OSSERVAZIONI GEOLOGICHE SULLA FRANA DI ROCCIA STACCATASI IL 7 LUGLIO 1956 DAL FIANCO SINISTRO DELLA VALLE BELVISO IN LOCALITA' «FRERA» (PROVINCIA DI SONDRIO) [1]

Gb. DAL PIAZ (*)

SOMMARIO: Vengono premesse alcune notizie sulle caratteristiche morfologiche, litologiche e strutturali della località di *Frera*, con particolare riguardo ai principali sistemi di fratturazione tettonica della roccia. L'A. passa poi a descrivere le varie manifestazioni della frana e a ricercare le probabili cause del fenomeno. Lo scoscendimento viene attribuito al tipo delle frane per "crollo" che si verificano nelle rocce lapidee per diminuzione della loro coesione, dovuta principalmente al progressivo allargamento di fessure preesistenti in seguito alle cosidette azioni termiche dell'atmosfera (gelo e disgelo, alternanza di alte e basse temperature), che sono particolarmente efficaci nelle regioni di alta montagna. Il distacco ha interessato solo un modesto spessore di roccia — massimo 6 m — e rientra pertanto nella categoria delle frane "superficiali". Il fenomeno doveva essere in preparazione da lungo tempo, senza però che nulla ne trapelasse all'esterno. Il crollo fu quindi improvviso, subitaneo. L'A. richiama infine l'attenzione dei tecnici sulla grande pericolosità delle frane di questo tipo, che sono generalmente molto difficili da prevedere e contro le quali riesce spesso impossibile predisporre a tempo adeguate difese.

Il giorno 7 luglio 1956, alle ore 13,20, una frana di roccia si staccò improvvisamente dal fianco sinistro dell'alta Valle Belviso in località «Frera», ove una ditta specializzata (l'Impresa *Italscavi* di Udine) stava conducendo a termine i lavori di scavo per l'impostazione di una grande diga di sbarramento idraulico per conto della Società *Acciaierie e Ferriere Lombarde Falck*. Purtroppo i detriti rocciosi investirono alcuni operai che lavoravano nella zona sottostante, provocando la morte immediata di cinque di essi e il successivo decesso di un sesto.

La Valle Belviso, percorsa dal torrente omonimo, si apre sul versante settentrionale della Catena Orobica, ad occidente della lunga sella dell'Aprica che mette in comunicazione la Valtellina con la Valcamonica.

Il fianco sinistro della valle nella sezione di sbarramento e per un certo tratto più a monte è formato da una parete rocciosa subverticale, già rivestita al piede da abbondante detrito, che presenta una curiosa conformazione a giganteschi ed irregolari parallelepipedi (v. Figg. 1-3). Le facce maggiori di questi prismi naturali sono orientate nella direzione locale della valle; le facce minori, che formano con le precedenti un angolo quasi retto, danno luogo ad una successione di grandi «*quinte*» disposte pressoché perpendicolarmente rispetto all'andamento della doccia valliva. La spalla sinistra della diga si appoggia per l'appunto contro una di tali quinte (v. Figg. 1 e 4).

La conformazione sopra descritta appare dovuta alla presenza di due sistemi principali di fratture fortemente inclinate fino a subverticali, ora latenti o ridotte a semplici incrinature ed ora invece consistenti in piani di taglio e di movimento, che s'intersecano fra loro sotto un angolo poco diverso dal retto. Uno dei sistemi è rappresentato da una serie di diaclasi e piccole faglie, dirette all'incirca Nord-Sud e pendenti di 80° ad Est; l'altro sistema corrisponde a delle superfici di faglia, orientate pressapoco WNW-ESE e pendenti di una settantina di gradi verso SSW (ossia verso monte), che talvolta sono accompagnate da sottili fasce di schiacciamento della roccia, larghe appena da uno a due cm fino a un massimo di qualche cm. Un terzo sistema di fratture, anch'esso quasi verticale ma molto meno pronunciato, taglia i due precedenti

(*) Prof. Dott. Giambattista DAL PIAZ, Direttore dell'*Istituto di Geologia, Paleontologia e Geologia Applicata* dell'Università di Padova.

