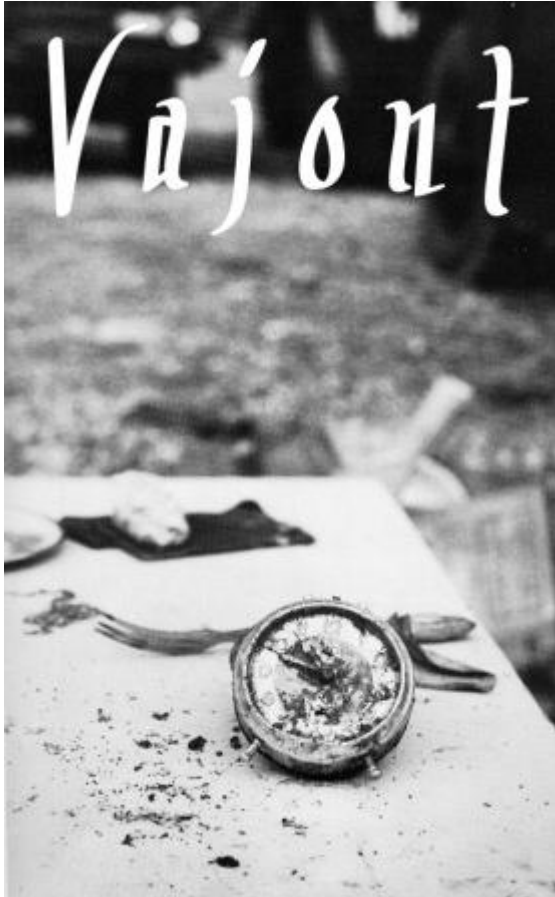


VAJONT.

LE CAUSE DELLA FRANA DEL MONTE TOC DEL 9 OTTOBRE 1963

di Giovanni Maria Di Buduo*



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 (fig. 1).



Fig. 1 – La diga è alta circa 260 metri

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 (fig. 2) lungo la valle ad est (cioè a monte della frana), 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 (fig. 3), 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 – fig 4, Rivalta, Pirago, Faè, Villanova).

Una incredibile combinazione di responsabilità umane e di fattori naturali ha portato ad una delle più grandi catastrofi patite dal popolo italiano nella seconda metà del secolo scorso (1910 vittime). L'evolversi degli eventi che hanno portato alla sciagura e gli avvenimenti ad essa successivi sono ampiamente documentati in una lunga serie di pubblicazioni (anche recenti) e di siti web facilmente consultabili (l'elenco dei riferimenti bibliografici e dei links è riportato in calce); nel presente articolo saranno esposti in maniera sintetica i fattori naturali ed antropici che hanno portato all'innescarsi del movimento franoso del 9 ottobre 1963.

