

# CENNI SUGLI STUDI COMPIUTI

## SULLA FRANA DEL VAJONT

Di Paolo Schumeniak e Boni Thomas

(tratto dal sito Il disastro del Vajont ([www.vajont.net](http://www.vajont.net)) a cura di Matteo Scalabrin)

Prima di affrontare le cause principali che, causarono il crollo della massa franosa e, inevitabile dover affrontare, anche se brevemente il percorso degli studi effettuati dal massimo esponente di questa calamità, che per i risultati a cui è portato, può essere catalogata come la più funesta che la storia del nostro paese ricordi.

La diga che prende il nome dal fiume, che doveva alimentare lo stesso invaso (Vajont), fu costruita per mano dell'ingegnere Carlo Semenza che dopo studi geologici e geomorfologici della zona che avrebbe dovuto ospitare la diga, decise di costruire, la medesima nella parte sottostante il monte Toc.

La decisione che portò l'ingegner Carlo Semenza a posizionare la diga in quella posizione, fu la favorevole giacitura di grossi strati di calcare e quarzite, che potevano assicurare una resistenza sicuramente maggiore di tutte le altre formazioni che si potevano riscontrare nella zona.

Infatti, poi questi strati di calcare andavano immergendosi verso est con una buona pendenza, cosa che rendeva impossibile utilizzarli più a monte.

Grazie anche a questa scelta molto precisa i danni che accaddero in seguito al franamento furono sicuramente "limitati", infatti la diga riuscì ad opporre una notevole resistenza, riuscendo in tal modo a trattenere al suo interno, parte dell'acqua presente ancora nell'invaso, e anche una grossa quantità di detriti portati dal franamento.

Già, però, durante la costruzione della diga, lo stesso Carlo Semenza decise di effettuare degli studi più approfonditi sull'intera zona antistante il bacino.

Ecco che nel 1959 fu contattato il dott. Leopold Muller per decidere come impostare e condurre a termine lo studio della stabilità della zona.

A questo studio partecipò anche il dottor Edoardo Semenza figlio dello stesso costruttore e massimo esponente della zona del Vajont e della valle del Piave.

### ***Programma generale di indagine***

A seguito di un sopralluogo effettuato dal Muller e dal Semenza (figlio), si decise di effettuare:

- a) Un rilievo geologico generale di tutta la zona di invaso fino all'incirca all'altezza della strada che circondava il serbatoio senza entrare in eccessivi dettagli.
- b) Un successivo rilievo di geologia strutturale di dettaglio di quelle zone che, a seguito dello studio generale, fossero risultate in potenziale pericolo di stabilità.

c) eventuali successive indagini in profondità delle zone sospette mediante perforazioni e scavi di esplorazione.

### ***Primi dubbi sulla zona del piano del Toc***

Nel corso del rilievo delle zone del Piano del Toc veniva rilevata sul fianco sinistro l'esistenza di numerosi segni di stanchezza contrassegnati da piccole depressioni allungate e da bruschi gradini e l'esistenza di numerose fratture: più precisamente, partendo dalla punta del Toc verso l'interno, si osservava una frattura profonda diversi metri con apertura di 3-4 metri e riempimento di materiale sciolto e blocchi, attraversante tutta la punta stessa: 30 metri più a sud, un'altra profonda frattura con direzione grossomodo costante e parallela alla precedente: tra queste due fratture altre minori con aperture da pochi centimetri a mezzo metro, ma abbastanza sviluppate in lunghezza; si riscontrava inoltre l'esistenza di una zona milonitica che si vedeva affiorare al piede della parete del Toc, alla sua estremità orientale, zona che si riteneva continuasse lungo tutta la parete al di sotto della cengia detritica che separava la parete superiore da quella inferiore.

L'insieme di tutti questi indizi permetteva di formulare come probabile, l'ipotesi che la zona del Toc e le suddette masse sulla destra fossero i residui di una massa scivolata sulla sinistra, probabilmente al ritiro del ghiacciaio, la quale aveva ostruito la vecchia valle e che era poi stata tagliata dall'erosione del nuovo solco, del torrente. Ne conseguiva comunque che la zona del Toc veniva compresa fra quelle che, secondo i criteri sopra riferiti, richiedevano uno studio più dettagliato.

### ***Prima campagna geofisica, inverno 1959-60***

Furono effettuati numerosi tentativi di provare e dimensionare la instabilità: in attesa di poter provvedere ad esplorazioni geognostiche in profondità, non appena fosse finita la stagione invernale, la SADE incaricava il professor Caloi di effettuare una prospezione geosismica intesa a chiarire se l'ammasso roccioso esistente in sponda sinistra del bacino fosse "in posto" o si dovesse considerare come una massa scivolata dalla sovrastante montagna.

