



La grande frana del Vajont

*La diga del Vajont vista da Longarone
ai nostri giorni*

Nel febbraio 2008, nel corso della presentazione dell'Anno internazionale del pianeta Terra delle Nazioni Unite, il disastro del Vajont fu citato - assieme ad altri quattro - come un **caso esemplare di "disastro evitabile"** causato dalla scarsa comprensione delle scienze della terra e - nel caso specifico - dal "fallimento di ingegneri e geologi nel comprendere la natura del problema che stavano cercando di affrontare". Oggi siamo nel 2012 e la diga, intatta, è ancora lì.

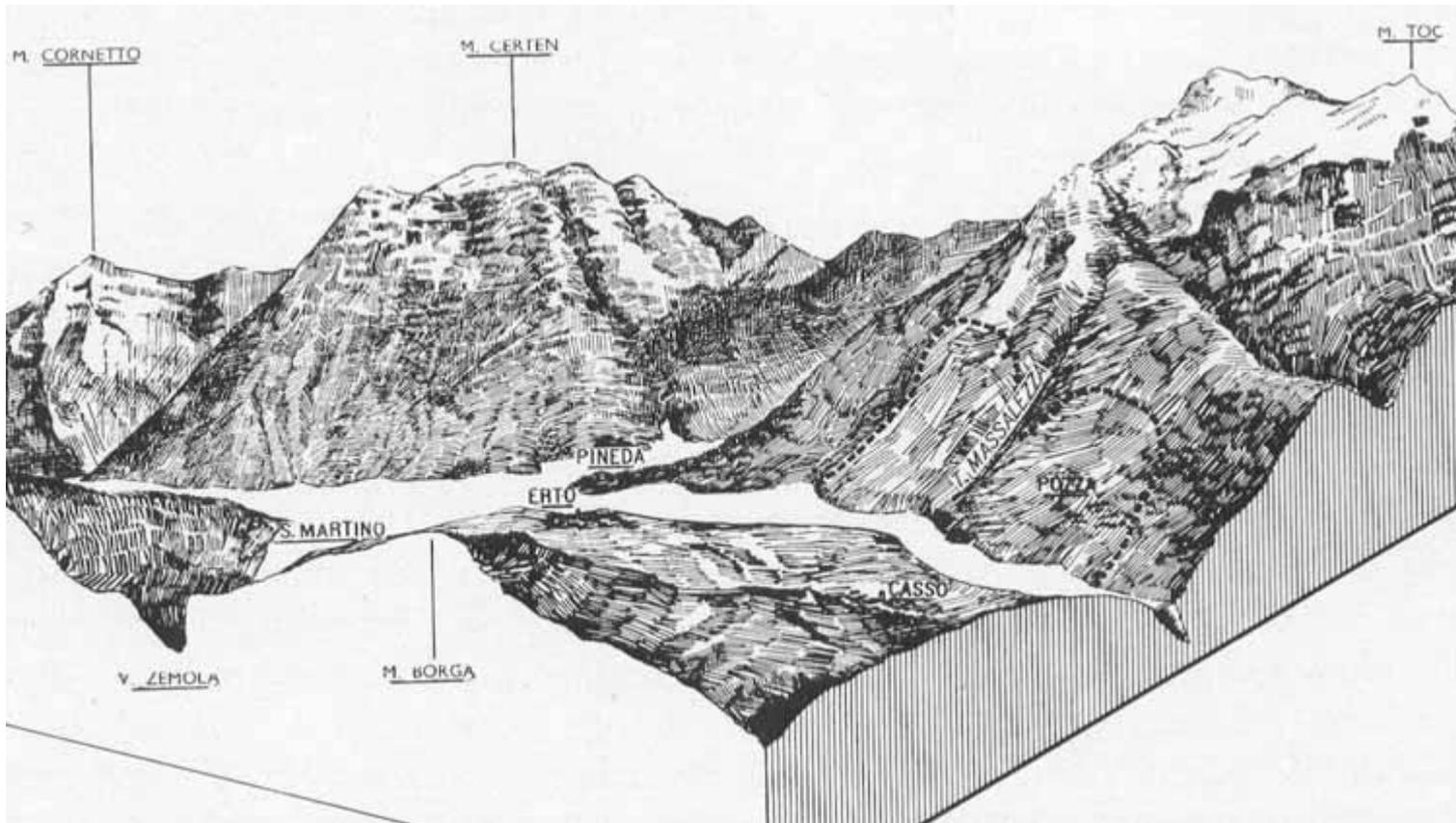
http://it.wikipedia.org/wiki/Disastro_del_Vajont

<http://www.ilgiornaledellaprotezionecivile.it/index.html?pg=1&idart=7188>



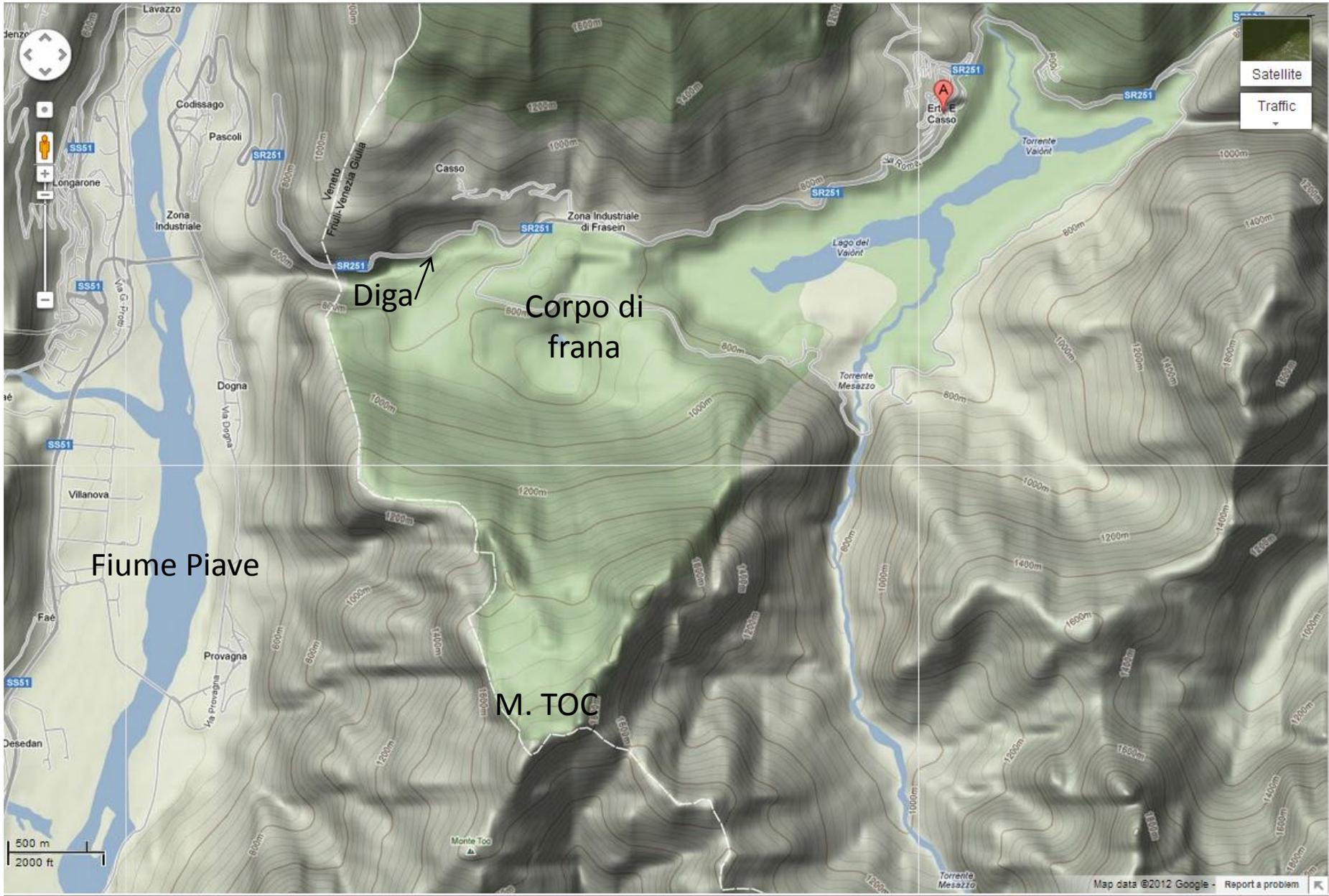
La sera del 9 ottobre 1963 una massa di oltre 260 milioni di metri cubi di rocce e detriti precipitò a forte velocità dal versante settentrionale del monte Toc (provincia di Belluno) all'interno dell'invaso artificiale ottenuto dalla costruzione di una diga lungo la valle del torrente Vajont.

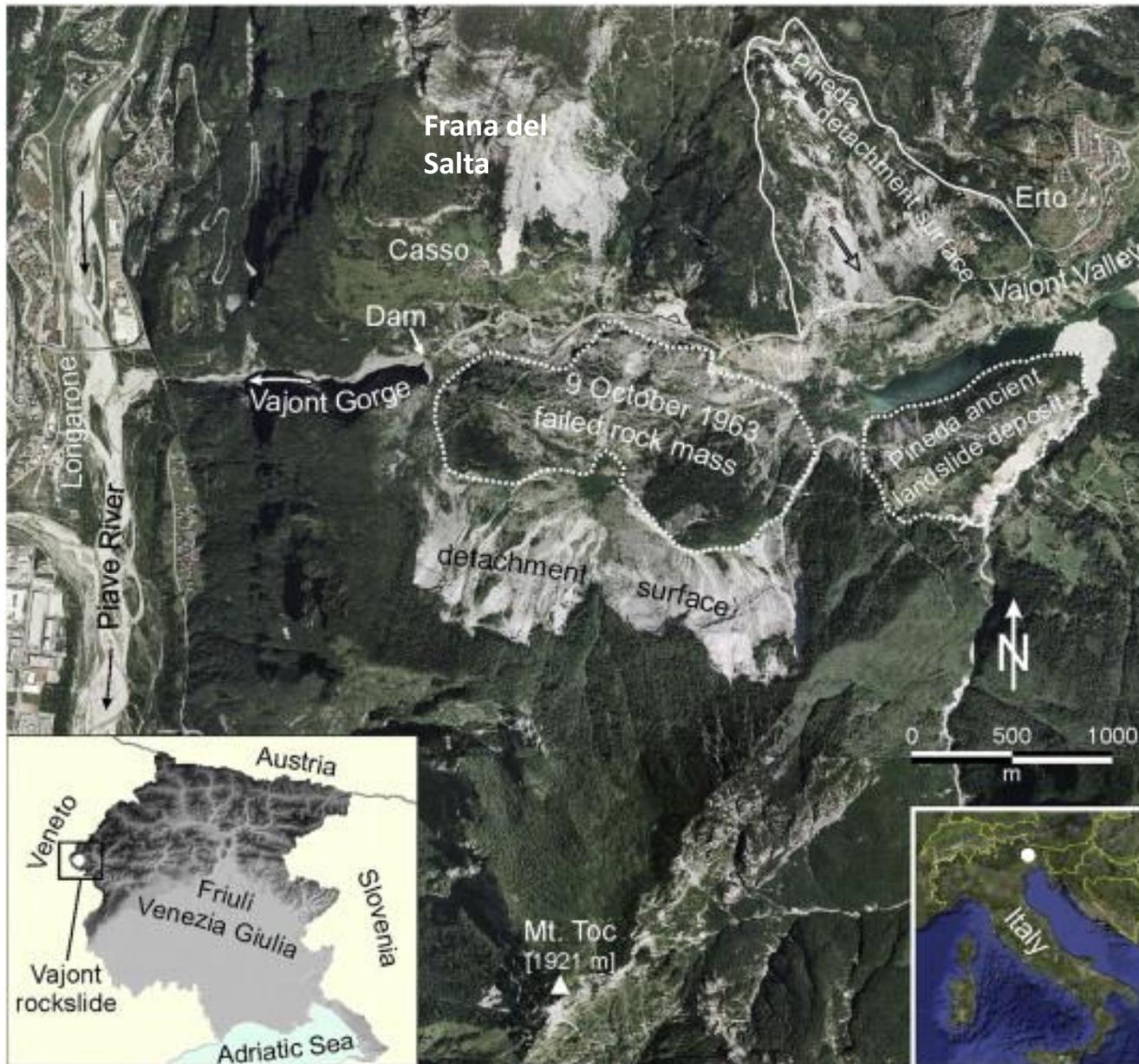
Il gigantesco corpo di frana prese in pochi istanti il posto occupato prima dall'acqua del lago creando due immani ondate di acqua e detriti lungo la valle ad est, dove spazzò via gli abitati lungo le rive del lago ma perse rapidamente energia grazie alla maggiore ampiezza della vallata del Vajont, e ad ovest, dove scavalcò la diga acquistando maggior energia a causa della compressione subita nell'attraversare la stretta gola, riversandosi nella valle del Fiume Piave: allo sbocco della gola l'onda era alta 70 metri e rase al suolo quasi del tutto diversi abitati (Longarone, Rivalta, Pirago, Faè, Villanova). I morti furono 1917.

