata anche da Kiersh (1964, 1965), che conclude per una frana innescata da un innalzamento del livello della falda. Nello stesso anno, Selli et al. (1964) sostengono l'ipotesi di un comportamento generalmente pseudo-plastico della massa in frana e indicano come cause principali la struttura geologica, la morfologia del pendio e le variazioni del livello dell'acqua nel bacino, ma non spiegano la variazione delle velocità della frana. L'alta velocità della frana è attribuita alla conversione dell'energia meccanica in calore durante lo scorrimento con la conseguente vaporizzazione dell'acqua dei pori e l'annullamento delle resistenze per attrito (Habib, 1967, 1975).

I lavori di Hendron & Patton (1985, 1986) possono essere considerati il primo tentativo di analizzare la frana del Vajont da un più completo punto di vista geologico, geomorfologico e geotecnico, basandosi su indagini di campagna e di laboratorio e su un'approfondita analisi dei dati del monitoraggio effettuato nel corso della costruzione della diga (fig. 5).



I risultati delle prove di taglio diretto sulle argille prelevate sulla superficie di scivolamento indicano angoli d'attrito residuo tra 5° e 16° . L'alta velocità della frana viene attribuita alle pressioni dell'acqua generate dalla vaporizzazione sulla superficie di scivolamento. In conclusione, la frana è considerata come una riattivazione di una precedente frana preglaciale a causa sia delle operazioni di invaso-svaso sia delle piogge dei giorni precedenti.

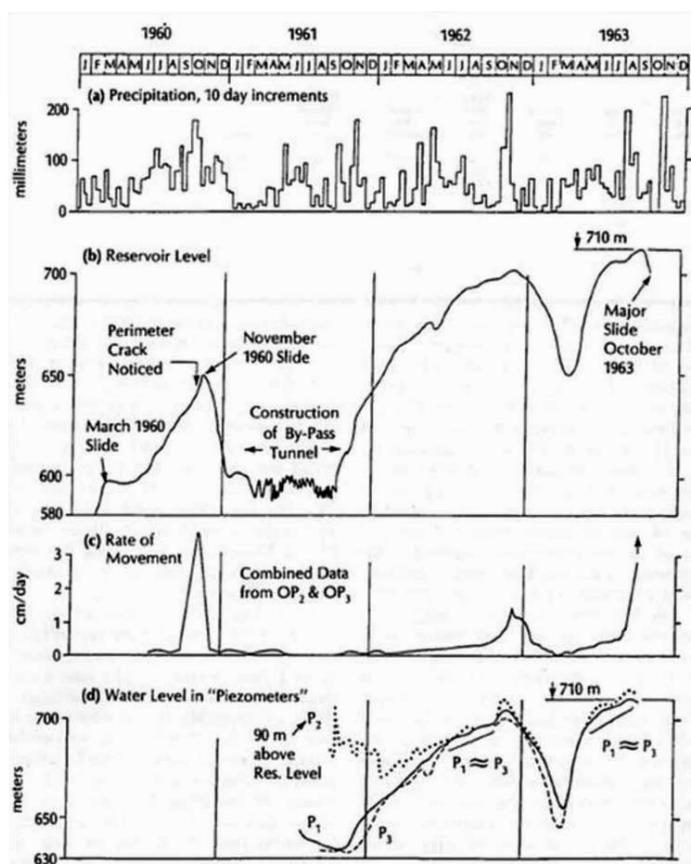
La morfologia della superficie di scivolamento è stata analizzata in dettaglio, poiché da essa dipende la resistenza al taglio effettivamente mobilizzata. Bistacchi et al. (2013) hanno determinato che essa non è planare risultando dall'interferenza di due sistemi di pieghe a scala regionale. La frana viene suddivisa in due distinte masse rocciose pressoché rigide e a cinematica differente, con una deformazione localizzata lungo un orizzonte cataclastico sottile, continuo e a bassa resistenza. L'eterogeneità della superficie di scorrimento è sottolineata da Zaniboni e Tinti (2019), trovando che essa deve aver coinvolto unità geotecniche differenti e che l'interazione tra la massa in frana

e la superficie di scorrimento deve essere considerata il fattore chiave causa dei differenti cinatismi osservati.

La rilevanza dell'erosione glaciale che ha formato la valle è messa in evidenza da Wolter et al. (2015): essa avrebbe indebolito il pendio e modificato il suo stato tensionale, mentre le variazioni del livello dell'acqua nel bacino e la bassa resistenza al taglio delle argille di base sarebbero la causa del collasso catastrofico.

La frana preistorica è stata analizzata da Paronuzzi e Bolla (2012) che, in base a una dettagliata ricostruzione cinematica, forniscono una differente interpretazione della frana preistorica che, generata da un meccanismo di rottura retrogressiva, avrebbe colmato la preesistente valle assumendo l'insolita geometria "a sedia". Successivamente, gli stessi autori (Paronuzzi e Bolla, 2013) considerano la presenza alla base della frana preistorica di una zona di taglio di eccezionale spessore che verrebbe a costituire un fattore geologico fortemente destabilizzante.

L'esistenza stessa della frana preistorica è rigettata da Dykes e Bromhead (2018) che argomentano come la cosid-

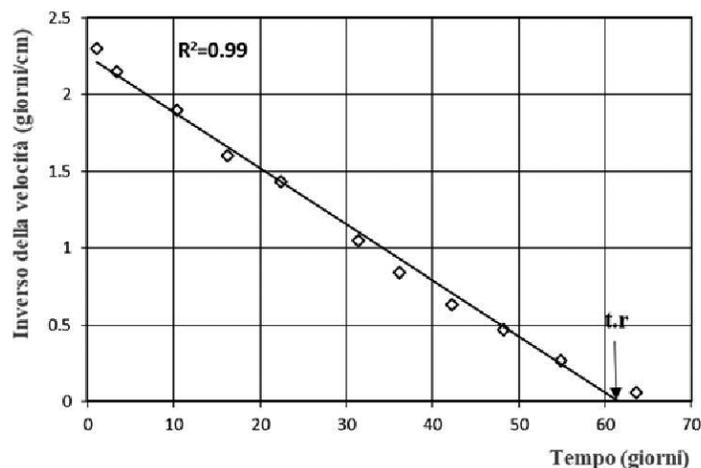


←

Fig. 5 Monitoraggio (1960-1963) delle precipitazioni, del livello dell'acqua nel bacino e della falda nei piezometri e della velocità di spostamento della frana (da: Hendron & Patton, 1985)

↓

Fig. 6 Inverso delle velocità dello spostamento orizzontale prima del collasso del versante settentrionale del monte Toc, t.r.: tempo a rottura



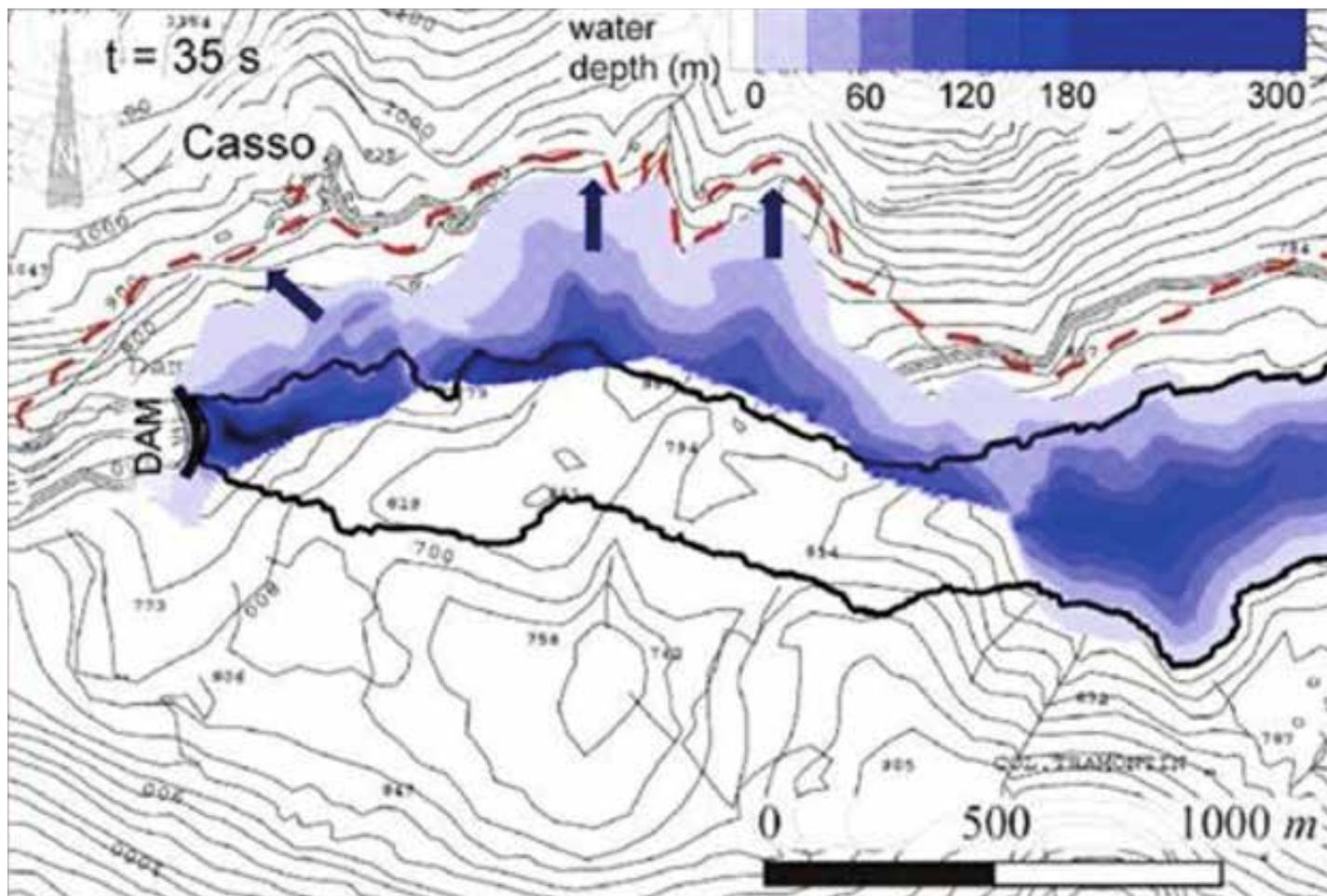
detta struttura a “sedia” effettivamente non esista, come risulta dalle sezioni ricostruite da Bistacchi et al. (2013). Inoltre, essa avrebbe dovuto essere caratterizzata da resistenze residue e, pertanto, non avrebbe potuto accelerare e raggiungere la velocità osservata a meno dell'esistenza di qualche altro meccanismo come il riscaldamento per attrito sulla superficie di scivolamento o la perdita di resistenza interna dell'ammasso roccioso. In conclusione, gli autori affermano che la frana del 1963 era di primo innesco ed è avvenuta in corrispondenza di sottili livelli di argilla caratterizzata da resistenze di picco. Concludono che il pendio era geologicamente predisposto a franare e il livello dell'acqua nel bacino poteva influire sulle condizioni di stabilità solo in coincidenza con piogge intense.

La presenza delle argille sulla superficie di scivolamento è considerata, tra gli altri, da Zangerl et al. (2010) che osservano che, se nel pendio si forma una fascia di scorrimento persistente, la progressiva deformazione del pendio è determinata prevalentemente dai processi di scorrimento in questa zona e, di conseguenza, la massa stessa è caratterizzata da basse deformazioni interne. Il collasso catastrofico potrebbe derivare dalla fratturazione auto-accelerante della roccia, un fenomeno comune nelle rocce cristalline soggette a carichi litostatici tra 1 e 10 MPa e caratterizzato da un brusco calo delle resistenze soprattutto in rocce con un'elevata differenza tra resistenze di picco e residue, come potrebbe essere il caso della frana del Vajont (Kilburn e Peteley; 2003).

Negli anni successivi alla frana sono state eseguite molte analisi delle condizioni di stabilità, in gran parte all'e-

quilibrio limite, con il fine principale di trovare i valori dei parametri di resistenza al taglio mobilizzati a rottura e il meccanismo della frana. Tra i primi a effettuare analisi della stabilità del versante settentrionale del monte Toc, Lo et al. (1972) hanno utilizzato il metodo di Janbu per superfici non circolari, considerando la presenza di due cunei separati da una discontinuità verticale e di una falda corrispondente al livello dell'acqua nel serbatoio. Dalle analisi a ritroso hanno ottenuto angoli di attrito residuo sino a un minimo di 13°. Chowdhury (1978), modellando la rottura progressiva, ha messo in evidenza l'esistenza di una zona di indebolimento corrispondente alla fascia delle argille e attribuisce la causa della rottura improvvisa al progressivo incremento delle forze su questa fascia causato dallo stesso scorrimento del corpo di frana. La frana del Vajont è considerata da Trollope (1980) un esempio di rottura sequenziale come conseguenza dell'energia liberata nel processo di rammollimento. Il fenomeno dell'*aquaplaning* è, inoltre, invocato come possibile fonte di incremento della pressione dei pori all'aumentare della velocità.

Hendron e Patton (1985, 1986) hanno condotto, con un metodo all'equilibrio limite opportunamente modificato, una serie di analisi di stabilità a ritroso su tre sezioni rappresentative, ottenendo valori dell'angolo d'attrito limite tra 17° e 28°. Questi valori, essendo superiori a quelli ottenuti in laboratorio per le argille della superficie di scivolamento, indicherebbero che il pendio era in condizioni di stabilità critiche già prima del primo invaso del bacino. Hanno, quindi, effettuato analisi tridimensionali tenendo in qualche modo conto di altri fattori quali la successio-



ne dei movimenti, la variazione dei livelli dell'acqua e la relativa distribuzione delle pressioni dei pori. Arrivano così alla conclusione che causa della frana è stato l'innalzamento del livello dell'acqua nell'invaso e dei livelli piezometrici nel pendio in seguito alle piogge e allo scioglimento delle nevi. L'alta velocità della frana viene attribuita alle pressioni generate dalla vaporizzazione dell'acqua per riscaldamento da attrito sulla superficie di scivolamento.

La necessità di una rottura fragile per giustificare le alte velocità raggiunte è messa in evidenza da Eberhardt (2003) che osserva come l'ultimo rapido abbassamento del livello dell'acqua nel bacino, un'operazione già criticata da Nonveiller (1967), abbia generato un incremento delle pressioni idrauliche e, quindi, delle sollecitazioni, causando così la perdita catastrofica delle resistenze disponibili per rottura fragile. Rose e Hungr (2007), ponendo in relazione i movimenti della frana con il riempimento del serbatoio e con le precipitazioni, arrivano alle stesse conclusioni. Una conclusione analoga è stata raggiunta anche da Paronuzzi e Bolla (2013), sottolineando che le precipitazioni avrebbero potuto essere un fattore decisivo solo se le condizioni di stabilità del versante fossero state già critiche prima del primo invaso. Le loro analisi forniscono valori dell'angolo d'attrito all'equilibrio limite tra 17° e 27° .

Le ricerche di Sitar e MacLaughlin (1997) possono essere considerate come un primo tentativo di considerare la presenza delle discontinuità nel corpo in frana utilizzando

la tecnica DDA (Analisi delle Deformazioni Discontinue) che consente, tra l'altro, di calcolare spostamenti e velocità. Il valore dell'angolo di attrito limite richiesto per la stabilità risulta crescere con il numero di blocchi da 7° , per un solo blocco, a 16° per 105 blocchi e, corrispondentemente, le velocità da circa 0,7 m/s a circa 14 m/s.

