

EDOARDO SEMENZA

**SINTESI DEGLI STUDI GEOLOGICI
SULLA FRANA DEL VAJONT
DAL 1959 AL 1964**

INDICE

EDOARDO SEMENZA

Sintesi degli Studi Geologici sulla frana del Vajont dal 1959 al 1963

A	Introduzione	pag.	5
B	Primo rilievo geologico 1959	»	7
B.1	Programma generale di indagine	»	7
B.2	Esecuzione del rilievo geologico del bacino	»	8
B.3	Primi dubbi sulla zona del Piano del Toc	»	8
C	Tentativi di provare e dimensionare la instabilità, inverno 1959 - autunno 1960	»	15
C.1	Prima campagna geofisica, inverno 1959-60	»	15
C.2	Diagnosi del fenomeno nella primavera 1960	»	16
C.3	Inizio del controllo degli spostamenti mediante capisaldi, primavera 1960	»	17
C.4	Campagna di sondaggi S e di trincee alla Pozza, primavera - estate 1960	»	17
C.5	Aggiornamento della diagnosi, estate 1960	»	18
C.6	Indagine geologiche di dettaglio, estate 1960	»	18

D	La frana del 4 novembre 1960 e le successive campagne di studi 1961	pag.	21
D.1	Apparizione della fessura perimetrale, ottobre 1960	»	21
D.2	Frana del 4 novembre 1960	»	22
D.3	Sopraluoghi, rilievi e pareri, inverno 1960-1961	»	22
D.4	Estensione del sistema di capisaldi	»	23
D.5	Seconda campagna geofisica, inverno 1960-1961	»	23
D.6	Cunicoli esplorativi in val Massalezza	»	25
D.7	Campagna di sondaggi P, primavera - estate 1961	»	25
D.8	Diagnosi conclusiva del fenomeno, estate 1961	»	26
E	Studi su modello idraulico, 1961-1962	»	27
F	L'esercizio del serbatoio, 1961-1963	»	28
G	Secondo rilievo geologico, inverno 1963	»	31
G.1	Formazioni osservabili nella zona	»	31
G.2	Condizioni strutturali della massa scivolata	»	36
G.3	Effetti idraulici sulla massa e sulle zone circostanti	»	38
G.4	Superficie visibile di scivolamento	»	39
G.5	La parte non visibile della superficie di scivolamento	»	40
H	Ipotesi circa il meccanismo di movimento e rottura	»	41
H.1	Caratteristiche meccaniche generali delle formazioni interessate	»	41
H.2	Periodo di movimento lento	»	41
H.3	Rottura dell'equilibrio	»	43
H.4	Cinematica del collasso	»	44
	<i>Riassunto</i>	»	47
	<i>Summary</i>	»	47
	<i>Résumé</i>	»	48
	<i>Bibliografia</i>	»	49

A - INTRODUZIONE

Nell'Ottobre 1963 lo scrivente veniva incaricato verbalmente dalla direzione del Servizio Costruzioni Idrauliche dell'ENEL, già SADE, di eseguire un rilievo geologico dettagliato della massa scivolata dal Monte Toc.

L'incarico è stato svolto — in collaborazione con il Prof. Daniele Rossi dell'Università di Ferrara — attraverso una campagna di rilevamento conclusasi ai primi di dicembre 1963; in alcuni particolari il rilievo è stato perfezionato successivamente, in occasione di altri sopralluoghi, e inoltre è stato esteso alla zona ad oriente, ossia alla Costa delle Ortiche (diedro).

Gli studi geologici compiuti dopo lo scivolamento del 9 ottobre 1963 in collaborazione come si è detto col prof. D. Rossi, saranno oggetto di una futura monografia, a firma del Prof. Rossi e dello scrivente. I dati essenziali di questa monografia vengono riassunti nella presente pubblicazione, la quale pertanto rispecchia, per quanto riguarda la parte posteriore allo scivolamento, risultati ed opinioni acquisiti in collaborazione.

Lo scrivente ha iniziato ad occuparsi dei problemi della possibile instabilità dei fianchi del bacino del Vajont nel luglio 1959, partecipando ai sopralluoghi e discussioni che condussero alla formulazione di un razionale piano di indagini per tappe successive, che fu presentato ufficialmente alla SADE dal Dr. Leopold Müller nell'ottobre 1959, ma già schematizzato in anticipo in una lettera del 24 luglio 1959.

In seguito all'accettazione da parte della Società delle proposte ivi contenute, lo scrivente ha collaborato da allora ad oggi allo studio di

molti degli aspetti più interessanti del problema del Toc, sia mediante rilievi in sito, sia con supervisioni alle indagini di campagna e alle perforazioni, con sopralluoghi e pareri.

Data l'importanza che l'insieme degli studi geologici e geotecnici ha avuto, sia per la loro notevole estensione in senso assoluto, sia per l'influenza che le loro conclusioni hanno avuto sulle decisioni a suo tempo prese, lo scrivente ritiene opportuno inquadrare in una visione panoramica tutta l'attività di studio che — a sua conoscenza — è stata svolta in relazione alle sponde del bacino del Vajont. Ciò sembra anche opportuno in quanto — seguendo la prassi in uso, di rapide decisioni prese senza alcun formalismo dai responsabili interessati — l'attività allora svolta non risulta tutta verbalizzata da documenti scritti e può quindi apparire discontinua e lacunosa ad un osservatore che solo a quella, così documentata, oggi si riferisca. Nè va trascurato inoltre il grande interesse scientifico che un così eccezionale evento acquista nel campo dello studio dei fenomeni franosi, in quanto si riuniscono in esso tali straordinarie caratteristiche di volume, compattezza della massa e velocità di caduta, da non trovar riscontro alcuno con i molti altri fenomeni franosi avvenuti in epoche recenti, almeno in paesi civili; dimodochè è possibile una comparazione solamente con le grandi frane del periodo post-glaciale, le cui caratteristiche essenziali possono essere soltanto oggetto di valutazioni indirette o del tutto approssimative.

Il presente rapporto riferisce quindi sugli studi ed investigazioni nella zona del Toc dal 1959 al 1963, e sulle condizioni geologiche attuali, e tenta altresì di indagare sulle modalità secondo le quali si è prodotto il fenomeno di movimento lento durato circa tre anni, e sulle ragioni della sua improvvisa trasformazione nell'inaspettato slittamento velocissimo di una enorme zolla rigida di roccia il cui crollo repentino ha di gran lunga superato nei suoi disastrosi effetti le più pessimistiche previsioni che era stato possibile formulare in precedenza, sulla base dell'esperienza fino ad allora nota per fenomeni di questa natura.

B - PRIMO RILIEVO GEOLOGICO 1959

B.1 - Programma generale di indagine

Verso la metà del 1959 l'ing. Carlo Semenza, avendo ritenuto opportuno di eseguire una generale verifica della stabilità dei fianchi dell'intero serbatoio del Vajont, interpellò il dott. Leopold Müller ¹⁾ — noto esperto di geomeccanica e già consulente della SADE per le imposte della diga — circa il migliore modo di impostare e condurre a termine tale studio, cui avrebbe collaborato anche lo scrivente.

A seguito del sopralluogo effettuato insieme nelle zone interessate il 21 luglio 1959, si manifestò l'opportunità di eseguire dei rilievi secondo le direttive impartite dal dott. Müller, a voce e con lettera del 27 luglio 1959, e dallo stesso esposte anche nel suo rapporto n. 6 del 10 ottobre 1959.

Precisamente si stabilì di effettuare:

a) Un rilievo geologico generale di tutta la zona di invaso fino all'incirca all'altezza della strada che circondava il serbatoio (quota massima 850 circa) senza entrare in eccessivi dettagli.

b) Un successivo rilievo di geologia strutturale di dettaglio — per il quale egli dava particolareggiati suggerimenti — di quelle zone che a seguito dello studio generale fossero risultate in potenziale pericolo di instabilità.

c) Eventuali successive indagini in profondità delle zone sospette — nel caso che ciò fosse risultato necessario per la migliore conoscenza della situazione — mediante perforazioni e scavi di esplorazione.

¹⁾ del dott. Müller è apparsa recentemente (1964) una ottima pubblicazione, abbondantemente illustrata, alla quale si rimanda per molti particolari riguardanti le ricerche prima e dopo lo scivolamento del 9 ottobre 1963.

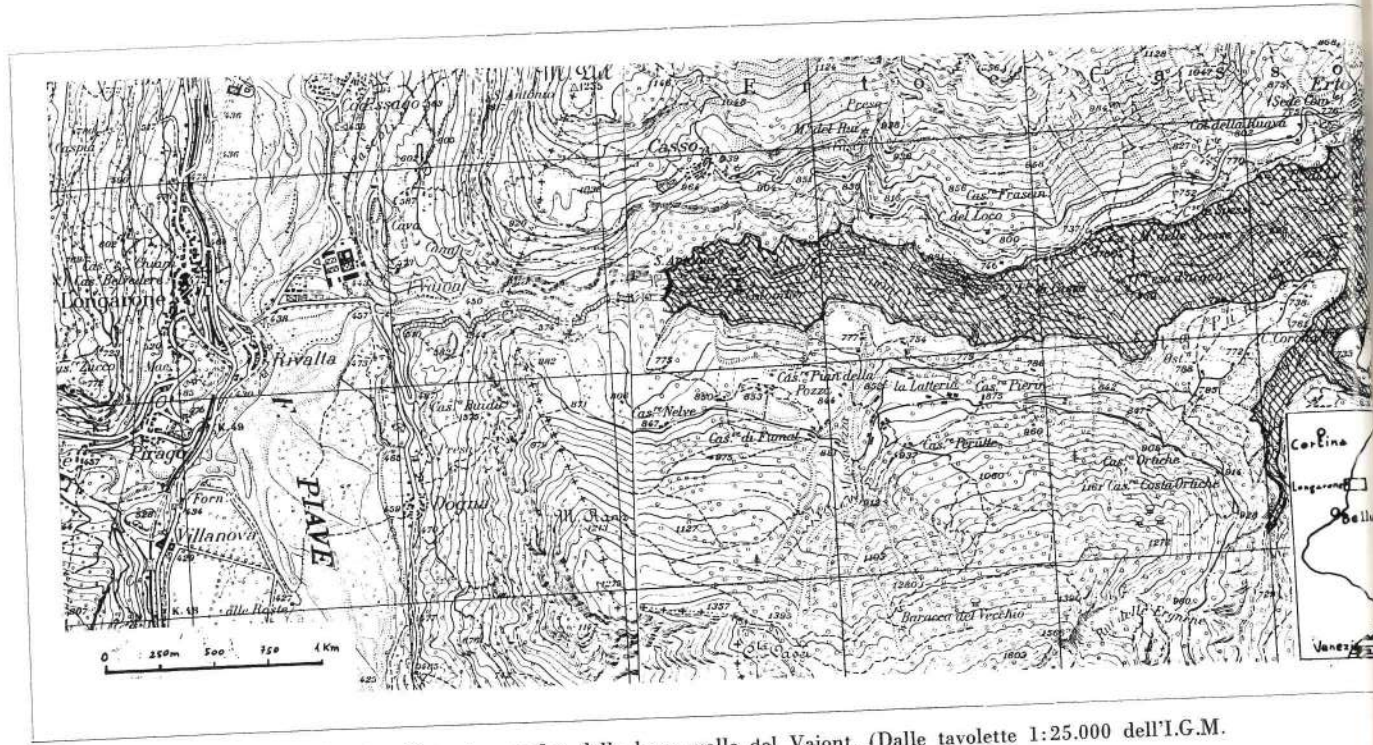


Fig. 1 - Carta topografica della bassa valle del Vaiont. (Dalle tavolette 1:25.000 dell'I.G.M. Longarone e Cimolais).

B.2 - Esecuzione del rilievo geologico del bacino

L'incarico venne sviluppato in due fasi principali comprese nel periodo 22 luglio - primi di dicembre 1959. La prima fase è consistita nel rilievo di massima, eseguito dallo scrivente fra il 22 luglio e l'8 settembre 1959; la seconda fase, relativa al rilievo di dettaglio, venne invece compiuta dal dott. Franco Giudici, sotto la supervisione dello scrivente, nel periodo che va dai primi di ottobre ai primi di dicembre del 1959. La necessità di alcune revisioni, ritardate dal periodo invernale, fece sì che la relazione sullo studio « Franco Giudici - Edoardo Semenza - Studio Geologico sul serbatoio del Vajont, 1960 » - venne presentata solamente nel giugno 1960 (Figg. 2 e 3).

B.3 - Primi dubbi sulla zona del Piano del Toc

Comunque i primi risultati, concernenti la zona del Piano del Toc, erano già stati conseguiti e comunicati a voce ai tecnici della SADE nell'ultima settimana dell'agosto 1959, ed in un successivo sopralluogo al quale partecipò anche il Prof. Giorgio Dal Piaz.