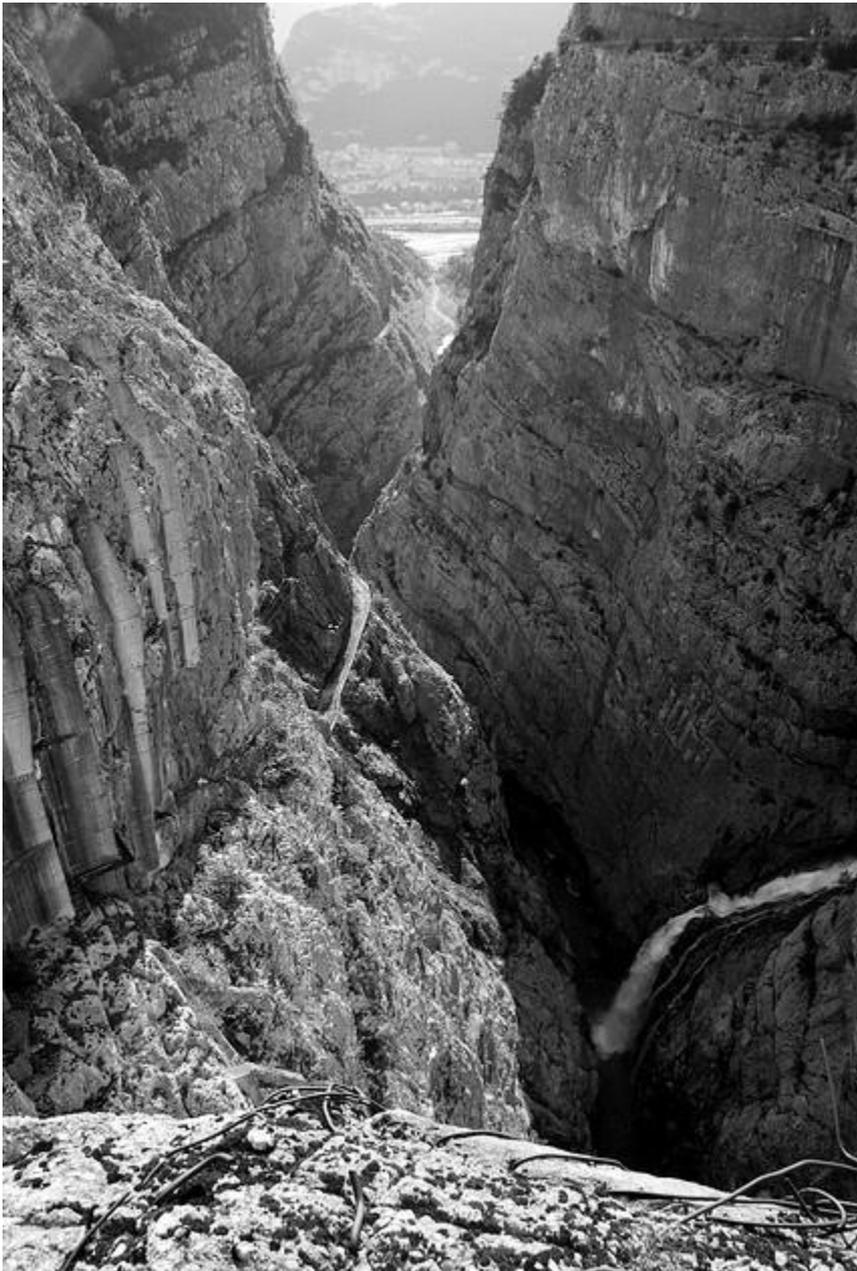


Stereogramma del bacino del Vajont. Il limite della frana è stato tratteggiato.
(Tratto da: De Nardi)

<http://leguarag.xoom.it/lguarag/vajont/stereogramma.html>







La stretta gola a valle della diga, con sullo sfondo la valle del Piave e il paese di Longarone ricostruito.

Alla base della foto si vede l'orlo della diga parzialmente distrutto dall'ondata. A sinistra sono ben visibile le travi di ripartizione dei tiranti fatti per rinforzare la roccia su cui si appoggia la spalla sinistra della diga.

La piccola cascata che si vede a sinistra è l'acqua del torrente Vajont che dal lago residuo a destra della frana viene fatta passare oltre la diga attraverso la galleria di bypass, costruita prima dell'evento franoso.

<http://www.flickr.com/photos/iltopone/2937111763/sizes/z/in/photostream/>

Panorama del lago del Vajont (primavera del 1962)



<http://leguarag.xoom.it/lguarag/vajont/panorama-lago.html>



Bacino del Vajont prima della frana



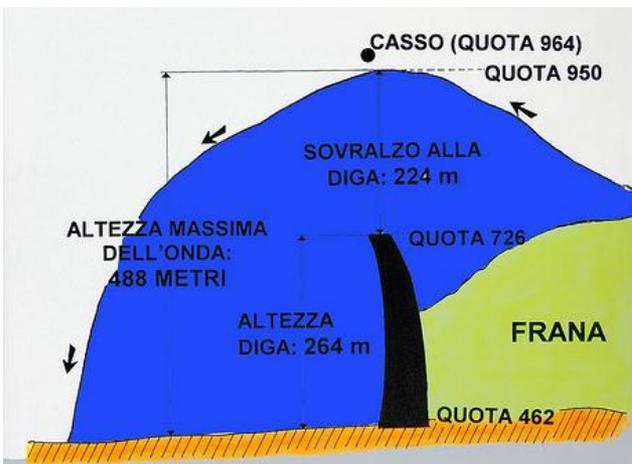
Bacino del Vajont dopo la frana

<http://leguarag.xoom.it/lguarag/vajont/>



Panoramica della Valle del Vajont poco dopo il disastro del 9 ottobre 1963. Si nota la frana di 260 milioni di metri cubi staccatasi dal Monte Toc e precipitata nel bacino artificiale.

http://it.wikipedia.org/wiki/Disastro_del_Vajont



Fianco destro della valle del Vajont dilavato dall'onda provocata dalla frana (da Le foto della frana del Vajont)



Le foto della frana del Vajont
© k-flash 2004
Foto: Daniele Rossi

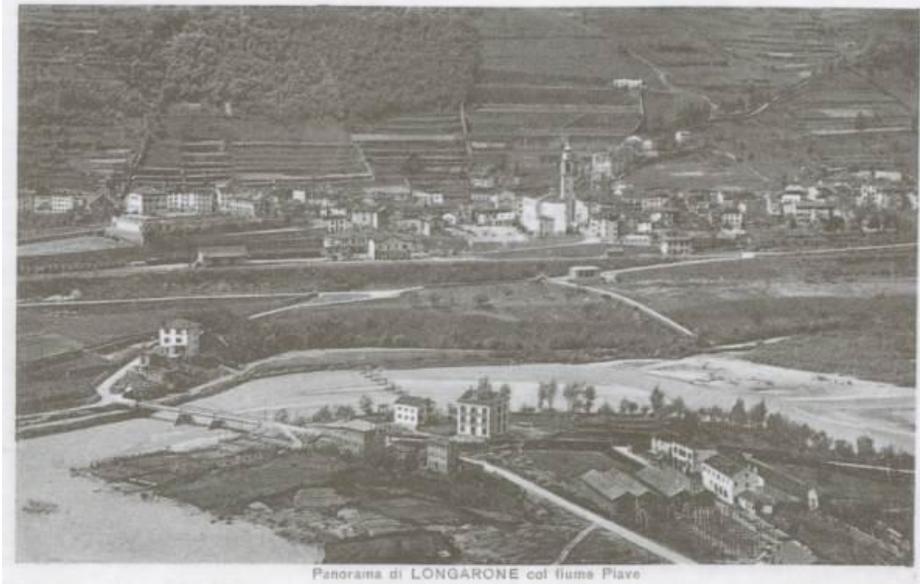
Vista d'insieme della scarpata e della parte affiorante della superficie di scivolamento
(da Le foto della frana del Vajont)



A ridosso della diga è ancora presente il piccolo lago residuo che si è mantenuto per pochi mesi

<http://www.ilgiornaledellaprotezionecivile.it/index.html?pg=1&idart=7188>

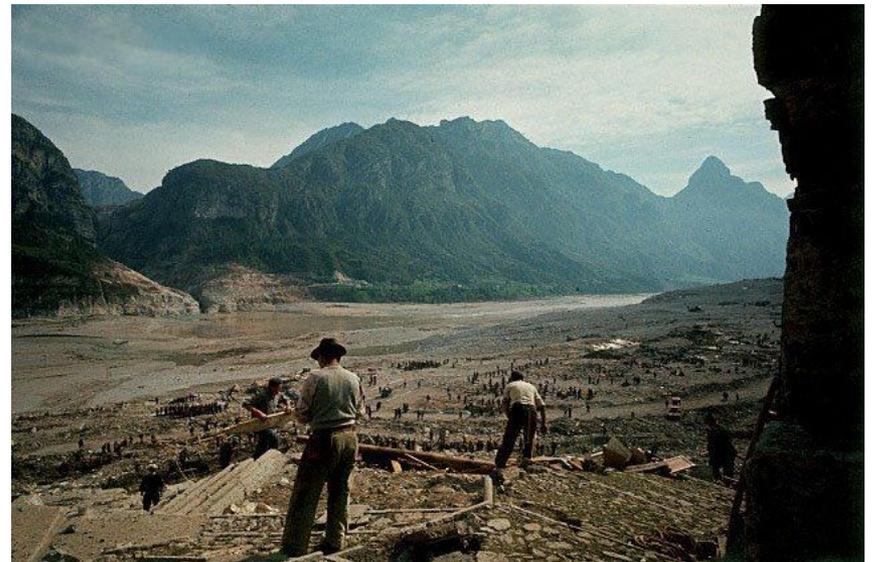
Il paese di Longarone in una cartolina d'epoca, prima del disastro



