

DEFINIZIONE DELLA PERICOLOSITÀ E DI POSSIBILI INTERVENTI DI MITIGAZIONE DELLA FRANA DI CORVARA IN BADIA (Provincia di Bolzano – Alto Adige)

RELAZIONE TECNICO-ILLUSTRATIVA

Committenti:



**PROVINCIA AUTONOMA DI BOLZANO
– ALTO ADIGE**

Rip. 11: Edilizia e Servizio Tecnico
Uff. 11.6: Ufficio geologia e prove materiali
Rip. 30: Opere Idrauliche
Azienda speciale per la regolazione dei corsi
d'acqua e la difesa del suolo
Uff. 30.4 Sistemazione bacini montani est
Rip. 32: Foreste
Uff. 32.3. Ufficio pianificazione forestale

Personale coinvolto:

J. March, L. Nossing, V. Mair,
R. Pollinger, M. Sperling, S. Gius,
P. Profanter, G. Unterthiner,
G. Valentinotti



COMUNE DI CORVARA IN BADIA

Personale coinvolto:

H. Kostner, R. Rottonara, S. Tiezza

Enti esecutori:



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI
DI MODENA E REGGIO EMILIA

**UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI
MODENA E REGGIO EMILIA**
Dipartimento di Scienze della Terra

Personale coinvolto:

*M. Panizza, A. Corsini, M. Soldati, M.
Marchetti, L. Borgatti, A. Ghinoi, D.
Piacentini*



**CONSIGLIO NAZIONALE DELLE
RICERCHE**
Istituto di Ricerca per la Protezione
Idrogeologica

Personale coinvolto:

*S. Silvano, A. Pasuto, A. Zannoni, G.
Marcato, M. Mantovani, F. Tagliavini,
S. Moretto*

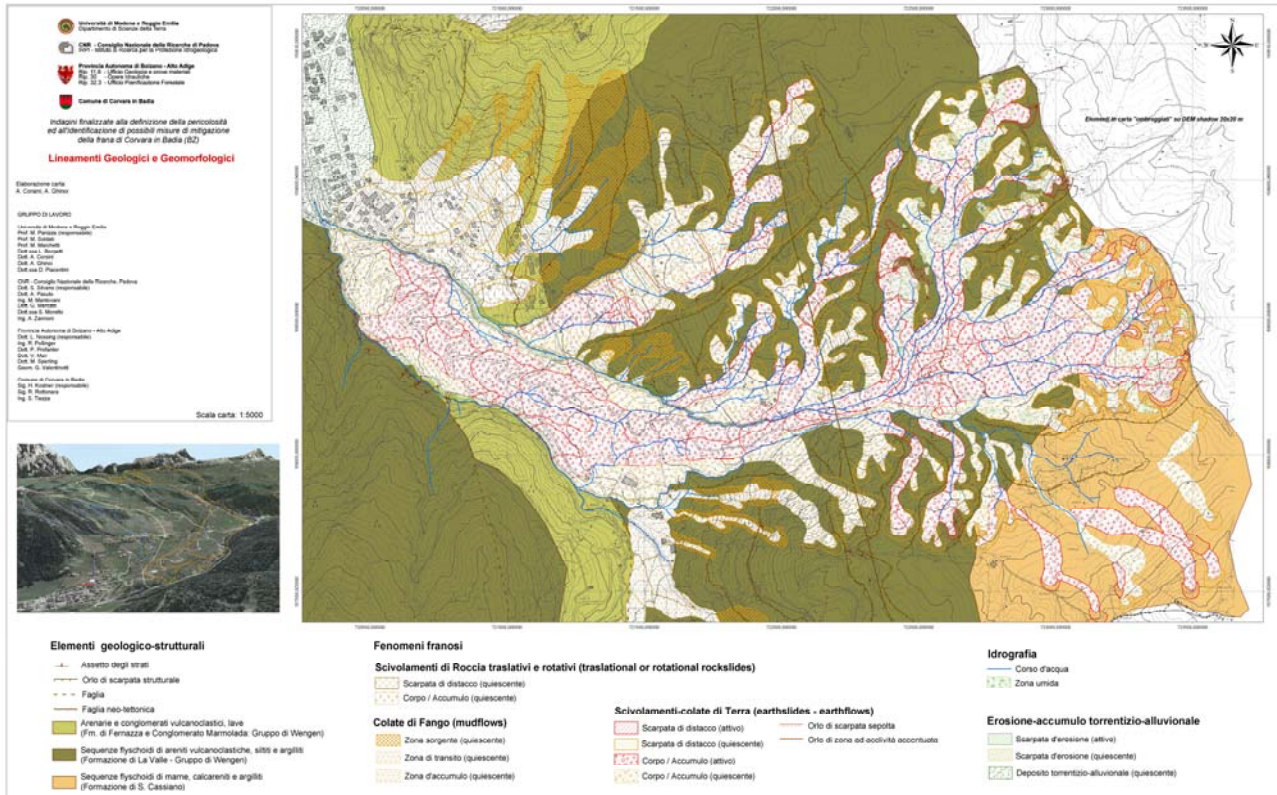


CONTENUTI :

Capitolo (corrispondente ad elaborato cartografico)	pg.
1 Lineamenti geologici e geomorfologici	3
2 Elementi a rischio e uso del suolo, vulnerabilità, danni e opere di mitigazione esistenti	15
3 Sondaggi geognostici a carotaggio: dati stratigrafici e cronologici	18
4 Indagini geofisiche: resistività DC e sismica a rifrazione	25
5 Caratteristiche geotecniche e geomeccaniche	34
6 Monitoraggio: afflussi-deflussi e geochimica delle acque sotterranee e di superficie	41
7 Monitoraggio: strumentazione in foro	52
8 Monitoraggio: GPS differenziale	64
9 Monitoraggio: interferometria differenziale SAR (dati J-ERS)	69
10 Bilancio di massa del corpo di frana	72
11 Fattori della pericolosità e pericolosità complessiva	75
12 Verifiche di stabilità e scenari d'evoluzione	80
13 Proposta misure di mitigazione	88



1. Lineamenti geologici e geomorfologici



1.1. Obiettivi

- fornire un quadro conoscitivo circa gli aspetti geologici, strutturali e geomorfologici del versante, con particolare attenzione agli elementi connessi ai fenomeni franosi
- definire tipologia e stato d'attività dei fenomeni franosi, ed un'interpretazione dei rapporti spaziali tra i principali corpi di frana.

1.2. Soggetti coinvolti

I rilievi di carattere geologico-geomorfologico sono stati condotti da Unimo e IRPI-CNR.

1.3. Campagne di rilevamento

Iniziati nel 1997 nell'ambito di progetti precedenti, sono proseguiti per tutta la durata della convenzione.



1.4. Gestione ed elaborazione dati

I rilievi di campagna sono stati informatizzati in ambiente Arc-GIS. In particolare sono stati realizzati layer informativi disaggregati relativi agli aspetti geologici (sia elementi areali che lineari) e di dinamica dei versanti. Relativamente a questi ultimi, va sottolineata la disaggregazione su layer separati dei diversi elementi areali e lineari riconducibili a tipologie di frana diverse, in modo da consentire la rappresentazione nel DB cartografico di fenomeni sovrapposti spazialmente, ovvero coesistenti su una medesima area, e la distinzione fondamentale tra forme dove prevalgono processi di erosione (aree di scarpata, bacini d'alimentazione) e di trasporto o accumulo. La rappresentazione di sintesi finale riprodotta nella tavola cartografica sintetizza tali informazioni rappresentando il fenomeno temporalmente più recente e quindi spazialmente sovrastante. Per la limitata capacità del GIS di gestire simbologie complesse ed orientate, le campiture adottate differiscono dagli standard per carte geomorfologiche.

1.5. Risultati

1.5.1. *Lineamenti geologici*

Formazioni affioranti e assetto strutturale

- Formazione del Fernazza (Ladinico superiore. Potenza: ca. 0-150 m)

E' composta, nell'area di studio, da ialoclastiti grossolane con stratificazione in banchi metrici. La formazione è stata definita come «Ialoclastiti del Monte Fernazza» da Viel (1979) e successivamente rinominata da De Zanche e Gianolla (1995). Appartiene al Gruppo di Wengen (Viel, 1979). Nel foglio geologico CARG 1:50.000 del 1977 è attribuita alla Fm. di Wengen, non distinta dalla Fm. di La Valle. Affiora estesamente tra Arlara e il Col Alto.

- Formazione di La Valle (Ladinico sup. - Carnico inf. Potenza: ca. 0-250 m)

E' costituita da un'alternanza di arenarie poligeniche a carattere torbiditico di colore bruno scuro, spesso a frazione vulcanoclastica prevalente, e di strati argilloso-marnosi nerastri. Nella parte bassa, questi ultimi risultano fortemente ridotti, la formazione può presentarsi mal stratificata e risulta difficilmente distinguibile con la Formazione del Fernazza. Verso l'alto le torbiditi terrigene diventano più fini, intercalandosi, a volte, con calcareniti più o meno marnose. Tali livelli ibridi, presenti anche nell'area di studio a Braida Fraida (Pre Ciablun) e Punta Trieste (tra Col Alto e Pralongià), mostrano cambiamenti laterali di facies e contatti sfumati che ne complicano l'inquadramento stratigrafico. Appartiene anch'essa al Gruppo di Wengen (Viel, 1979). Localmente, nella scarpata sottostante a Braida Fraida (Pre Ciablun), sono anche presenti filoni-strato di spessore metrico ed estensione laterale di decine di metri,



la cui età e chimismo sono attualmente oggetto di approfondimento di indagine, ma che nella cartografia geologica ufficiale sono riferiti al triassico medio con chimismo latit-andesitico.

Affiora nelle scarpate strutturali e di degradazione da frana nella fascia tra Arlara e l'allineamento Bioch – Punta Trieste

- Formazione di S. Cassiano (Ladinico superiore - Carnico inferiore. Potenza: ca. 0-200 m)

E' costituita da argilliti di colore scuro fittamente stratificate intercalate a livelli di calcareniti bioclastiche e oolitiche (Neri et al, 1995). In alcuni casi, verso l'alto, possono rinvenirsi calcari neritici scarsamente dolomitizzati che rappresentano, probabilmente, i membri basali della Formazione di Dürrenstein. Affiora nelle scarpate di frana nella fascia tra l'allineamento Bioch – Punta Trieste e Pralongià.

Assetto giaciturale

L'assetto delle formazioni lungo il versante Col Alto –Pralongià è quello di un reggipoggio-traversopoggio. Infatti, rispetto un'esposizione del versante verso W, la direzione di immersione degli strati è generalmente verso SE (compresa tra N 110 e N 130). Il versante rappresenta difatti il fianco meridionale dell'anticlinale di Col Alto – Piz La Villa. Questa è una struttura compressiva a prevalente vergenza dinarica, riferibile alla fase terziaria Mesoalpina o Neoalpina precoce del Cattiano - Miocene inferiore, ribaltata e collassata sul versante settentrionale del Col Alto – Piz la Villa anche, forse, per l'interazione con strutture più antiche quali, nella fattispecie, la cosiddetta "dorsale badioto-gardenese", una faglia N-S originariamente distensiva che interessò nel Permiano superiore l'Alta Val Badia portando, a luoghi, alla completa erosione della Formazione di Werfen ad ovest dell'attuale corso del Rio Gadera.

Tettonica e neotettonica

La cartografia geologica ufficiale (F° 1:50.000 La Marmolada, del 1977) non riporta faglie di rilievo nel versante in esame. I rilievi di terreno hanno però evidenziato la presenza di alcune dislocazioni tettoniche.

Una limitata zona di faglia, è stata osservata durante lo scavo dell'invaso idroelettrico Planac. Tale faglia appare avere direzione circa NNE-SSW ed un carattere prevalentemente trascorrente (sono state notate strie). Presumibilmente, tale faglia prosegue verso N, rimanendo sepolta sotto l'accumulo della frana di Corvara. Sul terreno, non sono presenti affioramenti della stessa che possano permettere di estenderla fino al Col Alto.

Il più importante lineamento tettonico nel versante è però costituito da una faglia neotettonica, probabilmente trascorrente destra, che si sviluppa con direzione NNW-SSE, già segnalata da



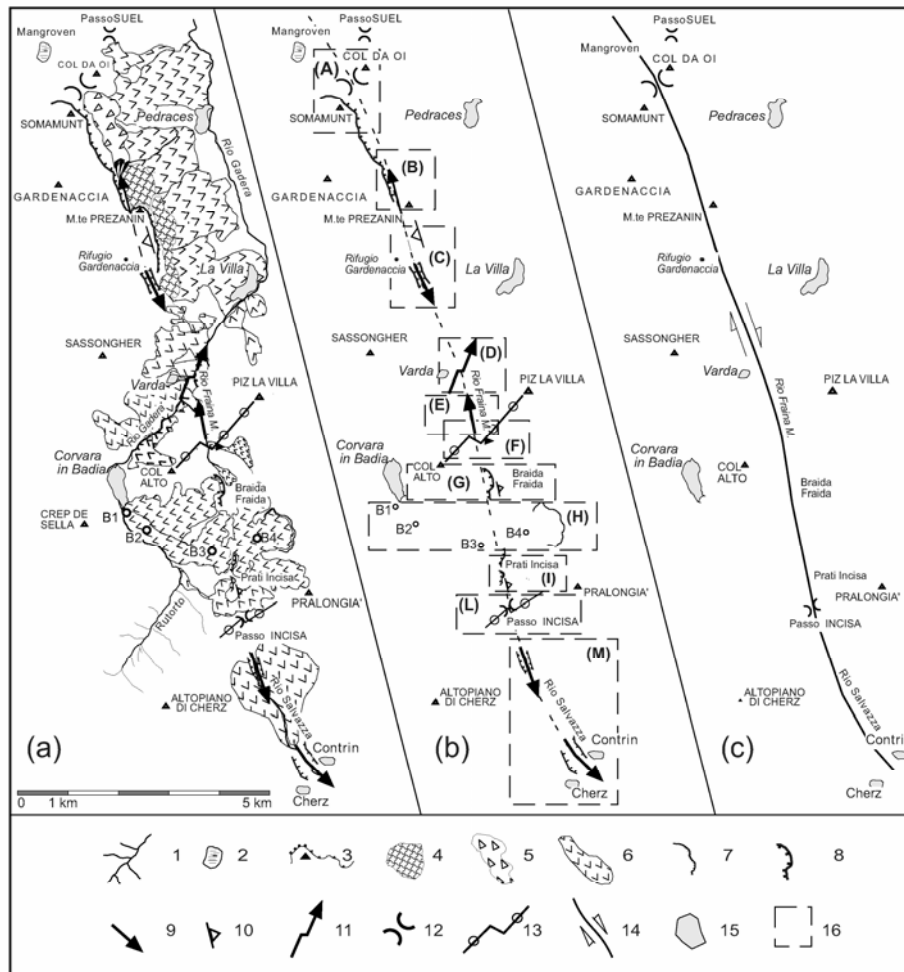
Panizza et al (1978). Tale faglia ha un'estensione più ampia, interessando, da nord verso sud, il Puez-Gardenaccia, il versante Col Alto - Pralongià e il rilievo di Cherz.

Nel versante Col Alto - Pralongià tale faglia corrisponde praticamente con l'allineamento Rio Fraina Maradagna, scarpata subverticale di Braida Fraida (Pre Ciablun), Passo Incisa. Essa ha avuto, lungo tutta la sua estensione, importanti conseguenze geomorfologiche sia dirette, quale la formazione di numerosi piani e scarpate di faglia, sia indirette, quali i numerosi, vari, profondi ed estesi fenomeni di frana.

Più in dettaglio, le evidenze della faglia nel versante Col Alto - Pralongià sono:

- Nei pressi del pianoro di Braida Fraida (Pre Ciablun) (zona G) l'evidenza geomorfologica della dislocazione tettonica è data da una netta scarpata di frana, alta oltre 30 metri e ad andamento subrettilineo. Pur non rinvenendosi evidenze geologiche della faglia, è probabile che tale scarpata sia in realtà una scarpata di faglia successivamente arretrata a causa dai vasti fenomeni di dissesto che si sviluppano verso ovest da Braida Fraida (Pre Ciablun) a Corvara in Badia. Essa risulta collegabile a un movimento tettonico orizzontale.

- Tra Braida Fraida (Pre Ciablun) e Prati Incisa (zona H) la scarpata principale della frana di Corvara corrisponde attualmente al crinale del Pralongià, posto circa un chilometro più ad est della suddetta scarpata di Braida Fraida (Pre Ciablun). In effetti le datazioni effettuate col radiocarbonio su campioni di legno, rinvenuti a varie profondità entro il corpo nella frana (vedi § 3), è possibile asserire che la scarpata originaria di questa frana fosse allineata con l'attuale scarpata di Braida Fraida (Pre Ciablun) e che pertanto potesse corrispondere anch'essa alla scarpata di faglia, connessa a un movimento tettonico orizzontale. In effetti, le datazioni ottenute da campioni di legno, rinvenuti a varie profondità in sondaggi eseguiti a valle della linea di faglia, evidenziano la sovrapposizione di corpi di frana databili da circa 10.000 anni di età fino ad oggi. Al contrario, a monte della linea di faglia si hanno solamente corpi di frana più recenti di un età radiocarbonio di circa 2300 anni fa. Questo indica che ad un primo evento di frana "ante" 10.000 anni fa, ne sono seguiti altri che hanno successivamente sepolto verso W e NW quelli più antichi e fatto retrocedere verso est, di circa un chilometro e fino al crinale, l'originale scarpata di distacco corrispondente alla scarpata di faglia.



a) Carta geomorfologica schematica dell'area circostante il lineamento studiato; b) Schema degli indizi morfoneotettonici rilevati; c) Carta schematica di sintesi neotettonica.

Legenda: 1) corsi d'acqua; 2) area paludosa; 3) scarpata litostrutturale e cima; 4) ammasso roccioso fortemente fratturato per distacco in massa; 5) detrito per crollo e ribaltamento; 6) frana per scivolamento e/o colata; 7) scarpata di frana; 8) scarpata di faglia degradata; 9) marcata incisione; 10) contropendenza; 11) doppio gomito torrentizio; 12) insellatura; 13) dislocazione planare di crinale; 14) faglia trascorrente destrorsa; 15) centro abitato; 16) zona descritta nel testo.

Nella zona dei Prati Incisa (zona I) la maggiore evidenza geomorfologica della dislocazione tettonica è data dalla presenza di una scarpata di frana alta oltre 20 metri che, analogamente a quanto visto nella zona di Braida Fraida (Pre Ciablun), risulta a tratti alquanto netta e rettilinea. E' inoltre significativa, quale evidenza geomorfologica della linea di faglia, la contropendenza che si rinviene verso il margine occidentale del pianoro dei Prati Incisa. Evidenze geologiche della faglia si rinvengono in alcuni dei limitati affioramenti della Formazione di La Valle lungo la scarpata di frana suddetta: alcuni di questi sono infatti



attraversati da una netta e persistente frattura diretta N10W e allineata con la scarpata di Braida Fraida (Pre Ciablun), che risulta riempita da una patina striata dello spessore di circa un centimetro costituita di calcite secondaria. Analogamente a quanto riferito per la zona di Braida Fraida (Pre Ciablun), anche in questo caso l'attuale scarpata di frana è interpretabile come scarpata di faglia legata a un movimento orizzontale e parzialmente degradata per fenomeni gravitativi.

1.5.2. Lineamenti geomorfologici

Il versante in oggetto presenta un assetto geomorfologico condizionato dall'assetto strutturale che ha influenzato il modellamento nel corso dell'Olocene ad opera di estesi fenomeni franosi aventi stile d'attività complesso.

Le forme strutturali sono rappresentate da scarpate rimodellate da processi gravitativi di frana. La principale di queste è quella che delimita ad W il pianoro di Braida Fraida (Pre Ciablun). Essa deriva dall'arretramento per frana di una scarpata strettamente collegata al passaggio della faglia neotettonica precedentemente citata.

Le scarpate strutturali ad andamento subrettilineo che delimitano il dosso del Freines, del Bioch e di Punta Trieste, avendo una direzione NE-SW, ovvero ca. 120° rispetto la direzione della faglia in oggetto, possono essere interpretate come l'espressione morfologica di faglie secondarie coniugate alla faglia neotettonica.

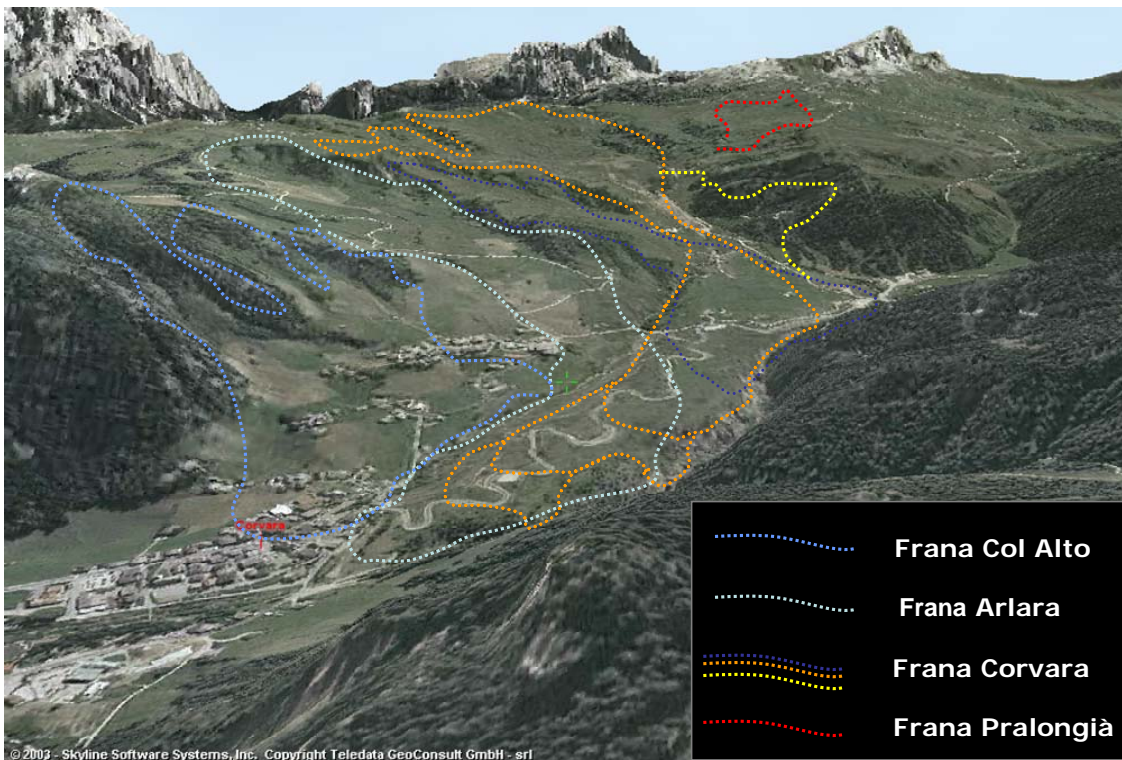
Depositi di origine glaciale, rappresentati da ciottoli dolomitici e poligenici – tra cui filladi - immersi in matrice limo-argillosa, costituenti il *till* di fondo della copertura Pleniglaciale Wurmiana, si rinvencono su tutto il pianoro di Braida Fraida (Pre Ciablun), nella zona di crinale tra cima Bioch ed il Pralongià, e nell'altopiano del Pralongià stesso. Lo spessore di questa copertura è generalmente limitato (< 1-2 m), ma al Pralongià è localmente più elevato (qualche metro). Visti gli scopi dello studio, e la scarsa potenza, non sono rappresentati nella carta allegata.

Forme e depositi torrentizi-alluvionali sono rinvenibili lungo il Rio Chiesa e, principalmente, lungo il Rutorto. Si tratta essenzialmente di scarpate di erosione impostate prevalentemente in materiali di frana e, localmente, in roccia in posto (fianco sx del Rutorto). Per un tratto di circa 200 m, posto all'altezza della porzione mediana di Costes da l'Ega, il Rutorto scorre incassato in un alveo epigenico la cui origine è da ricondursi anche a fenomeni di deviazione del corso d'acqua ad opera dell'accumulo della frana di Corvara. I depositi alluvionali, ghiaie e blocchi poligenici mediamente arrotondati, sono più abbondanti lungo il Rutorto che nel rio Chiesa, dove si rinvencono invece prevalentemente materiali di frana che hanno subito un limitato trasporto torrentizio. Depositi alluvionali terrazzati si rinvencono nella piana di Corvara e sono



legati ad un antico corso a canali intrecciati del Rutorto, ancora visibile in foto aeree del primo dopoguerra. Nelle zone umide presenti sui corpi di frana, sono inoltre presenti spessori abbastanza limitati di materiali pseudo-palustri torbosi.

Le forme, ed i relativi depositi, legati alla gravità, sono riconducibili ai diversi fenomeni franosi che interessano il versante. In particolare, possono essere distinte 4 principali frane, informalmente denominate di Col Alto, di Arlara, di Corvara, di Pralongià.

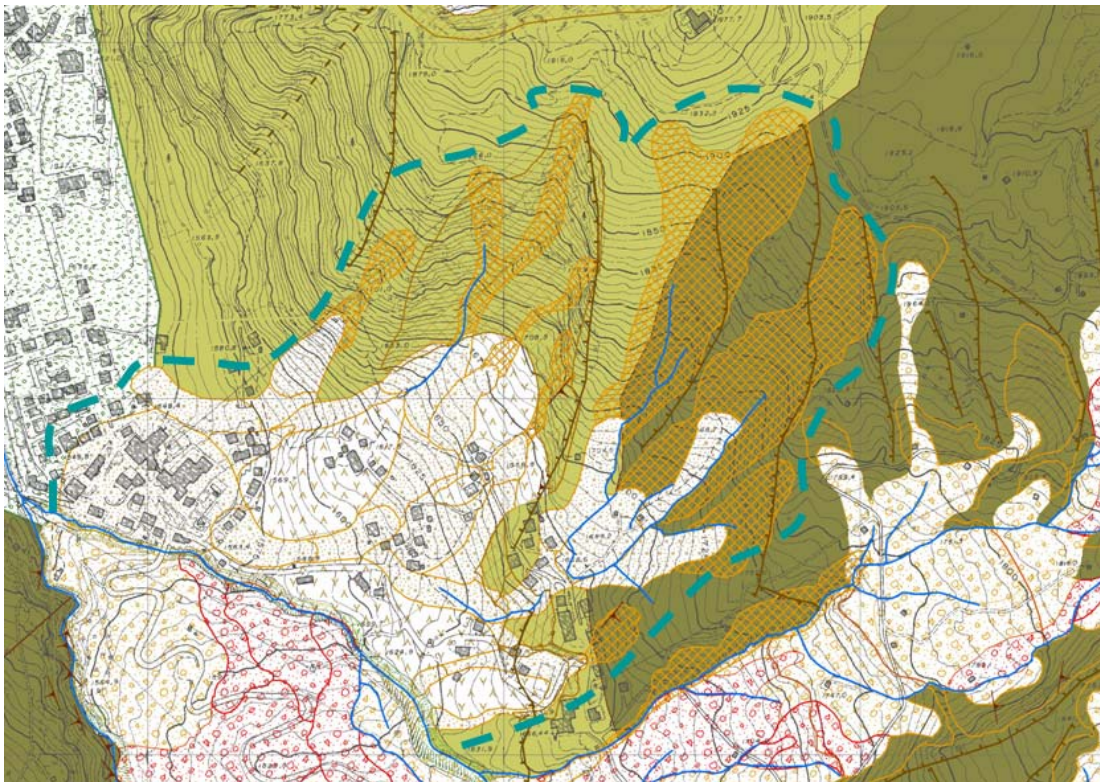


Relativamente alle frane, è stata utilizzata la seguente legenda.

Fenomeni franosi		Idrografia
Scivolamenti di Roccia traslativi e rotativi (traslational or rotational rockslides) Scarpata di distacco (quiescente) Corpo / Accumulo (quiescente)		Corso d'acqua Zona umida
Colate di Fango (mudflows) Zona sorgente (quiescente) Zona di transito (quiescente) Zona d'accumulo (quiescente)		Erosione-accumulo torrentizio-alluvionale Scarpata d'erosione (attivo) Scarpata d'erosione (quiescente) Deposito torrentizio-alluvionale (quiescente)
Scivolamenti-colate di Terra (earthslides - earthflows) Scarpata di distacco (attivo) Scarpata di distacco (quiescente) Corpo / Accumulo (attivo) Corpo / Accumulo (quiescente)		Orlo di scarpata sepolta Orlo di zona ad acclività accentuata



FRANA "COL ALTO"

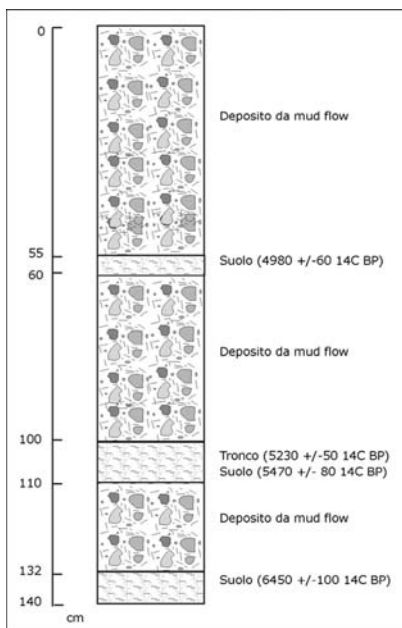


La frana Col Alto è un fenomeno composto costituito da diverse tipologie di frana sovrapposte spazialmente. In particolare, si individuano:

- due corpi di frana "basali", riferibili ad antichi scivolamenti roto-traslazionali di roccia che hanno coinvolto le ialoclastiti della Fm. di Fernazza. Si ritiene che questi fenomeni si siano sviluppati a partire da scarpate di origine strutturale. In assenza di carotaggi specifici, è possibile presupporre che questi accumuli siano costituiti da ampi lembi di substrato roccioso scivolati e materiale detritico limo-argilloso. Un primo corpo, su cui sono site le frazioni di Piazza e Suez, si è distaccato dalle pendici del Col Alto, nel quale è ben evidente l'area sorgente marcatamente concava, con evoluzione avvenuta per eventi a carattere parossistico. Un secondo corpo si trova invece a valle di Arlara, e si interpreta che si sia staccato dalla scarpata sottostante l'Hotel Panorama, e abbia subito nel complesso una traslazione molto ridotta. Sulla base delle evidenze geomorfologiche entrambi questi accumuli possono essere ritenuti quiescenti, con bassissima probabilità di riattivazione;
- una serie di corpi di frana più superficiali sono riferibili a colate di fango (e detrito), che trovano i loro bacini di alimentazione nei vari impluvi presenti nel versante. Queste frane si sono innescate in passato rimobilizzando le coperture detritiche deposte lungo il versante, sono poi transitate nelle zone di concavità topografica e sono andate a deporsi verso valle dando



origine ad accumuli polifasici (ovvero costituiti da più corpi sovrapposti separati da suoli anche ben sviluppati) dalla forma di pseudo-conoidi. L'accumulo più esteso è quello su cui sorge il nucleo storico di Corvara. In particolare, il recente scavo per l'allargamento dell'Hotel Posta, ha permesso di osservare, fino alla profondità di circa 1,5 m dal piano campagna, una serie di eventi di colata intervallati a periodi con formazione di suoli.

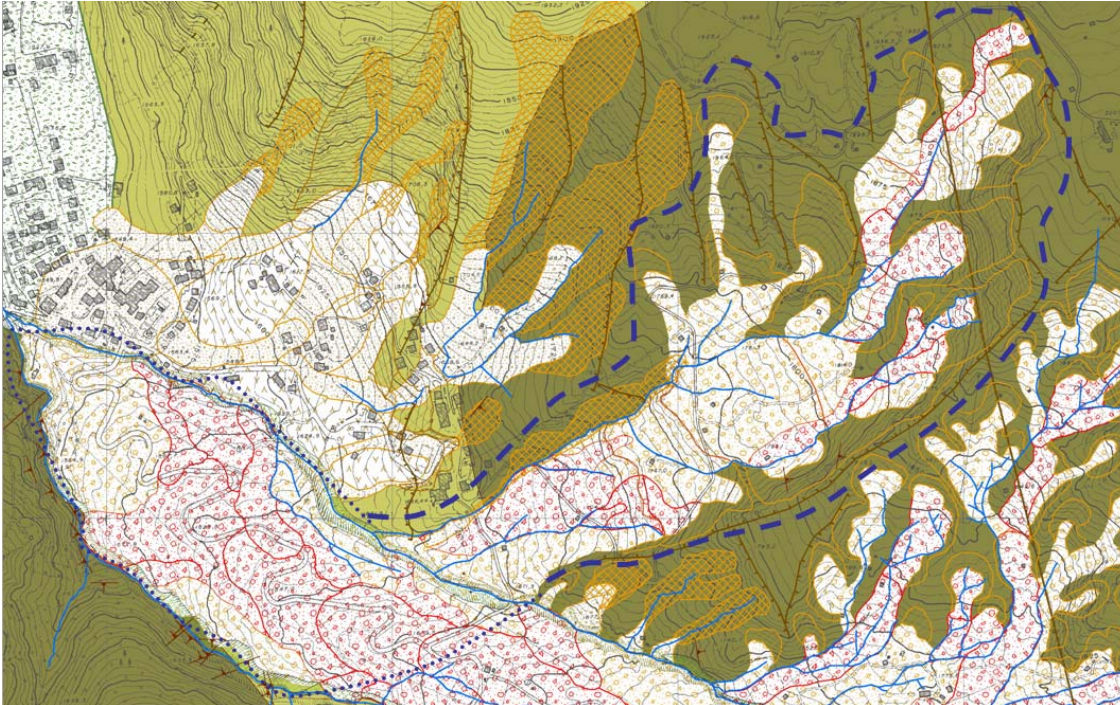


Sezione scavo Hotel Posta

Il suolo più antico, datato circa 7000-7500 cal BP (= 6450 14C BP) da un campione di sostanza organica è ricoperto da un deposito di colata, che è a sua volta sovrastato da un secondo suolo che ha un'età di circa 6000 cal BP (= 5420 14C BP), confermata anche da un reperto arboreo che ha fornito un'età compatibile. L'evento di frana è quindi compreso tra un'età di 7500 e 6000 BP. Questi ultimi sono di nuovo coperti da un deposito di colata e da un suolo datato 5900-5600 cal BP (= 4980 14C BP). Questo evento di frana è quindi riferibile a 6000-5600 BP. La sequenza infine si chiude con un nuovo fenomeno di colata. Oltre a queste date, un ulteriore evento di colata è stato datato nelle vicinanze a circa 2500 cal BP. Fenomeni di questo tipo, seppur di magnitudo abbastanza limitata, sono stati segnalati in concomitanza degli eventi meteorologici estremi (pioggia su neve) del novembre 1966.