CARTA GEOLOGICA DELLA ZONA DEL PIANO DEL TOC

DALLA CARTA GEOLOGICA DEL SERBATOIO DEL VAJONT
RILEVATA NELL'ANNO 1959 DA F. GIUDICI ED E. SEMENZA

SCALA 1 : 10'000

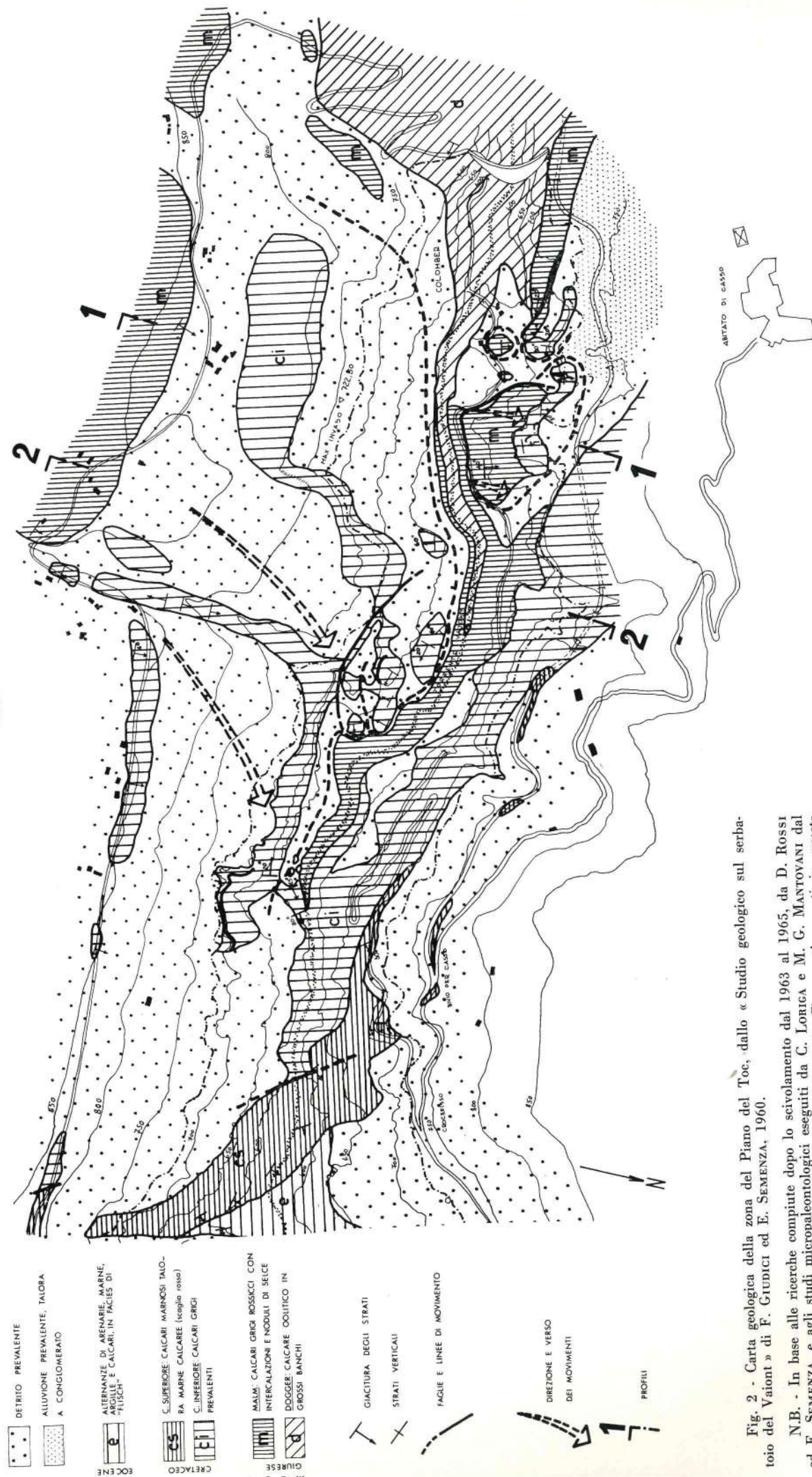


Fig. 2 - Carta geologica della zona del Piano del Toc, dallo « Studio geologico sul serbatoio del Vaiont » di F. Giudici ed E. SEMENZA, 1960.

N.B. - In base alle ricerche compiute dopo lo scivolamento dal 1963 al 1965, da D. Rossi ed E. SEMENZA, e agli studi micropaleontologici eseguiti da C. LORIGA e M. G. MANTOVANI dal 1961 al 1965, si è potuto stabilire che l'attribuzione dei vari affioramenti segnati in questa carta era in qualche caso errata (cfr. D. Rossi ed E. SEMENZA, 1965).

Nel corso del rilievo delle zone Piano del Toc e Colomber 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 (Fig. 4); 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 m più a Sud, un'altra profonda frattura con direzione grosso modo costante e parallela

PROFILI GEOLOGICI ATTRAVERSO LA ZONA DEL
« PIANO DEL TOC »

DALLO "STUDIO GEOLOGICO SUL SERBATOIO DEL VAJONT"
DI F. GIUDICI ED E. SEMENZA, 1960
SCALA 1:10'000

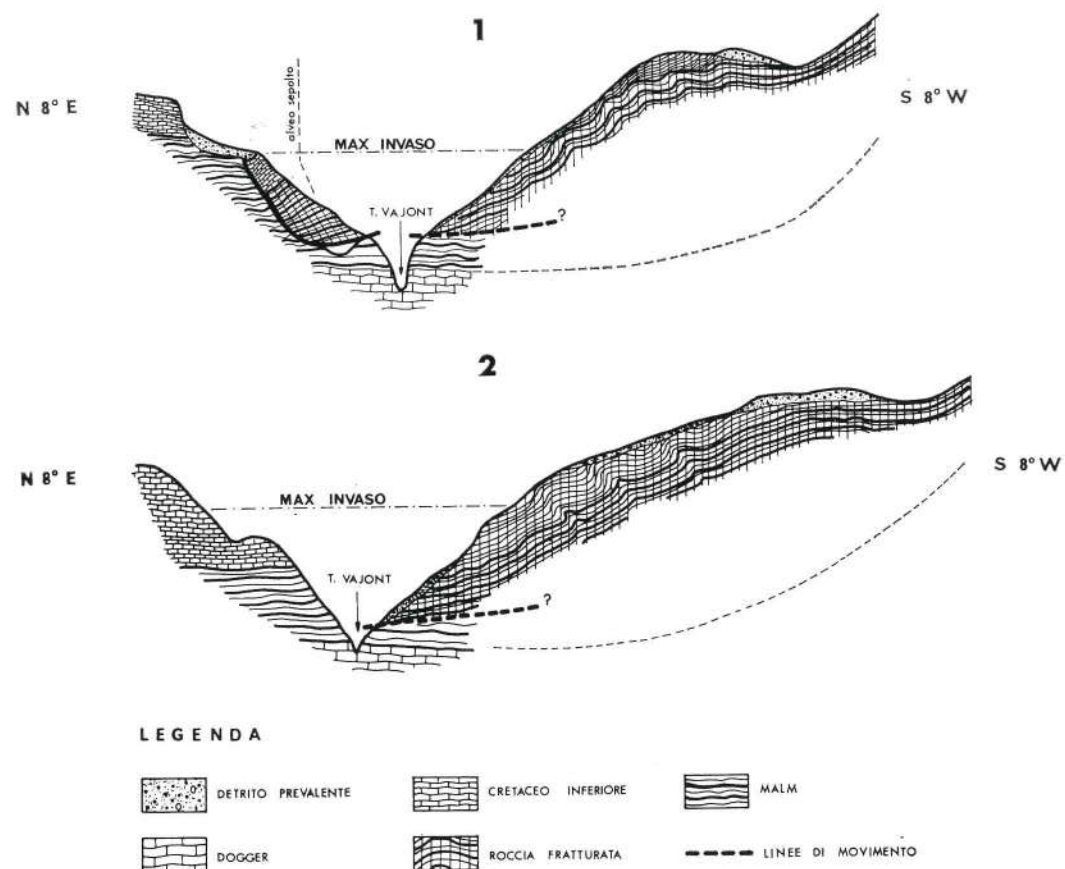


Fig. 3 - Profili geologici attraverso la zona del Piano del Toc, dallo « Studio geologico sul serbatoio del Vaiont » di F. GIUDICI ed E. SEMENZA, 1960 (si veda la nota alla figura 2).



Fig. 4 - Settembre 1959 - La « Punta del Toc », vista dal fianco destro: si notano, verso sinistra nella parete, alcune delle fratture aperte in alto di cui si parla nel testo. In primo piano il pendio dove si è verificata in seguito la frana del 4 novembre 1960.

alla precedente; tra queste due fratture altre minori con apertura da pochi centimetri a mezzo metro, ma abbastanza sviluppate in lunghezza; si riscontrava altresì 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 (Figg. 5 e 6).

Si osservava inoltre sul fianco destro una serie di masse rocciose con giaciture anormali, localizzate in corrispondenza di « quinte » rocciose e di restringimenti notevoli della forra del Vajont, e sovrapposte a depositi sciolti, ghiaiosi e sabbiosi (Figg. 7 e 8).

L'insieme di tutti questi indizi permetteva di formulare come probabile l'ipotesi che la zona del Toc e le suddette masse sulla destra fos-



Fig. 5 - Agosto 1959 - L'estremità orientale della parete settentrionale della « Punta del Toc ». Gli strati dei livelli *c*, *d*, e *e* nella parte centrale della figura si immergono verso destra (W) specialmente alla base. Invece gli strati del dosso boscoso sulla sinistra, appartenenti al livello *c*, si immergono verso sinistra, con inclinazione crescente andando da sinistra a destra. La discordanza nettissima, e l'esistenza di una fascia di miloniti, messa in luce con uno scavo in corrispondenza al sentierino visibile alla base delle pareti (v. fig. 6), parlano in favore di un movimento avvenuto da destra verso sinistra, della massa che compone la parete.



Fig. 6 - novembre 1959 - Lo scavo di cui alla figura 5, con le miloniti che separano gli strati a giacitura discordante, rispettivamente della parete (conglomerato del livello *b*, visibile a destra) e del basamento in posto (roccia frantumata a sinistra).



Fig. 7 - marzo 1960 - La valle del Vaiont a monte della diga, ancora in costruzione, con invaso parziale (q. 600 circa). Si vedono il ponte del Colomber e la vecchia strada in basso, e in alto la nuova strada. Tra le due strade, in corrispondenza al restringimento più orientale della valle, si vede la massa scollata e frantumata e con giacitura anormale, che attualmente, dopo lo scivolamento, forma il « Colle Isolato ». Una massa dello stesso tipo, ma molto più piccola, si può intravedere, sempre sopra la strada vecchia, in corrispondenza al secondo restringimento della valle. La presenza delle tre « quinte » e di depositi ghiaiosi stratificati alla base delle masse scollate, hanno permesso l'ipotesi che le masse stesse erano scivolate, scondo lo scrivente da Sud, entro un antico alveo del Vaiont.

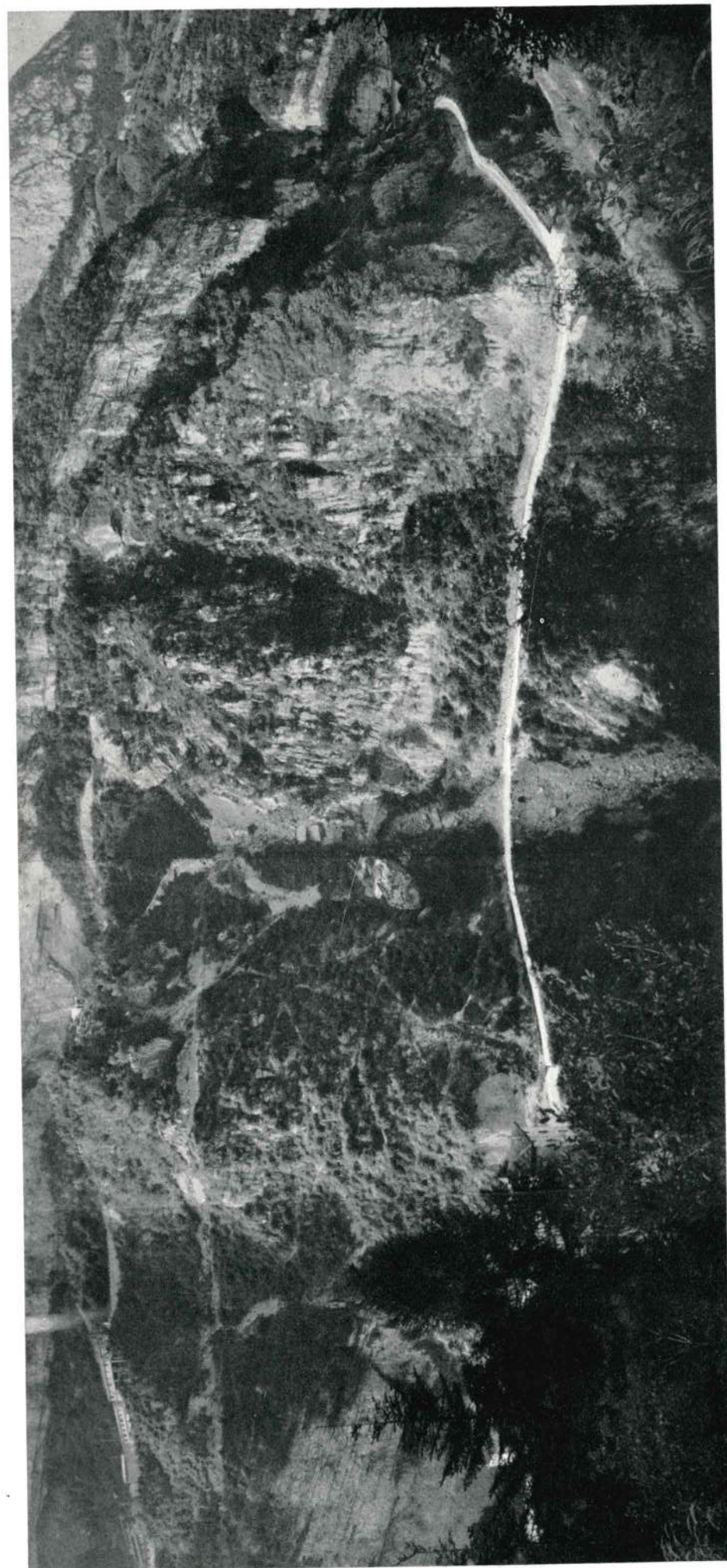


Fig. 8 - 26 agosto 1959 . Le masse scollate, di cui alla figura precedente, viste di fronte, dal fianco sinistro. Nella fascia compresa tra la strada bassa e la base delle pareti affiorano i sedimenti alluvionali. La massa corrispondente al « Colle Isolato » è formata principalmente da strati del livello *a*, con alla sommità il grosso banco di conglomerato del livello *b*. Notare la discordanza con gli strati della retrostante parete in posto.

sero i residui di una massa scivolata dalla sinistra, probabilmente al ritiro del ghiacciaio, la quale aveva ostruito la vecchia valle e che era poi stata tagliata dall'erosione del nuovo solco, epigenetico, del torrente.