(1) Il presente articolo riflette essenzialmente un'indagine geologica sulla frana di Frera da me svolta durante l'estate 1956 in seguito ad incarico della Società *Acciaierie e Ferriere Lombarde Falck*. Molte delle notizie di carattere generale qui riprodotte sono ricavate dalla *Relazione geologica riassuntiva sulla stretta al Ponte di Frera nell'alta Valle Belviso presa in considerazione per l'impianto di una diga a serbatoio*, in data 12 ottobre 1950, che avevo avuto occasione di preparare nella mia qualità di consulente-geologo della Società "FALCK".

Desidero esprimere anche da queste pagine i più vivi ringraziamenti al Dott. Ing. Mario SCALABRINI, già Direttore della *Sezione Impianti Idroelettrici* della "FALCK" e progettista della diga di Frera, nonché al Dott. Ing. Giulio CARUGO, attuale Direttore della *Sezione* stessa, per avermi cortesemente autorizzato a pubblicare i risultati degli studi da me compiuti nell'interesse della loro Società e per avermi fornito le belle fotografie e la planimetria che illustrano la presente memoria.

ti sviluppandosi in direzione all'incirca ENE-WSW, con fortissima pendenza verso SSE. Infine una litoclase minore attraversa lo sperone franato con andamento più o meno orizzontale, mentre il tetto della massa crollata appare colpito da una fitta serie di piccole fratture vicarianti, inclinate a reggipoggio di 30-35° (v. Fig. 2).

Una quindicina di metri sotto la superficie di distacco dello scoscendimento si osservano alcune litoclasi dirette pressapoco Est-Ovest e immerse a Sud di 15-20°, con parziale disposizione a « franapoggio ». Queste fratture non possono però aver esercitato alcuna influenza determinante sullo svolgimento del fenomeno di crollo, al pari dell'analoga litoclase che si trova in corrispondenza al terzo inferiore circa dell'area di distacco (2).

Lo scoscendimento scese dallo spigolo del grande diedro roccioso che si eleva a circa 60 metri di distanza orizzontale dal paramento a monte della diga (v. Figg. 1-3). Il crollo si manifestò poco sopra la strada di servizio, uscente da una galleria, che era stata aperta per il trasporto dei materiali inerti destinati alla preparazione dei calcestruzzi da impiegare nella costruzione della diga e delle opere accessorie.

Il distacco della frana aveva creato nello sperone roccioso una rientranza a forma di angolo diedro, limitata da due superfici di diverso sviluppo che corrispondevano a due distinti sistemi di fratture, quasi normali fra loro (v. Fig. 2). La superficie di gran lunga maggiore s'innalzava pressoché verticalmente per un'altezza di 29 metri, fra quota 1410 e quota 1439, mentre misurava una larghezza di 14 metri al piede e di 5-6 metri alla sommità; la sua direzione era all'incirca ENE-WSW. La superficie minore era diretta NNW-SSE e inclinava a ENE di un'ottantina di gradi. Dall'esterno all'interno il fenomeno aveva interessato uno spessore massimo di roccia di circa 6 metri: si trattava pertanto di una frana di carattere *superficiale*.

Si è calcolato che il materiale caduto raggiungesse un volume di circa 800 m³. Nella massima parte la roccia si ruppe in grossi blocchi. Circa 200 m³ di detriti si arrestarono al piede della frana, sopra l'accennata strada di servizio bloccandone completamente l'entrata in galleria; il grosso dei materiali (circa 400 m³) si fermò sulla falda sottostante; infine il rimanente rotolò sino al fondo degli scavi per l'imposta

Fig. 1 - Veduta del fianco sinistro della stretta di Frera. A trattini bianchi è segnato il limite tra il detrito di falda e la roccia affiorante, prima dell'inizio degli scavi. Con la linea bianca continua è indicato il contorno della massa rocciosa successivamente franata. Sono visibili gli imbocchi dei cunicoli esplorativi della roccia aperti alla sommità della conoide detritica, sulla parete corrispondente all'imposta sinistra della diga. Al piede della zona destinata a franare si osserva l'imbocco della galleria della strada di servizio a q. 1410. (Fotografia CHIOLINI, eseguita nel settembre 1955 e gentilmente comunicata dalla Soc. *Acciaierie e Ferriere Lombarde Falck*).

