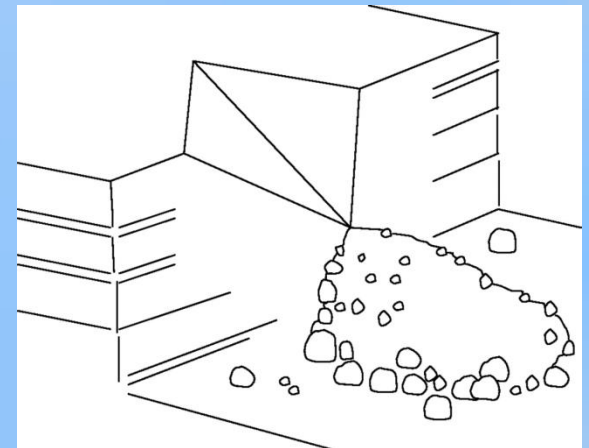




## Scivolamento di cuneo

Il blocco è individuato da almeno 2 piani e  
la direzione di movimento è determinata  
dalla retta intersezione di tali piani

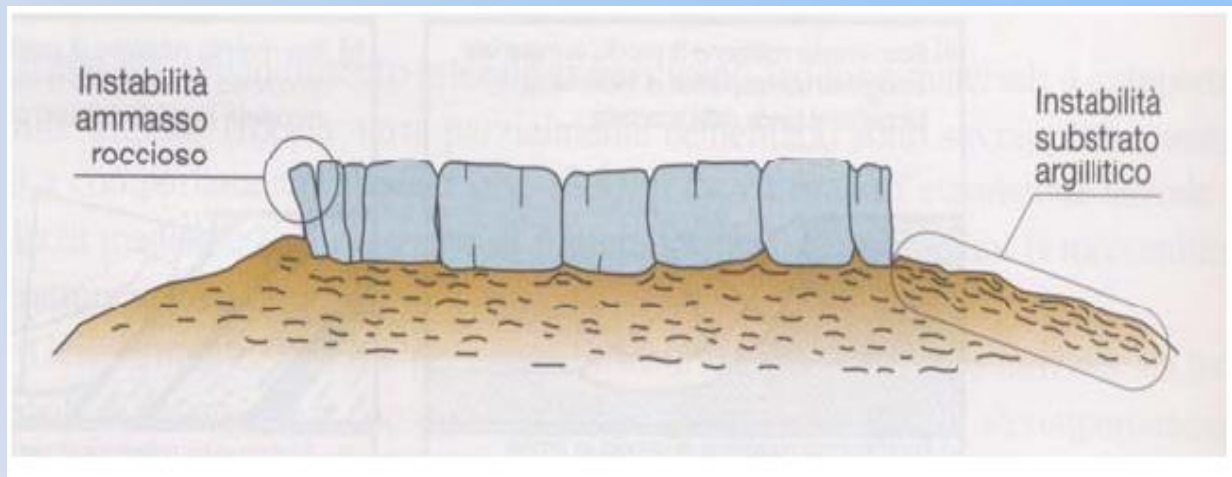


## Espandimenti laterali (lateral spreads)

Si verificano nel caso di un materiale a comportamento “rigido” (competente) (roccia, terra parzialmente cementata) sovrapposto a materiale a comportamento plastico (meno competente).

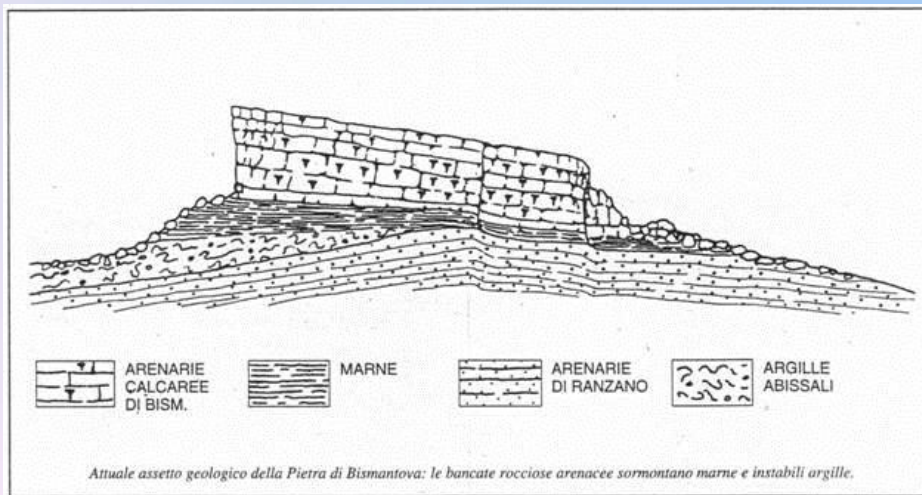
Si verifica una trazione nel materiale rigido e conseguente sua fratturazione in seguito al flusso plastico del materiale sottostante (argilla, argillite, gesso, ecc.)

<http://freedom.dicea.unifi.it/massimo.rinaldi/Geoapp%20CIV%200607/4.%20Frane.pdf>





## La pietra di Bismantova



« Vassi in Sanleo e discendesi in Noli,  
montasi su Bismantova in cacume  
con esso i piè; ma qui convien ch'om voli;  
dico con l'ale snelle e con le piume  
del gran disio, di retro a quel condotto  
che speranza mi dava e facea lume »

(Dante, Purgatorio, canto IV, vv.25-30)

ize e tecnologie  
Chiara Turrini -

## Frane per colamento (flows)

Movimento distribuito in maniera continua nella massa spostata, con superfici di taglio multiple e temporanee.

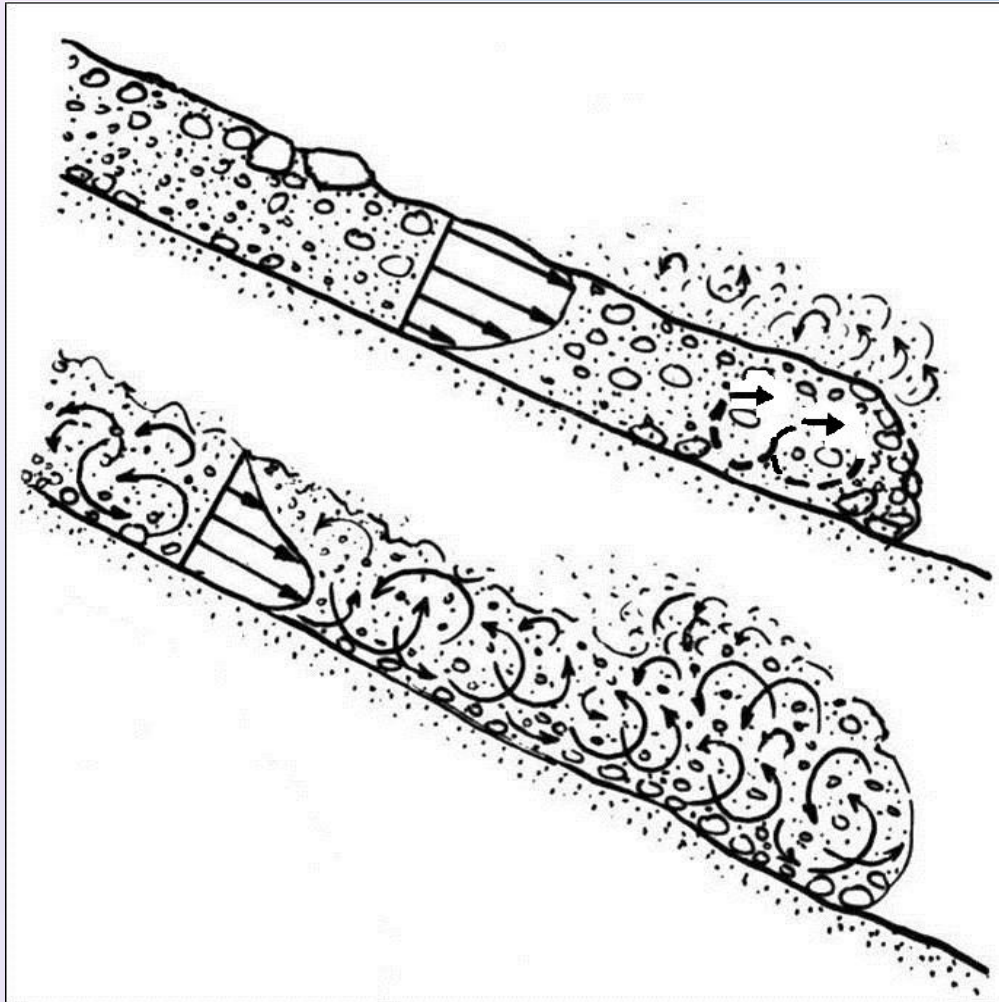
**Frane per colamento in roccia** (flows in bedrock): fenomeni lenti, continui, più o meno costanti nel tempo, simili a movimento di un fluido viscoso (“creep”) (Deformazioni gravitative profonde di versante – DGPV)

