

XXXIX / 1729

I GRUPPO DI LAVORO

DOTT. L. MULLER

RAPPORTO GEOLOGICO PREPARATO PER CONTO DELLA SADE

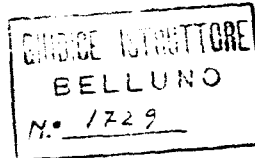
(3 febbraio 1961)

(copia di documento sequestrato dall'Autorità Giudiziaria
XXXIX/1729)

18

1

Traduzione



inante

Dott. L. MULLER

DIGA VAIONT: ⁴⁵ 7° RAPPORTO GEOLOGICO PREPARATO PER CONTO DELLA
SOCIETA' ADRIATICA DI ELETTRICITA' - VENEZIA

LA FRANA NELLA ZONA TOC

Premesse	Pag.	2
1) Natura della frana	"	3
2) Cause	"	8
3) Influenza del livello dell'invaso sui movimenti..	"	11
4) Contromisure	"	13
5) Influenza della frana sulla diga	"	16
6) Situazione ad Erto	"	17

Salisburgo, 3 febbraio 1961



Premesse

Nei dintorni del Toc è entrata in movimento su ampio spazio una frana rocciosa, nella quale è coinvolta anche una notevole parte della strada di nuova costruzione.- Su invito della SADE ho visitato la zona della frana nei giorni 8, 9, 15 e 16 novembre 1960.- Delle mie impressioni ho fatto un rapporto verbale, che è stato fissato dall'ing. Pancini nel verbale del 16/11/60. Ai sopralluoghi ed alle successive discussioni hanno partecipato i sigg. Dir. Semenza, Dir. Biadene, Dott. E. Semenza e gli ingegneri Pancini, Linari, Ruol e Vielmo.-

Nel periodo dal 23 al 30 novembre 1960 sono stati eseguiti dal dott. Brolli esaurienti rilievi e carteggi geotecnici, ai quali ha coadiuvato nel ns. ufficio l'ing. Fally.- Da questi rilievi dettagliati, dalla descrizione geologica del prof. Dal Piaz, come pure dagli approfonditi studi geologici nella zona del serbatoio dei dott. Giudici e Semenza, nonché dalle numerose misure geodetiche dei movimenti eseguite da tecnici della SADE, la geologia della zona in movimento e la frana stessa nel suo insieme e nei suoi particolari sono descritte bene ed esaurientemente, cosicchè nel presente rapporto posso rinunciare a descriverle nuovamente.-

Qui di seguito rispondo alle domande postemi:

- 1) natura della frana nella zona del Toc;
- 2) sue cause;
- 3) influenza del livello d'invaso sul movimento;
- 4) possibili e raccomandabili contromisure;
- 5) eventuale influenza della frana sulla diga e sulle imposte;
- 6) giudizio sulla situazione di Erto.-

In sostanza ripeto qui il mio parere espresso il 15 e 16/11/60 e colgo l'occasione per motivarlo più dettagliatamente.-

Per questo ho a disposizione i seguenti documenti:

- Prof. Giorgio Dal Piaz: Rapporto geologico del 21/12/1948

- con aggiunta del 18/11/1953, carte geologiche e 9 fotografie;
- Prof. Giorgio Dal Piaz: Rapporto geologico del 29/10/1958;
 - Giudici e Semenza: Studi geologici del giugno 1960: (A) testo, B) fotografie, C) tre carte geologiche del 1959);
 - Giudici e Semenza: Planimetria del 1959;
 - Broili: Studi dettagliati del 5/12/60;
 - "Lagepläne" alle osservazioni del 15/11/1960, 17/11/1960 e 19/12/1960;
 - Misurazioni dei movimenti, raffigurazione grafica del 26 agosto 1960 (ottobre e novembre);
 - Spostamenti orizzontali dei punti di misura 2, 3, 4, 5, 6, 10, 11, 13, 14, 15, 30, 50, 51, 52, 54, 55, 57, 58, 60, 62, 63, 64, 65 e 66 (durante alcuni mesi del 1960);
 - Sezioni trasversali n¹ 1 + 8;
 - Sezioni del terreno: del 22/7/1960;
 - Sezioni trasversali n° 6, 9 bis, 12, 14 e 15.-