<http://www.vajont.net/page.php?pageid=SEZIO004>



Spianata rimasta dopo il disastro





<http://www.flickr.com/photos/42127819@N00/1603815629>



<http://www.madeassociati.it/?p=572&lang=en>



La diga, nonostante le sollecitazioni quasi 10 volte superiori a quelle previste dal progetto, resistette all'ondata, che distrusse solo parte della mensola di calcestruzzo armato "cucita" alla diga su cui poggiava la strada di collegamento con la riva sinistra del Vajont

http://it.wikipedia.org/wiki/Disastro_del_Vajont

<http://fotomomo.blogspot.it/2009/10/il-disastro-del-vajont.html>

Il bacino era creato dalla diga del Vajont, di tipo a doppio arco, la sua altezza era ed è di 264 metri (la quinta diga più alta del mondo) con un volume di 360.000 metri cubi e con un bacino massimo di 168,715 milioni di metri cubi. All'epoca della sua costruzione era la diga più alta al mondo.

L'impatto con l'acqua generò tre onde: una si diresse verso l'alto, lambì le abitazioni di Casso e ricadendo sulla frana andò a scavare il bacino del laghetto di Massalezza; un'altra si diresse verso le sponde del lago e attraverso un'azione di dilavamento delle stesse distrusse alcune località in Comune di Erto-Casso e la terza (di circa 50 milioni di metri cubi di acqua), scavalcò il ciglio della diga che rimase intatta, ad eccezione del coronamento percorso dalla strada di circonvallazione che conduceva al versante sinistro del Vajont e precipitò nella stretta valle sottostante.

Ecco una ricostruzione sommaria in 3d

<http://www.youtube.com/watch?v=uqkFXm2HtMA>

http://www.youtube.com/watch?v=WOienCYI_c&feature=channel&list=UL

http://www.youtube.com/watch?v=6_vkPWoojhc&feature=watch-vrec

http://www.youtube.com/watch?v=4ebxtvL3ojE&feature=watch_response

Dighe

Una diga è uno sbarramento permanente che serve a creare un lago artificiale su un corso d'acqua naturale. A seconda dei materiali impiegati per la costruzione la diga può essere di calcestruzzo (o muratura), in terra, di pietrame o di materiale misto. Gli sbarramenti in calcestruzzo possono essere del tipo a gravità (anche alleggerita), ad arco o di tipologie miste (arco-gravità, volte multiple, ecc.)

La scelta del tipo di diga dipende essenzialmente dalla forma e dalla geologia della stretta del fiume e dai materiali da costruzione disponibili nelle vicinanze.

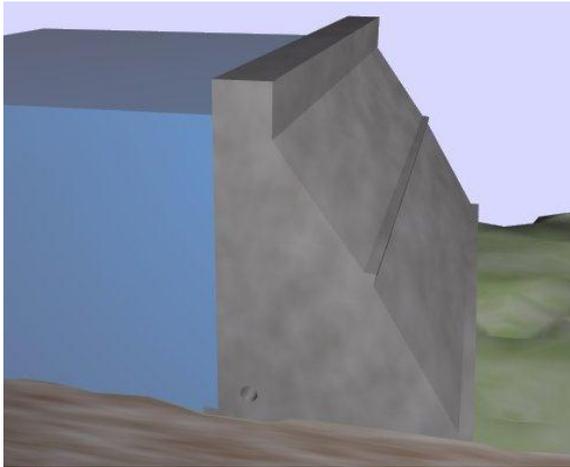
Quando si incontra una valle stretta ed alta con rocce sane affioranti si pensa in primo luogo ad una diga ad arco (che richiede ottime caratteristiche delle rocce dei versanti).

Per una valle più larga e/o con rocce fratturate si pensa ad una diga a gravità in calcestruzzo (che richiede discrete caratteristiche delle rocce in fondazione).

Quando, invece, si incontrano strati di materiali sciolti (argille, sabbie, ghiaie) di grande spessore nel letto del fiume la scelta è obbligata per dighe deformabili come dighe in terra, dighe in rockfill (pietrame) con manto impermeabile in calcestruzzo o bituminoso o soluzioni intermedie tra le due.

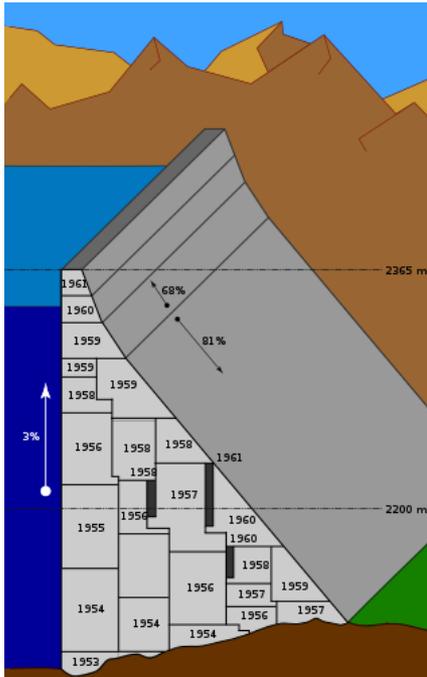
Lo studio di fattibilità geologica di una diga è molto importante e deve tenere conto oltre che delle caratteristiche portanti dei terreni anche della loro permeabilità, fattore fondamentale in relazione alla capacità della diga di contenere l'acqua.

Dighe a gravità



Sono strutture massicce in calcestruzzo generalmente di geometria semplice. L'asse solitamente è rettilineo, o leggermente arcuato, e la sezione tipo è di forma triangolare. Questo tipo di diga resiste alla spinta dell'acqua grazie al proprio peso ed all'attrito/coesione tra la diga e la roccia di fondazione. Essendo una struttura massiccia e rigida, a differenza ad esempio delle dighe in materiali sciolti, richiede in fondazione rocce "discretamente" resistenti e poco deformabili.

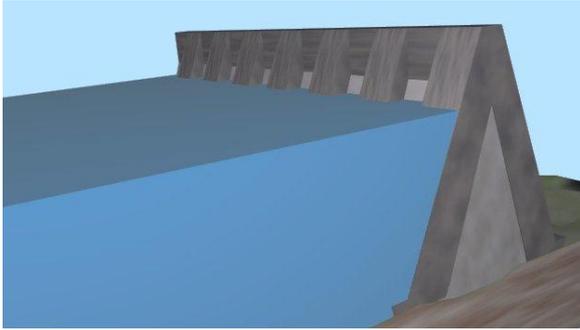
Le dighe a gravità sono, generalmente, particolarmente sicure in caso di eventi naturali straordinari quali piene estreme o terremoti.



<http://it.wikipedia.org/wiki/Diga> modificato

Con i suoi 285 metri di altezza, la diga della Grande Dixence, situata in testa alla Val d'Hérens nel Canton Vallese della Svizzera, è la diga più alta d'Europa e una delle più alte nel mondo.

Diga a gravità alleggerita (a contrafforti)



Sono sostanzialmente una variante delle dighe a gravità. Inclinando il paramento di monte e lasciando delle cavità nel corpo della diga si sfrutta, in estrema sintesi, il peso dell'acqua per la stabilità allo scorrimento al posto del peso del calcestruzzo.

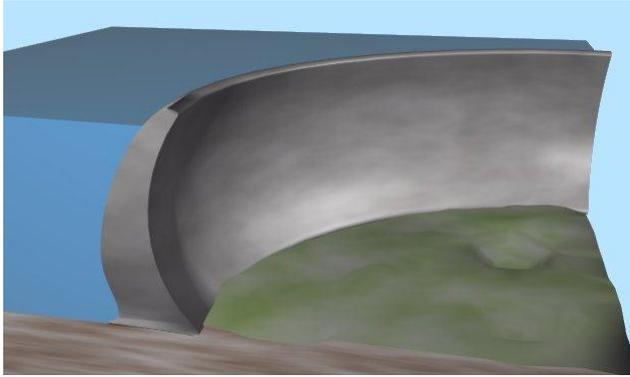
<http://it.wikipedia.org/wiki/Diga>



Daniel Johnson Dam, a hollow gravity dam, is the world's largest multiple arch dam. It is on the Manicouagan River in Quebec, Canada. The dam is 703 feet (214 meters) high and has 14 concrete buttresses. This type of dam resists water pressure more by its design than by its weight and requires less concrete than the solid gravity dam.

<http://kids.britannica.com/comptons/art-73274/Daniel-Johnson-Dam-a-hollow-gravity-dam-is-the-worlds>

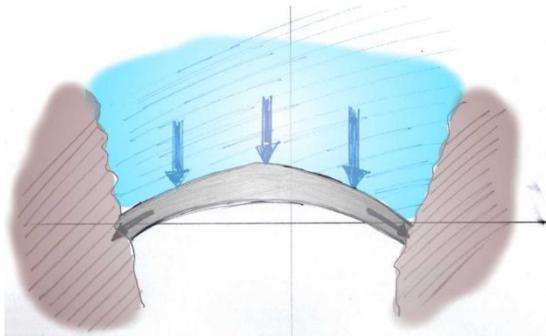
Dighe ad arco



La loro struttura è particolarmente leggera grazie alle caratteristiche di resistenza degli archi, che consentono di scaricare ai vincoli laterali (e quindi alla montagna) il carico dell'invaso. Le dighe ad arco possono essere a curvatura semplice, lavorando come una serie di archi orizzontali sovrapposti (tipiche per le valli con "forma ad U") o a doppia curvatura lavorando come una cupola (tipiche per le valli con "forma a V").

Le dighe ad arco sono realizzate in calcestruzzo generalmente non armato. Il "fattore di snellezza" di alcune di queste dighe è molto superiore a quello di un guscio d'uovo.