**Frane per colamento in terreni e in detriti** (earth flows, debris flows): caratterizzate da contenuti d’acqua e velocità estremamente variabili (colamenti di terreni) oppure fenomeni rapidi, innescati da precipitazioni intense e che si muovono per lunghe distanze entro aste torrentizie (colate di detrito incanalate)

<http://freedom.dicea.unifi.it/massimo.rinaldi/Geoapp%20CIV%200607/4.%20Frane.pdf> modificato

Sono caratteristici di terre ed ammassi detritici, avvengono lungo superfici non visibili che si attivano durante il movimento stesso. Sono generalmente da ricondurre all'elevato contenuto d'acqua con superamento del limite di liquidità (LL) nel caso di terreni argillosi

[http://geoappunti.altervista.org/Geomorfologia\\_Applicata/Frane/4-Pericolo%20e%20classificazione%20delle%20Frane.pdf](http://geoappunti.altervista.org/Geomorfologia_Applicata/Frane/4-Pericolo%20e%20classificazione%20delle%20Frane.pdf) modificato



### Flow with plastic behaviour

Remoulded mass, non-turbulent, but possibly with transient large-scale turbulent churning and entrained turbidity current at upper boundary (*liquefied flow / debris flow*)

### Flow with fluidal behaviour

Fully turbulent (*turbidity current / lahar*)

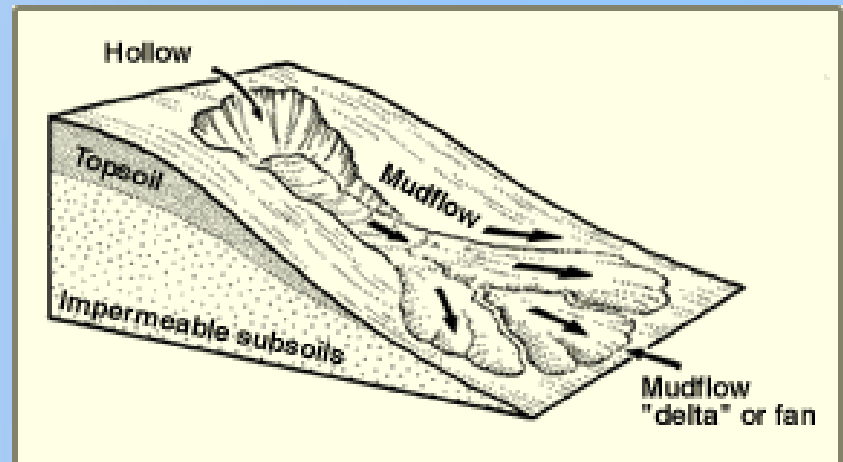




Mudflow (colata di fango)

Earthflow (colata di terra)

Occurs on steep slopes over  $10^\circ$ . It is a rapid sudden movement which occurs after periods of heavy rain. When there is not enough vegetation to hold the soil in place, saturated soil flows over impermeable sub soil, causing great devastation and endangering lives.





## Esempi di colate di terra (earth flow)



*La frana di Sarno, Irpinia, 1998*





<http://epod.usra.edu/blog/2013/08/mudflow.html>





## Frana del Tèssina

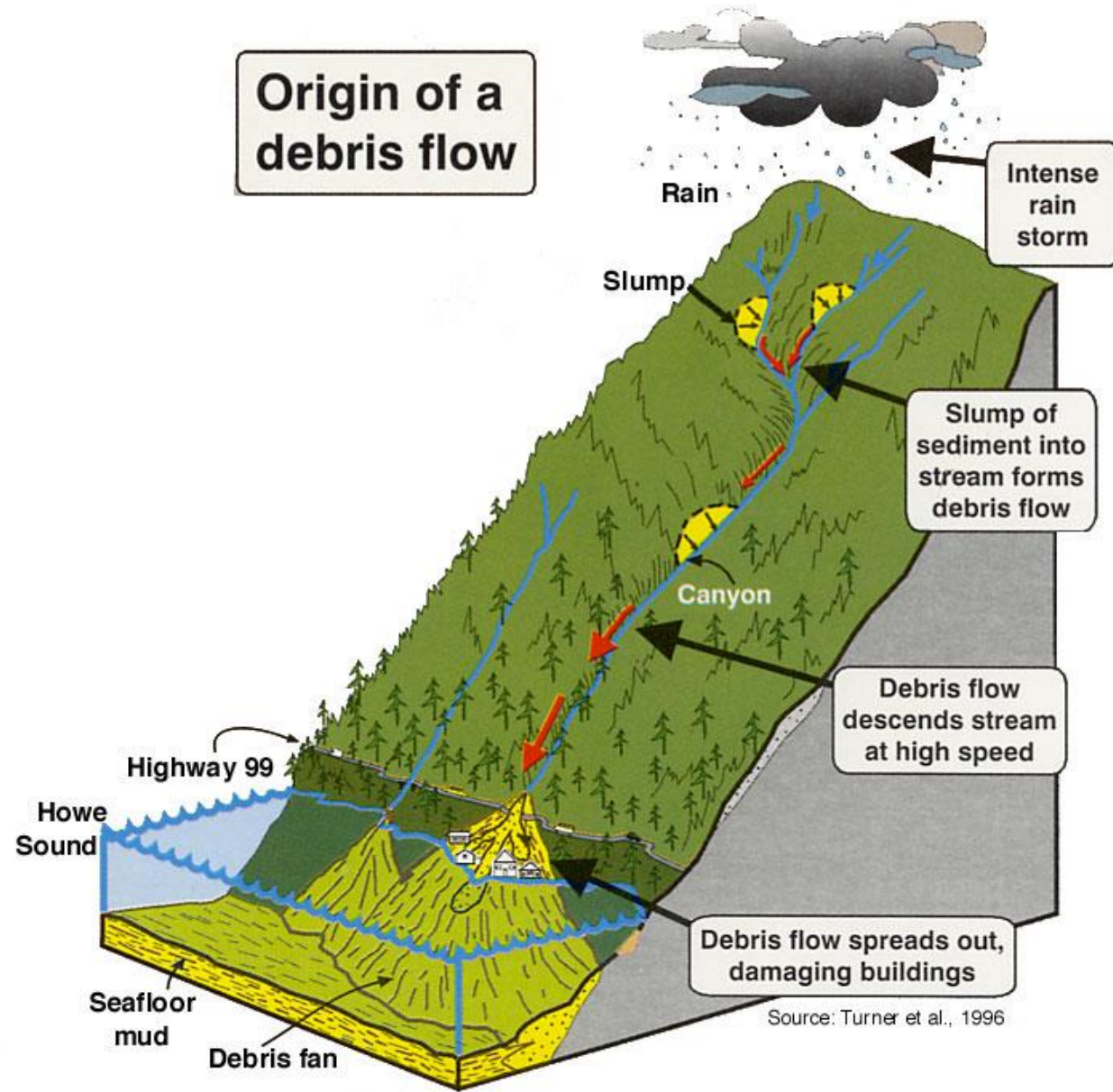


<https://www.youtube.com/watch?v=VMJiibdVYjE>



## Debris flow

Le **colate di detrito** (debris flow) sono una mistura di acqua, aria e detrito delle dimensioni variabili dall'argilla ai massi che scendono lungo i versanti a fortissima velocità, travolgendo tutto quello che trovano sul loro cammino.

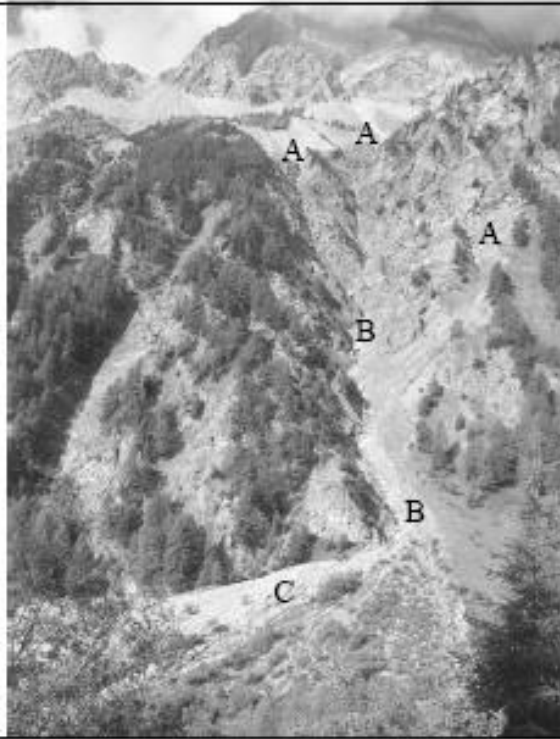




Suddivisione di una colata  
detritica in tre parti:

- A) zona di origine (o sorgente, o testata);
- B) zona (o canale) di trasporto;
- C) zona di deposito (o accumulo – conoide detritico-alluvionale).