1) Natura della frana.-

Secondo gli studi geologici dei dott. Giudici e Semenza, le rocce a strati sottili del Malm, piegate e compresse in piccole ondulazioni secondo due assi, poggiano sulle più massicce rocce del Dogger; il confine fra le due ha la forma di un sedile.- Questa forma viene confermata non solo dai risultati delle perforazioni, ma anche da una pronunciata analogia che si può osservare guardando da Longarone verso il versante ovest del Monte Ranz.-

Da questi profili risulta che queste "sedile" a ovest del torrente Massalezza ha un "piano di sedile" leggermente inclinato,

lungo ca. 550 m; ad est del torrente, invece, lungo meno di 200 m, lo "schienale" del sedile è in tutti due i casi lungo circa 550 m.- Questa differenza, come pure la valutazione delle osservazioni dei movimenti, mi fanno parlare di due masse di frana, una ad ovest e l'altra ad est, e mi fanno supporre che queste masse abbiano un differente meccanismo di movimento.-

1.1 La massa di frana occidentale (la vera zona Toc)

Quella parte del Malm, poggiante sullo "schienale di sedile" inclinato da ca. 37° a 42°, senza dubbio si muove come corpo unico; non sono riconoscibili zone parziali e movimenti relativi tra esse.- La massa intera si è staccata lungo una linea di rottura a forma di ferro di cavallo più o meno chiuso, la quale, partendo dall'ancoraggio dei blondins, sale fino a q.ta 1.125 m verso sud, a q.ta 1.200, al di sopra delle grandi doline piega verso est e scende poi verso il torrente Massalezza fino a q.ta 930.- Sulla maggioranza dei punti di rottura si può constatare un movimento in direzione media di 20° (N 20 E) e l'inclinazione del vettore di movimento nelle zone più alte è in media 2 : 3 fino a 1 : 2, nelle zone più basse è in prevalenza più piano fino ad avvicinarsi all'orizzontale.-

Invece la parte inferiore della frana, la quale scorre sul "piano del sedile", esegue solo nella zona "Pozza" ed in quella delle case del Toc un movimento in qualche modo comune, mentre ulteriori masse, site più a nord ed est si muovono in singole zone parziali con chiari movimenti relativi.- Il senso di spostamento di questi movimenti relativi, nei punti più caratteristici corrisponde ad una "scala antitetica"; l'orlo settentrionale della maggioranza delle rotture è relativamente rialzata rispetto a quello meridionale (fig. 1190-109a).- Sebbene in un punto sia stato constatato l'opposto senso di movimento, e si devono registrare anche

5

delle propaggini a forma di fossa, mi pare predomini nettamente il quadro di movimento della scala antitetica.- Succede perciò, che i singoli corpi parziali eseguono rotazioni esterne (SANDER) uno contro l'altro.- Credo di poter ravvisare tali rotazioni anche sulla scoscesa parete di Malm verso il burrone del Vaiont, di certo però esse sono presenti nei corpi di roccia esterni che via via si staccano.- Le rotazioni si spiegano solo se per la metà inferiore della frana si ammette un movimento del tipo di quello dei ghiacciai, i quali sono frenati sul piano di scorrimento - o nel caso che questo mancasse - nella zona del limite inferiore, mentre nella zona vicina alla superficie presentano la massima velocità.- La possibilità di un movimento del genere viene confermata dal gran numero di ampie crepe in posizione quasi verticale (fig. 1190-109a).- Essa viene inoltre favorita dal fatto che nel Malm della zona inferiore fortemente fratturata si trovano numerose pieghe con assi pressochè orizzontali, i cui lati, conforme la fig. 1190-109b, favoriscono dislocazioni orizzontali all'interno della massa in movimento.- Nella zona superiore della frana occidentale si trovano invece contorcimenti molto regolari di pieghe aventi la forma a dente di sega, i cui assi hanno un andamento abbastanza regolare e parallelo all'attuale movimento franoso e sono orientati parallelamente al pendio.- (Questa piegatura appare come la più antica, mentre quella situata più in basso, avente assi orizzontali, dovrebbe essere sorta a causa della spinta della massa di Malm sulla sponda destra del Vaiont).- Le pieghe della zona superiore aventi gli assi inclinati verso nord, escludono la possibilità di un movimento del tipo "ghiacciaio", ma favoriscono lo scorrimento "en bloc".-