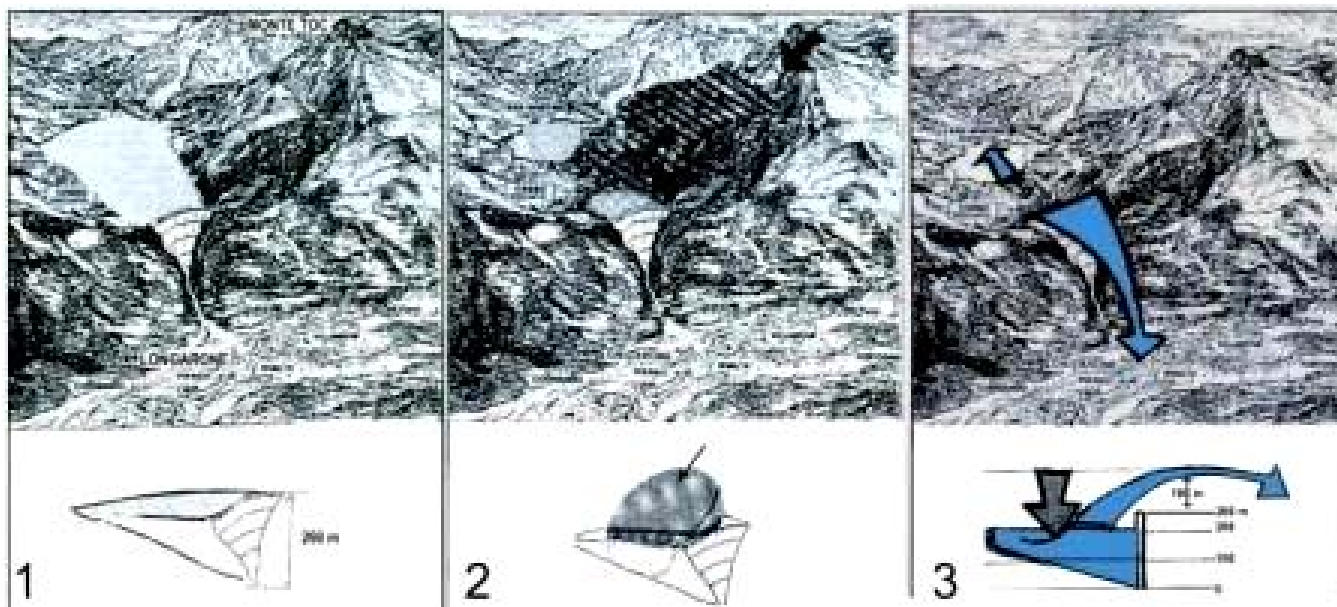


Fig. 2 – La dinamica dell'evento. [Hendron e Patton, 1985, in base ai dati di Muller, 1964- immagine modificata].



Fig. 3 – La gola del Vajont a valle della diga; sullo sfondo: Longarone.

La diga è stata costruita in una zona geologicamente inadatta ad ospitare un invaso artificiale: l'instabilità dei versanti dell'invaso era tale da non permetterne la realizzazione. I lavori di costruzione della diga sono iniziati nel settembre 1956 e sono stati completati nell'agosto 1960: all'epoca lo stato delle conoscenze delle discipline geologiche era ancora "antiquato", le indagini geologiche a corredo dei progetti di costruzione delle dighe riguardavano principalmente le "spalle" del manufatto (cioè le rocce su cui poggia lateralmente l'opera e su cui si scarica il peso dell'acqua) e non la stabilità dei versanti dell'invaso artificiale; inoltre le risorse economiche destinate all'aspetto geologico per il progetto della diga del Vajont erano particolarmente limitate, e le indagini preliminari furono condotte con approssimazione e accademicità. L'insieme di questi fattori comportò uno studio geologico dell'area propedeutico alla realizzazione della diga qualitativamente e quantitativamente non adeguato all'opera, e, assieme agli interessi prettamente economici dei costruttori, condusse all'avvio dei lavori.

La reale situazione si scoprì man mano che veniva costruita la diga e successivamente realizzato l'invaso. Ripercorrendo brevemente gli eventi succedutesi nel periodo 1959-1963 (Semenza, 2005) si può capire come la catastrofe poteva essere evitata se chi di dovere avesse preso nella dovuta considerazione le osservazioni dei geologi che furono incaricati di nuove indagini dopo l'inizio della

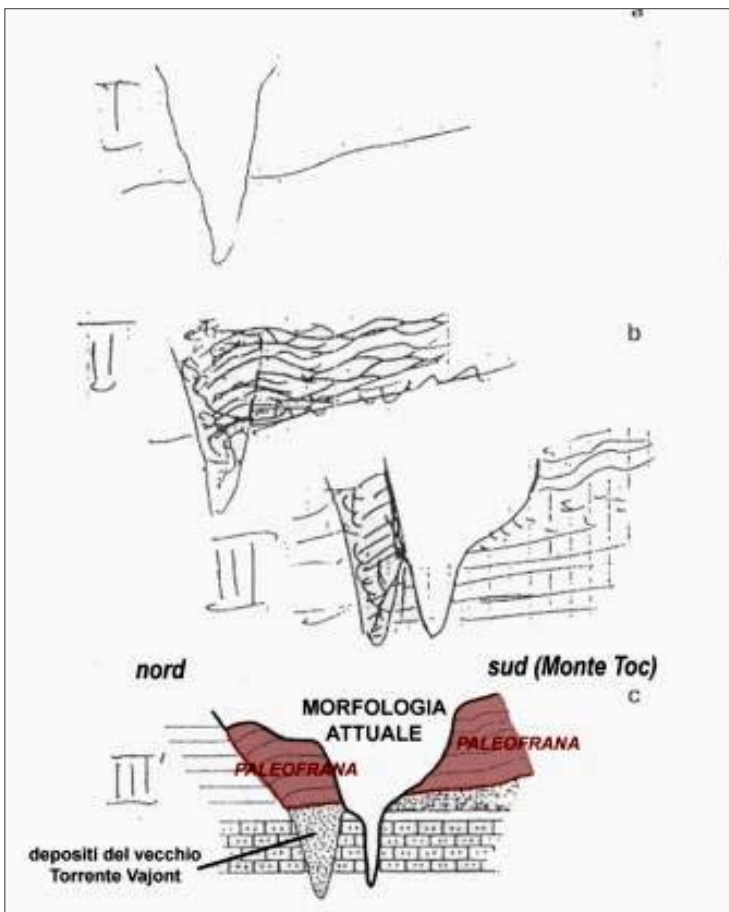
costruzione della diga (il prof. Caloi, l'austriaco Leopold Muller, il dott. Franco Giudici e il figlio del progettista della diga, Edoardo Semenza), e gli eventi premonitori che si verificarono prima della grande frana.