La perdita di resistenza all'aumentare della velocità di taglio è stata valutata da Tika e Hutchinson (1999) che hanno ottenuto sperimentalmente un angolo di attrito di soli 5° per velocità superiori a 100 mm/min. Ferri et al. (2010, 2011) descrivono i risultati di prove di taglio, effettuate su campioni delle argille presenti sulla superficie di scivolamento a pressioni normali di 1-5 MPa e velocità da 0,2 $\mu\text{m/s}$ a 1,31 m/s, concludendo che, in condizioni saturate, non è necessaria la pressurizzazione termica e termochimica per spiegare l'elevata velocità raggiunta poiché l'attrito risulta praticamente nullo per velocità superiori a 0,01 m/s. Solo in condizioni di umidità ambientale il coefficiente di attrito decade a circa 0,09 per velocità superiori a 0,7 m/s in conseguenza dell'inizio della pressurizzazione termochimica dovuta al rilascio di acqua prodotta dalla disidratazione delle smectiti presenti nelle argille.

L'effetto della pressurizzazione termica nella catastrofica perdita di resistenza era già stato studiato nelle ricerche condotte per spiegare l'indebolimento dinamico delle faglie durante lo scivolamento sismico. Per le frane profonde, la pressurizzazione termica nella zona di taglio

Fig. 7 Differenti altezze dell'onda generata dalla frana.
In rosso il limite osservato in posto
(Università di Udine, 2007-2011)

può essere considerata un'importante causa del collasso ad alte velocità. A causa della velocità il calore viene intrappolato all'interno della fascia di taglio con un rapido incremento della pressione dei pori, la conseguente totale perdita di resistenza e, se sufficientemente alta, uno scivolamento su una superficie priva di attrito. Per quantificare questo meccanismo, Vardoulakis (2002) propone un modello quasi bidimensionale in base alle equazioni che governano questi fenomeni. Applicato alla frana del Vajont, il modello indica alla base della frana una banda di taglio dello spessore di circa 1 millimetro e una fase di completa pressurizzazione di solo qualche secondo, alla velocità di 20 m/s, solo otto secondi dopo la rottura iniziale. Un fenomeno analogo è osservato da Veveakis et al. (2007) studiando la fase di creep dello scivolamento con un modello a blocchi rigidi. Sottolineano, inoltre, che il riscaldamento per attrito non può innescare la fase di pressurizzazione in modo improvviso ma graduale e che esso sia iniziato circa 21 giorni prima del collasso.

Del Ventisette e al. (2015) hanno studiato la frana del Vajont con un modello analogico osservando che gli spostamenti superficiali indicavano un ammasso roccioso suddiviso in settori, con movimenti relativi e rotazioni differenti, e che lo scivolamento è avvenuto in seguito allo sviluppo di nuove fratture o alla riattivazione di quelle già esistenti. Ipotizzano, infine, che lo sviluppo di strutture sub-verticali e la rotazione dei blocchi potrebbero aver giocato un ruolo chiave nell'accelerazione della frana.

Le prime modellazioni numeriche della frana del Vajont si basano sul primo rilevamento geomeccanico dell'ammasso roccioso in frana e al di fuori dell'area di frana, utilizzando un codice di calcolo basato sul metodo degli elementi distinti (Ghirotti, 1992, 1994). Si conclude, in particolare, che i livelli freatici considerati da Hendron e Patton (1985, 1986) non sembrano corrispondere alla situazione reale presente prima e al momento del fenomeno franoso sia in assenza sia in presenza dell'invaso. Successivamente, utilizzando lo stesso codice di calcolo, Rignanese (2012) conclude che, pur in presenza di valori di resistenza al taglio delle cataclasi relativamente alti, la massa collassata si presentava già in una condizione di deformazione lenta e progressiva che determinava una riduzione progressiva delle resistenze sino al collasso. Inoltre, i risultati indicano una sostanziale rigidità della massa e, quindi, la rilevanza delle resistenze proprie del livello di argille basali. Confrontando i risultati ottenuti sulla stessa

sezione utilizzando sia un codice alla differenze finite per mezzi continui (FLAC) sia UDEC, Nigro (2014) suggerisce che sarebbe necessario condurre simulazioni ibride che tengano, cioè, conto anche della propagazione di nuove fratture all'interno dell'ammasso roccioso.

Molti ricercatori, basandosi sui tre anni di registrazione dei movimenti superficiali osservati, hanno utilizzato varie ipotesi al fine di sapere se era possibile prevedere il momento del collasso della frana. Applicando al caso del Vajont l'equazione trovata per la previsione delle eruzioni vulcaniche, Voight (1988) trova che il collasso avrebbe potuto essere previsto con almeno dieci giorni di anticipo, ma sottolinea che il modello proposto è meno accurato in caso di variazioni della temperatura e delle precipitazioni nel periodo di accelerazione. Erismann e Abele (2001) analizzano il problema in termini di velocità, linee di energia e "fahrböschung" affermando tra l'altro che, sulla base delle conoscenze scientifiche dell'epoca, la catastrofe e soprattutto il passaggio da un moto lento a quello veloce poteva essere previsto con un certo anticipo. Poggiando sull'ipotesi che l'inverso delle velocità di spostamento diminuisce nel tempo e la rottura si verifica quando si approssima a zero (Fukuzono, 1985), Kilburn e Petley (2003) affermano che la frana avrebbe potuto essere prevista già due mesi prima del collasso (fig. 6) e che l'accelerazione osservata sarebbe dovuta a un meccanismo di lenta fessurazione con l'entità dei movimenti proporzionale al tasso di fessurazione.

Il fenomeno idraulico che si è verificato a monte e a valle della diga e nella valle del Piave, in conseguenza del collasso del versante settentrionale del monte Toc, può essere considerato ancora più straordinario della frana stessa. Il fenomeno è stato studiato, sia prima sia dopo l'evento, utilizzando modelli fisici o numerici al fine principalmente di ricostruire la dinamica dell'evento. Gli effetti dell'onda di piena seguita alla frana sono stati descritti da Viparelli e Merla (1964) che valutano una portata massima di $400 \times 103 \text{ m}^3/\text{s}$, un'altezza dell'acqua di 80-100 metri nelle sezioni finali della gola del Vajont e di più di 12 metri a Ponte nelle Alpi circa 15 chilometri da Longarone. Inoltre, il volume totale calcolato dall'ufficio Idrografico risulta pari a 22×106 metri cubi alla stazione idrometrografica di Nervesa, circa 60 chilometri a valle di Longarone.

La possibilità di accadimento della frana era stata considerata nel corso della costruzione della diga in seguito all'episodio franoso del 4 novembre 1960. Il prof. Ghetti, ordinario di Idraulica presso l'Università di Padova, effet-

tuò una serie di prove presso il centro Modelli idraulici di Nove su un modello fisico tridimensionale in scala 1:200. Le prove furono condotte utilizzando materiale ghiaioso e variando il livello dell'invaso, il volume del materiale rilasciato, la sequenza di rilascio, i tempi di caduta e la superficie di scivolamento. I risultati di prove, eseguite con tempi di caduta dell'ordine del minuto, col lago a quota 700 metri s.l.m. e col massimo invaso (722,50 metri) indicarono che si sarebbero generate onde dell'ordine dei 30 metri contro la sponda opposta e che si sarebbero ottenuti volumi dell'acqua trascinata dell'ordine rispettivamente pari a 210.000 metri cubi e 10 milioni di metri cubi.

Negli anni immediatamente successivi all'evento diversi modelli del bacino del Vajont vennero costruiti per indagare, in sede processuale e di commissioni di inchiesta, le cause e le conseguenze del crollo. Nel 1966, M. Roubault realizzò a Nancy un modello in scala 1:830, trovando che la caduta di una massa coerente generava un'onda di altezza molto superiore a quella causata da una massa incoerente: la scelta di Ghetti di impiegare ghiaia per simulare la frana era, quindi, da criticare. Al contrario, L. Votruba nello stesso anno eseguì a Praga una serie di prove su un modello in scala 1:500, impiegando differenti materiali per la simulazione dell'ammasso in frana, ottenne risultati che indicavano l'equivalenza fra gli effetti prodotti sia con materiale incoerente che compatto.

Durante il 1968, presso il laboratorio di Idraulica di Padova, fu eseguita una serie di prove su un modello fisico in scala 1:500 col livello dell'acqua a quota 700 metri s.l.m. impiegando differenti materiali. La configurazione finale del materiale franato risultò funzione del tempo di caduta e si osservò il raggiungimento di quote più elevate alle durate più brevi. Confrontando i risultati con quelli ottenuti a Nove nel 1961-62 si concluse che erano tra loro concordanti e che non aveva rilevanza il materiale utilizzato nella simulazione essendo determinante il solo tempo di caduta la cui sufficiente riduzione avrebbe prodotto risultati paragonabili a quelli del 9 ottobre 1963.

Negli anni successivi l'onda generata dalla frana e la sua propagazione nella valle è stata simulata utilizzando modelli numerici nei quali si assumono per lo più geometrie semplificate, una rotazione rigida della massa e una reologia semplificata per il materiale della frana. Sono state definite anche formulazioni empiriche appositamente definite ottenendo risultati soddisfacenti (per esempio, Panizzo et al. 2005, per i bacini di Pontesei e del Vajont).

Nel periodo 2007-2011, il gruppo di ricerca del laborato-

rio di idraulica dell'Università di Udine ha messo a punto un modello 2D ai volumi finiti per lo studio dell'onda all'interno del bacino (fig. 7) e della sua propagazione a valle.

Al fine di valutare l'esattezza delle ipotesi formulate e delle schematizzazioni adottate negli esperimenti di Nove nel 1967-68, l'Università di Padova ha condotto negli anni 2012-2014 ricerche utilizzando un modello numerico bidimensionale basato sul metodo SPH (Smoothed Particle Hydrodynamics). I migliori risultati sono ottenuti imponendo una velocità iniziale pari a 0,25 m/s per una durata di 0,25 s. L'altezza dell'onda così ottenuta raggiunge sul versante opposto quota 917,50 metri s.l.m. e le velocità massime dell'ammasso in frana sono dell'ordine del 80 km/h, significativamente differenti da quelle ottenute nei test di Nove (Pierobon, 2013).

Lo stesso metodo SPH è stato utilizzato considerando differenti valori della velocità e della durata dell'evento (Vacondio et al.; 2013). Il modello numerico riproduce in modo soddisfacente la parte centrale e orientale dell'evento, ma in prossimità e a valle della diga si notano differenze significative con quanto osservato dovute probabilmente all'ipotesi di scivolamento di un unico corpo rigido. I migliori risultati sono stati ottenuti con una durata totale di 17 secondi corrispondente a una velocità massima di 30 m/s. Recentemente, Xia et al. (2023) hanno sviluppato un metodo SPH discontinuo che fornisce risultati coerenti con le osservazioni sul campo e individua una fascia di taglio per rotture multiple dello spessore di 40-50 metri, come ipotizzato da Paronuzzi e Bolla (2012).

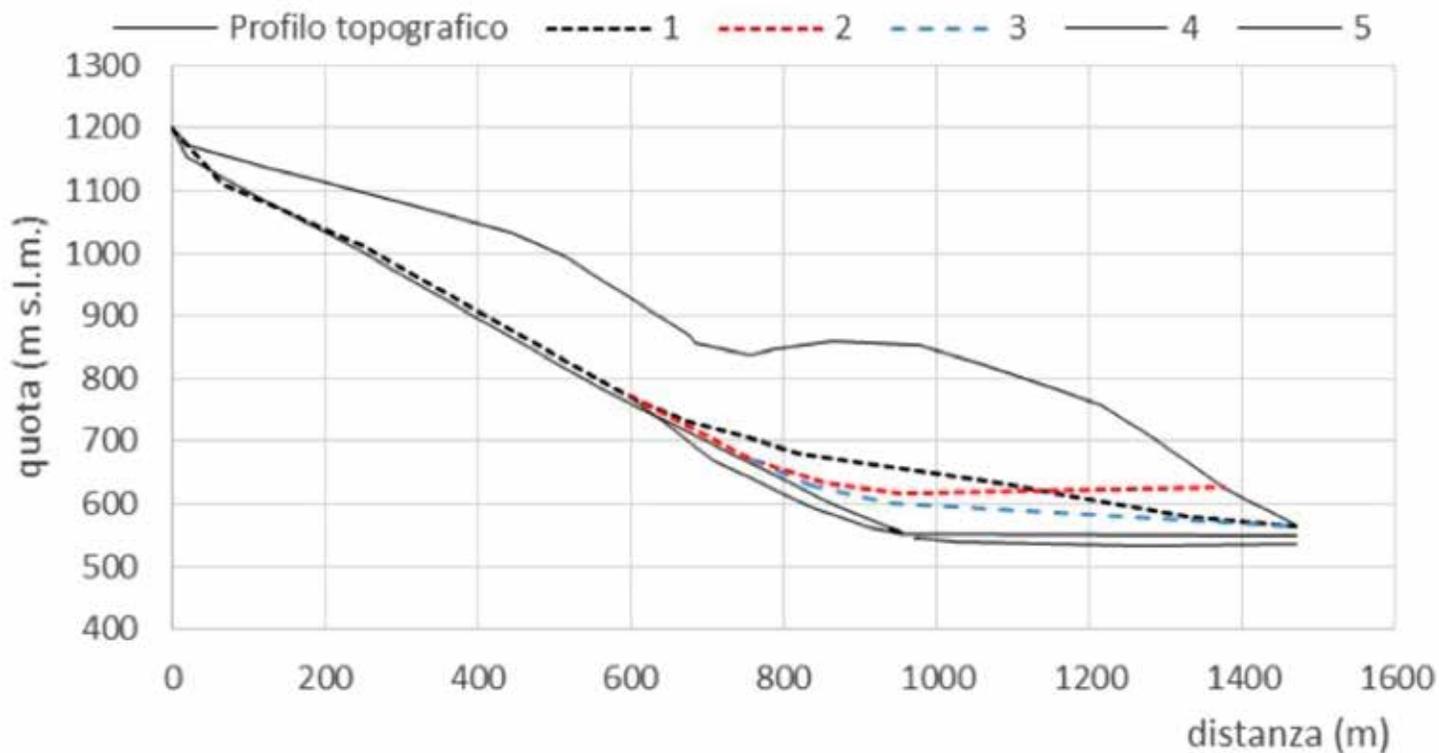
Altri metodi sono stati sviluppati al fine di modellare la frana e l'onda da essa generata. Crosta et al. (2016) utilizzano un codice FEM basato su un metodo Euleriano-Lagrangiano che garantisce risultati di calcolo accurati anche per grandi deformazioni. Le simulazioni 2D, effettuate sulla sezione di Rossi e Semenza (1965), indicano una massa in frana che raggiunge quota 935 metri s.l.m. e un'onda alta 100 metri sopra la cresta della diga. Le simulazioni 3D danno migliori risultati per le velocità della frana e dell'acqua e l'altezza dell'onda.

Il metodo utilizzato da Franci et al. (2020) si basa sul Metodo degli Elementi finiti Particellari, sviluppato per affrontare problemi di grandi deformazioni. I risultati indicano una velocità massima pari a 15 m/s per il fronte e a 25-30 m/s per la parte più elevata della frana, con moto e velocità del settore occidentale molto differenti da quelli del settore orientale.

La propagazione dell'onda nella valle del Piave è stata

Fig. 8 Alcune delle forme della superficie di scivolamento proposte da vari ricercatori.