Secondo un'altra ipotesi, esposta quest'ultima nello studio 1960, si pensava che la zona del Toc, pur essendo scivolata verso valle, non avesse ostruito la valle, e che ciò fosse stato fatto solamente da una massa relativamente piccola a W della punta del Toc (staccatasi dalle pareti di una ampia conca sul versante sinistro), di cui le suddette masse in destra erano i residui.

Ne conseguiva comunque che la zona del Toc veniva compresa fra quelle che, secondo i criteri sopra riferiti, richiedevano uno studio più dettagliato. Le indagini relative, sulle quali si riferisce più avanti, iniziarono nell'autunno dello stesso anno (1959).

C - TENTATIVI DI PROVARE E DIMENSIONARE LA INSTABILITA', INVERNO 1959 - AUTUNNO 1960

C.1 - Prima campagna geofisica, inverno 1959-60

In attesa di poter provvedere ad esplorazioni geognostiche in profondità non appena fosse finita la stagione invernale, la SADE incaricava intanto il prof. 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 (stabiliti in un sopralluogo effettuato il 13 ottobre 1959, dallo scrivente e dal sig. Maddalena, assistente del prof. Caloi), risalenti l'uno fino a quota 776, e l'altro fino a quota 850. Le registrazioni effettuate dettero luogo, secondo il prof. 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 prof. Caloi giunse alla conclusione che il massiccio in sponda sinistra « si fosse formato in loco » e che fosse di estrema solidità.

C.2 - Diagnosi del fenomeno nella primavera 1960

Le conclusioni formulate dal prof. Caloi contrastavano con quelle dello scrivente, il quale nella propria lettera al padre nell'aprile 1960 così riassume la propria opinione al riguardo: la zona esaminata non era ritenuta essere 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, secondo l'andamento indicato come uno dei possibili nello schizzo di sezione geologica allegato alla lettera. Appariva infatti probabile allora allo scrivente che gli strati rocciosi collegassero — secondo un piano a curvatura costante o quasi — le pareti inferiori della gola con le rocce affioranti sul fianco Sud della depressione del Piano della Pozza. Di conseguenza la zona di cui sopra, compresa fra la predetta depressione ed il Vajont, si sarebbe dovuta ritenere potenzialmente instabile. Queste le ragioni che determinarono, come si dirà appresso:

- a) l'esecuzione della prima campagna Caloi (1959) e l'ubicazione dei relativi profili geosismici;
- b) l'esecuzione delle prime perforazioni geognostiche (S1, S2 e S3);
- c) i primi controlli degli spostamenti.

Circa il meccanismo degli eventuali movimenti lo scrivente riteneva che avrebbero potuto determinarsi distacchi successivi di porzioni relativamente piccole in corrispondenza delle fratture riscontrate: da un punto di vista teorico 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 d'appoggio, cosa impossibile dall'esterno, appariva opportuno effettuare ricerche in profondità mediante le perforazioni di cui sopra, anche in conformità ai criteri generali di indagine stabiliti in precedenza.

Le opinioni sopra esposte vennero espresse dallo scrivente nel proprio rapporto del giugno 1960 in forma generica e prudentiale, data la impossibilità di controllare la reale esistenza ed entità del fenomeno prima del completamento delle esplorazioni in profondità in quel momento ancora in corso.

C.3 - Inizio del controllo degli spostamenti mediante capisaldi, primavera 1960

Al fine di controllare l'eventuale verificarsi di movimenti nella zona ritenuta instabile, furono installati alla sua superficie una decina di capisaldi la cui ubicazione planimetrica veniva periodicamente controllata mediante rilievi trigonometrici.

C.4 - Campagna di sondaggi S e di trincee alla Pozza, primavera - estate 1960

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 - luglio 1960 vennero eseguite così, nella zona della Pozza, tre perforazioni geognostiche (S1, S2 e S3) che vennero ubicate lungo un asse approssimativamente normale al corso del Vajont; una prima venne situata sul fondo della depressione della Pozza, una seconda sul ripiano omonimo ed una terza sul pendio inclinato tra il piano della Pozza ed il lago.

Dell'esecuzione dei sondaggi vennero incaricate le imprese specializzate Consonda e Icos, che avrebbero lavorato sotto la supervisione dello scrivente in unione al dott. F. Giudici, che si stabiliva permanentemente in luogo.

I sondaggi scesero rispettivamente a profondità di metri 172, 71 e 105 pervenendo alle quote di 658,50, 779,50 e 602,50. Oltre non fu possibile proseguire perchè le difficoltà dello scavo erano eccessive (franamenti continui). Durante lo scavo venne attraversata roccia per lo più minutamente fratturata in frammenti di modeste dimensioni, e l'acqua di perforazione veniva frequentemente perduta.

I materiali attraversati appartenevano tutti al Cretaceo inferiore, nei suoi vari livelli, meglio studiati più tardi (calcari di vario tipo, calcari marnosi rossi o verdastri, ecc., costituenti una massa fortemente fratturata e perciò di estrema permeabilità). Non si raggiunse mai il Dogger, e probabilmente neanche il Malm che lo ricopre. Non si riscontrò traccia del piano di scivolamento ricercato.

Dello stesso periodo è lo scavo di tre trincee nella depressione del Piano della Pozza; in esse, ed in particolare nella più occidentale, si poteva vedere la roccia calcarea attraversata da numerose e larghe fenditure, ma con la stratificazione ben conservata, debolmente inclinata con immersione verso NNE.

C.5 - Aggiornamento della diagnosi, estate 1960

A seguito dei risultati delle ricerche geognostiche di cui sopra, lo scrivente ritenne di poter modificare in senso più ottimistico le 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 il 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 al di là della zona del Piano della Pozza. Con il che si veniva a configurare il presunto piano di scivolamento come avente una superficie ancora grossolanamente concava, come già supposto in precedenza, ma con una estesa parte inferiore di giacitura non esattamente nota, ma certamente tale da assicurare una adeguata stabilità della massa sovrastante.

C.6 - Indagini geologiche di dettaglio, estate 1960

Conseguentemente si iniziava la ricerca di indizi superficiali che denunciassero l'affioramento di tale superficie nella zona sovrastante la Pozza. E' così che alla fine del luglio 1960 si vide che i due rami del torrente Massalezza, uno occidentale e l'altro orientale, seguivano l'affiorare di una superficie di contatto fra roccia del Cretaceo inferiore (allora ritenuta del Malm) in posto, con strati inclinati sui 40° circa con immersione verso Nord, e materiali vari, generalmente detrito o roccia estremamente fratturata. In corrispondenza di questa linea di affioramento si osservava anche un mutamento morfologico; oltre alle incisioni dei due rami del Massalezza, si avevano dei ripiani o delle zone poco inclinate, rispettivamente a quota 1.200 circa ad occidente e 1.250 - 1.300 ad oriente del Massalezza. Ad occidente inoltre, sui 1.150 m circa, vi era anche una notevole depressione. Poco a Sud-Est di quest'ultima, la roccia in posto consisteva in calcare oolitico del Dogger, anzichè in Cretaceo inferiore, come al solito, per la presenza di una faglia a direzione Est-Ovest di cui si potevano osservare i lisconi subverticali (Figg. 9 e 10).

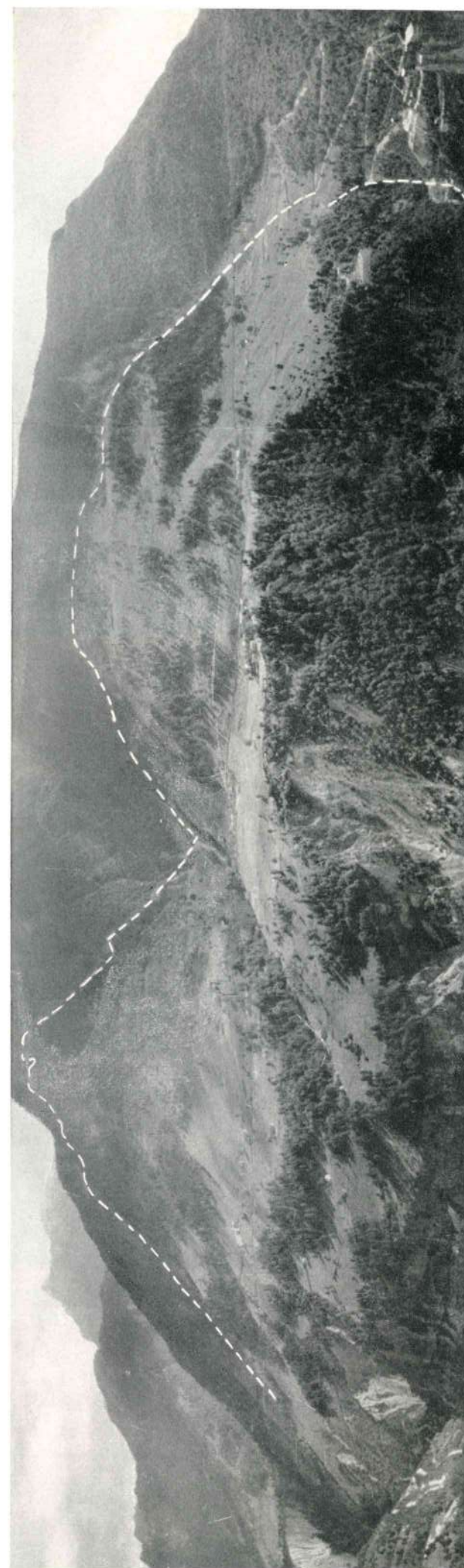


Fig. 9 - 1 settembre 1959 - Il versante settentrionale del M. Toc, dai pressi di Casso. In basso a sinistra il « Piano del Toc », al centro il ripiano della Pozza, limitato a sinistra (Est) dalla valle del Massalezza. Si notino in alto i due rami principali dello stesso torrente, nei quali comparirà l'anno dopo la fessura perimetrale, indicata dalla linea bianca tratteggiata.



Fig. 10 - Luglio 1960 - Il ramo occidentale del Massalezza; il versante meridionale, a sinistra di chi guarda, è formato da strati di Cretaceo inferiore (livello *a* basso) immersi verso Nord. Nel versante settentrionale gli strati erano molto fratturati, e quasi completamente mascherati da detrito.

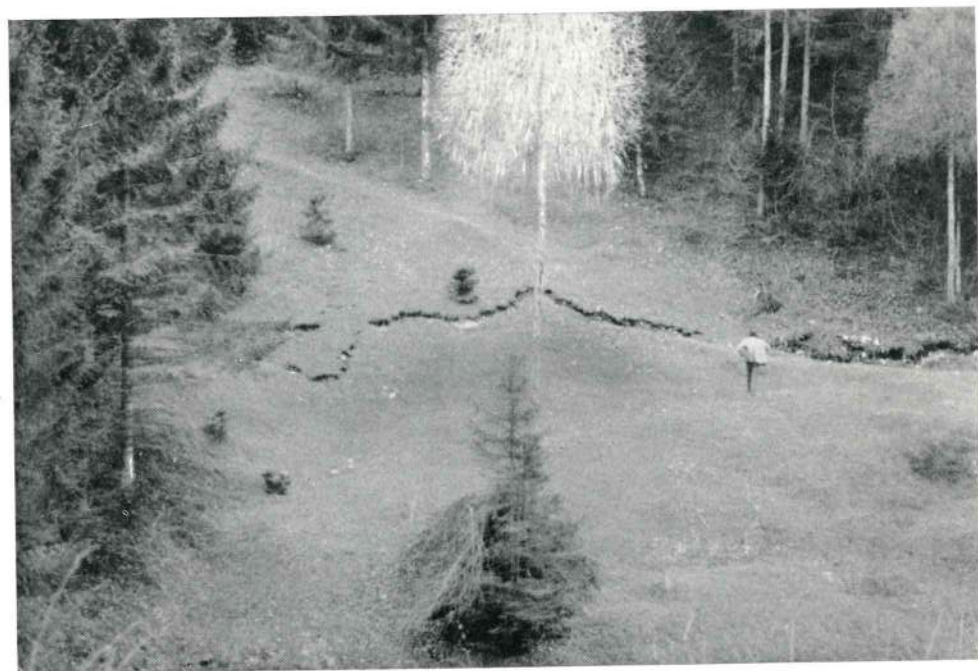


Fig. 11 - 9 novembre 1960 - La fessura perimetrale, al bordo meridionale della piccola conca presso la q. 1127, nella zona ad Ovest del Massalezza.