*[da Tropeano e Turconi, 1999]*



[http://www.youtube.com/watch?v=8mKC3eID074  
&feature=related](http://www.youtube.com/watch?v=8mKC3eID074&feature=related)

debris flow | Clear Creek County, Colorado |  
Spring 2003

[http://www.youtube.com/watch?v=k3W-wDIR-  
Os&feature=related](http://www.youtube.com/watch?v=k3W-wDIR-Os&feature=related)

debris flow event | 25 December 2003 | Devore,  
California





Esempi di colate di detrito





## Briglie rinforzate per la difesa dai debris flow

Elementi di Geologia - Scienze e tecnologie  
per i Beni Culturali - Maria Chiara Turrini -  
Università degli Studi di Ferrara

# Frane complesse

[http://higheredbcs.wiley.com/legacy/college/strahler/0471238007/animations/ch15\\_animations/animation1.html](http://higheredbcs.wiley.com/legacy/college/strahler/0471238007/animations/ch15_animations/animation1.html)

<https://www.youtube.com/watch?v=mL4XBpEg97I>

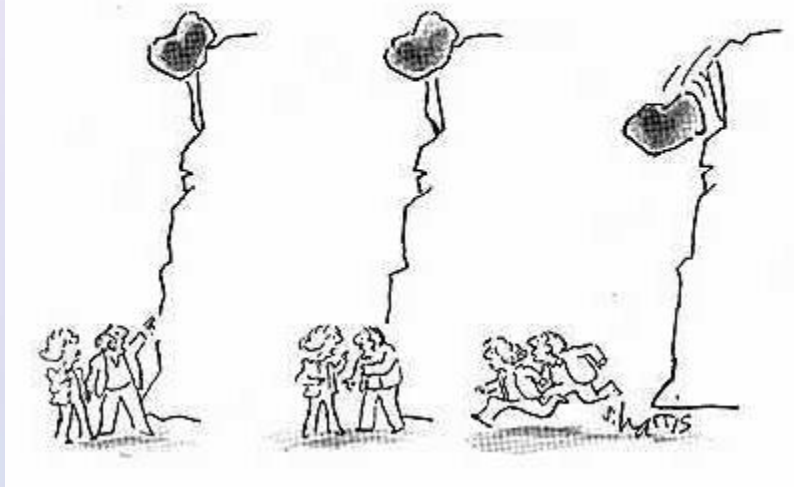


© Original Artist

Reproduction rights obtainable from  
www.CartoonStock.com

ASSESSMENT

RISK  
MANAGEMENT



## Risk Perception / Risk Assessment / Risk Management.



## 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://it.wikipedia.org/wiki/Disastro_del_Vajont)

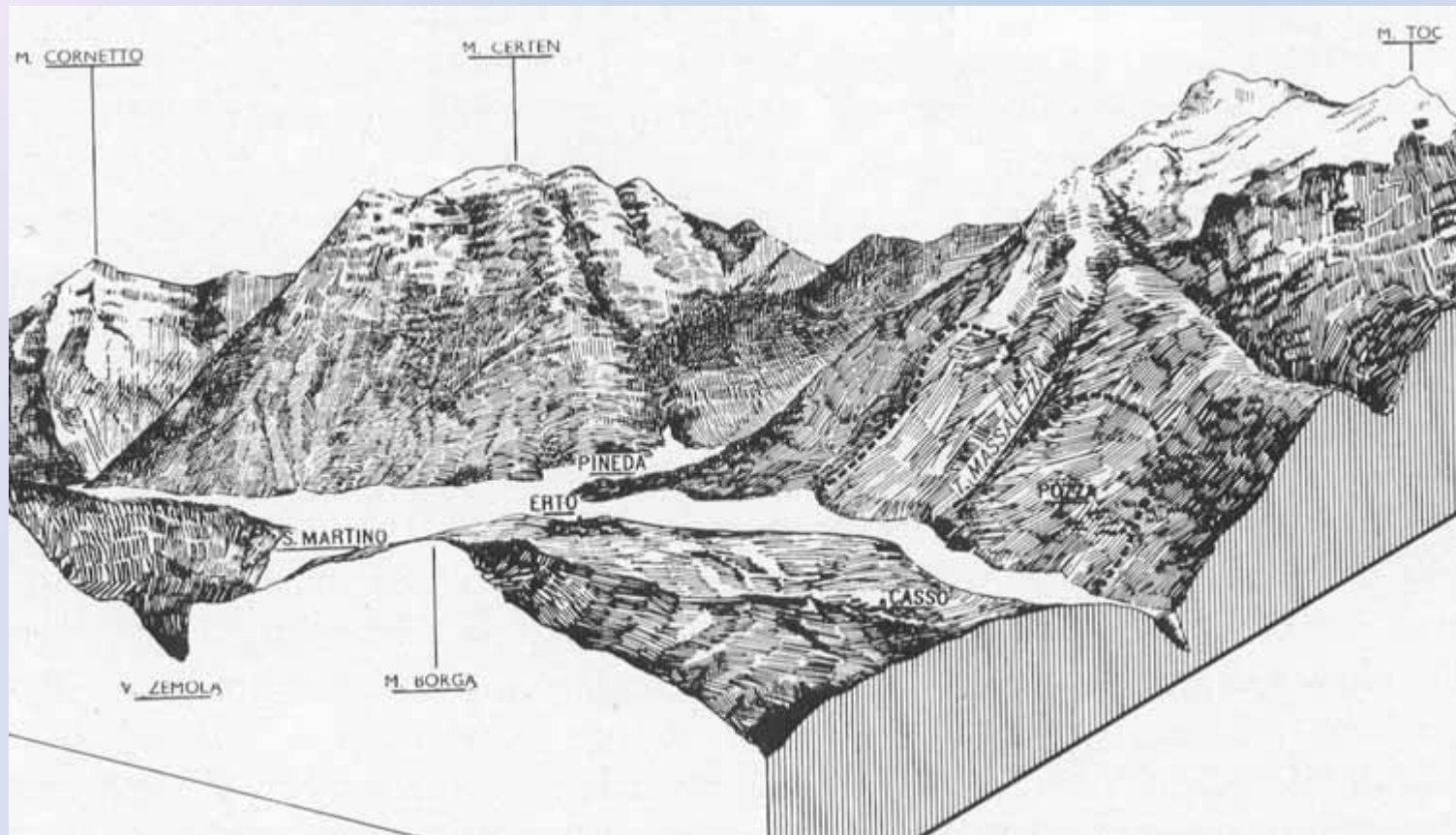
<http://www.ilgiornaledellaprotezionecivile.it/index.html?pg=1&idart=7188>





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.

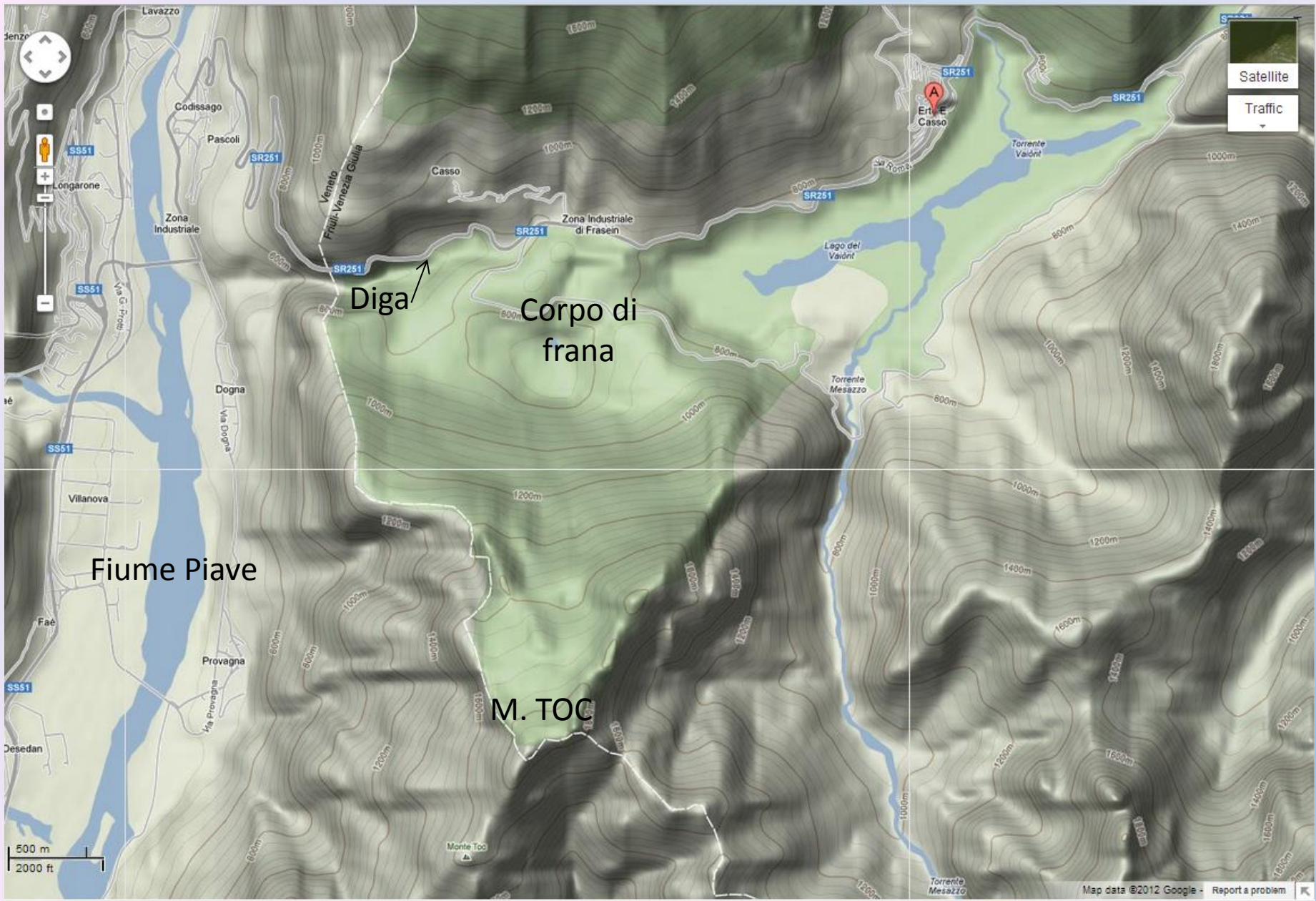
Il gigantesco corpo di frana prese in pochi istanti il posto occupato prima dall'acqua del lago creando due immani ondate di acqua e detriti lungo la valle ad est, dove spazzò via gli abitati lungo le rive del lago ma perse rapidamente energia grazie alla maggiore ampiezza della vallata del Vajont, e 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>