(2) Alcune delle notizie e misure sopra riportate sulla giacitura dei piani di fratturazione della roccia mi furono gentilmente comunicate dal Dott. Ing. Giovanni MASTROPIETRO, al quale desidero qui rinnovare il mio cordiale ringraziamento.

della diga, il quale a quell'epoca era di circa 6 metri superiore alla quota definitiva prevista per il piano di fondazione.

La roccia formante il diedro da cui si è originata la frana corrisponde in prevalenza a una fillade quar-

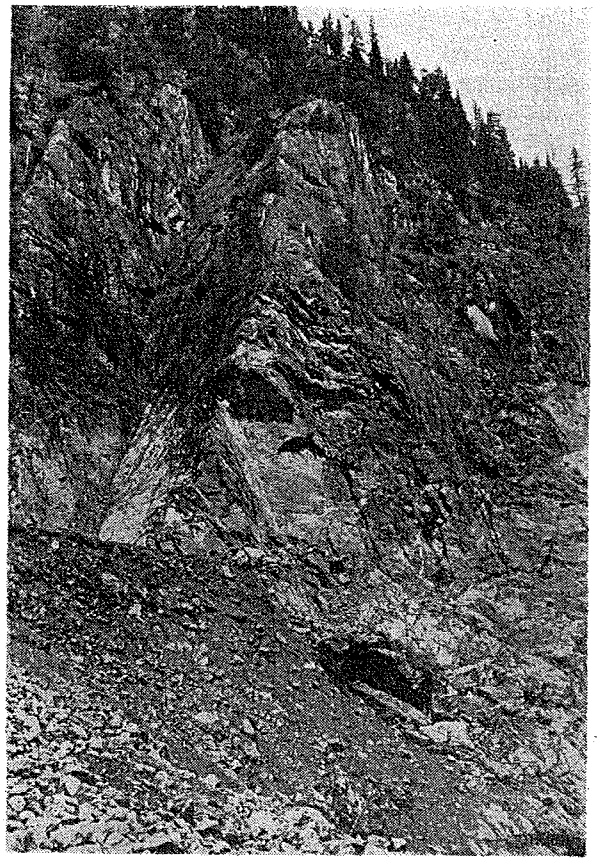

Fig. 2 - Veduta dello sperone roccioso da cui è scesa la frana. Sono chiaramente visibili le superfici di distacco della frana e i vari sistemi di frattura che hanno condizionato il fenomeno. La fotografia venne eseguita il 20 luglio 1956.

zifera micacea, talora granatifera o cloritica, di colore grigio-chiaro o verdiccio, più o meno lucente per la presenza di abbondantissima muscovite. Essa possiede perloppiù una tessitura scistosa molto fitta, minuta ed irregolare, con frequenti contorsioni e pieghettature. Talune facies sono assai ricche di sottili lenti e lenticelle quarzose e sono quindi riferibili alle tipiche filladi quarzifere che prendono tanta parte alla costituzione del Cristallino antico precarbonifero delle Alpi Meridionali. Altre facies invece sono povere di letti quarzosi e ricchissime di clorite oltrecché di mica bianca, in modo da accostarsi a certi tipi di micascisti cloritici. Si tratta, dunque, di un complesso litologico alquanto variabile, nel quale si osservano continue alternanze fra filladi quarzifere, filladi micacee e micascisti filladici cloritico-granatiferi, con graduale passaggio da una varietà all'altra.

All'esame microscopico (3), le rocce in parola presentano tracce evidenti delle azioni dinamiche risentite durante i processi metamorfici che hanno trasformato gli originari sedimenti in scisti cristallini. Meno accentuate sono deformazioni e fratture tardive, che appaiono generalmente risanate da una microcristallizzazione terminale, e del tutto trascurabili le alterazioni chimiche dovute agli agenti meteorici. Perciò, nonostante le intense deformazioni subite, questi materiali conservano nell'insieme una buona compattezza e una salda coesione dell'aggregato mineralogico, favorite pure dal fitto intreccio ondulato delle lamelle micacee.

La scistosità minuta ed irregolarmente ondulata della fillade rende spesso difficile ed incerto il rilevamento delle sue condizioni di giacitura. Tuttavia nella zona della frana gli scisti sembrano prevalentemente suborizzontali, ma presentano delle frequenti contorsioni in modo da assumere delle pendenze più o meno forti, diventando talora quasi verticali. Questa caratteristica instabilità di giacitura venne da me constatata, oltrecché all'esterno, anche entro il cunicolo di prova « *P* » aperto a quota 1418 una decina di metri a valle della zona di distacco della frana.

