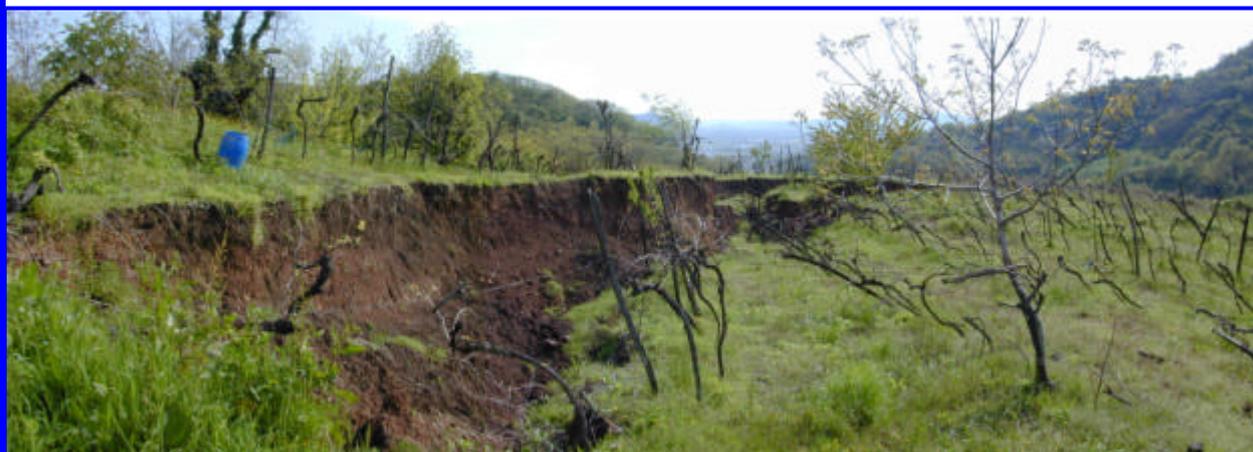


REGIONE DEL VENETO  
**COMUNE DI MONTORSO**  
PROVINCIA DI VICENZA

Movimento franoso in Località Val Grande

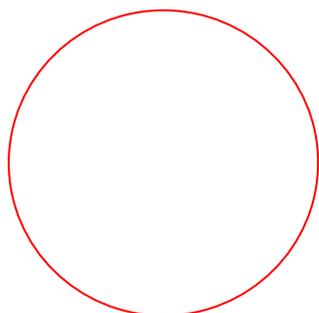
Committenza: Amm. Comunale di Montorso

**INDAGINE GEOLOGICA ED IDROGEOLOGICA**

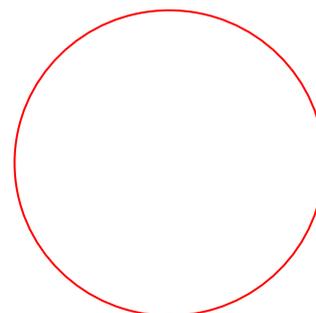


*(D.M. 11.03.1988)*

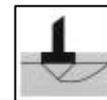
Data: 9 maggio 2001



Dr. Geol. Umberto Pivetta



Dr. Geol. Rimsky Valvassori



## 1. PREMESSE

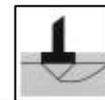
Su incarico e per conto dell'**Amministrazione Comunale di Montorso**, è stato redatto il presente studio geologico-tecnico sui terreni interessati da fenomeni di dissesto franoso recentemente verificatosi lungo il fianco orografico sinistro della Valgrande, percorsa da Rio Rodegotto, in Comune di Montorso, in Provincia di Vicenza. L'indagine è stata finalizzata alla caratterizzazione geologica, geomorfologica, idrogeologica e geotecnica dell'area e del sito in oggetto.

Più in particolare il presente *studio geognostico preliminare* è stato effettuato al fine di fornire indicazioni specifiche circa la situazione attuale dei dissesti in atto, per giungere alla comprensione dei fenomeni e conseguentemente all'indicazione delle eventuali procedure di intervento tecnicamente attuabili, finalizzate alla sistemazione della porzione di versante oggetto dei fenomeni di instabilità. Per la stesura della presente sono stati utilizzati i dati e le osservazioni derivanti da sopralluoghi, rilevamenti e prove geognostiche in sito effettuate nel mese di aprile 2001.

Dal punto di vista generale le indagini in sito sono state direttamente finalizzate alla conoscenza delle caratteristiche geologiche, geomorfologiche, idrogeologiche e geotecniche dell'area in oggetto. L'urgenza dettata dalla gravità del fenomeno e della sua rapida evoluzione, ha indicato come prioritari, i seguenti obiettivi:

- *verifica della sicurezza di alcuni edifici situati al limite superiore dell'area di frana, ovvero della loro estraneità alla dinamica del movimento;*
- *verifica della natura del materiale movimentato, cause del dissesto e della geometria del corpo frana.*
- *determinazione del tipo, entità e velocità di movimento franoso*
- *indicazione di eventuali possibili interventi*

Le indagini in sito e le valutazioni dei parametri geotecnici sono state effettuate in ottemperanza a quanto disposto dal **D.M. 11/03/1988**, recante le “*Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione ed il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione, precisamente ai punti D – “Opere di sostegno” e G – “Stabilità dei pendii naturali e dei fronti di scavo”*”,



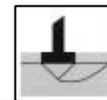
e della successiva **Circ. Min. LL.PP. 24/09/1988 n. 30483** contenente le relative istruzioni per l'applicazione

Il presente studio geologico-tecnico preliminare è stato articolato come di seguito esposto:

