



Internationales Symposion INTERPRAEVENT 2004 – RIVA / TRIENT

SULLA LIMITAZIONE DEGLI EFFETTI DI UN'ESTESA COLATA DETRITICA NEL COMUNE DI S.VITO DI CADORE (BL, ITALIA)

ABOUT THE MITIGATION OF A WIDE DEBRIS-FLOW EFFECTS AT S.VITO DI CADORE (BL, ITALIA)

Marco Favaretti¹, Francesco Menegus², Piera Zanin³

SOMMARIO

Viene presentata una proposta di intervento mirata a mitigare gli effetti di una colata detritica sull'abitato di Chiapuzza, frazione del Comune di San Vito di Cadore (Belluno, Italia), e sulla Strada Statale n.51, nel tratto compreso tra San Vito e Cortina d'Ampezzo. Vengono presentate le problematiche di carattere geologico, geotecnico e idraulico che caratterizzano il fenomeno e le gravi ripercussioni indotte periodicamente sulla viabilità della zona. Per la progettazione di opere durature ed efficaci, volte a proteggere la frazione e la strada, sono stati condotti ampi studi di carattere fotogeologico, topografico, stratigrafico, geomeccanico, geotecnico e forestale, congiuntamente a un'analisi storica dei dissesti avvenuti negli ultimi 45 anni. Le parti principali di questi studi preliminari sono riportati nel presente articolo, unitamente ad una breve descrizione della proposta progettuale.

Parole chiave: colata detritica, rischio, protezione del territorio

SUMMARY

The paper deals with an engineering plan, directed to mitigate the effects of a wide debris-flow on Chiapuzza, a small village located near San Vito di Cadore (Belluno, Italy), and on the State Road n.51, towards Cortina d'Ampezzo. Geological, geotechnical, hydraulic topics, characterizing the debris-flow, and the serious damages, caused to the State Road n.51 practicability, are reported in the paper. Photogeological, topographic, stratigraphic, geomechanics, geotechnical and forestal studies were carried out in order to understand the main causes of the debris-flow and to design a set of durable and effective protection works. At the same time a historical analysis of landslides, occurred in the last 45 years, was performed. The most interesting parts of these preliminary studies are reported in the paper.

Key words: debris-flow, hazard, land protection

¹ Associate Professor, Dept. I.M.A.GE., University of Padova, Via Ognissanti, 39 – 35129 Padova - Italy, tel/fax: +39.049.827.7901; e-mail: marco.favaretti@unipd.it

² Geotechnical Engineer, Alpiconsult, Galleria Roma 10, 35020 Albignasego (Padova) – Italy; tel/fax: +39.049.8626.457; e-mail: franco.menegus@alpiconsult.it

³ Geologist, Alpiconsult, Galleria Roma 10, 35020 Albignasego (Padova) – Italy; tel/fax: 0+39.049.8626.457; e-mail: piera.zanin@alpiconsult.it

PREMESSA

La colata detritica (debris-flow) è un fenomeno legato al trasporto impulsivo e gravitativo verso valle di sedimenti. La colata coinvolge di frequente anche massi di dimensione ciclopica ed è costituita da una concentrazione volumetrica di sedimento generalmente pari a 30-70%. Le colate detritiche avvengono normalmente lungo la rete idrografica secondaria (l'area dei bacini interessati non supera in genere i 30 km²) e influenzano l'evoluzione geomorfologica dei fondovalle, mediante processi di accumulo sui coni di deiezione e l'ingresso di sedimenti nelle aste idrografiche principali. A causa della velocità del movimento franoso (da 3 m s⁻¹ a oltre 10 m s⁻¹), la forza di impatto delle colate detritiche può dar luogo ad effetti distruttivi e danni notevoli su persone, edifici e infrastrutture.

L'abitato di Chiapuzza (Comune di San Vito di Cadore, Belluno, Italia) e la Strada Statale n. 51 "di Alemagna", nel tratto compreso tra San Vito di Cadore e Cortina d'Ampezzo, sono stati interessati, negli anni, da ricorrenti fenomeni di colata detritica, provenienti dai soprastanti Ghiaione di Sacomedan (spesso indicato nel seguito con la sigla GdS) e Ghiaione dei Ross (GdR). Si è tentato dapprima di definire le attuali condizioni di sicurezza dell'abitato di Chiapuzza, tenendo presente che l'ultimo evento franoso significativo, che lo ha interessato, risale al 1972. E' stata congiuntamente considerata la possibilità di porre in sicurezza la S.S.51, la cui praticabilità è venuta spesso meno a causa del ripetersi delle colate detritiche. Nell'articolo si riferisce sulle indagini fotogeologiche, topografiche, stratigrafiche, geomeccaniche, storiche e forestali svolte preliminarmente e sui criteri che hanno ispirato la progettazione di alcuni interventi volti alla mitigazione degli effetti prodotti dalle colate detritiche soprastanti Chiapuzza.