FRANA "ARLARA"



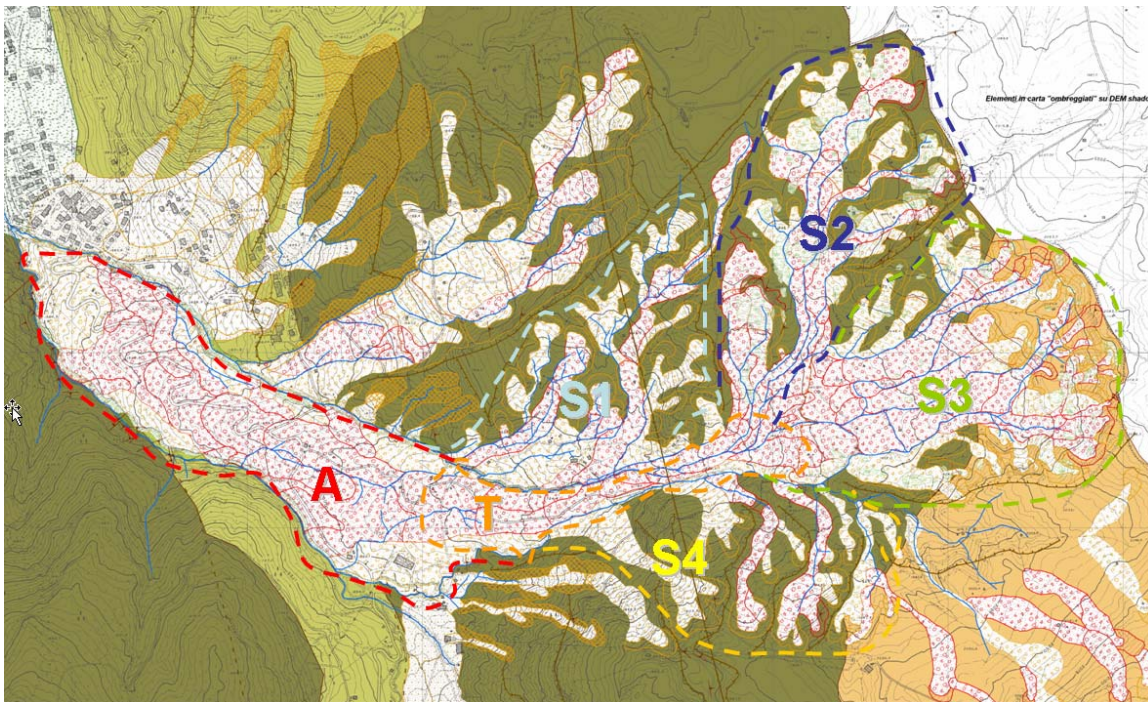
La frana Arlara è costituita essenzialmente da un ampio fenomeno di stile complesso classificabile come scivolamento-colata di terra, che interessa la Fm. di La Valle. La scarpata principale è quella di Braida-Fraida (Pre Ciablun), è delimitata a S dalla cresta Freines ed a N dal Col Alto (dove si trovano zone di alimentazione secondarie). Il fenomeno ha avuto il suo maggiore sviluppo ad inizio Olocene (si sono ottenute età di circa 7700-8000 anni BP da due tronchi sepolti ad una profondità di 3,5 e 2 m nel corpo di frana). La distribuzione d'attività fu, presumibilmente, retrogressiva al coronamento ed in avanzamento nel corpo e nella zona di piede. Si ritiene che il piede della frana, in particolare, si estenda anche oltre il corso del Rio Chiesa (che a causa del successivo sviluppo della frana di Corvara è andato ad incidere trasversalmente il corpo della frana Arlara) e si trovi quindi in larga parte sepolto sotto i depositi della frana di Corvara e affiori localmente nel margine inferiore sx ad alla terminazione inferiore del Costes da L'Ega (vedi § 3).

Lo spessore dei materiali di frana è noto solo nella parte prossima al Rio Chiesa (c.a 60 m), dove è stato eseguito il carotaggio C6 (vedi § 3). E' presumibile, sulla base della morfologia della frana, che questo si assottigli notevolmente (una decina di metri) verso monte in corrispondenza del ripiano morfologico posto a quota 1770 m circa. A monte di tale zona lo spessore è presumibilmente maggiore di qualche decina di metri. Attualmente, tali fenomeni sono per lo più quiescenti, anche se taluni risultano attivi, soprattutto in corrispondenza di aree alimentate dalla retrogressione della scarpata principale, ed a valle del ripiano suddetto.



Maggiori dettagli sullo stato d'attività, e l'attuale tasso di movimento, sono riportati nei successivi capitoli dedicati al monitoraggio.

FRANA "CORVARA"



La frana Corvara è costituita essenzialmente da un ampio fenomeno di stile complesso classificabile come scivolamento-colata di terra. Si sviluppa in larga parte coinvolgendo la Fm. di La Valle e, in minor parte, la Fm. di S. Cassiano. E' l'oggetto centrale di tutti gli approfondimenti d'indagine eseguiti e presentati nei successivi capitoli, a cui si rimanda per dettagli circa le valutazioni qui di seguito anticipate.

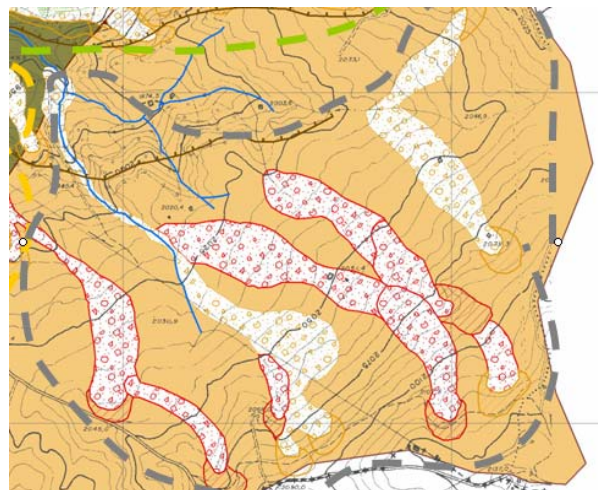
Dal punto di vista morfologico, si compone di ben distinti settori di alimentazione, trasporto ed accumulo. L'area sorgente, a morfologia concava complessa, è delimitata superiormente da una scarpata principale, in prevalenza subverticale, di altezza anche superiore ai 25 m. L'area sorgente può essere suddivisa in quattro settori morfologici principali: S1, S2, S3 e S4. Tali settori risultano separati gli uni dagli altri da creste costituite da ammassi rocciosi dislocati od in giacitura primaria. La testata della frana nei settori S1, S2, e specialmente S3, è rappresentata da superfici subpianeggianti o in contropendenza, seguite da nette scarpate secondarie alte fino ad oltre 20 m. Nelle zone interne sottostanti, i settori sorgente sono ricoperti da coltri di materiale argilloso, spesse fino a 40-50 m, soggette a scivolamenti traslazionali e colate. In S1 e S4 la maggior parte di tali fenomeni risulta attualmente quiescente. Al contrario, in S2 e S3 la maggior parte di essi risulta attiva lungo superfici di



scorrimento multiple, site fino a 30 m in profondità. La zona di trasporto (T) è larga all'incirca 300 m ed è costituita da una coltre di materiale argilloso spessa circa 40 m. Tale coltre è soggetta a continuo movimento traslativo su superfici multiple profonde fino a 20-30 m ed è tuttora alimentata da colate attive più superficiali, che giungono principalmente dai settori sorgente S2 e S3. Queste colate sono avanzate in modo consistente negli ultimi anni (fino a 10 m/anno, come nel 1997-1998). Il lobo di accumulo (A) si immette nella valle del Rutorto all'altezza del km 36 della SS.244 (1720 m circa) e si estende per un tratto di circa 1,5 km, fino a quota 1540 m circa). Questo settore della frana è costituito da una mistura di materiale limo-argilloso, ghiaie, blocchi ed ampi lembi di roccia che in alcuni casi hanno preservato l'originaria stratificazione. Entrambi i fianchi dell'accumulo sono caratterizzati da scarpate secondarie, spesso attive, legate a fenomeni di scivolamento innescati dallo scalzamento operato dai corsi d'acqua Rio Chiesa e Rutorto e dal generale movimento verso valle dell'accumulo. Tale movimento è evidenziato dalle fratture e dalle ondulatione a raggio di decine e centinaia di metri che caratterizzano la superficie dell'accumulo, dai vettori spostamento di taluni manufatti e, come si vedrà in seguito, dalle misure inclinometriche effettuate. Nonostante ciò, il piede della frana, che si pone a ridosso dell'abitato di Corvara, non è in fase di avanzamento. Questo è presumibilmente imputabile al fatto che l'unghia della frana è in realtà costituita dall' antico accumulo della frana di Arlara.

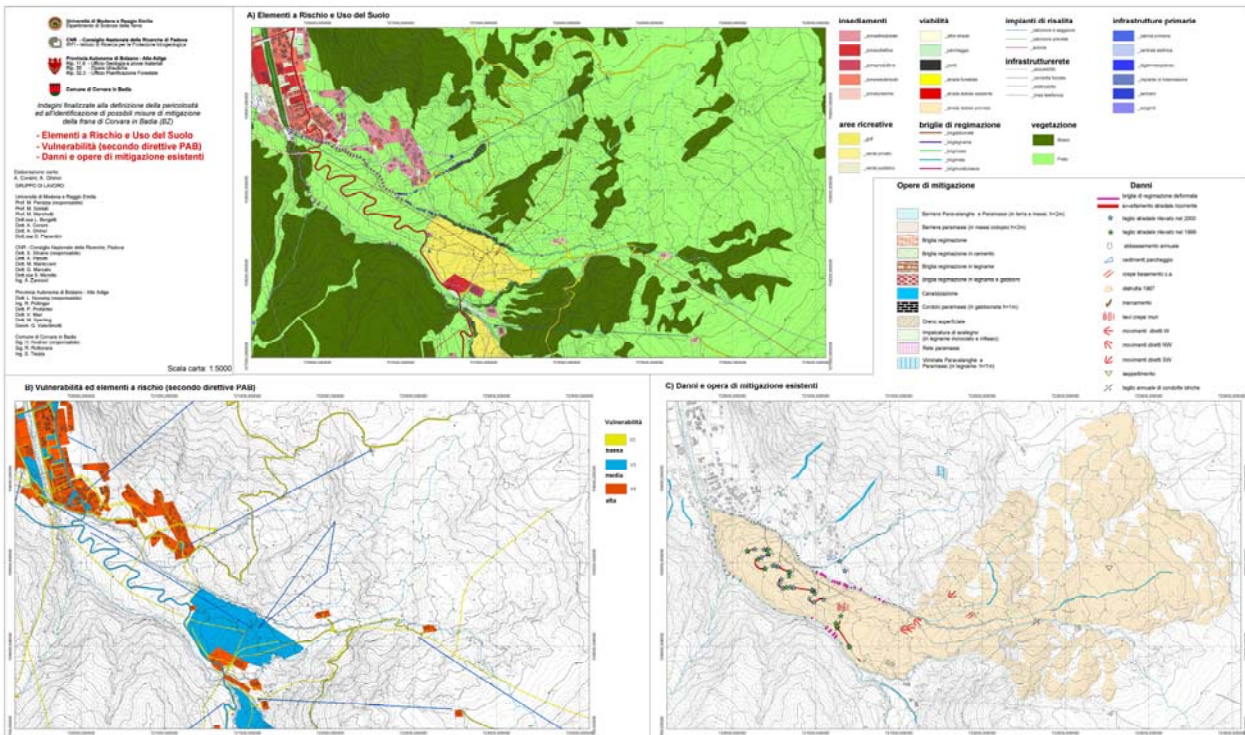
FRANA "PRALONGIA"

Si tratta fondamentalmente di un sistema di diffusi fenomeni di geliflusso che coinvolgono i materiali morenici (Till) che ricoprono l'altopiano del Pralongià. Questi fenomeni danno localmente luogo a veri e propri lobi di materiale soggetto a lenti movimenti di scivolamento lungo superfici di scorrimento poste a profondità presumibilmente alquanto limitata (< 5m). Alcuni di questi lobi paiono attivi, ed hanno difatti in alcuni casi danneggiato negli anni passati le condotte interrate per l'innevamento programmato.





2. Elementi a rischio e uso del suolo, vulnerabilità, danni e opere di mitigazione esistenti



2.1. Obiettivi

Fornire un quadro di sintesi della rilevanza socio economica della frana di Corvara e degli altri dissesti nel versante, in termini di elementi esposti a rischio (e dell'uso di suolo), della loro vulnerabilità (intesa nel senso dato dalla PAB, ovvero come importanza sociale del bene esposto), dei danni rilevabili sul terreno a carico di strutture antropiche, degli interventi di mitigazione, perlopiù localizzati, eseguiti negli ultimi decenni sul versante.

2.2. Soggetti coinvolti

Unimo si è curata dei rilievi e della raccolta di materiale disponibile presso il Comune e presso società private. PAB ha fornito lo schema dei livelli di vulnerabilità da associare a ciascuna categoria di elementi a rischio.



2.3. Campagne di rilevamento

Il quadro degli elementi a rischio è aggiornato all'ultimo PSC del Comune. Il quadro dei danni e delle opere è stato aggiornato durante la convenzione e fino 2004.

2.4. Gestione ed elaborazione dati

Le informazioni rappresentate negli elaborati cartografici sono archiviate in layer ArcGIS, con relative tabelle di attributi. L'elaborazione dei livelli di vulnerabilità sono state eseguite secondo le indicazioni PAB (Allegato 4 alla bozza di Direttive per la redazione del Piano delle Zone di Pericolo (PZP) e per la Classificazione del Rischio Specifico (CRS), versione Maggio 2004)

2.5. Risultati

Elementi a rischio e uso del suolo

L'analisi della CTP in scala 1:5000, delle ortofoto anno 1996, e la raccolta di materiali già informatizzato nell'ambito della redazione dello studio pilota per il piano del rischio di Corvara, ha portato alla distinzione delle seguenti categorie di elementi a rischio:



Il sistema insediativo si trova concentrato prevalentemente intorno a Corvara e nelle frazioni circostanti (Arlara compresa). Il corpo della frana di Corvara insiste principalmente su zone naturiformi (boschi-prati), e su elementi quali alcuni isolati edifici (capanna Nera, casa "Costes da L'Ega, stallone comunale, uffici del campo da Golf), il campo da Golf e, la SS244, oltre che alcune strade forestali, e zone adibite a piste da sci con annessi impianti di risalita ed infrastrutture rete.



Vulnerabilità

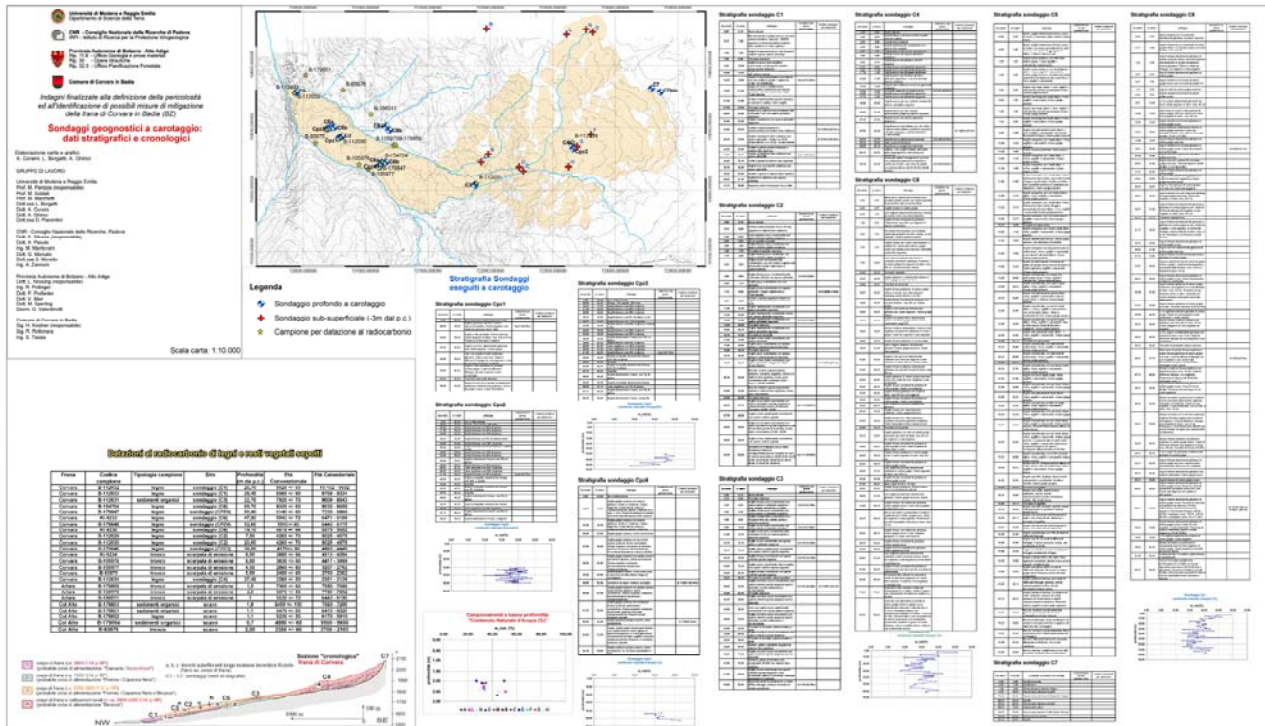
La vulnerabilità di tali elementi a rischio si colloca prevalentemente nella classi Alta e Media. Fanno eccezione le strade forestali, con una vulnerabilità Bassa. In sostanza, oltre ad alcuni edifici isolati ad Alta Vulnerabilità, l'elemento a Media vulnerabilità che pare maggiormente critico è proprio la SS244, che è caratterizzata da una fragilità strutturale e da una importanza economica (che la classificazione di vulnerabilità della PAB non considerano) molto elevate.

Danni e opere di mitigazione

I danni maggiori rilevati sono difatti a carico della SS 244 stessa, che subisce annualmente ripetuti cedimenti più o meno localizzati ed obbliga a costosa manutenzione circa due volte/anno. Risultano danneggiati dai movimenti anche parte degli edifici isolati, in particolare capanna Nera e la casa Costes da L'Ega. Appaiono in buono stato di conservazione la stalla Comunale nei pressi del Golf. Parte del campo da Golf subisce invece talora delle crepacciature. Subiscono altresì delle dislocazioni alcuni piloni delle sciovie presenti sull'accumulo della frana, parzialmente assecondate con fondazioni "a slitta". Danni si registrano inoltre a carico di infrastrutture rete (idraulica e elettrica). Tra le poche opere di mitigazione già esistenti, le più diffuse sono le briglie di regimazione lungo il Rutorto e Rio Chiesa, che hanno essenzialmente la funzione di ridurre l'erosione torrentizia sui fianchi di frana, per evitare scalzamento e conseguenti locali collassi. Talune di queste briglie, specie quelle sul Rutorto e Rio Chiesa poste nel tratto di confluenza della frana nel fondovalle (ovvero all'altezza del Golf), risultano deformate e, in alcuni casi, gravemente danneggiate. Altre opere di mitigazione, che hanno subito danni dal fenomeno, sono il sistema di drenaggio superficiale in legname realizzato nella parte di monte della zona di trasporto (completamente distrutto nel 1997) e altri canali di scolo. Risultano ancora efficienti le opere di sostegno in graticciate di pali di legno realizzate nelle zona di scarpate poco a sud del Bioch.



3. Sondaggi geognostici a carotaggio: dati stratigrafici e cronologici



3.1 Obiettivi

Questa importante fase della ricerca, è stata mirata a:

- definire lo spessore del corpo di frana;
- ricostruire le caratteristiche litologiche e tessiturali del materiale coinvolto;
- raccogliere campioni indisturbati su cui eseguire prove geotecniche di laboratorio;
- raccogliere campioni di materiale vegetale sepolto nel corpo di frana, da datare con metodo del radiocarbonio 14.

3.2. Soggetti coinvolti

I fori di sondaggio profondo sono stati commissionati dall'Ufficio Geologia della PAB alla Landservice s.c.a.r.l di Bolzano, che ha fatto pervenire all'UG-PAB specifici rapporti tecnici di cantiere. La supervisione di cantiere, nonché la descrizione delle carote di sondaggio ed il prelievo di campioni per datazione è stata condotta da Unimo. Il Comune di Corvara ha gestito



le autorizzazioni e fatto manutenzione sui pozzetti. Unimo e IRPI-CNR hanno realizzato autonomamente la campagna di perforazioni sub-superficiali (fino a -3 m /p.c.).

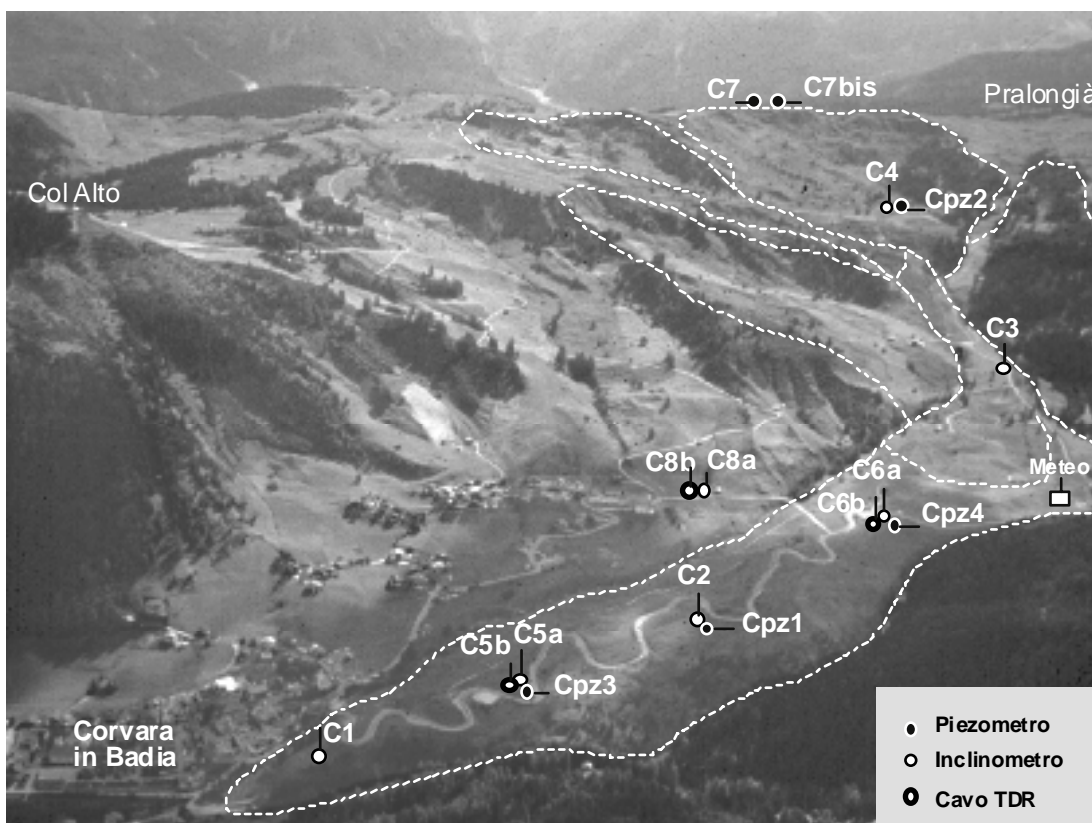
3.3. Campagne di esecuzione sondaggi

I sondaggi C1, C2, C3, C4 sono stati realizzati nel 1997, nell'ambito di precedenti ricerche.

I sondaggi C8(a,b), C6(a,b), Cpz1 sono stati realizzati tra settembre 2000 e metà gennaio 2001.

I sondaggi C5(a,b), Cpz2 e C7 sono stati realizzati tra luglio e fine ottobre 2001.

Il sondaggio C7bis è stato realizzato nel 2004.



Le caratteristiche specifiche della strumentazione installata in ogni foro di sondaggio sono descritte nel § 7.

E' stata poi eseguita nel 1999, nell'ambito di precedenti ricerche, una campagna di perforazioni sub-superficiali con carotatore manuale (punti A-M in carta), spinti fino a -3 m /p.c., alla base dei quali sono stati raccolti materiale per prove geotecniche di laboratorio.



3.4. Gestione ed elaborazione dati

Durante le perforazioni almeno un tecnico del DST-Unimo è stato in cantiere in modo assiduo. In collaborazione con le ditte esecutrici, si è provveduto alla descrizione stratigrafica delle carote (poi ricomprese nei rapporti di cantiere della Landservice), alla misura speditiva, ove possibile, della coesione non drenata con pocket e vane test, alla raccolta di campioni per la determinazione del contenuto naturale d'acqua, alla raccolta di campioni per datazione al radiocarbonio. Si sono inoltre raccolti campioni a disturbo limitato per analisi geotecniche, sia durante le campagne di carotaggio profondo, sia tramite le perforazioni sub-superficiali.

La localizzazione dei sondaggi è in un layer specifico .shp. Ad ogni punto-sondaggio è associata la quota del substrato roccioso. Le stratigrafie di sondaggio sono state sintetizzate in fogli tabulari, collegabili tramite ID al punto-sondaggio del .shp.

3.5. Risultati

La profondità di rinvenimento del substrato roccioso è risultata essere: C1 = 55 m; C2 = 55 m; C3 = 55 m; C4 = 65 m; C5 = 60 m; C6 = 98 m; (Frana Arlara C8 = 60 m). In C1, C2, C5, ovvero nella parte bassa del piede di frana, si tratta di areniti massicce con (ialoclastiti?) presumibilmente riferibili alla Fm Fernazza. Negli altri casi (C6, C3, C4, C8) si tratta invece di alternanze tra areniti vulcanoclastiche e livelli di siltiti-peliti, riferibili alla Fm di La Valle.

Per quanto riguarda le caratteristiche litologiche e tessiturali del materiale di frana si tratta prevalentemente di argille-limose o limi argillosi con inclusi clasti con grado d'arrotondamento molto basso o basso (sub-angolari o mediamente arrotondati), diametri da cm a dm, e litologie prevalentemente vulcano-arenitiche (Fm. La Valle), calcarenitiche (Fm. di S. Cassiano) e, più rare, anche dolomitiche o carbonatiche (queste ultime rappresentative di materiale morenico ripreso in carico dalla frana). Risulta significativa l'osservazione, in più sondaggi, di livelli di "brecciosi" di spessore sub-metrico o metrico, a contenuto clastico prevalente rispetto una matrice fortemente ridotta per dilavamento ed avente un contenuto naturale d'acqua superiore ai livelli sovra e sottostanti. Come hanno difatti dimostrato le misure inclinometriche, si tratta delle principali superfici di scorrimento del fenomeno. Analogamente significativo, è che si sono riscontrati significativi incrementi della consistenza dei materiali di frana argillosi posti al di sotto di tali livelli "brecciosi" rispetto ai materiali litologicamente analoghi posti al di sopra di tali livelli. Come si è dimostrato tramite datazioni ¹⁴C (vedi di seguito), il diverso grado di consistenza pare strettamente legato alla differente età di messa in posto del materiale di frana.



Nei sondaggi C7 e C7bis, posti al coronamento ed eseguiti per installare piezometri e per la verifica dei rispettivi livelli idrici, a parte i primi metri di copertura morenica, sono stati eseguiti interamente entro roccia in posto, nelle facies di transizione tra Fm di La Valle e Fm di S. Cassiano nei primi 15-18 metri, ed nella Fm di La Valle a profondità superiori, ovvero arenarie nerastre di origine vulcanoclastica di spessore decimetrico fino a metrico, alternate a pacchi da decimetrici a metrici di argilliti sovraconsolidate in strati centimetrici. E' il caso di anticipare, rispetto ai risultati del monitoraggio piezometrico e termometrico eseguito in C7 e C7 bis, di cui si discuterà in § 7, che durante la perforazione di C7, si era evidenziato che, in profondità, si rinvenivano zone (nei tratti da 48-50 m e 66-83 m) in cui prevalevano arenarie vulcanoclastiche (roccia nera "tenera o "dura") che davano luogo a venute d'acqua ben evidenti (confermate anche nel rilievo termometrico realizzato nel 2002, si veda § 7). Il raggiungimento e il drenaggio di questi livelli "produttivi" rappresentava il vero obiettivo del pozzo C7bis. La perforazione del pozzo C7bis ha invece evidenziato argilla con ciottoli fino a 18 m, riferibile a Fm. di S. Cassiano, e poi i seguenti livelli riferibili a Fm. di La Valle: argilla nerastra, solo localmente sovraconsolidata 18-79 m, roccia nera compatta da 79-83 m e poi, nuovamente, argilla nerastra con alcuni strati decimetrici di roccia nera 83- 95 m. L'argilla nerastra rinvenuta per lunghi tratti della perforazione rappresenta, presumibilmente, sia le argilliti che il prodotto dell'alterazione pressoché totale degli strati arenacei vulcanoclastici della Formazione di La Valle. In questo contesto stratigrafico si sono rilevate deboli venute d'acqua a circa 22-25 m, mentre per il resto la perforazione è proseguita in assenza di venute d'acqua significative, anche, purtroppo, nell'orizzonte 79-83 m di roccia compatta.

La raccolta di campioni indisturbati, su cui eseguire prove geotecniche di laboratorio, è stata eseguita sia durante i sondaggi profondi, utilizzando il carotiere doppio in corrispondenza di orizzonti noti come superfici di scorrimento profonde, sia grazie alla campagna di sondaggi sub-superficiali, utilizzando fustelle a parete sottile tipo "shelby" infisse a fondo foro. I risultati delle prove di laboratorio sono riportati in Tav e § 5.

La raccolta e la datazione 14C di materiale vegetale sepolto nel corpo di frana, è avvenuta sia da carote di sondaggio, sia grazie al rinvenimento di tronchi affioranti da scarpate erosive del Rutorto e del Rio Chiesa impostate sull'accumulo di frana. Inoltre la datazione ha riguardato anche altri fenomeni nel versante Col Alto – Pralongià, ovvero Fr. Col Alto e Fr. Arlara (per il cui commento si veda § 1).



Tab. datazioni ottenute per frane nel versante Col Alto – Pralongià

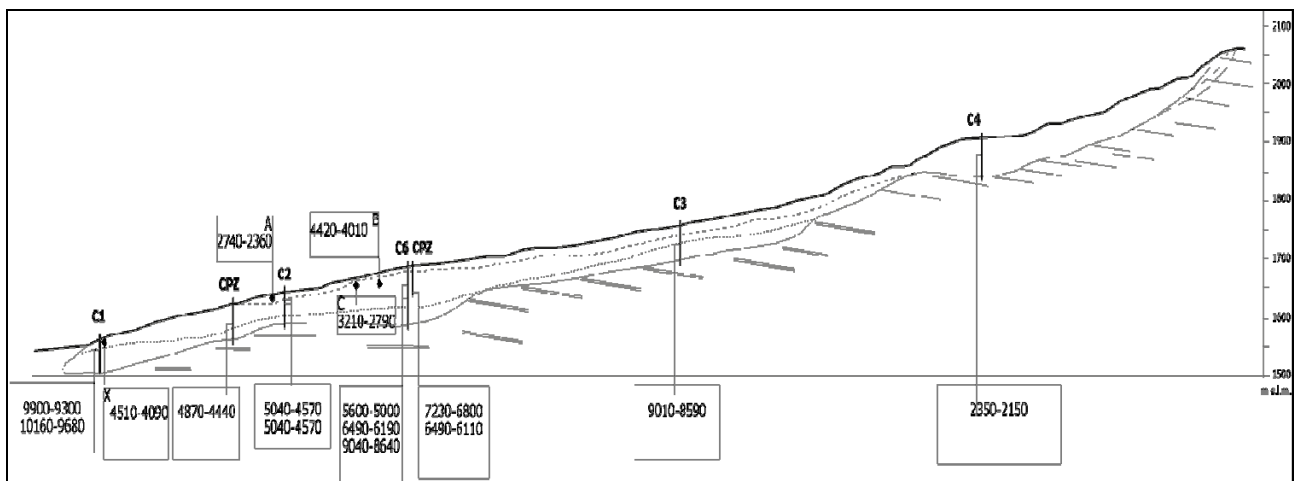
ID	Frana	Tipologia	Codice Campione	Materiale	Sito di campionamento	Prof. m	Età convenzionale (¹⁴ C yr BP)	Età calendariale (2σ) (Cal. yr BP)
12	Corvara_1	rot. rock slide - earth flow	B-112032	legno	sondaggio (C1)	25,70	8820 +/- 50	10.160 - 9680
12	Corvara_2	rot. rock slide - earth flow	B-112033	legno	sondaggio (C1)	26,40	8560 +/- 90	9900 - 9300
12	Corvara_4	rot. rock slide - earth flow	B-112031	sedimenti organici	sondaggio (C3)	22,70	7920 +/- 70	9010 - 8590
12	Corvara_3	rot. rock slide - earth flow	B-154704	legno	sondaggio (C6)	69,70	8020 +/- 60	9040 - 8640
12	Corvara_5	earth flow	B-179847	legno	sondaggio (CPZ4)	50,40	6140 +/- 60	7230 - 6800
12	Corvara_6	earth flow	Ki-9233	legno	sondaggio (C6)	47,50	5543 +/- 72	6490 - 6190
12	Corvara_7	earth flow	B-179848	legno	sondaggio (CPZ4)	52,00	5510 +/- 80	6490 - 6110
12	Corvara_8	earth flow	Ki-9230	legno	sondaggio (C6)	19,10	4616 +/- 64	5600 - 5000
12	Corvara_9_1	earth flow	B-112029	legno	sondaggio (C2)	7,50	4260 +/- 70	5040 - 4570
12	Corvara_9_2	earth flow	B-112030	legno	sondaggio (C2)	20,00	4260 +/- 70	5040 - 4570
12	Corvara_10	earth flow	B-179846	legno	sondaggio (CPZ3)	38,00	4170 +/- 80	4870 - 4440
12	Corvara_11	earth flow	Ki-9234	tronco	scarpata di erosione (X)	8,00	3888 +/- 64	4510 - 4090
12	Corvara_12	earth flow	B-105976	tronco	scarpata di erosione (C)	6,00	3830 +/- 60	4420 - 4010
12	Corvara_13	earth flow	B-105977	tronco	scarpata di erosione (B)	4,50	2860 +/- 60	3210 - 2790
12	Corvara_14	earth flow	B-93975	tronco	scarpata di erosione (A)	5,00	2490 +/- 60	2740 - 2360
12	Corvara_15	earth flow	B-112034	legno	sondaggio (C4)	37,40	2260 +/- 50	2350 - 2150
13	Arlara_1	rot. rock slide - earth flow	B-179850	tronco	scarpata di erosione (L)	1,5	7000 +/- 60	7940 - 7680
13	Arlara_2	rot. rock slide - earth flow	B-105975	tronco	scarpata di erosione (D)	3,5	6870 +/- 50	7800 - 7590
13	Arlara_3	rot. rock slide - earth flow	B-186011	tronco	scarpata di erosione (M)		5530 +/- 70	6470 - 6170
14	Col Alto_1	mud flow	B-179853	sedimenti organici	scavo	1,8	6450 +/- 100	7570 - 7160
14	Col Alto_2	mud flow	B-179851	sedimenti organici	scavo	1,1	5470 +/- 80	6410 - 5990
14	Col Alto_3	mud flow	B-179852	legno	scavo	1,1	5230 +/- 50	6180 - 5900
14	Col Alto_4	mud flow	B-179854	sedimenti organici	scavo	0,7	4980 +/- 60	5900 - 5600
14	Col Alto_5	mud flow	B-93976	tronco	Scavo (E)	2,00	2350 +/- 60	2750 - 2150

Per quanto concerne la frana di Corvara, le età più antiche (ca. 10.000 anni fa) derivano da resti di legno rinvenuti a grande profondità nelle carote di due dei sondaggi realizzati sul corpo di frana (C1 e C3). Come detto in precedenza, è probabile che i dati ottenuti dai campioni raccolti in C1 siano connessi con lo sviluppo della frana di Arlara. L'età di 9009-9334 Cal. yr BP fornita dal campione raccolto in C3 (B-112031), nella attuale zona di trasporto della frana, data invece una iniziale fase di attività della frana di Corvara che, coinvolgendo la zona di Freines, si manifestava tramite imponenti scivolamenti rotazionali del substrato e successivi scivolamenti di terra.

Le età di ca. 4500-5000 anni fa, ottenute nella zona di accumulo della frana di Corvara da due campioni raccolti in C2 (B-112029, B-112030) e dal tronco d'albero "c" (B-105976) prelevato in corrispondenza della scarpata del Rutorto, potrebbero invece riferirsi a scivolamenti/colate di terra che rimobilizzarono il corpo di frana accumulatosi nella fase precedente. L'età di 3251-2129 Cal. yr BP fornita dal campione raccolto nell'area sorgente, a 37 m di profondità in C4 (B-



112034), testimonia invece una seconda fase di significativa retrogressione del coronamento della frana di Corvara, causata sia da scivolamenti rotazionali del substrato sia da scivolamenti/colate di terra. In tale ottica, le età di circa 2500-3000 anni fa ottenute dai campioni "a" e "b" (B-93975, B-105977), sono testimoni di una riattivazione della zona di accumulo della frana dovuta all'ampliamento dell'area sorgente. In particolare, i campioni "a" e "b" derivano da tronchi d'albero, del diametro di circa 50 cm, che affioravano dal corpo di frana in corrispondenza della scarpata del Rutorto. Analisi specifiche su una porzione del tronco da cui deriva il campione "a", rinvenuto in posizione suborizzontale e perpendicolare rispetto alla scarpata, hanno indicato che si tratta di un abete rosso (*Picea abies Karsten*) che cresceva su un suolo poco sviluppato di tipo preforestale (Dibona, comunicazione orale) e quindi, probabilmente, sul corpo della frana.