Questi elementi venivano ritenuti dallo scrivente come indicativi del probabile limite superiore della massa anticamente scivolata e costituivano — a suo avviso — una conferma della ipotesi formulata circa l'origine delle formazioni in esame.

La esatta estensione della massa interessata dallo scivolamento avvenuto in epoca remota non era tuttavia ancora stata accertata, particolarmente per la parte riguardante il limite orientale. Ma questo doveva avvenire ben presto, come è descritto più avanti.

D - LA FRANA DEL 4 NOVEMBRE 1960 E LE SUCCESSIVE CAMPAGNE DI STUDI 1961

D.1 - Apparizione della fessura perimetrale, ottobre 1960

Verso la fine di ottobre 1960 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 m 1.300 e scendeva poi verso il lago, sino a quota 1.100 circa, dove scompariva (Figg. 9 e 11).

Si manifestava così l'esistenza di una massa di materiale instabile del quale la fessura definiva la estensione superficiale.

La sua estensione in profondità rimaneva invece oggetto di ipotesi, non essendo stata raggiunta alcuna prova della esatta ubicazione del piano di scivolamento. Si formulavano varie ipotesi; la più probabile, secondo lo scrivente, era quella che la superficie di scivolamento seguisse — sia pure in modo irregolare — l'andamento degli strati rocciosi i quali, partendo con giacitura all'incirca orizzontale in corrispondenza alla zona milonitica visibile nella forra, si inclinavano poi risalendo verso l'alto, e si presumeva che si collegassero con la fessura perimetrale nella sua parte superiore.

D.2 - Frana del 4 novembre 1960

Il 4 novembre 1960 si verificava, sotto il Piano della Pozza, una frana di circa 700.000 m³, lungo un fronte di circa 300 m. L'immersione del materiale nel lago era avvenuta con relativa lentezza ed aveva dato luogo a modesti moti ondosi.

D.3 - Sopraluoghi, rilievi e pareri, inverno 1960 - 1961

Lo scrivente eseguiva un sopralluogo i giorni 8 e 9 novembre, ed assieme all'Ing. Ruol esaminava tutta la fessura. Verso sera si incontrava anche con il Dr. Müller, convocato al Vajont in seguito al verificarsi del fenomeno, ed insieme esaminavano la zona del Piano della Pozza, dove erano pure comparse numerose fratture.

Nei giorni 15 e 16 novembre lo scrivente s'incontrava nuovamente al Vajont con il Dr. Müller, il quale, esaminata la situazione verificatasi, precisava le proprie opinioni, sul fenomeno in atto, come esposto di seguito:

le due parti rispettivamente ad Est ed Ovest del Massalezza presentavano caratteristiche di struttura geologica e di meccanica del moto diverse tra di 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 rotato 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 Dr. Müller stimava che i movimenti in atto interessassero una massa di circa 200 milioni di m³ 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.

Sempre nel novembre 1960 il Dr. Broili e l'Ing. Fally, assistenti del Dr. Müller, eseguivano un esauriente rilievo della zona e misure geotecniche. Il parere del Dr. Müller, riportato qui sopra, veniva esposto nel rapporto 15°, del 3 febbraio 1961.

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. Il lavoro veniva compiuto nel periodo dal dicembre 1960 al settembre 1961.

Durante questo periodo, lo scrivente e il dott. F. Giudici ebbero modo di visitare la galleria, tutta scavata in roccia in posto, in ottime condizioni, i cui strati immergevano regolarmente verso ENE con debole inclinazione, concordemente a quanto previsto in base alle osservazioni di superficie. Nel taglio della nuova strada d'accesso alla finestra intermedia della galleria stessa, lo scrivente poté osservare, circa 200 m a valle del Ponte di Casso, a quota 650 circa, una piccola massa di calcari chiari, molto fratturati, la cui netta stratificazione aveva giacitura discordante con quella generale del versante destro del Vaiont. Più precisamente nella piccola massa gli strati immergevano verso Nord, con inclinazione crescente andando verso Nord, mentre l'immersione generale del versante è verso ENE. Questa piccola massa aveva perciò caratteri analoghi a quelle osservate circa un chilometro ad Est, pure in destra (Figg. 7 e 8) di cui si è detto al paragrafo B 3.

Si trattava perciò di un elemento nuovo, non molto rilevante, ma pur tuttavia tale da rendere un po' più probabile l'ipotesi che il movimento preistorico del versante sinistro fosse stato uguale per tutta la estensione della massa in sinistra, e che quindi tutta la massa fosse scesa fino ad ostruire l'antica valle (v. § B3, in fondo).

D.4 - Estensione del sistema di capisaldi

Dopo la frana del 4 novembre e la comparsa della fessura perimetrale il sistema di controllo trigonometrico e su capisaldi veniva esteso a tutta la zona delimitata dalla fenditura perimetrale, mediante costruzione di una decina di nuovi punti di misura, parte dei quali sostituivano punti rivelatisi inutilizzabili o crollati con la frana del novembre.

D.5 - Seconda campagna geofisica, inverno 1960 - 1961

Al fine di individuare la profondità della massa rivelatasi instabile la SADE richiedeva nello stesso mese di novembre 1960 al prof. 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.

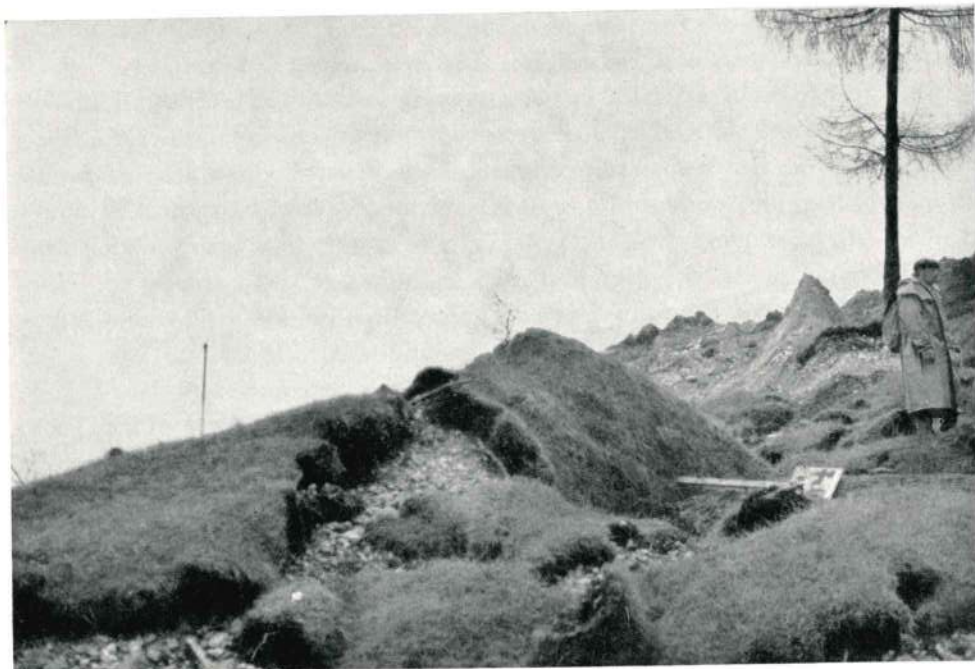


Fig. 12 - Novembre 1963 - La tabella del punto 54, uno dei punti tenuti sotto osservazione continua negli ultimi anni per il controllo degli spostamenti. La tabella è stata rinvenuta nel lobo orientale, abbattuta insieme alla pianta cui era fissata.

A conclusione dello studio il Prof. 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 una 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 Prof. 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 del 1960 (v. fig. 2) (560 in corrispondenza al profilo geofisico), e da quella media (600), assunta in un modello idraulico (vedi più oltre, § E).

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 detta 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.

D.6 - Cunicoli esplorativi in val Massalezza

Nel corso della primavera, sia in esecuzione dei criteri generali di indagine a suo tempo suggeriti dal Dr. Müller, sia per suggerimento specifico del Prof. Penta - geologo membro della Commissione Ministeriale di Collaudo - veniva scavato un cunicolo in sinistra di Val Massalezza, ubicato poco al di sotto della fenditura di distacco 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 vergenti a Nord, ma nell'insieme gli strati immergevano verso Nord con inclinazione di 30° - 40° circa.

Alcuni mesi più tardi, nell'aprile 1961, questo cunicolo in sinistra di Val Massalezza fu anche ispezionato dai geologi Dr. Broili e 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 media di 30 gradi, mentre nella parte inferiore tale piano, non visibile, veniva supposto identificarsi con il contatto Dogger-Malm avente andamento circa 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 in posto; tre rami di questo uscivano all'aperto, attraversando pochi metri di materiale sciolto, probabilmente detrito di frana, ma che poteva essere interpretato anche come normale detrito di falda.

D.7 - Campagna di sondaggi P, primavera - estate 1961

Ancora nell'aprile 1961, venne decisa — di comune accordo anche con i tecnici della Commissione di Collaudo — l'esecuzione di altri quattro sondaggi (P1, P2, P3, P4) ubicati su due sezioni situate

ad oriente dei precedenti sondaggi S1, S2 e S3, l'una 200 m ad occidente del Massalezza, l'altra 400 m ad oriente. Scopo dei nuovi sondaggi era di poter misurare la falda che era ritenuta elemento essenziale ai fini dell'equilibrio della massa.

Anche i nuovi sondaggi vennero effettuati dalle imprese Consonda e Icos sotto la supervisione dello scrivente e del Dr. Giudici. Essi raggiunsero profondità di 170 e 220 m scendendo fino a quote comprese tra 620 e 670.

Benchè la campagna fosse svolta celermente a causa dell'interesse di installare al più presto i piezometri, si utilizzarono ugualmente tutti i dati ricavabili dai « cuttings », cioè dai frammenti della roccia portati a giorno dall'acqua di perforazione, per completare la diagnosi della situazione.

Furono attraversate zone di calcari compatti e zone di roccia più o meno fortemente fratturata. I sondaggi vennero arrestati dopo essere profondamente 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 incontrati sempre terreni che, secondo lo scrivente, avevano partecipato all'antico 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; ad oriente di tale torrente i dati raccolti non permettevano di definire la estensione del « piede » del piano di scivolamento.

D.8 - Diagnosi conclusiva del fenomeno, estate 1961

La vasta campagna di indagini svolta nei due anni precedenti aveva consentito la raccolta di informazioni ampiamente sufficienti, a giudizio dello scrivente, per permettergli di giungere — nell'estate 1961 — ad una diagnosi conclusiva dei fenomeni in atto, secondo quanto segue:

Si riteneva che la massa in moto si spostasse su un piano di scivolamento che congiungesse la milonite — che, benchè visibile solo in piccola parte, si riteneva esistesse lungo tutta la fronte — con la fessura perimetrale. Poichè tale piano si riteneva seguisse all'incirca l'andamento delle stratificazioni della roccia, era pos-

sibile 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 di calcari e calcari marnosi, compatti, con interstrati teneri, calcarei o marnosi, tutta più o meno fratturata abbondantemente 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, lo scrivente condivideva il parere di movimenti di tutta la massa, con apertura di crepe anche nell'interno della massa stessa e con spostamenti dell'ordine al massimo di qualche centimetro al giorno. In base a tale opinione si prevedeva che dapprima sarebbe crollato il fronte della frana, e che poi via via, in tempi successivi, sarebbero crollate altre fette; il materiale crollato — che si stimava composto da molteplici blocchi più o meno indipendenti tra loro — avrebbe agito da freno e da stabilizzante per il materiale che stava in alto; comunque, anche nella peggiore ipotesi, la massa in moto si sarebbe definitivamente arrestata quando attraverso uno o più franamenti fosse venuta ad appoggiarsi solidamente alla sponda opposta.

Le opinioni di cui sopra, come pure quelle formulate in precedenza, venivano verbalmente esposte al padre dello scrivente, ai colleghi geologi ed ai tecnici incaricati dello studio o del controllo. In molti aspetti essenziali esse si accordavano in particolare con quelle formulate dal Dr. Müller, 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 che detta evoluzione avesse avuto in effetti a verificarsi.

E - STUDI SU MODELLO IDRAULICO, 1961 - 1962

Dopo la frana del 1960 sorse nella mente dell'ing. 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 a tal uopo le più pessimistiche tra le previsioni formulate dagli specialisti interpellati.

Venne pertanto approntato presso il Centro di Nove un modello nel quale inizialmente la superficie di scorrimento fu riprodotta in forma piana, sperimentando due differenti 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 ritenuta del medesimo.

In occasione di una di queste prove, lo scrivente compì assieme a suo padre una visita a Nove nell'agosto 1961.

In tale circostanza suggerì che sarebbe stato più opportuno modificare la forma della superficie di scorrimento in modo da renderla più aderente all'andamento degli strati.