Vennero distribuiti una cinquantina di punti di scoppio lungo due diversi profili, risalenti l'uno fino a quota 776, e l'altro fino a quota 850.

Le registrazioni effettuate, dettero luogo, secondo il proff. Caloi, a dei valori di velocità altissimi, ciò che nell'opinione dello stesso comprovava l'esistenza di una roccia a modulo elastico elevatissimo. Da ciò il proff. Caloi giunse alla conclusione che il massiccio in sponda sinistra "*si fosse formato in loco*" e che fosse di estrema solidità.

### ***Diagnosi del fenomeno nella primavera 1960***

Le conclusioni formulate dal Caloi contrastavano con quelle del Semenza che riteneva che la zona esaminata non fosse costituita da roccia in posto, bensì da un'ampia massa rocciosa staccatasi in epoche remote e scivolata per gravità complessivamente verso NE; il volume della massa di materiale interessato in questo fenomeno era dell'ordine di qualche decina di milioni di metri cubi; il presunto antico

piano di scivolamento si riteneva che andasse dalla zona milonitica, affiorante sulla gola del Vajont, fino all'avvallamento del piano della pozza. Di conseguenza, la zona di cui sopra, si sarebbe dovuta ritenere potenzialmente instabile.

Carlo Semenza aveva preso anche in esame l'ipotesi che il movimento dell'intera massa potesse riprendere, nel caso che il presunto piano d'appoggio avesse presentato caratteristiche di giacitura e di resistenza sfavorevoli; allo scopo di individuare detto piano di appoggio, cosa impossibile dall'esterno, appariva opportuno effettuare ricerche in profondità mediante delle perforazioni.

A seguito di questa nuova ipotesi formulata dal Semenza, circa un eventuale spostamento della massa rocciosa, furono installati in superficie una serie di capisaldi la cui disposizione planimetrica veniva periodicamente controllata mediante rilievi trigonometrici.

Oltre alla disposizione di questi capisaldi, non appena la stagione lo rese possibile, la SADE dispose l'esecuzione dei sondaggi, allo scopo di individuare la profondità dell'eventuale piano di scivolamento della massa rocciosa.

Nel maggio-giugno 1960 vennero così eseguiti, nella zona della pozza, tre perforazioni geognostiche che vennero ubicate lungo un asse approssimativamente normale al corso del Vajont.

Durante lo scavo venne attraversata roccia per lo più minutamente fratturata in frammenti di modeste dimensioni e l'acqua di perforazione veniva frequentemente perduta.

Non si riscontrò traccia del piano di scivolamento ricercato.

Dello stesso periodo e lo scavo di tre trincee nella depressione nel piano della Pozza; in esse si poteva vedere la roccia calcarea attraversata da numerose e larghe fenditure, ma con stratificazione ben conservata.

### ***Aggiornamento da parte del Semenza della sua teoria , estate 1960***

A seguito dei risultati delle ricerche geognostiche, il Semenza ritenne di dover modificare in senso più ottimistico le sue ipotesi precedentemente formulate; infatti il non aver trovato traccia del piano di scivolamento che si era ritenuto iniziasse con la zona milonitica posta alla base della parete rocciosa sotto al ripiano del Toc, faceva ora presumere che il piano stesso, partendo dalla predetta zona milonitica della gola, invece di salire subito verso la depressione del piano della Pozza, proseguisse per un primo ampio tratto verso l'interno con direzione all'incirca orizzontale, passando al di sotto delle quote dei sondaggi e risalendo poi, ma al di là, della zona del piano della Pozza. In questo modo si veniva a configurare il, presunto piano di scivolamento come avente ancora una superficie grossolanamente concava, come già precedentemente supposta, ma con una estesa parte inferiore tale da assicurare una adeguata stabilità della massa sovrastante.

Conseguentemente si iniziava la ricerca di indizi superficiali che denunciassero l'affioramento di tale superficie al di sopra del piano della pozza.

E' così che alla fine del Luglio del 1960 si vide che i due rami del torrente Massalezza seguivano l'affioramento di una superficie di contatto fra roccia del cretaceo inferiore in posto e materiali vari, generalmente detrito o roccia estremamente fratturata.

Oltre alle incisioni dei due rami del Massalezza, si avevano dei ripiani o delle zone poco inclinate, rispettivamente a quota 1.200 circa; in questi punti la roccia in posto consisteva in calcare del Dogger, anziché in cretaceo inferiore, come al solito, per la presenza di un faglia a direzione est-ovest di cui si poteva osservare i liscioni subverticali.