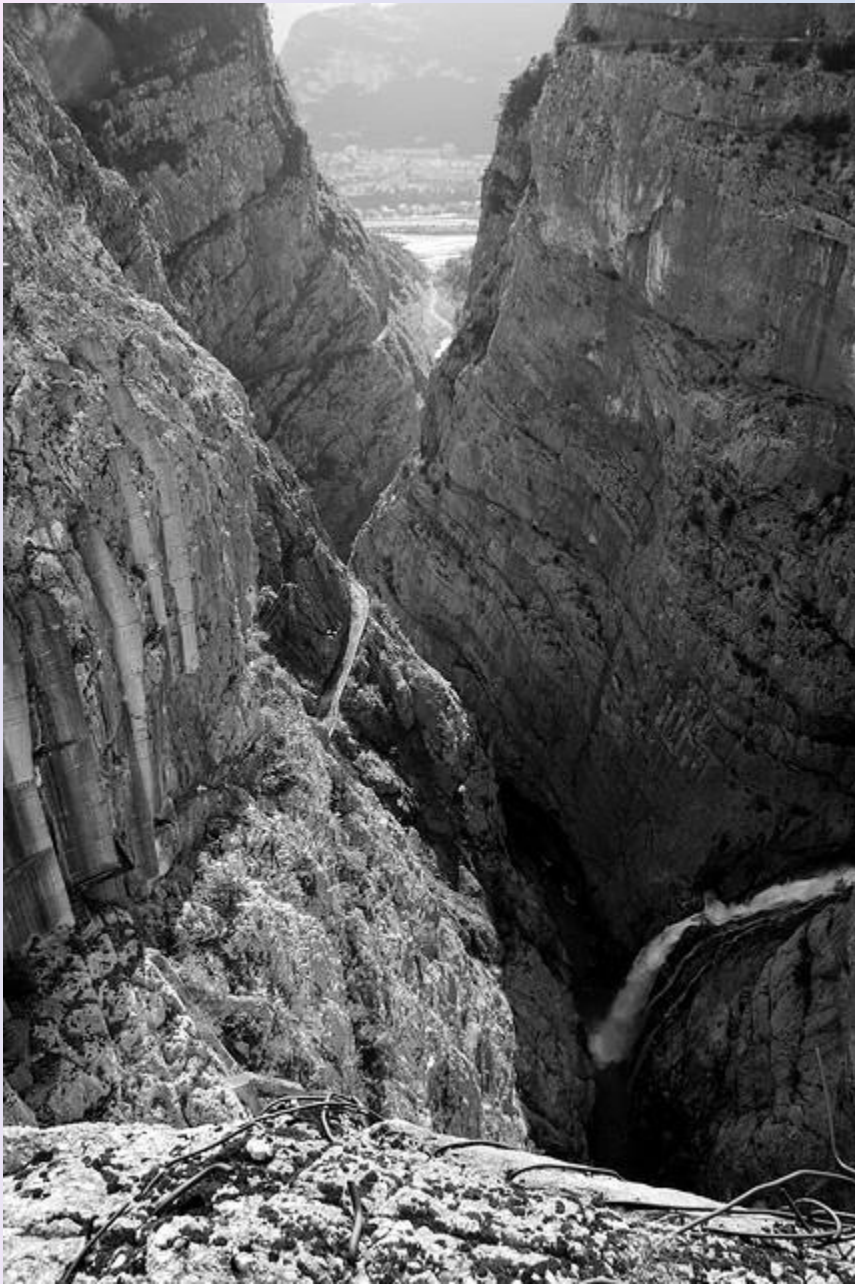












La stretta gola a valle della diga, con sullo sfondo la valle del Piave e il paese di Longarone ricostruito.

Alla base della foto si vede l'orlo della diga parzialmente distrutto dall'ondata. A sinistra sono ben visibili 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.



Panorama del lago del Vajont (primavera del 1962)

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





Bacino del Vajont prima della frana



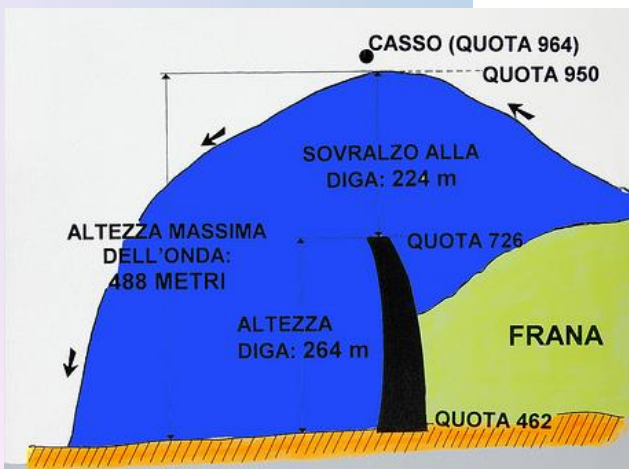
Bacino del Vajont dopo la frana

<http://leguarag.xoom.it/leguarag/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.





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



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



Panorama di LONGARONE col fiume Piave

<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://it.wikipedia.org/wiki/Disastro_del_Vajont)

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

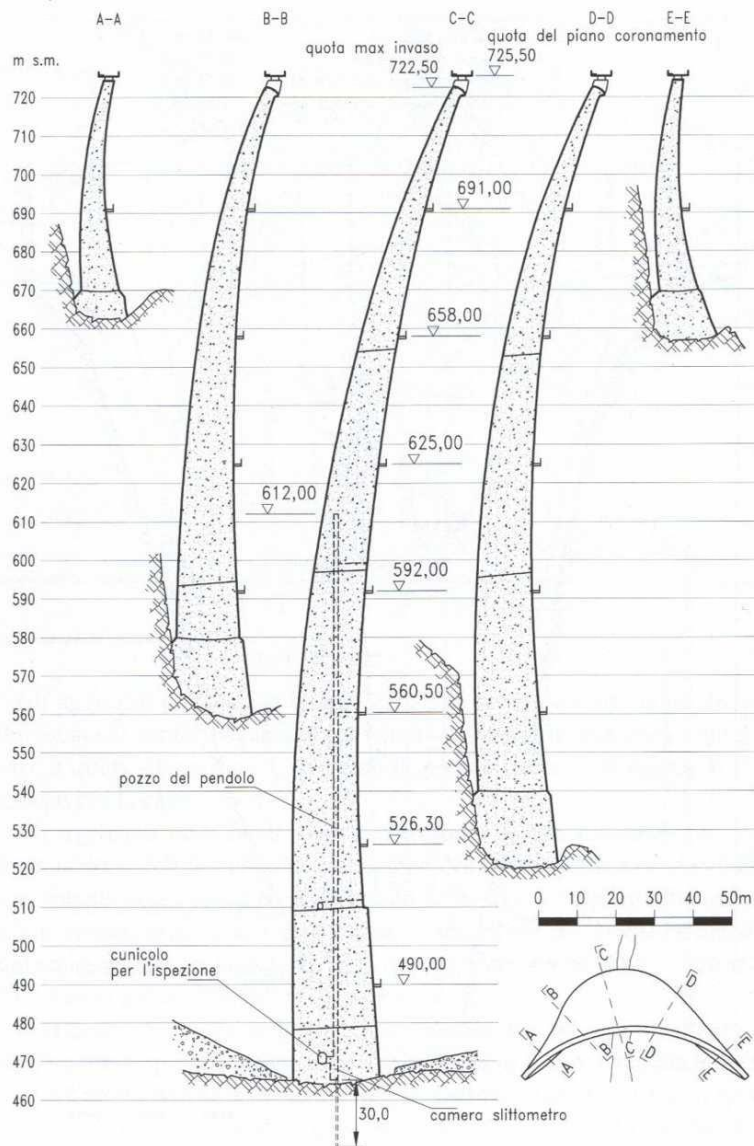
Il bacino era creato dalla diga del Vajont, di tipo a doppio arco, la sua altezza era ed è di 264 metri (la quinta diga più alta del mondo) con un volume di 360.000 metri cubi e con un bacino massimo di 168,715 milioni di metri cubi. All'epoca della sua costruzione era la diga più alta al mondo.