METODOLOGIA DI LAVORO

Da un punto di vista metodologico lo studio si è articolato in più fasi, che hanno consentito di raggiungere un'approfondita conoscenza dei fenomeni in atto:

- **Ricostruzione storica e analisi dell'origine degli eventi.** Si sono identificate le origini dei fenomeni a partire dal crollo del 1960, avvenuto dalla parete SW della Punta dei Ross; l'esteso accumulo detritico, depositatosi ai piedi delle pareti rocciose, ha manifestato un progressivo movimento verso valle, dall'alluvione del 1966 ad oggi.
- **Studio geomeccanico degli ammassi rocciosi delle pareti soprastanti la zona in esame.** Si sono individuate le zone potenzialmente più instabili: la scadente qualità della roccia alla testata del GdR comporta un apporto continuo di materiale lapideo, con distacchi superficiali e piccoli crolli occasionali (es. 2/1998). Il crollo di un grosso diedro di roccia isolato da una frattura beante potrebbe ricreare condizioni analoghe a quelle del '60.
- **Studio fotogeologico dell'evoluzione morfologica del GdR e del GdS.** Sono state avanzate delle ipotesi sulle tendenze evolutive del versante e identificate le zone più soggette al rischio di invasione da parte delle colate detritiche, mediante l'analisi e il confronto di fotografie aeree, eseguite in differenti annate.
- **Correlazioni tra i fenomeni di colata detritica e le condizioni meteorologiche locali.** Si sono analizzati e confrontati i dati registrati presso le stazioni meteorologiche di Paluetta (Centro Studi per l'Ambiente Alpino), di Cortina e San Vito (Magistrato alla Acque). È emerso che le più rilevanti colate si sono verificate in corrispondenza di piogge intense e concentrate, precedute da alcuni giorni di piogge copiose, non necessariamente intense.
- **Considerazioni sugli interventi di difesa eseguiti in passato.** Dopo le colate del 1966 e 1972 furono eseguite opere (principalmente valli e muri deviatori) che miravano a deviare il deflusso delle colate fuori dalla direttrice dell'abitato di Chiapuzza.

INQUADRAMENTO GEOGRAFICO

L'area interessata dal presente studio si sviluppa sul versante sinistro della Valle del Torrente Boite, nel tratto compreso tra Località Ponte del Venco e la frazione di Chiapuzza, in Comune di San Vito di Cadore (Belluno, Italia-Fig.1). Sono stati presi in esame la cresta rocciosa che passa lungo le cime di Punta dei Ross e Punta Tajola, e i ghiaioni che da esse discendono nella valle del Boite, in particolare il Ghiaione de Sacomedan e il Ghiaione de Ross, fino all'alveo del Torrente Boite (Fig.2).



Fig.1: Ubicazione della zona in esame
Fig.1: Location of the investigated

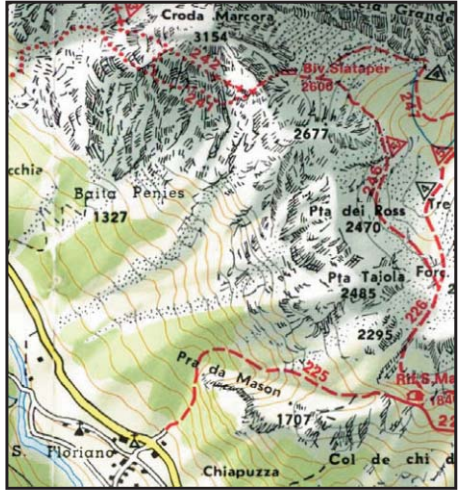


Fig.2: Area in esame – scale 1:50.000
Fig.2: Investigated area – scale 1:50.000

CRONISTORIA DEGLI EVENTI DI DISSESTO PIÙ RECENTI

Il primo evento preso in esame (Tabella 1) è il crollo di circa 800.000 m³ di roccia, staccatisi dalla parete SO della Punta dei Ross della Croda Marcora, nel febbraio del 1960. Esso non ha causato, direttamente, danni a manufatti o persone, andando infatti a coinvolgere esclusivamente alcuni ettari di bosco. Il fatto significativo, legato a tale evento consiste piuttosto nella modifica della morfologia del versante: il macereto di frana, andando a depositarsi ai piedi delle pareti rocciose, ha sostanzialmente modificato il profilo del versante che, da concavo, è divenuto convesso. La gravità e l'importanza di tale modifica si sono rivelate solo nel corso degli anni successivi: nella Tabella 1 si evidenziano, infatti, una serie di episodi di colate detritiche, più o meno ingenti, alimentate proprio dalla massa di detriti costituenti il corpo di frana. Tali colate hanno coinvolto in due occasioni (1966, 1972) l'abitato di Chiapuzza e, più volte, la sede stradale della S.S. 51 di Alemagna.

Gli interventi operati hanno, finora, mirato principalmente alla salvaguardia dell'abitato di Chiapuzza, cercando di convogliare le ulteriori colate provenienti dal Ghiaione dei Ross, verso il Ghiaione di Sacomedan. Il canale di guardia, costruito a seguito dell'episodio del 1966, si è rivelato inefficace, mentre migliore è stato l'effetto delle opere successive al 1972. Un breve commento merita l'analisi delle situazioni meteorologiche all'origine degli episodi di colata: una prima osservazione riguarda l'evento del 1966, in cui la nota situazione meteorologica, causa di un importante evento alluvionale in tutto il Nord Italia, è stata caratterizzata da piogge non solo intense, ma anche di lunga durata, che hanno scatenato la prima colata detritica significativa nell'area in oggetto. Si ricorda, tra l'altro che alla stazione di San Vito del Magistrato alle Acque, nel 1966 il massimo d'intensità di precipitazione si è

registrato il 15 agosto, in cui si sono misurati 12,8 mm di pioggia caduti in 45 minuti. Alla luce di ciò, risulta evidente che, in questo primo episodio, è stata determinante anche la persistenza delle precipitazioni. Successivamente al 1966 le colate detritiche si sono verificate in concomitanza con gli episodi di precipitazione più intensa, superiori ai 10 mm di pioggia per ora, in genere preceduti da qualche giornata caratterizzata da precipitazioni di minore entità. Infine un ulteriore evento di crollo si è verificato nel febbraio del 1998: il distacco è avvenuto sempre dalla parete SO della Punta dei Ross della Croda Marcora, ma di entità decisamente inferiore rispetto all'episodio del 1960, infatti il corpo della frana si è fermato entro quota 1600 m s.l.m. circa, e ha interessato pertanto solo la parte apicale del Ghiaione dei Ross. Si noti come entrambi i crolli siano avvenuti in febbraio, in condizioni di cielo sereno, cosa che comporta un'escursione termica giornaliera molto elevata e oscillante tra valori inferiori e superiori allo zero; in queste condizioni, la presenza di neve in quota, che si scioglie parzialmente durante le ore più calde, favorisce l'infiltrazione idrica all'interno delle fratture della roccia; i cambiamenti di stato dell'acqua, soggetta all'azione del gelo e disgelo, sono i principali responsabili dell'accelerazione dei fenomeni di degradazione.