Le diaclasi e le piccole faglie, messe in luce dagli scavi esplorativi e da quelli per l'imposta della diga, non superavano l'entità delle comuni fratturazioni che si riscontrano di regola in tutte le rocce, anche le più sane. D'altra parte i cunicoli di saggio avevano permesso di constatare che le sottili fessure, visibili all'esterno in qualche punto della parete, presentavano sviluppo del tutto superficiale, essendo già perfettamente chiuse alla profondità di pochi metri.

La roccia appariva quindi in sè stessa molto salda e stabile, come del resto hanno confermato le prove di deformabilità eseguite durante il 1950 dal Prof. Ing. Guido Oberti nel ricordato cunicolo « *P* ». A seguito di tali esperienze, condotte sotto una pressione di circa 35 atmosfere, il modulo elastico statico della fillade è risultato pari a ben 300.000 kg/cm^2; è questo un valore assai elevato, che conferma la grande compattezza della roccia.

Tutto ciò dimostra chiaramente che, nel loro complesso, le masse rocciose del fianco sinistro si trovavano in ottime condizioni di stabilità e che, pertanto, la frana dovette trarre origine da un fenomeno strettamente localizzato e corticale, che ha potuto manifestarsi solo in conseguenza di un eccezionale concorso di circostanze.

La superficie di distacco mostrava una patina ocracea di alterazione antica e spalmature di terriccio; evidentemente il fenomeno era in preparazione da lungo tempo, senza che ne trapelasse nulla all'esterno.

Il crollo avvenne dopo cinque giorni di tempo ininterrottamente bello e caldo. In precedenza si aveva avuto invece un lungo periodo di maltempo, con forti pioggie e temporali.

Non fu avvertito alcun segno premonitore o precursore (come cadute di sassi, rumori sotterranei, apertura improvvisa di fessure ecc.) dalle numerose persone che transitavano per la strada di accesso alla cava degli inerti, strada rimasta poi ingombra dai detriti della frana.

In tutta la zona, che venne percorsa, esplorata e scavata con gallerie da parecchi anni, non si sono mai verificate cadute di massi fin da quando nel 1929

(3) Condotto con la cortese collaborazione del Prof. Dott. Angelo Bianchi, Direttore dell'*Istituto di Mineralogia e Petrografia* dell' Università di Padova, che vivamente ringrazio.

si cominciarono ad aprire i primi cunicoli. Sotto questo riguardo la località era anzi ritenuta dai pratici come assolutamente sicura.

Lo scoscendimento fu dunque improvviso, subitaneo, così da non lasciare alcuna possibilità di scampo agli infelici operai che lavoravano nella zona sottostante.

Il fenomeno di cui sto trattando appartiene evidentemente alla categoria delle frane « *per crollo* », che si verificano nelle rocce coerenti (o lapidee) per diminuzione della loro coesione, dovuta principalmente al progressivo allargamento delle fessure in conseguenza dell'azione secolare del gelo e disgelo (4).

Un'altra causa preparatoria delle frane di questo tipo è rappresentata dall'alternanza di alte e basse temperature, che provoca continue vicende di dilatazione e contrazione delle rocce, con ulteriore ampliamento delle fessure già esistenti e formazione di nuove litoclasi.

Inoltre a Frera vennero eseguiti notevoli scavi in roccia, con impiego di esplosivo, per la costruzione della diga e delle opere annesse (5); le vibrazioni impresse dagli scoppi delle mine possono aver agito nello stesso senso della degradazione naturale, accelerandone lo svolgimento. Rimane però in ogni caso sicuramente escluso che la semplice azione delle mine