1. Bistacchi et al.; 2. Rossi e Semenza; 3. Müller; 4. Broili; 5. Barla e Paronuzzi.



oggetto di studi da parte dell'Università di Padova tramite un accurato confronto tra quanto rilevato con le aereo-foto e quanto ottenuto con modelli numerici SPH bidimensionali e tridimensionali (Orzes, 2013). In generale si è ottenuta una buona aderenza tra il massimo allagamento ricostruito nel modello e quello osservato. In particolare, gli idrogrammi calcolati indicano portate man mano decrescenti dai $19,47 \text{ m}^3/\text{s}$ a Fortogna (circa 5 chilometri da Longarone) ai $4,36 \text{ m}^3/\text{s}$ a Belluno, distante circa 28 chilometri.

Considerazioni conclusive

La catastrofica frana del Vajont è stata ed è ancora oggetto di studi e ricerche visto che, nonostante i numerosissimi articoli pubblicati, difficilmente si trova un aspetto sul quale tutti i ricercatori concordano, soprattutto per quanto riguarda l'assetto geologico del corpo di frana, la durata dell'evento (20-25 sec. Caloi, 1966; 30-45 sec. Muller, 1964; 45 sec. Selli e Trevisan, 1964; Ciabatti, 1964); la velocità (15-20 m/s, Selli and Trevisan, 1964; Ciabatti, 1964; Nonveiller, 1987, 20-30 m/s, Müller, 1964; Voight and Faust, 1982; Hendron and Patton, 1985, 1986).

Vi è un generale accordo sull'ipotesi che la frana del 1963 si sia mossa su uno o più strati argillosi secondo due parti o lobi separati all'incirca dalla stretta incisione del torrente Massalezza e immediatamente successive nel tempo. Tuttavia, l'assetto geologico del corpo della frana è differentemente considerato e la stessa esistenza di una frana preistorica è messa in discussione. Questo aspetto si riflette sostanzialmente su qualsiasi considerazione venga fatta sulle condizioni di stabilità del versante prima del collasso e, quindi, sui meccanismi di innesco del fenomeno e della successiva accelerazione. La forma della superficie di scivolamento, che influisce direttamente sul

risultato delle analisi effettuate con i metodi all'equilibrio limite, è direttamente collegata all'assetto geologico considerato. Per il versante settentrionale del monte Toc la fig. 8 riporta, ad esempio, alcuni dei profili della superficie di scivolamento considerati nelle analisi da alcuni ricercatori.

Le condizioni di stabilità dipendono anche dai valori della pressione dell'acqua e dalla sua distribuzione nella massa in frana, un aspetto che è trattato, forzatamente, senza avere dati iniziali certi. La forma della falda freatica dipende, infatti, dalla conduttività idraulica dei differenti corpi rocciosi, dai rapporti con il livello dell'acqua nel bacino, dalle sue variazioni nel tempo e dalle precipitazioni oltre che dalla presenza e, soprattutto, dalla continuità dei livelli argillosi su cui la frana è scivolata. Le correlazioni trovate tra spostamenti registrati e precipitazioni dovrebbero essere attentamente rivalutate, considerando che il rilievo dei livelli della falda è stato fatto in soli quattro piezometri a tubo aperto e che i dati non sono valutati tenendo presenti i più recenti modelli geologico-strutturali del versante.

Le caratteristiche dell'ammasso roccioso, in termini di grado di fratturazione e di continuità dei giunti, influiscono direttamente non solo sulle caratteristiche idrauliche, ma anche sul comportamento cinematico della frana. Come alcuni ricercatori hanno messo in evidenza, la presenza di livelli argillosi sulla superficie di scivolamento determina un movimento in blocco dell'ammasso in frana, senza cioè significative deformazioni. Le carte geologiche di Rossi e Semenza (1965) mostrano, tuttavia, spostamenti superficiali non trascurabili di alcuni corpi rocciosi. Inoltre, le alte velocità raggiunte dalla frana sono state spiegate con differenti motivazioni che vanno dalla rottura fragile alla

pressurizzazione termica, ma non sembrano tener conto compiutamente dell'assetto strutturale e idrogeologico esistente al momento del collasso.

Le analisi di stabilità non tengono conto di due aspetti: il primo riguarda la morfologia della superficie di scivolamento che non può essere assimilata a una superficie liscia; il secondo riguarda i rapporti, a prima vista alquanto complessi, tra pressioni dell'acqua nel corpo di frana e nel bacino, velocità di spostamento della massa in frana e tempo. Non è evidente come questi aspetti possono influire sulla dinamica della frana, ma meritano certamente attenzione.

Gli aspetti più strettamente idraulici, cioè le caratteristiche dell'onda generata dalla frana e la sua propagazio-

ne nella valle del Vajont e, successivamente, in quella del Piave non sembrano mostrare incertezze nella valutazione delle conseguenze. I modelli di simulazione esistenti sembrano essere sufficientemente adeguati, forse in relazione ai dati disponibili, e tali da fornire, comunque, risultati accettabili nella previsione di fenomeni analoghi.

In definitiva, la catastrofe del Vajont ha dato l'opportunità di sviluppare in modo significativo le conoscenze nel campo della meccanica delle rocce e degli ammassi rocciosi e della previsione dell'instabilità dei versanti in roccia. Le incertezze nell'esatta ricostruzione della dinamica del fenomeno devono essere considerate uno stimolo per i ricercatori e per tutti quanti sono coinvolti a vario titolo nello studio e nella sistemazione dei versanti in roccia.

BIBLIOGRAFIA

BISTACCHI A., MASSIRONI M., SUPERCHI L., ZORZI L., FRANCESE R., GIORGI M., CHISTOLINI F. e GENEVOIS R., *A 3D geological model of the 1963 Vajont landslide*. *Italian Journal of Engineering Geology and Environment*, Book Series (6), 531-539, 2013. DOI: 10.4408/IJEGE.2013-06.B-51

BOLLA A., PARONUZZI P., PINTO D., LENZA D. E DEL FABBRO M., *Mineralogical and Geotechnical Characterization of the Clay Layers within the Basal Shear Zone of the 1963 Vajont Landslide*, *Geosciences*, 10, 360, 2020. doi:10.3390/geosciences10.

BOYER R.A., *Etude géologique des environs de Longarone (Alpes Vénitienes)*, Bull. Soc. Geol. Fr., (1913)

BROILI L., *New knowledge on the geomorphology of the Vajont Slide slip surface*, *Rock Mechanics and Engineering Geology* 5, 38-88, 1967

CALOI P., *L'evento del Vajont nei suoi aspetti geodinamic*, *Annals of Geophysics* 19, 1-87. 1966. doi: 10.4401/ag-5037

CARLI M., *Rilevamento geologico-strutturale e indagine geoelettrica della porzione nord-occidentale della frana del Vajont nelle Prealpi Venete*, tesi di laurea, dip. Geoscienze, Università di Padova, 2010

CIABATTI M., *La dinamica della frana del Vajont*, *Giornale di Geologia*, *Annali del Museo Geologico di Bologna*, XXXII, 139-15, 1964

CHOWDHURY R., *Analysis of the Vajont Slide-New approach*, *Rock Mechanics*, 11, 29-38, 1978. doi: 10.1007/BF01890883

CROSTA GB., IMPOSIMATO S. e RODDEMAN D., *Landslide Spreading, Impulse Water Waves and Modelling of the Vajont Rockslide*, *Rock Mech Rock Eng.*, 49, 2413-2436, 2016. doi: 10.1007/s00603-015-0769-z

DAL PIAZ G. (1928). *Relazione di massima su due sezioni del Vajont prese in considerazione per progetti di sbarramento idraulico*, R. Sade DATEI C., *Vajont: la storia idraulica*, Libreria Internazionale Cortina, Padova, pag. 138, 2005. ISBN-13 9788877842534

DEL VENTISETTE C., GIGLI G., BONINI M., CORTI G., MONTANARI D., SANTORO S., SANI F., FANTI R., CASAGLI N., *Insights from analogue modelling into the deformation mechanism of the Vaiont landslide*, *Geomorphology*, 228, 52-59, 2015. doi: 10.1016/j.geomorph.2014.08.024

DYKES A.P., BROMHEAD E.N., *The Vaiont landslide: re-assessment of the evidence leads to rejection of the consensus*, *Landslides*, 15, 1815-1832, 2018. doi: 10.1007/S10346-018-0996-Y

EBERHARDT E., *Rock slope stability analysis-Utilization of advanced numerical techniques*, *Earth and Ocean Sciences at UBC*, Vancouver, pp. 41, 2003

ERISMANN T.H. e ABELE G., *Dynamics of Rockslides and Rockfalls*, Springer-Verlag, Berlin, pp 316, 2001

FERRI F., DI TORO G., HIROSE T., SHIMAMOTO T., *Evidence of thermal pressurization in high-velocity friction experiments on smectite-rich gouges*, *Terra Nova*, Blackwell Publishing Ltd., 347-353, 2010. doi: 10.1111/J.1365-3121.2010.00955.x

FERRI F., DI TORO G., HIROSE T., HAN R., NODA H., SHIMAMOTO T., QUARESIMIN M. e DE ROSSI N., *Low- to high-velocity frictional properties of the clay-rich gouges from the slipping zone of the 1963 Vaiont slide, northern Italy*, *J. Geophys. Res.*, 116, B09208, 2011. doi:10.1029/2011JB008338

FERRI F., DI TORO G., HIROSE T. E T. SHIMAMOTO, *Evidences of thermal pressurization in high velocity friction experiments on smectite-rich gouges*, *Terra Nova*, 22, 347-353, 2010. doi:10.1111/j.1365-3121.2010.00955.x

FRANCESE R., GIORGI M., BOEM G., BISTACCHI A., BONDESAN A., MASSIRONI M. e GENEVOIS R., *3D Geophysical imaging of the vajont landslide and of its surroundings*, *Italian Journal of Engineering Geology and Environment*, 555-565, 2013. doi: 10.4408/IJEGE.2013-06.B-53

FRANCI A., DE-POUPLANA I., CASAS G. CELIGUETA M.A., GONZALEZ-USUA J., ONATE E., *PFEM-DEM for particle-laden flows with free surface*, *Comp. Part. Mech.* 7, 101-120, 2020. doi: 10.1007/s40571-019-00244-1

FUKUZONO T., *A new method for predicting the failure time of a slope*, *Proceedings of 4th international conference and field workshop on landslides*, Tokyo. 145-150, 1985

GHIROTTI M., *Aspetti geomeccanici e modellazione numerica della frana del Vaiont*, tesi di dottorato; tutori: R. Genevois, E. Semenza ; Consorzio Università di Parma, Ferrara, Firenze, Pavia, 1992

GHIROTTI M., *Modellazione numerica della frana del Vajont sulla base di nuovi dati*, *Geologica Romana*, 30, 207-216, 1994

GIUDICI F. e SEMENZA E., *Studio geologico sul serbatoio del Vajont*, *Relazione per SADE*, pp 18, 1960

HABIB, P., *Sur un mode de glissement des massifs rocheaux*, *C. R. Seances Acad. Sci.*, 264, 151-153, 1967

HABIB, P., *Production of gaseous pore pressure during rock slides*, *Rock Mech.*, 7, 193-197. 1975. doi.org/10.1007/BF01246865

HENDRON A.J. e PATTON F.D., *The Vajont slide, a geotechnical analysis based on new geologic observations of the failure surface*, *Technical Report GL-85-5*. Department of the Army US Army Corps of Engineers, Washington, 1985

HENDRON A.J. e PATTON F.D., *The Vajont slide. A geotechnical analysis based on new geologic observations of the failure surface* *Engineering Geology* 24, 475-491, 1987