Fig. 4 – Longarone prima e dopo il 9 ottobre 1963.

RILEVAMENTO GEOLOGICO, 1959-1960

Una campagna di rilevamento geologico di dettaglio portò all'identificazione di alcune frane antiche, di cui una fu riconosciuta come potenzialmente pericolosa: essa era situata sul versante sinistro della valle tra le quote di 600 e 850 m, appena a monte della diga, mentre sul versante opposto se ne individuò un lembo separato (Colle Isolato); la frana aveva quindi sbarrato nel passato la valle del torrente Vajont, che successivamente l'aveva incisa approfondendo di nuovo il proprio letto e dividendola così in due parti ineguali (fig. 5).



Il riconoscimento di tale paleofrana e la conseguente opinione che potesse rimettersi in movimento in occasione dell'invaso del bacino portarono a programmare una campagna di indagini che includevano sondaggi geognostici, rilievi sismici e il monitoraggio dei movimenti superficiali.

La vera estensione della paleofrana non era comunque stata ancora scoperta: la zona di distacco partiva in realtà da quota 1200 e non dalla quota 850 del Pian della Pozza (la zona pianeggiante al centro del profilo in alto della fig. 6), quindi il volume stimato era nettamente inferiore a quello reale.

Fig. 5 – 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].

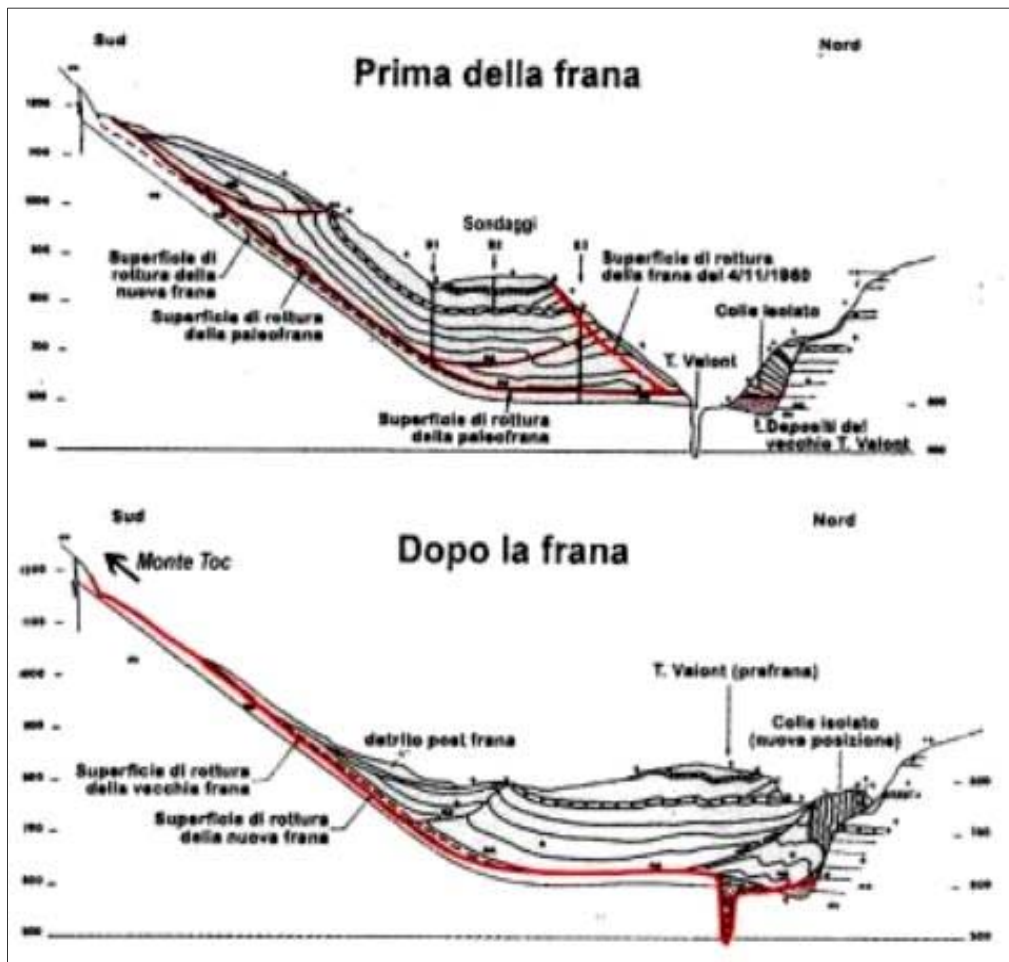


Fig. 6 – Profilo della valle del Vajont poco a monte della diga, prima e dopo l'evento (il punto di vista è opposto rispetto ai profili in fig. 5). [D.Rossi, E. Semenza - immagine modificata].

LA PRIMA FRANA, marzo 1960

Nel marzo 1960, quando il livello dell'invaso raggiunse quota 590 m una parte del fronte settentrionale della paleofrana scivolò in acqua. Tre mesi più tardi, quando il livello dell'invaso superò quota 600 m, nuovi movimenti in massa furono osservati intorno al lago.

Per individuare la profondità e l'andamento della superficie di rottura della paleofrana furono eseguiti in vano tre sondaggi (fig. 6) e quindi si capì che tale superficie si trovava ad una profondità più elevata di quanto ipotizzato prima, e che doveva emergere a monte del Pian della Pozza, in un'area che, vista la quota elevata, non era stata inclusa nel precedente rilevamento.