Questi elementi vennero ritenuti dal Semenza come indicativi del probabile limite della massa anticamente scivolata e costituivano una conferma della ipotesi formulata circa l'origine delle formazioni in esame.

### ***Apparizione della fessura perimetrale, ottobre 1960***

Verso la fine di ottobre veniva scoperta - sopra la zona in esame - una fessura perimetrale che partendo dalle vicinanze della diga saliva, nella direzione di massima pendenza, fino a quota 1.100-1.200, proseguiva orizzontalmente per un breve tratto e scendeva a circa quota 900 in Val Massalezza, si rialzava lentamente ad est di quest'ultima fino a quota 1.300 e scendeva poi verso il lago, sino a quota 1.100 circa dove poi scompariva.

Si manifestava così la presenza di una massa di materiale instabile del quale la fessura delineava il perimetro e quindi l'estensione superficiale.

La sua estensione in profondità rimaneva invece oggetto di ipotesi, non essendo stata raggiunta alcuna prova dell'esatta ubicazione del piano di scivolamento.

Si formulavano varie ipotesi: la più probabile, secondo il Semenza, era quella che la superficie di scivolamento seguisse, l'andamento degli strati rocciosi i quali, partendo con giacitura quasi orizzontali in corrispondenza della zona milonitica visibile nella forra, si inclinavano poi risalendo verso l'alto, e si presumeva che si collegassero con la frattura perimetrale nella sua parte superiore.

Dopo questa apparizione, il 4 novembre avvenne un fatto di notevole importanza: si verificava infatti sotto il piano della Pozza una frana di circa 700.000 metri cubi, lungo un fronte di 300 metri. L'immersione del materiale nel lago era avvenuta con relativa lentezza ed aveva dato luogo a modesti moti ondosi.

Dopo il franamento e dopo la comparsa della frattura perimetrale, il Semenza e il dottor Muller si recarono sul posto dove il Semenza precisò le sue convinzioni riguardo all'accaduto: *"Le due parti rispettivamente a est ed ovest del Massalezza presentavano caratteristiche di struttura geologica e di meccanica del moto diverse tra loro. La parte occidentale poteva a sua volta dividersi in due: una sovrastante il piano della Pozza, appoggiava su un piano di scivolamento ripido e si spostava verso il basso con un moto di traslazione; l'altra, sottostante, appoggiava su una base circa orizzontale ed era divisa in diverse parti da fratture verticali parallele alla valle; ciascuna parte avrebbe roteato verso valle rispetto alla propria base, con movimento comparabile a quello dei ghiacciai. La parte orientale aveva caratteristiche simili a quelle della parte superiore della parte occidentale, e si supposeva avere una base molto piccola, appoggiando per la sua maggiore estensione sul pendio inclinato"*.

In totale il dottor Muller stimava che i movimenti in atto interessassero una massa di circa 200 milioni di metri cubi e che il procedere di tale fenomeno avrebbe potuto dar

luogo nel futuro a nuove manifestazioni franose, mediante crolli parziali sulla fronte della massa in movimento.

In seguito alla frana del 4 novembre e alla comparsa della fessura perimetrale, la SADE decideva di abbassare il livello del lago per costruire una galleria di sorpasso sul versante destro.

Dopo gli avvenimenti dell'inverno del 1960, il sistema di controllo trigonometrico e su capisaldi veniva esteso a tutta la zona delimitata dalla fenditura perimetrale, mediante la costruzione di una decina di nuovi punti di misura, parte dei quali sostituivano punti rivelatisi inutilizzabili o crollati con la frana del novembre.

### ***Seconda campagna geofisica, inverno 1960-1961***

Al fine di individuare la profondità della massa rivelatasi instabile, la SADE richiedeva nello stesso mese di novembre al proff. Caloi l'esecuzione di nuove indagini geosismiche, che vennero effettuate mediante esplorazione di due tracciati che interessavano rispettivamente la parte occidentale e quella orientale della massa in movimento, partendo da quota 750 e risalendo fino alla fenditura perimetrale a quota 1150 circa.

A conclusione dello studio il proff. Caloi riscontrava chiaramente l'esistenza di una formazione di roccia compatta ad una certa profondità. Il contatto tra questa formazione e quella sovrastante, di materiale sciolto o roccioso diffusamente fratturato, non era tuttavia definito da un'unica e regolare superficie, ma sembrava avvenire a profondità estremamente variabili da punto a punto, comprese tra i 100 ed i 150 metri dalla superficie.