Tab.1: Cronistoria degli eventi e degli interventi

Tab.1: Course of events and stabilization works

DATA	EVENTO	AREE COINVOLTE	INTERVENTI
16.02.60	Crollo di 850.000 m ³ dalla parete SO Punta dei Ross	4 ha di bosco coperti dal detrito; morfologia pendice cambiata: depressione di impluvio colmata e sostituita da una dorsale	Nessuno
04.11.66	Colata detritica lungo il fianco sinistro della frana del 1960	abitato di Chiapuzza e S.S.51 fino al Boite	apertura di un canale di guardia diagonalmente alla pendice (1350 m)
24.07.72	Colata detritica lungo il fianco sinistro della frana del 1960; (idem 1966)	abitato di Chiapuzza e S.S.51 fino al Boite	canale lungo linea max pendenza tra 1850 m e 1525 m; muraglione in c.a. per captare acque zona superiore frana convogliandole nel canale; due canali sussidiari diagonali con origine da 1620 e 1550 m s.l.m.
18.07.87	Colata detritica verso il GdS	S.S.51	sgombero strada
25.08.94	Colata detritica verso il GdS	S.S.51	sgombero strada
14.09.94	Colata detritica verso il GdS	Crollo muraglione in c.a. (1972) abbattuto nel 9.1995 dalla Forestale	sgombero strada
14.07.95	Colata detritica verso il GdS	S.S.51 fino al Boite	sgombero strada
05.02.98	Crollo di entità incerta	Area apicale del GdR	Nessuno

INQUADRAMENTO GEOLOGICO DELLA ZONA

L'area di studio è stata suddivisa in due sub-aree di caratteristiche geologico-morfologiche differenti e problematiche geotecniche interconnesse.

Area a monte dei ghiaioni. Presenta una morfologia aspra, con creste e pareti calcareo-dolomitiche e problematiche legate agli ammassi rocciosi, alla loro deformazione tettonica e a dissesti tipo "crolli" e scoscendimenti di masse rocciose; costituisce la "fonte" del materiale detritico per i sottostanti ghiaioni.

Area dei ghiaioni comprendente il Ghiaione dei Ross e il Ghiaione di Saccomedan.

Caratterizzata da ripetute colate detritiche che si generano a causa del continuo apporto detritico di monte (causa predisponente) e in concomitanza con periodi di intense precipitazioni meteoriche e/o vere e proprie alluvioni (causa scatenante).

STUDIO FOTOGEOLOGICO DELL'“AREA DEI GHIAIONI”

La caratteristica più saliente di quest'area è la continua evoluzione morfologica superficiale. L'analisi di fotografie aeree, eseguite in varie annate, costituisce lo strumento più utile per la ricostruzione della dinamica evolutiva del versante. È possibile poi formulare delle ipotesi sulle tendenze evolutive future, identificando così le aree più soggette al rischio di invasione da parte delle colate detritiche. Per lo studio sono state analizzate sei strisciate di aerofotogrammi, relative agli anni 1957, '60, '70, '80, '91 e '97. La analisi dei fotogrammi è stata eseguita secondo lo schema di Fig.3, che costituisce la legenda degli elaborati di sintesi:

- individuazione delle **aree caratterizzate da roccia affiorante** (colore grigio), che costituiscono le fonti di alimentazione delle falde detritiche; all'interno di tali aree si sono ulteriormente distinte le zone ove è presente copertura vegetale, meno soggette ad erosione;
- individuazione delle **aree a copertura vegetale continua, con substrato detritico** (verde), che rappresentano le parti stabili delle falde detritiche; la suddivisione sulla base della vegetazione prevalente (prato-bosco) indica da quanto le falde detritiche sono stabilizzate;
- individuazione delle **aree a vegetazione rada o assente, con substrato detritico** (giallo), che rappresentano le aree soggette a mutamenti morfologici ad opera delle colate detritiche;
- individuazione dei **coni detritici** e dei **solchi attivi di ruscellamento concentrato** (sovrassegni rossi e arancioni), che rappresentano il punto fondamentale dello studio geomorfologico, in quanto si chiariscono quali sono le vie preferenziali lungo cui il detrito, in forma di colata, tende a portarsi verso valle.

Ricostruzione storica dell'evoluzione morfologica del versante

Il risultato dell'analisi fotogeologica è stato rappresentato negli elaborati di sintesi, debitamente commentati, relativi a ciascun anno.