A tal fine venne pregato di preparare una serie di profili dai quali risultasse — secondo la sua opinione — l'andamento del supposto piano di scivolamento. Tali profili, disegnati con la sua supervisione dall'Ufficio Lavori del Vajont, vennero utilizzati per la costruzione di una nuova superficie di scorrimento ed una conseguente nuova serie di prove.

Nel corso della visita fu scartato il suggerimento di sostituire alla ghiaia un insieme di mattoni in quanto si ritenne che l'impiego della ghiaia meglio rispondeva al fenomeno che si prevedeva.

In seguito lo scrivente non ebbe più occasione di interessarsi direttamente delle prove su modello, pur avendo notizia in varie occasioni che gli studi proseguivano regolarmente.

F - 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 e 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 alla massa un nuovo assetto di equilibrio definitivo.

Poiché d'altra parte il volume della massa in movimento non era definito in forma diretta e sicura (ed era anzi oggetto di contrastanti ipotesi e di dibattiti tra gli specialisti), tutti gli esperti che studiavano il problema — inclusi i tecnici della Commissione di Collaudo — 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.

Lo scrivente partecipò tra l'altro ai sopralluoghi effettuati il 10 aprile 1961 (Penta, Sensidoni, Esu, Dal Piaz, C. Semenza, Biadene, Tonini, Pancini), ed il 17 ottobre 1961 (Penta, Frosini, Sensidoni, Dal Piaz, D. Tonini, Biadene, Pancini) dalla Commissione di Collaudo avendo in tal modo occasione di procedere a scambi di opinioni in materia, ed esponendo le proprie vedute agli intervenuti.

Pur non avendo seguito in forma diretta e sistematica l'andamento degli invasi lo scrivente si informava, nei suoi contatti saltuari con dirigenti e tecnici della società, circa il comportamento della massa in movimento. Venne così a conoscenza del fatto che le velocità di spostamento (il numero dei capisaldi di controllo era stato ultimamente aumentato) risultavano essere influenzate soprattutto in corrispondenza della prima bagnatura di zone mai prima interessate da un invaso, che tale fenomeno si arrestava all'abbassarsi dell'invaso stesso, e successivamente non si ripeteva — o si ripeteva solo in forma assai più modesta — alle bagnature successive, e che comunque le velocità di spostamento risultavano mantenersi assai inferiori a quelle che erano state registrate nell'autunno 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 1960, denunciavano ora periodi di quiete 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 1960, mentre alcune forti scosse isolate avvertite anche dalla popolazione risultavano avere l'epicentro fuori del serbatoio.

Tale insieme di fatti obiettivamente 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.



Fig. 13 - Panorama dai prati ad Ovest del paese di Casso, ripreso alla mattina del 10 ottobre 1963.

G - SECONDO RILIEVO GEOLOGICO, INVERNO 1963

Come si è detto nell'introduzione il presente capitolo e il seguente rispecchiano i risultati di ricerche compiute in collaborazione col Prof. D. Rossi. Per la esatta datazione dei terreni sono servite le ricerche micropaleontologiche delle dott. C. Broglio Loriga e M. G. Mantovani, in corso di stampa.

G.1 - Formazioni osservabili nella zona

Le numerose crepacciature, le piccole faglie, e soprattutto il pressochè totale dilavamento della coltre vegetale ed agraria della maggior parte della massa scivolata hanno permesso di conoscere con maggior precisione di quanto non fosse possibile prima, la natura delle varie formazioni interessate dal fenomeno e la loro successione stratigrafica (Figg. 13 e 14).

A partire dai terreni più antichi verso i più recenti si osservano nell'ordine le formazioni descritte qui di seguito.

do Dogger: calcari oolitici e calcari cristallini.

Formazione molto compatta, mal stratificata in potenti banconi, assai rigida, abbastanza fratturata e quindi abbastanza permeabile. Spessore complessivo circa 300 metri. Su di essa si appoggia la diga; forma inoltre l'ossatura fondamentale del monte Toc, ed è visibile al di sopra della zona da cui si è staccata la massa scivolata, nonchè ad Ovest di essa e nella gola del Vajont a valle della diga. Non ha partecipato al movimento.

ma Malm: calcari grigi selciferi a selci nere, talora mandorlati. Formazione a strati sottili (non più di 15 cm) con abbondanti intercalazioni di selci, o noduli di selce sparsa; qualche intercalazione di esili veli calcarei o calcareo-marnosi teneri; facilmente fratturabile e ripiegabile, ma molto più compatta della formazione immediatamente soprastante. La potenza complessiva non è mai valutabile con esattezza, ma è compresa tra i 30 ed i 50 m. Si osserva nella parte più alta della Costa delle Ortiche e in altri punti del versante del M. Toc fuori dei lastroni della zona di distacco, e inoltre sulla destra del Vajont, sopra la diga.

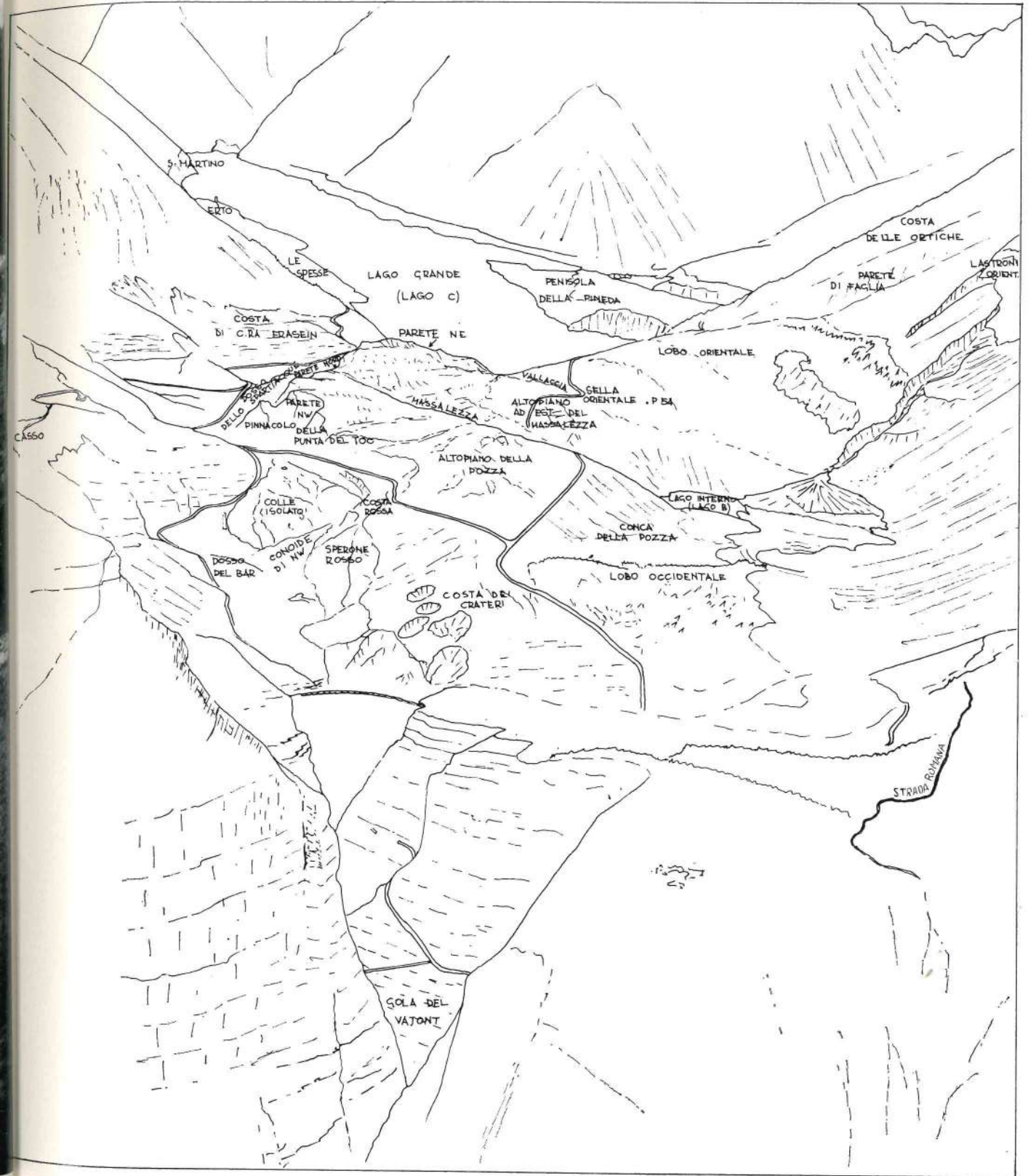
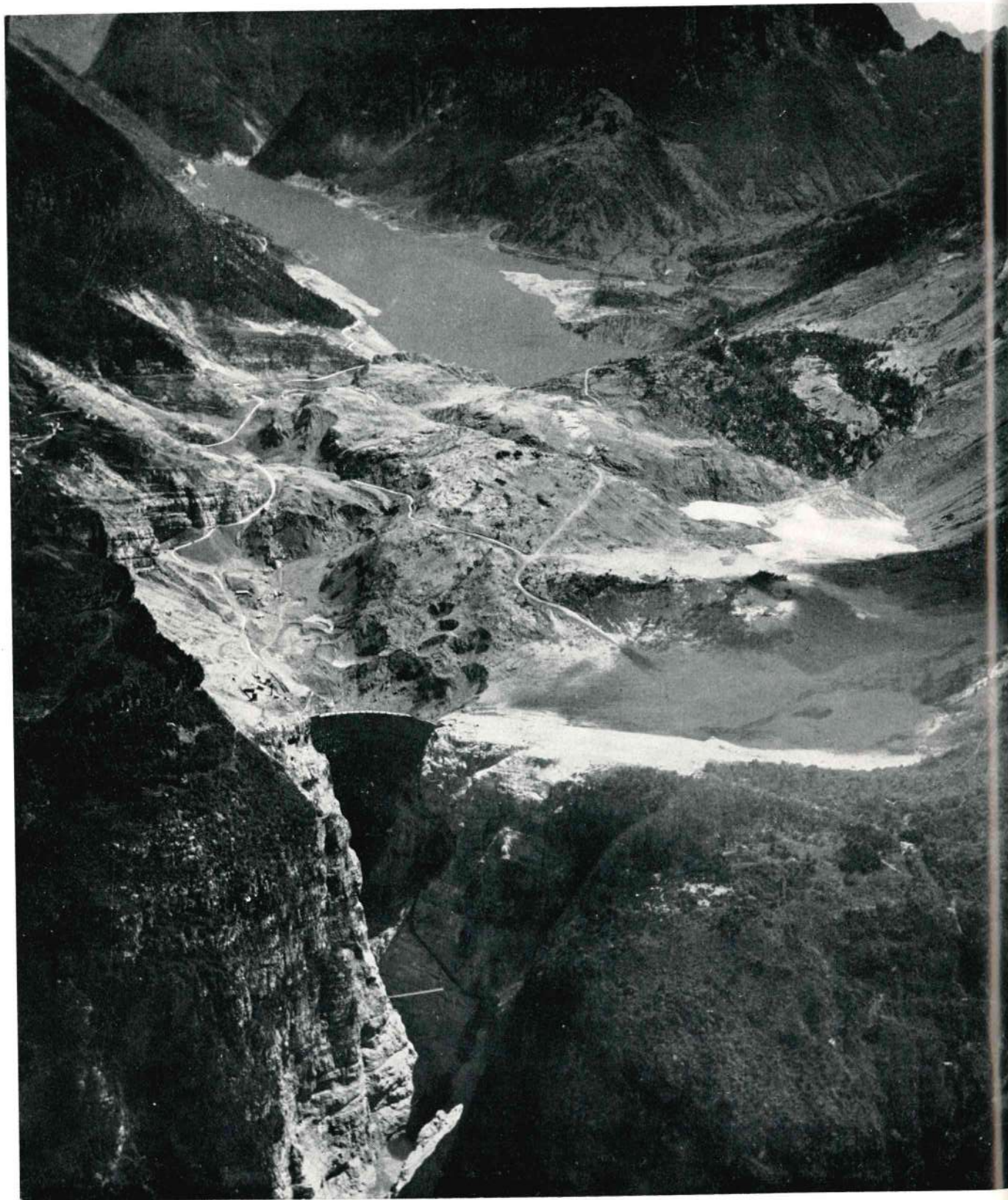


Fig. 14, A - Veduta della massa scivolata, presa dall'aereo nel maggio 1964. Nello schizzo (Fig. 14, B) sono riportati i nomi usati nel testo (Foto Eddy).