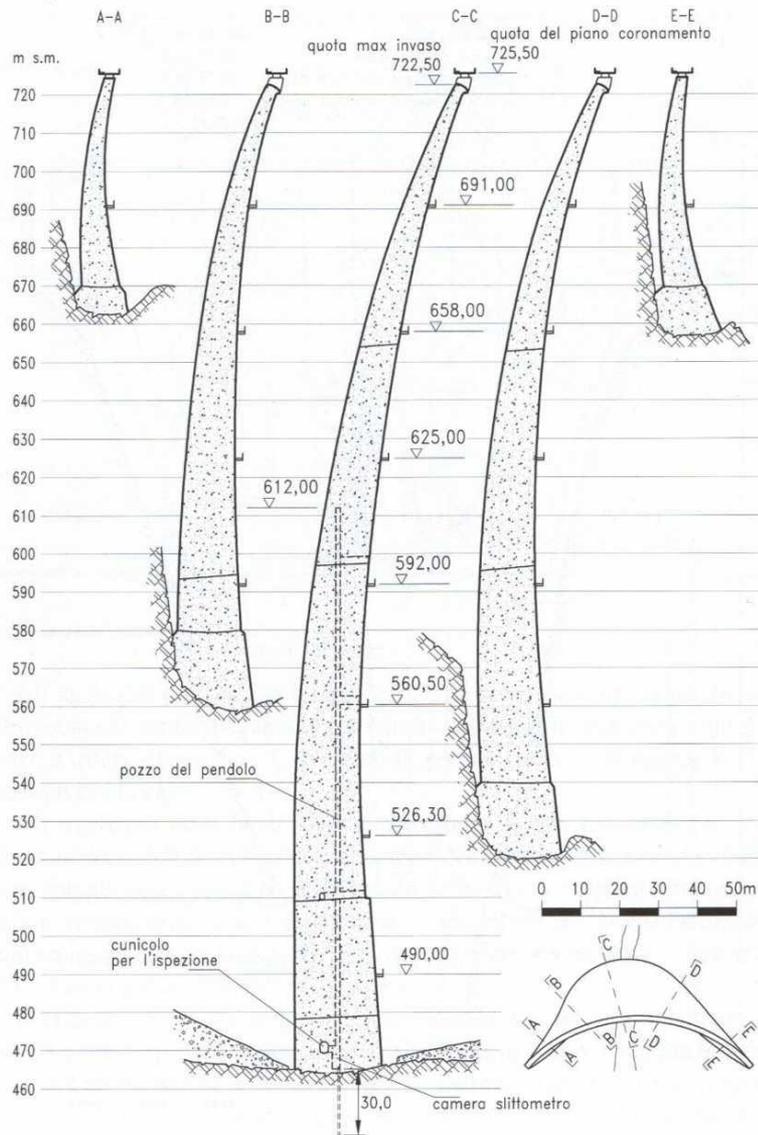
<http://it.wikipedia.org/wiki/Diga> modificato



I lati del corpo diga sono appoggiati direttamente ai monti ai due lati della valle e su di essi scaricano la pressione esercitata dall'acqua. Nel caso delle dighe a cupola parte della spinta viene dissipata anche verso il basso.

In questo schema semplificato, visto dall'alto si vede la diga (parte grigia), la spinta dovuta al bacino (frecche blu) e la dissipazione della spinta sui fianchi della montagna (frecche nere).

<http://www.progettodighe.it/main/tecnica/article/il-corpo-della-diga>



Il problema totale è molto più complesso in quanto le dighe ad arco hanno sezioni verticali, ed orizzontali, anche molto differenti tra loro a seconda della zona della diga.

<http://www.progettodighe.it/main/tecnica/article/il-corpo-della-diga> modificato

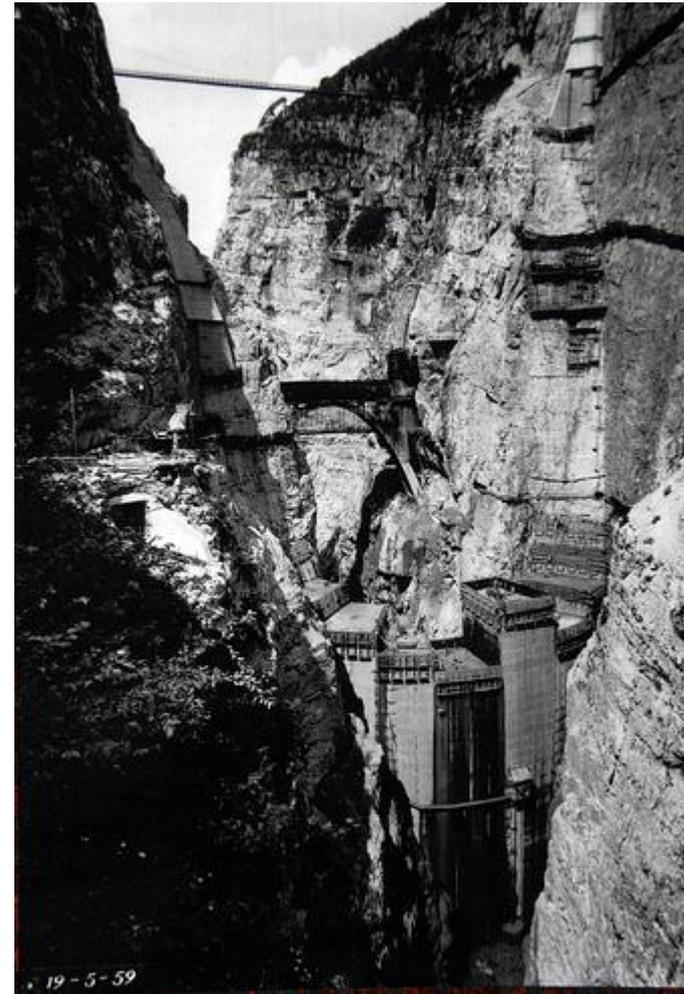
In questa immagine vediamo le sezioni della diga del Vajont. Si nota chiaramente come siano differenti tra loro.

Dato che la diga "spinge" sui lati della valle è particolarmente importante preoccuparsi della solidità di questi ultimi eventualmente attuando lavori di consolidamento che possono essere lunghi e complessi.

A titolo di esempio della dimensione dei conti in gioco, lo studio della stabilità della diga del Vajont, nel 1955 era sviluppato con un sistema lineare di circa 400 equazioni.



Diga del Vajont in costruzione



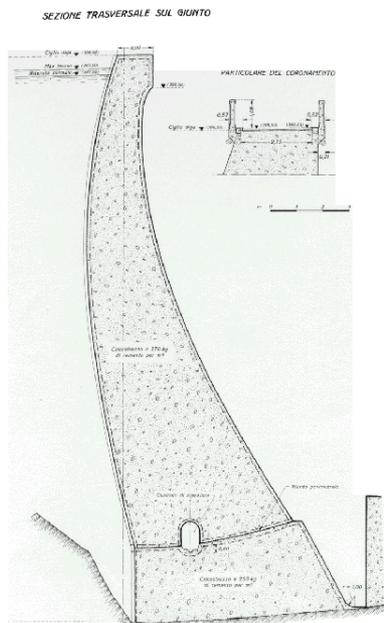
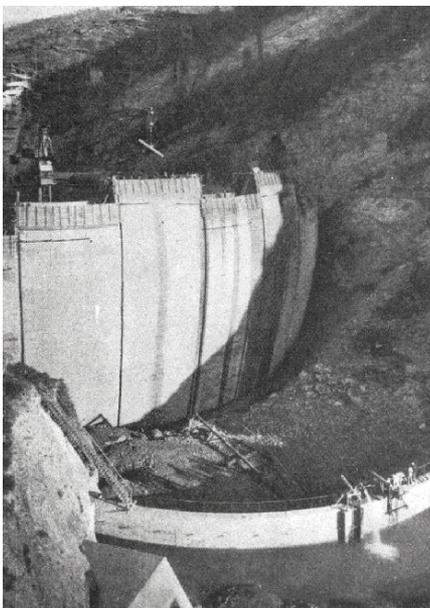
<http://www.flickr.com/photos/95034166@N00/2937025935>

Dighe ad arco - gravità

Per le dighe ad arco/gravità la resistenza alla spinta dell'acqua - ed eventualmente del ghiaccio ed alle azioni sismiche - è sopportata sia per effetto della curvatura longitudinale (arco) sia per il peso proprio della sezione trasversale (mensola).



Diga di Ridracoli (Forlì)



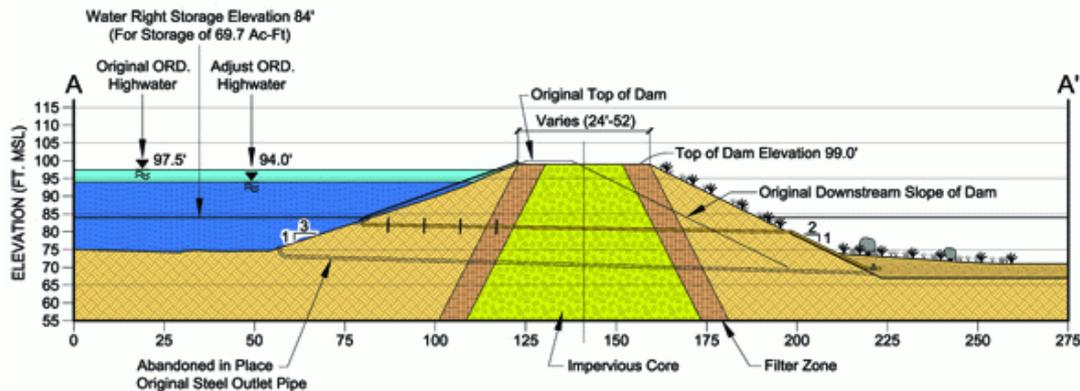
Diga di Piaganini - Teramo (sezione trasversale)

<http://www.registroitalianodighe.it/volta.html> modificato

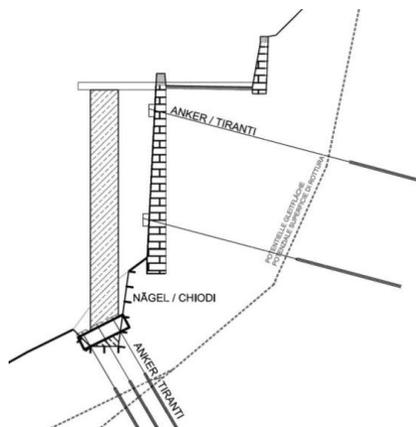
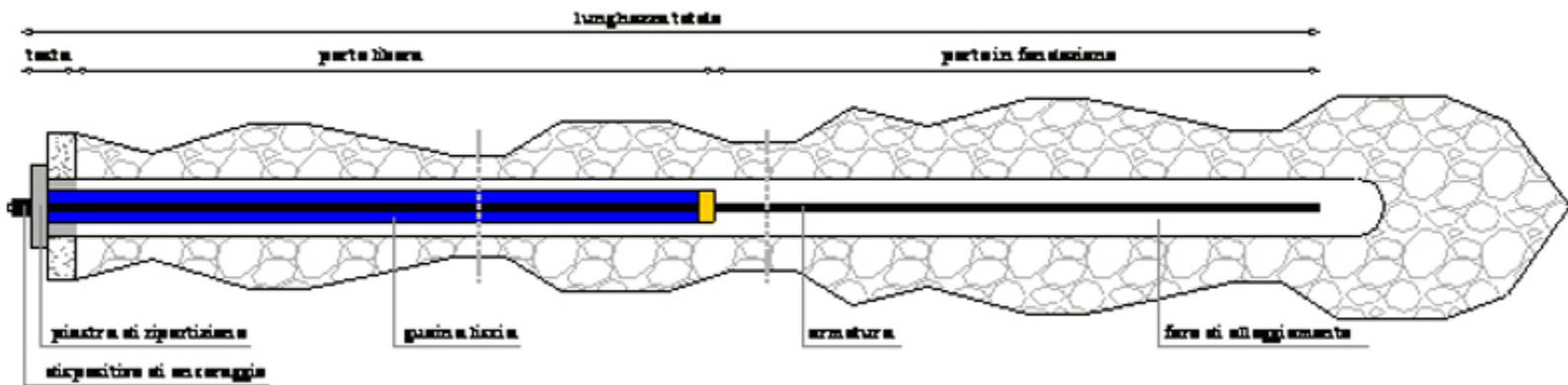
Dighe in terra

Le dighe in terra sono le dighe più semplici. In pratica sono costituite da un semplice cumulo di terra con al massimo un nocciolo impermeabile al centro oppure con un rivestimento impermeabile sul lato a monte. La loro dimensione è dovuta solamente ai limiti di coesione della terra o roccia con la quale sono costruite e hanno il vantaggio che la loro costruzione non è particolarmente problematica.