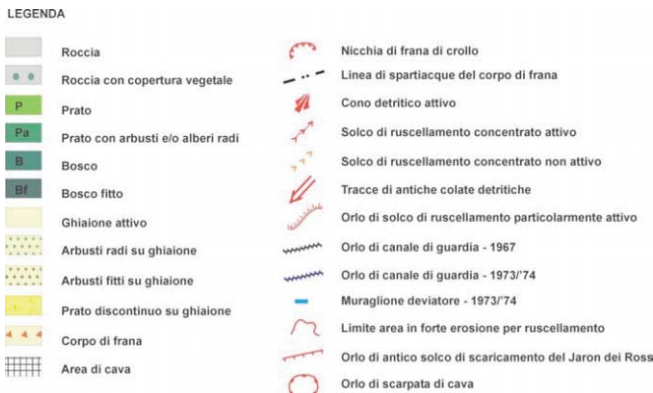


Fig. 3: Legenda degli elaborati di sintesi della fotointerpretazione

Fig. 3: Legend of the photointerpretation drawings

1957

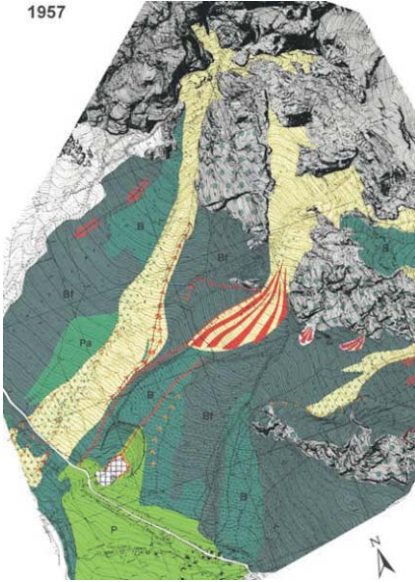


Fig. 4: Fotointerpretazione – anno 1957

Fig. 4: Photointerpretation – year 1957

1960

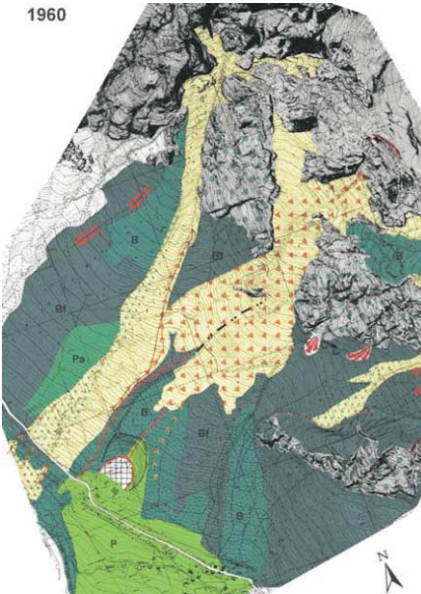


Fig. 5: Fotointerpretazione – anno 1960

Fig. 5: Photointerpretation – year 1960

1957: il Ghiandone dei Ross (GdR) e quello di Saccomedan (GdS) appaiono distinti, almeno per quanto riguarda la loro parte attiva. La parte attiva del GdR si esaurisce a 1300 m ed è limitato, verso N, dall'orlo di un solco di scaricamento antico del ghiandone stesso. La morfologia del solco si distingue verso valle fino alla strada: attraversando l'area dell'ex Cava della Vallesella il solco andava probabilmente ad esaurirsi nell'impluvio da cui la cava ha preso il nome. L'unica tendenza allo scaricamento del GdR verso il GdS è rappresentata da un solco di ruscellamento che, circa da quota 1500 m, si dirigeva verso NW. La parte propriamente attiva del GdS è quella SE, dove si distingue un solco principale, diviso localmente in due rami. La presenza di un solco attivo anche a valle della strada, verso il Boite, permette di supporre che anche in passato si siano verificati fenomeni di scaricamento sulla sede stradale, originatisi da questo ghiandone.

1960: E' eclatante l'evidenza del fenomeno franoso, verificatosi pochi mesi prima della ripresa dei fotogrammi, cui questa elaborazione si riferisce. Il piede della frana ha raggiunto quasi quota 1200 m, verso la ex Cava della Vallesella, riempiendo parte dell'antico solco di scaricamento. Una cospicua quantità di materiale si è riversata verso W, raggiungendo il GdS e scavalcando lo sperone roccioso che costituiva parte dello spartiacque naturale dei due corpi detritici. Si osserva la modifica sostanziale del profilo del versante determinata da una specie d'intumescenza, allungata in senso EW, ubicata poco a S dell'orlo di solco che arginava il GdS verso N. Ciò ha costituito una chiara linea di spartiacque all'interno del corpo di frana, disegnando due distinte direzioni per la rimobilizzazione futura dei detriti: una verso il GdS e l'altra verso SW, in direzione di Chiapuzza. Vicino alla Punta dei Ross si evidenzia la nicchia di distacco della frana; la comparazione delle strisciate 1957 e 1960 ha permesso di stimare il volume staccatosi durante il crollo del 1960.