APERTURA DELLA FRATTURA PERIMETRALE, ottobre 1960

Alla fine di ottobre 1960 si aprì lungo il versante la frattura perimetrale della futura frana (fig. 7): lo sviluppo della frattura (circa 2,5 km di lunghezza, fino ad 1 metro circa di apertura) permise di delimitare con esattezza l'area instabile (una superficie di circa 2 chilometri quadrati), che corrispondeva alla paleofrana e confermò l'ipotesi che la realizzazione dell'invaso comportava la riattivazione di quest'ultima.



Fig. 7 – La frattura che delimitava la massa instabile si aprì sul terreno 3 anni prima dell'evento.

Dal sito www.vajont.net:

“La commistione politica, unita al potere pubblico e privato, stava manifestandosi in tutta la sua forza. I funzionari della Pubblica Amministrazione adottavano ormai differenti atteggiamenti a seconda delle problematiche da affrontare: contrastavano i problemi che intralciavano la normale esecuzione del piano e diventavano permissivi quando intravedevano condizioni economiche favorevoli al progetto.”

Il 4 novembre 1960, quando il livello dell'invaso si trovava a quota 650 m, circa 800'000 metri cubi di rocce e detriti franarono nel lago causando onde alte 2 metri, che sbattendo sul corpo diga raggiunsero un'altezza di 10 m (fig. 6, profilo in alto; fig. 8).



Fig. 8 – Panoramica e visione frontale della superficie di distacco della frana del 04/11/1960.

INTERVENTI PER RIDURRE LA VELOCITA' DEL MOVIMENTO (MULLER), 1961

Nel febbraio 1961 il geologo Muller propose le seguenti misure per diminuire la velocità del movimento (tutti gli interventi tranne il primo vennero giudicati tecnicamente irrealizzabili):

- diminuzione del livello dell'acqua nell'invaso in modo accuratamente controllato, poiché egli pensava che il movimento fosse dovuto principalmente alla saturazione di nuove porzioni di roccia, precedentemente non sature (il livello venne lentamente abbassato fino a quota 600 m ed effettivamente il movimento si arrestò);
- la riduzione dell'infiltrazione d'acqua meteorica nella massa in frana;
- la rimozione di molti milioni di metri cubi dalla massa stessa;
- la cementazione delle fratture;
- la costruzione di un muro di sostegno al piede della frana.