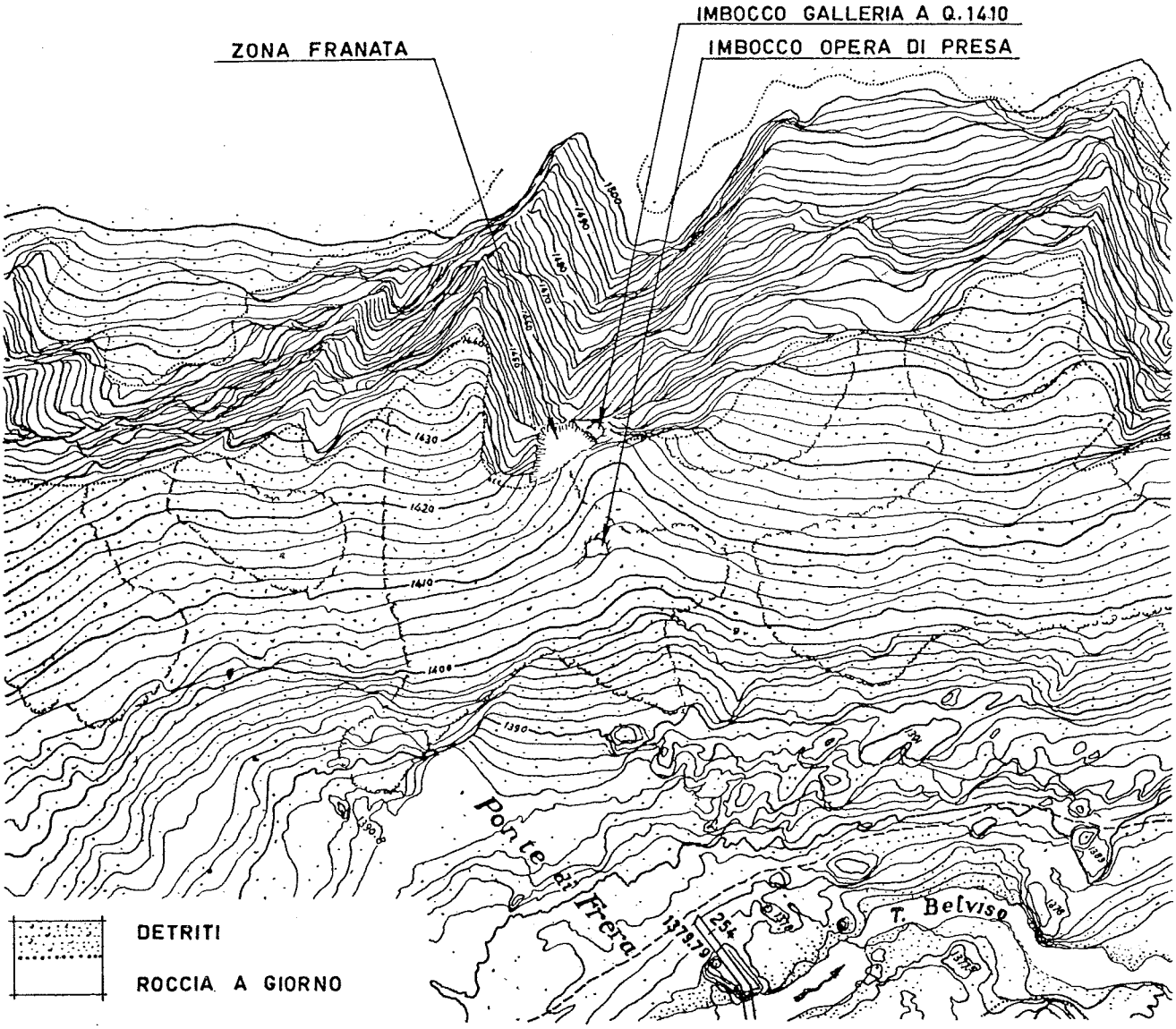

Fig. 3 - Planimetria del versante sinistro della Valle Belviso nella zona ov'è caduta la frana. Sono indicati i detriti superficiali e la roccia a giorno coi rispettivi limiti, nonché la nicchia di distacco della frana. Scala di 1:1175 ca. Estratto dal foglio 12/B del rilievo della S.I.P., F.lli Kahn, eseguito nel 1929.

(4) Nell'impossibilità di ricordare i numerosissimi autori, italiani e stranieri, che si sono occupati della classificazione delle frane, mi limiterò a citare l'interessante pubblicazione con la quale il Prof. Francesco Penta ha ultimamente fatto il punto sul difficile argomento: F. Penta, *Frane, classifiche e nomenclatura,* "Giornale del Genio Civile", Roma 1959, fasc. 4, pp. 5-15, con 35 figg.