- KENNEY T. C., *Stability of the Vajont Valley Slope, discussion of a paper by L. Müller (1964) on the rock slide in the Vajont valley*, Rock Mechanics and Engineering Geology, 5, 10–16, 1967
- KIERSCH G.A., *Vajont reservoir disaster: geologic causes of tremendous landslide accompanied by destructive flood wave*, Civil Engineering, 32–39, March 1964
- KILBURN C.R.J. e PETLEY D.N., *Forecasting giant, catastrophic slope collapse: lessons from Vajont, northern Italy*, Geomorphology, 54, 21–32, 2003. doi: 10.1016/S0169-555X(03)00052-7
- LO K.Y., LEE C.F. e GELINAS P., *Alternative interpretation of the Vajont slide*, Cording E.J. (Ed.), Stability of Rock Slopes. Proc. 13th Symp. On Rock Mechanics, Univ. Illinois, Urbana. ASCE, New York, pp. 595–623, 1972
- MASSIRONI M., ZAMPIERI D., SUPERCHI L., BISTACCHI A., RAVAGNAN R., BERGAMO B., GHIROTTI M. e GENEVOIS R., *Geological structures of the vajont landslide*, Italian Journal of Engineering Geology and Environment - Book Series (6), 573–582, 2013. doi.org/10.4408/IJEGE.2013-06.B-55
- MIGANI M., *Microsismicità e variazione della pressione sul fondo di un Bacino idrico (Attività sismica nella zona del Vajont dal 20 marzo 1964 al 31 dicembre 1966)*, Annals of geophysics 21(2), 1968. doi: 10.4401/ag-5066
- MÜLLER L., *The rock slide in the Vajont Valley*, Rock Mechanics and Engineering Geology 2, 148–212. (1964)
- NIGRO G., *Studio geologico e geomeccanico ed analisi numerica del lobo orientale della frana del Vajont*, tesi di Laurea magistrale, Università di Padova, pp 125, 2014
- NONVEILLER E., *Shear strength of bedded and jointed rock as determined from the Zalesina and Vajont slides*, Proceedings of Geotechnical Conference, Oslo, Norway. Norwegian Geotechnical Institute, 1, 289–294, 1967
- ORZES M., *Propagazione lungo la valle del Piave dell'onda di sommersione generata dal disastro del Vajont*, tesi di laurea magistrale, Dip. Ingegneria Civil Edile ed Ambientale, Università di Padova, 2013
- PANIZZO A., DE GIROLAMO P., DI RISIO M., MAISTRI A. & PETACCIA A., *Great landslide events in Italian artificial reservoirs*, Natural Hazards and Earth System Sciences, 5, 733–740, 2005. doi: 10.5194/NHESS-5-733-2005
- PARONUZZI P. E BOLLA A., *The prehistoric Vajont rockslide-An updated geological model*, Geomorphology 169–170, 165–191, 2012. doi:10.1016/j.geomorph.2012.04.021
- PARONUZZI P., BOLLA A., *A new interpretation of the geotechnical context of the Vajont rockslide*, Landslide Science and Practice: Risk Assessment, Management and Mitigation. Proceedings of the Second World Landslide Forum, Rome, Italy. Springer, Berlin, 123–132, 2013. doi: 10.1007/978-3-642-31319-6-18
- PARONUZZI P., BOLLA A., PINTO D., LENAZ D. E SOCCAL M., *The clays involved in the 1963 Vajont landslide: Genesis and geomechanical implications*, Engineering Geology, 294, 5, 106376, 2021. doi. org/10.1016/j.enggeo.2021.106376
- PASUTO A., *The Vajont Valley (eastern alps): a complex landscape deeply marked by landsliding*, In: Soldati M, Marchetti M (eds) Landscapes and landforms of Italy. Springer International Publishing, 135–145, 2017
- PETRONIO L., BOAGA J., E CASSIANI G., *Characterization of the Vajont landslide (North-Eastern Italy) by means of reflection and surface wave seismics*, Journal of Applied Geophysics 128, 58–67. 2016. doi. org/10.1016/j.jappgeo.2016.03.012
- PIEROBON E., *Disastro del Vajont: un modello sph per l'analisi dei risultati sperimentali sui modelli fisico-idraulici*, tesi di Laurea, Università di Padova, pp 134, 2013
- RIGNANESE L., *Analisi di stabilità del versante sinistro del Monte Toc (Pordenone)*, tesi di laurea magistrale, Dip. Geoscienze, Università di Padova, 2012
- ROSE N.D. e HUNGR O., *Forecasting potential rock slope failure in open pit mines using the inverse-velocity method*, International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences, 44(2), 308–320, 2007. doi: 10.1016/j.ijrmms.2006.07.014
- ROSSI D. E SEMENZA E., *Carte geologiche del versante settentrionale del M. Toc e zone limitrofe, prima e dopo il fenomeno di scivolamento del 9 ottobre 1963*, Scala 1:5000, Ist Geol University of Ferrara, 2 Maps, 1965
- SELLI R. e TREVISAN L., *Caratteri e interpretazioni della frana del Vajont*, Giornale di Geologia, Annali del Museo Geologico di Bologna, XXXII, 7–68, 1964
- SEMENTA E., *Sintesi degli studi geologici sulla frana del Vajont dal 1959 al 1964*, Mem. Museo Tridentino Sc. Nat. 16, 1–52, 1965
- SITAR N. e MACLAUGHLIN M.M., *Kinematics and discontinuous deformation analysis of landslide movement*, In: II Panam. Symp. on Landslide, Rio de Janeiro, Nov. 10–14th. Invited keynote lecture, 65–73, 1997
- SUPERCHI L., FLORIS M., GHIROTTI M., GENEVOIS R., JABOYEDOFF M. e STEAD D., *Technical Note-Implementation of a geodatabase of published and unpublished data on the catastrophic Vajont landslide*, Nat. Hazards Earth Syst. Sci., 10, 865–873, 2010. doi:10.5194/NHESS-10-865-2010
- SUPERCHI L., ZORZI L., FERRI F., GENEVOIS R. e IAFELICE M., *A geomechanical evaluation of the rock mass involved in the 1963 Vajont landslide (NE Italy)*, Proceedings of the Second World Landslide Forum, Rome, 2011
- SUPERCHI L., *The Vajont rockslide: new techniques and traditional methods to re-evaluate the catastrophic event*, tesi di dottorato, Università di Padova, 2012
- TIKA e HUTCHINSON J.N., *Ring shear tests on soil from the Vajont landslide slip surface*, Geotechnique 49 59–74, 1999. doi: 10.1680/GEOT.1999.49.1.59
- TROLLOPE D.H., *The Vajont Slope Failure*, Rock Mechanics, 13, 71–88, 1980. doi: 10.1007/BF01238951
- VACONDIO R., PAGANI S., MIGNOSA P. e GENEVOIS R., *3D numerical simulation of the wave generated by the Vajont rockslide*, Italian Journal of Engineering Geology and Environment - Book Series (6), 445.456, 2013
- VARDOULAKIS I., *Dynamic thermo-poro-mechanical analysis of catastrophic landslides*, Géotechnique, 52 (3), 157–171, 2002. doi: 10.1680/geot.2002.52.3.157
- VEVEAKIS E., VARDOULAKIS I., DI TORO G., *Thermoporomechanics of creeping landslides-The 1963 Vajont slide, northern Italy*, J. Geophys. Res., 112, F03026, pp 21, 2007. doi:10.1029/2006JF000702
- VIPARELLI M. e MERLA G., *L'onda di piena seguita alla frana del Vajont*, Internal report of the Engineering Faculty, Hydraulics Institutes, University of Naples (Italy), 1964
- VOIGHT B., *A method for prediction of volcanic eruptions*, Nature, 332, 125–130, 1988. doi: 10.1038/332125a0
- VOIGHT, B. e FAUST C., *Frictional heat and strength loss in some rapid landslides*, Geotechnique, 32(1), 43–54. 1982. doi.org/10.1680/geot.1992.42.4.641
- WOLTER A., HAVAEJ M., ZORZI L., STEAD D., CLAGUE JJ, GHIROTTI M. e GENEVOIS R., *Exploration of the kinematics of the 1963 Vajont slide, Italy, using a numerical modelling toolbox*, Italian Journal of Engineering Geology and Environment - Book Series (6), 599–612, 2013. doi: 10.4408/IJEGE.2013-06.B-58
- WOLTER A., STEAD D., WARD BC., CLAGUE JJ, GHIROTTI M., *Engineering geomorphological characterisation of the Vajont Slide, Italy, and a new interpretation of the chronology and evolution of the landslide, Landslide 13*, 1067–1081, 2015. doi: 10.1007/s10346-015-0668-0
- XIA X., LIANG Q., PASTOR M., ZOU W., ZHUANG, Y., *Balancing the source terms in a SPH model for solving the shallow water equations*, Advances in Water Resources, 59, 25–38, 2013. doi: 10.1016/j.advwatres.2013.05.004
- ZANGERL C., EBERHARDT E., PERZLMAIER S., *Kinematic behaviour and velocity characteristics of a complex deep-seated crystalline rockslide system in relation to its interaction with a dam reservoir*, Engineering Geology, 112, 53–67, 2010. doi: 10.1016/j.enggeo.2010.01.001
- ZANIBONI F. e TINTI S., *The 1963 Vajont Landslide: A Numerical Investigation on the Sliding Surface Heterogeneity*, Pure Appl. Geophys. 176, 279–295, 2019. doi.org/10.1007/s00024-018-2023-6

I tecnici di fronte alla complessità del Vajont: carenze conoscitive e accondiscendenza

DOTT. PAOLO PARONUZZI, professore associato di Geologia applicata, Dipartimento Politecnico di Ingegneria e Architettura, Università di Udine
ING. ALBERTO BOLLA, ricercatore, Dipartimento Politecnico di Ingegneria e Architettura, Università di Udine

78 RT 394 60 anni dopo: una lezione appresa?

Potrebbe sembrare semplicemente commemorativo scrivere sulla frana del Vajont a 60 anni di distanza da quei tragici fatti che nella tarda serata del 9 ottobre 1963 cancellarono di colpo dalla faccia della terra duemila vite umane, tra cui moltissimi bambini (fig. 1). Ma molti ancora oggi si chiedono come mai questo avvenne e quali furono le responsabilità dei tecnici, ingegneri e geologi, che all'epoca furono coinvolti nella progettazione della diga e dell'invaso. È una domanda legittima che può riguardare semplici cittadini curiosi di sapere, ma anche tecnici coinvolti nella progettazione di grandi opere che ancora oggi si interrogano su questa grande tragedia. Provare a dare una risposta ai molti interrogativi ancora aperti è innanzitutto un dovere morale e sociale che va al di là degli obiettivi della ricerca scientifica e delle questioni tecniche legate allo studio dei fenomeni di dissesto idrogeologico e degli interventi necessari per la mitigazione del rischio.

La frana del Vajont porta con sé una miriade di aspetti che hanno avuto tutti un ruolo determinante perché in quegli anni si verificarono numerose azioni umane che hanno avuto poi influenze importanti e interazioni reciproche sulla (mancata) comprensione del fenomeno e sulle scelte dei tecnici che di fatto portarono alla catastrofe del 1963. Negli articoli pubblicati sulle riviste tecniche, sia nazionali sia internazionali, la frana del Vajont viene ovviamente analizzata esclusivamente dal punto di vista scientifico. Ma altrettanto importanti furono le interazioni tra i diversi tecnici coinvolti. Quindi, se da un lato vanno opportunamente contestualizzate le conoscenze tecniche dell'epoca, soprattutto in campo geologico e geotecnico, dall'altro risultano altrettanto importanti i rapporti esistenti sul piano personale tra i diversi specialisti che operarono all'epoca. In particolare quelli tra i progettisti idraulici che realizzarono la diga e quelli chiamati poi ad affrontare un problema inatteso e completamente sottovalutato: la stabilità delle sponde a seguito della formazione del lago artificiale.

Dopo tanti anni trascorsi dalla catastrofe, l'attualità del Vajont supera oggi la semplice comprensione degli aspetti prettamente ingegneristici e geologici, che pure presenta punti che devono essere ancora compresi nel dettaglio. L'intera vicenda, che si snoda in un percorso temporale di poco meno di sei anni, dal gennaio 1957 all'ottobre 1963, necessita di una rilettura globale che affronti vari punti di vista. In modo assai sintetico, possiamo analizzare il percorso che portò al disastro esaminando due elementi fondamentali:

- l'interpretazione dei segni premonitori di instabilità del versante settentrionale del monte Toc;
- le scelte adottate dai tecnici sotto il profilo del monitoraggio, degli interventi adottati e delle azioni idrauliche sul serbatoio.

Interrogarsi sul comportamento di quei tecnici non serve oggi per dare patenti di "innocenza" o di "colpevolezza" ai singoli protagonisti di quella tragica vicenda. Serve piuttosto a chiedersi cosa non abbia funzionato e quindi a trarre veramente una lezione che possa impedire il ripetersi di un disastro del genere.

Il campanello di allarme della frana di Pontesei (22 marzo 1959)

Quando si leggono i lavori specialistici sulla frana del Vajont, tutta l'attenzione è rivolta naturalmente al grande movimento franoso presente sul versante settentrionale del monte Toc. Questo fenomeno di instabilità fu oggetto di prolungata attività di monitoraggio messa a punto dalla Sade tra la primavera del 1960 e il 9 ottobre 1963, quando si concluse drammaticamente con l'innescò del gigantesco scivolamento alle ore 22:39.

In realtà, non è possibile capire l'andamento degli studi e delle ricerche sulla frana del Vajont se non si parte dalla frana che coinvolse l'invaso di Pontesei il 22 marzo 1959, nella Val Zoldana poco a est di Forno di Zoldo. Dal punto di vista tecnico, è ovvio che si tratta di due diversi e ben distinti fenomeni di rottura di versante, ma la società che gestì questo grave problema tecnico era sempre la Sade. Il collasso rapido del versante si verificò quando il livello dell'invaso si trovava 13 metri al di sotto della quota massima prevista dal progetto. La frana, scivolando nel lago, produsse un'ondata di circa 20 metri di altezza che travolse un operaio in bicicletta, Arcangelo Tiziani, il cui corpo non fu mai ritrovato. La frana di Pontesei si staccò intorno alle 7 di mattina e il tempo di caduta è stato stimato, nell'ambito del processo sulla frana del Vajont, in circa due minuti (fig. 2).

Questa frana, in genere poco nota al di fuori degli specialisti, resta un quadro di riferimento fondamentale per ricostruire le modalità operative ed organizzative della Sade di quegli anni. Lo scivolamento di Pontesei è stata una vera e propria versione "in miniatura" della futura gigantesca frana caduta nell'invaso del Vajont il 9 ottobre 1963.

Al di là delle differenze riguardanti i materiali coinvolti (detriti calcareo-dolomitici e limi argillosi a Pontesei; ammasso roccioso fratturato, sottili livelli di argille e detriti

↓
 Fig. 1 Vista aerea della zona della diga del Vajont poco dopo il disastro del 9 ottobre 1963, che mostra l'enorme corpo di frana che ha riempito il lago artificiale. La foto (disponibile su <https://www.ilpost.it/2013/10/09/il-disastro-del-vajont/vajont-dam/>, copyright: Associated Press Photo) è stata acquisita il 16 novembre 1963 e rappresenta una delle prime immagini a colori della frana del Vajont dopo il disastro

→
 Fig. 2 La frana di Pontesei del 22 marzo 1959, con la massa di detriti che ha riempito il lago artificiale di proprietà della Sade (da: Semenza, 2001)





vari sul monte Toc) e soprattutto dimensionali (circa 3-6 Mm³ rispetto ai 250-300 Mm³ del Vajont), rimangono delle analogie davvero sorprendenti tra le due frane: gli indizi premonitori, la durata dei processi di instabilità prima del collasso, la tempistica e la tipologia del franamento, nonché l'innescò finale dell'ondata sulla sponda opposta dell'invaso e il successivo sovralzo dell'acqua sul coronamento della diga. A Pontesei, diversi indizi di instabilità erano comparsi sul versante instabile in sinistra idrografica. In particolare, i resoconti tecnici documentano la comparsa di una grande fessura nella zona mediana del versante il 17 agosto 1957, 19 mesi prima del collasso finale. È dunque interessante notare come la comparsa di questa grande fessura, la più eclatante manifestazione di instabilità del versante, fosse assolutamente confrontabile con la ben nota "fessura perimetrale ad emme" del Vajont.

Dall'agosto 1957, la Sade avviò il rapido svasso del serbatoio e attivò il monitoraggio topografico del versante misurando l'evoluzione dell'apertura della grande fessura e installando una serie di capisaldi superficiali. Furono registrati spostamenti superficiali di una certa entità, con spostamenti che raggiunsero anche 1,36 metri, evidenziando una prolungata fase di instabilità del versante che precedette chiaramente il collasso. Si è trattato, come per il Vajont, di una frana di scivolamento "in massa" durante la quale il volume collassato ha mantenuto l'unitarietà e gran parte della forma originaria.

Questi fatti sono importanti perché ci permettono di prendere visione delle procedure tecniche messe in campo dalla Sade ben prima delle problematiche di stabilità emerse nel bacino del Vajont negli anni successivi (1960-1963).

Sul piano prettamente osservazionale, gli eventi registrati a Pontesei, a prescindere dalla totale mancanza di misure della falda all'interno del versante per l'assenza di piezometri installati sul versante, dimostrano il ruolo decisivo esercitato dal lago artificiale sull'innescò dell'instabilità: tutte le criticità osservate, e i relativi indizi di instabilità, comparvero in corrispondenza delle principali fasi di invaso e durante le prime procedure di allagamento della valle e dei versanti. L'evento di Pontesei dimostra quindi in modo inequivocabile che tecnici e progettisti della Sade avevano piena coscienza che durante le operazioni idrauliche dei primi invasi potevano verificarsi importanti rotture dei versanti, innescando scivolamenti in blocco con tempi di caduta sull'ordine di qualche minuto. Questi franamenti potevano causare la formazione di onde nell'invaso determinando anche la fuoriuscita di acqua al di sopra del coronamento della diga e quindi la tracimazione nella valle sottostante.

La frana di Pontesei costituì dunque il vero "modello idraulico" della frana del Vajont, solo in scala ridotta rispetto alla gigantesca frana del 1963. La frana di Pontesei aveva già mostrato tutto, seppure in una versione più piccola. Una lezione importante che fu, purtroppo, abbondantemente sottovalutata dai tecnici della Sade e addirittura taciuta al Consiglio superiore dei Lavori pubblici.

L'individuazione della grande frana preistorica sul monte Toc

Pontesei costituì un momento decisivo e fu un vero e proprio punto di svolta nelle decisioni che seguirono. Il cam-

bio di rotta e le nuove decisioni assunte dal progettista della diga, l'ingegnere Carlo Semenza, sono facilmente desumibili dalle stesse parole del figlio, il geologo Edoardo Semenza, che così scrive: «La conseguenza quasi immediata della frana di Pontesei fu la preoccupazione per il bacino del Vajont che si stava creando con la costruzione della diga iniziata nell'agosto 1958» (Semenza, 2001: pag. 41). Il progettista della diga decise pertanto di affidare al figlio Edoardo il compito di eseguire il rilevamento geologico di dettaglio delle sponde del futuro lago. Questi rilievi sul terreno rappresentarono le prime ricerche effettivamente svolte sui versanti circostanti il futuro serbatoio poiché le osservazioni geologiche avanzate in precedenza da Giorgio Dal Piaz, stimato geologo dell'università di Padova e amico personale di Carlo Semenza, erano del tutto preliminari e prive di affidabili contenuti geologico-tecnici.

Il programma di studio e di rilevamento fu accuratamente predisposto da Leopold Müller, apprezzato ingegnere e specialista di meccanica delle rocce, che era già stato coinvolto nella progettazione delle fondazioni della diga e dei rinforzi nelle zone di imposta.