A scopo cautelativo venne costruito un tunnel di by-pass nel versante opposto alla frana, che sarebbe servito smaltire le acque a monte del corpo dell'eventuale frana che avesse diviso in due il lago (tale canale ha adempiuto al suo compito e tuttora drena le acque del lago alle spalle della frana).

Completata la costruzione del canale di by-pass, in ottobre 1961 il livello dell'invaso venne elevato fino a quota 700, quando il movimento

raggiunte una velocità di 15 millimetri al giorno.

Tale velocità era inferiore rispetto al precedente raggiungimento della stessa quota e oltretutto il movimento era iniziato col livello 100 m sopra rispetto alla fase d'invaso precedente; il livello venne abbassato lentamente a 650 m (marzo 1963) e il movimento della frana si arrestò.

Tali osservazioni parvero confermare l'ipotesi di Muller secondo cui il movimento fosse dovuto principalmente alla saturazione di nuove porzioni di roccia, e che quindi potesse essere tenuto sotto controllo tramite ripetute fasi di svasso e invaso a quota superiore.

9 OTTOBRE 1963

Superata quota 700 il movimento riprese a bassa velocità, ad ulteriore apparente conferma dell'ipotesi di Muller, ma alla fine di agosto 1963 con il livello a 710 m, la velocità aumentò bruscamente, fino a 2 cm al giorno. La successiva procedura di svasso non ottenne i risultati delle volte precedenti, anzi, la velocità aumentò fino al movimento catastrofico del 9 ottobre 1963.

Dal sito www.vajont.net:

"La corsa alla realizzazione pratica di un sicuro guadagno aveva fatto dimenticare, ai tecnici della SADE e allo stessa Commissione di Collaudo, le precauzioni necessarie. Limitare di qualche metro la capacità del bacino voleva dire ammortizzare in un tempo più lungo il costo del lavoro svolto, che per giunta era anche lievitato dalle varianti in corso d'opera necessarie per il rinforzo delle spalle della diga e soprattutto della galleria di sorpasso, scavata su roccia compatta: tutte opere non preventivate e con alti costi sostenuti. L'orgoglio di poter vantare la più alta diga del mondo, realizzata da specializzati tecnici italiani, unito ad una malaugurata corsa al profitto, offuscò le menti al punto da essere considerato più importante della vita di duemila persone."

La frana aveva un fronte di 2 chilometri, un'altezza media di oltre 150 metri ed una velocità stimata tra i 20 e i 25 m/s (70-90 km/h), e riuscì a risalire sul versante opposto fino a più di 160 metri (fig. 9); l'acqua carica di detriti superò la diga con un fronte alto circa 150 metri ed impiegò circa 4 minuti per raggiungere Longarone.