La presenza della schiera di fessure avente in media la posizione 010/85 in tutta la zona inferiore di scorrimento, e le fessure che attraversano per diverse centinaia di metri

6

il corpo roccioso, sono chiaramente visibili dall'andamento a doline dai gradini del terreno, ecc.- Questi gradini del terreno denunciano che il movimento non ha avuto inizio solo ora, ma che procede ormai da secoli e forse più.- Anche in vicinanza delle due case danneggiate dalla frana, i solchi che attraversano il terreno risalgono senz'altro a scorrimenti precedenti che evidentemente hanno avuto un andamento simile.- Il meccanismo della frana comporta che queste frane dopo un certo periodo di movimento si fermano su un qualsiasi ^{punto} resistente per un certo tempo ed alcun tempo dopo continuano il movimento su una nuova superficie di scorrimento vicina.- Osservazioni simili si possono fare a q.ta ca. 950 e ca. 1.000 m.- Anche le scale antitetiche osservate nella struttura geologica del precipizio sembrano dimostrare che i movimenti attuali sono certamente solo la continuazione di vecchi movimenti di lunga durata avvenuti nel corso della storia.- Questo forse spiega anche il motivo per cui la popolazione del luogo non diede nessuna importanza all'avvenimento e quasi si stupì per l'ordine d'evacuazione.-

Le osservazioni del prof. Caloi, il quale col metodo sismico non ha potuto constatare il minimo segno di un piano di scorrimento, corrispondono al concetto di uno scorrimento tipo ghiacciaio.- Non riesco però a comprendere come nella zona inferiore possa trovarsi una roccia particolarmente compatta.- Secondo le osservazioni sul posto e le considerazioni fatte, in questa zona dovrebbe trovarsi una roccia frantumata e schiacciata uniformemente.-

1.2 Frana orientale (tra il torrente Massalezza e la Pineda)

Il breve tratto di "piano di sedile" qui non ammette la formazione di uno scorrimento di roccia tipo ghiacciaio, pur esercitando un effetto frenante al piede dello scorrimento.- Queste spiega perchè la rottura di inizio della frana non con-

./.

7

tinua fino all'attesa zona della frana vera e propria, ma finisce attualmente a q.ta circa 1.030.- Di conseguenza, lo scorrimento della massa orientale è da immaginare analogo a quello della parte superiore della frana occidentale.- Come mi comunicò il dott. Semenza, la frana più piccola, che si è mossa sotto il punto 13 ancora nell'inverno scorso, si svolse su una milonite, la quale scende con ca. 55° verso valle; la sua direzione forma con la valle un angolo di ca. 30 - 40°.- Probabilmente in questa zona esistono anche altri piani di disturbo simili che avranno importanza non appena entrerà in movimento anche la roccia della frana orientale.-

1.3 Criteri sulla specie dei movimenti.-

Se le sopra esposte supposizioni sono esatte, nella zona di scorrimento tipo ghiacciaio (parte occidentale in basso) lungo una verticale i movimenti orizzontali devono essere più grandi in superficie che non in profondità.- Le rotazioni descritte devono essere chiare e predominanti.- In questo caso non è da attendersi una superficie di scorrimento ben determinata.-

Nella zona delle frane su piano inclinato (parte orientale) è da aspettarsi che la parte superiore si muova verso basso (si insacchi) più velocemente, con direzione parallela al pendio o più ripida; inoltre, che nella parte centrale si manifestino componenti di movimento in prevalenza orizzontali, corrispondenti ad un rigonfiamento che nel corso del tempo può interessare molti metri; il piede della vera frana entra in movimento per ultimo ed inizialmente rimane in apparente immobilità.-

Per uno scorrimento "en bloc" (parte superiore della zona occidentale) bisogna attendersi generalmente vettori di movimento paralleli al pendio e di grandezza uguale.-