Fig. 14, B

- a* *Cretaceo inferiore e medio* (parte bassa \approx Aptiano): complesso di calcari e calcari marnosi, con interstrati teneri calcarei, marnosi o marnoso-argillosi, con selci, prevalentemente rosso in alto, verdognolo nella parte mediana, e grigio chiaro nella parte bassa. Formazione a strati sottili, molto fratturati, nel complesso piuttosto deformabile. Lo spessore, valutabile soltanto sulla parete di faglia che limita ad Est la zona di distacco, è di circa 120 m. Oltre che in questa zona, la formazione affiora sui lastroni della zona di distacco. La superficie di scivolamento corrisponde infatti a vari estesi tratti di diversi strati della parte bassa del complesso *a*: il collegamento avviene mediante gradini tagliati trasversalmente agli strati. Il complesso *a* si osserva inoltre in vari punti della massa scivolata, di solito alla periferia, e in particolare nella zona dei crateri, vicino alla diga, e nel lobo orientale ¹⁾.
- b* *Cretaceo medio* (parte medio-superiore): conglomerato a cemento rosato o grigio. E' un bancone di una decina di metri di potenza, con al tetto un livello calcareo di un metro circa di potenza. Si distingue dal conglomerato osservabile nel livello *d* perchè il cemento che unisce i frammenti è roseo o grigio anzichè biancastro. Assai compatto, spicca sulle altre formazioni, formando spesso un gradino. E' visibile in moltissimi punti; in particolare sul fianco occidentale del « Colle Isolato », alla base del « Pinnacolo », o sul fianco sudoccidentale della Conca della Pozza.
- c* *Cretaceo medio-superiore* (Albiano \approx Cenomaniano): complesso in cui si alternano banchi abbastanza compatti (almeno in origine) di calcari grigi e pacchi di straterelli calcarei e calcareo-marnosi verdognoli meno resistenti. Nell'insieme la permeabilità originaria doveva essere discreta: oggi è forte a causa della notevole fratturazione. Si osserva bene nel « Pinnacolo » e nell'estremità SW della parete di NW della Punta del Toc.
- d* *Cretaceo superiore* (\approx Turoniano): complesso di calcari marnosi e siltosi rossi, con una intercalazione di conglomerati e calcari. Si sono riuniti tre distinti complessi oltremodo caratteristici, due rossi, in basso e in alto, e il terzo intermedio, spesso conglomeratico, talora con pieghe sinogenetiche; nell'insieme hanno una potenza di 14 metri circa. La compattezza del complesso è scarsa. Esso si osserva in molte parti della massa scivolata, ed in partico-

¹⁾ Questi ed altri nomi sono stati usati per indicare vari punti del nuovo paesaggio (v. Fig. 14).

lare nelle pareti di NW e di Nord della Punta del Toc, e sui due versanti della Valle del Massalezza.

- e* *Cretaceo superiore* (\approx Coniaciano): calcari fini con selci varicolori. E' un complesso di circa 27 metri di potenza, formato da calcari di vario tipo, prevalentemente mandorlati alla base, ricchi di selce. La compattezza, almeno in origine, era notevole; anche ora è maggiore che negli altri orizzonti, come si può vedere nella parete Nord della Punta del Toc e nei due altipiani, della Pozza e ad Est del Massalezza, dove questo complesso affiora largamente.
- f* *Cretaceo superiore* (\approx Santoniano): complesso rosso e verde di calcari e marne con selci rosse. La colorazione, nel complesso rosea, è più tenue che negli altri livelli descritti più sopra, mentre la compattezza è maggiore. Si osserva soprattutto nella zona nordorientale della massa scivolata.
- cs* « Scaglia rossa » del *Cretaceo superiore*. Si tratta di calcari marnosi nella parte più bassa, e per il resto di marne, generalmente rossi, ma con una intercalazione grigia. Non ha partecipato al movimento.
- q* *Quaternario*: depositi precedenti allo scivolamento: morenici, detritici ed alluvionali. In grande prevalenza si tratta di detrito grossolano ad elementi arrotondati, abbondante nella parte nord-orientale; nella zona dell'Altipiano della Pozza vi è una piccola zona con argille lacustri. La presenza di depositi morenici è problematica.
- q'o* Detrito depositato dall'onda provocata dallo scivolamento. Materiali detritici di vario genere, strappati da falde detritiche od alluvionali, o da affioramenti di roccia molto fratturata. Sono riconoscibili perchè non hanno subito cementazione, nè assestamento, nè rimaneggiamenti; la forma degli accumuli di questi materiali consente di ricostruire l'andamento dell'onda. Si osservano un po' dovunque, specialmente nelle zone più basse.
- q'd* Falde e conoidi detritiche o alluvionali posteriori allo scivolamento. Si tratta di detriti caduti dai lastroni della zona di distacco, e di conoidi dei torrenti, formatesi specialmente durante le piogge del novembre 1963. In vari punti hanno modificato notevolmente le condizioni topografiche, che perciò non rispondono più a quelle della carta rilevata subito dopo lo scivolamento. Ciò vale specialmente per il lago interno (B), che ne è risultato dimezzato.

G.2 - Condizioni strutturali della massa scivolata

Si possono ora osservare alcune pieghe, a direzione all'incirca Est-Ovest. Le principali sono, da Nord a Sud:

1. La *Sinclinale del Toc*, ben visibile sulla parete NW della Punta del Toc, complicata da una anticlinale minore, fagliata.

2. La *Anticlinale « principale »*, sempre fagliata sul fianco Sud, ben visibile nella parte Nord del Massalezza.

3. La *Sinclinale del Pian della Pozza*, piuttosto ampia, ed anch'essa complicata da una piccola anticlinale; anche questa può essere osservata ottimamente nella Valle del Massalezza.

Nella parte nordorientale vi è una zolla formata da materiali del livello *a*, sovrapposta al livello *f*, che sta in posizione normale sopra gli altri livelli della serie.

Come si è già detto nella relazione 1959-60, si tratta di una zolla scivolata dal Monte Toc sull'altra zolla, scivolata in epoca preistorica. E' probabile che quest'ultima si sia mossa dopo l'altra. Una zolla analoga di materiali del livello *a*, forse in origine collegata alla prima, si trova anche nel Colle Isolato. Numerose faglie, ora ben osservabili, si devono ritenere esistenti già da prima dello scivolamento. In alcune di queste si è avuto qualche movimento dell'ordine del metro anche durante lo scivolamento.

Tra quelle che non si sono mosse si possono ricordare le due piccole faglie immergenti verso Nord, che si osservano nella parete NW della Punta del Toc; la più a Nord di quelle che attraversano il Massalezza e le due che tagliano la cerniera della anticlinale secondaria, che complica la sinclinale della Pozza.

Vanno pure ricordate le superfici di movimento, riconducibili probabilmente a piccole pieghe-faglie poco inclinate, osservate sulla « Costa Rossa ».

Tra i fenomeni di dislocazione verificatisi invece durante lo scivolamento si possono ricordare i seguenti:

1. La seconda da Nord delle faglie che traversano il Massalezza, e che attraversa tutta la massa, dalla « Valle di NW » alla « Vallaccia », è dovuta alla « ripresa » di una faglia vecchia, e presenta ora un rigetto di un metro o due ad Ovest, e di una decina di metri ad Est, con innalzamento della parte a Nord; è dovuta a compressione.

2. La linea che limita a Nord il lobo orientale e che corrisponde alla superficie di accavallamento di questo sul resto della massa scivolata. Il lobo orientale dovrebbe infatti essere scivolato in un momento immediatamente successivo, come testimoniano la superficie



Fig. 15 - Novembre 1963 - La testata della « Vallaccia », con la superficie erbosa della massa principale che si immerge sotto la fronte del lobo orientale.

erbosa della massa principale, che si immerge sotto il gradino che limita a Nord il lobo stesso, e la discordanza fra questo limite e gli strati della massa principale (Fig. 15).

3. Le pieghe che complicano i due lobi, orientale ed occidentale; si tratta di pieghe in senso lato, in quanto la estrema fratturazione della roccia ha fatto sì che i fenomeni plicativi si traducessero, alla superficie, in fascie abbassate compresse (nuclei di sinclinali) e fascie rigonfiate stirate (dorsi di anticlinali); anche queste hanno direzione all'incirca Est - Ovest.

4. La faglia di distensione che separa il « Pinnacolo » dal resto della massa scivolata, e che probabilmente si è verificata in una fase di distensione, ossia durante un moto di ritorno della massa verso Sud, e verso il basso, dopo il movimento principale verso Nord.

5. La disposizione disordinata e le faglie del « Dosso dello Spartiacque »; tutto ciò sembra dovuto, data la quota piuttosto bassa a cui si trovano tali masse, ad una caduta prima dello scivolamento, ma in epoca recente, di parti della parete Nord della Punta del Toc; evidentemente tali masse non erano arrivate in fondo al lago e sono state perciò sospinte avanti insieme alla massa principale.

6. Numerosissime fratture, molte delle quali aperte fino a qualche metro, orientate prevalentemente secondo due direzioni, grosso modo da Est ad Ovest e da Nord a Sud. E' probabile che parte di queste fratture esistessero già prima del movimento, ma è certo che esse si sono aperte durante lo scivolamento. Spesso una zolla compresa fra due fratture risulta abbassata, anche di qualche metro.

G.3 - Effetti idraulici sulla massa e sulle zone circostanti

Si possono studiare da vari indizi. Uno è il piegamento di oggetti sporgenti come le aste metalliche (Fig. 16) o l'erba dei prati; poi vi è il dilavamento più o meno forte, talora fino alla completa asportazione del detrito; infine la formazione di depositi alluvionali di vario tipo.

Si può così ricostruire abbastanza bene l'insieme dei movimenti dell'acqua, prodotti dallo scivolamento della massa nel serbatoio.

Anzitutto l'acqua ha risalito il versante destro della valle del Vajont. L'altezza raggiunta è diversa a seconda delle zone; in generale è maggiore in corrispondenza delle valli, e dove esisteva la possibilità

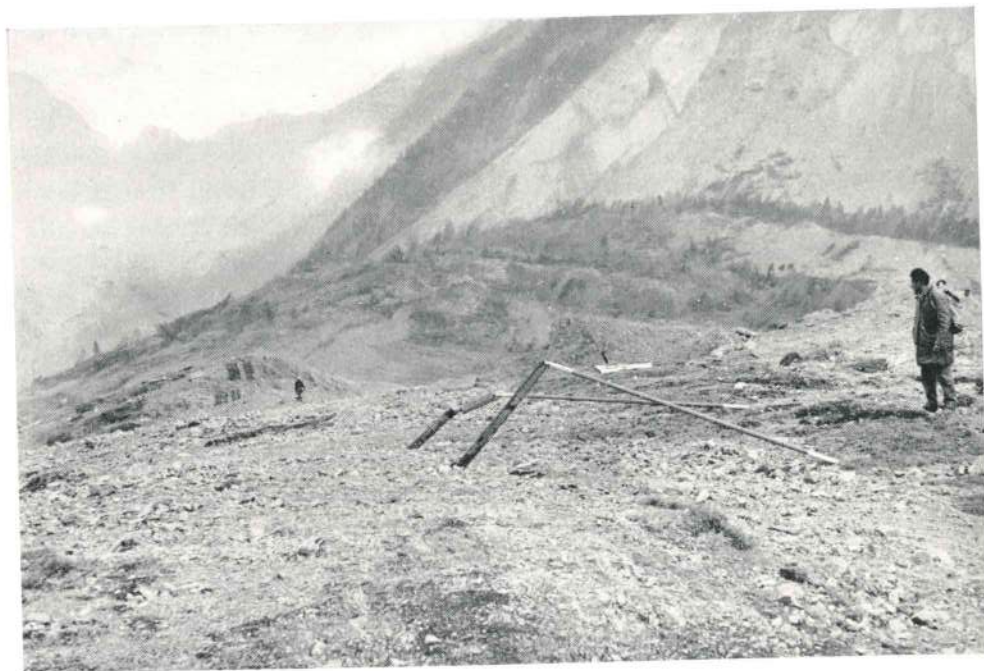


Fig. 16 - Novembre 1963 - Le due aste osservabili sull'« Altopiano della Pozza », piegate dall'onda di ritorno, che ha percorso la zona in direzione Sud.

di incanalarsi. Inoltre l'acqua è stata spinta anche nella direzione della Valle del Vajont, sia verso Est che verso Ovest. Ad Est l'onda si deprimeva gradualmente, rialzandosi in corrispondenza di alcuni ostacoli, come il dosso della frazione « Le Spesse », lo sperone della Pineda, e la costa di S. Martino. Ad Ovest invece, per la presenza della diga e delle pareti della gola, si aveva una spinta notevole verso l'alto, che determinava la risalita dell'acqua fino a lambire il paese di Casso. Più ad Ovest poi l'acqua si precipitava oltre la diga, nella gola del Vajont, sicché il livello raggiunto dall'acqua si abbassava abbastanza rapidamente.

Una forte ondata si incanalava sulla spalla sinistra della diga, raggiungendo quote assai elevate, e colpendo anche il fianco occidentale della massa scivolata.

Notevolissimo è il fatto che l'acqua che aveva risalito il fianco destro della Valle del Vajont, ricadeva poi verso Sud, scavalcandola e giungendo con violenza nella depressione costituita del Massalezza. Qui si veniva a formare un lago interno (B), poi abbassatosi abbastanza rapidamente, e si accumulavano innumerevoli detriti e tronchi d'albero, sradicati dalla superficie della massa del Toc. Tale onda non arrivava però a colpire i lobi orientale ed occidentale, a causa della loro posizione elevata ed arretrata.

G.4 - Superficie visibile di scivolamento

Si possono distinguere due parti: i « lastroni », sia occidentali che orientali, e la parete di faglia che limita ad Est la zona di distacco.

I *lastroni* sono le superfici degli strati rimasti in posto (parte bassa del livello *a* del Cretaceo inferiore), le quali sono parallele al piano principale di movimento, che si trovava un po' più sopra ad essi. Si deve pensare infatti che durante il movimento qualche strato, per uno spessore fino a qualche metro, si sia potuto staccare dalla massa sottostante al vecchio piano di movimento e sia stato trascinato a valle con il resto. Inoltre, dopo il movimento, una gran quantità di materiale roccioso, rimasto sul posto ma instabile a causa della nuova situazione creatasi, si è staccato ed è caduto sotto forma di piccoli scivolamenti o di pioggia di sassi, più abbondanti durante le piogge ed all'atto del disgelo; questi fenomeni sono destinati a proseguire per anni, ed avverranno di preferenza dove si osservano attualmente dei gradini che tagliano gli strati.