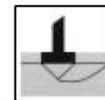
- Sopralluoghi diretti in sito per la programmazione delle indagini;
- Acquisizione ed analisi degli elementi bibliografici, per l'inquadramento del sito, comprendente reperimento di riferimenti topografici, geomorfologici ed idrogeologici generali ed analisi di cartografie tematiche;
- Analisi critica della documentazione tecnica ed amministrativa esistente depositata presso l'Amministrazione comunale.
- Fotointerpretazione, tramite analisi di foto aeree della zona in studio,
- Rilievo topografico e morfometrico di dettaglio dell'area di interesse;
- Rilievo geomorfologico, geologico-stratigrafico, geologico-strutturale ed idrogeologico della zona;
- Indagini geognostiche di dettaglio in sito, per la caratterizzazione geologica globale dell'ammasso roccioso e la determinazione sperimentale dei parametri geotecnici del materiale, consistenti in:
  - esecuzione di **rilievo geologico, geomorfologico ed idrogeologico** dettagliato delle pareti, dei fronti di frana e dell'area boscata e/o coltivata del versante;
  - installazione di una **rete di monitoraggio topografico** per la verifica dell'entità e velocità degli spostamenti;
  - esecuzione di **n°20 Prove Penetrometriche Dinamiche Medie (DPM)**, per la caratterizzazione geotecnica dei terreni;
  - infissione di **n°3 Piezometri a tubo aperto**, per la misurazione ed il monitoraggio del livello idrico nel corpo di frana;
  - Produzione di adeguata **documentazione fotografica** testimoniante la dinamica dei dissesti e la loro evoluzione nel tempo.

Si tiene a precisare che la scelta dell'estensione e della tipologia di indagine è stata condizionata da:

- necessità di risposte in tempi brevi;



- inaccessibilità della maggior parte dell'area a mezzi pesanti, quali sonde meccaniche.
- Commento ed interpretazione dei dati sperimentali;
- Verifiche di stabilità del pendio, secondo le metodologie dell'analisi limite, per la verifica dell'equilibrio delle masse in movimento e dell'efficacia preliminare degli eventuali interventi di consolidamento;
- Individuazione di possibili scenari di intervento, contenenti filosofie di approccio e metodologie tecnologiche.
- Prescrizioni tecniche e suggerimenti operativi per la realizzazione degli interventi di stabilizzazione.



## 2. INQUADRAMENTO GENERALE DELL'AREA

### 2.1- Ubicazione e caratteri geomorfologici generali

La zona di indagine è situata nel settore meridionale dei Monti Lessini, nella porzione nord orientale del territorio del Comune di Montorso, a circa 2 km di distanza dal capoluogo comunale (Fig.1 – Corografia alla scala 1:25.000, estratto da I.G.M. Foglio n°49, Quadrante II, Orientamento N.E. "Montebello Vicentino"; Fig.2 - Corografia alla scala 1:10.000 estratto da C.T.R. Sezione n°124120 "Roncà", e Sezione 129090 "Gambellara"; Fig.3 - Corografia alla scala 1:5.000 estratto da C.T.R. Elementi n°124082 "Arzignano Ovest", 125053 "Arzignano Est", 124121 "Roncà", 125094 "Montorso Vicentino").

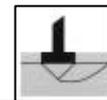
Il principale centro abitato nelle vicinanze è rappresentato, oltre che dal capoluogo comunale di Montorso, dalla frazione Ponte Cocco, situata a meno di 1 Km ad Est. Il territorio dell'area si presenta moderatamente antropizzato, con presenza di contrade, quali la vicina Bellinmadore, poche centinaia di metri a nord est, e di case sparse, quali quelle presenti al limite superiore dell'area indagata.

Più precisamente l'area in studio è situata in una zona pedecollinare, lungo un tratto di versante posto alla sinistra orografica della Valgrande, attraversata dal Rio Rodegotto..

Dal punto di vista morfologico, l'area in oggetto è rappresentata da un tratto di versante con andamento est-ovest esposto a Sud, compreso tra la Val Grande e la Val Faldeo Le quote dei terreni di interesse sono comprese tra i circa 165 m s.l.m. del fondo Valle Grande ed i circa 215 m s.l.m. della Strada Comunale sovrastante.

Le pendenze del versante sono mediamente inferiori al 20%: l'antropizzazione a fini agricoli ne ha tuttavia modificato la morfologia, con creazione di terrazzamenti o comunque tratti moderatamente inclinati, ove le pendenze sono talora inferiori al 10%, compresi tra strette e ripide fasce, con pendenze superiori al 50%.

Relativamente all'idrografia di superficie gli elementi di maggior spicco sono rappresentati dal Rio Rodegotto, che dopo aver attraversato la Località Ponte Cocco allo sbocco della Val Grande e lambito il capoluogo di Montorso, affluisce nel F. Chiampo, e



dal più modesto, ma comunque importante Rio della Val Faldeo, affluente del primo immediatamente a valle dell'area in oggetto.

## ***2.2- Geologia ed idrogeologia generale***

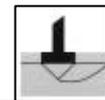
I lineamenti geologici dell'area lessinea sono noti e studiati da tempo. Questa parte orientale dei Monti Lessini può essere assimilata ad un esteso tavolato debolmente inclinato verso SE, che rappresenta una struttura omoclinale immergente sotto la coltre alluvionale dell'Alta Pianura Padana. Numerose dislocazioni tettoniche, interferendo tra loro in più fasi diacrone, hanno notevolmente influenzato l'assetto idrografico e morfologico del territorio anche in tempi molto recenti. Nell'area sono infatti evidenti episodi di deviazioni fluviali imputabili a fenomeni di Neotettonica quaternaria (Pellegrini, 1988).