Se invece non si verifica il supposto scorrimento tipo

8

ghiacciaio ed anche nella parte inferiore della massa occidentale si ha una vera frana su una superficie di rottura, allora dovrebbero predominare le scale sintetiche e la formazione di affossamenti; le rotazioni dovrebbero presentarsi nel senso contrario e le velocità orizzontali dovrebbero essere più alte al piede dello scorrimento che non alla fronte superiore.- Al centro della zona di frana dovrebbe formarsi un rigonfiamento.- Una registrazione delle componenti orizzontali dei movimenti nelle sezioni 6, 9bis e 12 sembra dare ragione alle supposizioni da me fatte, però il periodo di osservazione nelle parti superiori delle frane è ancora troppo breve per poter tirare delle conclusioni definitive.- Inoltre non possiedo nessun risultato di misure dei movimenti verticali.- Per ottenere informazioni sulle rotazioni menzionate, è stato proposto di effettuare le misure entro fori o pozzi verticali.-

1.4 Le dimensioni della frana

Le masse rocciose si muovono verso valle su una larghezza di 1.700 m.- La lunghezza media delle masse di scorrimento è di 500 al massimo 600 m nella direzione di movimento, misurata orizzontalmente.- Il suo spessore nella metà inferiore della zona occidentale (misurato verticalmente) è di 250 m e nella zona orientale 200 m, in media quindi 250 m.- A mio parere non possono esistere dubbi su questa profonda giacitura del piano di slittamento o della zona limite.- Il volume della massa di frana deve quindi essere considerato di circa 200 milioni di m³.-

2) Cause

Secondo l'esperienza, i grandi movimenti di masse di terra e di roccia non vengono mai provocati da una unica causa, ma sempre da più cause contemporanee.- Ciò si verifica anche nel caso attuale.-

- a) Il materiale roccioso della massa franante, specialmente nella zona tra la Pozza ed il Vaiont, è fessurato in alto grado, in parte anche frantumato dalla sovrastimolazione tettonica e dai movimenti del passato, in certe zone perfino milonizzato.- La resistenza al taglio di questo materiale roccioso è molto bassa; una resistenza alla trazione è praticamente inesistente.- Nelle zone meno sollecitate (frana orientale e metà superiore della frana occidentale) la resistenza al taglio e la resistenza alla pressione del materiale è alquanto più alta ed è presente anche una certa resistenza alla trazione, però l'attrito sui piani di stratificazione è relativamente basso.-
- b) L'inclinazione degli strati, la direzione degli assi delle pieghe e l'orientamento delle fessure favoriscono sia la mobilità parziale di singole parti di roccia fra loro, sia uno scorrimento in generale, come spiegato all'1.- Specialmente la struttura ondulata della piega con asse orizzontale (fig. 1190-109b) aumenta la mobilità parziale, perchè sulle pareti più piane delle pieghe si manifesta solo un piccolo attrito, sulle pareti ripide invece non c'è nè attrito nè resistenza alla trazione.-
- c) L'intensa fessurazione della roccia, specialmente le numerose fessure, aumentano la permeabilità della roccia, in modo che ogni precipitazione si assorbe rapidamente senza scorrere sulla superficie.- Le due grandi doline a q.ta 1.110 ed i suoi prolungamenti a forma di fossa portano nelle masse della zona di frana una grande quantità di acqua piovana e di disgelo.- Anche il pendio confinante ad est e nord-est è fortemente inciso con solchi e doline paralleli al pendio.- La disposizione di questi sembra indicare la presenza di strappi (Zerrungerscheinungen) nella montagna.- Questo tipo di suolo assorbe senza dubbio tutta l'acqua, per cui tutto il pendio - come pure quello della frana orien

10

tale - non hanno nessun solco in cui scorre acqua.- Perfino nella copertura di ghiaia della zona inferiore presso il Toc sono visibili singoli fori di assorbimento, attraverso i quali l'acqua entra nella roccia.- Sono grandi quantità di acqua che si assorbono su queste superfici estese.-