<http://www.progettodighe.it/main/tecnica/article/il-corpo-della-diga> modificato



http://newtonconsultants.com/Nwtn_Page_DamE&R.htm



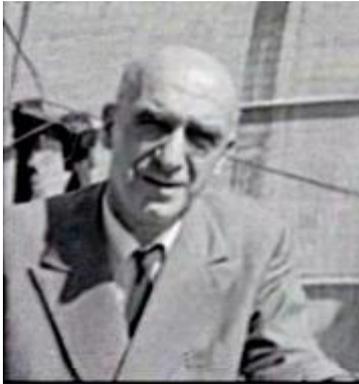
<http://www.geobau.it/it/Progetti/Lavori-di-stabilizzazione/Stabilizzazione-tramite-tecniche-di-ancoraggi.html>



Tiranti a trefolo

I tiranti a trefolo sono composti da tre parti principali: tirante in acciaio (trefolo), testa del tirante e il bulbo. Il tirante in acciaio viene montato in un foro del diametro di ca. 80-150 mm e viene unito con la roccia / il terreno tramite una sospensione cementizia a presa rapida. Poi viene indotta la tesatura tramite presse idrauliche. La forza passa dalla costruzione al tirante attraverso la testata e poi viene trasmessa al terreno. La forza tirante agisce attivamente sulla struttura consolidata o sul terreno consolidato. I tiranti a trefolo vengono divisi in tiranti provvisori e tiranti permanenti: i tiranti provvisori sono destinati a esercitare la loro funzione per un periodo inferiore ai due anni. Per i tiranti permanenti invece vengono applicate misure di protezione contro la corrosione molto più durature (doppia protezione contro la corrosione). Durante il periodo previsto per la loro funzione, che corrisponde alla durata di edifici in acciaio o cemento armato, i tiranti permanenti sono protetti contro la corrosione per almeno 80-100 anni.



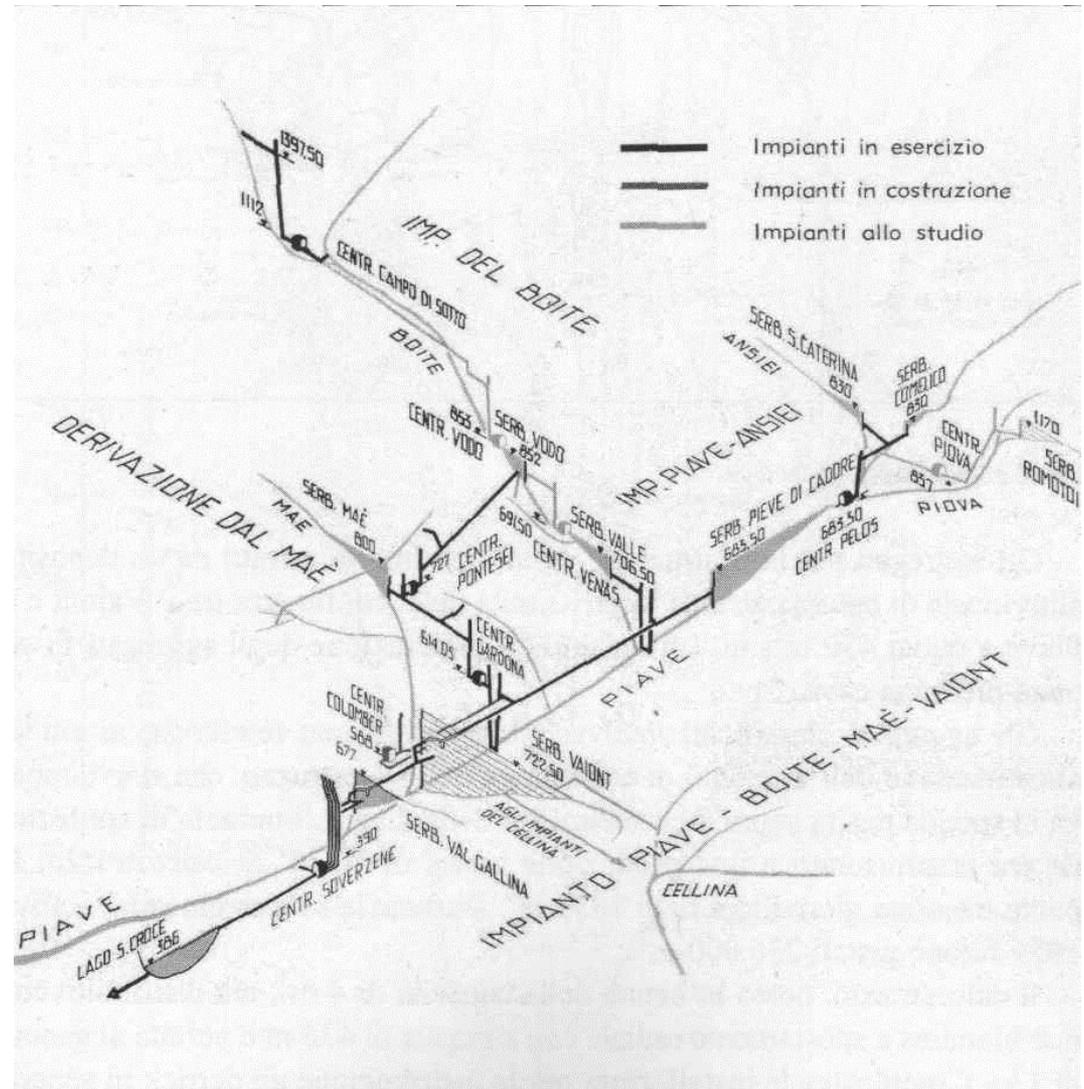


Carlo Semenza, progettista della diga e ideatore della "galleria di sorpasso o bypass" sul versante destro della valle del Vajont

Schema dell'impianto Piave-Boite-Maè-Vajont

In questo schema possiamo vedere l'impianto con la diga del Vajont. Lo schema mostra anche le differenze altimetriche tra i vari invasi

<http://www.progettodighe.it/main/reportage/articolo/l-impianto-piave-boite-mae-vajont>



Tratto dal libro:

“La storia del Vajont”
di Edoardo Semenza

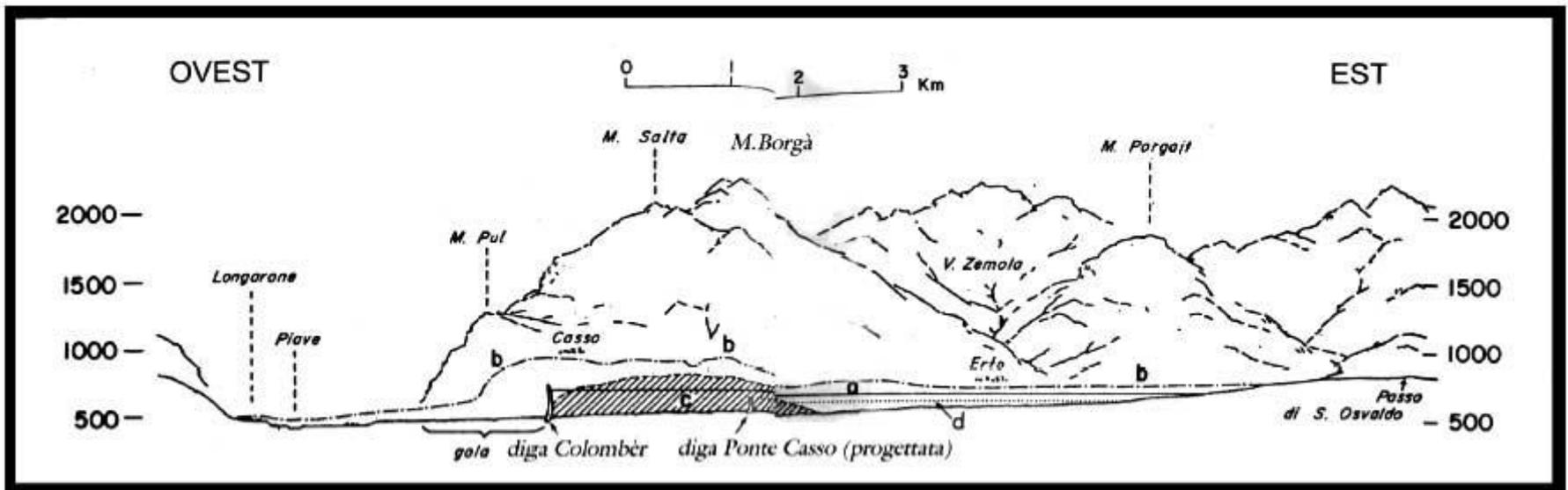
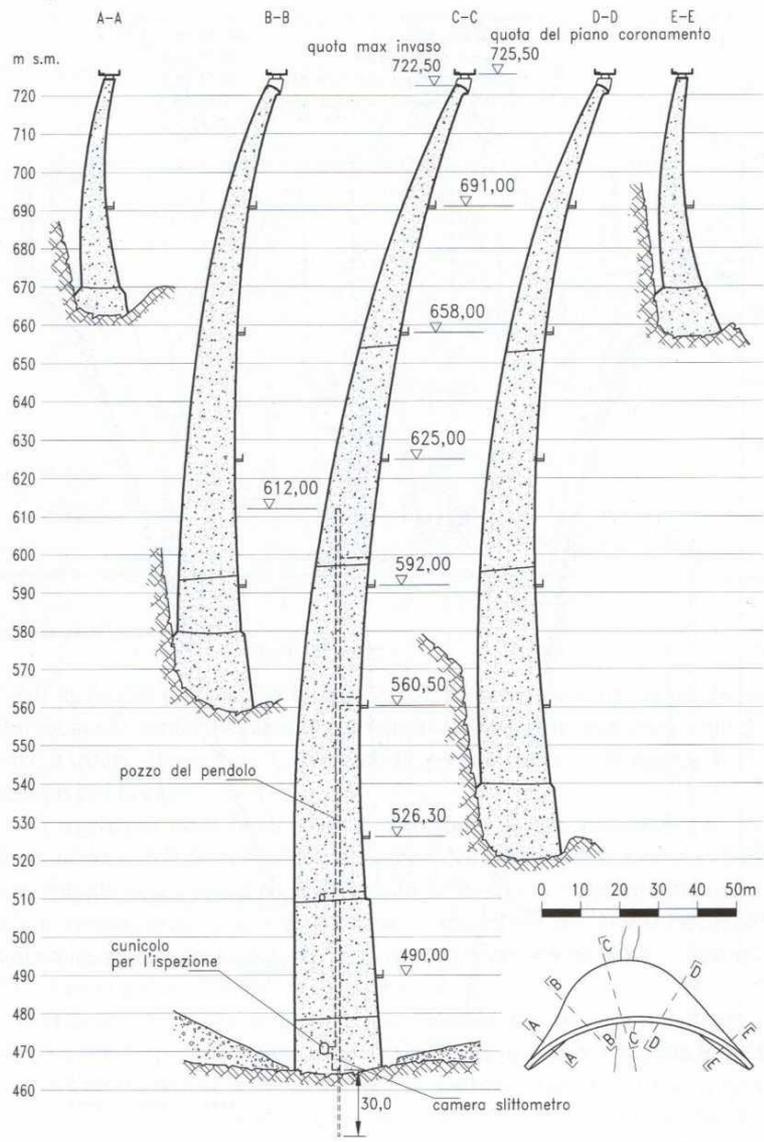


Figura n°2. Sezione della valle del Vajont con la posizione della diga nei due progetti.