In base ai risultati ottenuti il proff. Caloi stimava che il limite tra le due formazioni si trovasse nei pressi della gola, a quota 640 circa. Tale quota differiva di poco da quella riportata nella carta geologica allegata allo studio Giudici - Semenza.

Alcune delle prove erano state condotte in prossimità della sezione già esplorata nella campagna del 1959. Le differenti caratteristiche elastiche riscontrate rispetto ad allora indussero il prof. Caloi a sostenere che la roccia, riscontrata come diffusamente fratturata durante quest'ultima campagna, fosse la medesima che nel dicembre 1959 aveva mostrato un elevatissimo modulo elastico, e ad ipotizzare una azione di "*frantumazione del settore roccioso*" che reggeva il sovrastante materiale di frana, in seguito ad aumento di pressioni interne, dovute a "*cedimento di diaframmi di roccia compatta*" posti a quota maggiore e ciò in conseguenza delle scosse sismiche verificatesi nei primi mesi del 1960 e fino a metà novembre dello stesso anno.

### ***Cunicoli esplorativi in Val Massalezza***

Nel corso della primavera, veniva costruito un cunicolo in sinistra di Val Massalezza, ubicato poco al di sotto della fenditura e diretto verso l'interno della montagna. Nel corso di numerosi sopralluoghi si poté constatare che dal materiale sciolto osservato all'imbocco si passava, qualche decina di metri dopo, a roccia fratturata con strati contorti.

Poco oltre, con l'interposizione di fasce ultramilonitiche, si passava alla roccia sana, a giacitura costante o quasi; si osservavano infatti, come del resto all'esterno, piccoli

ripiegamenti convergenti a nord, ma nell'insieme gli strati immergevano verso nord con inclinazione di 30°-40° circa.

Alcuni mesi più tardi, nell'aprile del 1961, questo cunicolo in sinistra di Val Massalezza fu anche ispezionato da altri geologi tra cui il Dr. Broili e il Dr. Weber, i quali eseguirono rilievi nel suo interno ed alla superficie, concludendo che la massa in movimento appoggiava per la parte superiore e mediana su un piano di scivolamento avente una inclinazione di 30°, mentre nella parte inferiore tale piano, non visibile, veniva supposto identificarsi con il contatto Dogger - Malm avendo andamento all'incirca orizzontale.

Più tardi, sempre nel 1961, venne eseguito un altro cunicolo a quota più alta, con imbocco poco sopra la biforcazione dei due rami principali del Massalezza, e diretto verso est. Il suo percorso fu quasi tutto in roccia sana.

### ***Campagna di sondaggi piezometrici, primavera-estate 1961***

Ancora nell'aprile del '61, venne decisa l'esecuzione di altri 4 sondaggi ubicate su due sezioni situate ad oriente dei precedenti sondaggi.

Scopo dei nuovi sondaggi era di poter misurare la falda che era ritenuto elemento essenziale ai fini dell'equilibrio della massa. Furono attraversate zone di calcari compatti e zone di roccia più o meno fratturata. I sondaggi vennero arrestati dopo essere penetrati nella falda freatica.

Queste perforazioni confermarono ulteriormente l'ipotesi che il piano di scivolamento, non incontrato dalle perforazioni stesse, si trovasse in profondità. Infatti, lo stato di fratturazione notevole, e la permeabilità altissima riscontrata, testimoniavano che fino alla profondità raggiunta si erano sempre incontrati terreni che, avevano partecipato al vecchio scivolamento.

D'altra parte, la notevole profondità del piano nella parte bassa dava la sicurezza che la massa avesse un appoggio tale da fornire notevole resistenza, almeno per la parte ad occidente del Massalezza.

### ***Diagnosi conclusiva del fenomeno, estate 1961***

Grazie agli studi effettuati nei precedenti due anni, si era riusciti a raccogliere notevoli dati relativi alla stabilità del versante, che portarono il dottor Edoardo Semenza ad una diagnosi conclusiva: si riteneva che la massa in moto si spostasse su un piano di scivolamento che congiungesse la milonite che, benché visibile solo in piccola parte, si riteneva esistesse lungo tutta la fronte con la fessura perimetrale.

Poiché tale piano si riteneva seguisse all'incirca l'andamento delle stratificazioni della roccia, era possibile stimare di conseguenza l'ordine di grandezza della massa in movimento, che venne valutata in circa 200 milioni di metri cubi.

Tale massa era composta da calcari, calcari marnosi, compatti, con interstrati teneri, calcarei o marnosi tutta più o meno fratturata e spesso ripiegata a cascata, altamente permeabile e dotata nel suo insieme di scarse qualità meccaniche. Faceva eccezione la parete a est della punta del Toc, che appariva più solida, forse per fenomeni di cementazione secondaria, frequenti sulle pareti esterne di masse poco compatte.