- d) in conseguenza dei ripetuti continui movimenti della massa, le sue fessure sono in gran parte fortemente aperte.- Questo fu distintamente visibile in perforazioni e pozzi.- La roccia è in gran parte molto smossa, possiede un grande volume di fessure e di conseguenza una grande capacità di assorbimento di acqua.- Contemporaneamente però la permeabilità in zone diverse è molto differente.- Le zone molto fessurate e con fessure aperte hanno una grande permeabilità, quelle milonitizzate invece l'hanno estremamente esigua.- Di conseguenza bisogna aspettarsi che il livello della falda in certi posti abbia una inclinazione notevole.-
- La conseguenza è che nelle fessure site più nell'interno della montagna, esiste una pressione d'acqua superiore che in quelle site più verso valle.- La differenza di queste due pressioni si manifesta sotto forma di spinta idrostatica, di retta verso valle e può comportare molte centinaia di migliaia, ed anche milioni di tonnellate (fig. 1190-109a).-
- e) Il materiale frantumato, di grana fina, ha in parte carattere argilloso-fangoso, in esso si crea una pressione interstiziale, la quale in stato stazionario è uguale alla circostante pressione esistente nelle fessure; quando diminuisce il livello d'acqua entro le fessure, si manifesta una sovrappressione della pressione interstiziale che in presenza di un carico repentino (p.es. terremoto o improvviso movimento di masse rocciose,) diminuisce spontaneamente l'attrito sulle fessure e nelle zone milonitizzate (attrito zero), ed aumenta in conseguenza la mobilità della massa totale.-
- f) Precipitazioni più intense comportano conforme d) un aumento

11

della falda freatica e, dato che questa può essere assorbita solo lentamente, una posizione più ripida della superficie dell'acqua freatica e con ciò una maggiore spinta idrostatica.- I diagrammi dei movimenti di frana e delle precipitazioni dimostrano infatti che già una pioggia di un giorno accelera i franamenti pressochè in tutti i punti.- In seguito agli effetti descritti in e) questi movimenti perdurano in qualche punto alcuni giorni più a lungo delle precipitazioni.-

- g) Quando aumenta il livello del lago una più grande zona di roccia viene plastificata dalla presenza d'acqua; la roccia milonitizzata si rammolisce e l'argilla entro le fessure diventa lubrificata, e.- La mobilità della montagna viene in conseguenza ancora una volta aumentata.-
- h) La parte di massa di frana che si trova nella falda d'acqua è soggetta ad una spinta verso l'alto.- Questa sottospinta corrisponde ad una diminuzione di peso ed influenza l'equilibrio delle masse in un senso sfavorevole.-
- i) La pressione dell'acqua entro le fessure tende ad allontanare le parti in cui è suddivisa la roccia ed ha un effetto di allentamento.- Questo effetto è tanto più grande, quanto più alto è il livello della falda d'acqua.-
- j) Scosse sismiche possono contribuire all'accelerazione dei franamenti, specie in periodi di sovrappressione della pressione interstiziale e cioè quando il livello del lago diminuisce.- Questo vale anche per scosse provocate dallo slittamento di zone parziali o da franamenti (Reibungsgleitungen) all'interno della frana stessa.- Tali scosse vennero registrate ripetutamente dall'osservatorio sismico della diga.- Un rapido susseguirsi di esse può annunciare un imminente movimento parziale più grande.-

8) Influenza del livello del serbatoio sui movimenti

Poichè la falda d'acqua viene influenzata dal livello nel serba-

./.

toio e dalle oscillazioni di esso, anche tutti i fattori sopracitati, i quali dipendono dall'altezza e dalla pendenza della falda d'acqua, vengono influenzati direttamente dal livello del serbatoio.-

k) Quando il livello del serbatoio si alza, la superficie esterna della falda diviene dapprima più piana ed alla successiva precipitazione si porta all'incirca parallela alla sua posizione precedente, ma in posizione più alta, con conseguente aumento delle spinte idrostatiche.- Da ciò risulta che l'influenza di precipitazioni sarà tanto più grande quanto più alto sarà il livello del lago.- Già ad un livello del lago di 595 m nel maggio 1960 si manifestò una accelerazione distinta.- Già allora alcune violente precipitazioni provocarono una accelerazione supplementare.- I diagrammi indicano che le accelerazioni sono tanto più grandi quanto più alto è il livello del lago.- Quando il 4/11/1960 nella fronte della massa di frana nel giro di 10 minuti si staccò una massa rocciosa di ca. 700.000 m³ il livello del lago era di 646 m ed era dall'inizio di ottobre in continuo aumento (16 m).- Inoltre, in quel giorno s'è avuta una precipitazione di 32 mm e nelle settimane precedenti si sono avute più volte precipitazioni da 50 a 60 mm.-