Sulla base dei dati raccolti è possibile ricostruire, per la frana di Corvara, l'età e l'area di provenienza dei diversi corpi di frana sovrapposti che la costituiscono (fig. 5) (Corsini, 2000).

In particolare, i movimenti più antichi della frana di Corvara, avvenuti tra circa 10.000 e 8000 anni fa, si innescarono a partire da zone poste in corrispondenza della faglia neotettonica citata in precedenza (Panizza & alii, 1978), e cioè dalla zona di Cianacai e di Freines (fig. 3). L'influenza di tale elemento tettonico sullo sviluppo dei fenomeni franosi è giustificato dallo stato di fratturazione degli ammassi che ha favorito l'infiltrazione di acqua in profondità e l'innescamento di fenomeni di scivolamento rotazionale del substrato.

I successivi eventi di frana responsabili della costituzione dell'attuale accumulo della frana di Corvara, risalenti a circa 4000 anni fa, sono invece da collegarsi al progressivo smantellamento della zona di Freines e al primo coinvolgimento, per retrogressione della scarpata, della zona di Bicocca. L'età di circa 2800 anni fa ottenuta da un campione rinvenuto al fondo del sondaggio



C4, nell'area sorgente della frana di Corvara, indica, infatti, come la zona di Bicocca sia stata coinvolta nel fenomeno franoso solo in fasi relativamente recenti. Le età di circa 2500-3000 anni fa ottenute dai campioni "a" e "b" nella zona di accumulo della frana di Corvara, evidenziano inoltre che l'attività nella zona sorgente in tale fase si è ripercossa in modo significativo anche nella zona di accumulo, provocando dissesti tali da precludere la sopravvivenza della copertura boschiva. Si ricorda che significativi fenomeni di dissesto interessarono, circa 2500 anni fa, anche la frana di Col Alto.

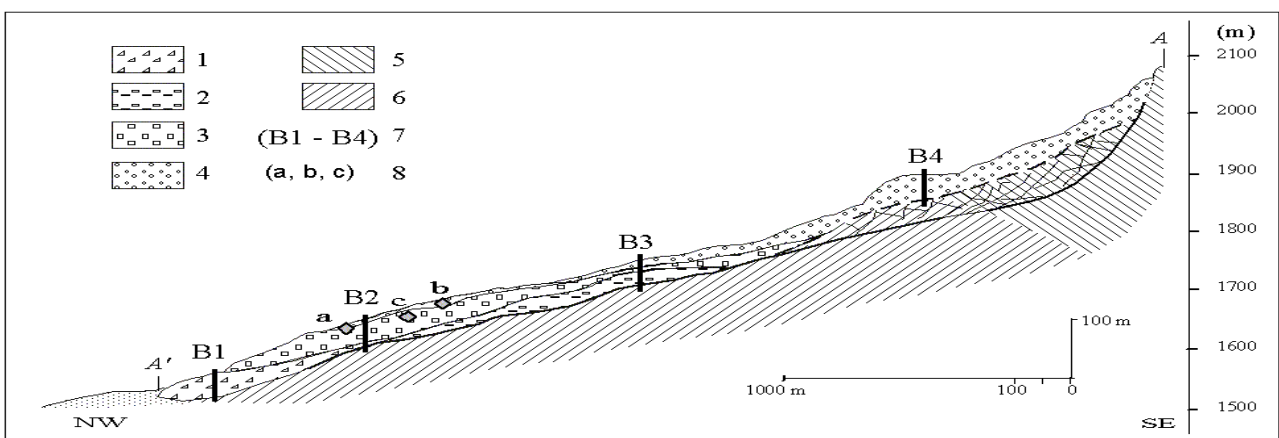
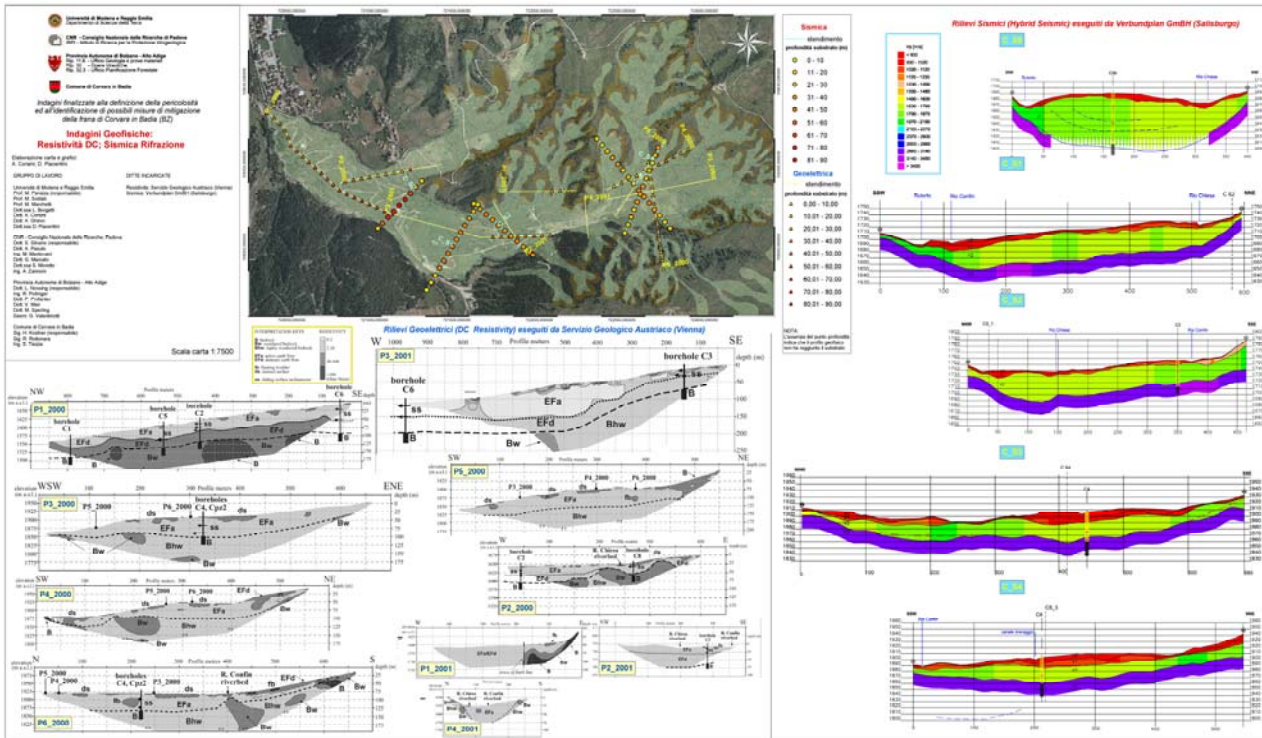


Fig. Sezione cronologica interpretata della frana di Corvara. Legenda: 1) eventi ca. 10.000 Cal. yr BP (provenienza Cianacai: frana di Arlara; cf. fig. 3); 2) eventi ca. 9.000 Cal. yr BP (provenienza Freines; cf. fig. 3); 3) eventi ca. 5000 - 4000 Cal. yr BP (provenienza Freines e Bicocca; cf. fig. 3); 4) eventi ca. 3000 - 2000 Cal. yr BP (provenienza Bicocca; cf. fig. 3); 5) Formazione di La Valle; 6) Formazione di S. Cassiano; 7) sondaggi (cf. fig. 3); 8) tronchi d'albero raccolti in scarpata torrentizia Rutorto



4 Indagini geofisiche: resistività DC e sismica a rifrazione



4.1. Obiettivi

Gli obiettivi principali delle indagini geofisiche sono stati:

- ricostruire profondità e geometria del substrato roccioso al di sotto della frana;
- individuare profondità e geometria delle discontinuità interne al corpo di frana, eventualmente correlabili a superfici di scorrimento note.

Per la geoelettrica, inoltre, obiettivo è stato anche individuare zone a minor resistività correlabili a ricariche idriche dai corsi d'acqua laterali.

Per la sismica, inoltre, obiettivo è stato anche individuare discontinuità "tettoniche" eventualmente presenti in profondità all'interno del substrato roccioso.

4.2 Soggetti coinvolti

Le indagini geofisiche sono state commissionate dall'Ufficio Geologia della PAB. In particolare, l'UG PAB ha affidato la prospezione geoelettrica al Servizio Geologico Austriaco con sede a Vienna, e la prospezione sismica alla Verbundplan di Salisburgo. Entrambi i contraenti hanno fatto pervenire al UG PAB specifici rapporti tecnici sulle indagini eseguite, in cui sono riportati



tutti i dettagli di acquisizione ed elaborazione geofisica. L'individuazione delle linee di prospezione geofisica ritenute più significative, nonché la supervisione dell'esecuzione ed elaborazione dei rilievi da parte dei commissionari, è stata eseguita da Unimo e IRPI-CNR.

4.3. Campagne di indagine

Geoelettrica: 21-28 maggio 2000 (P1-P6_2000) e 8-14 luglio 2001 (P1-P4_2001).

Sismica: 30 Ottobre - 20 Novembre 2002.

4.4 Gestione ed elaborazione dati

Per quanto riguarda nello specifico la gestione delle registrazioni geofisiche e la loro elaborazione, si rimanda alle suddette relazioni tecniche fatte pervenire dal Servizio geologico Austriaca e da Verbunplan al UG-PAB. A livello generale, si riporta quanto segue.

- I rilievi geoelettrici (resistività DC) sono stati eseguiti con strumentazione STING R1 IP 100 canali. La configurazione degli stessi è stata la Wenner / Schlumberger, con tempi di registrazione dei profili variabili da un paio di ore fino ad oltre 20 ore. La distanza elettronica nei profili è variata, in relazione alla lunghezza complessiva degli stessi, da 5 a 15 m. I valori di resistività apparente sono stati invertiti applicando l'algoritmo di Loke (2001), implementato nel software RES2DINV, ed applicando opportune correzioni topografiche.

<i>Profilo ID</i>	<i>Tipo di profilo</i>	<i>Lunghezza (m)</i>	<i>Spaz. Elettr. (m)</i>	<i>Cycle Times, No. of Stacks, Threshold</i>
P1_2000	Long.	1020	10	3.6 s / Stack 5x, 5%
P2_2000	Transv.	630	7	3.6 s / Stack 5x, 5%
P3_2000	Long.	680	10	3.6 s / Stack 5x, 5%
P4_2000	Long.	600	10	3.6 s / Stack 5x, 5%
P5_2000	Long.	550	10	3.6 s / Stack 5x, 5%
P6_2000	Transv.	660	10	3.6 s / Stack 5x, 5%
P1_2001	Long.	470	5	14.4 s / Stack 25x, 2%
P2_2001	Transv.	400	5	14.4 s / Stack 25x, 2%
P3_2001	Long.	1030	15	14.4 s / Stack 25x, 2%
P4_2001	Transv.	260	10	14.4 s / Stack 25x, 2%

- I rilievi sismici (sismica "ibrida", rifrazione - riflessione, delle onde longitudinali "p") sono stati eseguiti con sistema sismico telemetrico tipo *SUMMIT* a 200 canali, con tempi di registrazione di 1024 ms e intervallo di campionamento 0,5 ms. Come sorgente di energizzazione si è utilizzata massa battente tipo *Vakimpak*. La distanza tra i punti multipli di



energizzazione lungo i profili è stata di 6m (7m in CS3). La distanza tra i geofoni (ovvero tra "stringhe" di 6 geofoni), è stata di 3 m (3.5 m in CS3).

profile	length	# of records	# of stations
CS0	402 m	67	135
CS1	597 m	101	200
CS2	471 m	76	158
CS3	696,5 m	104	200
CS4	549 m	94	184

- I dati di sismica sono stati elaborati con software PROMAX. Per la rifrazione il metodo "delaytime" basato su Common Offset Stack (COS - 1d- *traveltimestack with distance*), ha fornito risultati nella forma di modelli 2D profondità-velocità. Per la riflessione, a seguito di correzione statica, "muting", analisi di velocità per stacking, correzione NMO (normal move out), analisi dei CDP (*common depth points*), stacking e migrazione, si sono ottenute tracce dei riflettori principali.

4.5 Risultati

4.5.1. Resistività DC

Dal confronto tra i profili di resistività e le stratigrafie di sondaggio, e da ulteriore elaborazione dei valori di resistività, si è pervenuto ad una codifica dei range di resistività attribuibile ai diversi layer del corpo di frana. Un problema, è risultato essere la frequente convergenza dei valori di resistività tra bedrock alterato e detrito di frana fortemente addensato. In generale, comunque, si sono considerati i seguenti range: 0-20 Ohm*Metro: corpo di frana poco addensato (attivo); 20-100 Ohm*Metro corpo di frana addensato (quiescente); >100 Ohm*Metro bedrock (Fm La valle).

Sui profili, partendo da quelli nelle aree sorgente per poi considerare quelli al piede, si possono fare le seguenti considerazioni:

Profili P3 2000, P4 2000 e P5 2000

Questi hanno mostrato come in questa zona la roccia in posto sia spesso alterata (valori di resistività 20-100 Ohm metro) o molto alterata (valori di resistività < 20 Ohm metro).

Profilo P4 2000

E' evidente come il contatto tra i materiali coinvolti nella colata di terra e la roccia in posto tenda ad affiorare verso i margini occidentali e verso valle della zona dove sono presenti i fori di sondaggio C4 e Cpz1. Questa informazione è molto importante, in quanto spiega la



morfologia piana e sopraelevata dell'area. In pratica, questa dorsale di roccia in posto agisce come contenimento dell'area a monte che, a sua volta, sostiene al piede il grande volume di materiale coinvolto in colate di terra attive, che hanno in S3 l'area sorgente. La dorsale di roccia potrebbe essere sottoposta a fenomeni di *creep* e, nel passato, è stata probabilmente dislocata da fenomeni di scivolamento profondi che hanno influito sul grado di fratturazione e alterazione dell'ammasso roccioso. Recentemente la retrogressione della scarpata frontale ha interessato la dorsale, che risulta visibile in affioramento. Questo evento ha confermato l'esistenza della dorsale stessa, precedentemente solo supposto sulla base delle evidenze morfologiche e di questi dati geofisici.

Profilo P5_2000

Questo profilo mostra le relazioni tra la dorsale di roccia nella sua terminazione a, dove risulta coperta da detrito sostanzialmente asciutto e le masse coinvolte in colate di terra nella zona S3.

Profilo P6_2000

Il profilo, tracciato nella stessa area attraverso i precedenti, mostra abbastanza chiaramente la dorsale di roccia alterata che separa S3 da S4 verso sud, la presenza di una copertura di detrito fine con blocchi, accumulato da una colata quiescente in corrispondenza di S4 e, infine, un blocco roccioso immerso in detrito di colata a matrice fine in corrispondenza di S3.

Profilo P4_2001

Il profilo avrebbe dovuto mostrare il progressivo restringimento e approfondimento della sezione interessata da movimenti di colata attivi. Tuttavia, il profilo di resistività non fornisce utili informazioni in tal senso. L'estrapolazione del profilo della roccia in posto è basato esclusivamente sulle evidenze della presenza di roccia in posto rilevate in alcune aree. Il profilo inoltre non evidenzia la presenza di due differenti corpi di colata, di cui il superiore attivo e l'inferiore quiescente. Apparentemente, tutti i materiali coinvolti in colate in questo settore della zona di trasporto hanno caratteristiche simili. Questo significa probabilmente che tali materiali sono tutti coinvolti in movimenti che possono raggiungere velocità di metri all'anno.

Profilo P1_2001

Il profilo ha evidenziato l'inclinazione con la quale la roccia in posto immerge in corrispondenza della faglia neotettonica discussa in §1, individuata nell'area in frana. La definizione degli effetti della faglia sul substrato al di sotto della frana è un importante risultato del rilievo geoelettrico condotto sulla frana di Corvara. L'area sorgente S1 è stata, infatti, tra le prime ad essere coinvolte da fenomeni di instabilità fin dall'inizio dell'Olocene. Di conseguenza, la discontinuità nel substrato evidenziata dal profilo geoelettrico rafforza l'ipotesi della influenza della faglia quale fattore predisponente e/o innescante della instabilità del versante.



Profilo P2_2001

Il profilo, che attraversa la porzione centrale della zona di trasporto, è abbastanza povero di informazioni rilevanti. Infatti, l'interpretazione di un contatto tra depositi di frana e roccia in posto che si colloca ad una profondità superiore ai 60 m è basata esclusivamente sui dati ottenuti da stratigrafie di sondaggio. Inoltre, non è rilevabile alcuna differenziazione tra la colata superficiale e attiva e quella più profonda e quiescente, che sono state individuate dal monitoraggio inclinometrico, che mostra una superficie di scivolamento a 19 metri di profondità.

Profilo P3_2001

Verso la terminazione NW del profilo, alcune linee elettriche sepolte che agivano come corto circuito per le correnti indotte nel sottosuolo, hanno causato una perdita di dati. Ciononostante, un sistema di tre strati (noto anche dalla stratigrafia del sondaggio C6 e da dati inclinometrici) può essere rilevato dal profilo di resistività, assumendo che i valori di resistività molto bassi (< 5 Ohm metro) ottenuti per i primi 20-50 m di deposito di frana siano rappresentativi della porzione attiva della colata e considerando anche le informazioni sul substrato ottenute dai sondaggi C3 e C6. La posizione esatta e la forma del contatto tra depositi di frana e substrato, che dovrebbero essere controllati dalla continuazione della faglia rilevata nelle aree adiacenti, non sono invece direttamente rilevabili dal profilo di resistività.

Profilo P1_2000

Il profilo evidenzia un sistema di tre strati, in accordo con la stratigrafia ottenuta dai sondaggi, con le datazioni radiometriche e con i dati inclinometrici. Questo sistema è formato da una colata superficiale attiva e più recente dello spessore di circa 30 metri, un corpo di colata intermedio, quiescente e più antico dello spessore di 30 m e infine dal substrato, ad andamento ondulato, che si colloca a profondità variabili tra 30 e 90 m. L'ondulazione della superficie del substrato è particolarmente importante verso la terminazione NW del profilo.

Profilo P2_2000

La geometria del substrato che separa le due aree in frana è particolarmente evidente al di sotto del letto del Rio Chiesa. Da dati non elaborati e qui non presentati, si è evidenziato un flusso di acqua dal Rio Chiesa verso il corpo di frana. Questo potrebbe rappresentare una concausa della instabilità dell'accumulo, in modo particolare per quanto riguarda i movimenti più superficiali che danneggiano continuamente la strada che conduce al Passo del Campolongo.



4.5.2. Sismica (rifrazione/riflessione)

Dal confronto tra i profili sismici e le stratigrafie di sondaggio, si è pervenuto ad una codifica dei range di velocità delle onde p attribuibile ai diversi layer del corpo di frana. In generale, si sono considerati i seguenti range: $v_0 < 930$ m/sec: corrisponde allo strato areato più superficiale; $v_1 = 930-1500$ m/sec: corpo di frana poco addensato; $v_2 = 1500-2200$ m/sec: corpo di frana addensato; $v_3 > 2300$ m/sec bedrock.

Profilo C_S0

Il profilo mostra un sistema di tre strati. Il primo strato inizia a piano campagna, fino ad una profondità di circa 10 m. La velocità delle onde di questo strato è di circa 800 – 1200 m/s (v_0 , v_1). Lo strato più profondo ha una velocità v_2 di circa 1800 - 2000 m/s e una profondità che varia tra 15 metri ad entrambe le estremità del profilo e i 95 m della parte centrale. Al di sotto si localizza il terzo strato, con velocità $v_3 = 3300$ m/s. L'andamento in profondità dei primi due strati è lo stesso della topografia. L'andamento delle velocità v_0-v_1 e v_2 nell'area è sostanzialmente orizzontale, senza ondulazioni. La morfologia del terzo strato è ben definita solo in corrispondenza delle terminazioni del profilo. Nella parte centrale mancano dati di rifrazione a causa della grande profondità alla quale si colloca lo strato stesso. In ogni caso l'area è stata indagata tramite la tecnica della riflessione, che mostrano un importante orizzonte di riflessione. Tale orizzonte è ben distinguibile non solo nella parte centrale ma anche verso le terminazioni del profilo, dove l'orizzonte coincide con le tracce della sismica a rifrazione. L'orizzonte di riflessione risulta interessato da interruzioni e dislocazioni (metri sul profilo 45, 100, 210 e 340, appendice 2). Queste forme potrebbero essere l'espressione di faglie e zone disturbate tettonicamente. Oltre a questo, si sono rilevati altri due orizzonti di riflessione significativi all'interno dei depositi di frana, che potrebbero corrispondere a superfici di scivolamento. Tuttavia, è possibile che tali orizzonti siano l'espressione dell'aumento di densità con la profondità. Questi risultati possono essere interpretati come segue. I primi metri sono costituiti da strato areato, con uno spessore da pochi metri alle estremità del profilo, fino a 10 metri nella parte centrale. Al di sotto si colloca uno strato più compatto, composto da quantità variabili di argilla e altri depositi di frana. Considerando la velocità, tale materiale dovrebbe essere saturo d'acqua. Lo strato più profondo individuato dalle indagini sismiche si colloca a profondità variabili tra 15 e 20 m alle estremità fino a 100 m nella parte della parte mediana del profilo. Considerando le velocità sismiche e le informazioni ottenute con i sondaggi, si può ritenere che questo strato sia ascrivibile a substrato roccioso alterato (arenarie e argilliti della Formazione di La Valle). Le differenze rilevabili tra gli orizzonti sismici e le stratigrafie ottenute da carotaggi potrebbero essere correlabili ad una zona di transizione con una estensione verticale di diversi metri.



Profilo C S1

Il profilo ha direzione SSW-NNE. Si colloca a metà del campo da golf, attraversando il Rutorto, il Rio Confin, la strada che collega Corvara ed Arabba e infine il Rio Chiesa. Nella sua terminazione esso attraversa il profilo CS2. Il profilo, al contrario di CS0, mostra una situazione con quattro strati. Qui il primo strato, che presenta una velocità v_0 di circa 500 m/s, ha uno spessore di pochi metri ed è seguito da uno strato 1 con v_1 di 1000 m/s. Questi strati nel complesso hanno profondità tra 5 e 10 m. Le velocità v_0 e v_1 non hanno variazioni laterali significative. Lo strato 2 segue con velocità 1750-2000 m/s e uno spessore da pochi metri alle estremità e 40 metri nella parte centrale del profilo. La velocità v_2 mostra una diminuzione costante dall'inizio verso la fine del profilo. Lo strato più profondo ben caratterizzato dalla sismica a rifrazione si colloca ad una profondità di circa 50 m. Una caratteristica significativa è che l'estensione tende ad assottigliarsi alle estremità, dove lo strato si riduce a 10 m. Lo strato v_3 ha velocità tra 3000 e 3100 m/s e mostra una leggera diminuzione lungo il profilo. Tali risultati dell'indagine sismica possono essere interpretati considerando uno strato abbastanza sottile seguito da due strati che sono costituiti dallo stesso materiale ma che mostrano differenti velocità e densità. Entrambi gli strati sono infatti costituiti da depositi di frana e in particolare di argille, con un aumento di compattazione con la profondità. Il terzo strato ha una densità maggiore e probabilmente maggiore grado di saturazione rispetto al secondo strato. Infine, il substrato roccioso (arenarie e argilliti della Formazione di La Valle) si colloca a profondità di circa 50 m. La diminuzione di velocità agli estremi del profilo e l'aumento lungo il rifrattore 2 indica una zona ad alto grado di alterazione. Oltre a questo, le minori velocità del materiale detritico di frana agli estremi del profilo può essere il risultato di una zona meno attiva all'interno di questa struttura a catino. La velocità sismica stimata per il bedrock è di circa 3000-3100 m/s, che caratterizza in genere arenarie altamente alterate. Considerando la sezione sismica, si possono notare diversi orizzonti, che mostrano la stessa forma dell'orizzonte di rifrazione del profilo CS0, dove si è rilevata l'ampiezza più significativa. Questo orizzonte si colloca ad una profondità da 130 a 150 m agli estremi e di circa 200 m nel settore centrale del profilo.

Profilo C S2

Il profilo CS2 corre da NNW a SSE, seguendo il campo da golf, e attraversa il profilo CS1 nella parte iniziale. CS2 attraversa anche il Rio Chiesa e nella parte terminale il Rio Confin. CS2 è stato elaborato come un caso di quattro strati sismici. La velocità delle onde sismiche coincide con le velocità del profilo CS1. quindi ci sono v_0 di circa 500 m/s, v_1 da circa 1000 a 1300 m/s, v_2 da circa 1700 a 2000 m/s e v_3 da circa 3000 a 3100 m/s. Una caratteristica di



tale profilo è che le velocità mostrano un aumento costante verso la fine del profilo. I primi due strati hanno uno spessore inferiore se paragonati con i medesimi nel profilo CS1. Il primo è nell'ordine di solo 1 o 2 metri, mentre il secondo è al massimo 10 m. L'andamento in profondità del contatto mostra solo limitate ondulazioni. Il seguente terzo strato ha velocità da circa 1700 a 2000 m/s, con estensione sulla verticale di 40-45 m. Nella parte iniziale del profilo lo strato è invece molto più sottile, attestandosi intorno a 15 metri di spessore. Il rifratore sismico più profondo mostra velocità di circa 3000 m/s. L'andamento in profondità del quarto strato mostra ondulazioni significative tra i metri 50 e 150 del profilo. Il profilo di rifrazione sismica CS2 può essere interpretato dal punto di vista delle strutture geologiche e dei depositi di frana similmente al profilo CS1. Questi risultati sono inoltre confermati dalla stratigrafia del substrato ottenuta tramite il sondaggio C3. Il sondaggio è situato al metro 340 del profilo e ha attraversato due superfici di scivolamento all'interno del corpo di frana, rispettivamente a 9 e 17 metri di profondità dal piano campagna. La prima superficie di scivolamento si colloca in corrispondenza del limite tra il secondo e il terzo strato sismico. Il sondaggio ha inoltre incontrato il substrato ad una profondità di 46 metri, che a sua volta coincide con l'interpretazione dei dati ottenuti dalla sismica a rifrazione. In profondità, la sezione sismica mostra un orizzonte con forma a catino ad una profondità di 200 m nella parte centrale del profilo e di 120-140 m alle estremità del profilo stesso. Per una interpretazione dettagliata di questa struttura geologica, sarebbero necessarie informazioni ottenute da un ulteriore sondaggio.

Profilo C S3

Il profilo CS3 è il profilo più lungo, raggiungendo una lunghezza complessiva di 700 m. Attraversa il plateau sul quale è situato il rifugio "La Baita", ha direzione NNW-SSE e incontra il profilo CS4 nella sua parte centrale. CS3 è stato elaborato come un profilo a quattro strati. I primi due strati hanno velocità $v_0 = 500$ m/s e $v_1 = 1000$ m/s ed estensioni verticali di soli pochi metri (specialmente dai metri 220 a 320 e da 600 a 700), raggiungendo la massima profondità di 15 metri. La velocità e la profondità hanno andamenti abbastanza costanti lungo il profilo. La velocità del terzo strato mostra una variabilità tra 1600 e 2000 m/s, e i valori maggiori si riscontrano tra i metri 150 e 250 sul profilo. A questo strato possono corrispondere arenarie molto alterate o molto fratturate. Il rifratore sismico più profondo ha una velocità v_3 sostanzialmente costante di circa 3000 m/s. Il profilo CS3, come gli altri che attraversano il campo da golf, mostrano una struttura a quattro strati sismici. L'unica differenza è che lo spessore degli strati è inferiore, con particolare riferimento al terzo strato. Questo implica che il corpo di frana ha qui uno spessore inferiore, al massimo di circa 45 m. Il sondaggio C4, che si colloca in corrispondenza del metro 430 sul profilo CS3, ha incontrato il substrato roccioso



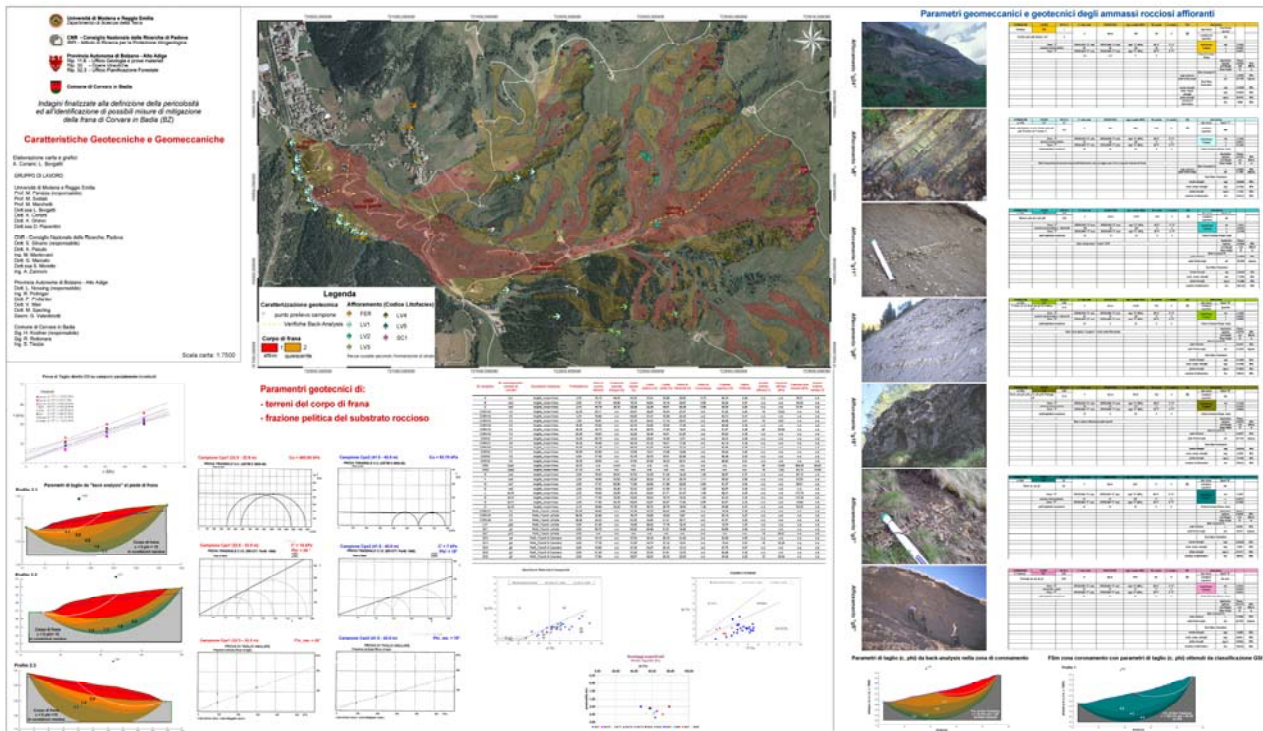
ad una profondità di 45 metri. Questa differenza rispetto ai risultati della sismica potrebbe dipendere dalla distanza laterale tra il sondaggio e il profilo sismico.

Profilo C_S4

Il profilo CS4 attraversa il plateau da SSW a NNE, attraversando CS3 nella sua parte centrale. Per quanto riguarda le velocità sismiche e il loro andamento in profondità c'è una buona correlazione con il profilo CS3. Solo v_2 è di circa 1700-2000 m/s, con i valori massimi intorno alla fine del profilo. Considerando questo dato, il substrato potrebbe essere costituito da arenarie fratturate. La differenza sostanziale con il profilo CS3 è costituita dallo spessore dei primi due strati. Questi hanno spessori che variano tra pochi metri in corrispondenza delle terminazioni del profilo fino a circa 20 metri nella sua parte centrale. Questo è ben evidente tra i metri 200 e 350. Il terzo strato varia tra 10 metri al di sotto della superficie a 30 metri, rispettivamente all'inizio e al metro 230 del profilo. La velocità v_3 del rifratore sismico più profondo è di circa 3000 m/s. Il sondaggio C3 mostra roccia in posto alterata ad una profondità di 42, che è in accordo con i risultati della rifrazione sismica in questa area. Esiste un solo orizzonte di riflessione sismica all'inizio del profilo, tra i metri 0 e 200. Questo orizzonte si colloca ad una profondità di 90 metri al di sotto della superficie.



5. Caratteristiche geotecniche e geomeccaniche



5.1. Obiettivi

Per quanto riguarda gli ammassi rocciosi del substrato:

- differenziare e classificare, dal punto di vista geomeccanico tramite GSI (*Geological Strength Index*), le litofacies affioranti complessivamente nel versante Col Alto – Pralongià che, seppur riconducibili a 3 formazioni geologiche soltanto, risultano avere caratteri a forte variabilità spaziale riconducibili ad eteropie verticali ed orizzontali nelle formazioni stesse;
- definire, per ogni litofacies un campo di valori per i più comuni parametri meccanici e geotecnici, attraverso: i) correlazioni empiriche coi valori di classificazione geomeccanica GSI, ii) prove di laboratorio su campioni della porzione politica; iii) back analysis di situazioni di instabilità al coronamento coinvolgenti le rocce affioranti.

Per quanto riguarda le terre costituenti il copro di frana:

- definire i più comuni parametri geotecnici, attraverso: i) prove spedite su carote di sondaggio (per "Cu"); ii) prove di laboratorio su campioni a disturbo limitato; iii) *back analysis* di osservati processi di movimento del corpo di frana.



5.2. Soggetti coinvolti

I rilievi di affioramento e l'elaborazione dati geomeccanici degli ammassi rocciosi sono stati condotti da Unimo. La raccolta di campioni per prove geotecniche è stata eseguita da Unimo sia nel corso delle indagini a carotaggio commissionati dall'Ufficio Geologia della PAB alla Landservice s.c.a.r.l di Bolzano, sia durante la campagna di perforazioni sub-superficiali (fino a -3 m /p.c.) condotta da Unimo e IRPI-CNR. Le prove geotecniche di laboratorio sono state condotte da Unimo, o dalla stessa commissionate a laboratori esterni. Le *back-analysis* all'equilibrio limite sono state condotte da Unimo.

5.3. Campagne di rilievo di terreno e prove laboratorio

I rilievi geomeccanici di terreno sono stati distribuiti lungo l'intera durata della convenzione. La determinazione speditiva da carote di sondaggio è stata eseguita durante l'esecuzione degli stessi tra il 2000 ed il 2003. Le *back analysis* all'equilibrio limite sono state condotte nel 2003.

Le prove di laboratorio sono state eseguite tra il 2000 ed il 2002, ed hanno riguardato:

- prove classificatorie (granulometria, limiti di consistenza) di 25 campioni materiale di frana e 11 campioni di frazione poltica di substrato.
- prove di taglio di tipo: Diretto CD in scatola di Casagrande su 2 campioni materiale di frana e 2 campioni di frazione poltica di substrato; Triassiale UU e CD su 2 campioni materiale di frana; Anulare (per $\Phi_{residuo}$) su 2 campioni materiale di frana.

5.4. Gestione ed elaborazione dati

Nell'ambito della classificazione geomeccanica degli affioramenti di substrato sono stati realizzati o utilizzati:

- un layer GIS; di localizzazione degli affioramenti considerati, con collegato un DbF dei principali parametri classificatori, e dei campioni di pelite eventualmente raccolti e poi analizzati in laboratorio;
- un foglio di lavoro .xls per l'applicazione della classificazione GSI "scalata" di ammassi flyshoidi, secondo le indicazioni di Marinos & Hoek, 2001;
- il programma RocLab per applicazione del GSI, che è un freeware scaricabile dal sito <http://www.rocscience.com/>.

Nell'ambito della classificazione geotecnica dei campioni affioramenti di substrato sono stati realizzati o utilizzati:

- un layer GIS di localizzazione dei punti di campionamento, con collegato un DbF dei principali parametri ottenuti successivamente in laboratorio;



- un foglio di lavoro .xls per l'applicazione di diagrammi di classificazione e per la visione complessiva dei dati geotecnica;

Valevole sia per gli ammassi rocciosi che per le terre, è un layer di localizzazione delle sezioni utilizzate per la back analysis.