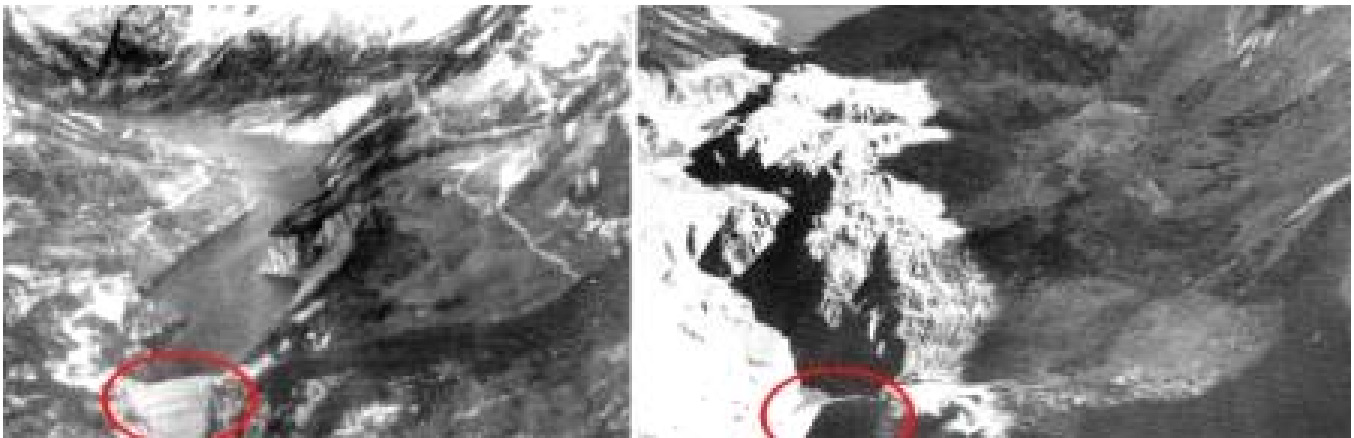


Fig. 9 – La valle del Vajont prima e dopo il 9 ottobre 1963; per avere un'idea sulle dimensioni del fenomeno si consideri che la larghezza della valle in corrispondenza della diga (nel cerchio rosso) è di circa 160 metri.

La principale causa dell'energia posseduta dall'onda d'acqua e detriti fu dovuta all'elevata velocità della frana, causata a sua volta, secondo le ultime ipotesi, dal riscaldamento dovuto all'attrito durante il movimento. Il calore prodotto era in quantità tale da aumentare la pressione dell'acqua negli interstizi dei materiali lungo il piano di rottura, con conseguente diminuzione delle pressioni efficaci (cioè quelle presenti lungo i punti di contatto delle particelle solide, di qualsiasi dimensione esse siano) che contribuiscono in larga parte alla resistenza a taglio.

Inoltre pare che un'alta velocità di deformazione comporti per i materiali un'elevata diminuzione di resistenza a taglio; quindi il superamento di un certo valore di velocità della massa avrebbe innescato un processo a catena di riduzione resistenza a taglio - aumento velocità, che in combinazione con il calore prodotto dalla frizione avrebbe provocato un movimento così veloce.

I fattori naturali e antropici che hanno caratterizzato la frana sono i seguenti:

1. Assetto strutturale
2. Presenza di un'estesa paleofrana
3. Presenza di una falda in pressione sotto la superficie di rottura
4. Realizzazione dell'invaso e variazioni del suo livello
5. Precipitazioni
6. Sismicità dell'area

1. Assetto strutturale

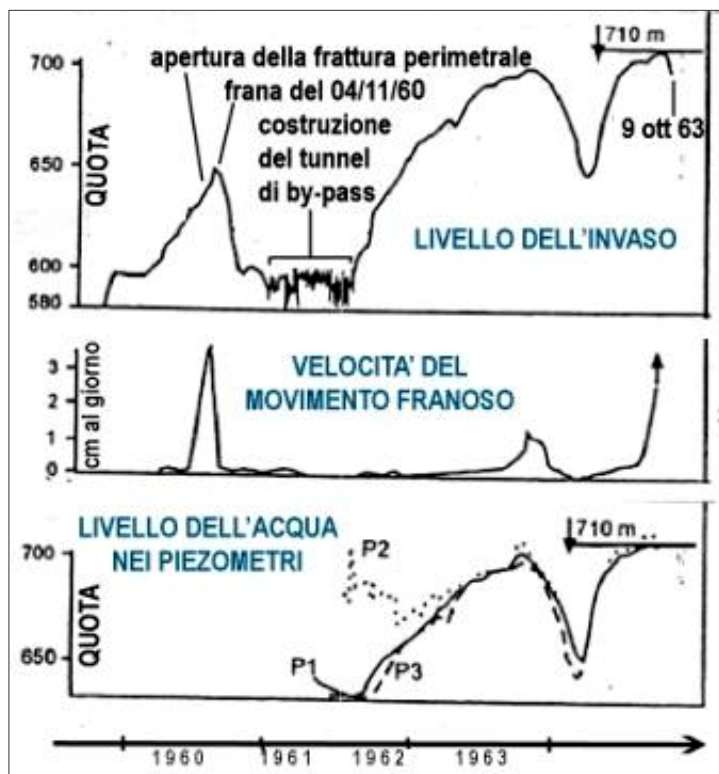
Il principale fattore predisponente della frana è rappresentato dall'assetto strutturale del versante settentrionale del Monte Toc, che presenta un andamento 'a franapoggio', cioè con gli strati rocciosi che hanno lo stesso verso di inclinazione del versante (fig. 11).