l) Un abbassamento del livello del lago aumenta immediatamente la spinta idrostatica, perchè l'abbassamento del livello all'interno della montagna avviene contemporaneamente e quindi si manifesta l'effetto di differenza della pressione interstiziale descritta all'e).- Con rapido abbassamento del livello sono da aspettarsi i movimenti più forti.- Questi possono ricevere una accelerazione del tutto particolare, se l'abbassamento del livello coincide con forti e prolungate precipitazioni.-

m) Dalle corrispondenze qui descritte, come pure dalle correlazioni risultanti dai diagrammi dei movimenti, appare che lo

13

aumento del livello del serbatoio si è aggiunto alle già molte cause del movimento.- Se fosse certo che in passato il terreno è stato assolutamente fermo, si dovrebbe considerare l'alzamento del livello quale movente dei franamenti.- Io comunque suppongo che le masse fossero in movimento da sempre o in ogni caso che in periodi di forti precipitazioni fossero sempre soggette a piccoli spostamenti.- Comunque esse hanno i segni caratteristici di una alta instabilità.- Prima dell'esistenza del serbatoio questi movimenti saranno stati di qualche centimetro all'anno, mentre con lo sbarramento sono aumentati a molti decimetri.- Di conseguenza, al serbatoio è da attribuire un effetto di accelerazione e di aumento.-

4) Contromisure

Le misure dei movimenti finora eseguite dimostrano che con lo abbassamento del livello del lago subentrò bensì un rallentamento del movimento, ma non un arresto.- Anche dopo l'abbassamento del livello ogni pioggia intensa provoca accelerazioni temporanee, di breve durata, ma spesso molto considerevoli.- Alla domanda, se questi franamenti possono venire arrestati mediante misure artificiali, deve essere risposto negativamente in linea generale; anche se in linea teorica, si dovesse rinunciare all'esercizio del serbatoio, una frana talmente grande, dopo essersi mossa una volta non tornerebbe tanto presto all'arresto assoluto.-

Quindi non resta altra via che di provare a tenere le frane sotto controllo e di limitare, con misure artificiali, l'entità delle masse precipitanti e le velocità, in modo di poter evitare danni a persone ed opere.- La provocazione di una frana più rapida, la quale risolverebbe il problema di colpo, non è da prendere in considerazione, dato il pericolo per la diga a causa dell'alta onda d'urto, come pure per l'incontrollabile altezza dell'invaso nella zona di Erto.-

14

Partendo dalla considerazione che con un franamento lento, al piede della frana entro il bacino deve formarsi a poco a poco una resistenza che migliora l'equilibrio tra forze spingenti e resistenti, scopo dei controlli dovrebbe essere quello di creare quanto prima una tale resistenza.- Dato però che con una frana troppo rapida il bacino potrebbe risultare diviso in due parti (e la parte posteriore avrebbe un livello non controllabile), è stato deciso di frenare il movimento finchè sarà passato sia lo scioglimento della neve che le piogge primaverili, le quali hanno un effetto accelerante.-

Teoricamente sono possibili cinque gruppi di misure, dei quali però alcuni sono tecnicamente eseguibili solo in parte, altri invece del tutto inattuabili.-

A) Un abbassamento lento, controllato, che faceva prevedere un rallentamento dei movimenti di frana, è stato deciso nella discussione del 16 novembre 1960 ed eseguito immediatamente.- Già dopo una settimana si manifestavano i primi successi e nel corso delle settimane seguenti i movimenti hanno potuto essere ovunque rallentati.- Nei punti più avanzati a valle, (p. es. punti di misura 2 e 3) dove le componenti orizzontali del movimento avevano raggiunto già oltre un metro e settimanalmente aumentavano da 25 a 30 cm, la velocità è stata frenata a pochi centimetri la settimana. (Gli ultimi risultati di misure in mie mani sono datate metà dicembre 1960).- Ciò nonostante, anche in questa ultima fase nella maggioranza dei punti di misura si è constatato l'effetto accelerante delle precipitazioni atmosferiche.-