La back analysis è stata realizzata con software Slope-w.

5.5. Risultati

5.5.1. Caratteristiche del substrato roccioso

Come detto, il Col Alto - Pralongià è costituito da ammassi rocciosi eterogenei appartenenti alla Formazione di Fernazza, alla Formazione di La Valle e alla Formazione di S. Cassiano, già descritte dal punto di vista litologico. Tali formazioni sono interessate da fratture diffuse, a luoghi intersecate da discontinuità pervasive dovute a clivaggio. La Formazione di La Valle costituisce in molti casi il substrato della frana di Corvara, come evidenziato dagli affioramenti in zone circostanti la frana e dai sondaggi, che hanno intercettato tale formazione a profondità da 42 a 47 m. La Formazione di S. Cassiano affiora invece principalmente nelle zone di coronamento, prossime al Pralongià, ed è coinvolta in scivolamenti rotazionali che si sviluppano alla testata della frana.

In particolare, dall'analisi delle caratteristiche macroscopiche d'affioramento inerenti Litologie costituenti e Rapporto Arenaria (o calcarenite) / Pelite, sono state distinte:

- 1 litofacies della Fm di Fernazza (FER);
- 5 litofacies nella Fm di La valle (LV1-LV5);
- 1 litofacies della Fm. di S. Cassiano (SC).

La distribuzione spaziale delle litofacies identificate segue a grandi linee la successione stratigrafica, come atteso in considerazione del generale assetto tabulare leggermente a reggipoggio della stratificazione.

Ai fini della classificazione meccanica di tali litofacies per mezzo del sistema GSI (*Geological Strength Index*) i parametri presi in considerazione sono stati:

- indice GSI per specifiche condizioni di affioramento (ottenuto dai diagrammi proposti da Marinos e Hoek 2001 implementati in RockLab);
- rapporto A/P (Arenaria / Pelite) variabile nel range 0-1 e valori tipici min. e max. di spessore dei singoli strati (o pacchi di strati) di A o di P;
- n° Joint_sets osservati in affioramento;
- spaziatura media dei joints;



- resistenza a compressione uniassiale ("sigci") (in MPa) di A, di P (misurati in affioramento con sclerometro o presi dai valori tipici per litologia proposti in RockLab), e sigci scalato in funzione di A/P;
- indice litologico "m_i" di A e di P (presi dai valori tipici per litologia proposti in RockLab), e M_i scalato in funzione di A/P;
- fattore di disturbo "D" (posto = 0 per tutti i casi).

Sulla base dei suddetti parametri, ed in particolare dei parametri di tipo "scalato", il programma Rock Lab ha fornito una serie di valori per i parametri da applicare nel criterio di rottura empirica di Hoek e Brown.

Per ottenere i corrispondenti valori "di picco" nel criterio Mohr-Coulomb (C', Phi') è stato adottato per tutti i casi un involucro di rottura tipo "versante" ipotizzando un Unit Weight di 0,02 MN/m³ ed un'altezza di versante di 30 m, che è il valore più caratteristico dell'altezza delle scarpate di frana al coronamento.

I dati utilizzati, ed i risultati di quanto sopra, sono rappresentati nelle tabelle accluse all'elaborato cartografico.

Vale la pena qui sintetizzare che i valori di picco ottenuti nelle diverse litofacies sono risultati essere:

Valori di resistenza degli ammassi rocciosi ottenuti dalla loro classificazione con sistema GSI

Mohr-Coulomb Fit			FER	LV1	LV2	LV3	LV4	LV5	Media LV	SC
peak cohesion	c	MPa	1,10	0,40	0,34	0,64	0,54	0,30	0,44	0,19
peak friction angle	phi	degrees	63,77	57,53	55,49	61,37	60,12	53,28	57,56	46,80
Rock Mass Parameters										
tensile strength	sigt	MPa	-0,18	-0,05	-0,04	-0,12	-0,09	-0,04	-0,07	-0,02
uniax. compr. strength	sigc	MPa	9,64	2,37	1,78	5,12	3,98	1,51	2,95	0,65
global strength	sigcm	MPa	38,98	14,20	10,39	21,91	17,02	8,15	14,33	3,94
modulus of deformation	Em	MPa	10000,00	4185,22	3621,44	7498,94	7064,54	3333,80	5140,79	1936,49

Pur nell'ambito delle approssimazioni introdotte sia nella semplificazione dei dati di ingresso, sia dall'elaborazione condotta da Rocklab, appare abbastanza evidente come vi sia un decremento delle caratteristiche geotecniche e meccaniche tra FER, LV (in generale) e SC.

All'interno delle varie facies di LV, il range di variabilità è abbastanza limitato, anche se LV3 e LV4 (ovvero le facies di PreCiablun-Punta trieste e della cresta Bioch), per la minore presenza e potenza di interstrati pelitici sono caratterizzate da valori più alti rispetto le altre facies LV. Ciò d'altro canto si riflette anche nella maggiore altezza delle scarpate che riescono a sostenersi in tali settori.

Vale la pena infine far notare come per le litofacies LV(1-5) e SC, i valori di picco ottenuti con RockLab siano di un ordine di grandezza superiori ai:



- valori di picco ottenuti nelle prove di laboratorio eseguite sugli interstrati pelitici di LV (Phi 14°, c' 68 kPa) e SC (Phi 16-18°, c' 49 kPa);

- i valori "residui" effettivamente mobilizzati ottenuti tramite *back analysis*, che in SC forniscono un $c_{mob} = 30$ kPa e un $\Phi_{mob} = 20^\circ$, che sono d'altro canto simili ai valori da prove di laboratorio.

Questo dimostra che nelle condizioni di affioramento la resistenza meccanica dell'ammasso è dominata dalle componenti Arenaceo o Calcarenitico ma che, a seguito di rottura e di dislocazione dell'ammasso, la resistenza dell'ammasso roccioso è dominata dai parametri tipici delle frazioni Pelitiche, che, di fatto, sono mediamente analoghi sia nel LV che nel SC.

Inoltre, la natura fessurata di tali formazioni implica che la resistenza al taglio a lungo termine di tali materiali tende ad essere puramente di tipo frizionale, espressa quindi dall'angolo di resistenza al taglio residuo, che può essere assunto analogo a quello ottenuto poi per i materiali di frana che derivano dal disfacimento degli ammassi rocciosi.

Per ulteriori dettagli circa i parametri geotecnici ottenuti in laboratorio si rimanda alla successive sezione dedicate ai materiali di frana.

Parametri geotecnica da prove di laboratorio su peliti del substrato.

ID_sondaggio/affioramento di raccolta	Descrizione campione	Profondità (m)	Peso di volume (kN/m ³)	Contenuto naturale d'acqua (%)	Limite liquido (%)	Limite plastico (%)	Limite solido (%)	Indice di Plasticità (%)	Indice di Consistenza	Frazione argillosa (%)	Indice d'Attività	Angolo d'attrito efficace (°)	Coesione efficace (kPa)	Coesione non drenata (kPa)	Angolo d'attrito residuo (°)
CORV11	C2	Peliti Flysch LaValle	52,00	24,62	n.d.	27,36	22,70	20,47	4,66	n.d.	18,78	0,25	n.d.	n.d.	n.d.
CORV19	C3	Peliti Flysch LaValle	44,50	22,46	n.d.	38,15	30,08	18,24	8,07	n.d.	29,14	0,27	n.d.	n.d.	n.d.
CORV28	C4	Peliti Flysch LaValle	49,80	24,23	n.d.	81,56	42,85	21,41	38,71	n.d.	41,97	0,92	n.d.	n.d.	n.d.
LV1	g22	Peliti Flysch LaValle	0,00	21,40	n.d.	44,45	28,02	17,15	16,33	n.d.	10,70	1,53	n.d.	n.d.	n.d.
SC1	g2	Peliti Flysch LaValle	0,00	20,70	n.d.	60,62	40,98	31,81	19,64	n.d.	20,89	0,94	n.d.	n.d.	n.d.
SC7	g10	Peliti Flysch LaValle	0,00	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	14	68,67	n.d.	n.d.
		MEDIA LV		22,68		50,43	32,93	21,82	17,48		24,30	0,78	14,00	68,67	
SC2	g4	Peliti Flysch	0,00	19,10	n.d.	57,00	35,34	28,15	21,66	n.d.	22,84	0,95	n.d.	n.d.	n.d.
SC3	g4	Peliti Flysch	0,00	17,30	n.d.	51,65	34,74	23,12	16,91	n.d.	19,43	0,93	18	39,24	n.d.
SC4	g6	Peliti Flysch	0,00	19,90	n.d.	47,39	34,27	26,12	13,12	n.d.	27,79	0,47	n.d.	n.d.	n.d.
SC5	g5	Peliti Flysch	0,00	21,20	n.d.	51,30	37,53	21,61	13,76	n.d.	26,28	0,52	n.d.	n.d.	n.d.
SC6	g5	Peliti Flysch	0,00	17,60	n.d.	58,07	36,03	26,32	22,04	n.d.	34,46	0,64	16	49,04	n.d.
		MEDIA SC		19,02		53,08	35,58	25,06	17,50		26,16	0,70	17,00	44,14	

5.5.2. Caratteristiche del materiale di frana

Il contenuto d'acqua dei materiali di frana, misurato sui campioni più superficiali, è risultato sempre molto alto, variando da 27 a 50%. Valori simili sono comunque presumibili anche per campioni più profondi. Le carote dei sondaggi sono infatti state spesso raccolte allo stato plastico, come testimoniato dalla loro forma e dalle tracce di fango nelle casse catalogatrici.

I depositi di frana mostrano valori di peso di volume (γ) mediamente inferiori a 20 kN/m³, ovvero inferiori a quanto ottenuto per le peliti di substrato (20 - 24 kN/m³) in accordo col fatto che si tratta di materiale rimaneggiato. Ciononostante, alcuni campioni profondi (-30 m a -41 m) hanno valori fino a 23 kN/m³, mostrando chiaramente l'effetto di un considerevole sforzo



geostatico. I limiti di Atterberg variano grandemente, con w_l compreso tra 38% (Fm. di La Valle) e 88.7% (depositi di frana), I_p da 9.7% a 38.7% e w_s da 13.4% a 28.1%.

L'analisi granulometrica, e la determinazione dell'indice di attività A_C , hanno dato valori molto disomogenei per la frazione argillosa ($CF = 20 \div 55\%$; $A_C = 0.3 \div 1.5$), anche all'interno di materiali del medesimo gruppo (rocce o depositi) mostrando pertanto una considerevole differenziazione. Prove calcimetriche hanno fornito valori di $CaCO_3$ variabili tra 39.7 e 55.5 %, grazie all'abbondanza di frammenti di calcari e dolomie, in accordo anche coi picchi registrati dalle diffrattometrie.

Secondo la classifica di plasticità di Casagrande, la maggior parte dei campioni ricade nel campo ad alta plasticità MH-OH e, secondariamente, nel campo a bassa plasticità ML-OL.

La classifica di attività mostra che la maggioranza dei campioni sono costituiti di minerali argillosi "inattivi", con solo cinque campioni che ricadono nel campo "normale" ed un solo campione (Fm. di La Valle) nel campo "attivo".

Analisi diffrattometriche hanno mostrato che i campioni caratterizzati da più alti valori di limite liquido ed indice di plasticità hanno anche un abbondante contenuto di smectite, minerale argilloso caratterizzato da grande capacità di scambio cationico e plasticità. Si sono inoltre trovati valori, seppur minori, di caolinite e tracce di illite.

Parametri geotecnici da prove di laboratorio su materiale di frana.

ID_campione	ID_sondaggio/affioramento di raccolta	Descrizione campione	Profondità (m)	Peso di volume (kN/m ³)	Contenuto naturale d'acqua (%)	Limite liquido (%)	Limite plastico (%)	Limite solido (%)	Indice di Plasticità (%)	Indice di Consistenza	Frazione argillosa (%)	Indice d'Attività	Angolo d'attrito efficace (*)	Coesione efficace (kPa)	Coesione non drenata (kPa)	Angolo d'attrito residuo (*)	
CORV10	C2	Argilla corpo frana	32,50	20,11	n.d.	60,91	28,00	18,42	27,07	n.d.	41,26	0,66	18	19,62	n.d.	n.d.	
CORV12	C3	Argilla corpo frana	3,70	19,62	n.d.	60,63	37,31	15,46	23,32	n.d.	45,73	0,51	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	
CORV13	C3	Argilla corpo frana	7,80	19,81	n.d.	55,10	34,53	17,13	20,57	n.d.	49,58	0,41	18	9,81	n.d.	n.d.	
CORV14	C3	Argilla corpo frana	14,50	19,42	n.d.	52,15	34,50	19,04	17,65	n.d.	44,49	0,39	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	
CORV15	C3	Argilla corpo frana	18,30	18,73	n.d.	43,16	28,75	17,04	14,41	n.d.	51,67	0,28	20	49,05	n.d.	n.d.	
CORV16	C3	Argilla corpo frana	22,20	19,03	n.d.	52,36	30,49	16,91	21,87	n.d.	55,25	0,39	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	
CORV2	C1	Argilla corpo frana	13,50	20,79	n.d.	39,36	29,64	14,40	9,72	n.d.	34,33	0,28	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	
CORV21	C4	Argilla corpo frana	15,50	18,44	n.d.	69,14	51,32	19,51	17,82	n.d.	52,14	0,34	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	
CORV24	C4	Argilla corpo frana	43,00	21,18	n.d.	88,70	61,52	18,05	17,18	n.d.	54,56	0,49	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	
CORV4	C1	Argilla corpo frana	36,50	23,05	n.d.	33,05	18,31	13,49	14,84	n.d.	36,45	0,40	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	
CORV6	C2	Argilla corpo frana	5,00	17,36	n.d.	51,75	30,79	19,51	20,96	n.d.	48,38	0,43	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	
CORV8	C2	Argilla corpo frana	14,30	18,93	n.d.	47,60	27,29	18,33	20,31	n.d.	48,85	0,41	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	
CPZ1	Cpz1	Argilla corpo frana	32,70	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	28	14,00	460,65	20,00	
CPZ2	Cpz2	Argilla corpo frana	41,70	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	19	7,00	93,75	15,00	
MEDIA CAMPIONI SONDAGGIO PROFONDO				19,71	#DIV/0!	54,49	34,37	17,27	18,81		46,89	0,42	20,60	19,90	277,20	17,50	
A	bs1	Argilla corpo frana	2,70	18,15	44,02	63,23	37,41	20,66	25,82	0,74	40,33	0,64	n.d.	n.d.	25,51	n.d.	
B	bs2	Argilla corpo frana	2,00	17,07	49,68	78,70	44,63	19,14	34,07	0,85	35,25	0,97	n.d.	n.d.	34,36	n.d.	
C	bs3	Argilla corpo frana	2,10	18,74	34,76	58,28	32,30	18,91	26,08	0,90	39,50	0,66	n.d.	n.d.	51,01	n.d.	
D	bs4	Argilla corpo frana	2,00	19,52	26,91	47,53	33,29	21,24	14,24	1,45	38,67	0,37	n.d.	n.d.	42,18	n.d.	
F	bs6	Argilla corpo frana	2,40	18,84	33,62	62,20	36,42	21,12	25,78	1,11	39,62	0,65	n.d.	n.d.	33,35	n.d.	
G	bs7	Argilla corpo frana	2,50	17,27	50,86	71,50	49,50	21,68	22,00	0,94	51,37	0,43	n.d.	n.d.	25,51	n.d.	
H	bs8	Argilla corpo frana	2,40	19,52	30,28	53,23	22,07	21,59	21,16	1,08	42,87	0,49	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	
L	bs10	Argilla corpo frana	2,30	19,62	32,99	65,10	43,53	21,71	21,57	1,49	48,31	0,45	n.d.	n.d.	117,70	n.d.	
M	bs13	Argilla corpo frana	2,10	17,56	30,99	58,90	38,64	19,74	18,26	1,42	52,25	0,35	n.d.	n.d.	137,40	n.d.	
N	bs11	Argilla corpo frana	2,50	17,56	44,79	60,62	42,97	25,97	17,65	0,90	54,07	0,33	n.d.	n.d.	16,98	n.d.	
O	bs12	Argilla corpo frana	2,10	18,84	32,43	57,35	38,72	20,79	18,63	1,34	39,86	0,47	n.d.	n.d.	33,35	n.d.	
MEDIA CAMPIONI SONDAGGIO SUB-				2,28	18,43	37,39	61,33	38,13	21,14	22,30	1,11	43,83	0,53			51,74	

La coesione non drenata c_u dei depositi più superficiali (fino a profondità di 2.5 m) è stata misurata per mezzo di penetrometro tascabile ($c_u = 25.5 \div 137.3$ kPa).



Le prove di taglio (sia diretto che triassiale) in condizioni consolidate e drenate (CD) sono state eseguite su campioni naturali o parzialmente rimaneggiati, preservando in ogni caso le originarie superfici di discontinuità, che sono state mantenute parallele al piano di taglio al fine di riprodurre situazioni di laboratorio più realistiche. I valori ottenuti, sono alquanto sparsi ($\varphi' = 14 \div 28^\circ$ e $c' = 9.8 \div 68.6$ kPa), e sono tipici di materiali induriti ma fessurati che sono in uno stadio intermedio del processo di rottura progressiva. Le prove triassiali in condizioni non consolidate - non drenate (UU) hanno mostrato valori di c_u fortemente diversi tra i due campioni analizzati ($93 \div >400$ kPa). Una forte variabilità di c_u è stata anche riscontrata nei valori ottenuti con prove speditive di terreno sui campioni raccolti a profondità di 3.5 m ($25 \div 137$ kPa).

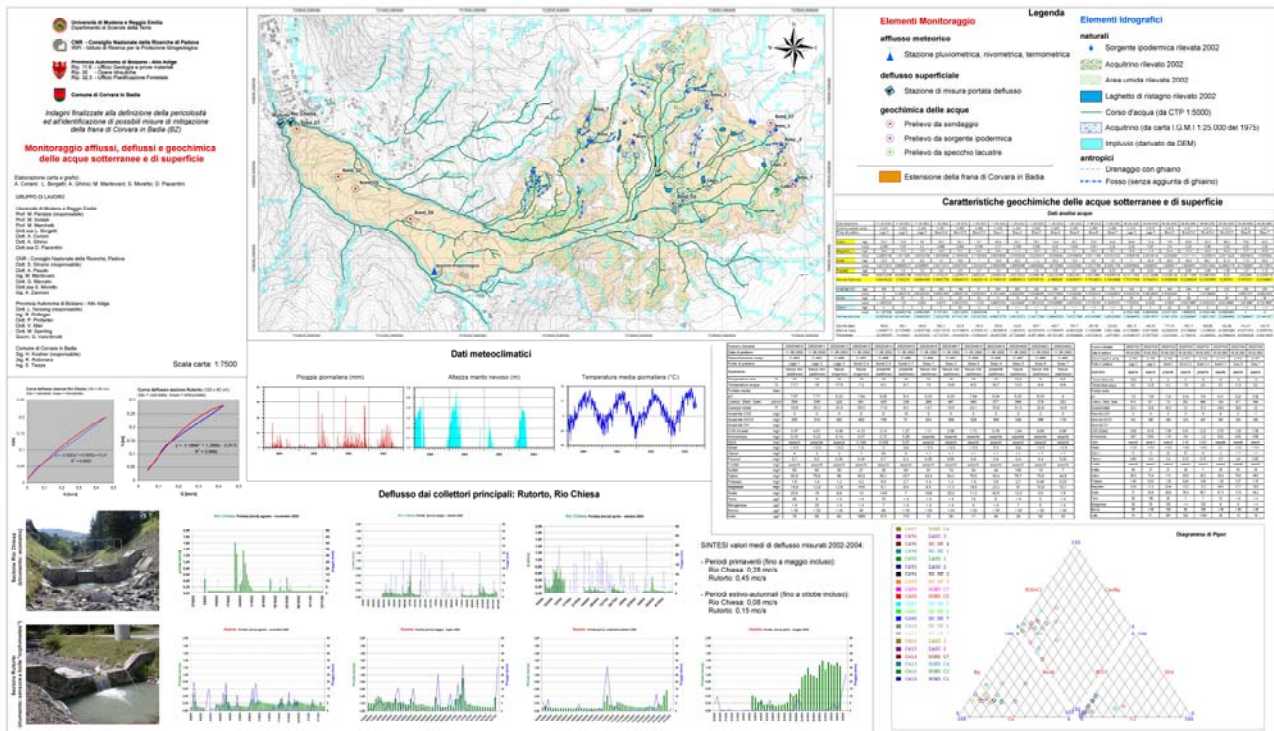
Le prove di taglio anulare, hanno fornito valori di angolo d'attrito residuo nel range $15-20^\circ$, valori caratteristici di questi materiali e simili all'angolo di riposo di questi nel versante in oggetto. I valori residui, utilizzati in verifiche di stabilità all'equilibrio limite dei fianchi dell'accumulo di frana, hanno fornito risultati realistici che ben simulano i fenomeni di collasso locale dei fianchi stessi.

Alla luce di ciò, appare ragionevole concludere che:

- nelle porzioni più superficiali del corpo di frana (dove, tra l'altro, il contenuto naturale d'acqua pone i materiali tra il limite liquido e quello plastico) si mobilizzano nel lungo termine valori residui di angolo d'attrito con effetto della coesione pressoché nullo;
- nelle superfici di scorrimento attive (dove il contenuto naturale d'acqua pone i materiali tra il limite solido e quello plastico) siano mobilizzati nel lungo termine valori residui di angolo d'attrito, con effetto della coesione molto limitato in funzione del maggior contenuto di materiale grossolano riscontrato nelle carote di sondaggio;
- nelle porzioni del corpo di frana che subiscono traslazione "omogenea" tra due superfici di scorrimento, sono presenti materiali che hanno riacquisito, per carico litostatico del corpo stesso, una certa coesione drenata, che li differenzia sostanzialmente dalle condizioni residue ultime.



6 Monitoraggio: afflussi-deflussi e geochimica delle acque sotterranee e di superficie



6.1. Obiettivi

Obiettivo generale è quello di una caratterizzazione quali-quantitativa dello schema di circolazione superficiale e sotterraneo propedeutico allo sviluppo di un modello idrologico e, in congiunzione coi dati piezometrici, idrogeologico del versante. Inoltre, tramite le misure di trasporto solido nei corsi d'acqua principali, si sono voluti acquisire elementi utili al successivo bilancio di massa della frana.

Gli obiettivi specifici di ogni attività sono di seguito descritti.

6.1.1 Ricostruzione dell'idrografia di superficie

Individuare, oltre alle aste di drenaggio principali già indicate nella cartografia tecnica provinciale, anche le zone di impluvio, le zone di ristagno d'acqua effettivamente presenti sul corpo di frana sia attualmente che in passato, e le sorgenti ipodermiche a regime fortemente irregolare.



Tali dati sono stati propedeutici alla campagna di prelievo/analisi acque, permettono la comprensione dell'andamento spaziale dei livelli piezometrici nella frana, sono utili per pianificare interventi di ripristino del drenaggio superficiale.

6.1.2. Analisi geochimica delle acque superficiali e sotterranee

L'indagine del chimismo delle acque è stato mirato alla ricostruzione della circolazione delle acque all'interno del corpo di frana. Si è voluto soprattutto indagare l'eventuale contributo destabilizzante causato dalla risalita di acque profonde.

6.1.3. Monitoraggio di afflussi meteorici

Raccogliere dati di precipitazione utili ad un confronto con le variazioni piezometriche nel corpo di frana e con l'aumento di portata nei corsi d'acqua.

La stazione meteorologica si compone di: un pluvio-nivometro, un termometro, un ecometro (per il manto nevoso).

6.1.4. Monitoraggio portata Rutorto e Rio Chiesa

Valutare l'effettivo ruolo svolto dai corsi d'acqua Rutorto e Rio Chiesa nello smantellamento dell'accumulo di frana. A tal fine si è ritenuto opportuno effettuare misure di portate e di trasporto solido degli stessi.

6.2. Soggetti coinvolti

L'Università di Modena ha eseguito i rilievi di terreno di zone umide e gli acquitrini e di coordinamento tra gli altri soggetti coinvolti. La PAB ha collaborato con Unimo nella campagna di campionamento acque e ha eseguito le prove geochimiche di laboratorio, i cui risultati sono stati elaborati da Unimo. L'IPRI-CNR ha gestito la stazione meteo. La PAB (Uff. bacini Montani) ha materialmente realizzato e gestito il sistema di monitoraggio portate e trasporto solido su Rutorto e Rio Chiesa, compresa la complessa e dispendiosa manutenzione dei torbidimetri. I valori ottenuti da tali sistemi sono stati elaborati da Unimo e IRPI-CNR.

6.3. Campagne di rilievo, monitoraggio, campionamento e prove laboratorio

6.3.1 Ricostruzione dell'idrografia di superficie

- La principale campagna di rilievo idrografico (ristagni e sorgenti è stata eseguita nel 2002. Successivamente è avvenuta l'interpretazione di materiale cartografico non recente, per la ricostruzione dell'evoluzione dell'idrografia di superficie (inclusiva di zone umide e acquitrini).

6.3.2. Analisi geochimica delle acque superficiali e sotterranee

- Su tutto l'areale della frana di Corvara sono state realizzate due campagne di prelievo di campioni di acque (secondo le linee guida fornite dall'Uff. 29.5 – Laboratorio analisi acque della



PAB). Tali campagne sono state eseguite rispettivamente in data 11 giugno 2002 e 5 settembre 2002.

Campioni di 1 litro sono stati raccolti ed hanno riguardato:

- campioni da 3 laghetti superficiali: sigla Lago 1 Lago 2, Lago 3
- campioni da 3 sondaggi: sigla Sond C4, Sond C5, Sond C7
- campioni da 7 sorgenti superficiali: sigla Sосу 1, Sосу 2, Sосу 3, Sосу 4, Sосу 5, Sосу 6, Sосу

I campioni prelevati durante queste due campagne sono stati selezionati in modo da essere rappresentativi non solo del chimismo delle acque superficiali (prelievi da ristagni superficiali e piccole risorgive) ma anche delle acque sotterranee (prelievi in foro di sondaggio).

6.3.3. Monitoraggio di afflussi meteorici

Le misure degli afflussi meteorici (pioggia e neve) si sono protratte dal 2000 a tutto il 2004. La frequenza di registrazione per l'altessa della neve è stata di 2 mis./giorno, con pioggia in semicontinuo. I dati sono stati scaricati dalla centralina con frequenza di 2 volte /anno,

6.3.4 Monitoraggio portata Rutorto e Rio Chiesa

Le misure di deflusso e trasporto solido su Rutorto e Rio Chiesa hanno coperto l'intervallo temporale Agosto 2002 – settembre 2004. Ai fini della taratura delle sezioni sono state eseguite alcune misure di portata manuali su aste graduate.

6.4. Gestione ed elaborazione dati

6.4.1 Ricostruzione dell'idrografia di superficie

L'andamento dei collettori d'acqua superficiali principali e secondari è stato informatizzato in layer Arc-Gis sulla base della CTP 1:5000. Sono stati altresì realizzati livelli informativi inerenti i ristagni rilevati sul terreno, quelli presenti nella CTP e quelli nel foglio IGMI scala 1:25.000. E' stata inoltre eseguita un'elaborazione del DTM del 1996, che ha permesso di individuare le zone di impluvio.

6.4.2. Analisi geochimica delle acque superficiali e sotterranee

E' stato creato un layer arc-gis con la localizzazione dei punti di prelievo. I dati da misure speditive di campagna (Ph, Temperatura e Redox) e quelli di laboratorio sono stati gestiti per mezzo di fogli di calcolo.

6.4.3. Monitoraggio di afflussi meteorici

Tutti i dati sono stati registrati su datalogger, scaricato 2 volte/anno. I dati sono stati gestiti con foglio di calcolo sono e restituiti come media giornaliera. La posizione della stazione è stata inserita nel DB cartografico.



6.4.4. Monitoraggio portata Rutorto e Rio Chiesa








I dati sono stati registrati su datalogger, e trasferiti a fogli di calcolo poi elaborati per ricostruire la scala di deflusso.

6.5. Risultati



6.5.1 Ricostruzione dell'idrografia di superficie

L'attività condotta ha portato a distinguere e cartografare i seguenti elementi idrografici:

naturali

-  Sorgente ipodermica rilevata 2002
-  Acquitrino rilevato 2002
-  Area umida rilevata 2002
-  Laghetto di ristagno rilevato 2002
-  Corso d'acqua (da CTP 1:5000)
-  Acquitrino (da carta I.G.M.I 1:25.000 del 1975)
-  Impluvio (derivato da DEM)

antropici

-  Drenaggio con ghiaio
-  Fosso (senza aggiunta di ghiaio)

In particolare, si è evidenziato che esistono diverse sorgenti ipodermiche, anche se effimere, nelle zone di coronamento, al contatto tra roccia della scarpata e materiali di frana, e come nell'area sorgente (specie S2 e S3) esistano diverse estese zone acquitrinose o umide, e anche veri e propri laghetti di ristagno con profondità dell'acqua durante l'intero anno anche superiore a di 1 m. Il confronto tra la situazione rilevata e quanto indicato nella cartografia non recente dell'IGMI, mette in evidenza come la situazione di ristagno diffuso o localizzato sia andata a peggiorare dal 1975 ad oggi, chiaro effetto del progressivo interrimento per abbandono della rete scolante secondaria.

6.5.2. Analisi geochimica delle acque superficiali e sotterranee

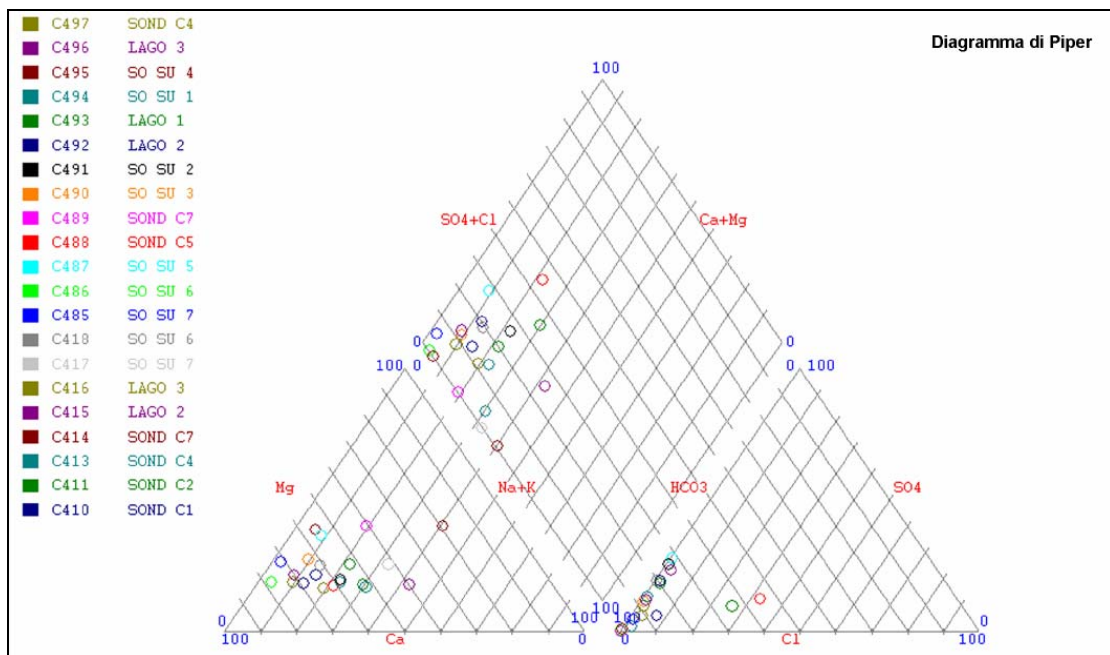
I campioni prelevati sono stati analizzati in laboratorio ed i risultati così ottenuti sono stati analizzati mediante l'ausilio di un Diagramma di Piper da cui l'analisi delle direttrici di evoluzione/mescolamento di fluidi.

I valori di temperatura, pH e conducibilità elettrica sono stati misurati all'atto del prelievo

Le analisi di laboratorio hanno riguardato: Ca, Mg, Na+K, Fe, Mn, HCO_3^- , SO_4^{2-} , Cl^- , NO_3^- , NH_4^+ , Br^- , I^- , Durezza.



L'utilizzo del digramma di Piper ha permesso una efficace visualizzazione dei principali gruppi geochimici presenti e ha permesso l'interpretazione della circolazione delle acque all'interno del corpo franoso mediante l'analisi delle direttrici di evoluzione/mescolamento.



Il maggior numero di campioni si localizza nella parte bicarbonato-alcalino-terrosa del diagramma, caratteristica tipica delle acque superficiali/poco profonde circolanti in litologie carbonatiche come quelle presenti. Si nota una direttrice di evoluzione con aumento di Na solo di alcune acque (parte alta frana) per le quali si presuppone un relativo approfondimento. Si tratta dei campioni prelevati in corrispondenza del sondaggio C4 e della zona di risorgive al coronamento della frana.

Un'ulteriore direttrice evolutiva si riscontra per le acque prelevate al piede del corpo di frana che denotano maggiori contenuti di Cl probabilmente imputabili alla presenza in quella zona della strada comunale che viene trattata con sale (NaCl) per prevenire la formazione di ghiaccio nel periodo invernale.

Le differenze principali che si notano sono quindi collegabili alla specifica zona della frana (parte alta, media o piede) in cui i campioni sono stati prelevati e non sono invece imputabili alle diverse profondità di campionamento. Non si notano infatti differenze significative tra i prelievi effettuati in superficie e in profondità.

In definitiva i dati ottenuti, interpretati sulla base del peculiare contesto geologico, sembrano convalidare l'ipotesi di una circolazione pressoché superficiale delle acque eccezion fatta per un locale e modesto approfondimento in corrispondenza della parte alta della frana.



6.5.3. Monitoraggio di afflussi meteorici

Le misure hanno evidenziato in modo chiaro come i valori di pioggia siano concentrate nei mesi estivi, con picchi anche fino ai 60-70 mm/giorno nel mese di luglio, e nel tardo autunno, dove queste assumono spesso carattere nevoso (come mostra la differenza tra 2002, dove invece è piovuto, e gli altri anni). Nell'elaborato cartografico sono riportati i dati giornalieri.

ID	mese	2000	2001	2002	2003	2004	Medie mensili
1	gennaio	11,4	20,4	2,8	8	16,2	11,76 mm
2	febbraio	5,6	8,2	41,6	2,6	17,2	15,04 mm
3	marzo	78,8	17,8	37	1,4	22,2	31,44 mm
4	aprile	56	6	79,6	27,6	30,6	39,96 mm
5	maggio	70,8	1	212,4	84,2	86,8	91,04 mm
6	giugno	93,4	0,8	109	116,4	95,2	82,96 mm
7	luglio	17,6	95,8	85,4	160	166,2	105 mm
8	agosto	15,6	81	101,4	88	92	75,6 mm
9	settembre	22,4	147,8	85,4	35,6	63,6	70,96 mm
10	ottobre	12	36,4	49,6	89,6	81,6	53,84 mm
11	novembre	6,2	18,2	368,6	188,6		145,4 mm
12	dicembre	3,4	0,8	38,8	25,8		17,2 mm
							740,2 mm
							Media Annua

Un grosso limite delle misure eseguite è che non è stato possibile trasformare le precipitazioni nevose in pioggia equivalente. L'ecometro della stazione meteo registra infatti il solo dato di copertura complessiva, ovvero il risultato di ablazione e accumulo, e non fornisce pertanto gli apporti nevosi giornalieri.