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>





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

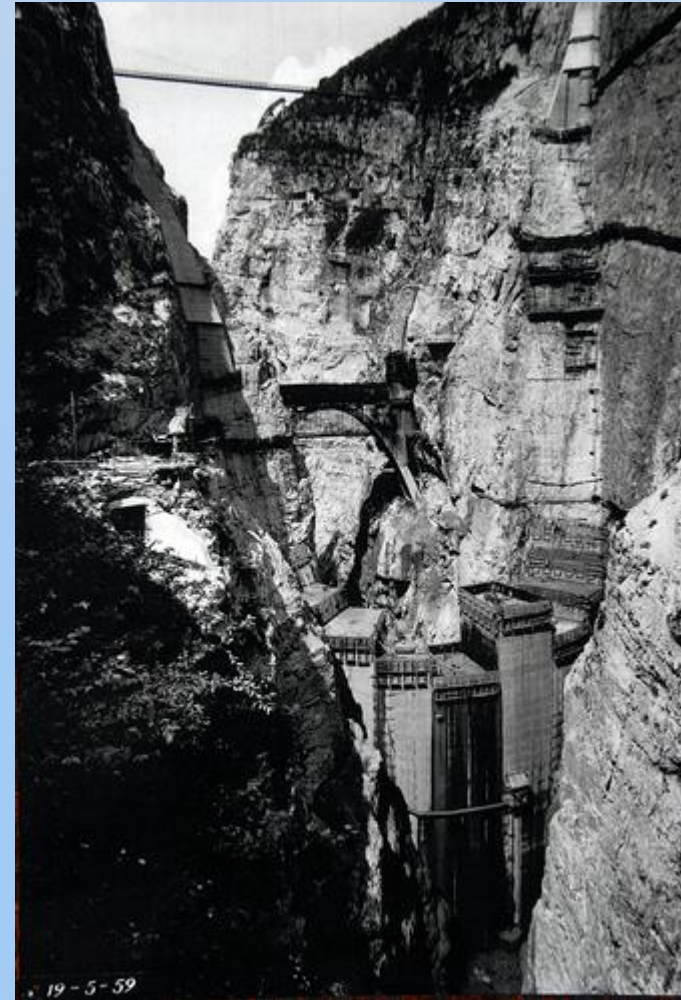
In questa immagine vediamo le sezioni della diga del Vajont. Si nota chiaramente come siano differenti tra loro.

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.

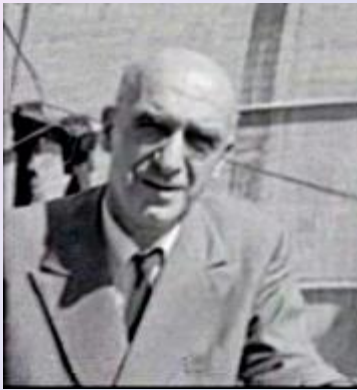
A titolo di esempio della dimensione dei conti in gioco, lo studio della stabilità della diga del Vajont, nel 1955 era sviluppato con un sistema lineare di circa 400 equazioni.



Diga del Vajont in costruzione



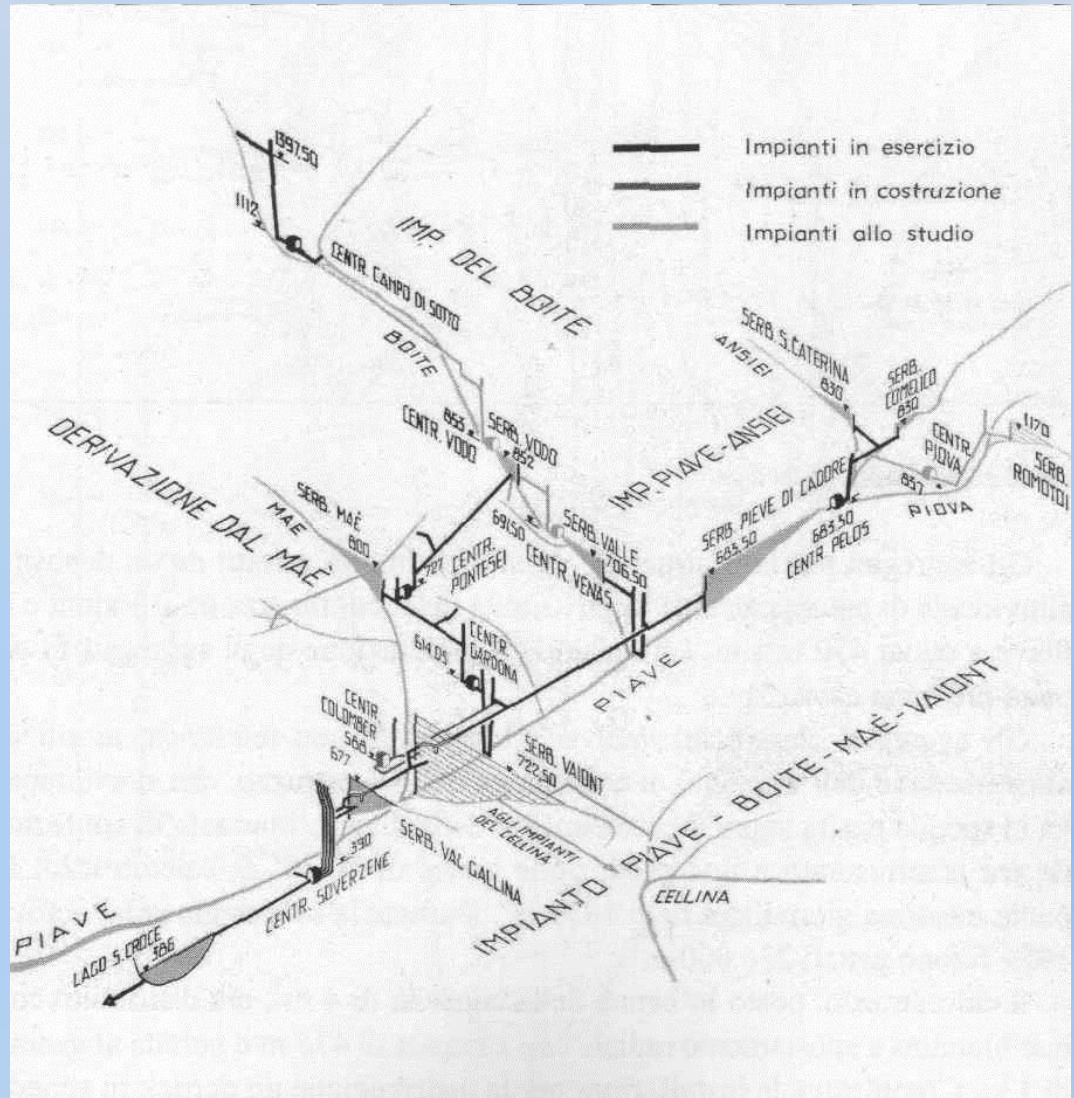




Carlo Semenza, progettista della diga e ideatore della "galleria di sorpasso o bypass" sul versante destro della valle del Vajont

## 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



Tratto dal libro:

“La storia del Vajont”  
di Edoardo Semenza

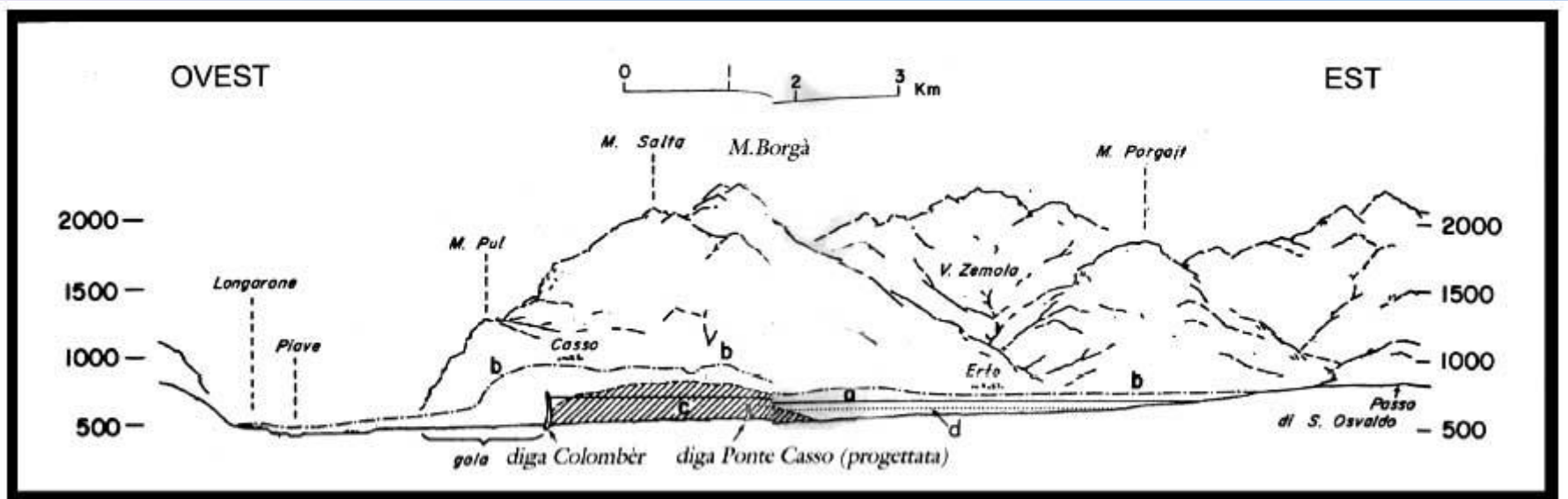
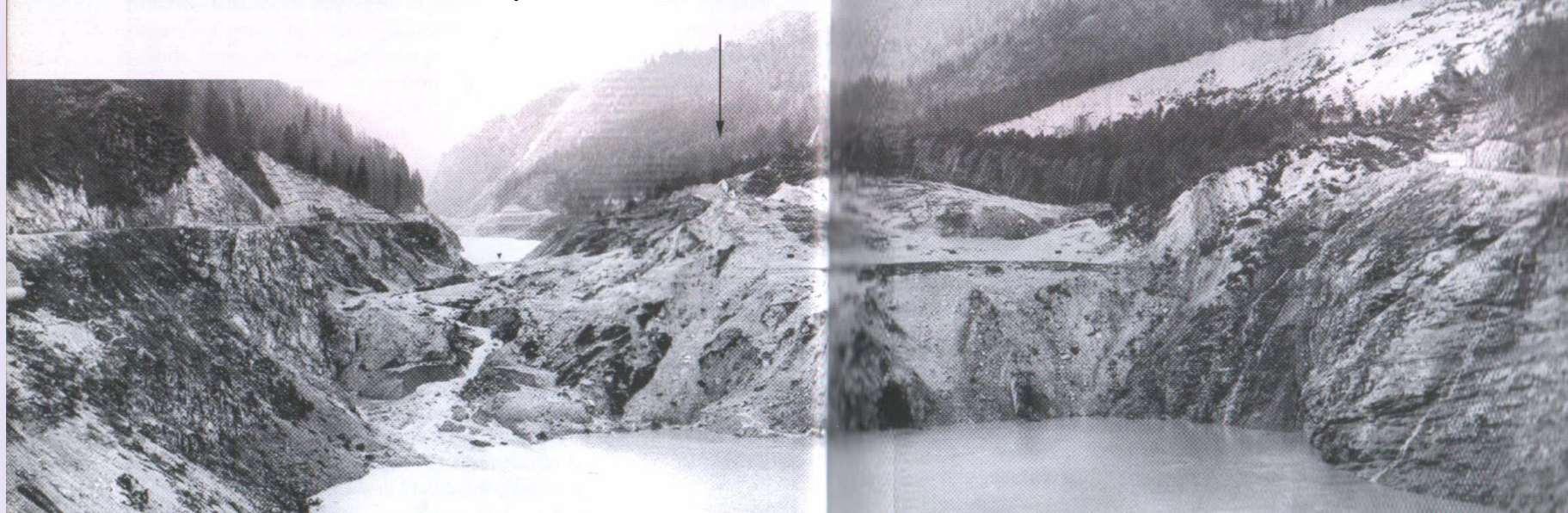


Figura n°2. Sezione della valle del Vajont con la posizione della diga nei due progetti.



## Frana di Pontesei (22 marzo 1959)

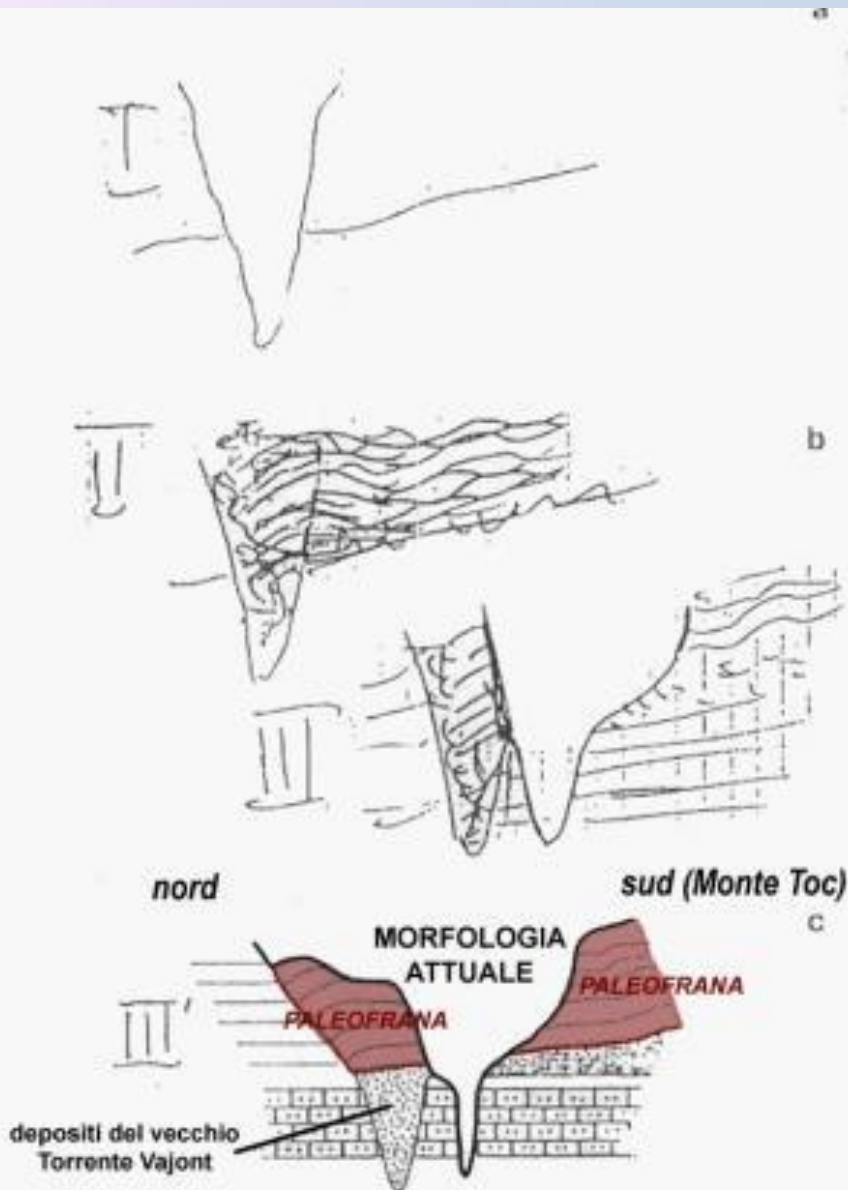
Dal libro “Storia del Vaiont” di E. Semenza  
“Fu come se suonasse un campanello di allarme”



.....

“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”.