1970

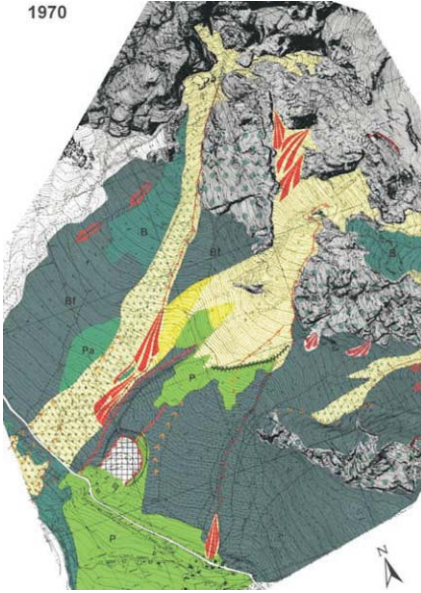


Fig. 6: Fotointerpretazione – anno 1970
Fig. 6: Photointerpretation – year 1970

1980

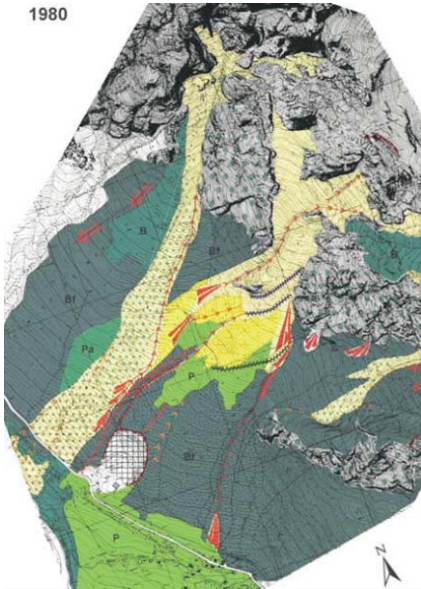


Fig. 7: Fotointerpretazione – anno 1980
Fig. 7: Photointerpretation – year 1980

1970: la situazione è successiva all'alluvione del 1966. E' evidente la traccia della colata detritica che ha investito Chiapuzza, fino a raggiungere il Boite. In soli 4 anni gli effetti della colata sono stati mascherati dalla vegetazione prativa. Verso monte, si osserva un solco di ruscellamento che percorre tutto il margine SE del GdR. E' questa la via seguita dalla colata detritica del 1966, che ha dimostrato l'inefficacia del canale di guardia, costruito nel 1967. Ulteriori evidenze di colate attive si riscontrano nella zona di contatto tra il GdS e il GdR. L'apporto di materiale della frana del 1960 ha trasformato una zona in erosione (solco di ruscellamento, Figg.4 e 5) in una zona di accumulo. La presenza di copertura vegetale, anche discontinua, al margine dei lobi inferiori, testimonia che, lungo questa via, non avveniva un diretto scaricamento sulla sede stradale. L'apporto detritico è continuo e legato alla degradazione normale dei bastioni rocciosi (vedi parte sommitale del GdR, sotto le pareti rocciose evidenti altri conoidi detritici attivi).

1980: Nuovi lobi detritici, al margine SE del GdR, hanno superato il canale di deviatore del 1967 raggiungendo Chiapuzza, analogamente a quanto successo nel 1966. Gli 8 anni trascorsi dall'importante evento del 1972 sono stati sufficienti a mascherare con la vegetazione prativa l'estensione effettiva del cono detritico. Un cambiamento importante del GdR è costituito dalla presenza del solco che scende dal muro deviatore (quota 1750 m circa) sviluppandosi verso il GdS. Tale solco, realizzato nel 1972 unitamente al muro deviatore, mirava a dirigere le colate lontano da Chiapuzza. L'opera fino al '97 ha assolto la sua funzione: si vedono nuovi lobi di detrito dirigersi dal GdRs verso il GdS. Positiva è stata anche la presenza dei due canali di guardia sussidiari. La parte più attiva del GdS permane concentrata sul margine SE; rispetto al 1970 la zona di accumulo si è spostata ancor più a valle, senza raggiungere la sede stradale.

1991

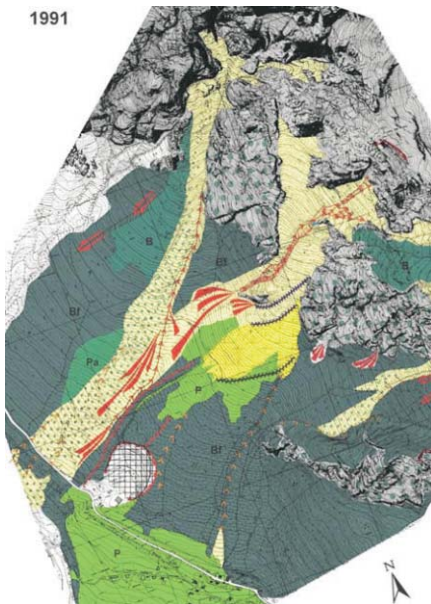


Fig. 8: Fotointerpretazione – anno 1991
Fig. 8: Photointerpretation – year 1991

1997

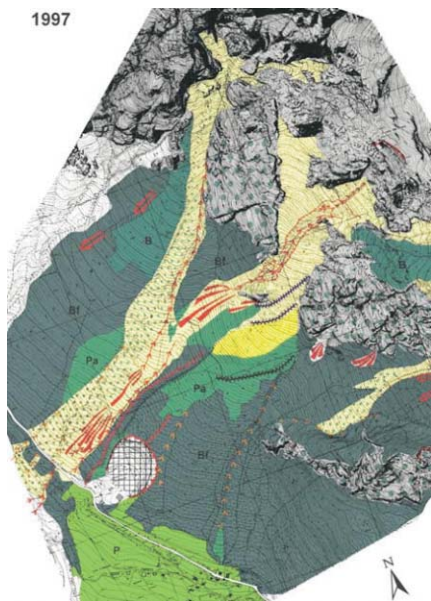


Fig. 9: Fotointerpretazione – anno 1997
Fig. 9: Photointerpretation – year 1997

1991: il quadro evidenzia come, ormai, la dinamica evolutiva del versante si concentri prevalentemente nella zona di contatto tra il GdR e il GdS. Il primo, caratterizzato dalla presenza di un solco in forte erosione, offre un cospicuo apporto di materiale al secondo, come testimonia la presenza di numerosi lobi detritici. D'altro canto, il GdS ha un proprio bacino di alimentazione, che apporta materiale detritico indipendentemente dal GdR. Ciò è dimostrato dalla presenza di un cono detritico in destra idrografica del solco principale del ghiaione stesso, che, per ragioni morfologiche, può essersi alimentato solo dal canale da cui il ghiaione ha origine. Il cono detritico altimetricamente più basso evidenzia che le colate ormai sono arrivate ad interessare la sede stradale: è questa, infatti, la situazione successiva all'episodio del 1987.