L'insieme dei lastroni ripete l'andamento degli strati ed è conformato a doccia, dato che gli strati della parte occidentale si immergono verso Nord, mentre andando verso Est ruotano gradualmente fino ad immergersi verso NNW nella parte orientale.

Lo stato della roccia è nel complesso discreto, ma qualche « pacco » di strati in posizione instabile è molto fratturato.

La *parete di faglia* sul lato orientale aveva in origine notevole regolarità (rispecchiata nella carta alla scala 1:5000) perduta poi in vari punti, in conseguenza di distacchi di fette cadute verso NW. La superficie nel complesso immerge verso N 67° W con una inclinazione di 55°. Su di essa si osservano le testate degli strati dei livelli *a*, *b*, *c* e *d* immergenti verso NNE con inclinazione un po' maggiore o uguale a quella del pendio boscoso sovrastante; dove è stata asportata la breccia di frizione (due-tre metri?) si può osservare che la roccia è in buono stato, il che conferma che questa parte non si è mai mossa.

G.5 - La parte non visibile della superficie di scivolamento

Lo scrivente è del parere che la superficie di scivolamento lungo la quale è avvenuto il collasso del 9 ottobre 1963 — e che finora non è direttamente determinabile nella sua parte inferiore — si sviluppi nelle vicinanze della zona di separazione tra roccia in posto e roccia già mossa in precedenza, zona che egli ritiene fosse compresa in massima parte nello spessore del livello *a* (che, come si è riscontrato ora, è piuttosto friabile) salvo verso Est e verso il basso, dove probabilmente risaliva nelle serie tagliando tutti i livelli, fino almeno all'*e* (tutti livelli alquanto compatti, almeno in origine).

Egli ritiene probabile che durante il collasso si sia mossa anche una parte, non molto grande, della roccia in posto, soprattutto nella parte centrale ed orientale della massa, la cui resistenza, fiaccata negli ultimi anni a causa degli sforzi subiti, sarebbe stata vinta solamente al momento dello scivolamento.

In definitiva la recente superficie di scivolamento non corrisponderebbe a suo avviso ad un unico piano di stratificazione, ma risulterebbe composta da parti più o meno estese di vari piani di stratificazione, le quali sarebbero collegate tra loro da gradini trasversali ai piani stessi, gradini formati in seguito a fratture che in tempi successivi avrebbero gradualmente interrotto la continuità degli strati.

Sulla loro base è stata eseguita una valutazione del volume di roccia che ha partecipato al collasso e che è stimato ammontare a circa 270 milioni di metri cubi.

H - IPOTESI CIRCA IL MECCANISMO DI MOVIMENTO E ROTTURA

H.1 - Caratteristiche meccaniche generali delle formazioni interessate

Il comportamento delle varie formazioni geologiche nel corso del collasso finale — desumibile dalle condizioni constatate nel corso del rilievo — permette ora di precisare alcune caratteristiche meccaniche peculiari delle formazioni interessate, che contribuiscono alla migliore interpretazione dei fenomeni avvenuti in precedenza.

Si può infatti constatare chiaramente, in seguito alla rimozione della copertura superficiale prodotta su larga parte della superficie topografica dai moti ondosi originati dalla caduta, che le formazioni superiori — indicate nella carta e nei profili con le sigle *c*, *d*, *e* ed *f*, sono costituite nel loro complesso da roccia assai fratturata, i singoli elementi della quale hanno tuttavia solida consistenza.

La formazione inferiore (*a*), anch'essa assai fratturata, appare invece oggi assai meno solida e maggiormente deformabile di quelle sovrastanti. Contribuisce a ciò sia la sua suddivisione in strati sottili, sia la presenza di minute intercalazioni di materiali teneri.

E' risultato confermato inoltre che tutte queste formazioni, come pure le sottostanti *ma* e *do*, sono disposte a franapoggio (cioè con strati immergenti verso Nord) nella loro parte meridionale, verso il monte Toc e descrivono poi in basso un'ampia piega, che dà all'insieme di queste formazioni una caratteristica strutturale a sedile, con base orizzontale. Tale struttura è ben visibile, per quanto si riferisce agli strati del Dogger, osservando da Longarone la antistante parete sinistra della valle del Piave, a valle della confluenza del Vajont.

H.2 - Periodo di movimento lento

Lo scrivente ritiene confermata in linea generale la propria precedente opinione, secondo la quale l'instabilità della massa precipitata il 9 ottobre 1963 ha origine remota in movimenti che nel corso di periodi geologici precedenti hanno interessato la parte superiore delle formazioni costituenti il fianco sinistro del bacino nella zona in esame. Tali movimenti — le cui modalità non sono ancora oggi ben chiare — avrebbero condotto dette formazioni ad ostruire la valle a quel tem-

po esistente, arrestandosi contro quello che allora era il suo fianco destro.

Successivamente il torrente avrebbe nuovamente intagliato la massa rocciosa, creando la gola che esisteva nell'epoca attuale, la quale gola nella parte orientale veniva a ricalcare la vecchia valle approfondendola, mentre nella parte occidentale era spostata a Sud dell'alveo precedente, il quale restava sepolto dalla zolla che costituisce adesso il Colle Isolato. La complessità dei fenomeni avvenuti dal 1960 al 1963, fa tuttavia pensare che il modo con il quale i moti antichi si erano svolti e soprattutto le caratteristiche della superficie o zona di separazione tra la roccia in posto e la roccia già precedentemente mossa fossero più complesse di quanto era raffigurato nel modello ideale ipotizzato nel 1960-61.

E' presumibile anche, per i numerosi segni di stanchezza strutturale rivelatisi già in passato, che la massa abbia subito minori ed irregolari moti di assestamento anche in seguito, nel corso della modellazione della morfologia contemporanea. E' anche probabile — come suggerisce del resto il nome di « Toc » e la tradizione locale, che tali movimenti siano proseguiti, in forma lenta ma peraltro percepibile attraverso manifestazioni esterne, anche in epoche recenti. A tale effetto ha senza dubbio contribuito in maniera essenziale l'imbibizione dell'acqua piovana, che permeava con facilità tutta la zona, e l'azione in profondità della falda freatica, sia in quanto origine di pressioni idrostatiche sulla massa, sia per la riduzione di resistenza che l'imbibizione determinava sugli strati di materiali meno consistenti.

L'acqua del serbatoio, penetrando in profondità nella massa rocciosa, ha favorito la ripresa dei movimenti, determinando lenti spostamenti che si manifestavano prevalentemente in periodi di invaso crescente e di precipitazioni intense, senza che tuttavia si manifestasse una correlazione sistematica tra il livello del serbatoio e lo spostamento della massa, mentre invece veniva notata una tendenza dei movimenti a ridursi nel corso di bagnature successive della stessa zona. I moti si manifestavano nella zona sottostante la Pozza sotto forma di deformazioni e rotazioni di elementi verticali, separati da fratture o discontinuità pure più o meno verticali, talvolta coincidenti con pieghe-faglie. Nella parte sovrastante invece, probabilmente a causa della diversa struttura ivi esistente, i moti avvenivano sotto forma di traslazione, probabilmente distribuiti sulla superficie di più giunti di stratificazione.

La complessità del movimento in atto, che risultava in quel periodo dal contemporaneo presentarsi di fenomeni di tipo diverso in diverse parti della frana, è chiaramente denunciata dalla ubicazione planimetrica della fessura perimetrale, che terminava sul lato occidentale a quota 850, circa 150 m sopra il massimo invaso raggiunto ed a

circa 200 m di distanza dal bordo del serbatoio, mentre tale distanza saliva ad oltre 300 m in quota e 600 m in planimetria sul lato orientale. Concorre a tale valutazione anche la irregolare distribuzione dei settori di spostamento; mentre infatti i movimenti massimi erano denunciati nella zona sottostante la Pozza, ad occidente del Massalezza — dove l'ampio « sedile » offriva le maggiori possibilità di resistenza e ci si sarebbe perciò aspettato di avere movimenti minori — essi andavano invece progressivamente riducendosi verso la zona orientale (la cui estremità permaneva pressochè ferma) nella quale zona era stato stimato che meno solido fosse l'appoggio al piede della frana.

Nel loro insieme le manifestazioni in atto assumevano aspetti tali da renderle comparabili a movimenti di masse relativamente plastiche, come è tra l'altro indicato dal fatto che dopo le manifestazioni dell'autunno 1960 non si manifestarono sul terreno ulteriori crepe di una qualsiasi importanza fino all'ottobre 1963.

Si è quindi ragionevolmente portati a concludere che i movimenti lenti verificatisi tra il 1960 e l'ottobre 1963, attraverso periodi di stasi e periodi di movimento (pur sempre assai lento, fino all'istante del crollo finale), derivassero da una combinazione di scorrimenti su piani di minore resistenza, forse di origine antica, ed in parte di deformazioni di strutture rocciose, discontinue, sottoposte alla pressione degli elementi circostanti. Oggi si può ritenere che questo insieme di azioni, sulle quali influivano anche la spinta idrostatica dell'acqua di invaso sulle rocce e la riduzione delle resistenze d'attrito dei materiali meno solidi, possa aver accelerato un graduale impercettibile affaticamento e la conseguente graduale rottura della roccia in posto nella zona corrispondente al piede della frana, soprattutto nella parte orientale, fiaccandone progressivamente la resistenza; il che ci darebbe ora la possibilità di una spiegazione della istantanea — e nelle sue modalità del tutto imprevedibile — rottura finale e del conseguente collasso di tutta la massa.

H.3 - Rottura dell'equilibrio

Negli ultimi giorni si verificò un graduale aumento delle velocità riscontrate nell'autunno 1960, rimanendo però il movimento ancora dentro l'ordine di grandezza dei fenomeni verificatisi in precedenza e comunque nell'ambito dei movimenti relativamente assai lenti. Tale fatto, unito alla comparsa di crepe nella massa in movimento nella zona vicina alla diga, simili a quelle che avevano preceduto la frana del 4 novembre 1960, fu interpretato come indice di un possibile franamento parziale del fronte, di tipo simile, anche se di dimensioni

eventualmente maggiori, a quelli avvenuti in passato, e che erano stati a suo tempo considerati aspetto tipico del fenomeno in atto.

Si è portati a pensare che in tale periodo si andasse invece rapidamente producendo il fenomeno di indebolimento progressivo della struttura rocciosa al piede della frana e che venissero via via allentandosi o spezzandosi quei legami che, agendo come freno, avevano fino allora condizionato le lente deformazioni della massa in movimento. Questo processo, la cui durata peraltro non è in alcun modo determinabile, condusse alla fine ad una rottura brusca — e quindi per la sua stessa natura non accompagnata da segni premonitori esterni — che trasformò istantaneamente il regime di lenti spostamenti in un collasso repentino dell'intero ammasso roccioso, che assunse quindi aspetti ben diversi da quelli che in precedenza erano stati previsti.

L'ipotesi di cui sopra trova conferma nella scarsa probabilità che la rottura dell'equilibrio abbia potuto dipendere da una subitanea alterazione in senso sfavorevole delle altre forze od azioni operanti sulla frana. Infatti l'azione stabilizzante del peso era in aumento da circa due settimane, a seguito dello svaso effettuato per circa 10 m, che aveva ridotto la spinta di galleggiamento nella massa rocciosa. La spinta idrostatica prodotta dalla falda era contenuta — in seguito alla prudente lentezza dello svaso — entro valori modesti, come è comprovato dalle letture piezometriche specie nella parte bassa della massa; queste dicono infatti che il livello del lago e quello della falda nei piezometri erano sempre praticamente identici. Qualche effetto può essere stato provocato nella parte superiore della frana dall'accumularsi entro le fessure delle precipitazioni abbastanza intense di agosto e settembre. E' tuttavia difficile pensare che forze del tipo sopra descritto abbiano potuto variare in modo brusco.

L'attività sismica interna alla frana si mantenne per tutto il terzo invaso entro limiti assai inferiori a quelli dei due invasi precedenti.

Si è quindi in definitiva portati a concludere che l'origine immediata del collasso sia da attribuirsi alla rottura degli ultimi elementi del sistema di vincoli rocciosi che avevano fino ad allora obbligato la massa ad un regime di deformazioni lente.

H.4 - Cinematica del collasso

Una caratteristica del tutto imprevedibile dello straordinario fenomeno avvenuto è l'altissima velocità sviluppatasi durante il moto, cui si è associata la sorprendente compattezza conservata dalla zolla rocciosa — che ha preservato in forma riconoscibile molti minuti dettagli — nel corso di uno spostamento di alcune centinaia di metri, va-

licando senza scompagnarsi — benchè fosse molto discontinua e frantumata — la profonda forra del Vajont. Parimenti straordinario è il lungo tratto percorso strisciando in senso ascendente sulla riva opposta, quando la conformazione della valle sembrava se mai favorire l'arresto della massa in moto per urto contro la riva destra.