I primi rilevamenti geologici di Edoardo Semenza, coadiuvato da Franco Giudici, lo portarono a individuare una grande frana sul versante settentrionale del monte Toc. Questo gigantesco corpo di frana venne identificato nell'agosto del 1959 sulla parete settentrionale del Pian del Toc, insieme a un più limitato lembo residuo presente sulla sponda opposta (affioramento del "Colle Isolato" in sponda destra del torrente Vajont). Gli esiti dei rilevamenti Giudici-Semenza furono riportati in una relazione tecnica che venne ufficialmente consegnata alla Sade ai primi di giugno del 1960, circa dieci mesi dopo l'inizio dei lavori.

Nella relazione, relativamente all'area compresa tra Casera Pierin e il Colombèr, Giudici e Semenza affermarono: «Si tratta probabilmente... di una enorme massa rocciosa "scivolata" a valle, sebbene di poco, sino ad assumere l'attuale posizione, che sembra a prima vista dare sufficiente garanzia di stabilità alla massa stessa». (Giudici e Semenza, 1960: pag. 15-17). Questa frase contiene in realtà due affermazioni principali, una negativa e l'altra positiva, in rapporto agli interessi della Sade: 1) l'esistenza di una enorme massa franata (un grande problema, sostanzialmente impreveduto) e 2) la cui posizione sembrava "dare sufficiente garanzia di stabilità". Oggi potremmo dire che la seconda affermazione, decisamente più rassicurante per la Sade, non poteva essere all'epoca suffragata e confermata da alcuna valutazione analitica e/o matematica, in pratica da alcun calcolo che avesse cercato di valutare la reale condizione di stabilità della grande massa franata. Questo è un aspetto chiave per comprendere, ed eventualmente anche per valutare, il comportamento dei tecnici all'epoca.

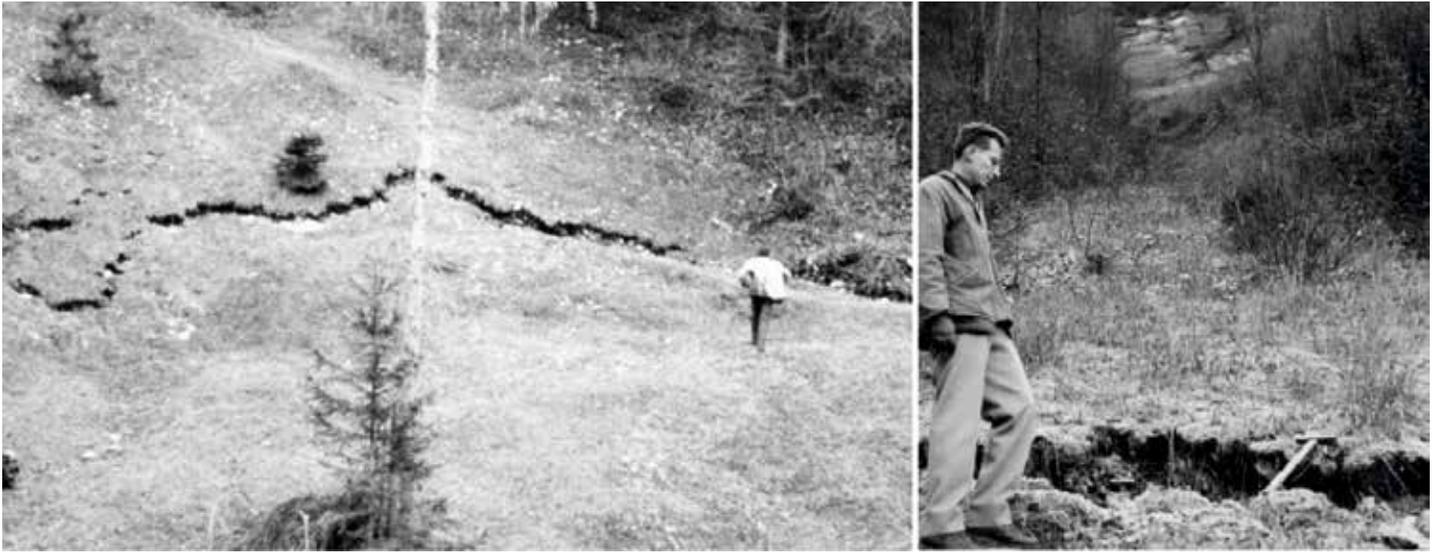
La condizione di stabilità del versante del monte Toc avrebbe dovuto essere stimata effettuando una analisi di stabilità (con tutti i limiti intrinseci a questo tipo di calcolo) basata sull'approccio dell'equilibrio limite. Un metodo che era già stato enunciato e definito in campo ingegneristico diversi anni prima e che avrebbe permesso di cal-

colare il fattore di sicurezza (FS) del pendio per alcune sezioni tipo. Il calcolo di FS in quegli anni era infatti già noto ed era impiegato dagli ingegneri geotecnici che si occupavano di frane. Ma nessuno dei tecnici di allora lo fece: il calcolo di FS non venne eseguito da Leopold Müller, che era sicuramente il tecnico più preparato, sia dal punto di vista del calcolo sia per quanto riguardava gli aspetti geomeccanici, e tanto meno lo fece Edoardo Semenza perché questo non rientrava nelle sue naturali competenze tecniche.

L'ipotesizzata "sufficiente garanzia di stabilità" fu dunque una valutazione assolutamente empirica e del tutto priva di conferma sul piano del calcolo. Significativamente, subito dopo il disastro del 1963, molti ingegneri geotecnici, tra cui anche lo stesso Leopold Müller (Müller, 1964 e 1968), iniziarono a studiare la gigantesca frana del Vajont e procedettero al calcolo di FS per alcune sezioni tipo del monte Toc, utilizzando peraltro gli stessi metodi di calcolo già disponibili negli anni tra il 1960 e il 1963 (Fellenius, Janbu, Bishop, Petterson).

Nel paragrafo successivo della relazione, i possibili fenomeni di instabilità corticale, comunque di dimensioni medie e/o limitate, furono confrontati con una eventualità ben più gravosa per il futuro bacino artificiale del Vajont. Infatti si legge: «Più grave sarebbe il fenomeno che potrebbe verificarsi qualora il piano di appoggio dell'intera massa, o della sua parte più vicina al lago, fosse inclinato (anche debolmente) o presentasse apprezzabile componente di inclinazione verso il lago stesso. In questo caso il movimento potrebbe essere riattivato dalla presenza dell'acqua, con conseguenze difficilmente valutabili attualmente, e variabili tra l'altro a seconda dell'andamento complessivo del piano di appoggio...» (Giudici e Semenza, 1960: pag. 16). Per quanto scarse, queste frasi dimostrano in modo inequivocabile che gli ingegneri della Sade e i vari consulenti avevano piena contezza del ruolo decisivo del lago artificiale che veniva creato al piede del versante e delle sue variazioni di livello sui processi di instabilità spondale, in particolare durante le fasi di massimo invaso. Quindi la causa fondamentale che attivava i movimenti del versante era assolutamente nota e chiaramente individuata. Questo punto è importante ed è sicuramente attuale perché ancora oggi molti commentatori e anche alcuni tecnici alludono alle limitate conoscenze di allora per giustificare le interpretazioni degli ingegneri e dei geologi coinvolti nei primi studi e nelle prime ricerche.

La cosa davvero "singolare" è che in molti studi successivi alla catastrofe del 1963, il ruolo dell'invaso sul processo di instabilità del monte Toc si attenuò di molto, mentre invece esso risulta chiaramente già nel rapporto tecnico di Giudici e Semenza del 1960. Un simile atteggiamento dei tecnici portò a una chiamata in causa sempre maggiore di altri fattori per spiegare il catastrofico franamento del 1963. In particolare vennero chiamate in causa le piogge precedenti, come fecero gli americani Hendron e Patton nel loro lavoro fondamentale pubblicato nel 1985. Così l'attenzione si spostò, o meglio venne fatta spostare, sulle precipitazioni e il ruolo dell'invaso rapidamente uscì di scena.



Carenze conoscitive e accandiscendenza dei tecnici

Lo scenario legato alla possibile presenza di un'enorme paleofrana sul monte Toc che si potesse rimettere in moto a causa del futuro serbatoio rappresentava per la Sade un elemento di significativa preoccupazione, alla luce peraltro dell'esperienza vissuta a Pontesei. Ciò portò i responsabili del progetto a richiedere delle investigazioni aggiuntive che potessero confermare o meno la preoccupante ipotesi avanzata già a voce da Giudici e Semenza nell'estate del 1959. Fu così incaricato il prof. Pietro Caloi, stimato sismologo in attività presso l'Istituto nazionale di Geofisica e docente presso l'Università di Roma, di eseguire uno studio geofisico per conoscere le condizioni dell'ammasso roccioso in sponda sinistra.

Il prof. Caloi condusse due campagne geosismiche a riflessione per determinare le proprietà elastiche dell'ammasso roccioso. Dalla prima campagna condotta a novembre-dicembre 1959, risultò che nell'area di studio la roccia era in posto e aveva un modulo elastico altissimo, dell'ordine di 106 kg/cm^2 , con velocità sismiche di $5.000\text{-}6.000 \text{ m/s}$. Nella seconda campagna geosismica, condotta a un anno circa di distanza dalla prima (dicembre 1960), venne individuata una zona di circa $50\text{-}150$ metri di spessore con velocità sismiche di $800\text{-}2.400 \text{ m/s}$ e una zona sottostante con velocità di $2.000\text{-}3.800 \text{ m/s}$.

I primi risultati di questa investigazione tesero quindi a screditare l'idea della paleofrana di Semenza, mentre l'enorme diminuzione nei valori di velocità riscontrata nella seconda campagna di misure fu interpretata dai tecnici della Sade come conseguenza di una repentina e massiccia fratturazione dell'ammasso roccioso con un enorme decadimento delle sue proprietà elastiche nel corso di un solo anno, che da solido e compatto sarebbe divenuto minutamente fratturato. Tuttavia, non fu mai promossa una approfondita discussione sulla validità dei risultati geofisici ottenuti. Infatti, i valori desunti dalla prima campagna sono talmente alti da essere assai difficilmente associabili a un ammasso roccioso con i caratteri litostratigrafici della for-

mazione coinvolta nel dissesto, costituita da una complessa alternanza di sottili strati ($5\text{-}10 \text{ cm}$) calcareo-selciferi e calcareo-marnosi, i quali erano peraltro chiaramente riscontrabili già in affioramento. In circa tre anni, tra l'autunno del 1960 e il 9 ottobre 1963, il personale tecnico della Sade/Enel si trovò ad affrontare tre momenti di criticità sulla sponda sinistra del serbatoio, coincidenti con i massimi invasi raggiunti: in tutte queste situazioni la risposta "standard" fu l'abbassamento, spesso rapido, del livello del lago.

Ciò che la Sade fece a Pontesei fu riproposto al Vajont, a partire dalla grave "crisi" del versante manifestatasi con la comparsa improvvisa della fessura perimetrale sul monte Toc alla fine di ottobre/primi di novembre del 1960 (fig. 3). Da questo punto di vista, su questi aspetti non vi era alcuna carenza conoscitiva, né concettuale né tanto meno culturale, tuttavia mancavano le valutazioni quantitative per verificare l'effettiva evoluzione di un processo che implicava sia effetti positivi (la spinta stabilizzante al piede dovuta al peso dell'acqua dell'invaso) sia effetti negativi (incremento delle pressioni neutre legato all'innalzamento del livello della falda all'interno del pendio e conseguente perdita di resistenza alla base della massa in frana) sulla stabilità del versante.

I drammatici fatti verificatisi nell'autunno del 1960 (comparsa della fenditura perimetrale di fine ottobre e la frana del 4 novembre 1960) sembravano fornire un'ulteriore conferma alle ipotesi avanzate da Giudici e Semenza sulla grande paleofrana. Le nuove preoccupanti evidenze suggerirono a Carlo Semenza di richiedere una nuova consulenza specifica a Leopold Müller, ormai imprescindibile punto di riferimento per affrontare il grave problema dell'instabilità del monte Toc, divenuto il principale problema tecnico che doveva essere affrontato, senza indugi, dai tecnici della Sade.

A seguito di alcuni sopralluoghi fatti sul monte Toc nel novembre 1960, alcuni insieme a Edoardo Semenza e agli ingegneri della Sade, Müller consegnò alla Sade un dettagliato rapporto tecnico (15° Rapporto Müller, 3 febbraio 1961) in cui espose la sua personale diagnosi sul fenomeno di instabilità, del quale fece una prima stima individuando



un volume instabile di 200 Mm^3 (valore non molto lontano dai circa $250\text{-}300 \text{ Mm}^3$ che franarono nel 1963), ed anche le sue proposte operative per mitigarlo. Tuttavia, alcune sue considerazioni avanzate allora si rivelarono assolutamente errate, come dimostrato dai fatti verificatisi successivamente.

I punti fondamentali sbagliati delle sue interpretazioni riguardano:

- 1) l'assenza della grande frana antica, come ipotizzato da Giudici e Semenza;
- 2) la suddivisione della grande massa instabile in due porzioni distinte, una orientale ed una occidentale, sulla

base degli spostamenti di superficie misurati dalla Sade (1960 e inizi 1961);

- 3) l'esistenza di una fascia prossima all'alveo del Vajont, in corrispondenza della Punta del Toc, soggetta a "creep", con un insieme di fenomeni gravitativi che avrebbe portato alla formazione al piede di un volume di materiale franato con un effetto "stabilizzante" sul pendio;
- 4) l'assenza di livelli argillosi tra i materiali interessati dalla rottura basale.

Oltre a queste valutazioni tecniche errate, vi fu comunque un'altra affermazione di Müller inserita nel suo 15° Rapporto che ebbe conseguenze importanti sul futuro del

↑
Fig. 3 La grande fessura perimetrale del monte Toc come era visibile il 9 novembre 1960 all'estremità di monte della frana preistorica (foto scattate da: E. Semenza, in Masè et al., 2004)

↑
Fig. 4 Il versante settentrionale del monte Toc prima e dopo la catastrofica frana del 9 ottobre 1963 (foto del 1959 scattata da: E. Semenza, in Masè et al., 2004)

Vajont, soprattutto perchè andava nella direttrice voluta e auspicata dalla Sade, vale a dire il completamento dell'invaso e la gestione della grande instabilità del monte Toc attraverso la regolazione dei livelli del serbatoio.

Dopo avere esaminato un lungo elenco, puramente teorico, di soluzioni spesso inattuabili dal punto di vista tecnico, Müller concluse il suo rapporto tecnico sottolineando che: «Alla domanda, se gli scivolamenti possano essere arrestati mediante provvedimenti artificiali, in linea generale si deve rispondere di no, perché se in teoria anche si volesse rinunciare del tutto alla creazione di un serbatoio, si dovrebbe supporre che una frana così grande, dopo essersi mossa una volta, non tornerebbe tanto presto all'arresto assoluto. Non rimane quindi altra via che cercare di ottenere il controllo dello scivolamento, e di limitare con misure artificiali sia i volumi rocciosi sia le velocità delle masse in frana...» (traduzione italiana in Semenza, 2001: pag. 89).