L'assetto geologico strutturale è caratterizzato dalla presenza di una faglia principale a carattere distensivo, che separa i Lessini Orientali da quelli Occidentali, denominata "Linea di Castelvero". Questo lineamento tettonico di età terziaria si attivò alla fine del Paleocene in concomitanza con l'inizio del vulcanismo (Barbieri, 1972; De Zanche e Conterno, 1972). In prossimità del limite Est dei rilievi si colloca invece l'importante linea Schio-Vicenza, che con andamento NW-SE ha abbassato tutto il settore orientale, attualmente sepolto sotto il materasso alluvionale, determinando una brusca terminazione dei rilievi verso oriente.

La successione stratigrafica, presente nei rilievi della zona di interesse si estende esclusivamente dall'Eocene superiore fino al Quaternario. In particolare la sequenza affiorante nell'area rilevata, ordinata dai termini più recenti ai più antichi, può essere schematizzata come segue:

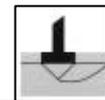
- **Depositi alluvionali di fondovalle e coperture detritiche (Quaternario).**

Questa unità è costituita da estese coperture continentali detritiche e di alterazione, in particolare di origine alluvionale, colluviale ed eluviale. Questi depositi presentano spessori, forme, composizioni, tessitura e struttura diversi secondo i processi morfogenetici che li hanno generati. I depositi alluvionali si rilevano lungo il fondovalle della Valle del Chiampo e dell'Agno/Giua e si



spingono all'interno delle digitazioni che si sviluppano ai piedi dei rilievi ed in corrispondenza della numerose vallette che li solcano, raccordandosi al loro interno con coltri colluviali e detritiche. Le alluvioni presentano dell'ampia vallata sono prevalentemente ghiaiose, mentre all'interno delle vallette prevale una matrice argillosa-limosa con frazione predominante di clasti litoidi arrotondati. I depositi colluviali hanno composizione e tessitura variabile in funzione dei litotipi calcarei o vulcanoclastici che li hanno generati.

- **Vulcaniti e vulcanoclastiti basaltiche (Eocene Medio).** Dal punto di vista generale, le rocce vulcanoclastiche dei Lessini Centro-Meridionali sono costituite da basalti di colata e da brecce e tufi basaltici di ambiente subacqueo, a piccoli elementi profondamente alterati con cemento carbonatico più o meno abbondante, e presentano una colorazione normalmente marrone-giallastra con tonalità dal rosso-bruno al grigio-verdognolo. Dal punto di vista litologico e genetico le vulcaniti sono molto variabili all'interno della stessa formazione, in funzione del grado di alterazione oltre che dal livello di stress tettonico successivamente subito. Tale formazione appare raramente in affioramento, come in corrispondenza del sito in esame, in quanto non ha sufficienti caratteristiche meccaniche per restare integra all'esposizione degli agenti atmosferici. Essendo tale unità litostratigrafia oggetto del dissesto in studio, gli aspetti genetici, litologici, idrogeologici e geotecnici verranno chiariti nel paragrafo specifico, unitamente alla descrizione e classificazione dei materiali.



### 3. INDAGINI E RILEVAMENTI IN SITO

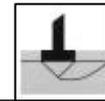
In questo momento preliminare è stata predisposta una fase di acquisizione dati in sito il più dettagliata ed accurata possibile, ai fini della comprensione globale del fenomeno e dell'individuazione dei principi ispiratori dei possibili interventi di stabilizzazione e messa in sicurezza. Dal punto di vista generale, presso l'area in studio sono stati eseguiti i seguenti rilievi sperimentali.

- esecuzione di **rilievo geologico, geomorfologico ed idrogeologico** dettagliato delle pareti, dei fronti di frana e dell'area boscata e/o coltivata del versante;
- predisposizione e realizzazione di una **rete di monitoraggio topografico** per la verifica dell'entità e velocità degli spostamenti, tramite infissione di capisaldi nel terreno;
- esecuzione di **n°20 Prove Penetrometriche Dinamiche Medie (DPM)**, per la caratterizzazione geotecnica dei terreni;
- infissione di **n°3 Piezometri a tubo aperto**, per la misurazione ed il monitoraggio del livello idrico nel corpo di frana;

In via preliminare, al fine di ottenere una completa caratterizzazione del sito dal punto di vista geomorfologico, si è provveduto all'esecuzione di un rilievo topografico di dettaglio dell'area. La restituzione grafica dello stesso è riportata nella **Tavola 1** alla scala 1:500, parte integrante del presente studio. Considerate le sfavorevoli e localmente proibitive condizioni logistiche e di accessibilità che caratterizzano i luoghi, è risultato necessario utilizzare una stazione ubicata sull'altro lato della valle del Rio Rodegotto, ed integrare il rilievo stesso con la cartografia CTR alla scala 1:5000 digitalizzata.

Contestualmente al rilievo morfometrico si è provveduto alla realizzazione di una rete di monitoraggio topografico della zona, finalizzata alla delimitazione dell'area in movimento ed al controllo dell'entità degli spostamenti. A tal fine sono stati predisposti e controllati nel tempo alcuni capisaldi entro ed all'esterno del perimetro di frana presunto, oltre alla verifica della stabilità del sedime degli edifici indiziati. La **Tavola 2** allegata al presente studio visualizza quanto appena riportato.