In avvenire sarà possibile di stabilire una relazione tra il livello del lago, le precipitazioni e la velocità di scorrimento, ed avere con ciò la possibilità di regolare la velocità.- A questo scopo ho raccomandato di osservare le posizioni e la pendenza della falda in alcuni tubi verticali e di confrontare queste osservazioni con i fattori rimanenti.-

- B) Se si potesse impedire o ampiamente limitare l'infiltrarsi delle acque di disgelo e delle precipitazioni nella massa di frana, sarebbe senza dubbio migliorata la bilancia delle forze nel gioco dell'equilibrio, in modo che si potrebbe rischiare un prossimo invaso su un livello molto considerevole.- Purtroppo, in considerazione degli innumerevoli punti di entrata d'acqua nel pendio e della grande estensione delle superfici, una tale misura è praticamente ineseguibile perchè cau serebbe delle spese sproporzionatamente alte.-
- C) Pure mediante l'alleggerimento del peso in punti adatti si potrebbe migliorare sensibilmente lo stato di equilibrio.- Per questo sarebbero però da sgombrare molti milioni di m³ di roccia, ciò che praticamente è da scartare perchè oltrepassa ogni misura umana.-
- D) Un abbassamento e livellamento della falda mediante drenaggi, che senz'altro dovrebbero conseguire un effetto ritardante, mi pare possibile almeno in una certa misura.- A questo scopo ho raccomandato la costruzione di due cunicoli di drenaggio entro la roccia in posto del Dogger e che vengono iniziati in vicinanza al torrente Massalezza a q.ta 900 e portati avanti sotto masse in movimento sia ad oriente che ad occidente.- Da questi cunicoli si potrà drenare principalmente la zona della frana.- Con questo si spera di ottenere non tanto una sensibile estrazione di masse d'acqua, bensì un totale scarico della pressione dell'acqua di fessura ed una diminuzione della spinta idrostatica.- Se questa misura ha effetto favorevole, potrebbe venire creato un secondo cu nicolo di drenaggio più profondo.-
- E) Una certa cementazione della zona di frana, come pure un aumento dell'attrito sulle superfici di scorrimento, può es sere tentata da questi cunicoli di drenaggio, lasciando però efficiente l'azione dei fori di drenaggio.- Anche questa misura non può portare un rimedio totale, però comunque può

mettere dei pesi preziosi sulla bilancia dell'equilibrio.-

Una cementazione della massa franante nella metà inferiore della parte occidentale, permetterebbe un successo eccezionale, perchè un blocco monolitico non può più essere spinto via.- In esso non sarebbe più possibile alcun movimento parziale che favorisce il lento fluire e la spinta idrostatica, dopo la chiusura delle fessure sarebbe solo di debole entità.- Una tale misura però oltrepassa di molto i limiti dell'economia.-

F) Già nell'introduzione al 4) s'è parlato della intenzione di controporre al piede della frana una forza resistente entro il bacino.- Purtroppo un tale sostegno praticamente non può essere ottenuto che con la massa della frana stessa.- Mediante brillamenti si potrebbe staccare in precedenza alcuni corpi parziali dalla fronte della frana, però tenuto conto che può presentarsi del pericolo, un tale progetto deve essere studiato con molta cautela.- Forse riuscirebbe più facile staccare dei massi dalla sponda opposta.-

5) Influenza della frana sulla diga

Per la sicurezza della diga e delle sue imposte, allo stato attuale non esiste un pericolo grave.- E' però necessario di prendere in considerazione le eventualità che si possono presentare in avvenire e prendere certe misure di sicurezza.-

La parte di roccia franata il 4 novembre 1960 ha provocato nel lago una onda alta 2 m, la quale s'è infranta contro la diga con una altezza di 10 m.- Le scosse provocate da questa onda d'urto furono di un ordine di grandezza irrilevante; così pure le onde d'urto propagatesi nel sottosuolo roccioso.- Come mi è stato comunicato, se una grande parte della frana dovesse scivolare di colpo, si potrebbe probabilmente verificare una onda d'urto alta 40 m.- E' possibile che la diga stessa potrebbe sopportare anche un tale urto; non so se le imposte lo sopporterebbero,