Per quanto riguarda il modo in cui avrebbe potuto proseguire il movimento, il Semenza condivideva i pareri di movimenti di tutta la massa, con apertura di crepe anche all'interno della massa stessa e con spostamenti dell'ordine di qualche centimetro al giorno.

In base a tale opinione si prevedeva che da prima sarebbe franato il fronte della frana, e che poi via, in tempi successivi, sarebbero crollate altre fette; il materiale crollato avrebbe agito da freno e da stabilizzante per il materiale che stava in alto; comunque, anche nelle peggiori ipotesi, la massa in moto si sarebbe definitivamente arrestata, quando attraverso uno o più franamenti fosse venuta ad appoggiarsi solidamente alla sponda opposta.

Questa diagnosi effettuata dal Semenza trovava pienamente d'accordo anche il dottor Muller, ed erano concordemente considerate da tutti come la rappresentazione più prudentiale e pessimistica del modo col quale il fenomeno avrebbe potuto svolgersi nel futuro, per il deprecato caso in cui questa evoluzione avesse avuto in effetti a verificarsi.

### ***Studi su modello idraulico, 1961-1962***

Dopo la frana del 1960 sorse nella mente dell'ingegnere Carlo Semenza l'idea di riprodurre in un modello idraulico il fenomeno che avrebbe potuto verificarsi ove tutti i timori suscitati dall'esistenza della massa in movimento e tutti i dubbi circa i modi e le dimensioni dei suoi movimenti avessero avuto a combinarsi nel modo più sfavorevole possibile, prendendo in considerazione in tal modo le più pessimistiche tra le previsioni formulate dagli specialisti interpellati

Venne pertanto approntato nel centro di Nove un modello nel quale inizialmente la superficie di scivolamento fu riprodotta in forma piana, sperimentando due diverse inclinazioni di 30° e 42° rispettivamente. Il materiale di frana riprodotto con ghiaia per facilitare lo scivolamento precipitava spontaneamente nel serbatoio non appena si eliminavano le opere di sostegno del medesimo.

### ***L'esercizio del serbatoio, 1961-1963***

All'inizio del 1961 si constatò che, avendo riabbassato il livello dell'acqua fino a quota 600 circa, i movimenti della massa instabile erano rallentati ed avevano lentamente condotto all'arresto pressoché completo. Questo fatto confortò l'opinione, già espressa in precedenza dagli esperti, che il movimento della frana potesse essere guidato attraverso un opportuno gioco di invasi e svassi, fino a far assumere la massa un nuovo assetto di equilibrio definitivo.

Poiché, d'altra parte il volume della massa in movimento non era definito in modo diretto e sicuro, tutti gli esperti che studiavano il problema si trovarono a concordare sull'opportunità di procedere a prudenti invasi sperimentali allo scopo di raggiungere una più completa conoscenza circa la natura ed estensione del fenomeno.

Pur avendo seguito in forma diretta e sistematica l'andamento degli invasi, il Semenza si informava circa il movimento della massa in movimento. Venne così a conoscenza che le velocità di movimento risultavano essere influenzate soprattutto in corrispondenza della prima bagnatura di zone mai prima interessate da un vaso.

Tale fenomeno si arrestava all'abbassarsi dell'invaso stesso, e successivamente non si ripeteva alle bagnature successive, e che comunque le velocità di spostamento risultavano mantenersi assai inferiori a quelle che erano state registrate nell'autunno del 1960.

Le registrazioni sismografiche compiute alla stazione sismica installata alla diga, che avevano registrato una serie di scosse importanti nella zona della frana nell'autunno del '60, denunciavano ora periodi di calma alternati a periodi di attività, prevalentemente nelle fasi di invaso, come è ben comprensibile dato anche l'enorme carico che l'invaso veniva a determinare sulle sponde del serbatoio. La loro intensità e frequenza si manteneva tuttavia inferiore a quella dell'autunno del '60, mentre alcune scosse isolate avvertite anche dalla popolazione risultavano avere l'epicentro fuori del serbatoio.

Tale insieme di fatti oggettivamente constatati, che confermava la diagnosi fatta in precedenza circa la natura lenta e graduale del fenomeno, aveva condotto alla conclusione, facilmente accettata da tutti, che il moto della massa potesse essere tenuto sotto controllo, e che anzi esso tendesse a raggiungere di nuovo la quiete attraverso un processo di lenti assestamenti successivi di moderata entità.