Vista la situazione geologica e morfologica locale evidenziata dal rilievo di campagna ed esposta a seguire, sono state condotte inoltre prove sperimentali in sito per



riconoscere la natura e parametrizzare le caratteristiche geotecniche dei materiali vulcanoclastici costituenti la litologia soggetta a dissesto, come descritto a seguire.

A tal fine è stato utilizzato un Penetrometro Dinamico Medio DPM trasportabile, la cui scelta è stata dettata dalle scarse condizioni logistiche e di accessibilità dei lotti in studio, oltre che dalla granulometria molto variabile dei depositi di versante indagati. La prova penetrometrica dinamica consiste nell'infiggere verticalmente nel terreno una punta conica metallica, tramite la battitura da altezza prefissata di un maglio di peso standard; durante la percussione vengono misurati i colpi necessari alla penetrazione della punta (N) per una lunghezza prefissata. Per quanto attiene al Penetrometro Medio (DPM), il maglio ha una massa di 30 kg, cade da un'altezza di 20 cm e viene misurato il numero di colpi necessario all'infissione ogni 10 cm ( $N_{10}$ ). Lo strumento utilizzato è ampiamente standardizzato e facilmente correlabile alla prova SPT (Standard Penetration Test), similare per modalità, da cui è possibile ricavare i parametri geotecnici necessari a caratterizzare i terreni di fondazione.

Attraverso l'energia specifica per colpo è possibile calcolare la Resistenza Dinamica alla penetrazione di punta ( $R_{pd}$  in  $\text{kg/cm}^2$ ), che è funzione del numero di colpi N; a tal scopo si utilizza la correlazione nota come "Formula degli Olandesi", espressa come segue:

$$R_{pd} = M^2 H / [A e (M + P)] = M^2 H N / [A \xi (M + P)]$$

Dove:

$R_{pd}$  = Resistenza Dinamica alla punta

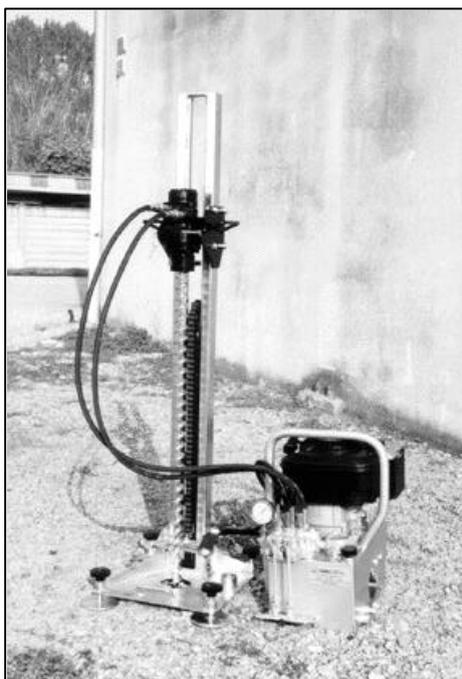
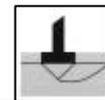
A = area punta

e = infissione per colpo =  $\xi/N$

M = peso massa battente

P = peso totale aste e sistema di battuta

H = altezza di caduta

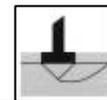


Un'ampia casistica ha permesso inoltre di ottenere delle relazioni empiriche che legano i valori rilevati con i valori della capacità portante e, soprattutto in questo caso, con i valori di coesione o di angolo d'attrito del terreno attraversato. Le tabelle dei valori di resistenza ed i diagrammi penetrometrici dinamici sono riportati in allegato fuori testo, mentre a fianco è riportata un immagine della strumentazione leggera utilizzata.

La situazione geologica del sito è risultata litologicamente molto variabile in ordine alla granulometria del deposito ed alla profondità del substrato resistente tale da arrestare la penetrazione; un livello roccioso competente non è stato infatti individuato in maniera univoca, come verrà chiarito in seguito, essendo lo stesso substrato caratterizzato da morfologia fortemente irregolare.

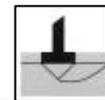
Nei fori delle Prove Penetrometriche DPM 15, 18 e 20, ubicate nell'area mediana del corpo di frana come riportato in Tavola 1, sono stati infissi piezometri a tubo aperto entro i quali è stato misurato il livello idrico e la sua variazione nel tempo. La tabella sottoriportata illustra le determinazioni effettuate; si precisa che la lettura del 13 aprile è stata effettuata il giorno successivo ad un evento meteorico e corrisponde quindi al massimo livello misurato.

<i>Piezometro</i>	<i>Profondità (m)</i>		
	<i>10/04/2001</i>	<i>13/04/2001</i>	<i>26/04/2001</i>
DPM15	1.80	<b>1.20</b>	-
DPM18	2.80	<b>2.50</b>	3.20
DPM20	1.90	<b>1.50</b>	2.25



Sulla base delle evidenti variazioni delle profondità idriche misurate, si può quindi ricondurre l'acquifero intercettato ad una falda di versante in regime transitorio, variabile in funzione dell'apporto meteorico, con diminuzione della saturazione nel tempo a partire dall'alto verso il basso. I dati raccolti sono stati utili per valutare la velocità di risposta del sistema idrogeologico locale alle sollecitazioni causate dalla variazione di carico idraulico a monte con le precipitazioni infiltratesi nel sottosuolo.

A tal proposito si segnala la presenza di alcuni ristagni idrici, evidenziati nel rilievo topografico, correlati all'elevata saturazione dei terreni e che fungono da serbatoio temporaneo. I lotti sono inoltre percorsi da alcuni fossi di scolo a carattere temporaneo, con portata idrica limitata ai periodi immediatamente successivi alle precipitazioni meteoriche, come riportato nella Tavola 1.