6.5.4. Monitoraggio portata Rutorto e Rio Chiesa

CARATTERISTICHE TECNICHE DELLE SEZIONI

- Stazione Rutorto, impostata sull'ultima briglie in cemento prima di Corvara, in cui sono stati installati:
 - asta idrometrica
 - sonda torbidimetrica (SOLITAX)
 - sensore livello pneumatico (PS-LIGHT)
 - supporti e accessori vari



- Stazione Rio Chiesa, impostata sull'ultima briglie in cemento prima di Corvara, in cui sono stati installati:
 - asta idrometrica
 - sonda torbidimetrica (SOLITAX)
 - sensore livello ad ultrasuoni (PROSONIC FDU81)
 - supporti e accessori vari



Le due stazioni su Rutorto e Rio Chiesa hanno in comune i seguenti componenti

- sistema acquisizione dati con cabina e accessori vari (MDS III)
- palo con pannelli solari
- tubo cavi verso le stazioni



La seconda sezione tarata sul Rutorto, ovvero quella prevista a monte della confluenza della frana nel fondovalle (utile per valutare le portate derivanti da bacini extra frana) non è stata realizzata, in quanto avrebbero dovuto essere disponibili le portate in corrispondenza dello sbocco dell'invaso Planac sul Rutorto, posto solo qualche centinaio di metri a monte della frana. In realtà, questi dati non sono mai stati resi disponibili.

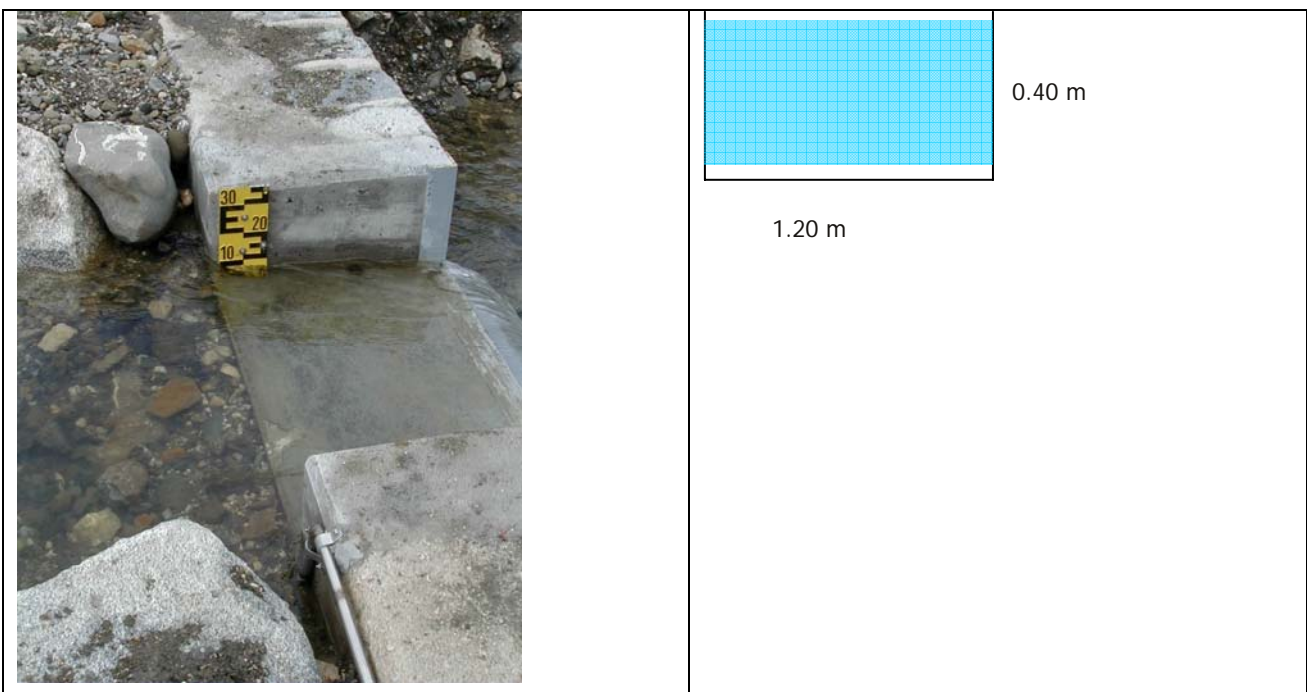
Per quanto riguarda l'operatività del sistema, va sottolineato che per ovvie ragioni non è possibile tener il sistema in funzione durante i mesi invernali. In particolare risulta necessario disinstallare i torbidimetri e disattivare i misuratori di portata (l'ecometro misurerebbe l'altezza della neve e il sensore livello pneumatico sarebbe ostruito dal ghiaccio). Ciò comporta una discontinuità temporale dei dati alla quale si potrà ovviare, in fase di interpretazione dei dati di deflusso liquido e torbido su base annua, solo con operazioni di estrapolazione.

Per quanto riguarda invece gli aspetti tecnico-strumentali, si è verificato frequentemente un'interruzione dell'acquisizione dei torbidimetri causa il blocco del dispositivo di pulizia delle membrane su cui avviene la lettura (wiper error). Il problema sembra essere stato risolto in settembre 2003, cambiando l'orientazione degli strumenti verso zone dove si risente meno delle turbolenze di flusso. Resta il fatto che i dati torbidimetrici sono attualmente fortemente discontinui e sarà quindi necessario basarsi prevalentemente sui dati che sono stati raccolti con una certa continuità, a partire da primavera 2004.

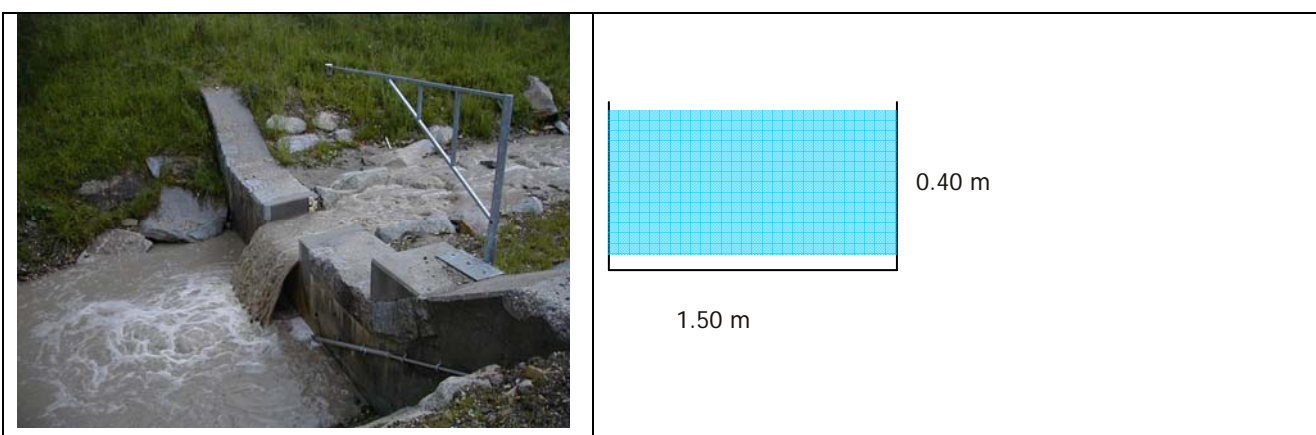


RICOSTRUZIONE DELLA CURVA DI DEFLUSSO CARATTERISTICA DELLE DUE SEZIONI

La scala di deflusso è stata ricostruita (partendo dall'assunto che nei loro pressi le caratteristiche geometriche siano costanti nella direzione del moto e che il corso d'acqua sia a debole pendenza tale che la linea piezometrica e la superficie libera siano praticamente coincidenti) sulla base dai valori reali di portata e livello idrometrico medio misurati (agosto 2002 – settembre 2004) in corrispondenza della sezione di riferimento sulla quale avviene il monitoraggio in continuo.



Sezione Rutorto





Sezione Rio Chiesa

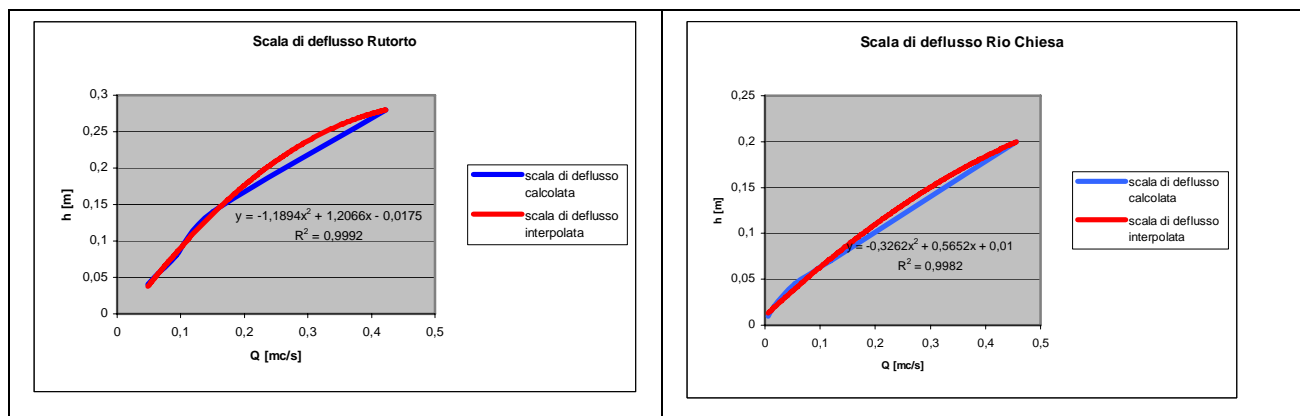
I dati evidenziati di seguito sono stati utilizzati al fine di ottenere una relazione sperimentale che consentisse di interpolare la scala di deflusso.

data	(Rutorto)	altezza idrometrica media (m)	portata (m ³ /s)
27/08/2002		0,1	0,1
18/09/2002		0,09	0,081
02/10/2002		0,14	0,151
28/11/2002		0,52	1,633
02/05/2003		0,28	0,423
10/07/2003		0,095	0,127
05/09/2003		0,06	0,069
02/10/2003		0,04	0,048
28/09/2004		0,08	0,093

data (rio Chiesa)	altezza idrometrica media (m)	portata (m ³ /s)
27/08/2002	0,02	0,014
18/09/2002	0,01	0,019
02/10/2002	0,045	0,055
28/11/2002	0,2	0,456
02/05/2003	0,07	0,119
10/07/2003	0,02	0,018
05/09/2003	0,02	0,01
02/10/2003	0,01	0,006
28/09/2004	0,025	0,015
valore mediato per il periodo agosto 2002-luglio 2003	0,02	0,016

Nei grafici seguenti è rappresentata la curva di deflusso ed il polinomio di interpretazione.

- Per Rutorto utilizzando la formula $y = -1,1894x^2 + 1,2066x + 0,0175$ è possibile ricavare i valori dell'altezza idrometrica y , noti i valori di portata Q e viceversa.
- Per Rio Chiesa utilizzando la formula $y = -0,3262x^2 + 0,5652x + 0,01$ è possibile ricavare i valori dell'altezza idrometrica y , noti i valori di portata Q e viceversa.



Utilizzando pertanto tali polinomiali per le serie di misure ottenute, è stato possibile definire la portata specifica dei due corsi d'acqua nel tempo.

Il confronto con l'andamento delle precipitazioni mostra chiaramente che la correlazione diretta tra pioggia e portata è molto stretta nei mesi estivi (con tempi di ritardo di alcune ore tra picco di precipitazione e picco di portata) e più blanda nei mesi primaverili (con picchi di precipitazione a volte non seguiti da picchi di portata), dove assume maggior rilievo l'afflusso derivante dallo scioglimento della neve.

Visto che non si dispongono dati per i mesi invernali, non è comunque possibile stabilire il deflusso complessivo annuo. Inoltre, la portata di Rutorto risente anche dell'afflusso dal bacino dell'invaso Planac, che non è noto se non a grandi linee (la prevista stazione di misura della ditta gestrice non è mai stata realizzata).

Con tali limiti, è possibile arrivare a definire un deflusso medio nei mesi primaverili ed in quelli estivi.

Portata media	Rutorto	Rio Chiesa
Primavera (apr-mag)	0.45 (mc/sec)	0.28 (mc/sec)
Estate (lug - ott)	0.15 (mc/sec)	0.08 (mc/sec)

Per quanto riguarda la torpidità, i risultati saranno ripresi nel § 10 "Bilancio di Massa". Si può anticipare che, pur con tutte le incertezze legate al fatto che i periodi di effettivo funzionamento dei torbidimetri sono stati limitatissimi, ed in assenza dei valori invernali, si sono stimati valori medi di trasporto in sospensione nel periodo primaverile-estivo di 13 gr/litro per Rutorto e 10 gr./litro per Rio Chiesa.



7.3. Campagne di misura

Per quanto riguarda gli inclinometri e i TDR, nelle diverse componenti morfologiche del corpo di frana, ovvero area sorgente, zona di trasporto e zona di accumulo, sono stati installati (Fig. 7.1):

- 7 tubi inclinometrici (alluminio, diam. 93 mm);
- 3 cavi TDR di grande diametro (diam. 1 +5/8 inc.).

Gli inclinometri sono stati misurati con frequenza media di 3 letture/anno. Sui cavi TDR sono state eseguite mediamente 2 letture/anno.

Per quanto riguarda i piezometri, nelle diverse componenti morfologiche del corpo di frana, ovvero area sorgente, zona di trasporto e zona di accumulo, sono stati installati

- 4 trasduttori di pressione inseriti in tubi inclinometrici non sigillati e non cementati, che hanno permesso di misurare i livelli di falda "libera"
- 4 trasduttori di pressione inseriti in tubi piezometrici microfessurati solo per tratti variabili tra 5 e 10 m comprendenti le superfici di scorrimento, che hanno permesso di misurare i livelli di falde semiconfiniate interne al corpo di frana corrispondenti alle zone di scorrimento della frana stessa.
- 1 trasduttore di pressione inserito in piezometro di grande diametro sito al coronamento di frana (sondaggio C7, e poi C7 bis, ove sono stati anche condotti approfondimenti riguardanti i reali livelli idrici produttivi (con misure termometriche) e stime della possibile portata di eventuali sistemi di emungimento operanti negli stessi.

Le misure piezometriche sono state eseguite in modalità semi-continua utilizzando trasduttori di pressione elettrici marca DRUCK (con fondo-scala variabile nelle diverse installazioni da 5, 10 e 20 m/H₂O) collegati a dataloggers.

7.4. Gestione ed elaborazione dati

- Misure inclinometriche. Sono state eseguite con passo di campionamento dal basso di 0.5 m utilizzando sistema SINCO Digitilt Datamate Indicator, con sonda bi-assiale 50325-M tarata prima di ogni lettura. I dati di ogni misura sono stati corretti per eventuali errori di rotazione, sensibilità e zero-offset con software sviluppato da Irpi-CNR (inclin k). Le elaborazioni hanno riguardato: movimento per punti (diff. locale), movimento cumulato (diff. cumulato), azimuth, spostamento totale vs. tempo (con riferimento a diverse profondità ritenute rappresentative di superfici di scorrimento sovrapposte). Nel caso di tubi inagibili oltre una determinata profondità, l'entità degli spostamenti e la direzione degli stessi, per la presenza di superfici di scivolamento più profonde, è da considerarsi relativa alla profondità raggiunta.



- Misure TDR. Sono state eseguite tramite oscilloscopio 1502B Tektronix TDR Metallic Cable Tester, ed elaborate con l'allegato software. In particolare, i risultati delle misure TDR sono stati rappresentati sotto forma di "firme" del cavo, che rappresentano l'andamento dell'impedenza (in Ω sull'asse Y) in relazione alla lunghezza del cavo (profondità, in asse X). Per ogni misurazione del cavo sono state elaborate una "firma totale", che rappresenta tutto il cavo, e "firme "parziali" che sono degli zoom su determinate porzioni del cavo.

- Misure piezometriche. Sono stati impostati tempi di acquisizione di 30 minuti. I dati acquisiti dai sensori sono stati scaricati dai dataloggers in più riprese e da questi trasferiti a fogli di calcolo per elaborazione. In particolare, i dati sono stati sintetizzati in livelli di picco giornalieri. Questo dato, è stato poi elaborato e graficato contestualmente alle precipitazioni giornaliere.

7.5. Risultati

I grafici di tutti gli strumenti sono in larga parte rappresentati in carta, e sono riprodotti in forma completa nell'Allegato A "Inclinometrie e Piezometrie".

7.5.1. Inclinometri e cavi TDR

Le misure inclinometriche hanno evidenziato la presenza di alcune superfici di scivolamento, sinteticamente indicate in Tabella seguente e visibili nelle rappresentazioni grafiche incluse nella carta. Nella tabella sono riportate, per completezza, anche le superfici di scivolamento rilevate con precedenti misure nei tubi inclinometrici attualmente inagibili oltre determinate profondità ed una stima dei tassi di velocità.

Codice Inclinometro	Prof. totale	Data prima misura di riferimento	Prof. superficie di scivolamento principale	Velocità stimata (mm/giorno)	Prof. di rottura tubo	Data prima misura dopo rottura	Prof. superfici scivolamento secondarie dopo rottura	Velocità stimata (mm/giorno)
C1	54 m	23/09/1997	-	-	-	-	-	-
C5	52 m	24/09/2001	34.5-37 m	0.44	33 m	15/05/2002	16 m, 12 m	0.01 0.01
C2	55 m	23/09/1997	31.5 m	0.39	29 m 22 m	25/09/2001	12, 8 m	0.02
C6	98 m	20/12/2000	47-49 m	0.66	46 m	21/05/2001	20-22 m	0.002
C3	55 m	24/09/1997	18 m	0.79	18 m	8/6/1998	15 m	0.39
C4	65 m	23/09/1997	43 m	0.31	40 m	22/11/2000	31 m	0.01
C8 (frana Ariara)	79 m	23/11/2000	11 m	0.45	11 m	21/05/2001	-	-



Le misure TDR (cavi in sondaggi C5, C6, C8) hanno confermato:

- le superfici di scivolamento in C6 a 48 m di profondità (il cavo TDR si è tranciato fra la terza e quarta lettura di agosto e novembre 2001)
- movimenti in C5 a profondità comprese fra 2 e 7 m ca. dal piano di campagna.
- Il cavo C8 ha sempre invece avuto un funzionamento anomalo, non mostrando alcuna superficie netta, nonostante l'adiacente tubo inclinometrico sia andato rapidamente a rottura.

Ritornando ai dati inclinometrici, per quanto riguarda la velocità di traslazione lungo le superfici di scorrimento, va fatto notare che solitamente le superfici profonde si sono dimostrate anche essere le più veloci, portando alla rottura i tubi inclinometrici in tempi più brevi rispetto le più superficiali. La stima della velocità nelle superfici profonde è pertanto resa incerta proprio dal fatto che si sono avute poche registrazioni. Ciononostante, è stato possibile apprezzare che:

- nella zona sorgente S3, le velocità media sulla superficie a 43 m in C4 è stata nell'ordine dei 0.31 mm/giorno (ca. 1 cm/mese), paragonabile con quanto verificato con le misure GPS in superficie (Cf § 8, caposaldo 24), indicativo, assieme alla bassissima velocità nella superficie più superficiale (-31 m, 0.01 mm/giorno), che pressoché tutto il movimento avviene alla profondità di 43 m;
- nella porzione intermedia della zona di trasporto "T", la velocità sulla superficie di scorrimento a 18 m di profondità in C3 sono stati di circa 0.79 mm/mese (24 mm/mese) nettamente superiori a quelli in S3, indicativo che i movimenti nella zona di trasporto risentono fortemente degli apporti tramite "colata" provenienti dalla zona sorgente S2;
- a valle della porzione finale della zona di trasporto "T", ovvero nella zona alta dell'accumulo A, ed in particolare nei pressi della casa Costes da L'Ega, la spinta data dai movimenti della zona di trasporto si avverte ancora notevolmente. La superficie a ca. 48 m in C6 ha infatti avuto una velocità nell'ordine di 0.66 mm/giorno, ovvero ca. 2 cm/mese. Anche in questo caso le superfici meno profonde sono del tutto secondarie (0.002 mm/giorno a 22 m), e difatti il valore del tasso di spostamento, 2cm/mese, a 48 m di profondità è del tutto analogo a quello registrato dal GPS (Cf. caposaldo 8 in §8);
- nel tratto intermedio dell'accumulo A, il tasso di deformazione decresce sensibilmente, così come anche diminuisce la profondità delle superfici di scorrimento. Gli inclinometri C2 e C5 mostrano infatti una pressoché analoga superficie di scorrimento attorno ai 30-35 m di profondità dove il tasso di movimento è stato in entrambi i casi di circa 0.4 mm/giorno (= a ca. 1.2 cm/mese). Anche in questo caso le superfici meno profonde sono poco influenti sulla deformazione complessiva, come dimostra la corrispondenza tra



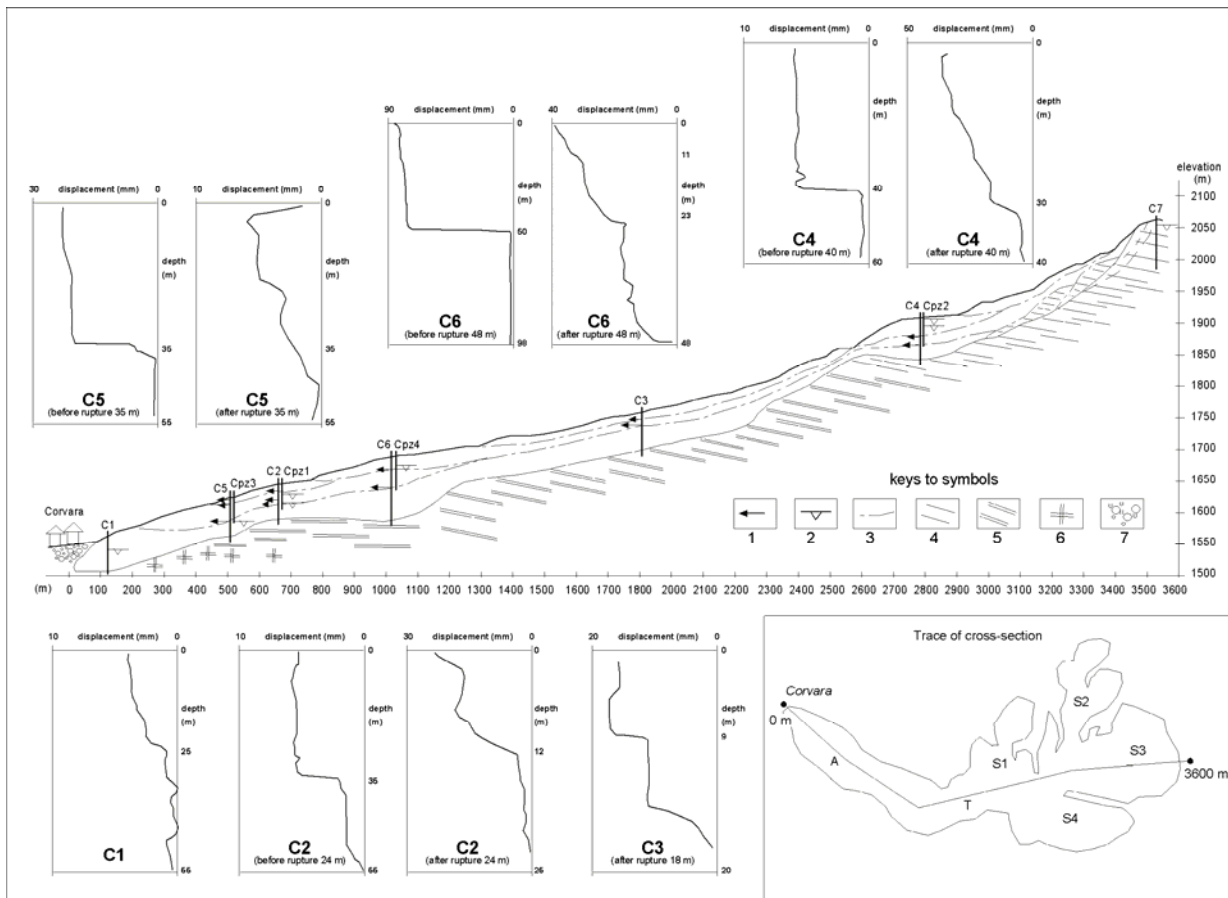
il valore di velocità a 30-35 m e quello di superficie misurato con GPS (Cf. capisaldi 4, 6 in § 8);

- il piede della frana, appena a monte di Corvara, è pressoché fermo, non avendo C1 individuato alcuna superficie netta.

A causa della cadenza quadrimestrale delle misure inclinometriche, non è possibile stabilire quali siano le velocità di picco nelle superfici di scorrimento (che potrebbero essere anche molto superiori in occasione di eventuali "pulsazioni"), e come queste si correlino col regime di precipitazioni e dei livelli piezometrici. Dal punto di vista qualitativo si è comunque riscontrato che i valori medi tra due misure successive rimangono abbastanza costanti in tutti gli intervalli stagionali coperti, con alcuni limitati incrementi a cavallo del periodo maggio-settembre. Ciò potrebbe indicare che la velocità del corpo di frana nella zona d'accumulo può risentire maggiormente dall'influenza delle precipitazioni rispetto il periodo dominato dallo scioglimento della neve. Quest'ultimo, inoltre, dalle evidenze di campagna, sembra invece la causa dell'intensificarsi dei movimenti più superficiali tipo "colata" che si verificano nell'area sorgente S2 e nella parte alta della zona di trasporto. E' anche possibile che proprio in virtù di ciò, il periodo estivo sia proprio quello durante il quale il sovraccarico causato dalle colate primaverili sviluppatasi nell'area sorgente e nella zona di trasporto si trasmette verso valle nella zona d'accumulo dove si registrano al contempo picchi piezometrici legati alle maggiori piogge (vedi Paragrafo successivo).

Una sezione interpretativa delle multiple superfici di scorrimento attive rilevate nella frana è nella figura seguente.

Da tale schema si evince che nel corpo di frana esistono sempre più superfici sovrapposte, piuttosto nette (che si sviluppano in intervalli di 2-3 m), e una superficie più profonda che caratterizza l'intero corpo con un movimento di "scivolamento traslativo" senza significative deformazioni progressive tipiche delle colate. Moti di tipo "colata", sono visibili macroscopicamente in altre zone della frana, dove le velocità sono tali da non aver permesso l'installazioni di strumenti. Si ipotizza però che tali movimenti di colata abbiano spessori tutto sommato limitati (max 10-15 m).



Sezione basata su dati di prospezione e monitoraggio.

1: superficie di scorrimento attiva misurata; 2: livello di falda misurato; 3: superficie di scorrimento attiva ipotizzata;
 4: Fm. S. Cassiano Formation; 5: Fm. La Valle; 6: Fm. Fernazza; 7: Depositi alluvionali.

Si può infine apprezzare, nella tabella seguente, come i rapporti tra la quota delle superfici di scorrimento principali nei diversi inclinometri ed i corsi d'acqua loro circostanti varino muovendosi da monte verso valle. In particolare, nella zona bassa dell'area sorgente S3 è attiva una superficie di una decina di metri più profonda del più vicino corso d'acqua. Nella zona di trasporto T e nella parte alta dell'accumulo A (ovvero in C3 e C6) si riscontra la stessa situazione. Questo sta anche ad indicare che il movimento nella zona del Golf, sviluppandosi più profondamente della quota del Rutorto, potrebbe portare, in occasione di un generale avanzamento della frana, ed un restringimento complessivo della sezione del Rutorto.

Verso valle nella zona d'accumulo A (inclin. C5 e C2), il maggiore movimento avviene su una superficie che è più alta rispetto al Rutorto e più bassa del Rio Chiesa. Questo ha due implicazioni. Sul Rutorto potrebbero verificarsi collassi laterali abbastanza localizzati con la parziale ostruzione del corso d'acqua. Inoltre, l'acqua del Rio Chiesa, come si vedrà anche dai



dati piezometrici, ha la possibilità di filtrare entro il corpo di frana verso la superficie di scorrimento.

Superfici di scorrimento vs. quota corsi d'acqua circostanti									
SONDAGGIO	QUOTA	Prof. Sup. Scorr	Q_sup	Q_Rutorto	dQ_Rutorto	Q_Rio Chiesa	dQ_Rio Chiesa	Q_Rio Confin	dQ_Rio Confin
C1	1585			1555		1555			
C5	1625	36	1589	1585	4	1614	-25		
C2	1640	31	1609	1601	8	1635	-26		
C6	1685	48	1637	1667	-30	1675	-38		
C3	1760	18	1742			1745	-3	1750	-8
C4	1905	43	1862					1875	-13

7.5.2. Piezometri

Le misure piezometriche, come detto, hanno avuto due funzioni principali:

- individuare il range di fluttuazione delle acque distribuite complessivamente nel corpo di frana, assimilandole ad un ipotetico acquifero "libero";
- individuare il range di fluttuazione della pressione idrica esistenti in quegli orizzonti specifici, tendenzialmente più ghiaiosi, che corrispondono alle superfici di scorrimento individuate dagli inclinometri, e che potrebbero rappresentare livelli acquiferi confinati o semiconfinati dai quali si hanno livelli salienti rispetto la quota fisica di fenestrazione, che sarebbero indicativi di sovrappressioni negli orizzonti di scorrimento.

Per quanto riguarda il primo aspetto, si sono utilizzati essenzialmente come tubi piezometrici quegli inclinometri non sigillati e non cementati. Nel secondo caso si sono utilizzati tubi microfessurati per intervalli comprendenti le superfici di scorrimento.

I risultati sono sintetizzati nella tabella seguente:

Codice Piezom.	Tipo tubo	Profondità tratti microfessurati	Zona (cf. zone in §1)	Range Falda	Tipo falda misurata
C1	Inclinometro non cementato con giunti non sigillati	55 m	terminazione zona A	19 ÷ 21 m	libera
Cpz3	Tubo aperto Ø 2 inc	30 ÷ 40 m	parte bassa zona A	39 ÷ 40 m	confinata (non saliente)
Cpz1	Tubo aperto Ø 2 inc	33 ÷ 39 m	parte medio-bassa zona A	32 ÷ 33 m	confinata (non saliente)
C2	Inclinometro non cementato con giunti non sigillati	55 m	parte media zona A	3 ÷ 16 m	libera
Cpz4	Tubo aperto Ø 2 inc	42 ÷ 54 m	parte alta zona A	17 ÷ 18 m	confinata (saliente)
C4	Inclinometro non cementato con giunti non sigillati	60 m	parte bassa zona S3	0 ÷ 8 m	Libera
Cpz2	Tubo aperto Ø 2 inc	39 ÷ 45 m	parte bassa zona S3	1 ÷ 8 m	confinata (saliente)
C7	Tubo aperto mØ 4 inc	88 m	Coronamento zona S3	5 ÷ 10 m	libera
C7bis	Tubo aperto Ø 170 mm	25 ÷ 30 m 79 ÷ 83 m	Coronamento zona S3	17 ÷ 18 m	2 confinate? (leggermente salienti)



In estrema sintesi, da monte verso valle, va fatto notare che:

- la falda "libera" nel pz. C4 arriva spesso fino al piano campagna, cosa peraltro attesa visti i notevoli ristagni d'acqua circostanti e presenti in tutta l'area sorgente S3;
- la falda "confinata" alla superficie di scorrimento in C4 (monitorata da Cpz2), si trova in pressione ed è difatti fortemente saliente, con fluttuazioni che la portano fino quasi al piano campagna;
- la falda "confinata" alla superficie di scorrimento in C6 (monitorata da Cpz4 - parte alta zona A), si trova anch'essa in pressione ed è difatti saliente, arrivando nei pressi dei circa 20 m dal p.c.;
- nella parte medio bassa dell'accumulo le falde "confinata" corrispondenti alle superfici di scorrimento (monitorate in Cpz1 e Cpz3) non sono salienti. Inoltre, il livello della falda complessiva "libera" decresce progressivamente verso valle.

Per tutti questi piezometri, il rapporto tra livello di falda (libera o confinata) ed il livello idrogeologico di "base" rappresentato dai corsi d'acqua circostanti, è sintetizzato nella tabella seguente, dalla quale si nota che:

- nella zona d'alimentazione S3 (C4, Cpz2) possono instaurarsi moti di filtrazione verso il fronte del settore morfologico, diretti verso il recapito del Rio di Confin;
- nell'accumulo della frana l'azione del Rio Chiesa è sempre potenzialmente alimentante, cosa peraltro notata anche dai rilievi geoelettrici, mentre il Rutorto risulta fondamentalmente drenante rispetto la falda nel corpo di frana. Quest'ultima situazione viene meno solo nella parte terminale dell'accumulo, dove anche il Rutorto potrebbe in parte essere alimentante.

Livelli falda vs. quota corsi d'acqua circostanti									
SONDAGGIO	QUOTA	Falda min	Q_falda	Q_Rutorto	dQ_Rutorto	Q_Rio Chiesa	dQ_Rio Chiesa	Q_Rio Confin	dQ_Rio Confin
C1	1585	20	1545	1555	-10	1555	-10		
Cpz3	1625	40	1585	1585	0	1614	-29		
C2	1640	10	1630	1601	29	1635	-5		
Cpz1	1640	32	1608	1601	7	1635	-27		
Cpz4	1685	17	1668	1667	1	1675	-7		
C4	1905	4	1901					1875	26
Cpz2	1905	4	1901					1875	26

Per quanto riguarda l'andamento delle fluttuazioni delle falde rispetto le precipitazioni, si può notare dai grafici nell'elaborato cartografico che:

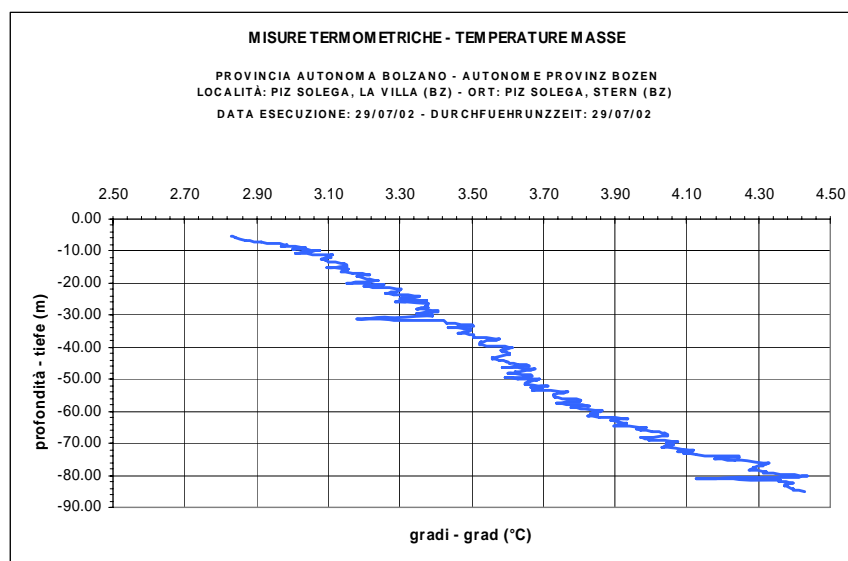
- nell'are sorgente S3: il piezometro C4 ha picchi che seguono abbastanza fedelmente le precipitazioni ed un livello "di base" che da giugno 2000 ha subito un irreversibile aumento, forse ricollegabile con una variazione sostanziale dei pattern d'alimentazione



- legata al movimento della frana stessa; il piezometro Cpz2 ha picchi specifici che seguono abbastanza fedelmente le piogge, ma livelli "di base" variabili in funzione dell'andamento plurimensile delle precipitazioni;
- nella parte alta e media della zona d'accumulo si rileva comunque una piuttosto stretta connessione tra picchi (comunque di entità limitata) e piogge, con livelli "di base" apparentemente poco influenzati dal regime delle precipitazioni a lungo termine.

Una trattazione a parte merita il piezometro C7, realizzato per verificare i livelli d'alimentazione idrica profonda della frana eventualmente provenienti dalla zona di coronamento.

Il piezometro C7 ha evidenziato che, in profondità, si rinvengono zone (nella fattispecie nei tratti da 48-50 m e 66-83 m in cui prevalevano arenarie vulcanoclastiche roccia nera "tenera o "dura") che danno luogo a venute d'acqua ben evidenti anche nel rilievo termometrico realizzato nel 2002 (vedi figura seguente).