Edoardo 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)

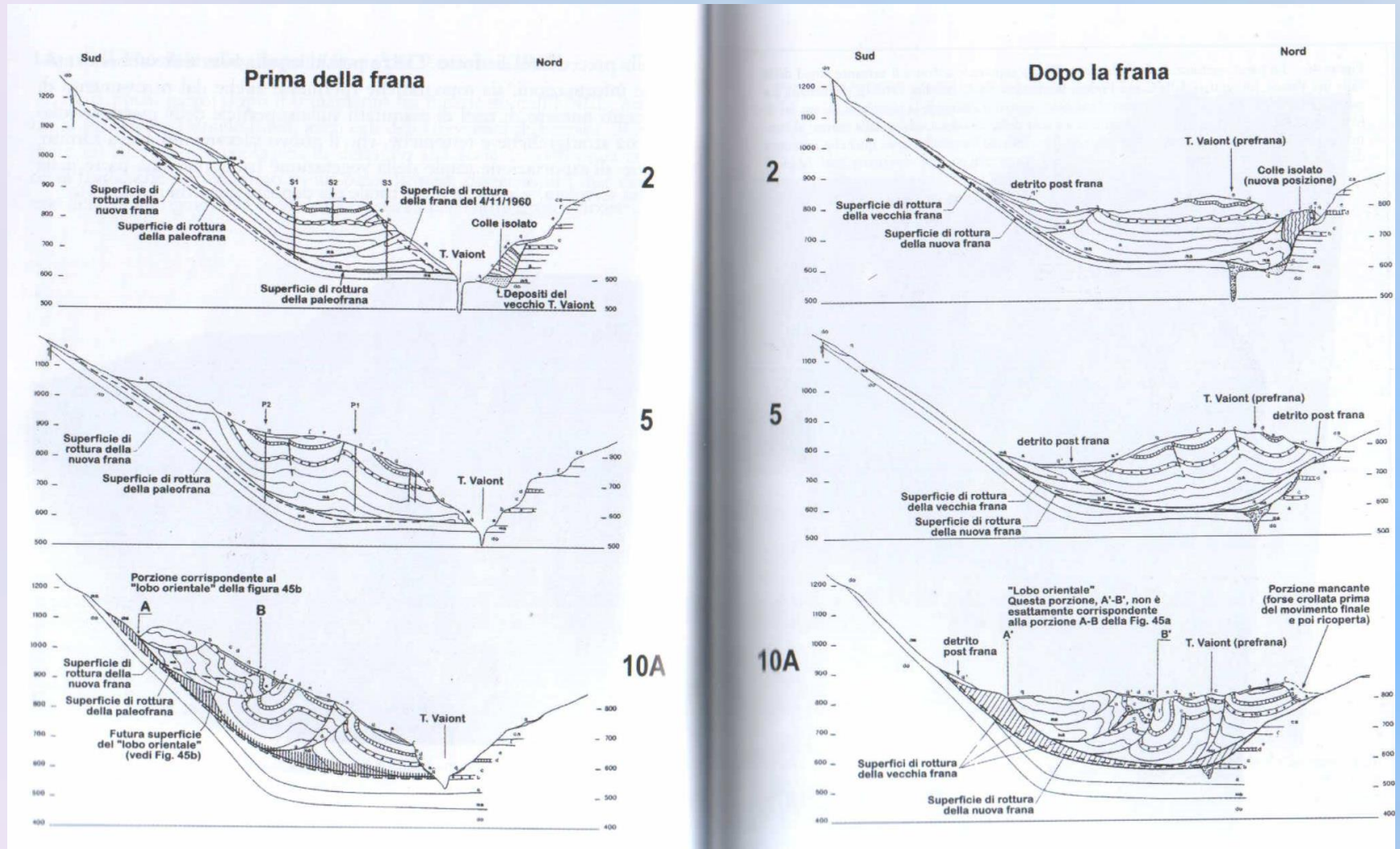


Figura 2

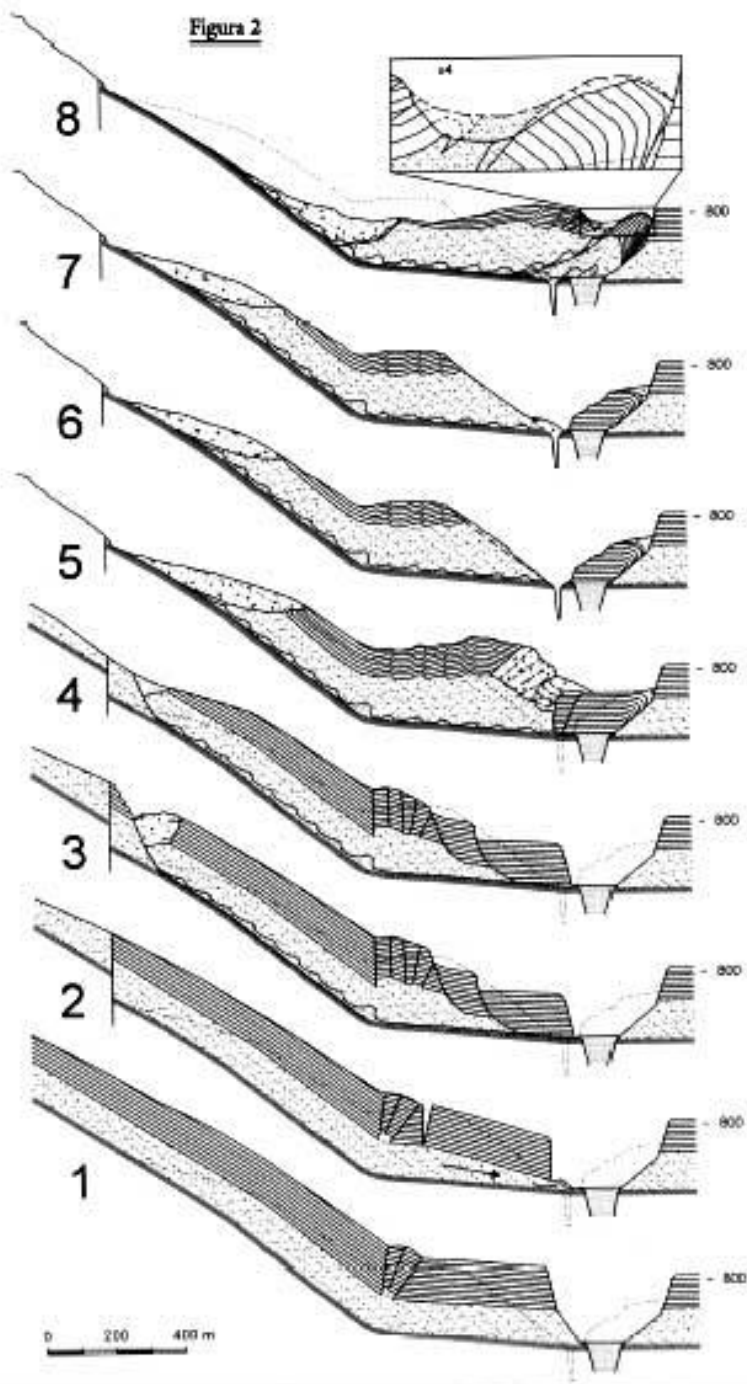


Figura 2.

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

*Parte bianca inferiore* = Calcare 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