## 4. COMMENTO DEI RISULTATI

### 4.1- Premesse

Come precedentemente accennato, questa fase dell'indagine ha inteso rispondere, nel breve tempo disponibile determinato dall'urgenza del fenomeno in atto, ad alcuni quesiti prioritari:

- Sicurezza della contrada a monte del corpo franoso;
- Potenzialità del dissesto dal punto di vista dell'influenza sulla corretta regimazione del Rio Rodegotto;
- Velocità di evoluzione del fenomeno in relazione alle esigenze di sicurezza di quanto sopra .

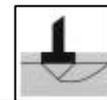
Per la verifica dell'estraneità della contrada al movimento franoso si sono dovute verificare due condizioni, ovvero:

- che la contrada fosse impostata su substrato roccioso, rappresentato in questo caso da basalti di colata
- che tale substrato fosse stabile, ovvero non fosse a sua volta affetto da dislocazioni che lo facessero partecipe al movimento franoso.

Per rispondere alla prima condizioni sono state quindi eseguite prove penetrometriche dinamiche, che hanno riscontrato l'effettiva presenza di un substrato basaltico a debole profondità nella fascia di versante comprendente la contrada in oggetto.

L'assenza di ogni dislocazione a scala più elevata è stata invece verificata mediante fotointerpretazione (materiale disponibile c/o l'Università di Padova, Istituto di Geologia).

La mancanza di segnalazioni di recenti lesioni negli edifici ed il controllo topografico nel corso dell'indagine che non ha riscontrato, nei limiti di tolleranza data dalla strumentazione, movimenti degli edifici, fanno ritenere con sufficiente attendibilità, una condizione di sicurezza della contrada.

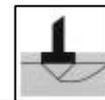


#### 4.2- Classificazione del fenomeno e litologia coinvolta

Dal punto di vista classificativo, secondo i criteri teorizzati da *Varnes (1978)* e ripresi ed adattati alla realtà italiana da *Carrara, D'Elia e Semenza (1983)*, il dissesto in oggetto appare configurarsi come movimento complesso, risultante cioè dalla combinazione di due o più tipi principali, a causa della particolare natura del litotipo. Il movimento principale può essere descritto come *Debris Slide o Rock Slide* (Scorrimento traslativo di detrito o roccia), essendo prevalentemente un movimento rotazionale complesso con concavità verso l'alto e superficie di scorrimento con morfologia irregolare. La velocità di questo tipo di movimenti è globalmente lenta con fasi impulsive caratterizzate da accelerazioni degli spostamenti in corrispondenza delle piogge, per scadimento repentino delle caratteristiche geotecniche con la sovrasaturazione dell'ammasso. In corrispondenza del fronte presso la valletta del Rio Rodegotto il materiale appare interessato da fenomeni di *Rock Fall* (Crollo di Roccia). Tale tipo di frana è caratterizzato da velocità estremamente rapide ed il fenomeno comprende la caduta libera, il movimento a salti e rimbalzi e il rotolamento di frammenti di roccia e di terreno sciolto. A tal proposito appare lecito segnalare come durante le fasi di rilievo morfometrico, gli scriventi abbiano assistito a crolli di materiali dal fronte, in corrispondenza di punti appena battuti.

Per quanto riguarda la determinazione delle caratteristiche litologiche dei materiali, oltre che le prove penetrometriche, le profonde fratture e dislocazioni presenti hanno permesso una verifica della natura del materiale interessato dal movimento franoso. Questi è rappresentato da un ammasso caotico prevalentemente coesivo, costituito da pietrisco vulcanitico e vulcanoclastitico a composizione basaltica, normalmente spigoloso e a granulometria fortemente eterogenea, immerso in abbondante matrice argillosa bruno-rossastra. All'interno dell'ammasso sono rinvenibili blocchi basaltici di dimensioni anche rilevanti ( $\emptyset >$  metro).

La natura e caratteristiche del materiale, la cui deposizione caotica, con assenza di ogni struttura e lineazione deposizione, fanno ipotizzare ad un trasporto colluviale in massa, ascrivibile con grande probabilità ad un antico evento franoso (paleofrana).

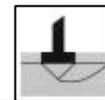


### 4.3- Geometria del corpo frana

Il movimento franoso coinvolge un tratto versante, alla sinistra orografica della Val Grande, per una lunghezza di fronte di circa 200 m ed una larghezza, ovvero da monte a valle, di circa 150 m. In generale si può riconoscere un tendenziale progressivo aumento dello spessore del corpo franoso da monte a valle ove, in corrispondenza dei fianchi del torrente, raggiunge il valore massimo dell'ordine della decina di metri.

Lo spessore del corpo franoso non è tuttavia omogeneo in tutta l'area di frana, ma è anzi affetto da forti variazioni. Come evidenziato anche in seguito infatti, non si tratta qui di un piano di scivolamento con la stessa inclinazione del versante, tipico di uno scollamento della copertura argillosa su substrato basaltico, né in realtà di una superficie cilindrica di rottura, generalmente rappresentabile in sezione con un arco di cerchio, propria di ammassi omogenei ed isotropi.

In questo caso, come lo dimostra anche la morfologia superficiale, si tratta con molta probabilità di una superficie di rottura ad andamento e spessori irregolari, che segue e si adegua alla presenza di zone più o meno resistenti, con andamento ondulato e formazione quindi di depressioni e rilievi. Si precisa comunque che l'adozione un modello a superficie cilindrica risulta necessario per eseguire verifiche con metodi analitici, come in seguito esposto, non essendo nota a priori l'esatta morfologia della superficie ma solo la sua irregolarità qualitativa.