Termometria in C7

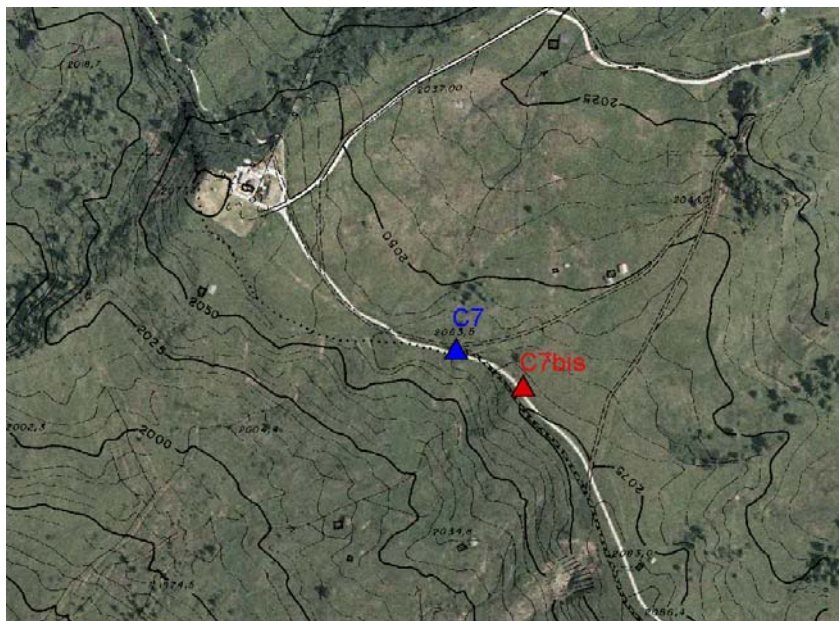
In generale, tale stratigrafia è riconducibile agli ammassi rocciosi triassici della formazione di S. Cassiano (i primi 16 metri) e della Formazione di La Valle (tutto il resto). Dal punto di vista litologico, quest'ultima formazione è in questa zona caratterizzata - come si vede anche dai vicini affioramenti nella cresta del Bioch- da banchi di arenarie nerastre di origine vulcanoclastica di spessore decimetrico fino a metrico, alternate a pacchi da decimetrici a metrici di argilliti sovraconsolidate in strati centimetrici.



Il livello complessivo generato dall'apporto di tutti i livelli produttivi, è di una falda a 5-10 m dal piano campagna, con picchi ben correlabili alle precipitazioni.

Un sistema drenante di tale falda per la stabilizzazione delle scarpate, potrebbe essere utilizzato anche per reperire acqua ai fini dell'innevamento programmato; per tale motivo è stato effettuato un foro-pozzo di prova, denominato C7 bis, finalizzato al raggiungimento di questi livelli "produttivi".

Il pozzo C7bis è stato perforato nel periodo 13-20 ottobre 2004 dalla Landservice di Bolzano (supervisore di cantiere Dott. Geol. S. Valle - Landservice, supervisore scientifico Dott. A. Corsini - Unimo), nella posizione raffigurata in Figura, ovvero a circa 40 m di distanza del precedente pozzo C7.



Localizzazione sondaggi C7 e C7bis

La perforazione è avvenuta con metodi a distruzione di nucleo utilizzando sonda Odex ϕ 219 mm (0 - 16.5 m) e Tricono ϕ 205 mm (16.5 - 95 m). La stratigrafia di pozzo, desunta dall'analisi del *cutting*, e le venute d'acqua individuate durante la perforazione sono descritte in nell'allegato.

La perforazione del pozzo C7bis ha invece evidenziato argilla con ciottoli fino a 18 m, riferibile a Fm. di S. Cassiano, e poi i seguenti livelli riferibili a Fm. di La Valle: argilla nerastra, solo localmente sovraconsolidata 18-79 m, roccia nera compatta da 79-83 m e poi, nuovamente, argilla nerastra con alcuni strati decimetrici di roccia nera 83- 95 m.



L'argilla nerastra rinvenuta per lunghi tratti della perforazione rappresenta, presumibilmente, sia le argilliti che il prodotto dell'alterazione pressoché totale degli strati arenacei vulcanoclastici della Formazione di La Valle.

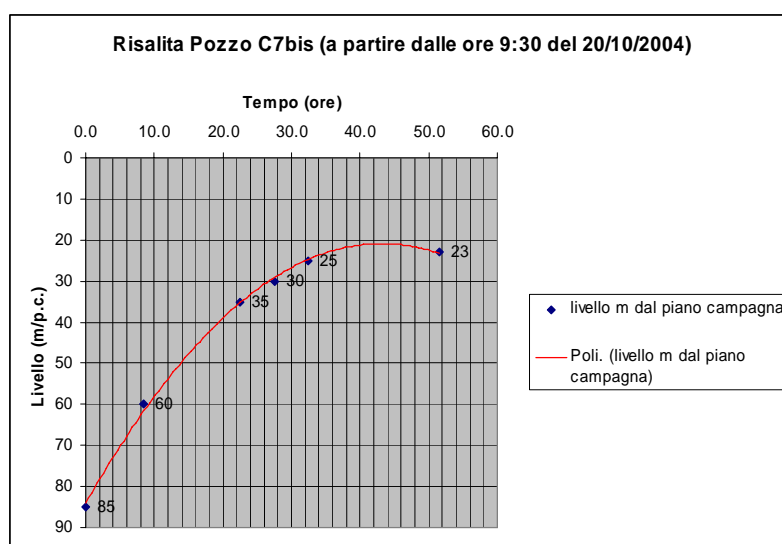
In questo contesto stratigrafico si sono rilevate deboli venute d'acqua a circa 22-25 m, mentre per il resto la perforazione è proseguita in assenza di venute /circolazioni d'acqua significative, anche, purtroppo, nell'orizzonte 79-83 m di roccia compatta.

Alla luce di ciò, si è deciso di procedere al posizionamento dei 20 m previsti di tubo-filtro ϕ 170 mm (già in cantiere) nel tratto 25-30 m (per captare la venuta più superficiale) e 80-95 m (per captare il tratto al di sotto dell'orizzonte 79-83 m).

Inoltre, vista la scarsità d'acqua rinvenuta, si è ritenuto opportuno non procedere con le previste prove di pompaggio a gradini di portata, ma di fare una semplice prova in risalita

giorno/ora	dT (ore)	livello m dal piano campagna
20/10/04 9.30	0.0	85
20/10/04 18.00	8.5	60
21/10/04 8.00	22.5	35
21/10/04 12.00	27.5	30
21/10/04 17.00	32.5	25
22/10/04 12.00	51.5	23

Il pozzo è stato infatti completamente svuotato il giorno 20/10/04 e si sono misurati gli innalzamenti fino al giorno 22/10/04, come riportato nella Tabella seguente e nel grafico seguente.



Curva di risalita nel pozzo C7bis

Si nota come nel tratto iniziale la linea di tendenza mostri un innalzamento nell'ordine dei 2 metri/ora. Essendo la sezione del tubo pari a circa 0.023 m^2 , si tratta di un volume d'acqua di

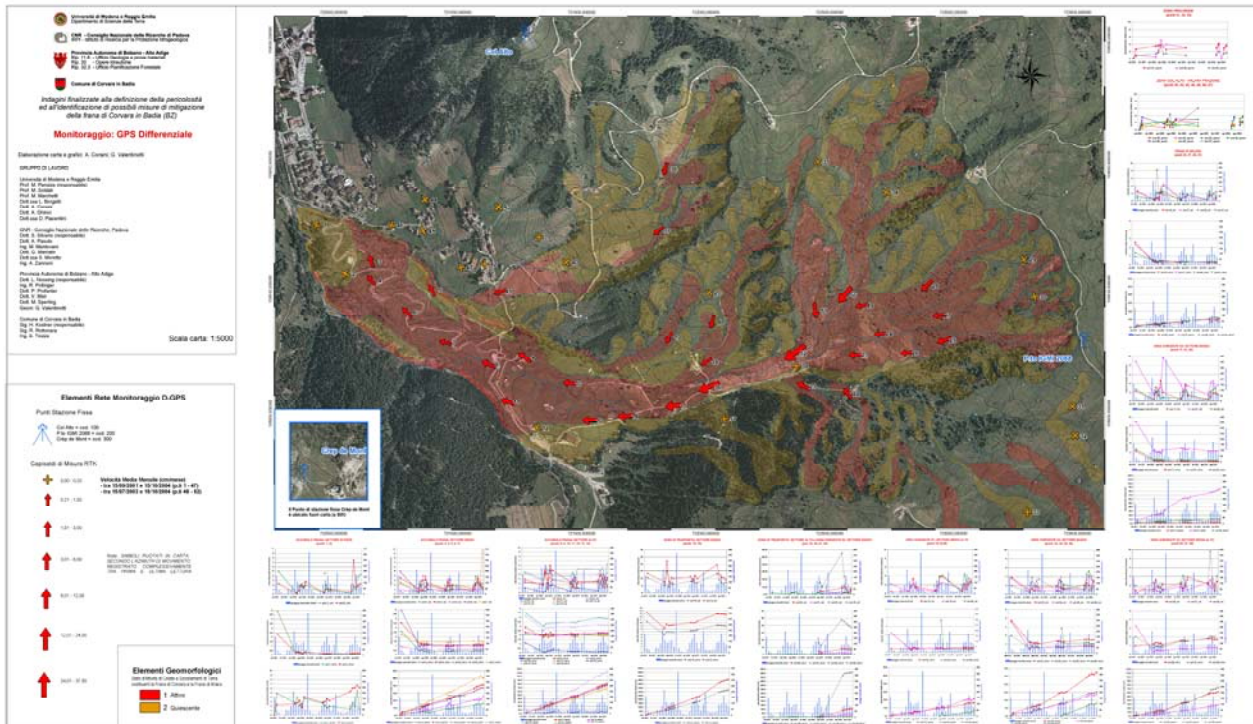


0.045 m³, ovvero circa 45 litri, che danno un afflusso medio nel tratto iniziale di risalita stimabile in circa 0.75 litri/min.

Le ragioni geologiche del fatto che nella posizione del pozzo C7bis non si sono rinvenuti gli stessi orizzonti produttivi individuati in precedenza nel pozzo C7, sono essenzialmente da ricondursi, alla prova dei fatti, all'estrema eterogeneità dello stato d'alterazione i terreni, sia in linea verticale che lateralmente. La forte alterazione degli strati vulcanoclastici riscontrata nel pozzo C7bis, è indicativa di un originale stato di forte fratturazione, che, comunque, non pare riconducibile alla presenza di faglie in senso stretto (delle quali non vi sono evidenze) ma più probabilmente a fasci di fratture coniugate, forse, con lo sviluppo delle faglie, anche ritenute neotettoniche, presenti più a valle nel versante.



8 Monitoraggio: GPS differenziale



8.1. Obiettivi

Ottenere un quadro complessivo dei movimenti di versante nelle aree che insistono sull'abitato di Corvara e la sua frazione Arlara e che, presentando evidenti indizi geomorfologici di passata dinamica gravitativa, richiedevano la necessaria attenzione.

8.2. Soggetti coinvolti

- la creazione di capisaldi di misura e dei punti esterni è stata eseguita dalla Rip. Bacini Montani della PAB;
- le campagne di misura sono state condotte dal personale dell'Ufficio Pianificazione Forestale della PAB, che ha anche eseguito la correzione e tabulazione dei dati;
- la posizione dei capisaldi è stata indicata dal gruppo di ricerca UNIMO - IRPI-CNR, che ha anche curato la successiva elaborazione dei dati in formato tabulare e cartografico.



8.3. Campagne di misura

La maggior parte dei capisaldi misurati sono posti sul corpo della frana di Corvara. L'area monitorata si estende però anche oltre il corpo della frana di Corvara, ovvero comprende l'intero versante che si estende dal Col Alto al Pralongià.

Le misure sono state eseguite con metodo RTK (*Real Time Kinematics*) utilizzando:

- un ricevitore doppia frequenza con funzione di *rover* spostato e fatto stazionare su una rete di complessivi 52 capisaldi di misura monumentalizzati in zone instabili del versante Col Alto – Pralongià;
- due ricevitori doppia frequenza con funzione di stazioni *master* posizionate, durante le campagne di misura, in 2 punti fissi esterni monumentalizzati in zone stabili circostanti il versante (Col Alto, p.to quotato IGMI 2088, Crép de Mont).

Nel periodo di sperimentazione della rete di monitoraggio GPS sono state eseguite complessivamente 15 campagne di misura, di cui nello specifico:

- per i capisaldi da #1 a #47 nei mesi 9/2001; 10/2001; 6/2002; 7/2002;8/2002; 9/2002;10/2002; 6/2003; 7/2003; 8/2003; 9/2003; 6/2004; 7/2004; 8/2004; 9/2004; 10/2004 (*nota: il caposaldo #42 è andato perso tra le misure 10/2001 e 6/2002*);
- per i capisaldi da #48 a #52 nei mesi 7/2003; 8/2003; 9/2003; 6/2004; 7/2004; 8/2004; 9/2004; 10/2004.

Questi ultimi capisaldi sono stati infatti creati solo nel 2003, allo scopo di integrare la rete in zone ritenute critiche o lasciate scoperte. Contestualmente, a partire da luglio 2003 alcuni capisaldi del set precedente sono stati misurati con minor frequenza, in quanto non hanno rilevato spostamenti significativi.

8.4. Gestione ed elaborazione dati

I dati derivanti dalle campagne di misura hanno subito il seguente iter d'elaborazione

- correzione differenziale: in real-time o post processing con software specifico (a cura di Ufficio Pianificazione Forestale);
- tabulazione dati relativi alle singole campagne di misura in fogli di lavoro excel (a cura di Ufficio Pianificazione Forestale);
- integrazione dati delle campagne di misura in unico foglio di lavoro excel, e loro riorganizzazione ed elaborazione per la creazione di grafici velocità-tempo e spostamento-tempo, anche in rapporto alle precipitazioni (a cura di Unimo);
- rappresentazione cartografica dei dati tramite sistema GIS (AV.8.2) (a cura di Unimo).

Definizione della pericolosità e identificazione di opere di mitigazione della frana di Corvara in Badia

RELAZIONE TECNICO-ILLUSTRATIVA



Microsoft Excel - Corvara_GPS_dati_tot_ok.xls

File Modifica Visualizza Inserisci Formato Strumenti Dati Finestra 2 Digitare una domanda.

T297 =G297.G34

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y
297	20	15922002	1722326.21	515446.16	2021.23	2972.53	-0.02	-0.01	0.01	0.02	0.02	1.00	1.01	-174.94	-0.02	-0.01	-0.00	0.02	-0.00	0.03	12.00	0.25	-152.54	62.715
298	21	15922002	1723440.45	515402.59	2044.59	2986.19	-0.08	0.01	0.07	-0.02	0.16	0.16	1.00	15.84	175.97	-0.10	0.01	-0.04	-0.14	0.12	0.18	12.00	1.84	145.8150226
299	22	15922002	1723440.74	515731.04	2052.26	3104.19	-0.01	0.01	0.02	0.02	0.01	0.02	1.00	2.44	111.19	-0.01	0.01	-0.03	-0.03	0.01	0.03	12.00	0.17	152.1217995
300	23	15922002	1723249.21	515719.45	2052.26	3115.71	-0.01	0.01	0.02	0.02	0.01	0.02	1.00	1.91	51.94	-0.01	0.01	-0.01	-0.01	0.01	0.01	12.00	0.11	-187.0527175
301	24	15922002	1723228.12	515818.20	1971.21	2922.41	-0.01	-0.00	0.02	0.02	0.01	0.02	1.00	2.36	-21.80	-0.00	-0.01	-0.01	-0.01	0.00	0.01	12.00	0.04	-115.7448321
302	25	15922002	1723452.40	515903.49	1992.27	2947.43	-0.01	-0.01	0.02	0.02	0.01	0.02	1.00	2.59	-145.01	-0.01	-0.00	-0.01	-0.01	0.00	0.01	12.00	0.11	-157.7252241
303	26	15922002	1723516.50	515935.43	1975.27	2975.47	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	0.02	0.02	1.00	2.19	-215.01	-0.01	-0.00	-0.01	-0.01	0.00	0.01	12.00	0.00	-153.2444303
304	27	15922002	1721809.43	515735.20	1814.70	1855.90	-0.00	0.00	-0.04	-0.04	0.01	0.04	1.00	3.74	105.70	-0.02	-0.02	-0.05	-0.05	0.02	0.02	12.00	0.44	-140.7827271
305	28	15922002	1722345.50	515910.99	1923.26	1914.15	-0.00	-0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	1.00	2.00	-23.55	-0.02	-0.02	-0.02	-0.02	0.00	0.00	12.00	0.17	-145.2301241
306	29	15922002	1723127.03	515731.26	1792.40	1792.40	-0.00	-0.00	-0.02	0.01	0.02	1.00	2.14	-15.25	-0.00	-0.00	-0.02	-0.02	0.00	0.00	0.00	12.00	0.10	110.0000000
307	40	15922002	1721426.50	515810.99	1747.75	1749.75	0.00	0.01	-0.02	-0.02	0.01	0.02	1.00	3.02	59.74	-0.02	0.00	-0.04	-0.04	0.02	0.04	12.00	0.18	174.2184945
308	41	15922002	1721770.11	515810.99	1747.75	1749.75	-0.01	-0.01	-0.02	-0.02	0.01	0.02	1.00	2.40	-152.23	-0.00	-0.00	-0.02	-0.02	0.00	0.00	12.00	0.17	-145.2301241
309	42	15922002	1721163.29	515812.05	1636.21	1747.41	0.01	0.01	-0.04	-0.04	0.01	0.04	1.00	4.32	50.19	-0.01	-0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	12.00	0.05	-171.2523242
310	43	15922002	1720017.25	515819.29	1612.23	1659.43	0.01	-0.02	0.01	0.01	0.02	0.02	1.00	2.50	-102.02	-0.01	-0.00	0.02	0.02	0.01	0.01	12.00	0.11	-125.2099514
311	44	15922002	1720159.44	515735.23	1612.23	1644.03	-0.00	-0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	1.00	1.02	-94.40	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	0.01	0.01	12.00	0.11	59.52445831
312	45	15922002	1720159.44	515735.23	1612.23	1644.03	-0.00	-0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	1.00	1.02	-94.40	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	0.01	0.01	12.00	0.11	59.52445831
313	46	15922002	1720159.44	515735.23	1612.23	1644.03	-0.00	-0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	1.00	1.02	-94.40	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	0.01	0.01	12.00	0.11	59.52445831
314	47	15922002	1720159.44	515735.23	1612.23	1644.03	-0.00	-0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	1.00	1.02	-94.40	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	0.01	0.01	12.00	0.11	59.52445831
315																								
316																								
317																								
318																								
319																								
320																								
321	1	15922002	1720429.20	515739.01	1952.27	1615.27	-0.00	0.01	-0.02	-0.02	0.01	0.02	1.00	2.01	606.35	0.00	-0.01	-0.04	-0.04	0.01	0.04	12.00	0.29	-81.25
322	2	15922002	1720545.17	515854.31	1937.87	1649.17	-0.00	0.01	-0.02	-0.02	0.01	0.02	1.00	2.71	92.49	-0.01	0.01	-0.04	-0.04	0.02	0.04	12.00	0.31	130.640
323	3	15922002	1720659.23	515822.94	1952.27	1615.27	-0.00	-0.01	-0.01	-0.01	0.01	0.01	1.00	1.22	-111.04	-0.00	0.04	-0.00	-0.00	0.04	0.04	12.00	0.21	84.24
324	4	15922002	1720830.34	515854.82	1615.04	1644.24	-0.00	-0.01	-0.02	-0.02	0.01	0.02	1.00	2.44	-110.84	-0.00	-0.00	-0.00	-0.00	0.12	0.12	12.00	0.15	133.648
325	5	15922002	1720944.20	515849.17	1632.26	1634.15	-0.01	-0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	1.00	1.00	-172.12	-0.02	0.04	-0.02	-0.02	0.07	0.07	12.00	0.51	117.31
326	6	15922002	1720953.00	515802.45	1641.22	1652.52	-0.01	-0.01	-0.01	0.01	0.01	0.01	1.00	1.00	-129.74	-0.01	0.02	-0.01	-0.01	0.14	0.14	12.00	0.14	104.24
327	7	15922002	1720950.18	515828.23	1643.14	1719.24	-0.02	0.00	-0.01	-0.01	0.02	0.02	1.00	2.44	170.94	-0.01	-0.05	-0.05	-0.05	0.10	0.20	12.00	0.15	117.175
328	8	15922002	1721023.44	515917.26	1637.29	1739.09	-0.01	-0.02	0.04	0.04	0.02	0.02	1.00	4.01	-117.21	-0.25	0.19	-0.02	-0.02	0.21	0.21	12.00	2.00	160.14
329	9	15922002	1720953.00	515802.45	1641.22	1652.52	-0.00	-0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	1.00	1.33	170.69	-0.01	0.14	-0.02	-0.02	0.25	0.24	12.00	0.14	149.249
330	10	15922002	1721452.24	515812.64	1716.04	1767.24	-0.02	-0.01	0.01	0.01	0.02	0.02	1.00	2.91	-164.74	-0.24	-0.02	-0.05	-0.05	0.24	0.25	12.00	0.12	174.94
331	11	15922002	1721526.21	515947.94	1652.24	1748.44	-0.02	0.00	-0.01	-0.01	0.02	0.02	1.00	1.77	169.20	-0.24	0.07	-0.02	-0.02	0.23	0.24	12.00	1.11	163.14
332	12	15922002	1721617.21	515947.94	1701.04	1749.24	-0.02	0.00	-0.02	-0.02	0.02	0.02	1.00	1.77	169.20	-0.24	0.07	-0.02	-0.02	0.23	0.24	12.00	1.11	163.14
333	13	15922002	1721526.21	515947.94	1725.27	1777.07	-0.02	-0.00	-0.00	-0.00	0.02	0.02	1.00	2.44	-171.70	-0.37	-0.00	-0.04	-0.04	0.23	0.23	12.00	0.14	-172.02
334	14	15922002	1721617.21	515947.94	1725.27	1777.07	-0.02	-0.00	-0.00	-0.00	0.04	0.04	1.00	2.71	-181.22	-0.41	-0.04	-0.14	-0.14	0.43	0.43	12.00	2.04	-176.04
335	15	15922002	1721711.21	515932.14	1751.24	1809.24	-0.04	-0.04	-0.02	-0.02	0.04	0.04	1.00	3.00	-175.94	-0.41	-0.14	-0.14	-0.14	0.18	0.18	12.00	0.21	-172.02
336	16	15922002	1722015.54	515910.79	1776.29	1825.04	-0.09	-0.04	-0.02	-0.02	0.10	0.10	1.00	5.03	-155.23	-1.11	-0.45	-0.15	-0.15	1.20	1.21	12.00	0.30	-187.40
337	17	15922002	1722015.54	515910.79	1776.29	1825.04	-0.09	-0.04	-0.02	-0.02	0.10	0.10	1.00	5.03	-155.23	-1.11	-0.45	-0.15	-0.15	1.20	1.21	12.00	0.30	-187.40
338	18	15922002	1722015.54	515910.79	1776.29	1825.04	-0.09	-0.04	-0.02	-0.02	0.10	0.10	1.00	5.03	-155.23	-1.11	-0.45	-0.15	-0.15	1.20	1.21	12.00	0.30	-187.40
339	19	15922002	1722015.54	515910.79	1776.29	1825.04	-0.09	-0.04	-0.02	-0.02	0.10	0.10	1.00	5.03	-155.23	-1.11	-0.45	-0.15	-0.15	1.20	1.21	12.00	0.30	-187.40
340	20	15922002	1722015.54	515910.79	1776.29	1825.04	-0.09	-0.04	-0.02	-0.02	0.10	0.10	1.00	5.03	-155.23	-1.11	-0.45	-0.15	-0.15	1.20	1.21	12.00	0.30	-187.40
341	21	15922002	1722015.54	515910.79	1776.29	1825.04	-0.09	-0.04	-0.02	-0.02	0.10	0.10	1.00	5.03	-155.23	-1.11	-0.45	-0.15	-0.15	1.20	1.21	12.00	0.30	-187.40
342	22	15922002	1722015.54	515910.79	1776.29	1825.04	-0.09	-0.04	-0.02	-0.02	0.10	0.10	1.00	5.03	-155.23	-1.11	-0.45	-0.15	-0.15	1.20	1.21	12.00	0.30	-187.40
343	23	15922002	1722015.54	515910.79	1776.29	1825.04	-0.09	-0.04	-0.02	-0.02	0.10	0.10	1.00	5.03	-155.23	-1.11	-0.45	-0.15	-0.15	1.20	1.21	12.00	0.30	-187.40
344	24	15922002	1722015.54	515910.79	1776.29	1825.04	-0.09	-0.04	-0.02	-0.02	0.10	0.10	1.00	5.03	-155.23	-1.11	-0.45	-0.15	-0.15	1.20	1.21	12.00	0.30	-187.40
345	25	15922002	1722015.54	515910.79	1776.29	1825.04	-0.09	-0.04	-0.02	-0.02	0.10	0.10	1.00	5.03	-155.23	-1.11	-0.45	-0.15	-0.15	1.20	1.21	12.00	0.30	-187.40
346	26	15922002	1722015.54	515910.79	1776.29	1825.04	-0.09	-0.04	-0.02	-0.02	0.10	0.10	1.00	5.03	-155.23	-1.11	-0.45	-0.15	-0.15	1.20	1.21	12.00	0.30	-187.40



cui sussistevano diverse possibili interpretazioni di genesi e stato d'attività), e nella zona del Pralongià (dove i capisaldi hanno avuto lo scopo di verificare l'effettiva stabilità di aree che, a differenza di altre nell'altopiano, non mostravano evidenze morfologiche di movimento) (Cf. grafici 11-12 "c": spostamento cumulato);

- che alcuni capisaldi posti nelle cosiddetta frana di Arlara hanno evidenziato spostamenti significativi riconducibili ad attività di frana, mentre altri subiscono spostamenti pressoché nulli. (Cf. grafici 10 a,b,c);

- valori rilevanti di spostamento sono stati ottenuti dalla maggioranza dei capisaldi posti nei settori medio-alti della frana di Corvara. Nelle diverse componenti morfologiche (aree sorgente S1, S2, S3, S4, zona trasporto, settore alto-medio dell'accumulo) questi movimenti hanno avuto velocità fortemente variabili nei diversi periodi dell'anno (Cf. grafici 1-9 "a": velocità puntuale), che sono valutabili nel lungo termine in un range che va da qualche cm/mese fino anche a oltre 50 cm/mese (Cf. grafici 1-9 "b": velocità media), e che, nel periodo complessivo 2001-2004, hanno prodotto dislocazioni plano-altimetriche dei capisaldi da decimetriche a plurimetriche (Cf. grafici 1-9 "c": spostamento cumulato);

- che i capisaldi posti nel settore terminale del piede della frana di Corvara non hanno mostrato spostamenti significativi, a conferma delle evidenze avute anche con altri sistemi, quali i tubi inclinometrici.

La rete di monitoraggio D-GPS utilizzata ha permesso di raggiungere risultati di estremo interesse e rilevanza ai fini della definizione della pericolosità da frana del versante Col Alto - Pralongià e della frana di Corvara. In particolare ha consentito di:

- fornire un controllo *near real-time* dell'evoluzione del fenomeno nel periodo 2001-04;
- supportare la zonazione dello stato d'attività del fenomeno e quantificare, per ogni settore costituente la frana, i valori di velocità di spostamento nelle zone risultate attive e da questo i rapporti di concatenamento dei movimenti da monte verso valle;
- evidenziare in quali periodi dell'anno si registrano spostamenti più rilevanti (tardo primaverile e estivo);
- integrare le informazioni puntuali ottenute con sistemi di monitoraggio in foro (inclinometri e TDR);
- validare i risultati ottenuti con tecniche di telerilevamento quali l'interferometria differenziale;
- verificare lo stato d'attività di elementi morfologici di genesi e stato d'attività precedentemente incerti.



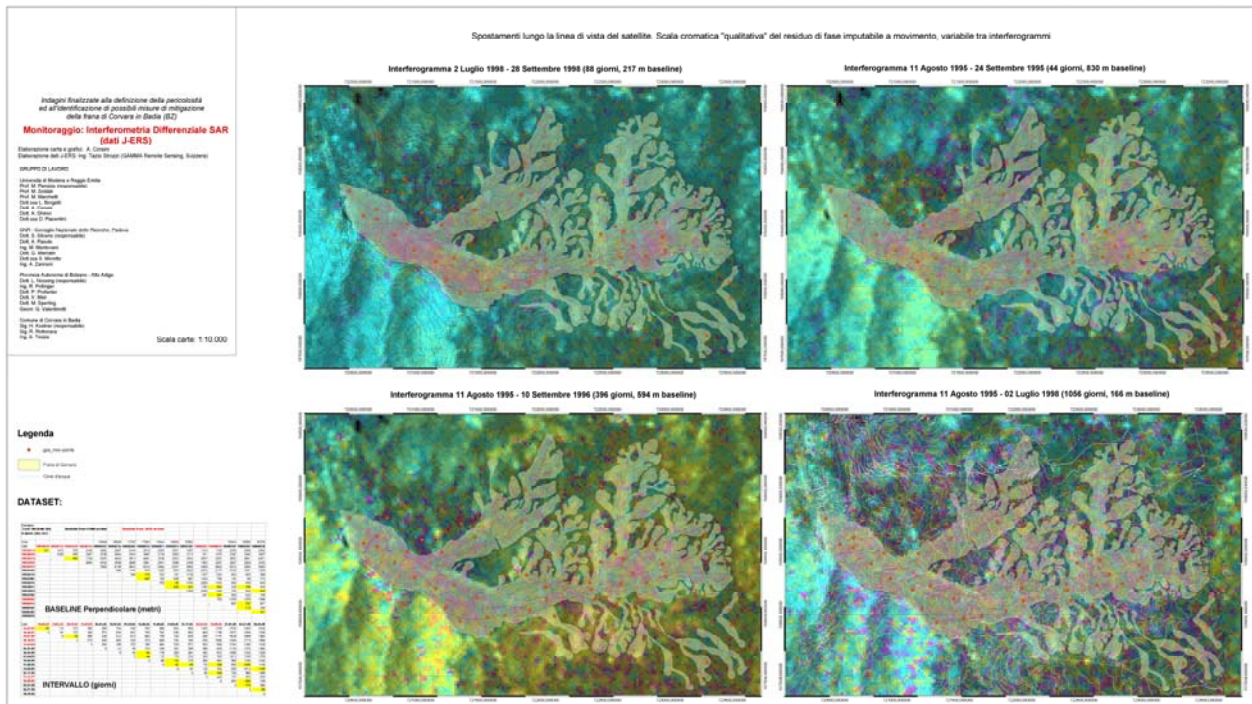
Alla luce dell'esperienza condotta, anche nell'ottica di un auspicato proseguimento delle misure, si possono trarre le seguenti conclusioni:

- è possibile diminuire ulteriormente la frequenza di misure, od eventualmente sospenderle, sui 10 capisaldi che nel triennio sono risultati sostanzialmente stabili nel settore Col Alto – Arlara frazione e nel Pralongià;
- è possibile diminuire ulteriormente la frequenza di misure su altri 7 capisaldi che nel triennio hanno dato spostamenti molto lievi nella frana d'Arlara e nelle zone di coronamento della frana di Corvara;
- è opportuno proseguire le misure perlomeno con l'attuale frequenza nei restanti capisaldi in frana, valutando un aumento della frequenza nel periodo primaverile per i capisaldi posti nel settore alto delle zona di trasporto della frana
- in alcuni settori risultati particolarmente critici, con velocità mensili anche fino a 50 cm, o particolarmente rilevanti ai fini del rischio (come la zona del campo da golf, che avanzando potrebbe indurre uno sbarramento del Rutorto) è ritenuto opportuno condurre valutazione di fattibilità circa l'installazione di un sistema GPS statico operante in continuo e teletrasmissione che possa fornire dati utili per meglio chiarire i rapporti tra piogge-falda e movimenti, e al contempo fungere da base per successivi stadi di sviluppo di sistemi di allerta e allarme.

Nel complesso, è possibile concludere che il monitoraggio D-GPS condotto è risultato di estrema utilità e validità sia dal punto di vista scientifico, che per le ricadute applicative nell'analisi e nella gestione del rischio indotto dai fenomeni gravitativi nell'area indagata e, in particolare, del principale fenomeno la frana di Corvara.



9 Monitoraggio: interferometria differenziale SAR (dati J-ERS)





dati in banda C acquisiti negli anni '90 dai satelliti europei ERS1-2, i dati in banda L, avendo lunghezza d'onda superiore, sono meno disturbati dalla vegetazione al suolo, e permettono di avere coerenza (ovvero intensità equivalente) tra due scene successive. Il mantenimento della coerenza, che dipende indirettamente dal tempo intercorso tra le due scene –più passa tempo, più le condizioni di riflettività a terra possono variare - è prerequisito fondamentale per condurre un'analisi differenziale tra due scene successive che, sulla base dei residui del differenziale di fase non imputabili a topografia, permette di stimare il movimento del suolo. Altro prerequisito, finalizzato alla stima del contributo topografico al differenziale di fase, è che la "baseline" tra le due scene (ovvero la distanza tra le due successive orbite) sia ridotta, e che si disponga di DEM esterni sufficientemente accurati.

Rispetto a tutte le scene disponibili per l'area di Corvara, questi requisiti (baseline bassa, buona coerenza legata a dT limitato) si sono riscontrati per un numero limitato di coppie di scene, che coprono in sostanza diversi intervalli temporali tra il 1996 ed il 1998. Le mappe di spostamento incluse nella tavola cartografica sono le più significative di quelle elaborate.

9.4. Gestione ed elaborazione dati

I dati JERS SAR sono stati elaborati a massima risoluzione come immagini Single-Look Complex (SLC). L'elaborazione interferometrica è stata realizzata con software G-ISP (Gamma Interferometric Software Package) . Si rimanda a Strozzi et al., 2005 per i dettagli. Il contributo topografico è stato valutato tramite DEM esterni con risoluzione 20x20 m e, sulla frana, 5x5 m. La baseline è stata prima stimata sui dati orbitali e poi raffinata sulle frange interferometriche in direzione di range e azimuth. I prodotti dell'elaborazione, originariamente in coordinate SAR, sono stati poi georeferenziati e resi gestibili in GIS.

9.5. Risultati

Nel periodo senza neve al suolo e per intervalli temporali di acquisizione di 44 e 132 giorni su *baseline* inferiori al chilometro, i segnali correlati agli spostamenti nell'area dell'Alta Val Badia sono solitamente ben rappresentati negli interferogrammi JERS. La coerenza tra le coppie varia a seconda della vegetazione, del manto nevoso, degli spostamenti, dell'intervallo di acquisizione e della *baseline*.

Più in dettaglio, il segnale correlabile alla frana di Corvara è sempre ben evidente (vedi le aree perimetrate da ellissi di colore giallo); inoltre, è possibile rilevare anche altri segnali relativi a spostamenti al suolo (vedi le aree perimetrate da ellissi di colore bianco). Mentre il segnale della frana di Corvara conferma i dati ottenuti da altri strumenti di monitoraggio (Corsini et al., 2005), i segnali ottenuti per altre aree in Alta Badia rappresentano informazioni nuove e



rilevanti sullo stato di attività di alcune delle frane riconosciute e cartografate da Corsini (2000).