1997: questo è il quadro che riprende la situazione che più si avvicina a quella attuale. Il solco principale del GdR è in ulteriore approfondimento e la direzione delle colate rimane, sempre più decisamente, verso il GdS. Il muraglione in calcestruzzo, realizzato immediatamente dopo l'evento del 1972, non esiste più: scalzato in parte, a causa del naturale approfondimento del solco principale, è stato abbattuto nel settembre del 1995, avendo ormai perso la sua funzionalità. Nel GdS sono presenti due solchi distinti, uno SE alimentato dal GdR, e un secondo, indipendente, che ha origine nel canale da cui sfocia il ghiaione stesso. Verso valle sono presenti lobi detritici, che arrivano a lambire la strada.

Per quanto riguarda la parte SE del corpo di frana del 1960, l'avanzamento verso l'alto della copertura vegetale, pone in evidenza la progressiva stabilizzazione dei depositi. Anche il solco lungo cui erano scese le colate del 1966 e del 1972, non mostra più tracce fresche di movimento e la vegetazione ha ormai ricoperto anche la parte apicale del cono detritico.

CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA

La caratterizzazione geotecnica di un ghiaione montano non è sempre facile a causa della particolare granulometria dell'ammasso, che può spaziare dai massi ciclopici a particelle di dimensione inferiore a $60 \mu\text{m}$. Considerando dapprima la distribuzione granulometrica, si può affermare come l'analisi granulometrica ponderale possa essere facilmente eseguita negli ammassi sabbiosi o ghiaiosi, poiché per ottenere un campione rappresentativo è sufficiente prelevare un volume di terra modesto, dell'ordine di qualche decimetro cubo. Nel caso invece si desideri determinare la curva granulometrica di un ammasso costituito da sedimenti grossolani (torrenti montani ad elevata pendenza o ghiaioni montani), contenenti anche massi di dimensione $> 0.5\text{-}1\text{ m}$, la metodologia ordinaria di laboratorio non è più praticabile per tre motivi: 1) la rappresentatività del campione sarebbe ottenuta solo prelevando un volume di sedimenti dell'ordine di qualche metro cubo; 2) la vagliatura di granulometrie così grossolane risulterebbe particolarmente onerosa, se non impossibile; 3) durante le operazioni di prelievo di una così ingente quantità di materiale, si potrebbe non differenziare adeguatamente la granulometria del materiale superficiale da quella del materiale posto più in profondità.

Proprio a causa di queste difficoltà operative i ghiaioni soprastanti Chiapuzza sono stati caratterizzati dal punto di vista geotecnico limitandosi solamente alla frazione ghiaiosa, sabbiosa e limosa, escludendo dalla sperimentazione, sin dall'inizio, i ciottoli ($60\text{-}200\text{ mm}$) e i massi ($>200\text{ mm}$). Questa scelta non pregiudica l'interesse sui risultati sperimentali ottenuti, poiché il comportamento globale delle colate in esame sembra essere maggiormente dipendente dalla frazione granulometrica di dimensione minore, che non da ciottoli e massi.

Le analisi granulometriche, condotte su numerosi campioni rappresentativi di detrito, hanno consentito di definire il fuso granulometrico riportato nella Fig.10. Si tratta di ghiaie più o meno sabbiose, dotate di una distribuzione granulometrica molto ben graduata e di una frazione fine limosa ($<60 \mu\text{m}$) non superiore a 15%.

Sono state anche eseguite prove con le apparecchiature di taglio diretto, per la determinazione della resistenza al taglio di picco, e di taglio anulare (tipo Bromhead), per la determinazione della resistenza al taglio residua. A causa delle ridotte dimensioni delle apparecchiature di laboratorio, le prove sono state rispettivamente limitate alla frazione granulometrica passante al setaccio ASTM 10 ($<2\text{ mm}$) e ASTM 40 ($<0.42\text{ mm}$). Anche in questo caso si può affermare che i risultati, nonostante siano stati ottenuti sottoponendo a prova una frazione minoritaria dell'ammasso reale, rivestono un interesse notevole poiché hanno consentito di valutare la resistenza al taglio della porzione di ammasso dotata di minore resistenza.

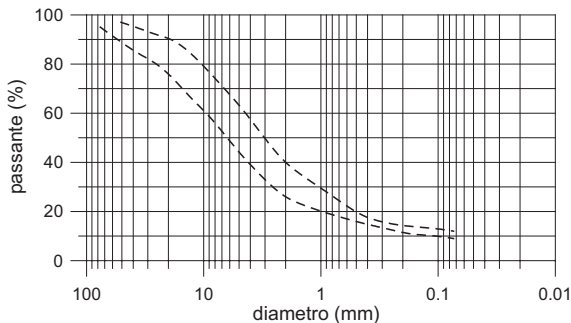


Fig.10: Fuso granulometrico dei ghiaioni, limitatamente alla frazione di granulometria $< 3''$ (76.2 mm)
Fig.10: Grain size range of debris-flow fraction, smaller than $3''$ (76.2 mm)

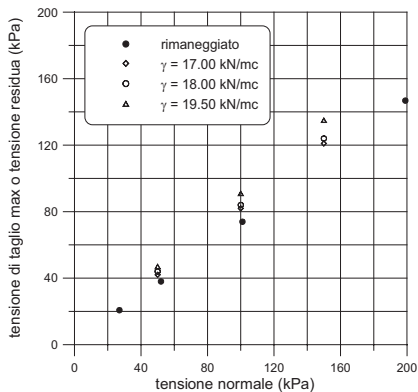


Fig.11: Resistenza al taglio residua e di picco in funzione della tensione normale applicata