2. Presenza di un'estesa paleofrana

L'esistenza di una paleofrana implica che la pre-esistente superficie di rottura abbia dei valori di resistenza a taglio molto bassi. In dipendenza di vari fattori ogni ammasso roccioso ha una certa resistenza a taglio disponibile per contrastare le forze agenti (gravità e spinta dell'acqua); una volta che il fenomeno franoso è avvenuto (si verifica quando le forze agenti superano la resistenza) si raggiunge un nuovo equilibrio: la superficie di contatto tra la massa sottostante che non si è mossa e il corpo di frana sovrastante possiede comunque una certa resistenza, detta resistenza residua, ma essa ha valori ovviamente molto minori rispetto a quella che aveva prima dell'innescarsi della frana.

3. Presenza di una falda in pressione sotto la superficie di rottura

I livelli argillosi lungo la superficie di rottura, oltre a possedere una bassa resistenza residua a taglio, costituivano un livello impermeabile che divideva due falde sovrapposte; quella superiore era libera di oscillare il proprio livello, mentre quella inferiore era "imprigionata", ed alimentata dall'infiltrazione di acque meteoriche sul Monte Toc, da una certa quota in su (fig. 11). Tale assetto comportava che in seguito a periodi di intense precipitazioni l'acqua della falda inferiore potesse causare un notevole incremento di pressione verso l'alto sulla superficie di rottura (quando si perfora una falda imprigionata l'acqua risale anche fino in superficie, perché il suo livello è rappresentato all'incirca dalla quota più bassa del settore libero della falda).



Tra luglio e ottobre 1961 furono installati tre piezometri che misurarono la profondità della falda fino al 9 ottobre 1963 (fig. 10). I piezometri P1 e P3 erano posizionati nella falda libera, il cui andamento rifletteva quindi le oscillazioni del livello dell'invaso, mentre il piezometro P2 era posizionato nella formazione calcarea che ospitava la falda imprigionata, sotto la superficie di scorrimento della frana: esso registrava quindi un livello superiore rispetto a P1 e P3, ma fino a metà del 1962 quando l'entità delle deformazioni fu tale da tranciare il tubo, e P2 iniziò a misurare come gli altri il livello della falda superiore (all'epoca le implicazioni della presenza di questa falda imprigionata non furono opportunamente comprese).

Fig. 10 – Periodo 1960-1963: andamento delle variazioni di quota del livello di invaso, della velocità del movimento franoso e della quota del livello dell'acqua nei piezometri. Spiegazioni nel testo. [Hendron e Patton, 1985, in base ai dati di Muller, 1964- immagine modificata].