Questa affermazione, messa nero su bianco da Müller, era perfettamente in linea con gli obiettivi della Sade ed è in pratica l'epigrafe tombale sulla vicenda del Vajont. Essa sottintendeva il concetto, molto caro alla Sade, che la gestione dei livelli dell'invaso potesse consentire il controllo dei futuri movimenti di versante (ma non si specifica che sono stati proprio i livelli dell'invaso a metterlo in movimento!). Questo è ciò che effettivamente venne fatto negli anni successivi, durante le crisi di stabilità del monte Toc nel 1962 e nel 1963. In poche parole, i tecnici della Sade diedero ormai per scontata l'esistenza di una grande frana e orientarono il loro interesse a gestire gli spostamenti della stessa compatibilmente alle esigenze idrauliche finalizzate al collaudo del serbatoio. Ma si trattò di una pratica completamente sbagliata e infondata perché trascurava completamente gli effetti permanenti all'interno del versante indotti dai fenomeni di rottura progressiva e tali da ridurre in modo determinante la resistenza al taglio dei diversi materiali coinvolti. La presunzione di poter controllare la grande instabilità di versante regolando i livelli del lago fu dunque dovuta a una carenza culturale dell'ingegnere austriaco (possibile, ma poco probabile) oppure a una forma di "accondiscendenza" nei confronti delle esigenze di un committente, la Sade, che ormai aveva già completato la costruzione della diga?

Torna quindi in gioco il delicato problema, assolutamente valido ancora oggi, tra gli obiettivi progettuali dell'ente committente e la "libertà mentale" del consulente, nel difficile equilibrio tra ciò che effettivamente dovrebbe essere fatto come migliore soluzione (tenendo conto anche del

rischio per la popolazione dei luoghi) e ciò che il committente si aspetta dai tecnici che ha coinvolto (e che per la loro attività avranno un compenso professionale!).

La sommatoria tra le sue carenze conoscitive legate ai problemi di stabilità dei versanti e gli obiettivi progettuali della Sade lo portò, assai verosimilmente, a consigliare la soluzione della gestione dei livelli idrici del lago, in associazione alle misure degli spostamenti superficiali del pendio e dei livelli piezometrici della falda. Tutte cose che la Sade/Enel puntualmente fece negli anni successivi, procedendo, incurante, verso la catastrofe finale.

Preso atto che il serbatoio appena creato aveva innescato un grande movimento di frana in sponda sinistra di cui era necessario prevederne gli sviluppi, nell'inverno 1960-1961 l'ingegnere Semenza incaricò il professore ingegnere Augusto Ghetti, facente capo all'istituto di Idraulica e Costruzioni idrauliche dell'Università di Padova, di realizzare un modello fisico per misurare gli effetti idraulici provocati da una eventuale caduta della frana nel serbatoio. Il modello in scala 1:200 del bacino del Vajont fu realizzato nel Centro Modelli Idraulici di Nove (Vittorio Veneto) e lo studio idraulico fu condotto in due serie successive di test (agosto-settembre 1961 e gennaio-aprile 1962). I risultati dello studio idraulico, contenuti nella relazione finale del 3 luglio 1962 firmata da Ghetti, evidenziarono che: «...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, e un sovralzo ondososo di 27,5 metri...» (Ghetti, 1962).

La rilettura attenta della relazione finale di Ghetti consente di individuare numerose incongruenze e/o aspetti controversi. Uno degli aspetti che più risalta è quello relativo alla scelta di utilizzare detrito incoerente per simulare l'ammasso di frana, nonostante le numerose evidenze di sito parlassero di un fronte roccioso compatto con parete pressoché verticale, cosa che ai tecnici della Sade era assolutamente ben nota da più di un anno. Un altro aspetto critico concerne il volume di frana riprodotto nel modello in scala, equivalente a 120 Mm³ effettivi, valore che non trova riscontro alcuno, in particolare se si considera il fatto che nel 15° Rapporto di Müller del febbraio 1961, l'ingegnere austriaco fece una prima valutazione del volume di frana di 200 Mm³.

Queste scelte progettuali si dimostrarono decisive, in senso negativo, per la corretta valutazione degli effetti idraulici della caduta della frana nel serbatoio. Infatti, la scelta di modellare un volume di frana inferiore a quello

reale e l'utilizzo di un materiale a elevata porosità come quella di una ghiaia ha generato dei sensibili effetti dissipativi per l'onda generata dallo scivolamento, risultando in particolare in una notevole sottostima della sua altezza, con una conseguente sottovalutazione degli effetti dell'onda sia sulle sponde del serbatoio che in relazione allo scavalcamento della diga. La domanda sorge quindi spontanea... chi diede tali informazioni all'ingegnere idraulico?

Infine, non si può rimanere indifferenti al tenore delle conclusioni della relazione di Ghetti: «...la quota di 700 metri s.m. può considerarsi di assoluta sicurezza nei riguardi anche del più catastrofico prevedibile evento di frana» (Ghetti, 1962). Date le incertezze intrinseche nella realizzazione del modello fisico in scala e gli errori grossolani inseriti in fase di allestimento del modello, i risultati ottenuti avrebbero dovuto suggerire molta cautela e una discussione sulla validità dei dati ottenuti, piuttosto che un grado di assoluta sicurezza nei confronti di un fenomeno che in realtà non era stato ben compreso, come purtroppo dimostrato dalla catastrofe (fig. 4).

Conclusioni: alcuni insegnamenti del Vajont

Riesaminare i fatti del Vajont nella loro corretta sequenza cronologica e con le conoscenze scientifiche attuali permette di comprendere alcuni punti che possono essere utili per i tecnici che si occupano di problematiche ingegneristiche e geologico-tecniche.

Il Vajont ci dimostra innanzitutto che i problemi geologico-tecnicici dell'ingegneria civile delle grandi opere – e spesso anche di quelle più piccole – vanno affrontati sulla base dei dati del rilievo in sito, cioè del rilevamento di campagna. Semenza e Giudici non furono in pratica mai creduti nonostante avessero individuato per tempo la gigantesca paleofrana del Toc, o lo furono solo molti anni dopo. Ma i due avevano un elemento di conoscenza fondamentale a loro vantaggio: avevano lavorato sul campo, rilevando, osservando, misurando e documentando!

Gli altri tecnici coinvolti ebbero solo una conoscenza parziale del problema, molto spesso fugace, perché basata al più su rapidi sopralluoghi in zona. Partire dai dati oggettivi di campagna è un concetto assolutamente valido ancora oggi e ci ricorda che le sofisticate modellazioni numeriche di cui disponiamo hanno scarsa validità se non sono ancorate ad una solida comprensione della realtà fisica e geologica del problema.

È questa una lezione che tutti i tecnici che operano nel campo dell'ingegneria e della geologia applicata hanno realmente compreso? Oppure l'esecuzione di sofisticate modellazioni ci esenta oggi dal paziente e faticoso lavoro di campagna, come qualcuno, sbagliando, potrebbe essere portato a pensare?

Un'altra considerazione utile, e verosimilmente ancora attuale, riguarda le specifiche competenze tecniche dei professionisti coinvolti nelle attività progettuali. Tecnici di riconosciuta fama e autorità, come lo era sicuramente Müller all'inizio della progettazione della diga, possono non essere adatti a occuparsi di aspetti diversi rispetto a quello per il quale sono stati inizialmente chiamati. Entra

in gioco infatti, in modo decisivo, l'effettivo background culturale del consulente e talvolta, vista la comparsa di una nuova problematica del tutto inattesa, è meglio rivolgersi ad altri professionisti che sono più adeguati in rapporto alle loro precedenti esperienze di lavoro.

Tutti non possono essere esperti "di tutto". Questo è un concetto basilare che è diventato ancora più attuale e determinante oggi, in un mondo progettuale contraddistinto da operazioni tecniche molto complesse nelle quali interagiscono sofisticati aspetti scientifici e tecnologici (di studio, di valutazione e di realizzazione). Si tratta di un concetto che molti dicono di conoscere e di condividere ma che non sempre viene adottato. E le conseguenze, sia sul piano tecnico-progettuale che su quello economico e penale, possono essere assai spiacevoli anche per l'ente committente.

Per chiudere, una notazione sugli aspetti generazionali e sul contributo dei tecnici in rapporto anche alla loro età e non solo alla luce della loro esperienza professionale. La paleofrana del monte Toc fu individuata e portata all'attenzione della Sade per merito di due giovani geologi, Edoardo Semenza e Franco Giudici, che basavano la loro attività professionale sulla pratica del rilevamento di campagna. La loro ipotesi fu rigettata e fortemente messa in dubbio da figure scientifiche e professionali appartenenti sia al campo geologico che a quello ingegneristico.

La presenza della paleofrana fu infatti fortemente avvertita sia dall'anziano Giorgio Dal Piaz, un autentico luminaire della geologia dell'Università di Padova, che dai due ingegneri-geologi più coinvolti nella vicenda del Vajont, vale a dire Leopold Müller e Francesco Penta. Tutti questi tre tecnici erano ben più avanti negli anni rispetto a Semenza e Giudici, peraltro laureati in geologia da relativamente poco tempo. Ma i due giovani ebbero dalla loro parte, oltre a uno scrupoloso e prolungato lavoro sul terreno, anche la "libertà mentale" legata proprio alla loro giovinezza. Furono sicuramente più liberi nelle loro valutazioni rispetto ai maturi e acclamati scienziati che sovrintendevano alle loro ricerche di campagna. Purtroppo per la Sade – e soprattutto per le 2.000 innocenti vittime – i due giovani avevano ragione, ma i loro timori espressi nella relazione consegnata nell'estate del 1960 non approdarono all'unica soluzione possibile: la rinuncia al progetto. Si preferì seguire il percorso tracciato dagli esperti considerati "più maturi", più attendibili e più preparati. E fu la catastrofe.

BIBLIOGRAFIA

- GHETTI, A., 1962. *Esame su modello degli effetti di un'eventuale frana nel lago - serbatoio del Vajont*. Rapporto inedito per la S.A.D.E., Padova, Italia.
- GIUDICI, F., SEMENZA, E., 1960. *Studio geologico sul serbatoio del Vajont*. Rapporto inedito per la S.A.D.E., Ferrara, Italia. Parte A: testo, 21 pp. Parte B: 68 foto con discussione, 42 pp
- MASÈ, G., SEMENZA, M., SEMENZA, P., SEMENZA, P., TURRINI, M.C., 2004. *Le foto della frana del Vajont*. Edizioni k-flash, Ferrara, Italia (3 mappe e CD-ROM, 650 MB)
- MÜLLER, L., 1964. *The rock slide in the Vajont valley*. *Rock Mechanics and Engineering Geology* 2, 148-212
- MÜLLER, L., 1968. *New considerations on the Vaiont slide*. *Rock Mechanics and Engineering Geology* 6, 1-91
- SEMENTA, E., 2001. *La storia del Vaiont raccontata dal geologo che ha scoperto la frana*. Tecomproject Editore Multimediale, Ferrara, Italia, 138 pp

Lo sviluppo economico per contrastare lo spopolamento della montagna

DOTT. SAVERIO MAISTO, direttore del nucleo di Industrializzazione della Provincia di Pordenone

86

RT 394



Lo sviluppo delle attuali zone industriali di Maniago e del suo mandamento sono diretta conseguenza del disastro del Vajont. Infatti, all'epoca, sessant'anni fa, si decise di ragionare in un'ottica di area vasta la quale – oltre alle comunità di Erto e Casso direttamente colpite dalla tragedia – comprendeva anche l'intero bacino territoriale in cui i sopravvissuti furono accolti. La successiva istituzione del nuovo Comune di Vajont, sorto vicino a Maniago, dimostrò che tale attenzione era corretta. Un approccio lungimirante, quindi, che rese evidente come solo attraverso lo sviluppo economico si sarebbe potuto dare risposte a coloro che avevano perso il proprio paese e che altrimenti sarebbero emigrate ancora più lontano in cerca di lavoro e di una nuova vita.

La legge 31 maggio 1964 n. 357 (la legge per la ricostruzione dopo il disastro del Vajont) andò a favorire direttamente la nascita della zona industriale di Maniago, in cui non solo trovarono subito spazio alcune delle realtà già operanti della millenaria tradizionale di lavorazione delle

lame, ma ben presto se ne aggiunsero altre, spesso nate da esperienze di lavoratori usciti dalle stesse imprese storiche. A gestire questa nuova realtà, sempre in base a quanto stabilito dalla legge, fu chiamato il Nip – Consorzio per il nucleo di Industrializzazione della Provincia di Pordenone – sorto nel febbraio del 1966, pochi mesi prima della stessa provincia di cui porta il nome, staccatasi da quella di Udine nel 1968.

Il Nip oltre a quella di Maniago (foto in alto a destra a pag. 87), dove ha sede, attualmente gestisce anche le zone industriali di Montereale Valcellina, di Meduno (foto in basso a pag. 87), di Pinedo Claut-Cimolais (foto in alto a sinistra a pag. 87) e quella di Erto e Casso (foto a pag. 86), sorta nel paese simbolo del disastro, a ulteriore testimonianza della rinascita tramite lo sviluppo economico.

In queste zone, su 2 milioni e mezzo di metri quadrati, oggi sono insediate 168 aziende con più di 4.000 dipendenti. Un'area, quella curata dal Nip, destinata a crescere visto che è in fase di concretizzazione l'ampliamento nella gestione di aree



industriali tramite una nuova convenzione con sette Comuni (San Quirino, Arba, Budoia, Sequals, Vito D'Asio, Vivaro e Montereale Valcellina per la zona artigianale).

Sessant'anni dopo il Vajont, partendo da un passato che non va mai dimenticato, si guarda al futuro. Per il Nip, oggi Consorzio di Sviluppo economico locale, il prossimo passo sarà quello del riconoscimento come Area Produttiva ecologicamente attrezzata, che fa seguito a una serie di progetti improntati alla sostenibilità già realizzati come quello delle api, quali bioindicatori ambientali, e quello delle piste ciclabili "Bike to work" tra Maniago, Cavasso Nuovo e Meduno, oltre al trattamento integrato delle acque e alla riduzione del consumo di suolo riutilizzando capannoni già esistenti prima di costruirne di nuovi. Proprio Erto e Casso saranno al centro di un progetto fondamentale in questi tempi in cui aumenta la consapevolezza di quanto l'acqua sia un bene prezioso, visto che è previsto un potenziamento dell'acquedotto consortile.

Sostenibilità che passa anche attraverso l'aspetto socia-

le: per primo in Italia, il Consorzio ha avviato un progetto di welfare territoriale che – partendo dall'ascolto di imprese, dipendenti ed esercenti – punta a incrementare il benessere in azienda e nel territorio con una piattaforma digitale territoriale scalabile, nonché a far crescere il commercio di zona. Le adesioni nelle prime fasi del progetto partito nella primavera del 2023 – trenta aziende hanno messo a disposizione il credito welfare, previsto dalla legge, per oltre 1.500 dei propri lavoratori interessati; un centinaio di commercianti nei cui negozi questo credito può essere speso – ci fanno ben sperare per il proseguimento.

Ed è come un cerchio che in un certo senso si chiude: se nel 1963 tutto ha preso origine dall'esigenza concreta di dare risposta ai bisogni delle persone sul territorio in cui vivono, ora siamo impegnati sempre sullo stesso fronte. Forse sembrerà tutto cambiato, vista l'evoluzione della nostra società, che è stata talmente ampia anche grazie alla rivoluzione digitale. Ma la sfida rimane esattamente la stessa. E il Nip è pronto a sostenerla.

Ricordare il dolore

GIORGIO DRI

88 Il concorso di idee del 2006

Nel 2006 il Comune di Erto e Casso bandì un concorso di idee per ottenere proposte e indicazioni concrete utili a indirizzare nel migliore dei modi l'attenzione dei sempre più numerosi visitatori dei luoghi che furono al centro dei tragici fatti del 9 ottobre 1963¹.