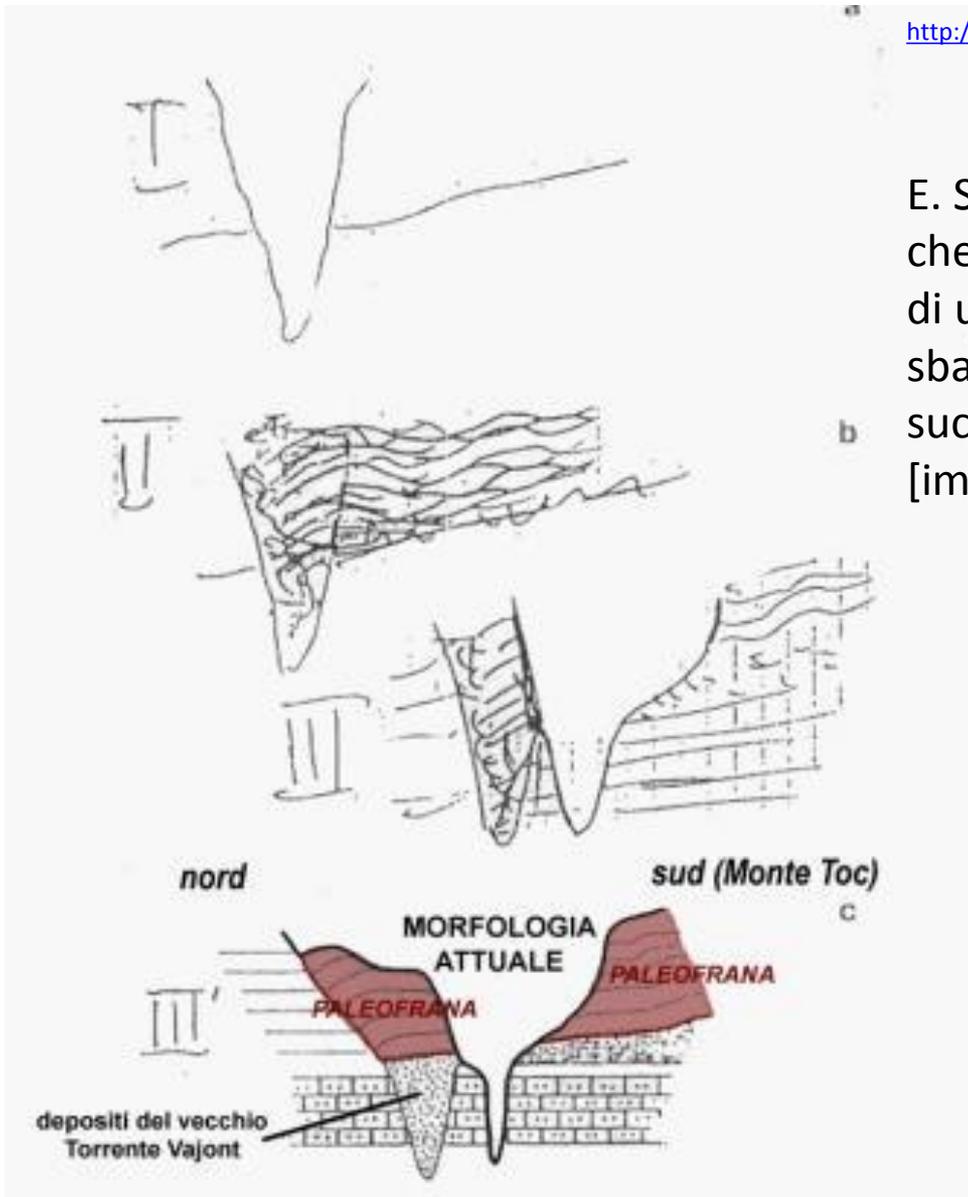
Frana di Pontesei (22 marzo 1959)

Dal libro “Storia del Vaiont” di E. Semenza
“Fu come se suonasse un campanello di allarme”



.....

“La conseguenza quasi immediata della frana di Pontesei fu la preoccupazione per il bacino del Vaiont che si stava creando con la costruzione della diga, iniziata nell’agosto 1958”.



E. Semenza fissa su carta (1959) l'intuizione che il Colle Isolato rappresentava il lembo di una paleofrana che nel passato aveva sbarrato la valle del Vajont, ed era stata successivamente incisa e divisa dal torrente [immagine modificata].

Profili geologici dell'area di frana, prima e dopo l'evento del 1963, disegnati da Rossi e Semenza (dal libro "Storia del Vaiont" di E. Semenza)

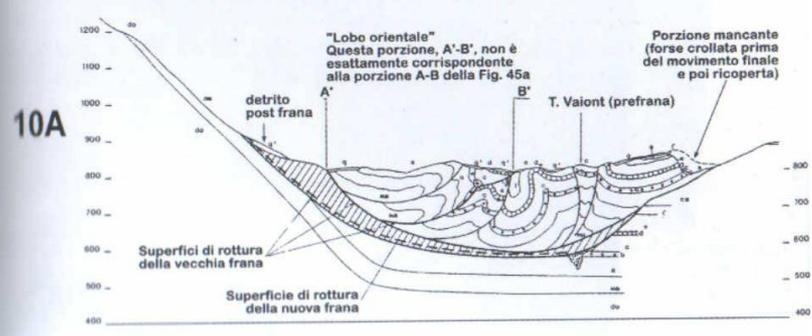
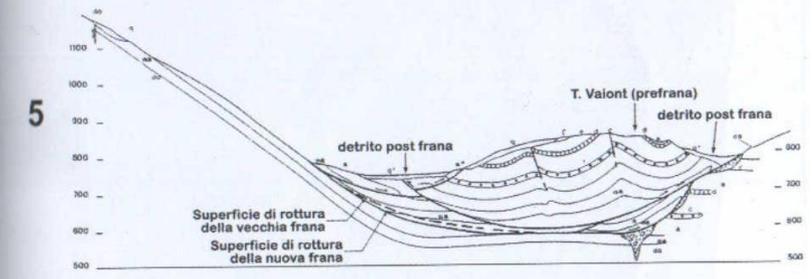
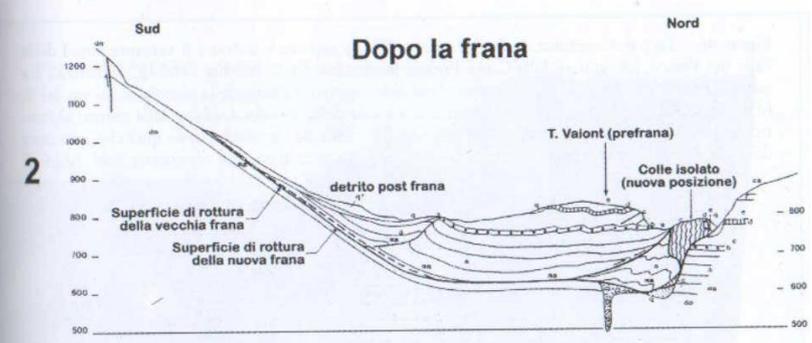
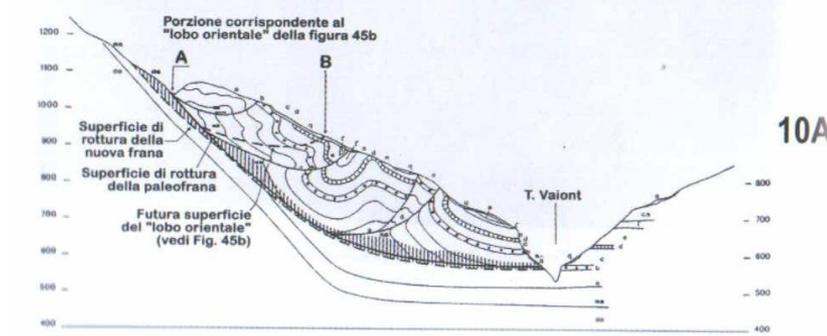
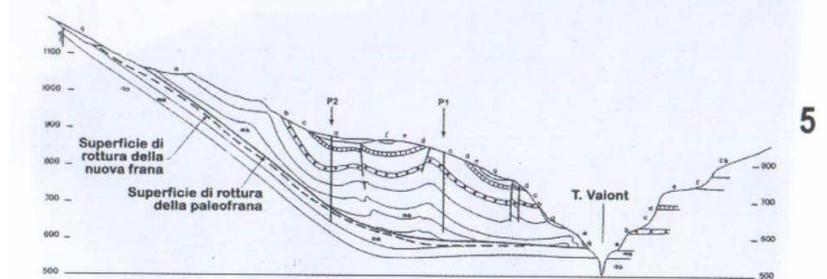
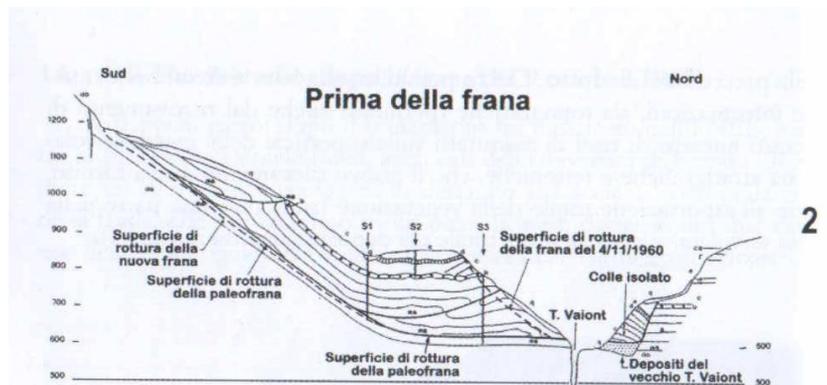