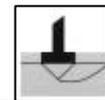
#### **4.4- Probabili cause del dissesto**

L'innescò del movimento appare, alla luce dei dati raccolti, riconducibile alla sovrassaturazione dell'ammasso coesivo a seguito delle prolungate piogge che si sono continuate per tutto il recente periodo invernale. L'eccezionalità degli eventi meteorici si è quindi sommata ad una situazione di dissesto idrogeologico generalizzata dell'area tale da costituire una causa predisponente importante; si precisa inoltre che l'attuale regimazione delle acque superficiali, data da fossi di scolo poco profondi e caratterizzati da andamenti spezzati, è risultata inadeguata all'entità degli eventi più recenti. A tal fine si segnala che nella zona a monte, in corrispondenza quindi delle case, non sono state riscontrate evidenze di elementi antropici tali da essere considerati cause scatenanti del fenomeno franoso.

Il rilievo a monte dell'area di frana è costituito da basalti subsuperficiali, ovvero con scarsa o assente copertura argillosa, superficialmente fratturati e degradati, funzionanti da serbatoio temporaneo delle acque meteoriche: solo una piccola parte di queste ultime viene incanalata degli impluvi naturali, la maggior parte defluisce all'interno dell'area di frana sia superficialmente, per ruscellamento, che per via sotterranea, attraverso la crosta superficiale basaltica fratturata e degradata.

A valle del corpo frana, le ripide sponde del Torrente Rodegotto sono costituite dallo stesso materiale di frana: la sua saturazione e di conseguenza l'abbattimento dei parametri geotecnici, ha fatto superare la soglia di equilibrio del fianco alla sinistra orografica del torrente, con crolli di materiale che si sono peraltro continuati per tutta la durata dell'indagine. In uno di questi episodi si è creato, per ostruzione del letto del torrente, un laghetto temporaneo, rimasto per un paio di settimane, poi scomparso per l'asportazione del materiale a valle da parte del torrente stesso.

In corrispondenza dei fronti di distacco sul fianco del torrente sono molto evidenti le emergenze di acqua sotterranea che permeano l'ammasso franoso.



#### 4.5- Entità e velocità di movimento franoso

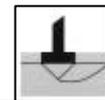
L'entità del movimento è stata determinata mediante misurazioni topografiche di caposalda distribuiti all'interno dell'area di frana, come precisato in precedenza.

Le misurazioni hanno riscontrato, rispetto all'inizio delle misurazioni, ovvero nell'arco di 30 gg circa, spostamenti orizzontali massimi complessivi, ovvero del corpo frana, dell'ordine dei 30-40 cm, relativamente limitati rispetto ai movimenti verticali, che hanno raggiunto, a parte i numerosi crolli del fronte a valle, valori superiori al metro. La **Tavola 2** allegata illustra i vettori spostamento dei capisaldi analizzati e la perimetrazione dell'area di movimento.

La relativa bassa entità di spostamento orizzontale complessivo, sembra contrastare con le ampie deformazioni presenti ed in particolare con l'elevato numero di aperture createsi nel terreno, di larghezza che non raramente supera il metro: la sommatoria di tali aperture dovrebbe tradursi in uno spostamento verso valle nell'ordine dei metri e non dei decimetri.

Tale apparente contrasto trova invece giustificazione con quanto precedentemente sottolineato, ovvero della presenza di una superficie di scorrimento irregolare, non orizzontale né cilindrica, ma conformatesi all'eterogeneità del "substrato", quest'ultimo non inteso come corpo roccioso di basalti di colata, ma ammasso di ialoclastiti e breccie basaltiche friabili, variamente fratturate ed argillificate, con livelli meno resistenti.

L'andamento "ondulatorio" della coltre in movimento provoca, con la creazione di avvallamenti e dossi, una marcata deformazione superficiale, con movimenti ad elevata componente verticale, anche con componente orizzontale limitata.



#### 4.6- Analisi di stabilità

In considerazione dell'impossibilità di determinare in maniera affidabile i parametri geotecnici propri dell'ammasso coinvolto nel movimento franoso nei ristretti tempi dettati dall'urgenza, si è ritenuto opportuno tentare di parametrizzare i terreni operando indirettamente tramite l'analisi di stabilità in back-analysis. Nelle verifiche è stata utilizzata come base la sezione evidenziata in Tavola 1, passante per la mediana della nicchia di distacco sotto l'abitato e per il fronte di frana, che rappresenta la più chiara situazione di instabilità conclamata.

Dal punto di vista metodologico, è stata utilizzata la teoria dell'equilibrio limite che consiste nella stima di un coefficiente di sicurezza alla traslazione e/o rotazione del volume roccioso compreso fra la superficie del versante ed una superficie di taglio potenziale imposta.

La procedura di calcolo prende in considerazione tutte le forze e/o i momenti agenti lungo il piano di taglio, fornendo una valutazione della stabilità globale attraverso le equazioni dell'equilibrio fornite dalla statica. Il coefficiente di sicurezza globale del pendio viene calcolato attraverso il rapporto fra la resistenza al taglio massima disponibile lungo la superficie di rottura e gli sforzi tangenziali mobilitati lungo tale piano:

$$F.S. = T_{max} / T_{mob}$$

con:

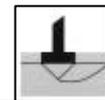
F.S. : fattore di sicurezza;

T<sub>max</sub> : resistenza al taglio massima;

T<sub>mob</sub>: sforzo tangenziale mobilitato.

All'equilibrio F.S. deve essere uguale a 1, anche se per legge (D.M. 11/03/88) e per consuetudine, la stabilità può dirsi raggiunta solo nel caso in cui F.S. sia maggiore di 1.3.