Fra le tante proposte di una così singolare e stimolante esercitazione creativa, la giuria individuò il gruppo vincitore (architetti Michela De Poli e Adriano Marangon, di Treviso) valutando positivamente le forme di "silenzio" e di "rispetto" che connotano il loro progetto. Una proposta, quella confezionata dagli architetti trevigiani, che non si sovrappone con forzature simboliche al contesto, già carico di significati di grande impatto, ma che invita – con delicate scelte – alla comprensione di un paesaggio di non sempre facile interpretazione. Un paesaggio di fronte al quale l'uomo non può che porsi come muto spettatore, conscio della immane violenza sulla natura e sugli abitanti di queste valli che qui si è consumata.

Di fatto, i vincitori prefigurarono un nuovo equilibrio tra persone e ambiente, con la proposizione di semplici "oggetti riconoscibili" (progettati rifiutando ogni riferimento a tipologie edilizie e tecniche costruttive locali) appoggiati con discrezione al suolo, quasi senza toccarlo. Affidando a questi elementi il difficile compito di dare una nuova configurazione dei luoghi, la cui fruizione – davanti a manufatti e paesaggi che appartengono alla memoria collettiva italiana – consenta di vivere un'esperienza personale con commozione e partecipazione assoluta.

Il progetto vincitore, come molte altre volte è successo, è rimasto "sulla carta", finendo nel dimenticatoio di qualche archivio.

Anche questa esperienza mostra sia la difficoltà per gli enti pubblici di dare un senso positivo all'impegno dei concorrenti nell'affrontare la sperimentazione progettuale proposta e sia l'incapacità di valorizzare la cultura tecnica e professionale risultante vincente dando anche visibilità all'impegno dei partecipanti al confronto concorsuale.

La tragedia del Vajont merita un memoriale

Per il ricordo degli eventi tragici che ebbero origine con la realizzazione della diga del Vajont e si conclusero drammaticamente il 9 ottobre 1963 con la morte di quasi duemila persone non ci sono – ancora – un luogo e un manufatto-memoriale, elementi della memoria collettiva dove si possano ricordare le persone decedute e piangere i lutti

personali. Un memoriale che possa diventare per tutti gli italiani un segno-simbolo che motivi e stabilisca un rapporto empatico ed emozionale con la diga (monumento "inutile" di alta ingegneria) e il terribile evento della frana.

In realtà, in più parti della pedemontana pordenonese si trovano frammenti che rimandano ai fatti avvenuti e alle innocenti vittime, ma si tratta di episodi singolari, di iniziative non molto significative. La cappella dedicata a sant'Antonio da Padova costruita nei pressi della diga; la croce e la lapide in acciaio corten poste in corrispondenza del passo sant'Osvaldo; la pala lignea dello scultore ertano Mauro Corona collocata nella sala consiliare del nuovo municipio di Erto e Casso; il nuovo cimitero di Erto (peraltro rimasto inutilizzato). C'è poi tutto il cospicuo patrimonio di edifici religiosi realizzati nei paesi veneti e friulani ricostruiti dopo la tragedia, opere di grande impegno progettuale e di innovazione nel rapporto tra officiante e fedeli, dove non si ravvisano però i valori e il significato di un memoriale.

Eppure è di un elemento formale, un monumento a ricordo della tragedia che si consumò sui paesi affacciati sul torrente Vajont e sul fiume Piave che riporti i nomi delle 1.910 vittime travolte dalle acque sollevate dalla frana del monte Toc, che si avverte – a un così grande intervallo di tempo – il dovere morale, direi la necessità, di pensarlo e di realizzarlo. E forse, ancora più appropriato e conveniente è che un'ampia parte della frana, che scivolò nel bacino artificiale e sommerse le vittime friulane del Vajont, mai trovate, diventi un vero e proprio "cimitero diffuso", simbolo della tragedia che colpì le comunità di Erto e di Casso.

Da quali elementi partire per delineare il memoriale alle vittime del Vajont?

Quale posto più adatto per dare forma al ricordo del dramma che colpì queste terre?

Per assegnare a questa realtà il significato di monumento del ricordo collettivo è bene assumere e tenere assieme le due cause della disgrazia (la diga e la frana) uniche origini della distruzione. Instaurando un rapporto emozionale con il luogo e con l'evento, anche in relazione al fatto che la superba diga (alta oltre 250 metri) risulta praticamente invisibile dal versante friulano del Vajont.

Nella elaborazione² dell'architetto Martina Toffolo il punto di partenza è rappresentato dall'obbligo di ricordare in un unico monumento tutte le vittime. Ciascuna con il proprio nome e con la propria identità, ciascuna ricordata nella sua presenza nei paesi distrutti e nel momento della





Museo di Longarone “Attimi di storia”

Il museo è ospitato presso il Centro culturale di Longarone; è stato realizzato nel 2009 ed è allestito perseguendo specifici significati simbolici: la cortina che dà forma agli spazi espositivi e funge da fondale, nonché da filo che lega il racconto, è formata da 1910 lamelle ritorte grigie, tante quante furono le vittime del disastro. Le lamelle dritte e bianche ricordano i bambini mai nati, mentre quelle doppiamente ritorte e verdi rappresentano il dolore dei superstiti ma anche la loro speranza dopo essersi salvati.

Una gigantografia all'ingresso ritrae l'area della frana, la diga e la spianata di Longarone il giorno dopo il disastro e fa da introduzione all'esposizione. Il percorso si sviluppa seguendo la cronologia degli eventi, con immagini della Longarone del primo Novecento, la progettazione e costruzione della diga del Vajont, la tragedia e i soccorsi, la ricostruzione del paese.

SONIA BORTOLUZZI

Planimetrie e fotografie di strade, piazze, case, negozi, fabbriche, ma anche di attimi di vita familiare, sociale e politica, illustrano Longarone prima della tragedia. Una consistente collezione di cartoline racconta la storia del paese, da un punto di vista umano e sociale, oltre che architettonico ed economico. Due pannelli confrontano poi le differenze dell'assetto planimetrico tra ieri e oggi.

La seconda parte del percorso illustra la costruzione della diga, dal progetto alla scoperta della frana (gli studi del geologo Edoardo Semenza sono raccolti su supporto informatico).

Una parete a doppia curva dipinta di grigio, a simulare il cemento armato, rappresenta la diga e funge da ingresso a un tunnel buio, senza immagini, simbolo del 9 ottobre 1963, quando una frana di proporzioni gigantesche si staccò dalle pendici del monte Toc precipitando nel bacino sottostante,



provocando una spaventosa ondata d'acqua, che cancellò la vita a Longarone. Il tunnel funge da diaframma tra il prima e il dopo il tragico evento, cui è dedicato il resto del museo in cui sono esposti alcuni oggetti che testimoniano la violenta e immane forza dell'acqua e immagini (molte le fotografie e i titoli dei giornali nazionali che informarono il nostro Paese dell'immane tragedia che colpì questo tratto della valle del Piave) per mostrare gli effetti della gigantesca ondata d'acqua, il dolore dei superstiti, i veloci soccorsi, la solidarietà, il dibattito politico e giudiziario, la rabbia, ma anche la ricostruzione, sotto tutti i punti di vista, del paese.

Alla fine del percorso un pannello invita alla riflessione su altre catastrofi precedenti e successive al Vajont, causate, come questa, dall'uomo e dalla sua inettitudine.

Il lungo elenco delle vittime, raccolto in video, insieme

alla frase della giornalista Tina Merlin all'indomani del disastro del Vajont, che invano aveva annunciato: «Oggi tuttavia non si può soltanto piangere, è tempo di imparare qualcosa», concludono il percorso espositivo.

Prima di uscire, uno spazio ristretto e in parte oscurato consente un'ulteriore riflessione al visitatore: le stringhe ritorte sono di un colore blu-verde e sistemate con un andamento a spirale per raffigurare il dolore dei sopravvissuti, che inizialmente chiuso come le spire centrali della curva, si è aperto a poco a poco per lasciarsi attraversare dalla speranza.

Proprietà e fonte:

Archivio privato di proprietà dell'associazione Pro Loco Longarone, Belluno



ho sentito un grande rumore

Centro Visite di Erto e Casso
"ti rivedrò con gli occhi della memoria"

© Progetto "VIVERE IL VAJONT, EMOZIONARE PER NON DIMENTICARE"

Vajont, immagini e memorie nella ex scuola elementare di Erto

Il Centro visite di Erto e Casso, gestito dall'ente Parco naturale delle

Dolomiti Friulane e situato nel paese di Erto, nell'edificio delle ex-scuole elementari del paese, è uno tra i più importanti e completi centri di documentazione sul disastro del Vajont, valido punto di riferimento per studi e ricerche.

La prima sezione "Vajont, immagini e memorie" ospita una raccolta di foto d'epoca alla scoperta di tradizioni, usi e costumi della gente del Vajont fino alla tragica notte del 9 ottobre 1963 quando l'immensa frana si staccò dal monte Toc e precipitò nel lago artificiale, scatenando la furia dell'acqua che causò quasi 2.000 vittime.

La seconda sezione "Uno spazio della memoria" descrive in modo dettagliato e scientifico l'intera vicenda dalla progettazione del bacino idroelettrico del "Grande Vajont". Il racconto è affidato a pannelli, tabelle, grafici e plastici illustrativi.

La terza sezione "Emergenza e Ricostruzione" mostra lo scenario desolante della valle sconvolta dalla frana e dell'esondazione. Le istituzioni sopravvalutarono il rischio residuo e disposero l'evacuazione della popolazione della valle: una decisione che venne mantenuta anche quando, tre anni dopo, il lago venne svuotato del tutto. Ciò determinò una forte conflittualità tra chi accettò il trasferimento e chi volle riconquistare la propria valle e viverci. Nel 1971

Notizie da: www.parcodolomitifriulane.it

si arrivò alla traumatica scissione della comunità: venne istituito il nuovo comune di Vajont, nella piana di Maniago.

La quarta sezione "Giustizia" sintetizza sia la causa penale e sia quella civile. La prima durò oltre 8 anni ed ebbe il seguente svolgimento:

- vennero rinviati a giudizio undici imputati;
- nel processo di primo grado, il pubblico ministero chiese una condanna per complessivi 158 anni;
- il giudice sentenziò che "la frana non esiste dal punto di vista giuridico..." e condannò, per il solo mancato allarme, tre imputati per complessivi 12 anni;
- in Appello la condanna venne ridotta a complessivi 4 anni e 6 mesi;
- in Cassazione venne ampliata la responsabilità e ridotta la pena a due soli imputati per un totale di 2 anni e 8 mesi.

La causa civile intentata contro l'Enel dai comuni di Erto e Casso e poi anche di Vajont, si concluse nell'anno 2000, a 37 anni dalla catastrofe: la sentenza definitiva obbligò l'Enel a pagare danni per 6.109.685 euro.

Da quando la Regione Friuli Venezia Giulia ha emanato la legge regionale 8 luglio 2019, n. 10, con la quale ha istituito la "Giornata in ricordo della tragedia del Vajont" e il riconoscimento "Memoria del Vajont", l'ente Parco ha fruito di

finanziamenti regionali per implementare le proprie iniziative in ricordo della tragedia.

Al piano terra è stata realizzata una stanza interattiva, “e-Lab”, che permette al visitatore di ogni età e formazione di utilizzare strumenti di indagini tridimensionali e realizzare prodotti virtuali del territorio. L'obiettivo è di integrare l'arte con la tecnologia, di mettere insieme passato e presente, con la tecnica dell’“edutainment” cioè l'intrattenimento educativo: le persone sono invitate a fare, oltre che guardare, a interagire con gli elementi presenti nella sala. Il pubblico, infatti può, con gli stessi strumenti, realizzare prodotti virtuali del territorio, ante e post disastro, contribuendo a raccontare e diffondere, con immagini inedite, la memoria del Vajont.

Per la parte artistica hanno dato il proprio contributo anche Mauro e Matteo Corona. Un architetto che si ispira a Piranesi ha realizzato i tre disegni che rappresentano il prima, con le case tipiche di Erto e Casso, l'arrivo della straordinaria opera ingegneristica e il dopo, con la devastazione.

Le lavagne che coprono le pareti laterali della stanza, bianca per i bambini e nera per gli adulti, favoriscono la condivisione di pensieri, messaggi, riflessioni, disegni, ecc. ispirati dalla visita al museo e alla sala multimediale.

La proiezione stereoscopica, fruibile con gli appositi occhiali, offre visioni aeree e terrestri di tutto il territorio interessato dalla catastrofe.

Sullo schermo touch si può utilizzare una ricostruzione tridimensionale della valle del Vajont prima della diga, creata grazie alla “geomatica” (geografia più informatica) a partire dalla cartografia tecnica del 1954 dell'istituto Geografico militare. È quindi una ricostruzione reale del territorio (25 km²); per la diga sono state fatte delle scansioni laser, poi modellate. L'onda è ricostruita seguendo le descrizioni di una pubblicazione scientifica. Il pubblico può interagire utilizzando alcune semplici icone per sezionare il modello 3D e creare immagini da poter condividere con chiunque.

L'ente Parco ha voluto, in occasione del sessantesimo anniversario della catastrofe del Vajont, rilanciare e rinnovare la mostra storica, inserendo all'interno del percorso di visita una installazione permanente multisensoriale, immersiva ed emozionale che faccia rivivere al visitatore le sensazioni provocate dall'onda distruttiva del Vajont: “VIVERE IL VAJONT. EMOZIONARE PER NON DIMENTICARE”.

Nella piccola stanza al piano terra è visibile l'installazione sensoriale “9.10.1963 L'ONDA”. All'inizio sono mostrati paesaggi in bianco e nero a scorrere davanti agli occhi dello spettatore, il cui punto di vista abbraccia l'intero invaso, avvicinandosi alla diga, in un ambiente che si riempie dai



suoni della quotidianità. La panoramica offre la visione dell'ultimo giorno di esistenza degli abitati affacciati sulle sponde del grande lago artificiale. Le immagini lasciano poi il posto al nero, mentre l'ambiente si gonfia dei rumori dell'imminente catastrofe, amplificati dal dispositivo tecnico progettato per l'occasione: il pavimento entra in vibrazione mentre una corrente, che rimanda allo spostamento d'aria provocato dall'improvviso movimento delle acque, colpisce lo spettatore, avvolto da una trama sonora di forte impatto emozionale. L'immagine di una tumultuosa onda carica di fango scorre davanti ai suoi occhi. Le tracce sismiche analizzate dopo l'incidente consentirono di misurare con precisione la durata dell'evento catastrofico, qui riprodotto al secondo. Bastarono due minuti e ventinove secondi perché l'immane spostamento d'acqua prodotto dall'improvviso scioglimento della frana staccatasi dal monte Toc nelle acque del lago sottostante, spazzasse via le frazioni di Erto e di Casso.

L'immagine dell'onda devastatrice lascia spazio alla visione di frasi che si susseguono come trascinate dal vortice che le riduce a semplici fonemi. Tratti

da testimonianze dell'epoca, essi suggeriscono che anche il linguaggio è stato annientato dalla forza dell'evento e ridotto a frammento. Le campane a stormo che inizialmente si odono sullo sfondo e che avvisano la comunità della tragedia, si trasformano nel rintocco grave delle campane a morto, con cui la comunità è chiamata a raccolta affinché essa possa elaborare un lutto collettivo.

L'ultima testimonianza, detta in lingua ertana, è il toccante ricordo del mondo scomparso.

Nella realizzazione di quest'ultima parte dell'installazione sono stati coinvolti gli attuali abitanti di Erto, che si sono trovati a leggere le testimonianze di chi allora abitava lungo le sponde del lago, loro parenti. Nella scelta dei lettori si è cercato di rispettare l'età anagrafica di chi aveva lasciato testimonianza all'indomani della tragedia.