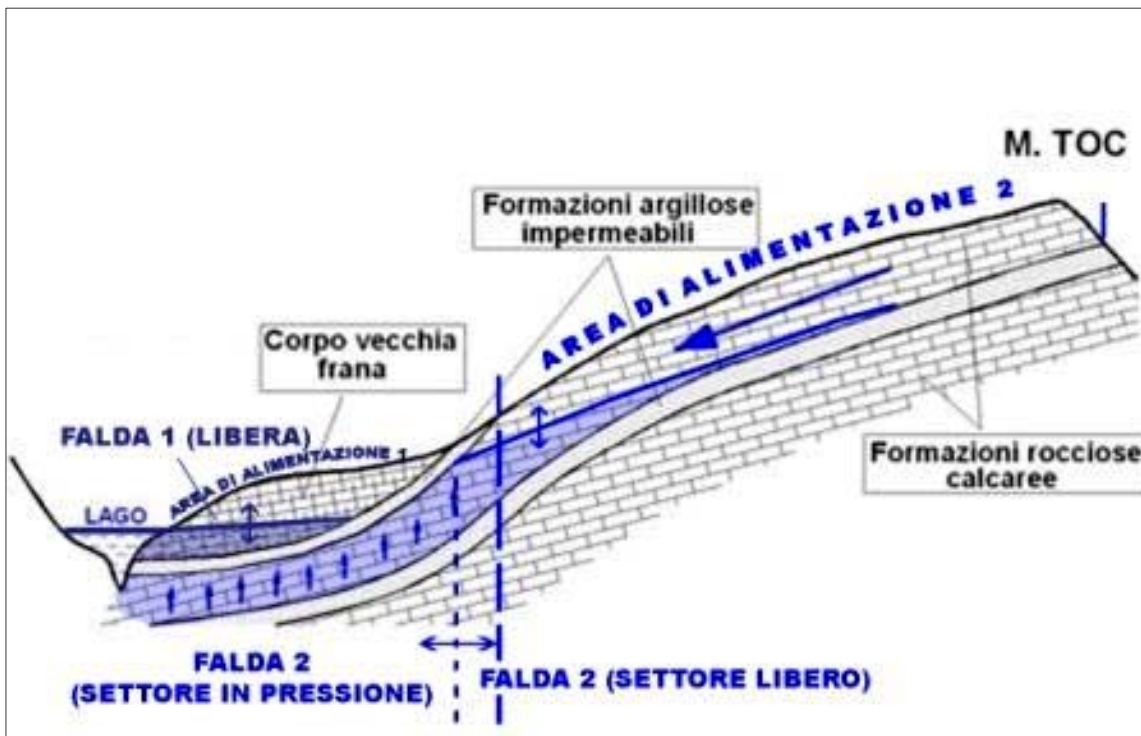


Fig. 11 – Profilo idrogeologico schematico antecedente il 9 ottobre 1963. Spiegazione nel testo. [Semenza e Ghirotti 2000- <http://www.molare.net/Itinerari/Vajont/vajont.htm-immagine modificata>].

4. Realizzazione dell'invaso e variazioni del suo livello

Il continuo susseguirsi di svassi ed invasi in un primo momento si ritenevano importanti per regolare il comportamento della frana, in quanto portavano ad una diminuzione del movimento franoso, ma in realtà non fecero che aggravare la situazione sottoponendo il versante a ripetuti regimi di flusso transitori che ne minarono ulteriormente la stabilità.

Inoltre la condizione di svasso rapido è la peggiore situazione che si possa verificare per l'equilibrio di un versante: semplificando, un versante sommerso è in equilibrio perché la spinta dell'acqua dell'invaso preme contro di esso bilanciando le forze di taglio agenti, ma quando viene abbassato rapidamente il livello dell'invaso, l'acqua all'interno del versante non diminuisce di pari passo, ma a seconda della permeabilità dei litotipi impiega un tempo più o meno lungo per abbassarsi (flusso transitorio, cioè variabile nel tempo) e raggiungere l'equilibrio con l'invaso (flusso stazionario, cioè costante nel tempo). Ciò comporta che la presenza di acqua nel versante ad un livello non più in equilibrio con l'esterno fa aumentare notevolmente l'entità delle forze di taglio agenti; se le forze agenti sono maggiori della resistenza disponibile nel versante si innesca un movimento franoso.

5. Precipitazioni

L'entità delle precipitazioni incideva direttamente sulla quantità d'acqua che si infiltrava nel versante, andando ad aumentare il livello nella falda superiore e la pressione nella falda imprigionata. E' interessante porre l'attenzione sulla correlazione eseguita tra gli eventi deformativi e di rottura con le precipitazioni (oscillazioni falda profonda) e la quota d'invaso (oscillazioni falda superficiale) (Hendron e Patton); dallo studio effettuato risulta che si avrebbe avuto rottura in caso di assenza di precipitazioni con l'invaso a quota 710 m, e con 600 mm in 5 giorni senza acqua nell'invaso.



Fig. 12 – Panoramica completa della zona di distacco della frana del 9 ottobre 1963.

*Geologo

LINKS:

La storia del Vajont
<http://www.vajont.net>

Sito del Comune di Longarone
<http://www.longarone.net>

Sito del Comitato Sopravvissuti del Vajont
<http://www.sopravvissutivajont.org/>

Sito della Fondazione Vajont 9 ottobre 1963 onlus
<http://www.fondazionevajont.org/>

VOLUMI:

Edoardo Semenza, 2005
La Storia del Vajont
Ed. k-flash

Le foto della frana del Vajont
La scoperta dell'antica frana - Le fotografie e gli studi geologici di Edoardo Semenza, Franco Giudici e Daniele Rossi prima e dopo la catastrofe del 9 ottobre 1963
a cura di Giovanni Masè, Michele Semenza, Paolo Semenza, Pietro Semenza e Maria Chiara Turrini, 2004
Ed. k-flash <http://www.k-flash.it/>

DA VEDERE:

Marco Paolini
'IL RACCONTO DEL VAJONT'
Garzanti, 1997 - Einaudi, 1999
<http://www.marcopaolini.it>