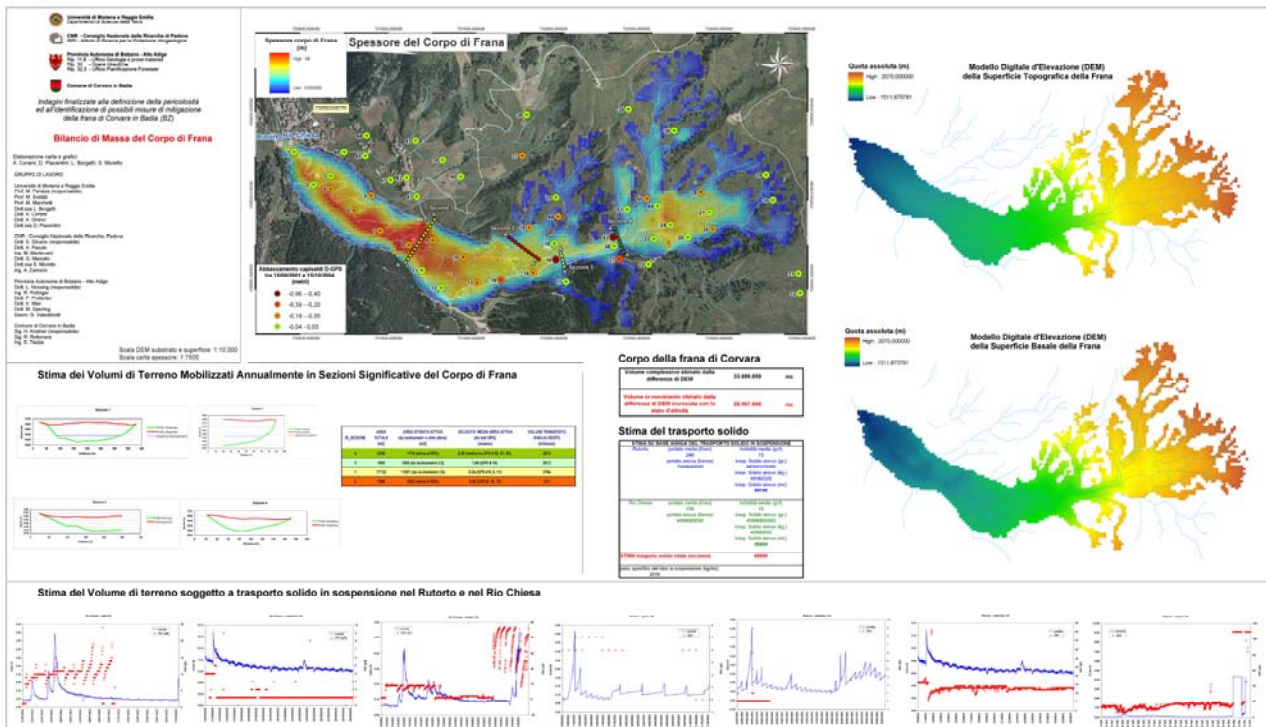
Per l'interferogramma dal 2 luglio al 28 settembre 1998 è stata ottenuta una carta degli spostamenti lungo la linea di vista del satellite, dopo lo "srotolamento" della fase (*phase unwrapping*). Lo spostamento massimo osservato in un intervallo temporale di 88 giorni è dell'ordine di 7 cm. Si osserva come il segnale dell'interferogramma JERS sia ben conservato nella zona di accumulo, coperta da prati e con un grado di deformazione che è stato misurato con ricevitori GPS e stimato nell'ordine di alcuni centimetri all'anno (Corsini et al. 2005). Nella zona di trasporto, si ha una forte decorrelazione, a causa di movimenti più importanti (cm-dm/mese misurati con GPS). Nella zona sorgente, l'interferogramma JERS rileva spostamenti verso sud-est, dove le deformazioni sono ancora relativamente alte (cm/mese misurati con GPS), ma è ancora presenta una copertura uniforme di prati.

Paragonando gli spostamenti misurati su capisaldi GPS selezionati, poi trasformati secondo la linea di vista del satellite JERS e i corrispondenti pixel nella carta degli spostamenti JERS nel periodo temporale tra il 2 luglio e il 28 settembre, si può stimare una precisione centimetrica per la interferometria differenziale SAR da dati JERS. I capisaldi sono stati scelti tra quelli con informazioni da interferometria SAR da dati JERS, dopo lo srotolamento di fase e dopo l'esclusione dell'area tra i capisaldi 16 e 23, che erano affetti da importanti variazioni del grado di movimento nel tempo tra il 1998 e il 2003.

In generale, comunque, l'entità degli spostamenti misurati con l'interferometria SAR da dati JERS conferma che la velocità della frana nell'ultima decade è confrontabile con i dati ottenuti da misure inclinometriche e con la rete geodetica negli ultimi quattro anni.



10 Bilancio di massa del corpo di frana



10.1. Obiettivi

- fornire una stima ed una rappresentazione complessiva delle variazioni di spessore del corpo della frana;
- stimarne il volume complessivo ed il volume delle masse in movimento attivo;
- arrivare ad una stima di bilancio di massa tra materiale che annualmente “transita” nella zona di trasporto e nella parte alta dell’accumulo della frana, e materiale eroso e trasportato in sospensione dai corsi d’acqua che bordano l’accumulo stesso.

10.2. Soggetti coinvolti

Unimo ha condotto tutte le elaborazioni di DEM e di transito nelle sezioni sulla base dei dati raccolti. I Bacini Montani della PAB hanno gestito le misure di trasporto solido, poi elaborate da IRPI-CNR.



10.3. Campagne di misura

I dati utilizzati per definire spessore e volume della frana, nonché di transito derivano da tutte le campagne di prospezione geognostica, geofisica e monitoraggio già descritte. Le misure di torpidità coprono in realtà intervalli temporali molto ridotti a cavallo del 2003. Le elaborazioni sono state eseguite nel 2004-2005.

10.4. Gestione ed elaborazione dati

I dati delle prospezioni geognostiche e geofisiche sono stati gestiti in ArcGis trasformando le quote del bedrock rilevati in una carta di punti di profondità dello stesso. Questa carta di punti è stata integrata inserendo ulteriori 100 punti dove la profondità è stata stimata. Il DEM del bedrock deriva dall'interpolazione (kriging) di tali punti. Con medesimo algoritmo è stato ottenuto il DEM della superficie topografica, interpolando le isoipse del 1996. Operazioni di map calculation hanno permesso di ottenere la carta dello spessore del corpo di frana. I profili utili alla stima delle sezioni di transito dei materiali sono stati ottenuti con l'ausilio di estensioni di ArcGis e gestiti poi in fogli di calcolo. I valori di velocità per stimare il volume in transito sono essenzialmente quelli da monitoraggio GPS. I valori di torpidità sono anche essi stati elaborati in fogli di calcolo. In particolare si è stimato un valore medio di trasporto solido che, moltiplicato per il valore medio annuale di portata dei due corsi d'acqua, ha permesso di ottenere una stima dei volumi trasportati in sospensione.

10.5. Risultati

Per quanto riguarda le variazioni di spessore del corpo della frana, si può notare come questo risulti minimo nelle zone sorgente S1, S2, S4, e molto più elevato nella zona sorgente S3. I massimi valori di spessore si hanno nella parte alta dell'accumulo, nei pressi del campo da golf e dell'abitazione privata Costes da L'Ega, e si mantengono superiori ai 40 m in gran parte dell'accumulo.

Da questa valutazione e rappresentazione è stato possibile stimare un volume complessivo del corpo di frana di oltre 33 milioni di mc, con una parte attiva di oltre 25 milioni di mc.

I volumi che transitano nella zona di trasporto T e nella parte alta dell'accumulo A, sono stati stimati nell'ordine di 2800 mc/anno, con un sostanziale mantenimento di tale valore nelle tre sezioni considerate (sezioni, n. 4, 3, 1 da monte verso valle).

Il trasporto in sospensione complessivo di Rutorto e Rio Chiesa è stato stimato in 70.000 mc/anno.

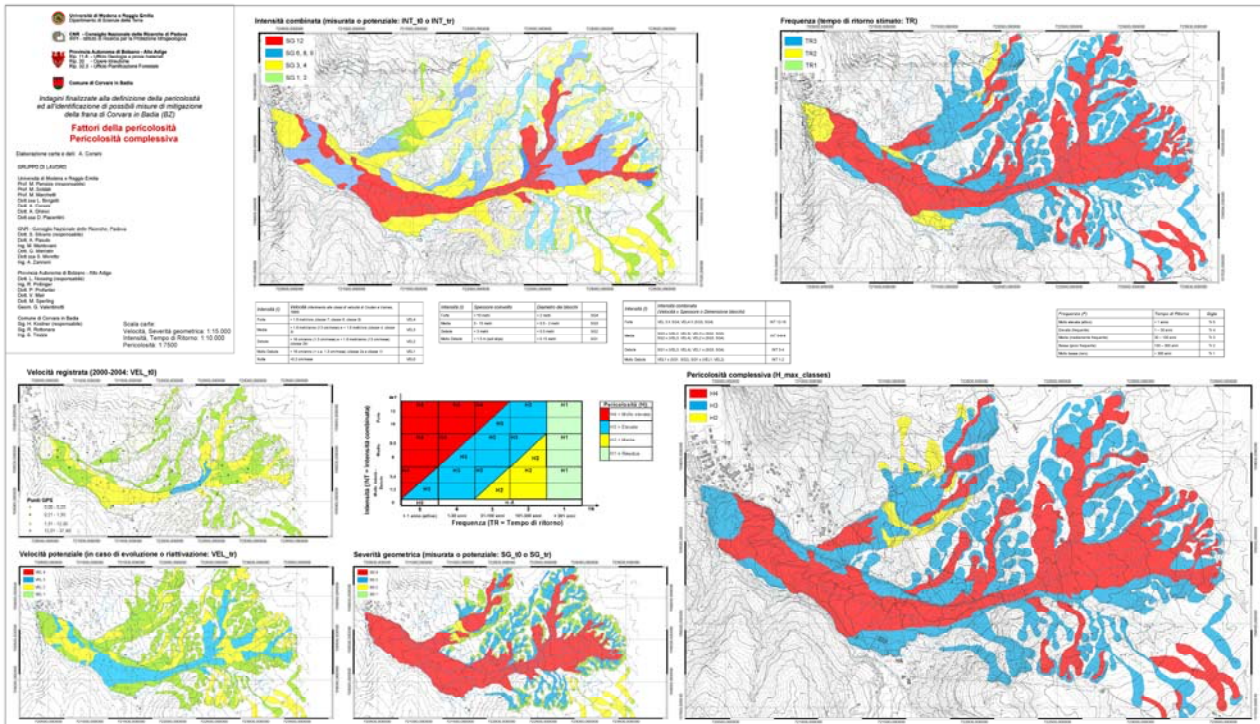
I maggiori volumi trasportati rispetto a quelli transitati è dovuto al fatto che molto del materiale in sospensione è eroso anche nelle aree sorgenti. Questo però, può anche essere



considerato come indicativo del fatto che, allo stato attuale, gran parte del materiale che transita può essere eroso e trasportato dai corsi d'acqua. Per tale motivo la frana si mantiene nell'attuale stato di equilibrio dinamico con la sezione del Rutorto invariata a fronte di un avanzamento della frana su superfici di scorrimento che, come precedentemente descritto risultano più profonde del Rutorto stesso.



11 Fattori della pericolosità e pericolosità complessiva



11.1. Obiettivi

Realizzare una cartografia tematica, relativa ai fattori della pericolosità (intensità e tempo di ritorno) delle diverse componenti della frana di Corvara e di Arlara, ed una carta di sintesi della pericolosità, realizzata con approccio a matrice analogo a quello proposto dalla PAB per la redazione dei Piani delle Zone di Pericolo (PZP).

11.2. Soggetti coinvolti

Unimo ha condotto le elaborazioni

11.3. Campagne di rilievo

Le carte si basano sui dati raccolti con attività di rilevamento, prospezione, e monitoraggio già visti nei § precedenti.

11.4. Gestione ed elaborazione dati

Le attribuzioni dei parametri di pericolosità, ed il calcolo della carta di pericolosità stessa, sono avvenute in ambiente Arc-Gis.



Le suddivisioni nel campo dei possibili tempi di ritorno sono le stesse dei PZP:

<i>Frequenza (F)</i>	<i>Tempo di Ritorno</i>	<i>Sigla</i>
Molto elevata (attivo)	< 1 anno	Tr 5
Elevata (frequente)	1 – 30 anni	Tr 4
Media (mediamente frequente)	30 – 100 anni	Tr 3
Bassa (poco frequente)	100 – 300 anni	Tr 2
Molto bassa (raro)	> 300 anni	Tr 1

Sono state innanzitutto meglio dettagliate le classi di intensità adottate nei PZP, in relazione alle migliori conoscenze sulla velocità dei movimenti, ottenute con il monitoraggio eseguito. In particolare, la classe 2 di velocità di Cruden e Varnes 1996 (adottata nei PZP), è stata suddivisa in due classi (2a, 2b) al fine di permettere una distinzione tra la maggiore velocità di movimento nella zona di Trasporto rispetto altri settori (cosa non possibile adottando le ampie classi dei PZP). Inoltre, è stata introdotta la classe a velocità sostanzialmente nulla (Vel 0), per distinguere quelle porzioni effettivamente quiescenti.

A livello di velocità si è lavorato su 2 scenari, realizzando:

- una carta delle velocità effettivamente misurate negli ultimi anni (Vel._To, a cui si associa un Tempo di Ritorno <1 anno, cioè Tr5 = attivo);
- una carta della velocità potenziale, ovvero della velocità che potrebbero assumere i movimenti, considerandone la tipologia, in caso di evoluzione parossistica del fenomeno, (Vel_ Tr, ovvero riferita ad un Tempo di Ritorno specifico, scelto per ogni settore tra quelli previsti nei PZP)

<i>Intensità (I)</i>	<i>Velocità (riferimento alle classi di velocità di Cruden e Varnes, 1996)</i>	
Forte	> 1.8 metri/ora (classe 7, classe 6, classe 5)	VEL4
Media	> 1.6 metri/anno (13 cm/mese) e < 1.8 metri/ora (classe 4, classe 3)	VEL3
Debole	> 16 cm/anno (1.3 cm/mese) e < 1.6 metri/anno (13 cm/mese) (classe 2b)	VEL2
Molto Debole	< 16 cm/anno (< c.a. 1.3 cm/mese) (classe 2a e classe 1)	VEL1
Nulla	<0.2 cm/mese	VEL0

Leggermente variate rispetto le PZP sono anche le classi di intensità legate allo spessore coinvolto, al fine di tenere in dovuto conto quei fenomeni più superficiali che si hanno al Pralongià o in alcune zone dove i corpi di frana si assottigliano notevolmente o dove vi sono scarpate secondarie in roccia.



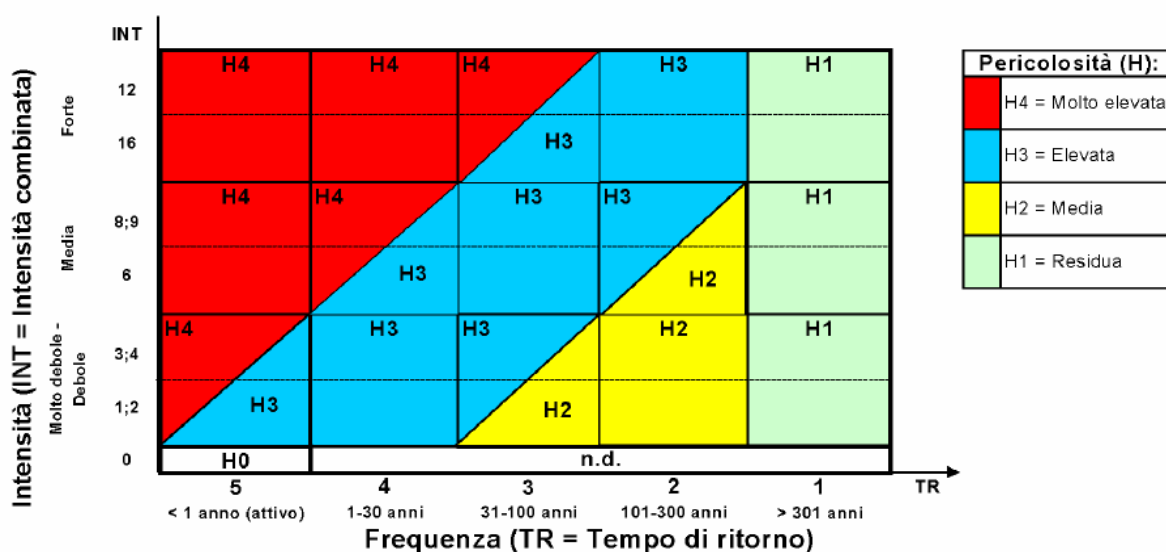
Intensità (I)	Spessore coinvolto	Diametro dei blocchi	
Forte	> 10 metri	> 2 metri	SG4
Media	3 - 15 metri	> 0.5 - 2 metri	SG3
Debole	< 3 metri	< 0.5 metri	SG2
Molto Debole	< 1.5 m (soil slips)	< 0.15 metri	SG1

Applicando i valori di intensità misurata o potenziale si sono realizzate due carte, una di intensità complessiva misurata e una di intensità complessiva potenziale.

Come sintesi, si è poi realizzata una carta dell'intensità combinata (misurata o potenziale) che rappresenta per ogni zona la situazione più cautelativa.

Intensità (I)	Intensità combinata (Velocità x Spessore o Dimensione blocchi)	
Forte	VEL 3 X SG4; VEL4 X (SG3, SG4)	INT 12-16
Media	SG3 x (VEL2, VEL3); VEL3 x (SG2, SG3) SG2 x (VEL3, VEL4); VEL2 x (SG3, SG4)	INT 6-8-9
Debole	SG1 x (VEL3, VEL4); VEL1 x (SG3, SG4)	INT 3-4
Molto Debole	VEL1 x (SG1, SG2), SG1 x (VEL1, VEL2)	INT 1-2

Per la stima della Pericolosità, si è applicata la seguente matrice adottando contestualmente i valori di intensità combinata riferiti alla situazione attuale e misurata (Tr5- < 1 anno) sia quelli riferiti a ben definiti Tr. Si sono in pratica realizzate due carte di pericolosità H: una H attuale (Int_t0 vs. Tr5) ed una H potenziale (Int_pot vs. Tr"4,3,2,1" a seconda della zona). La carta di pericolosità H di sintesi rappresenta per ogni zona la situazione più cautelativa, ovvero il valore di pericolosità maggiore tra i due.





11.5. Risultati

Carta di velocità registrata nel periodo 200-04

Questa rappresenta le velocità effettivamente misurate col GPS suddivise in classi. In particolare, si individua come settore con velocità superiore (classe "Media") il settore superiore della zona di trasporto, dove si hanno spostamenti >1.6 m /anno. Nelle aree sorgenti S1, S2, S3 e S4, le velocità sono risultate "deboli" o "molto debole". Valori di velocità "deboli" (>16 cm /anno) si registrano inoltre in tutta la zona del campo da golf, mentre la restante parte dell'accumulo è prevalentemente a velocità molto debole (< 16 cm/anno). Esistono poi varie zone essenzialmente ferme, a cui si è attribuita ovviamente velocità nulla.

Carta di velocità potenziale in caso di riattivazione (di settori non in movimento), od evoluzione (di settori già in movimento), con determinato Tr (carta del tempo di ritorno).

Per redigere queste carte, correlate tra loro, si sono dovute inevitabilmente fare delle assunzioni scarsamente fondate su elementi di riscontro oggettivo, ma comunque ritenute verosimili stando al quadro geomorfologico complessivo. In particolare, le principali assunzioni hanno riguardato:

- il piede di frana nei pressi di Corvara, attualmente non attivo, che è stato stimato essere potenzialmente riattivabile con velocità "molto debole" (< 16 cm/anno) con un tempo di ritorno "poco frequente" (100-300 anni);
- la zona della stalla comunale a fianco del campo da golf, attualmente non attiva, che è stata stimata essere potenzialmente riattivabile con velocità "molto debole" (< 16 cm/anno) con un tempo di ritorno "poco frequente" (100-300 anni);
- le zone centrali della zona d'accumulo, in cui è stato ipotizzato un aumento della velocità che potrebbe passare da "molto debole" a "debole" (ovvero simile a quanto già si registra ora nella zona del campo da golf) con un tempo di ritorno "frequente" (1-30 anni);
- le zone laterali della zona d'accumulo, attualmente ferme, in cui è stata ipotizzata una riattivazione con velocità "molto debole" (< 16 cm/anno) in un arco di tempo di ritorno di 30-100 anni;
- la zona di trasporto (Cap. Nera) e del campo da golf, dove si è ipotizzato un aumento della velocità fino a valori medi (>1.6 m anno), ovvero analoghi a quanto già avviene ora nella parte alta dell'accumulo, su un intervallo di tempo di ritorno di "frequente" (1-30 anni);
- Alcuni settori della aree sorgente S2 ed S3, dove analogamente a quanto per la zona di trasporto, si è ipotizzato un aumento della velocità fino a valori medi (>1.6 m anno), su un intervallo di tempo di ritorno di "frequente" (1-30 anni).



Carta della severità geometrica

Riflette essenzialmente i risultati della valutazione dello spessore complessivo del corpo di frana di cui al § precedente, ed in pratica evidenzia come nella stragrande maggioranza dei casi lo spessore del materiale di frana è > 10 m.

Carta della Intensità combinata (attuale o potenziale)

Evidenzia come, in base alle valutazioni precedenti, risultino avere un'intensità attuale o potenziale maggiore alcune zone della aree sorgenti S2 e S3, la zone di trasporto e la parte alta della zona d'accumulo.

Carta della Pericolosità complessiva

Evidenzia come, applicando la matrice precedentemente introdotta ai dati tematici appena illustrati, emerga una situazione di larga prevalenza di zone a pericolosità Molto Elevata oppure Elevata, e che valori minori riguardano solo alcuni limitati settori della frana di Arlara.



12.4. Gestione - elaborazione dati

12.4.1. Scenari qualitativi

Gli scenari qualitativi si richiamano strettamente alle valutazioni condotte nel determinare i valori di velocità potenziale su determinati Tempi di ritorno e la conseguente pericolosità, presentati nel § precedente. Pertanto, l'elaborazione di queste ipotesi d'evoluzione in termini quantitativi è in larga parte riflessa nella carta di pericolosità stessa.

12.4.2. Verifiche di stabilità

Sono state eseguite al fine di verificare alcune ipotesi di evoluzione legate a retrogressione della scarpata e collassi laterali dai fianchi dell'accumulo della frana.

Il metodo dell'equilibrio limite è il metodo di analisi di stabilità più utilizzato in campo geologico-tecnico. In pratica, il metodo consiste nel calcolo delle forze agenti lungo una superficie di scorrimento predefinita e delle resistenze disponibili lungo la stessa superficie. La condizione di equilibrio limite è verificata quando le forze agenti uguagliano quelle resistenti: in questo caso lo stato tensionale medio lungo la superficie di scorrimento giace sull'involuppo di rottura del terreno ed il versante si trova sul punto di collasso. Nei pendii stabili, la resistenza mobilizzata in condizioni di equilibrio statico è minore di quella disponibile e ciò viene espresso convenzionalmente tramite un *fattore di sicurezza* F definito come rapporto tra *resistenze mobilizzate e resistenze disponibili*. Il fattore di sicurezza del versante è quello corrispondente alla superficie di scorrimento più critica (F più basso) tra le varie superfici di prova. Le resistenze disponibili sono definite dalla relazione di Mohr-Coulomb ma il metodo può essere applicando anche considerando altri criteri di rottura.

Al momento della rottura ($F=1$), la posizione e la forma della superficie critica dipendono dalla geometria del versante, dalle condizioni idrauliche, dalle caratteristiche fisico-meccaniche dei terreni e dagli eventuali carichi esterni applicati. Pertanto, se sono note la posizione della superficie di scorrimento di un versante in frana, la geometria del versante e le caratteristiche dei terreni, è possibile calcolare le condizioni idrauliche che hanno portato il versante a rottura. Analogamente, si possono stimare le resistenze del terreno se sono note le altre variabili (condizioni idrauliche e geometria del versante). Analisi di questo tipo si definiscono analisi "a ritroso" (*back analysis*) e consistono nello studio delle condizioni meccaniche ed idrauliche che hanno portato un versante a rottura. A differenza delle analisi di stabilità precedentemente discusse, nelle analisi "a ritroso" il fattore di sicurezza F non è l'oggetto del calcolo ma è un valore noto, risultando teoricamente uguale a 1 in un versante prossimo a rottura.

A causa di una serie di difficoltà sia pratiche sia teoriche, le resistenze effettivamente disponibili in sito per terreni complessi, soprattutto di terreni granulari debolmente cementati,



terreni coesivi fessurati e formazioni litologicamente e/o strutturalmente complesse non sono caratterizzabili con le usuali tecniche di indagine in sito ed in laboratorio. Per tali materiali geologici, le analisi "a ritroso" possono fornire una stima delle resistenze che, per quanto indiretta, permette di effettuare ipotesi ragionevoli sui parametri effettivamente disponibili in sito.

Nel caso siano noti i parametri di resistenza del terreno, l'analisi "a ritroso" può essere finalizzata alla valutazione delle condizioni idrauliche che hanno portato il versante a rottura. Generalmente, l'analisi è condotta determinando le coppie di valori di coesione e angolo di attrito che forniscono $F=1$ per diverse altezze di falda. I valori ottenuti sono riportati in un diagramma come curve dei valori possibili dei parametri di resistenza per diverse condizioni idrauliche.

Le verifiche di stabilità sono state condotte utilizzando il programma di calcolo Slope/W nella versione GeoStudio2004, basato sull'analisi all'equilibrio limite. Questo programma di calcolo permette la scelta del metodo da applicare fra la maggior parte di quelli che sono stati elaborati, tra cui Jambu, Bishop, Morgenstern & Price e altri. In tutte le analisi effettuate, per la valutazione del fattore di sicurezza, è stato preso come riferimento il metodo GLE (*Generalized Limit Equilibrium*) descritto da Krahn (2004).

Per effettuare le verifiche di stabilità di vari settori dei versanti interessati da fenomeni riconducibili al dissesto della frana di Corvara, sono state realizzate quattro sezioni geologiche (1, 2, 3 e 3.1, 4) in corrispondenza di settori ritenuti significativi, sia per lo stato di attività dei fenomeni, sia per i possibili scenari di evoluzione. Sulla base della grande mole di dati ottenuti dalle campagne di indagine e di monitoraggio è stato possibile riportare fedelmente l'andamento nel sottosuolo delle formazioni e, soprattutto, gli spessori e le profondità dei depositi superficiali, dei depositi di frana e delle superfici di scivolamento.

Dall'analisi delle sezioni geologiche così ottenute, nel substrato sono stati individuati due unità geotecniche le cui proprietà meccaniche sono state ricavate dai dati desunti dalle campagne geognostiche, nonché da dati raccolti in bibliografia. Nelle verifiche di stabilità rappresentate gli ammassi rocciosi sono stati trattati come terre, in quanto i valori dei parametri di resistenza ottenuti tramite il criterio di Hoek & Brown o da classificazione dell'ammasso roccioso risultano nettamente sovrastimati, a causa della fratturazione e del grado di alterazione degli ammassi e comunque incompatibili con i meccanismi di rottura che si riscontrano sul terreno.

Le due unità geotecniche che sono state distinte sono qui di seguito descritte (Tab. 1):



- il livello più superficiale è quello costituito da depositi di frana per scivolamento-colata attivo o quiescente. Le proprietà geotecniche sono state ricavate dalle numerose indagini di laboratorio effettuate su campioni a disturbo limitato ottenuti in sondaggio o in affioramento, oppure su campioni ricostituiti;
- il secondo livello è rappresentato dall'ammasso roccioso, ascrivibile dal punto di vista litologico alle formazioni flyschiodi di S. Cassiano e di La Valle. Le due formazioni sono state distinte nelle sezioni geologiche, ma presentano parametri geotecnici assolutamente simili.

Tab. Parametri geotecnici utilizzati nelle verifiche di stabilità

	Modello di rottura	Peso di Volume (kN/m ³)	Coesione (kPa)	Angolo di attrito (°)
Fm. di San Cassiano	Mohr-Coulomb	21	34	21
Fm di La Valle	Mohr-Coulomb	21	34	21
Detrito di Frana	Mohr-Coulomb	17	0	15
Dep. Alluvionali	Impenetrabile	-	-	-

Dal punto di vista operativo, ed in riferimento ad ogni sezione, si è proceduto come segue partendo dalla costruzione di un modello geometrico derivato dalle sezioni geologiche, attribuendo i parametri geotecnici alle differenti unità e definendo il livello falda.

Sono stati applicate due diverse procedure di calcolo per la determinazione della superficie di scivolamento critica e del relativo fattore di sicurezza:

- Metodo GLE e Metodo GLE ottimizzato (Krahn, 2004). Il metodo ottimizzato è una procedura di calcolo che prevede la scomposizione della superficie di scivolamento critica di forma circolare in tratti, eventualmente anche non circolari, che presentano il fattore di sicurezza minore per il tratto stesso. Alla fine di tale procedura, la forma della superficie di scivolamento non è più circolare ma è l'unione delle curve ottenute e in molti casi geometricamente molto più realistica.
- Superficie di scivolamento imposta sulla base di quella derivata dai dati dalle indagini geognostiche e dalla campagna di monitoraggio.

Nelle sezioni di verifica, in rosso è rappresentata l'area sottesa dalla superficie di scivolamento per cui è indicato il fattore di sicurezza. In alcuni casi, tale superficie non è quella che presenta il fattore di sicurezza inferiore (rappresentata dalla linea bianca) ed è stata scelta come maggiormente significativa, sulla scorta dei dati ottenuti da indagini e monitoraggio, nonché sulla base delle evidenze morfologiche.

Per alcune sezioni è stata approntata una mappa della stabilità, dove l'andamento del fattore di sicurezza con la profondità è rappresentato con una scala di colori dal verde al rosso.



12.4.3. Simulazione sbarramenti per frana lungo il Torrente Rutorto

La stima dei volumi di invaso e dei tempi di tracimazione di due diversi bacini dovuti a sbarramento per frana (Scenario 1 e Scenario 2) è stata effettuata tramite analisi spaziale in ambiente GIS e successiva elaborazione di dati di portata sperimentali ottenuti per il torrente Rutorto. I settori in cui è stato valutato il volume di invaso sono stati selezionati sulla base di considerazioni di carattere geomorfologico relative all'evoluzione della frana e alle caratteristiche dell'incisione fluviale.

Una volta applicata l'altezza della soglia dovuta allo sbarramento, tramite una operazione sul DEM (Digital Elevation Model) si è ottenuto il volume dell'invaso. Da questo, nota la portata media del torrente in primavera ed in estate-autunno, è stato possibile valutare il tempo di tracimazione dei due bacini nelle diverse condizioni climatiche.

12.5. Risultati

12.5.1. Scenari qualitativi

L'analisi qualitativa dell'evoluzione geomorfologica del versante e dei dati ottenuti dalle campagne di indagine e di monitoraggio permette di delineare i seguenti scenari di evoluzione:

- nella zona di coronamento si ritengono possibili retrogressioni della scarpata principale con conseguenti caricamenti e accelerazioni dei corpi di colata sottostanti. Tali fenomeni sono osservabili anche allo stato attuale e potrebbero implicare una accelerazione complessiva della zona in cui si colloca il sondaggio C4, con collassi sul fronte che andrebbero ad alimentare la zona di transito;
- nella zona di trasporto, a seguito di un aumento dei volumi trasferiti da monte, si ritiene possibile un aumento dei volumi in movimento, nonché un'accelerazione dei movimenti stessi. Inoltre, un'avanzate del fronte della frana verso il T. Rutorto potrebbe indurre uno sbarramento del torrente stesso, con conseguente incisione della soglia da parte del corso d'acqua o tracimazione delle acque dell'invaso;
- nella zona di accumulo, il sovraccarico dovuto a colate provenienti da monte potrebbe portare ad una accelerazione generale e a collassi sui fianchi del corpo di frana, favoriti dall'erosione dei corsi d'acqua.



12.5.2. Verifiche di stabilità sulla frana di Corvara

Zona di Coronamento

Sezione 1

L'analisi di stabilità è stata effettuata con la scelta di una superficie di scivolamento ottimizzata ed è stata finalizzata anche alla verifica delle resistenze in sito rispetto ai parametri ottenuti in laboratorio o da classificazione degli ammassi, tramite procedimento di back analysis. Nella zona di coronamento, nelle condizioni idrauliche di falda subaffiorante, definite da dati di monitoraggio, il fattore di sicurezza per fenomeni che interessano la coltre di depositi di frana è inferiore all'unità.

Sezione 2

L'analisi di stabilità è stata effettuata con la scelta di una superficie di scivolamento ottimizzata e mostra come nella zona di coronamento, nelle condizioni idrauliche di falda subaffiorante, il fattore di sicurezza per fenomeni che interessano la coltre di depositi di frana è intorno all'unità per tutto lo spessore dei depositi di frana, mentre non sembra indicare importanti fenomeni di arretramento della scarpata di frana.

Sezione completa della frana di Corvara

Sezione 3

L'analisi di stabilità è stata effettuata su di una sezione che attraversa tutto il corpo di frana, imponendo, in un primo tempo, il calcolo su due differenti superfici di scivolamento ricostruite, al fine di verificare le condizioni idrauliche che portano il versante a rottura. La geometria della falda è stata ricostruita come subaffiorante (da dati di monitoraggio) e sono stati poi considerati possibili progressivi abbassamenti. Inoltre sono stati considerati fenomeni di riattivazioni locali, soprattutto nell'area sorgente.

Sezione 3.1

L'analisi di stabilità è stata effettuata su un settore critico della parte alta frana di Corvara ed è stata finalizzata alla verifica delle condizioni idrauliche che portano il versante a rottura. E' stato poi valutato l'abbassamento della falda utile a ristabilire condizioni di stabilità accettabili. Il valore di abbassamento oltre il quale il FS raggiunge un valore >1.3 . è nell'ordine dei - 13 m/piano campagna.



Zona di accumulo

Sezione 4

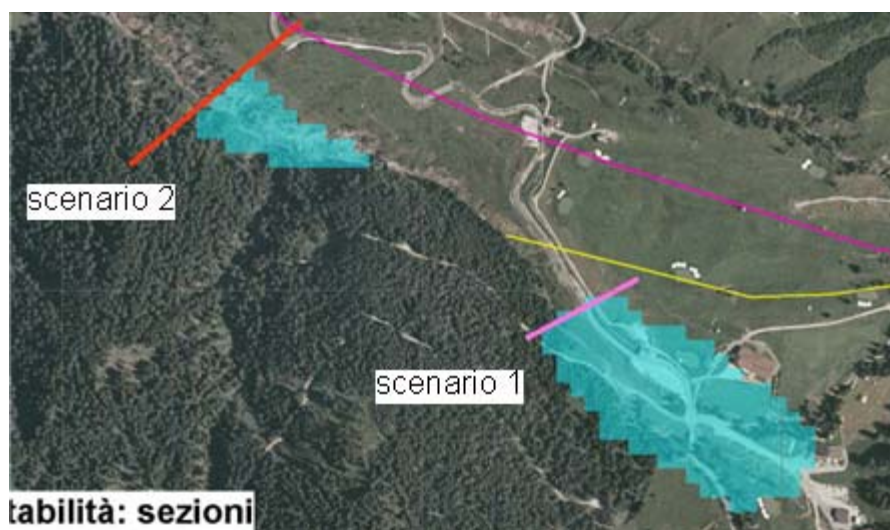
L'analisi di stabilità è stata effettuata su di una sezione che attraversa il piede della frana con la scelta di più superfici di scivolamento ottimizzate, e mostra come nella zona di piede, nelle condizioni idrauliche di falda subaffiorante, il fattore di sicurezza per fenomeni che interessano la coltre di depositi di frana è intorno all'unità sia per fenomeni superficiali, sia per tutto lo spessore dei depositi di frana.

12.5.3. Simulazione sbarramenti per frana lungo il Torrente Rutorto

La simulazione dello sbarramento del Rutorto è stata eseguita su due zone/scenari:

- nel settore di confluenza della frana nel fondovalle (zona Golf, scenario 1);
- più localmente, a valle della abitazione Costes da L'Ega (scenario 2).

I risultati in termini di estensione verso monte dello sbarramento, applicando soglie di quota di sbarramento pari al massimo topografico locale (e quindi abbastanza pessimistiche), evidenzia come l'estensione verso monte degli invasi, legato al limite della tracimazione, è tutto sommato abbastanza limitata nello scenario 2, e più preoccupante nello scenario 1, dove l'invaso arriverebbe a lambire la stalla comunale, gli uffici del golf, e più a monte l'albergo Planac.