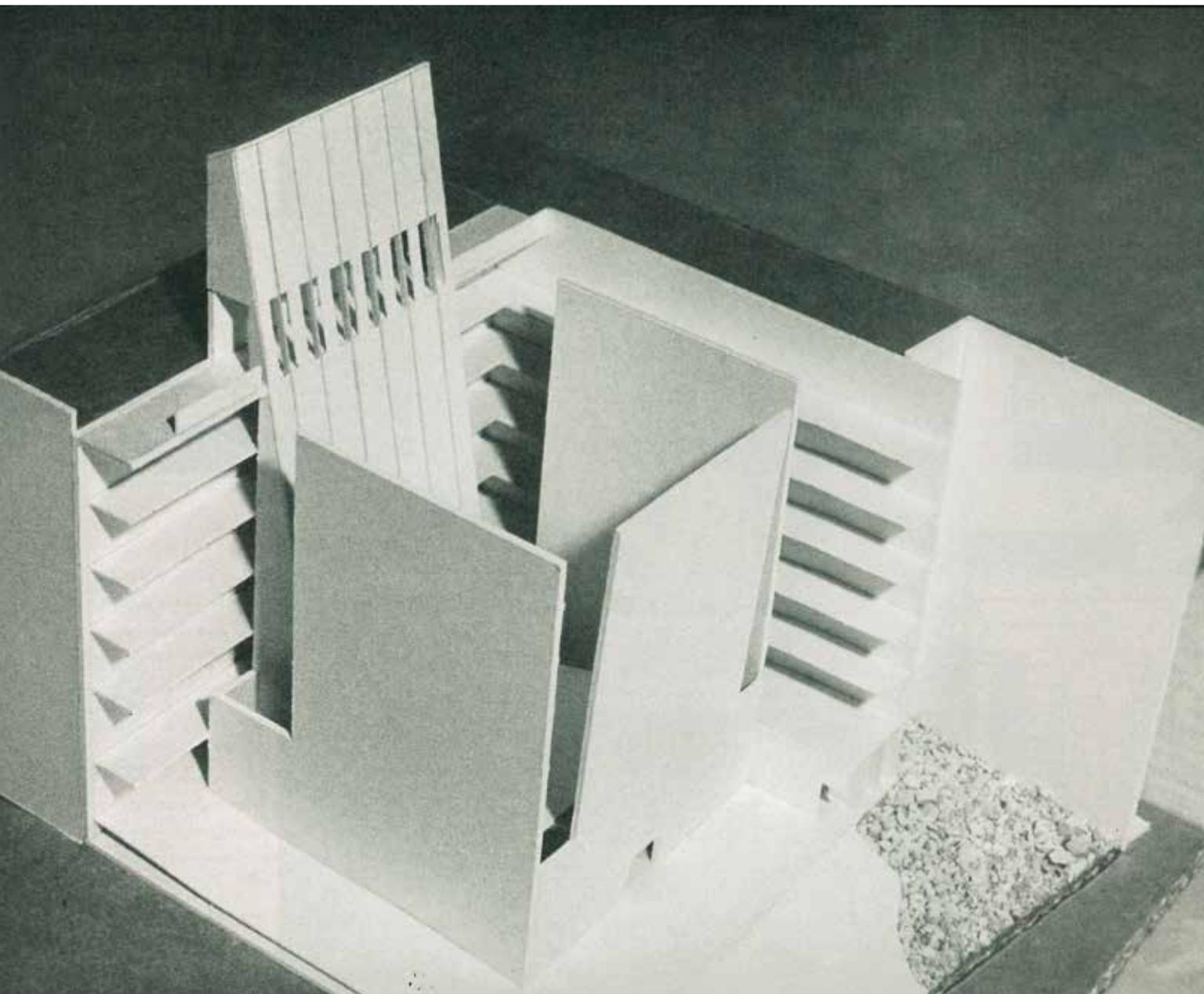
“Affidiamo alle generazioni future le chiavi della Memoria”: è questo il messaggio del nuovo allestimento realizzato nella prima saletta al primo piano del centro Visite.

La chiave è il simbolo della casa scomparsa, della quale è rimasto solo qualche piccolo segno risparmiato dall'onda o, in alcuni casi, solo le chiavi che ora aprono la porta dei ricordi.

La storia di Doris e della sua famiglia è reale, e simboleggia tante, troppe storie uguali che gli abitanti della valle hanno dolorosamente vissuto. Lo scambio epistolare con il padre, nei giorni immediatamente successivi al disastro, ci immerge nella tragedia. Doris ha concesso all'ente Parco di utilizzare questa testimonianza, che permette al visitatore di ripercorrere il viaggio di ritorno a casa da lei intrapreso in compagnia del papà, nella primavera del 1964.

↓
La struttura interna del plastico del memoriale
e le grandi pareti commemorative

→
Sezione del plastico del memoriale

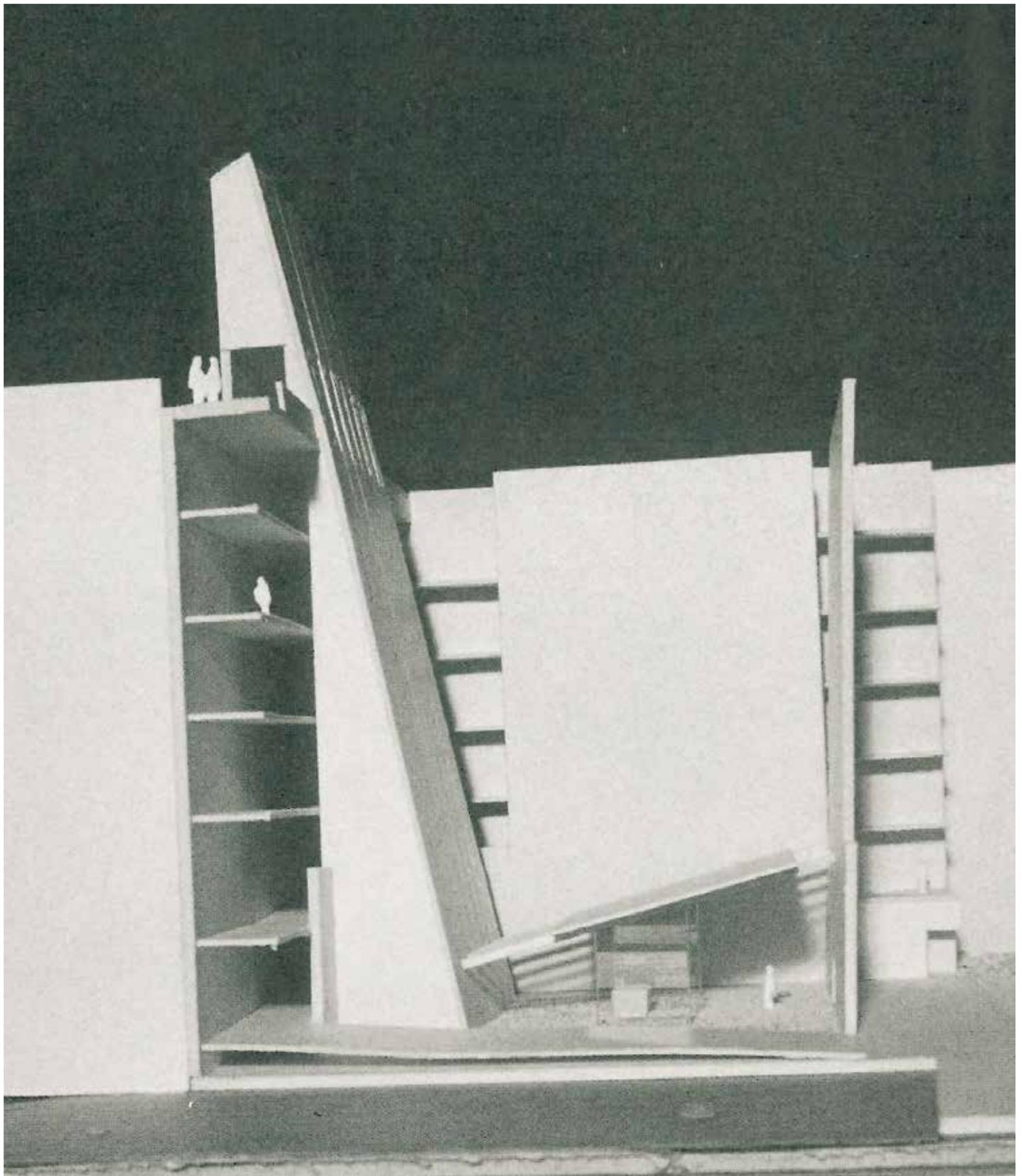


tragedia. Non a caso, il memoriale ideato ricorda il dolore di tutte le comunità coinvolte, nella valle del Piave e nella Valcellina.

Quanto ideato e disegnato dall'architetto Martina Tofolo propone elementi di forte suggestione. È un volume

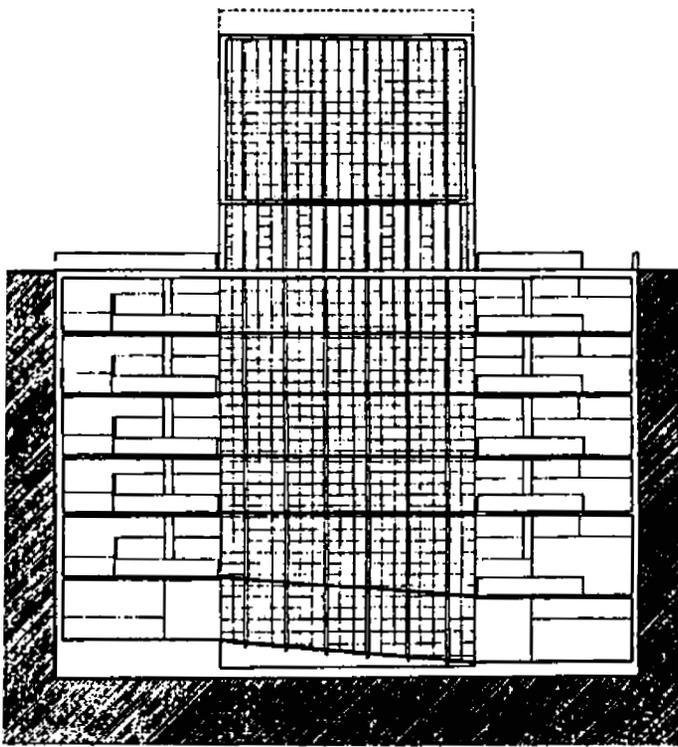
quasi cubico percorribile al suo interno tramite rampe e ripiani orizzontali, con una parete interna inclinata (quella che si sviluppa sul lato opposto alla diga) che in qualche maniera evoca il monte Toc e la sua frana.

Il primo elemento distintivo riguarda la iscrizione dei



nomi di tutte le vittime del Vajont, quelle venete e friulane, quelle residenti e quelle anche presenti per caso nei paesi distrutti, riunite secondo i posti nei quali si trovavano la sera del 9 ottobre. Rispettando non solamente il raggruppamento per luoghi ma anche la sequenza temporale della

tragedia, seguendo la dinamica e i tempi che l'onda impiegò nel suo percorso di morte: prima gli addetti negli edifici di servizio della Sade sulla sponda destra della diga, poi gli abitanti di Erto e Casso che vivevano nelle borgate prossime al bacino artificiale, infine le persone presenti



←
Disegni di progetto del memoriale:
prospetto/sezione trasversale

nei paesi nella valle del Piave: Longarone (1.456 vittime), Castellavazzo, Faè e relative frazioni.

Il distanziamento fra i diversi gruppi di vittime ha suggerito di intervallarli proporzionalmente al tempo impiegato dall'onda per raggiungere le diverse località: si consideri che l'acqua arrivò a Longarone e ai paesi della valle del Piave quattro minuti circa dopo la caduta del monte Toc nel bacino artificiale alimentato dal torrente Vajont. Arrivò con una cascata portatrice di distruzione e di morte. Per questo motivo i nomi delle vittime di Longarone sono collocati alla base del manufatto, posta a quota - 24.70 metri, che si raggiunge percorrendo una successione di rampe con la pendenza dell'8%.

Il secondo è caratterizzato dal vuoto centrale del memoriale con alla base l'aula per le commemorazioni e il cuneo di pietra. Due manufatti che si apprezzano per la scelta dei materiali che li compongono: pavimentazione in cemento lavato con il ghiaio leggermente sporgente a simboleggiare una superficie irregolare ma solida, cuneo in pietra dogger, la stessa che fece da piano di scorrimento della frana del monte Toc.

All'uscita del memoriale è collocato un "cannocchiale prospettico" (formato dai muri di contenimento del manufatto principale) che direzionano lo sguardo verso la diga. E alla diga porta non solamente l'occhio del visitatore ma anche il percorso che unisce il memoriale con quella gigantesca opera che la perizia degli ingegneri strutturali seppe ben ancorare alla stretta gola rocciosa del Vajont, ma che la volontà di trarre il massimo profitto per la produzione di energia elettrica dalle acque del torrente omonimo provocò una delle più terribili – forse la più dolorosa – tragedia del secolo scorso per effetto dell'attività umana.

NOTA 1

La *Rassegna tecnica* nel numero 6 del 2006 illustrò, a firma di Giorgio Dri, gli esiti del concorso indetto dall'amministrazione comunale di Erto e Casso descrivendo i contenuti dei progetti primi

classificati. Il vincitore elaborato dagli architetti Michela De Poli e Adriano Marangon di Treviso, il secondo classificato elaborato dall'architetto Elisa Spada di Imola, il terzo elaborato dall'architetto Pio Parcianello di Farra d'Alpago.

NOTA 2

Vajont e spazi espositivi. La monumentalizzazione della memoria, tesi di laurea di Martina Toffolo, relatore professore Arrigo Rudi, discussa all'Iuav, 1997.

IL FOTOVOLTAICO QUASI GRATIS

Grazie al finanziamento #Sognafotovoltaicoquasigratis, abbinato alla detrazione fiscale, oggi l'impianto fotovoltaico e il sistema di accumulo sono quasi gratis!

40%

CONTRIBUTO A FONDO
PERDUTO REGIONALE

50%

DETRAZIONE
FISCALE

€

RICAVO DA RISPARMIO
ENERGETICO

Credifriuli ha creato il Finanziamento "Sogna fotovoltaico quasi gratis" per l'installazione di impianti fotovoltaici e batterie di accumulo. Grazie al contributo regionale a fondo perduto e alla possibilità di effettuare la detrazione

fiscale, la spesa in carico al cliente sarà minimale. I costi finanziari e la parte residua da pagare del preventivo saranno ampiamente compensati dal risparmio energetico in bolletta per autoconsumo.

**Vieni in Credifriuli con il preventivo del tuo installatore
a conoscere il finanziamento #sogna.**

Dal 1982 servizi e tecnologie impiantistiche
per privati ed aziende



Da oltre 40 anni ci prendiamo cura degli impianti della tua azienda, con competenza e professionalità. Installiamo e offriamo assistenza ad **impianti elettrici**, **termoidraulici**, di **domotica avanzata**, **automazione industriale**, **energie rinnovabili** e **risparmio energetico**.

Un team di tecnici costantemente formati è a tua disposizione per aggiornarti sulle migliori soluzioni in risposta alle tue esigenze

Nonino Impianti
Via Nazionale, 60/2
33040 Pradamano (UD)

T. 0432.670296
E. commerciale@noninoimpianti.it
www.noninoimpianti.it

seguici su:



certificazioni:



ESNA-SOA
Società Organismo di Attestazione S.p.A.

I NOSTRI SERVIZI



Progettazione
preliminare
e definitiva



Preventivazione,
studi di fattibilità,
piani economico
finanziari



Installazione
a regola dell'arte



Servizio
post vendita