Fig.11: Residual and peak shear strength vs. applied normal stress

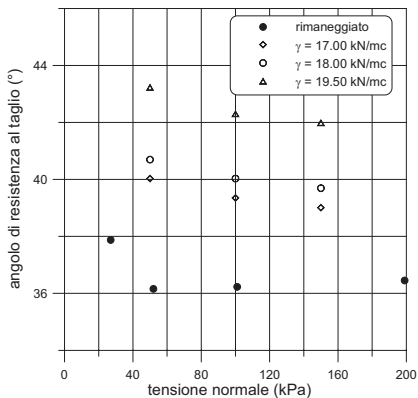


Fig.12: Angolo di resistenza al taglio residua e di picco in funzione della tensione normale applicata

Fig.12: Residual and peak shear strength angle vs. applied normal stress

I valori di resistenza al taglio ottenuti sono pertanto da ritenersi una sorta di limite inferiore della resistenza dell'intero ammasso.

Nelle Figure 11 e 12 sono riportati i risultati delle seguenti prove:

- prove di taglio diretto condotte su tre provini ricostituiti in laboratorio con pesi di volume crescenti e pari a 17.00 kN/m³, 18.00 kN/m³, 19.50 kN/m³;
- prove di taglio anulare condotte su provini completamente rimaneggiati.

Si osserva innanzi tutto come la resistenza al taglio cresca all'aumentare della densità iniziale del provino. Gli involucchi di rottura, ottenuti nel campo di tensioni indagato, sono pressoché rettilinei e passanti per l'origine degli assi σ - τ (Fig.11). La resistenza al taglio τ è quindi correlabile alla tensione normale σ , attraverso la classica equazione lineare di Mohr-Coulomb: $\tau = \sigma' \cdot \tan \phi'$, dove con ϕ viene indicato alternativamente l'angolo di resistenza al taglio di picco o residuo. La quasi linearità dell'involucro a rottura è confermata dai valori dell'angolo di resistenza al taglio riportati nella Figura 12. Tali angoli sono stati determinati puntualmente dai valori sperimentali della tensione normale σ e della corrispondente tensione di taglio τ , massima o residua, attraverso la relazione trigonometrica $\phi = \arctan(\tau/\sigma)$. Si osserva come, a parità di densità iniziale del provino, i valori di ϕ siano compresi in campi di variazione assai ristretti (Tab.2) e pari a 36°-38°, per la condizione residua, e 39°-43°, per quella di picco.

Volendo indagare sulla stabilità geotecnica dei versanti detritici, è possibile utilizzare, in prima approssimazione, le semplici espressioni del fattore di sicurezza, FS, proprie dei pendii omogenei, granulari e indefiniti di inclinazione β sull'orizzontale:

$$FS = \frac{\tan \phi}{\tan \beta} \quad (\text{pendio asciutto}) \qquad FS = \frac{1}{2} \cdot \frac{\tan \phi}{\tan \beta} \quad (\text{pendio saturo})$$

Sapendo che l'inclinazione media dei versanti, in particolare laddove si sviluppa il movimento traslativo delle colate detritiche in esame, è di circa 40°, si evince che la condizione di stabilità è garantita solamente quando l'ammasso è asciutto o solo parzialmente

saturo; man mano che il suo grado di saturazione aumenta, il fattore FS diminuisce fino a valori critici.

Tab.2: Campi di variazione degli angoli di resistenza al taglio

Tab.2: Range of shear strength angles

Provino	Angolo di picco (°)	Angolo residuo (°)
Rimaneggiato	-	36-38
$\gamma = 17.00 \text{ kN/m}^3$	39-40	-
$\gamma = 18.00 \text{ kN/m}^3$	40-41	-
$\gamma = 19.50 \text{ kN/m}^3$	42-43	-

TENDENZE EVOLUTIVE

Lo studio fotogeologico, ha permesso di formulare delle previsioni di massima sulle tendenze evolutive del versante, nell'ipotesi che non si verificano ulteriori crolli, in grado di modificare la dinamica in atto:

- in una prima fase, le colate detritiche continueranno ad innescarsi prevalentemente nel GdS, alimentate sia direttamente dalla zona apicale dello stesso, sia dagli apporti provenienti dal GdR; contemporaneamente il canale principale che scende dall'apice del GdR, continuerà ad approfondirsi;
- quando il canale principale del GdR si sarà sufficientemente approfondito, tra quota 1550 e 1600 m s.m.l. circa, il canale troverà la naturale soglia rocciosa che, prima del 1960, teneva separati, almeno al di sopra dei 1400 m s.l.m., i due ghiaioni; in tal modo, probabilmente, il canale cercherà una nuova via in direzione della "ex Cava della Vallesella," riprendendo il tracciato dell'antico solco evidenziato dai fotogrammi del '57.