Per poter spiegare un comportamento così sostanzialmente diverso da quello che tutti gli esperti avevano potuto concepire in precedenza, è solo possibile emettere ora delle ipotesi, tanto più che nessuna conoscenza diretta esiste ancora circa le reali condizioni della massa nella parte più profonda della forra, nè esiste nella letteratura tecnica alcun esempio di moti di masse franose rigide comparabili a questo per dimensioni, compattezza ed entità di spostamento.

In base a quanto osservato nel corso del rilievo geologico di superficie, ed alle caratteristiche meccaniche delle varie formazioni, è opinione dello scrivente che i livelli basali della parte più settentrionale della massa in movimento ed i più alti delle formazioni in posto, ridotti a scaglie e poi praticamente sminuzzati siano stati trascinati avanti ed abbiano subito riempito la gola del Vajont, costituendo così dentro la gola un potente materasso di materiale sciolto, altamente plastico per la presenza dell'acqua, la cui superficie si è modellata durante il passaggio su di essa della massa, assumendo una forma concoide ben raccordata con il vecchio piano di movimento e con il versante destro della valle del Vajont, al di sopra della gola.

In tal modo la massa ha potuto scivolare a grandissima velocità (dell'ordine di varie decine di chilometri all'ora, velocità incredibile specie se rapportata alle previsioni precedentemente formulabili, e relative a velocità dell'ordine dei centimetri al giorno) e senza incontrare praticamente nessuna resistenza, risalendo perciò anche il versante destro della valle. Giunta al termine della corsa, sembra che la massa abbia compiuto un breve moto di ritorno (qualche decina di metri) verso Sud, fino a raggiungere la posizione attuale di equilibrio. In tale ultimo moto, che ha portato a mascherare parzialmente le parti più arretrate della massa scivolata, si è sviluppata una resistenza d'attrito rapidamente crescente, che ha determinato una certa compressione della massa, ed il distacco delle parti più settentrionali (Colle Isolato, che doveva esser stato ricoperto in parte, e « Pinnacolo »).

Nella parte più orientale della massa sembra che tale resistenza sia stata assai maggiore, come dimostrano la mancanza di parti settentrionali distaccate e la forte compressione subita; ciò probabilmente è dovuto al fatto che la superficie concoide aveva qui un minore raggio di curvatura, e soprattutto alla presenza della massa costituita dal lobo orientale, assai elevata, che continuava a premere verso Nord; si ricordi inoltre che questo lobo sembra essere disceso successivamente alla

massa principale, o meglio ha continuato a muoversi verso il basso per qualche tempo dopo che la massa principale aveva già terminato la discesa, e che perciò la sua forza d'urto ha probabilmente continuato ad agire anche quando la massa principale stava per invertire il senso del movimento.

Questo meccanismo spiegherebbe come mai la pila di strati visibile nella massa scivolata abbia potuto, benchè fortemente fratturata, attraversare — contro ogni aspettativa — la valle senza scompaginarsi. Giustificherebbe anche ragionevolmente la modestissima quantità delle forze d'attrito generate durante il moto, che hanno permesso all'enorme forza cinetica liberatasi nella caduta di spingere la zolla rocciosa sulla sponda opposta fino ad altezze da 100 a 150 m maggiori di quelle che aveva in origine.

Il contemporaneo presentarsi e combinarsi di questi due fattori (altissima velocità di spostamento e rigida compattezza della massa) ha costituito un fatto del tutto eccezionale e senza precedenti in epoca storica, che ha dato luogo ad enormi moti ondosi ed alla catastrofica tracimazione del serbatoio.

Istituto di Geologia dell'Università di Ferrara, agosto 1965

RIASSUNTO

Vengono esposti in forma sintetica i risultati degli studi compiuti dall'Autore, prevalentemente in collaborazione, dapprima con F. Giudici (nel 1959 e 1960) e successivamente con D. Rossi (dal 1963 al 1965), in quella zona del bacino del Vaiont che il 9 ottobre 1963 fu interessata dal disastroso fenomeno di scivolamento.

Mentre per una esauriente trattazione geologica si rimanda ad una futura pubblicazione (a firma D. Rossi - E. Semenza), l'Autore ha ritenuto opportuno ricostruire qui in una visione panoramica il succedersi degli studi sulla zona, sia per l'interesse scientifico che ciò può avere, sia per tentare di chiarire i vari aspetti di una vicenda così complessa.

Si dà relazione perciò del primo rilievo geologico e dei primi studi sulla stabilità della zona del Piano del Toc, sulle ricerche che ne seguirono e sulle ipotesi formulate in conseguenza; sui primi movimenti della massa, seguiti dalla comparsa della fessura perimetrale, e sul secondo ciclo di ricerche, nonché sulle prove con il modello idraulico; sulle deduzioni ricavate dal rapporto fra il livello del serbatoio e i movimenti; e infine sul secondo rilievo geologico effettuato dopo lo scivolamento.

Si cerca da ultimo di indagare sulle modalità secondo le quali si è prodotto il fenomeno di movimento lento durato circa tre anni, e sulle ragioni della sua improvvisa trasformazione nell'inaspettato velocissimo slittamento della enorme massa rocciosa.

SUMMARY

Here are briefly outlined the results of the studies carried out by the author, mainly in collaboration with F. Giudici (in 1959 and 1960) and then with D. Rossi (from 1963 to 1965) in the zone of Vajont basin which has been affected by the disastrous landslide of October 9th, 1963.

A future report (signed D. Rossi - E. Semenza) will contain a complete geologic study. In the present paper the author gives a panoramic survey of the series of studies which were carried out. The paper has been prepared on account of the scientific interest of the problem and as an attempt to clarify the different aspects of such a complicated matter.

The paper therefore deals with: the first geological survey, the first studies about the stability of Toc plain, the investigations which followed, and consequent hypotheses; the first movements of the mass, followed by the opening of a perimetral crack, and the second series of investigations and the tests carried out with a hydraulic model; the deductions resulting from the relation between the reservoir level and the movements, and finally, a second geological survey carried out after the slide.

The author is trying to investigate how this slow movement has been going on for three years, and which were the reasons of its sudden change into the unexpected rapid slide of the whole rocky mass.

R É S U M É

Cet article contient un exposé synthétique des résultats des études effectuées par l'auteur, pour la plus grande partie en collaboration avec F. Giudici (en 1959 et 1960) et ensuite avec D. Rossi (de 1963 à 1965) dans la zone du bassin du Vajont qui fut affectée par le terrible glissement du 9 Octobre 1963.

Une étude géologique complète sera l'objet d'une future publication signée par D. Rossi et E. Semenza.

Ici l'auteur présente — pour l'intérêt scientifique qui peut en dériver et pour essayer de éclaircir les divers aspects d'un problème très complexe — une vision panoramique des différentes études qui ont été exécutées à propos de cette zone.

Cet exposé synthétise donc: un premier relevé géologique ainsi que les premières études sur la stabilité de la zone de la Plaine du Toc, sur les recherches qui s'ensuivirent et les hypothèses qui en résultèrent; une relation sur les premiers mouvements de la masse, suivis par l'apparition de la fissure périmétrale, ainsi que sur la seconde phase des recherches et essais effectués à l'aide d'un modèle hydraulique; les déductions dérivées du rapport entre le niveau du réservoir et les mouvements, et enfin, un deuxième relevé géologique effectué après le glissement.

On cherche enfin d'étudier les conditions du mouvement lent, duré presque trois ans, et les causes de sa transformation soudaine en glissement inattendu et très rapide de l'énorme masse rocheuse.

BIBLIOGRAFIA

- BOYER R.A. (1913) - *Étude géologique des environs de Longarone (Alpes Vénitiennes)*. « Bull. Soc. Géol. France », s. 4^a, 13, pp. 451-485, carta geol. 1:50.000. Paris
- BROGLIO LORIGA C. e MANTOVANI M.G. - *Le biofacies del Cretaceo della Valle del Vajont*. « Riv. It. Paleont. e Str. », Milano (in corso di stampa).
- CALOI P. e SPADEA M. C. (1960) - *Serie di esperienze geosismiche eseguite in sponda sinistra a monte della diga del Vajont (Dicembre 1959)*. (inedito).
- CALOI P. e SPADEA M. C. (1960) - *Indagini geosismiche eseguite presso la stretta del Vajont durante la campagna estiva 1959*. (inedito).
- CALOI P. e SPADEA M. C. (1961) - *Indagine geosismica condotta nel mese di Dicembre 1960 a monte della diga del Vajont in sponda sinistra*. (inedito).
- Commissione di Inchiesta sulla sciagura del Vajont: Relazione al Ministro dei Lavori Pubblici*, 1964.
- Commissione parlamentare d'Inchiesta sul disastro del Vajont (1965) - Relazione finale*.
- DAL PIAZ G. (1912) - *Studi geotettonici sulle Alpi Orientali. Regione fra il Brenta e i dintorni del Lago di Santa Croce*. « Mem. Ist. Geol. Univ. Padova », 1, pp. 1-195, 5 tavv. di spaccati, Padova.
- DAL PIAZ G. (1928) - *Relazione di massima su due sezioni della valle del Vajont prese in considerazione per progetti di sbarramento idraulico*. 4 pp., (Relazione inedita SADE).
- DAL PIAZ G. (1948) - *Sulla struttura geologica della valle del Vajont agli effetti degli smottamenti dei fianchi che possono derivare dal progettato invaso e dalle oscillazioni del livello del lago*. 9 pp., 9 tavv. (Relazione inedita SADE).

- DAL PIAZ G. (1956) - *Descrizione geologica del Bacino del Piave in relazione agli impianti idroelettrici della Società Adriatica di elettricità*. In SADE 1956, pp. 15-37, 17 figg., 1 tav., Venezia.
- DAL PIAZ G. (1958) - *Relazione geologica sul tracciato della strada perimetrale sulla sinistra del serbatoio del Vajont*. 4 pp., 1 tav., (Relazione inedita SADE).
- DAL PIAZ G. (1960) - *Esame delle condizioni geologiche del bacino del Vajont e della zona d'imposta della diga di sbarramento quali risultano allo stato attuale dei lavori (9 luglio 1960)*. 21 pp., 12 tt., (Relazione inedita SADE).
- DE NARDI A. (1965) - *Il bacino del Vajont e la frana del M. Toc*. «L'Universo», n. 1.
- FERASIN F. (1956) - *Geologia dei dintorni di Cimolais (Udine)*. «Mem. Ist. Geol. Min. Padova», 20, 32 pp., 11 figg., 3 tavv., carta geologica 1:25.000, Padova.
- GIUDICI F. e SEMENZA E. (1960) - *Studio geologico del serbatoio del Vajont*. 21 pp., 3 tavv., (Relazione inedita SADE).
- KIERSCH G.A., ASCE F. (1964) - *Vajont Reservoir Disaster, Geologic causes of tremendous landslide accompanied by destructive flood wave*. «Civil Engineering».
- KIERSCH G.A. (1965) - *Vajont Reservoir disaster*. «Geotimes».
- LEONARDI P. e Coll. - *Le Dolomiti*. Ed. Manfrini (in corso di stampa).
- MÜLLER L. (1961) - *La frana della zona Toc*. Diga del Vaiont, 15° rapporto geologico preparato per conto della Società Adriatica di Elettricità, Venezia (Relazione inedita SADE).
- MÜLLER L. (1964) - *The Rock Slide in the Vajont Valley*. «Rock mechanics and Engineering Geology» vol. II, 3-4.
- ROSSI D. e SEMENZA E. (1963) - *Note illustrative della carta geologica, a scala 1:5000 del versante settentrionale del Monte Toc, comprese le zone limitrofe, quale si presenta ai primi di Dicembre del 1963*. (inedito).
- ROSSI D. e SEMENZA E. (1964) - *Studio geologico della massa scivolata dal M. Toc il 9 Ottobre 1963 e delle zone limitrofe*. (inedito).
- ROSSI D. e SEMENZA E. (1965) - *Carte geologiche del versante settentrionale del Monte Toc e zone limitrofe, prima e dopo il fenomeno di scivolamento del 9 ottobre 1963, scala 1:5.000*, «Ist. Geol. Univ. Ferrara».
- SADE (1959) - Società Adriatica di Elettricità. *Diga del Vaiont*, depliant di 27 pp., con numerose figg. e dati tecnici, Venezia.
- SCHNITZER G. und WEBER E. (1964) - *Die Kathastrophe von Vajont in Oberitalien*. Wasser- und Energiewirtsch., Jg. 56, H. 2/3.

SELLI R. e TREVISAN L. (1964) - *Studio geologico della frana del Vaiont*. Allegato alla relazione della Commissione di inchiesta sulla sciagura del Vaiont. 46 pp., 3 figg., 11 tavv., 4 fotogr. (Relazione ciclostilata a cura del Ministero LL.PP., Roma).

SELLI R., TREVISAN L., CARLONI G.C., MAZZANTI R., CIABATTI M. (1964) - *La Frana del Vaiont*. «Giornale di Geologia, Ann. Mus. Geol. Bologna», S. 2, Vol. XXXII, fasc. 1, Bologna.

SEMENZA E. (1960) - *Nuovi studi tettonici nella valle del Vaiont e zone limitrofe*. Rend. Acc. Naz. Lincei, s. VIII. XXVIII n. 2, pp. 223-229, 2 tavv., Roma.

SEMENZA E. (1961) - *Aggiornamento e revisione delle note geologiche di Silvia Zenari sulle Dolomiti d'Oltre Piave*. In «Le Dolomiti orientali» Guida turistico-alpinistica. C.A.I. - T.C.I., Milano.