17

specie poi, se in seguito ad un invaso ad alta quota, una grande parte della zona delle imposte fosse riempita d'acqua diventando così molto sensibile agli urti dell'acqua contenuta negli interstizi (Porenwasserströsse).- Contro sollecitazioni di urto la roccia imbibita si comporta, se è lecita l'espressione, in maniera più ostinata; le sollecitazioni infatti vengono rinviate dalla fase liquida più velocemente e con smorzamento minore che non dalla fase solida.- Perciò ritengo di urgente necessità di eseguire il più presto possibile il già previsto consolidamento delle imposte mediante ancoraggi almeno alla sponda sinistra (meglio però su entrambe le sponde).-

Secondo lo stato odierno delle cose non è da temere un effetto statico della spinta delle masse frananti sull'imposta sinistra.- La direzione dei movimenti della maggioranza dei punti di misura si trova tra 005° e 030° ed il limite occidentale delle masse passa per fortuna ad una distanza di 50 m dalla diga.- La roccia dell'imposta sinistra e della spalla rocciosa contigua si distingue nella sua struttura dalla roccia nella quale avviene la frana.- Essa non è stata colpita dal menzionato doppio ripiegamento (Kleinfaltung) ed è quindi anche tettonicamente meno frantumata.-

6) La situazione ad Erto

Presso il paese di Erto la superficie rocciosa si trova in buona parte un po' sopra il previsto livello massimo di invaso ed in un punto circa 15 m al di sotto.- In questo punto, le sovrastanti masse argillose potranno molto probabilmente scivolare sotto angoli piani lungo la superficie rocciosa, se esse venissero esposte all'invaso senza alcun provvedimento.- Perciò si è progettato di erigere in questo punto un solido muro di sostegno, da fondare sulla Scaglia Rossa.- A questo scopo ritengo opportuno di installare dei drenaggi ben studiati e resistenti, i quali però devono essere dotati di valvole di sicuro fun-

zionamento, in modo che l'acqua del lago non possa penetrare al di là del muro.- Per il calcolo statico dei muri di sostegno deve in ogni caso essere considerato il terreno sciolto imbibito e le caratteristiche fisiche sono da controllare con le consuete prove della meccanica del suolo.-

Si deve accertare accuratamente se la Scaglia Rossa ed il vicino Flysch, sono abbastanza stabili sotto l'influenza delle oscillazioni del livello d'acqua.- In linea generale mi pare che quel terreno stia fermo e possa dar luogo solo a frane superficiali del materiale di riporto.- Non ho visto i cunicoli di assaggio; mi è però stato riferito che la roccia in essi è compatta e che non è stata disturbata da sollecitazioni tettoniche.- La Scaglia Rossa ha una stratificazione regolare, la quale nella zona dei cunicoli è ripida ed i giunti di stratificazione sembrano in generale presentare un forte attrito, occasionalmente riempiti di argilla.- I piani di stratificazione del Flysch sono invece particolarmente favorevoli allo slittamento.- Il Flysch presenta anche delle pieghe aventi diversi assi, probabilmente presenta anche un certo grado di rottura.-

Nella Scaglia Rossa dovrebbe venire eseguita comunque una ricerca della struttura, da valutarsi con criterio geostatico, per accertare se anche sotto l'influenza di una grande spinta idrostatica quando il livello del lago diminuisce, ci sia una sufficiente stabilità.-

In questa ricerca è da prendere in considerazione anche la capacità di assorbimento d'acqua e la permeabilità della Scaglia Rossa.-

Il materiale di riporto, che ricopre il ripido pendio sulla sponda sinistra di fronte alla vecchia chiesetta di S. Martino (ca. 100 m a valle del ponte), potrebbe franare con un invaso più alto, perchè l'attuale equilibrio si mantiene solo grazie al coefficiente d'attrito corrispondente allo stato asciutto, coef-

19

ficiente che probabilmente peggiorerà alla stato umido; inoltre questo materiale sedimentario asciutto sarà soggetto ad una sottopressione.-

Salzburg, li 3 febbraio 1961

f/to L. Müller