L'insieme dei dati, raccolti nel corso dello studio, ha portato alle seguenti considerazioni:

- La ridistribuzione a valle, sui ghiaioni, di gran parte della massa detritica scaricata a valle dalle pareti rocciose, avviene in fasi successive verosimilmente in un periodo dell'ordine di qualche decina d'anni. Durante tale periodo non si esclude lo svilupparsi di colate detritiche anomale, anche di grandi dimensioni e volumi, in occasione di periodi particolarmente piovosi e/o di vere e proprie alluvioni.
- Le opere provvisorie di contenimento, eseguite negli ultimi 20 anni, hanno mostrato che, se la dinamica delle colate non muterà, queste potranno essere contenute e controllate attraverso valli e rilevati di contenimento (in aree particolari) e di veri e propri canali di deflusso. Importante sarà soprattutto la manutenzione continua di tali opere.
- Gli episodi di colata esaminati hanno messo in evidenza come queste, una volta incanalate e impossibilitate ad espandersi lateralmente sul ghiaione, possano coprire notevoli distanze anche su pendenze non molto elevate, per effetto della notevole loro fluidità. Per tale motivo, nel progettare eventuali opere di canalizzazione, si dovrà tenere presente che, se da un lato aumenta la possibilità di contenimento e controllo delle colate, per contro aumenta anche la possibilità che tali colate raggiungano quote più basse di quelle che avrebbero raggiunto se avessero potuto distribuirsi su una vasta area dei ghiaioni; potrà essere utile, pertanto, prevedere anche delle zone di "espansione controllata", per favorire l'arresto delle colate, in aree lontane da opere e insediamenti antropici.
- Le medie climatiche dell'area in esame indicano, come mesi più piovosi per il trentennio 1921 - 1950 (stazione pluviometrica di San Vito del Magistrato alle Acque) maggio, luglio e novembre e, comunque, la piovosità è elevata in tutto l'arco di tempo compreso da maggio a novembre. È questo il periodo in cui è più elevato il rischio che si verificano le

colate detritiche. Di fatto gli episodi verificatisi finora sono concentrati soprattutto tra luglio e settembre. È verosimile che nel mese di maggio tali episodi abbiano minore probabilità di manifestarsi, a causa delle scarse precipitazioni dei primi mesi dell'anno.

PROPOSTA PROGETTUALE PER LA STABILIZZAZIONE DELLA ZONA

Alla luce delle informazioni ottenute attraverso le indagini storiche e sperimentali è stata formulata un'ipotesi di progetto articolata in più opere, tutte miranti alla limitazione degli effetti delle colate detritiche provenienti dai soprastanti ghiaioni detritici di "Saccomedan" e dei "Ross".

La proposta di sistemazione della zona in esame prevede inizialmente il ripristino parziale dell'attuale pista di accesso alla parte superiore dei ghiaioni, per permettere un adeguato controllo della situazione in quota e la continua manutenzione dei canali.

- **Abitato di Chiapuzza:** alcuni interventi eseguiti dopo il 1972 necessitano di manutenzione, mediante la regimazione idraulica del canale di uscita dal vallone della Tajola e un leggero rialzo e potenziamento del vallo, in particolare nella parte più a monte, che può essere interessata dal flusso diretto. Tali interventi potranno essere svolti unitamente ai lavori di ripristino della strada di accesso ai ghiaioni. Sono previsti inoltre piani di controllo di tipo topografico-telematico, con controllo periodico di alcuni capisaldi, e/o l'installazione di appropriate strumentazioni, per l'individuazione e la misurazione di eventuali movimenti (crolli dalle pareti soprastanti).
- **Sistemazione del conoide detritico tra la S.S. 51 e la base delle pareti:** la proposta progettuale mira a limitare la presenza di materiale detritico nella zona di interferenza dei due canali (GdR e GdS), realizzando una zona di intercettazione e arresto delle colate. Un'altra zona, posta a monte della Statale, dovrà assolvere alla stessa funzione, intercettando, in questo caso, le colate residue che, attualmente, trovano nella sede stradale e nel pianoro ad essa adiacente, la loro zona di arresto finale.
- **Opere di difesa della S.S. 51:** un concreto intervento migliorativo della situazione attuale di pericolo presente a livello delle Statale, prevede la realizzazione di un ponte che permetta il deflusso idraulico e di parte delle colate che dovessero ugualmente raggiungere la statale nonostante gli interventi sopra descritti. Il nuovo ponte a servizio della Statale è previsto per una strada del tipo IV CNR, con sezione trasversale pavimentata di metri 10,50 oltre a due marciapiedi da 1,25 metri, per una larghezza complessiva di impalcato pari a 13,00 metri. La struttura si sviluppa su tre luci della lunghezza di 30 metri, necessarie per sovrappassare il canale che si andrà a realizzare per il contenimento e l'indirizzamento delle colate di materiale in frana.
- **Opere di sistemazione idraulica a valle della S.S. 51:** per il completamento dell'intervento, sia in relazione alla necessità di smaltire adeguatamente il flusso residuo della colata sotto il ponte, sia per una sistemazione globale paesaggistica ed ambientale del versante, si è prevista la unificazione in un unico canale, a valle della Statale, degli attuali due canali principali di flusso.
- **Ricomposizione ambientale:** lo studio forestale ha escluso l'opportunità di intervenire sul versante già in fase di lenta e naturale ricomposizione; l'intervento principale consiste nell'esecuzione, di una barriera visiva, al margine dell'area di intercettazione inferiore, ottenuta realizzando un rilevato trapezoidale ($h_{max} = 1$ m) per l'impianto di arbusti a rapido accrescimento (sviluppo vegetazione in altezza 5-7 metri). La funzione della barriera è quella di nascondere alla vista, dal nuovo ponte sulla strada, la parte terminale dell'ampio canale ghiaioso, che sale, quasi rettilineo, sino al vascone di intercettazione superiore; tale sistemazione, ovviamente, è considerata a perdere, in quanto non offre alcuna resistenza a eventuali colate.
- **Sicurezza a breve della viabilità sulla Statale:** si propone di dotare il tratto di statale interessato dalle possibili colate di un impianto semaforico di allarme, analogamente a quelli usati per le valanghe (Tipo D.R.A - Detecteur Routier Avalanches o similare), predisponendo idonei sensori in quota, all'uscita del vascone d'intercettazione superiore.