(5) Alla data del franamento erano stati scavati circa 60.000 mc di roccia in posto.

abbia potuto, da sola, provocare il crollo; altrimenti avrebbero dovuto verificarsi ben più vaste e disastrose cadute di materiali nella zona d'imposta della diga, ove gli scavi a giorno e in sotterraneo sollecitarono la roccia con una intensità incomparabilmente maggiore di quanto non potesse avvenire in quella parte del versante che venne colpita dalla frana.

A questo punto ritengo opportuno richiamare l'attenzione dei tecnici sulla difficoltà di prevedere l'eventuale discesa di frane del tipo descritto in una zona, come quella di Frera, che a memoria d'uomo sia stata esente da tale fenomeno e che da molti anni non abbia dato luogo a cadute di massi o ad altri fatti che possano far sospettare una locale instabilità dei versanti. Da ciò appare evidente la grande pericolosità delle frane di crollo, contro le quali risulta purtroppo difficilissimo e spesso impossibile predisporre a tempo adeguate difese.

* * *

Quale provvedimento per evitare l'eventuale ripetersi del fenomeno, la Società *Acciaierie e Ferriere Lombarde Falck* fece eseguire dall'Impresa *Italscavi* una completa gradonatura del diedro da cui era discesa la frana, previa demolizione di quelle parti più esterne delle masse rocciose che potevano dar adito al sospetto di esser state rese instabili dall'avvenuto franamento. Oltre a ciò, dopo aver demolito circa m^3 10.000 della « *quinta* », è stato effettuato il fis-

Fig. 4 - Veduta degli scavi per l'impostazione della diga di Frera. Sono visibili sul fianco sinistro: i ponteggi di esecuzione delle chiodature a quota 1460-1480 ed alcuni muri di sostegno. La fotografia è stata presa il 21 agosto 1957 dalla parte più alta dell'imposta destra.

saggio della parte rimanente mediante chiodature della roccia con tiranti lunghi circa 25 m tra le quote 1460 e 1480, come si può vedere nella Fig. 4. E' stata inoltre eseguita la sottomurazione dei tratti di roccia sospetti con muri in calcestruzzo, pure visibili nella stessa fotografia.

Padova, maggio 1959. *Istituto di Geologia, Paleontologia e Geologia Applicata dell' Università.*

SUMMARY: Author reports information about morphological, lithological and structural peculiarities of *Frera* country, and particularly about the main tectonic fractures of local rock. Author describes the various slide appearances and investigates the probable causes of this phenomenon. The landslide is ascribed to the "*rockfall*" type, due to cohesion decrease in consequence of progressive spreading of existing cracks, under the influence of the so called thermal action of the atmosphere (frost and thaw, high and low temperature alternation) which are particularly active in high mountain zones. The movement concerned only a moderate rock thickness — 20 ft maximum — therefore it can be ascribed among "*shallow*" landslides. This phenomenon should have been under way long before, but nothing came to light; therefore the slide was sudden. At last, Author calls experts attention about how this kind of landslide is dangerous, and generally very hard to be forecast so that often it is impossible to predispose suitable preventive measures against it.

SOMMAIRE: L'Auteur rapporte d'abord quelques données sur les caractéristiques morphologiques, lithologiques et structurales de la localité de *Frera,* s'arrêtant particulièrement sur les principaux systèmes de fissuration tectonique de la roche. L'Auteur décrit ensuite les différentes manifestations de l'éboulement et il recherche les causes probables. Le phénomène en question fait partie des éboulements par "*écroulement*" qui se vérifient dans les roches par diminution de leur cohésion, due principalement à l'élargissement progressif des fissures préexistantes à la suite des actions thermiques de l'atmosphère (gel et dégel, alternance de températures basses et élevées), qui sont particulièrement efficaces dans les régions de haute montagne. Le phénomène n'a intéressé que 6 m de roche au maximum et il rentre pour cela dans la catégorie des éboulements "*superficiels*". Il était sans doute en préparation depuis longtemps, sans cependant que rien n'apparût au dehors. L'écroulement fut donc imprévu, soudain. L'A. met enfin en évidence les remarquables dangers d'éboulements pareils, très difficiles à prévoir en général et contre lesquels il est souvent impossible de pouvoir opposer des remèdes adéquats.