Nel caso specifico è stato utilizzato un software dedicato che opera secondo il **Metodo di JAMBU**, per il quale si pone la condizione che le forze verticali agenti sulle superfici di separazione dei conci siano trascurabili. Di conseguenza singoli conci interagiscono tra di loro solo attraverso forze orientate lungo l'orizzontale. Viene inoltre



supposto che la superficie potenziale di scivolamento sia circolare. La massima resistenza al taglio disponibile lungo la superficie potenziale di rottura è data, per ogni concio, da:

$$T_i \max = X_i / (1 + Y_i/F.S.)$$

Con:

$$X_i = (c + (\gamma \cdot h - \gamma_w \cdot h_w) \cdot \operatorname{tg}\Phi) \cdot dx / \cos\alpha;$$

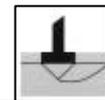
$$Y_i = \operatorname{tg}\alpha \cdot \operatorname{tg}\Phi$$

Tralasciando i dettagli matematici, appare necessario osservare come per una questione di incognite, la procedura risolutiva da adottare sia di tipo iterativo, fino all'ottenimento della convergenza su un valore praticamente costante di F.S..

E' stata quindi effettuata un'analisi di sensibilità facendo variare il valore dell'angolo di attrito efficace  $\Phi'$ , in termini di tensioni efficaci quindi in condizione drenate, fino al raggiungimento di un valore del Fattore di Sicurezza prossimo all'unità per difetto, tale da descrivere l'instabilità dell'ammasso. Ovviamente non essendo nota con precisione la profondità e la morfologia dell'ipotetica superficie di scorrimento, le verifiche effettuate hanno carattere puramente indicativo, avendo postulato una superficie cilindrica fittizia ai fini del calcolo. Dal punto di vista generale i valori utilizzati nelle verifiche sono propri di un ipotesi gravosa delle condizioni geomeccaniche ed idrogeologiche, corrispondenti a situazioni di massima saturazione dell'ammasso.

Il passo successivo è consistito nella verifica degli effetti dell'eventuale desaturazione dell'ammasso nei confronti della stabilità, valutandone l'efficacia attraverso l'aumento del fattore di sicurezza a seguito di un abbassamento ipotizzato del pelo libero della falda idrica residente nel corpo di frana di circa 5 m. Tale verifica ha evidenziato un nuovo F.S. pari a circa 1.3, sufficiente dal punto di vista normativo a garantire la stabilità dell'ammasso. I tabulati dell'analisi effettuate sono allegati fuori testo, unitamente alle elaborazioni grafiche.

Il movimento in atto è tipico dei corpi franosi in materiali coesivi. In questi, ad una prima rapida ed imponente deformazione, dovuta al superamento della resistenza di picco (Leroueil *et al.* 1996), seguono più fasi di riattivazione, ciascuna di minor entità ma continue nel tempo. Se da un lato il fenomeno tende ad una situazione di equilibrio, con un rallentamento del movimento, dall'altro il progressivo scadimento dei parametri



geotecnici di resistenza residua (legati anche un maggior assorbimento delle acque meteoriche) mantiene costante lo squilibrio stesso.

### **5.7- Indicazione di eventuali possibili interventi**

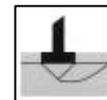
Dal punto di vista pratico la tipologia di ogni possibile intervento deve tener conto, oltre che delle caratteristiche geologiche del movimento franoso, anche dei limiti operativi posti dalla morfologia del luogo.

In questo caso, identificata come principale causa scatenante del dissesto la saturazione dell'ammasso caotico prevalentemente argilloso, si impongono come prioritari degli interventi di regimazione delle acque meteoriche a monte e di drenaggio delle acque sotterranee di infiltrazione all'interno del corpo frana. A tal fine appare necessario precisare come, dal punto di vista teorico, le condizioni di stabilità di un pendio naturale sono regolate dal rapporto tra la resistenza al taglio disponibile sulle superfici di scorrimento e le tensioni tangenziali agenti su essa. Nel caso di un pendio coesivo saturo, gli interventi di stabilizzazione devono essere finalizzati alla riduzione delle pressioni interstiziali tale da produrre un aumento delle tensioni normali efficaci con conseguente incremento della resistenza al taglio. La realizzazione di sistemi di drenaggio a gravità produce l'annullamento delle pressioni neutre con aumento del fattore di sicurezza e contestualmente contribuisce al rinforzo del terreno.

Appare comunque evidente come la scarsa e sempre rischiosa possibilità di movimentazione di mezzi pesanti all'interno dell'area di frana rappresenti un fattore fortemente limitante della tipologia ed estensione degli interventi.

Tra le numerose possibilità, proponiamo, ma solo come spunto di idea e base di discussione, un tipo di intervento che, nelle sue linee generali, potrebbe seguire le seguenti fasi:

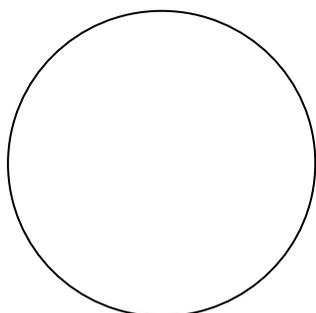
- progressivo tombinamento del torrente, da valle verso monte, mediante elementi ellissoidali o circolari in acciaio imbullonati tra loro o con elementi prefabbricati o eseguiti in opera in c.a. di diametro opportuno (dell'ordine dei 2 m), atti a sostenere il passaggio di mezzi pesanti (da intendersi come opera provvisoria o anche definitiva)