Figura 2

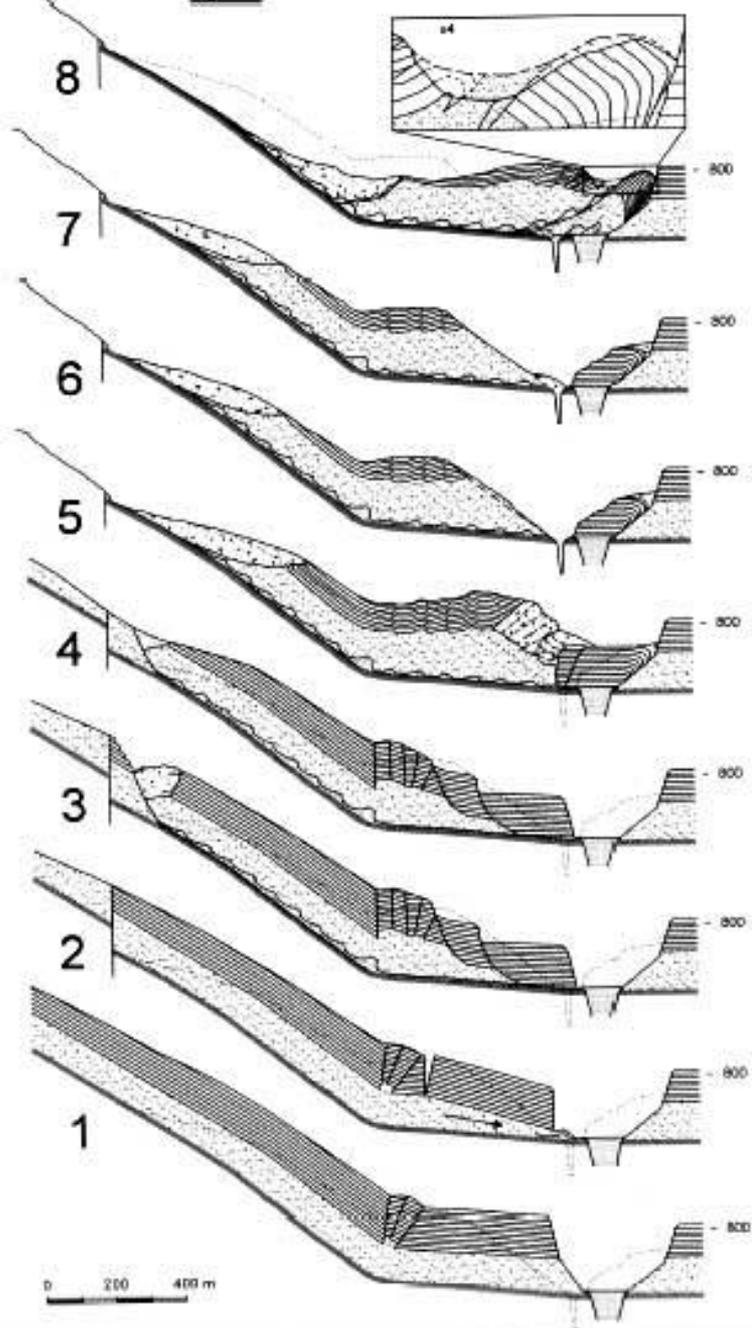


Figura 2.

Tentativo di ricostruzione della valle del Vajont, nel corso dei millenni, con i vari movimenti che hanno avuto luogo.

Parte bianca inferiore = Calccare del Vajont.

Fascia grigia sottile = Formazione di Fonzaso.

Parte puntinata = Formazione di Soccher e Fonzaso.

Linea nera ondeggiata = Andamento del piano di scivolamento con progressivo scollamento.

Profilo n°1. Situazione della valle alla fine dell'ultima glaciazione, probabilmente Wurmiana. La gola scavata precedentemente dal torrente Vajont è stata completamente colmata da detriti.

Profilo n°2. Movimento iniziale della massa.

Profilo n°3 e 4. Inizio del processo di "scollamento" da sud verso nord e processi di erosione.

Profilo n°5. Termine del processo di scollamento e paleofrana.

Profilo n°6. Situazione precedente alla frana del 4 novembre 1960.

Profilo n°7. Situazione dopo la frana del 4 novembre.

Profilo n°8. Equilibrio raggiunto in seguito alla frana del 9 ottobre 1963.

Tratto dal libro:

“La storia del Vajont”
di Edoardo Semenza

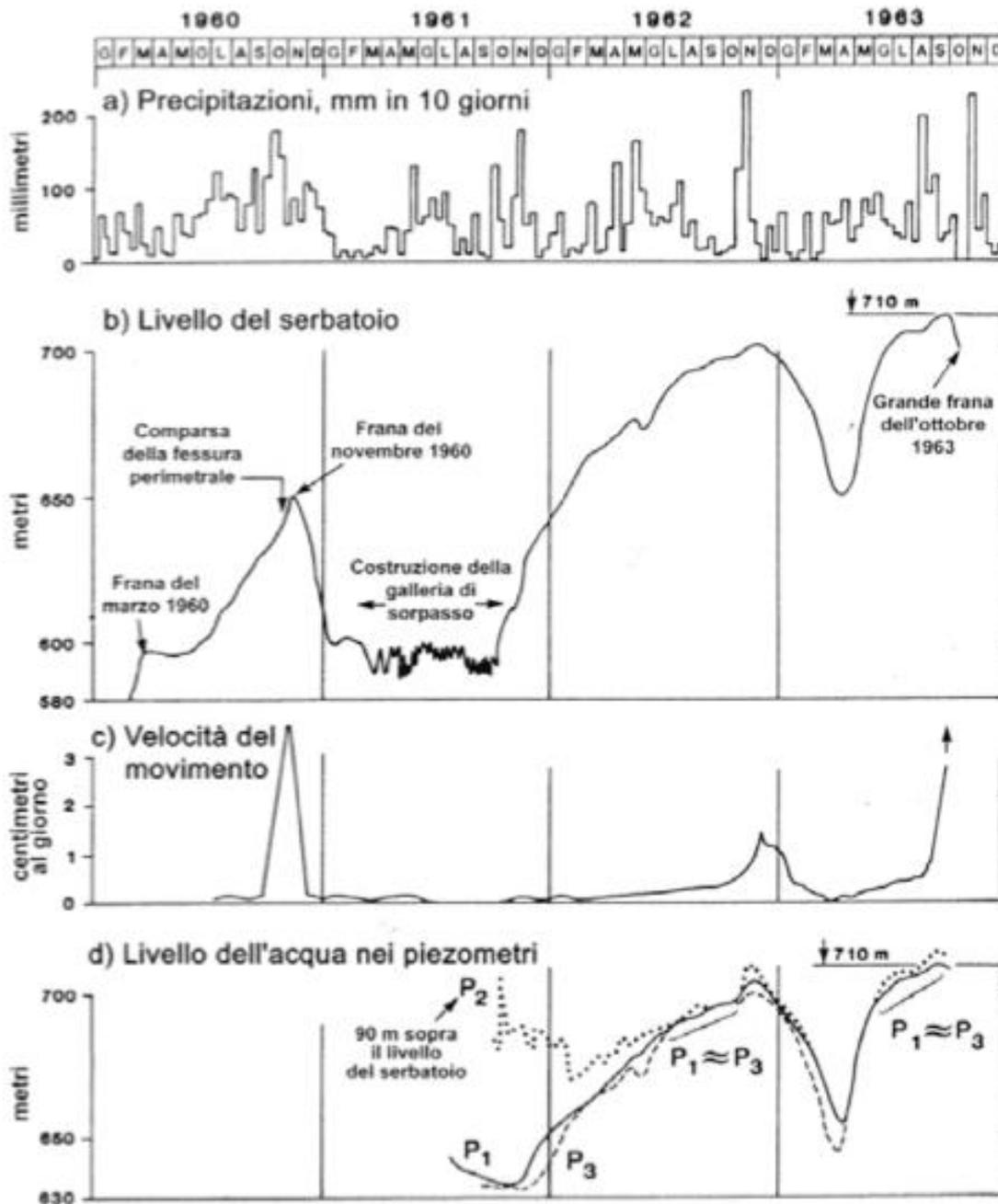
Fine ottobre 1960 apertura della fessura a M che delimita a sud il corpo della paleofrana e quindi della massa in movimento



4 novembre 1960 frana di circa 700.000 mc sul fronte della grande paleofrana



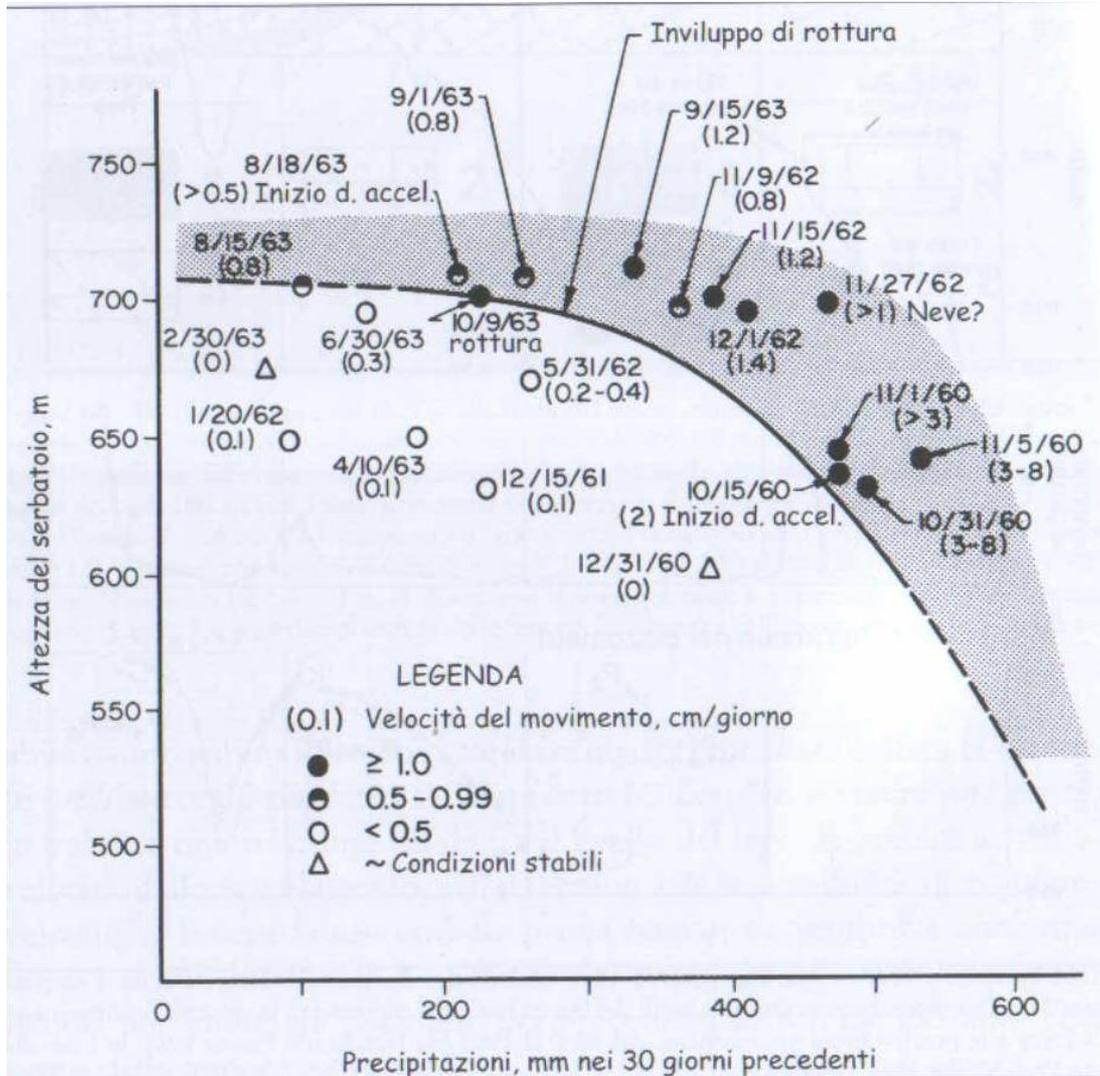
<http://www.flickr.com/photos/95034166@N00/2937877440>