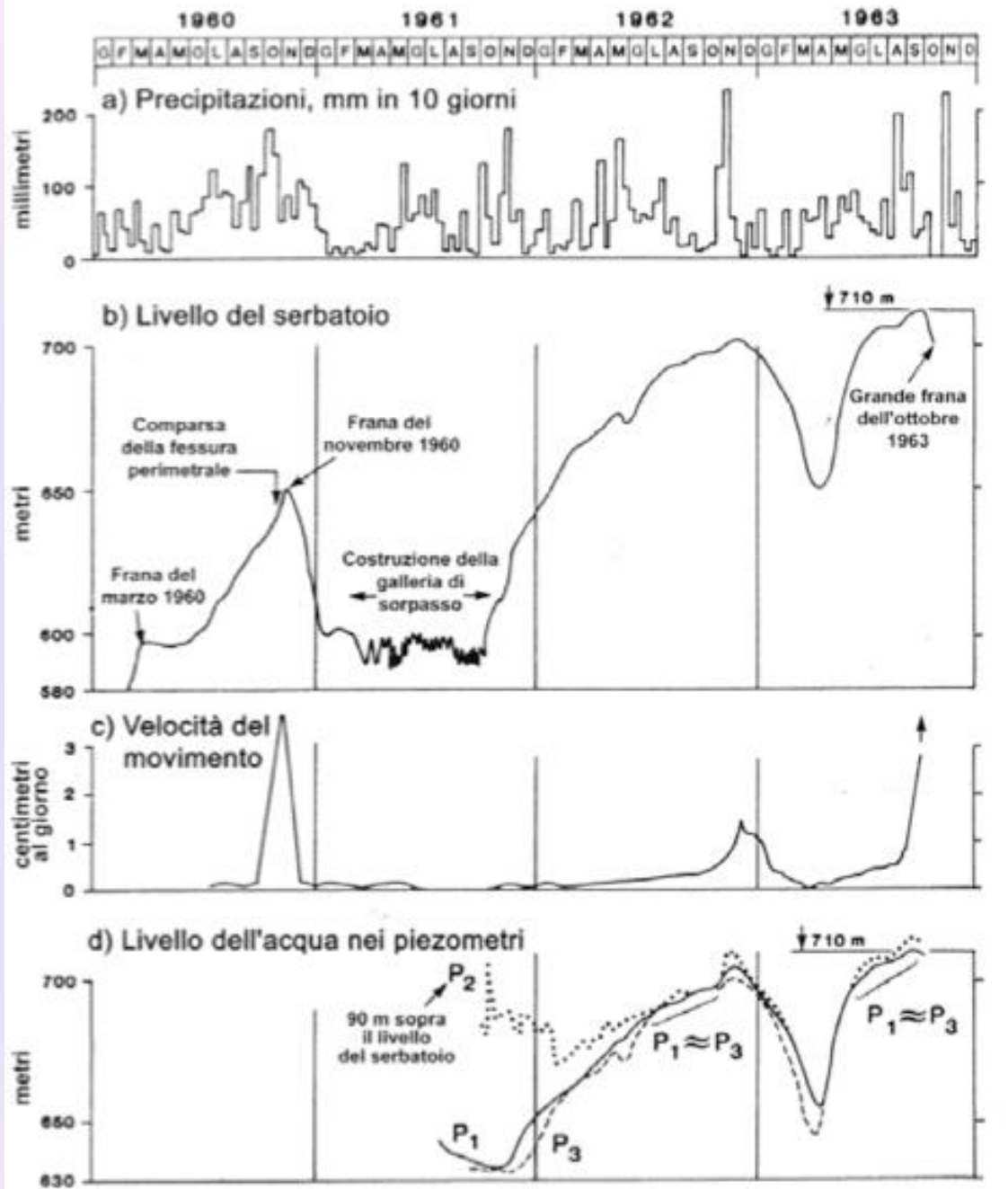


4 novembre 1960 frana di circa 700.000 mc sul fronte della grande paleofrana



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



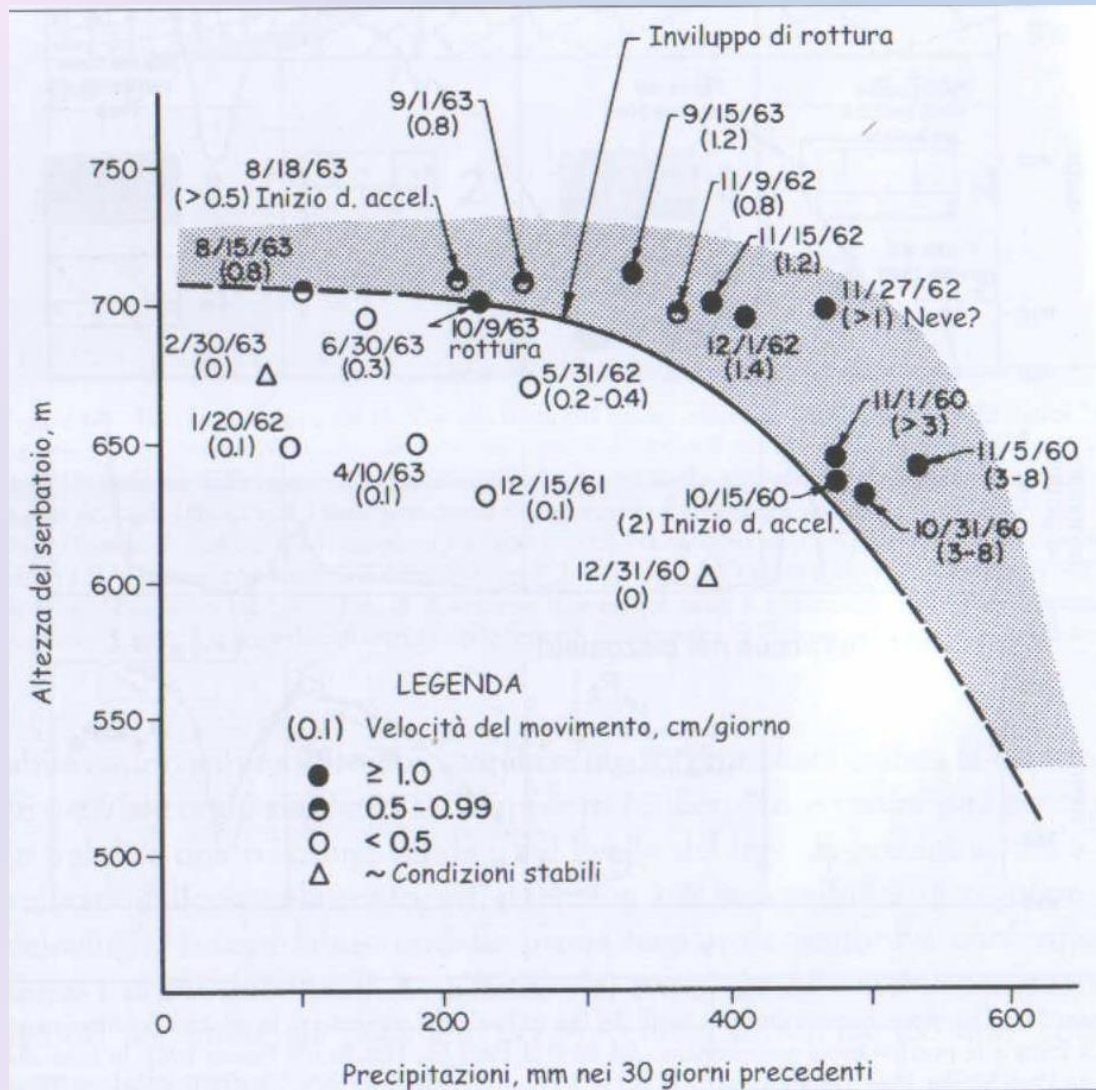


Tratto dal libro:

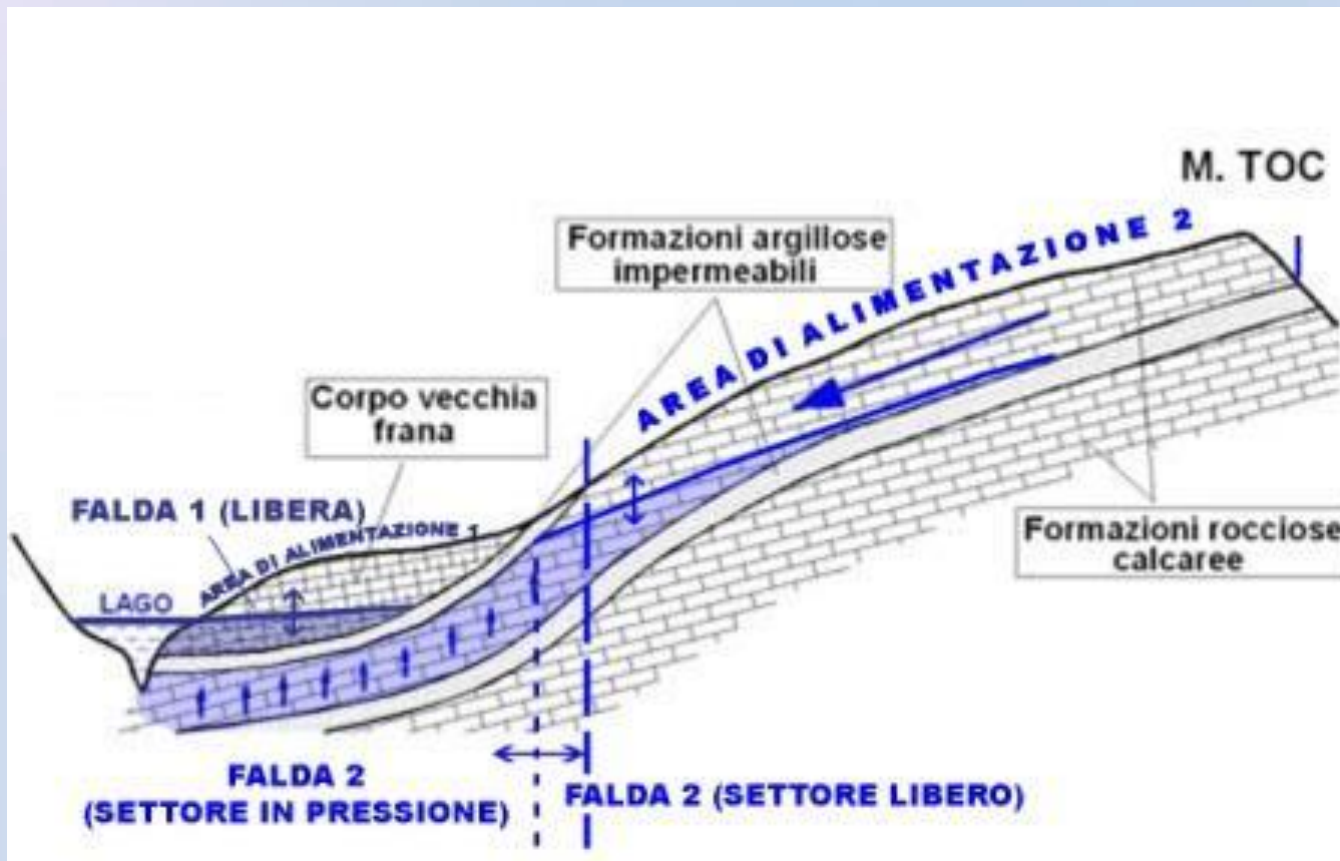
“La storia del Vajont”  
di Edoardo Semenza

Tratto dal libro:

“La storia del Vajont”  
di Edoardo Semenza







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

<https://www.youtube.com/watch?v=IY78pbrJrmw>