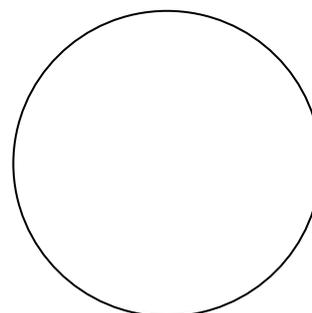
- progressivo interrimento e copertura delle opere con ghiaione molto grossolano e realizzazione quindi di una superficie pianeggiante sufficientemente ampia;
- realizzazione delle opere di drenaggio, a partire a valle verso monte. Queste consisteranno nello scavo di trincee, a profondità decrescente verso monte, con posa di geosintetici ad alta permeabilità per il drenaggio verticale, con tubo di raccolta al fondo, riempite con lo stesso materiale di scavo senza alcun apporto di materiale dall'esterno (cfr. Fig 4).
- contemporaneamente ai lavori a valle, si potrà scavare una canaletta al limite superiore dell'area di frana, in corrispondenza della strada bianca immediatamente a monte degli edifici esistenti, convogliante le acque provenienti da monte verso la vicina Val Faldeo.
- completate le opere di drenaggio e regimazione delle acque sotterranee e superficiali, si potrà quindi eventualmente procedere alla ricomposizione morfologica dell'area dissestata e del fronte di crollo con opere di ingegneria naturalistica (cfr. Fig 4).

Come precedentemente accennato, l'opera di tombinamento del torrente può o **essere asportata** a fine lavori di consolidamento e ripristino, o **lasciata in posto**. In quest'ultimo caso si renderà necessaria la realizzazione di una briglia immediatamente a valle dell'opera la quale nel suo insieme concorrerà alla formazione di una resistenza al piede del corpo frana.

Vicenza, 9 maggio 2001



Dr. Geol. Umberto Pivetta



Dr. Geol. Rimsky Valvassori

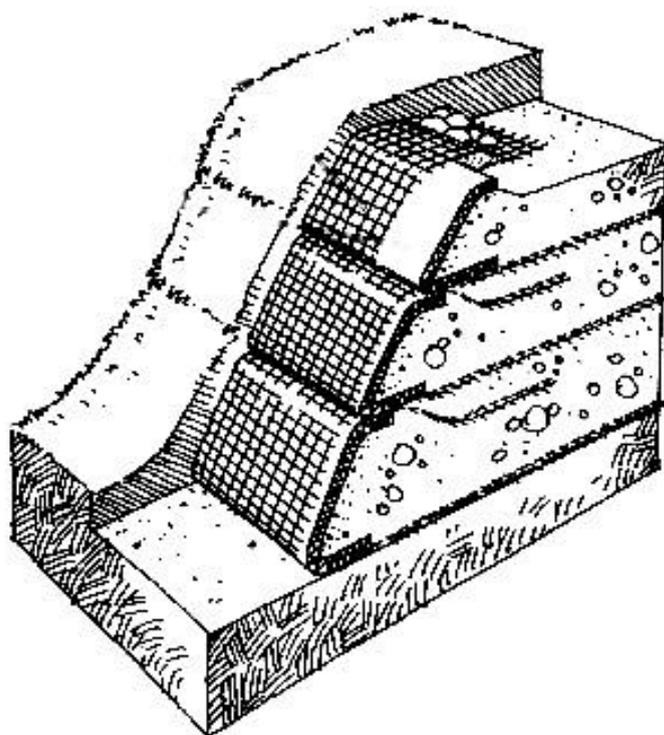
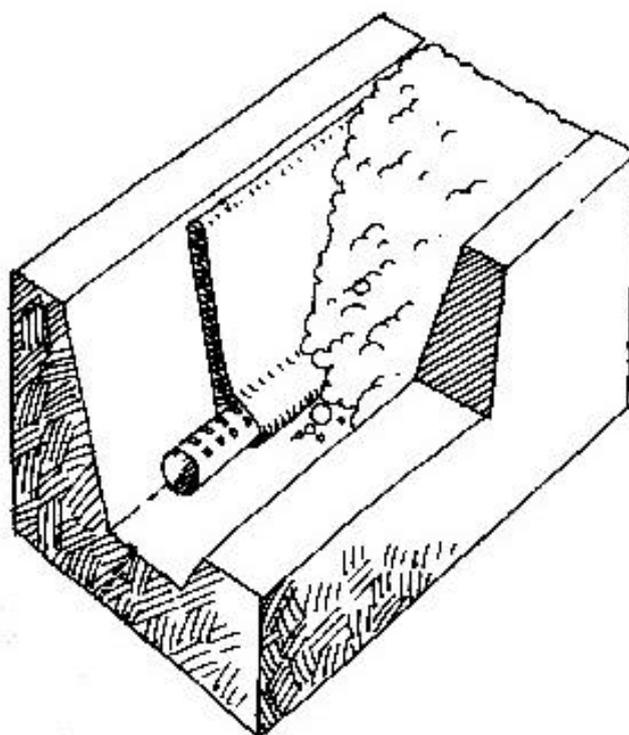
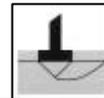
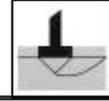


Fig.4 – Esempi di trincee drenanti con geosintetici e di opere di ricomposizione e sostegno di ingegneria naturalistica



## **ALLEGATI FUORI TESTO**

- Caratteristiche della strumentazione penetrometrica
- Tabulati e grafici relativi alle prove penetrometriche dinamiche
- Relazione di calcolo ed elaborazioni grafiche delle analisi di stabilità