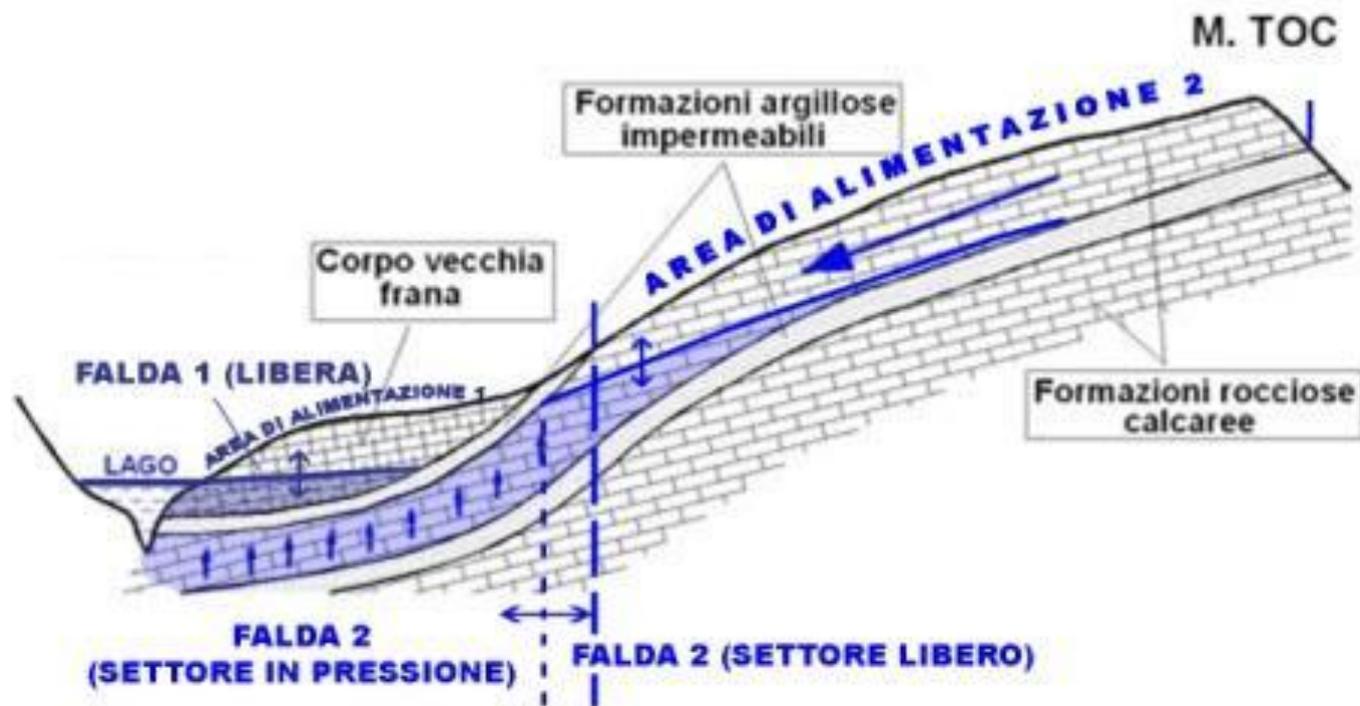


Tratto dal libro:
 “La storia del Vajont”
 di Edoardo Semenza

Tratto dal libro:

“La storia del Vajont”
di Edoardo Semenza





Profilo idrogeologico schematico antecedente il 9 ottobre 1963
(Semenza e Ghirotti 2000)

http://www.molare.net/disastri_simili/disastri_vajont.html immagine modificata

<http://www.lastoriasiamonoi.rai.it/puntate/la-tragedia-del-vajont/414/default.aspx>

Quel 9 ottobre 1963 gli abitanti della valle del Vajont erano tutti in casa per la cena. Molti davanti al televisore per vedere Real Madrid - Glasgow Rangers, la finale di Coppa Campioni di calcio. Intorno alle 22:00, Giancarlo Rittmeyer, quella notte di guardia alla diga, chiama l'ingegnere Biadene, rappresentante della SADE. Comunica che la montagna sta cedendo a vista d'occhio. Chiede istruzioni. Biadene cerca di calmarlo, ma lo esorta a "dormire con un occhio solo". Nella telefonata, si intromette la centralinista di Longarone, chiedendo se ci sia pericolo anche per quel centro. Biadene le risponderebbe di non preoccuparsi, e di "dormire bene".

APPROFONDIMENTO

Alle 22.45, 260 milioni di metri cubi di montagna precipitano nel lago e una massa d'acqua alta 200 metri scavalca la diga e si abbatte sui paesi di Longarone, di Erto e di Casso, un sordo boato e poi la valanga di fango e detriti travolge gli abitanti della valle e li trascina per decine di chilometri. Il bilancio è catastrofico: duemila vittime. La storia del Vajont è quella di una tragedia annunciata. Quella diga era stata voluta dal conte Volpi di Misurata, ex ministro fascista, fondatore e presidente della Società Adriatica per l'Energia Elettrica, la SADE, uno dei monopoli elettrici più potenti dell'epoca. Nel 1940 vennero effettuati i primi sopralluoghi dal geologo Giorgio Dal Piaz e dal progettista Carlo Semenza, che individuarono nella valle del Vajont il luogo più adatto per costruire la diga più alta del mondo. I controlli geologici iniziarono nel 1949 e con essi i primi atti di protesta delle amministrazioni coinvolte dal progetto: la costruzione della diga avrebbe, infatti, provocato l'esproprio di case e terreni degli abitanti della valle. Nonostante le proteste e i forti dubbi degli organi preposti al controllo del progetto, i lavori per la costruzione della diga iniziarono nel 1956, senza l'effettiva autorizzazione ministeriale. A lavori iniziati si produssero alcune scosse sismiche, la SADE fece effettuare ulteriori rilievi geologici rilevando la pericolosità dell'impianto e il rischio di slittamento del terreno verso il bacino artificiale formato dalla diga. Nonostante questo, la SADE non inviò mai i rapporti di questi rilievi agli organi di controllo. I lavori continuarono e il 4 novembre 1960 si produsse la prima frana: 700 mila metri cubi di terra e roccia franarono nel bacino. Dopo la prima frana fu commissionata all'Istituto di Idraulica e Costruzioni Idrauliche dell'università di Padova una simulazione del disastro

Lo studio riprodusse in scala una possibile frana di 40 milioni di metri cubi di ghiaia. In base a questa approssimativa simulazione si determinò l'innalzamento del livello dell'invaso a quota 700 metri. Dal 1961 al 1963 furono praticate varie modifiche del livello dell'invaso per limitare il più possibile le possibilità di smottamento del terreno circostante la diga: il 4 settembre 1963 il livello della diga toccò quota 710. Si decise di andare avanti, con il consenso degli apparati statali, con la complicità di una scienza assoggettata, con il compromesso del potere politico, si decise di correre un rischio annunciato: fino alla tragica sera di quel 9 ottobre 1963. Tra i protagonisti di questa vicenda, di cui vi mostriamo le testimonianze, meritano di essere ricordati Tina Merlin, giornalista dell'Unità, che cominciò alcuni anni prima della frana a scrivere dei rischi a cui la popolazione andava incontro se la diga fosse stata completata e l'invaso fosse stato riempito d'acqua. Tina Merlin era diventata tanto insistente e molesta con i suoi articoli sull'Unità che la SADE la denunciò per diffamazione e disturbo dell'ordine pubblico. Il 10 novembre 1963 Tina Merlin dichiarò tutto ciò che sapeva in un'intervista alla televisione francese, tuttavia lo Stato italiano non diede mai l'autorizzazione per la messa in onda. Raccontò che gli abitanti della valle del Vajont erano convinti che se avessero costruito la diga sarebbero stati in pericolo; infatti, i contadini sapevano bene che quello era terreno franoso, ed un geologo da loro contattato aveva dichiarato che sarebbe stata pura follia costruire un bacino idroelettrico in quella luogo.

E Lorenzo Rizzato che nel 1961 lavorava come disegnatore tecnico presso l'Istituto d'idraulica di Padova dove fu costruito un modello che riproduceva esattamente la diga e la montagna, per simulare l'effetto di una frana. Nel 1962 le simulazioni fornirono delle diverse prove. Al Ministero dei Lavori Pubblici, arrivarono solo documenti con risultati attenuati. Il resto fu chiuso in un cassetto dell'Università. Da quel cassetto le estrasse il giorno dopo la tragedia Lorenzo Rizzato, per consegnarle ad un giornalista del "Corriere della Sera". Dopo il disastro il Ministero dei Lavori Pubblici avviò un'inchiesta per individuare le cause della catastrofe. L'ing. Pancini – uno degli imputati – si suicida alla vigilia del processo. Il processo inizia nel 1968 e si conclude in Primo Grado l'anno successivo con una condanna a 21 anni di reclusione per tutti gli imputati coinvolti, per disastro colposo ed omicidio plurimo aggravato; nell'elenco degli imputati spuntano: il direttore del servizio costruzioni della SADE, il direttore dell'Ufficio Lavori del cantiere del Vajont, l'ingegnere capo del Genio Civile di Belluno, il direttore generale ENEL-SADE, il direttore dell'Istituto di Idraulica della facoltà di Ingegneria dell'Università di Padova, in qualità di esperto idraulico e di consulente della SADE, i componenti della Commissione di collaudo della diga del Vajont, già appartenenti al Consiglio Superiore del Ministero dei Lavori Pubblici. In appello la pena verrà ridotta ed alcuni verranno assolti per insufficienza di prove. La tragedia del Vajont è la storia dell'esclusione di intere popolazioni da scelte che mettevano in gioco la loro vita. È la storia di interessi economici e politici e dei responsabili che si nascosero dietro una parola: fatalità.

http://www.youtube.com/watch?feature=player_embedded&v=J65Db-p5W2Y

Testimonianza di una sopravvissuta

<http://www.youtube.com/watch?feature=endscreen&v=aoXJ58MS0yY&NR=1>

<http://www.youtube.com/watch?v=ijjKBe4IEbl&feature=relmfu>

Marco Paolini I e II tempo