Dai calcoli effettuati, basati sul volume degli invasi così configurati, e del valore di portata media del Rutorto nelle due stagioni critiche (primavera e estate-autunno), è stato possibile stimare che i tempi di riempimento (fino a tracimazione) dei due invasi sono:



-
- Scenario 1: Tempo a primavera ca. 9 giorni; tempo estate-autunno ca. 29 giorni
 - Scenario 2: Tempo a primavera ca. 4 giorni; tempo estate-autunno ca. 13 giorni

Pertanto, in condizioni di portata ordinaria media, si presume sussista sempre tempo sufficiente per evacuazioni di persone e beni, oppure per organizzare un intervento di taglio dello sbarramento. In caso di portate riferite alle piene di progetto con Tr 100 o 200 anni, qui non considerate, i tempi di invaso saranno presumibilmente più brevi.



13 Proposta misure di mitigazione

13.1. Obiettivi

L'obiettivo di questa parte di lavoro è quello di fornire prime indicazioni di carattere qualitativo, che si riferiscono a settori critici della frana dove si ritiene ci sia una qualche possibilità di intervento al fine di un contenimento dei movimenti (più che una loro completa mitigazione), che possano evitare le possibili evoluzioni peggiorative descritte come scenari nel § precedente.

13.2. Soggetti coinvolti

Le valutazioni qui presentate sono condivise tra Unimo e IRPI-CNR.

Esse, in quanto preliminari, dovranno essere vagliate e approfondite, anche dal punto della fattibilità ingegneristica, dagli Uffici competenti della PAB.

13.3. Campagne di rilievo

Le valutazioni qui presentate sono maturate nel corso del progetto.

12.4. Gestione - elaborazione dati

Tutti gli interventi sono descritti essenzialmente in modo qualitativo. Possibili schemi di localizzazione e tipologia delle opere sono stati realizzati con un livello informativo in arcGis.

Un solo intervento specifico è stato oggetto di una verifica preliminare da parte di IRPI-CNR, attraverso l'applicazione di simulazioni basate sull'analisi agli elementi finiti del fenomeno con e senza opere ipotizzate.

12.5. Risultati

Come si vedrà, è risultata convinzione comune che sia necessario intraprendere azioni di mitigazione partendo dalle aree sorgenti, nella convinzione che il possibile rallentamento od il controllo dei fenomeni in queste zone possa poi riflettersi in benefici anche per i settori di Trasporto e superiore dell'Accumulo (Cap. Nera – Golf) e, perlomeno, rendere più remota la possibilità di evoluzioni peggiorative del fenomeno.



15.5.1. Aree sorgente (S2, S3)

1. Opere al Coronamento

In considerazione dei risultati delle indagini geologiche, geomorfologiche e geognostiche, il circuito delle acque sotterranee appare complessivamente governato dall'assetto delle fratture che interessano l'ammasso roccioso. Originariamente si prevedeva un intervento di pompaggio delle acque tramite una maglia di well-point, al fine di mitigare i fenomeni di scivolamento rotazionale della scarpata principale di frana, attraverso un abbattimento della superficie piezometrica. Allo stato attuale delle conoscenze tale intervento appare non attuabile, e non dà garanzie di efficienza, in particolare per la difficoltà nell'intercettare venute d'acqua significative come emerso nel corso della perforazione del sondaggio C7bis.

Si potrebbe prevedere una maglia di dreni suborizzontali della lunghezza di 30-50 m, eventualmente perforati, tanto nel versante nord, vista la stratificazione del substrato, quanto in quello sud. La difficoltà maggiore consiste tanto nella logistica, quanto nella successiva manutenzione di tali opere, anche in considerazione delle litologie attraversate.

In alcune zone attualmente soggette a retrogressione in atto, sono consigliabili opere di sostegno in bio-ingegneria, tipo graticciate di pali di legno su cui poi procedere ad idrosemina

2. Opere sui corpi di scivolamento di terra:

Sul complesso delle zone soggette a scivolamenti di terra, vanno prioritariamente previsti interventi di regimazione delle acque superficiali secondo uno schema che preveda il raccoglimento delle acque partendo dalle aree di sorgente, e una successiva canalizzazione e allontanamento dal corpo di frana verso i collettori principali. Tali interventi devono necessariamente prevedere anche il prosciugamento delle zone individuate nel corso del censimento delle aree umide, in modo da evitare tanto la ricarica della falda attraverso meccanismi di percolazione dalla superficie topografica, quanto un appesantimento del corpo di frana stesso.

Nell'area del pianoro compreso in S3, dove sono presenti l'inclinometro C4 e i relativi piezometri, si potrebbero prevedere almeno 2 schermi di pozzi drenanti del diametro di 1 m e di profondità di circa 30 m. La superficie di scivolamento principale in quest'area si attesta ad una profondità di 40 m e tali opere sono finalizzate all'abbattimento della superficie piezometrica in un'area critica per una possibile evoluzione parossistica della frana di Corvara. Il progetto e la scelta della profondità devono essere volti a garantire all'opera un periodo di funzionamento sufficientemente lungo da fornire benefici alla stabilità complessiva dell'area.

Queste opere drenanti potrebbero essere accompagnate da opere di sostegno (schermo di pali e cordolo superiore) fondate sullo sperone di roccia sottostante che, come visto dalla geofisica



e da osservazioni di terreno, appare subaffiorare alla base della scarpata secondaria che borda a valle il pianoro stesso. Da queste opere di sostegno potrebbero inoltre essere fatti partire batterie di dreni suborizzontali atti a drenare la falda in pressione profonda corrispondente alla superficie di scorrimento locale.

Gli effetti di stabilizzazione di questo settore di frana da parte di questo complesso di opere sono stati preventivamente valutati attraverso un'analisi numerica agli elementi finiti, i cui risultati sono sintetizzati nel paragrafo seguente, e che hanno evidenziato, in sostanza, che se non proprio risolutivi, essi potrebbero portare ad un sostanziale rallentamento dei movimenti e, senz'altro, prevenire evoluzioni peggiorative della situazione attuale.

Una valida alternativa ai pozzi drenanti, potrebbe essere quella di un sistema di microtunneling da spingere fino verso alla base del corpo di frana per lunghezze di alcune centinaia di metri. Questo intervento potrebbe prevedere un ingresso alla base della scarpata secondaria che borda a valle il pianoro stesso, ed un'uscita verso N al di là del dosso del Bioch, nell'area sorgente S2.

Nelle zone di scivolamento-colata a maggiore velocità presenti nell'area sorgente S2, potrebbero essere realizzate trincee drenanti poste lungo la linea di pendenza del versante, con lo scopo di abbassare localmente la falda che, come dimostrano i diversi ristagni presenti, è pressoché subaffiorante. Nelle zone a basso spessore, che si riscontrano in taluni tratti di tali colate, le opere drenanti potrebbero essere accompagnate da strutture di sostegno drenate.

15.5.2. Zona di Trasporto – parte alta della zona d'Accumulo

Vista l'entità dei movimenti nella parte alta della zona di Trasporto, ed il susseguente approfondirsi della superficie di scorrimento verso valle, nella zona alta dell'accumulo (ovvero al campo da Golf), interventi diretti di drenaggio profondo o sostegno sono difficilmente ipotizzabili.

Certamente, sia in Rio Chiesa che Rutorto, è necessaria una manutenzione delle briglie esistenti, nell'ottica del mantenimento dell'equilibrio attualmente esistente tra apporto detritico dai versanti ed erosione da parte dei corsi d'acqua principali.

Si possono inoltre ipotizzare azioni volte a prevenire la formazione di un vaso in caso di sbarramento, come potrebbe essere un l'interramento al di sotto del letto del Rutorto di un tubo by-pass. A sfavore di questa ipotesi è l'osservazione che le superfici di movimento in questa zona sono più profonde del letto, e che quindi potrebbero danneggiare il condotto in caso di avanzamento complessivo. Certamente, ipotizzando scenari meno estremi, ovvero prevedendo solo locali collassi del fronte locale della frana entro il Rutorto, l'opera potrebbe avere una sua funzionalità.



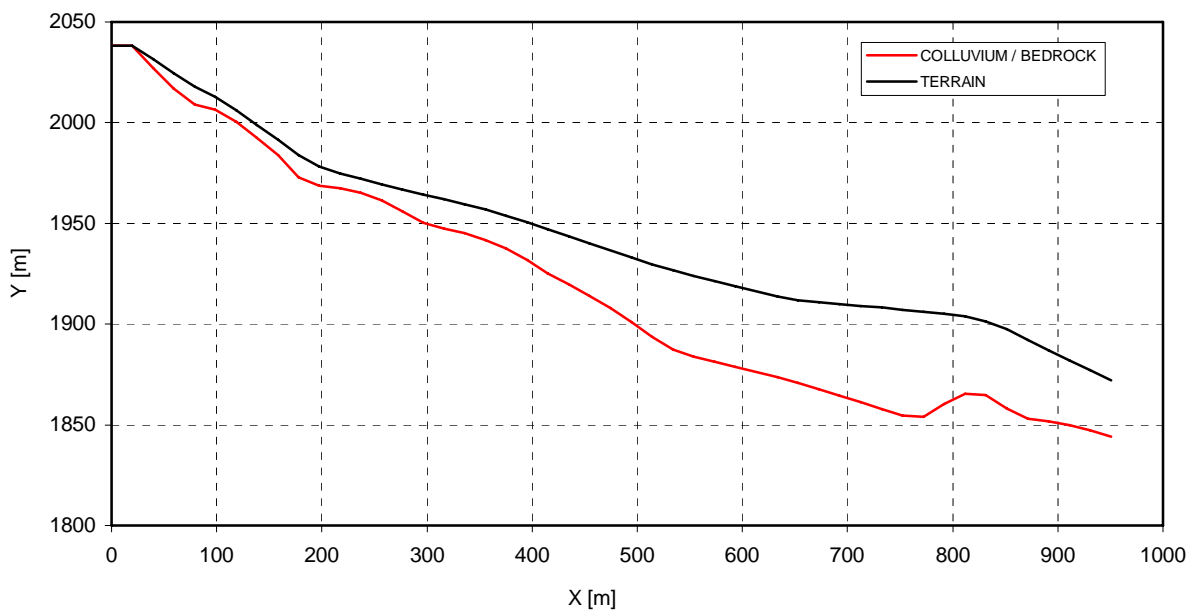
15.5.3. Zona d'Accumulo

Al fine di mitigare i fenomeni di dissesto superficiali che interessano il piede della frana, che nel suo complesso si è dimostrato stabile, si propongono interventi di bioingegneria (ad es. viminate). Tali interventi mirano a garantire una maggiore stabilità ai fianchi del piede di frana che sono interessati da fenomeni di scalzamento dovuti all'erosione torrentizia.

12.6. Verifica preliminare dell'efficacia di interventi di drenaggio profondo e sostegno nell'area sorgente S3, nei pressi del sondaggio C4.

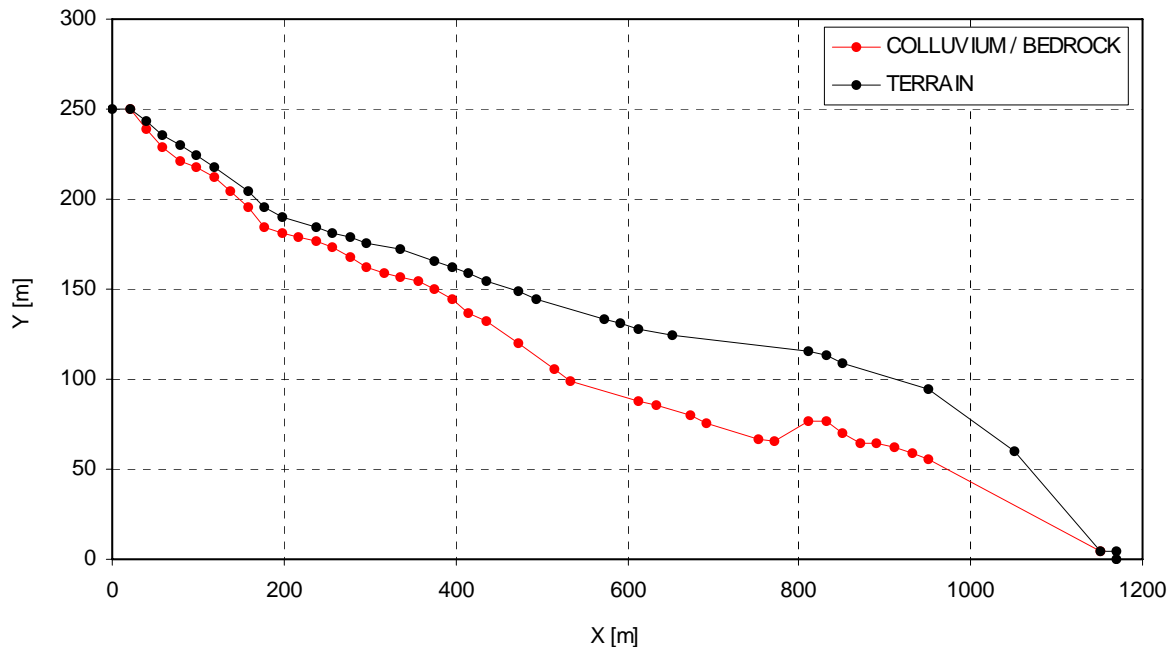
12.6.1. Sezione di riferimento

L'analisi è stata effettuata in due dimensioni, utilizzando il codice di calcolo FLAC 4.0 (Itasca). Il versante è stato diviso in due parti, in ragione della morfologia del corpo di frana. La sezione 1a è stata scelta come rappresentativa per l'analisi in sezione trasversale della frana di Corvara nel tratto considerato, che va dalla scarpata alla base del ripiano su cui è localizzato l'inclinometro C4. La sua forma originaria è mostrata nella figura seguente.



Forma originaria: terrain = superficie topografica; colluvium = colluvio; bedrock = roccia in posto

La sezione è stata modificata per le finalità della modellazione numerica e la forma risultante è presentata nella figura seguente.



Sezione trasversale della frana di Corvara (1a). Forma modificata: terrain = superficie topografica; colluvium = colluvio; bedrock = roccia in posto

Dall'analisi delle due figure si nota che le modifiche effettuate hanno scarsa importanza. Una breve sezione orizzontale è stata aggiunta nel settore a monte, mentre il blocco nel settore inferiore del profilo ha funzione di supporto, poiché simula gli effetti del corpo di frana che si situa a valle della sezione stessa. Questo blocco è necessario per evitare che si sviluppino rotture secondo un meccanismo di toppling a carico del margine verticale della sezione nella sua parte terminale.

12.6.2. Modello numerico

Lo spazio modellato è stato suddiviso in zone alle differenze finite (Fig. 3). La superficie di scivolamento, che è stata rilevata e definita sulla base dei risultati di campagne geognostiche e di monitoraggio, è ben delimitata nella figura stessa. In corrispondenza dei sei punti segnati in figura (history locations), si sono registrati gli spostamenti orizzontali in funzione del tempo.

Il comportamento del materiale è stato considerato come elasto-visco-plastico. Per descrivere il comportamento viscoso è stato applicato il modello di Burger. Si assume che le proprietà di viscosità e di elasticità siano costanti sulla superficie di scivolamento e che solo i parametri di



plasticità si modifichino. I valori dei parametri di viscosità e di plasticità sono stati determinati tramite calcoli, nei quali è stato applicato l'approccio di prova ed errore. Tutti i parametri sono riportati in Tabella.

Parametri geomeccanici utilizzati per la modellazione numerica della frana

γ - peso dell'unità di volume; E - Modulo di elasticità di Young; ν - Coefficiente di Poisson; c - coesione; ϕ - angolo di attrito; ψ - angolo di dilatanza; σ_t - resistenza allo sforzo uniassiale; E_k - modulo di taglio di Kelvin; η^K - coefficiente di viscosità di Kelvin; η^M - coefficiente di viscosità di Maxwell

Descrizione	Modello	γ [kN/m ³]	E [kPa]	ν	c [kPa]	ϕ [°]	ψ [°]	σ_t [kPa]	E_k [kPa]	η^K [kPa s]	η^M [kPa s]
Bedrock	Elast.	21	5E+5	0.35	-	-	-	-	-	-	-
Colluvium	Elast.	20	1E+5	0.35	-	-	-	-	-	-	-
Superficie di scivolamento SZ-1	Elasto-Visco-Plastic	19	1E+5	0.35	20	18	4.5	0	1E+5	2E+10	2E+10
SZ-2					15	10	2.5				
SZ-3					28	15	3.7				
SZ-4					4	9	2.2				
SZ-5					28	15	3.7				
SZ-6					200	30	7.5				

La distribuzione finale della coesione del materiale quale esempio di variazione dei parametri di plasticità è mostrata nelle figure seguenti.

Si è inoltre assunto che la superficie piezometrica allo stato attuale coincida con la superficie topografica.

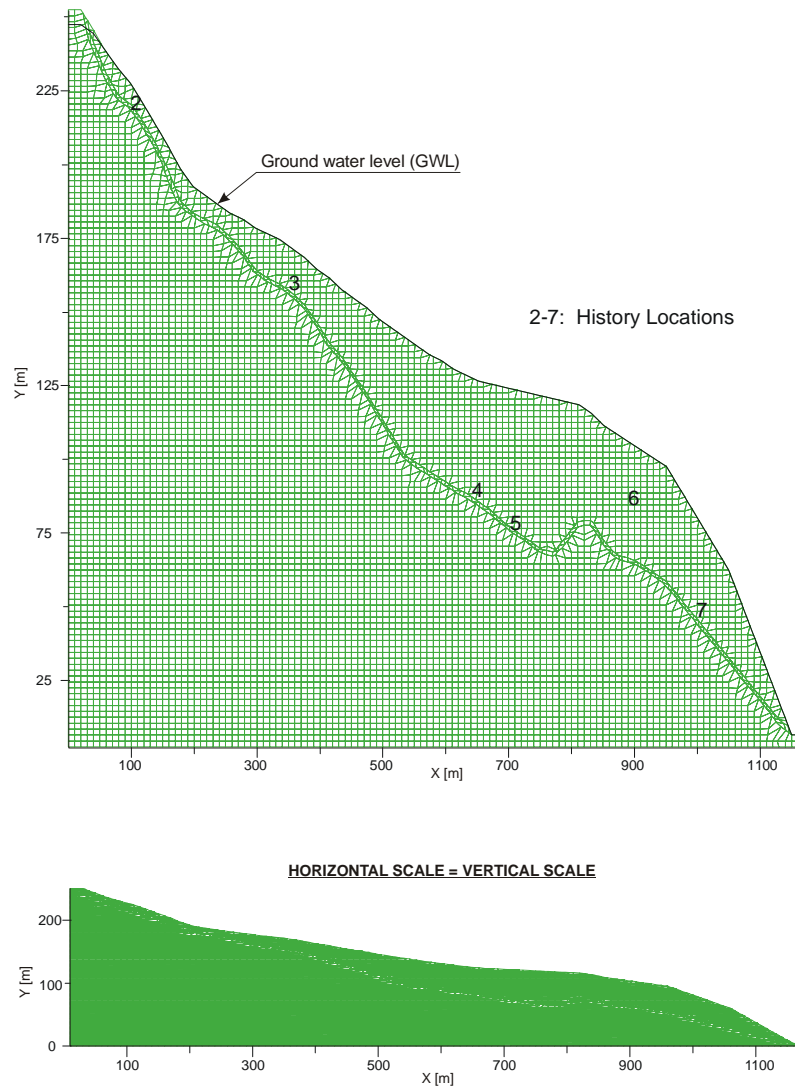


Fig. Maglia alle differenze finite, sezione 1a; nella parte superiore la scala delle altezze è esagerata, mentre nella parte inferiore il profilo è in scala 1:1. Nella parte superiore è riportata il livello della superficie piezometrica, che coincide con la superficie topografica e la collocazione dei punti di misura degli spostamenti (history location)

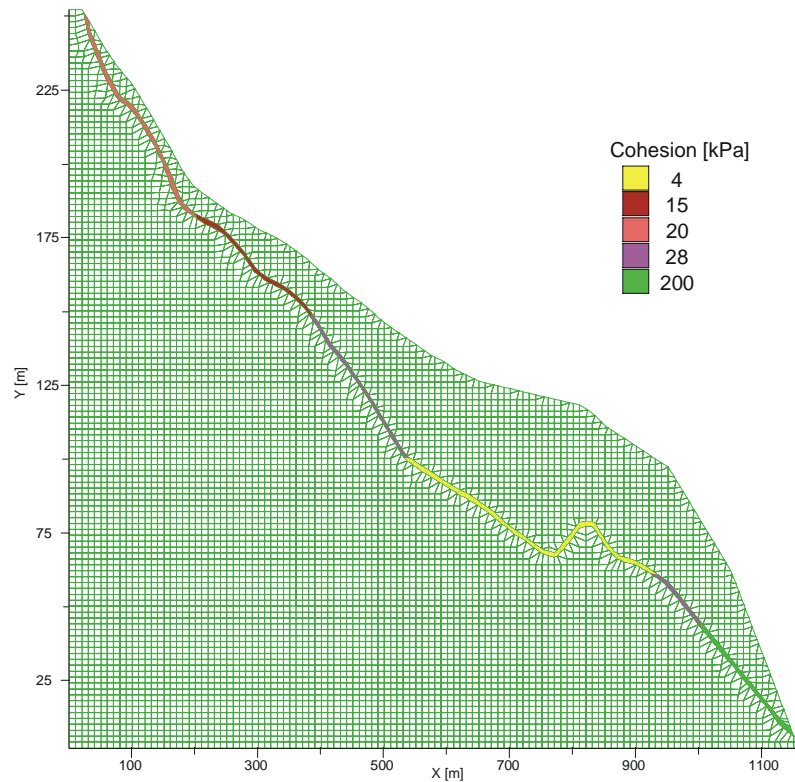
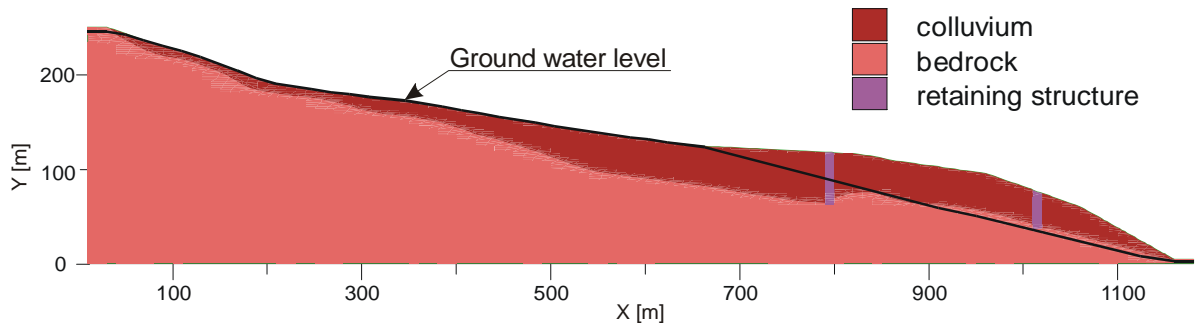


Fig.4. Distribuzione della coesione dei materiali lungo la superficie di scivolamento

Sono stati effettuati i calcoli per questo modello e si è raggiunto un intervallo di tempo di creep di sei mesi. In seguito è stata continuata l'analisi.

Si sono analizzate le influenze delle seguenti modificazioni condotte sul modello (Fig. seguente), tramite:

- abbassamento della superficie piezometrica nella parte inferiore del versante;
- applicazione di strutture di contenimento nella parte inferiore e mediana del versante.



Modificazioni del modello in seguito al miglioramento delle condizioni di stabilità del versante. Colluvium = colluvio; bedrock = roccia in posto; retaining structure = struttura di contenimento

Il cambiamento del livello della falda (Ground Water Level, GWL) influenza positivamente i parametri di plasticità e viscosità dei materiali. Questo significa che le proprietà dei materiali nella porzione della superficie di scivolamento al di sopra della tavola d'acqua aumentano; la Fig. seguente mostra questo effetto.

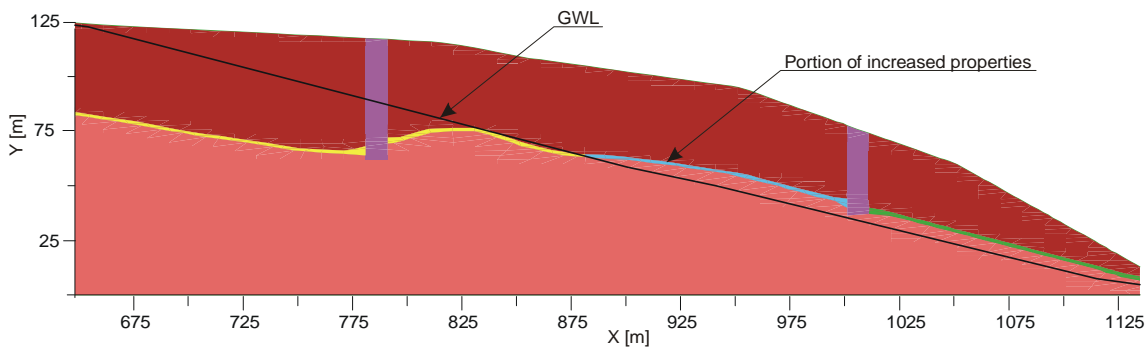


Fig. Porzione della superficie di scivolamento al di sopra della superficie piezometrica che mostra un miglioramento dei parametri

In seguito, sono stati utilizzati parametri più elevati:

Coesione $c = 56 \text{ kPa}$ (i.e., originaria moltiplicata per 2)

Angolo di attrito $\phi = 20^\circ$

Modulo di taglio di Kelvin $E_k = 1E+6 \text{ kPa}$ (i.e., originario moltiplicato per 10)

Coefficienti di viscosità (entrambi) = $2E+11 \text{ kPa s}$ (i.e., originario moltiplicato per 10).

Le assunzioni di cui sopra devono essere prese in considerazione con cautela. Infatti, non è nota la relazione tra il contenuto d'acqua del materiale e le sue proprietà geomeccaniche, sia viscoso che plastico. Di conseguenza, tali assunzioni hanno un carattere speculativo e possono dare luogo a importanti differenze tra i risultati della simulazione e il comportamento



reale dei materiali. In ogni caso, senza tali assunzioni non sarebbe possibile procedere in ulteriori simulazioni, a causa della mancanza di dati di input.

Le strutture di contenimento sono state modellate come elastiche, con modulo di Young $E_r = 5E+6$ kPa e coefficiente di Poisson $\nu = 0.25$.

12.6.3. Risultati dei calcoli

Nella Fig. seguente è mostrato il campo degli spostamenti orizzontali generati per un tempo di creep di sei mesi. Si può notare come in gran parte del versante si siano verificati spostamenti tra 75 mm e 125 mm, con velocità di spostamento pari a $12.5 \div 21.0$ mm/mese.

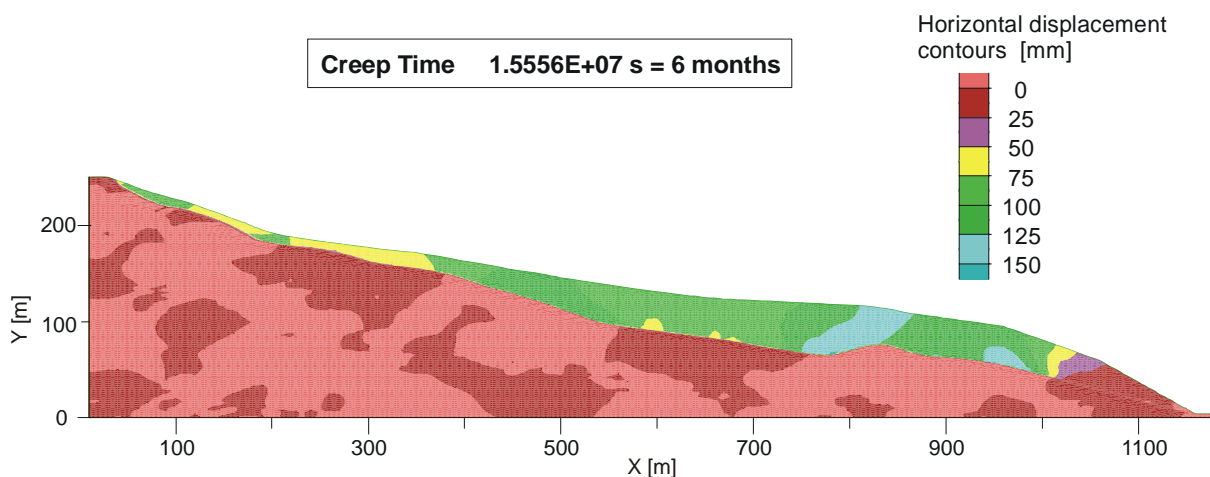


Fig.. Campo degli spostamenti orizzontali generato per un tempo di creep di sei mesi

Gli spostamenti maggiori si sono verificati nella parte inferiore del versante. I record di spostamento nei punti di controllo H.6 e H.7, mostrano linee praticamente rettilinee (Fig. seguente), il che significa che il fenomeno di creep è costante.

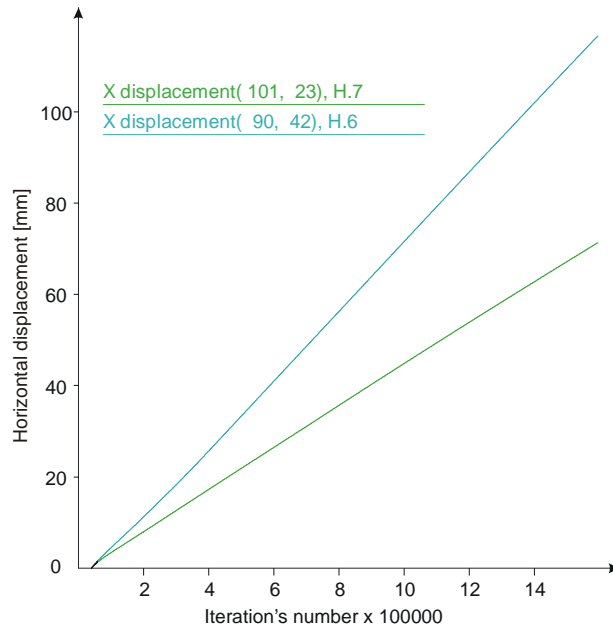
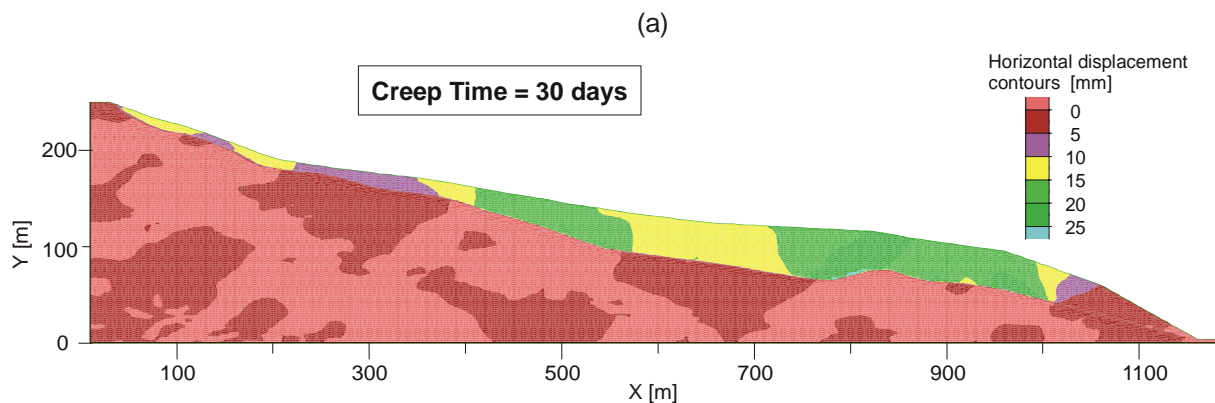


Fig. Spostamenti orizzontali in corrispondenza dei punti H.6 e H.7 generati in un tempo di creep di 6 mesi

Nello stadio successivo, la procedura di calcolo ha simulato il processo di creep secondo le seguenti modalità:

- 30 giorni di creep per il modello originario;
- 10 giorni di creep dopo l'abbassamento della superficie piezometrica;
- 25 giorni di creep dopo la costruzione delle strutture di contenimento.

La Fig. sottostante mostra il campo degli spostamenti orizzontali in queste diverse fasi.



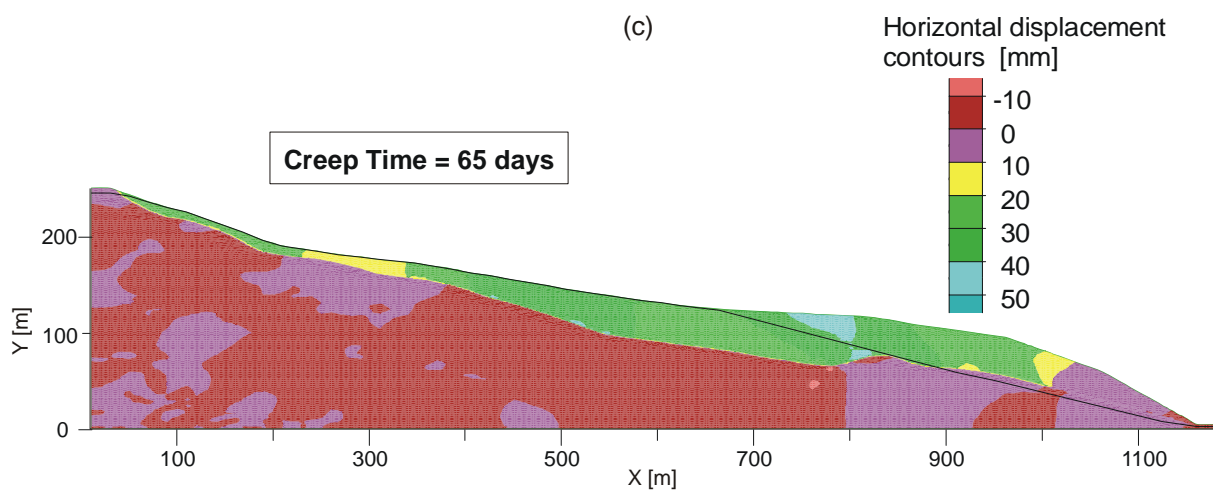
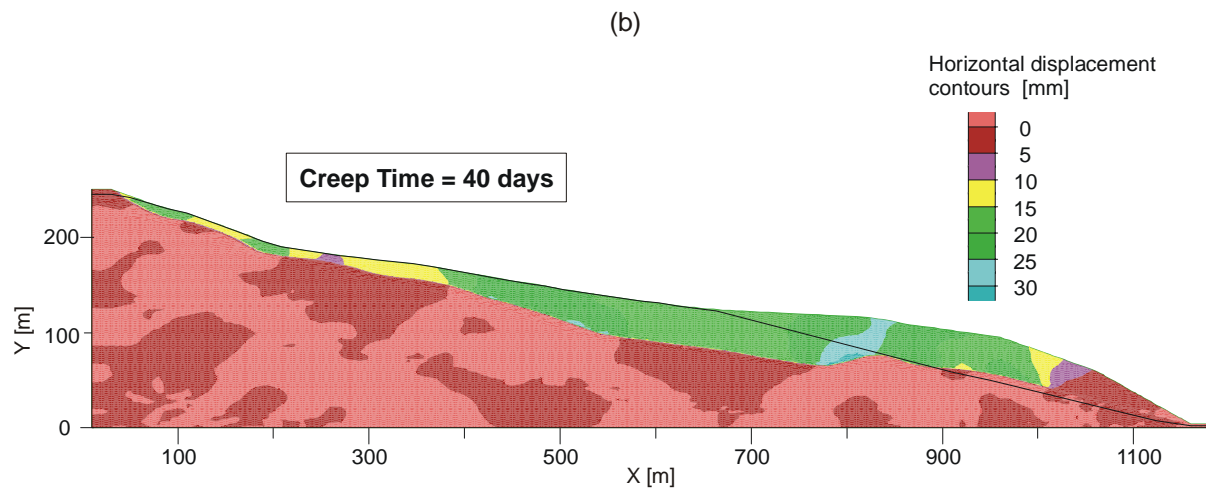


Fig. Evoluzione degli spostamenti orizzontali nel versante come effetto del fenomeno di creep

È impossibile stimare l'intensità del creep, partendo solo da questa figura.

La Fig. seguente presenta l'andamento degli spostamenti che si sono registrati nei punti H.3÷H.7, in funzione del tempo.

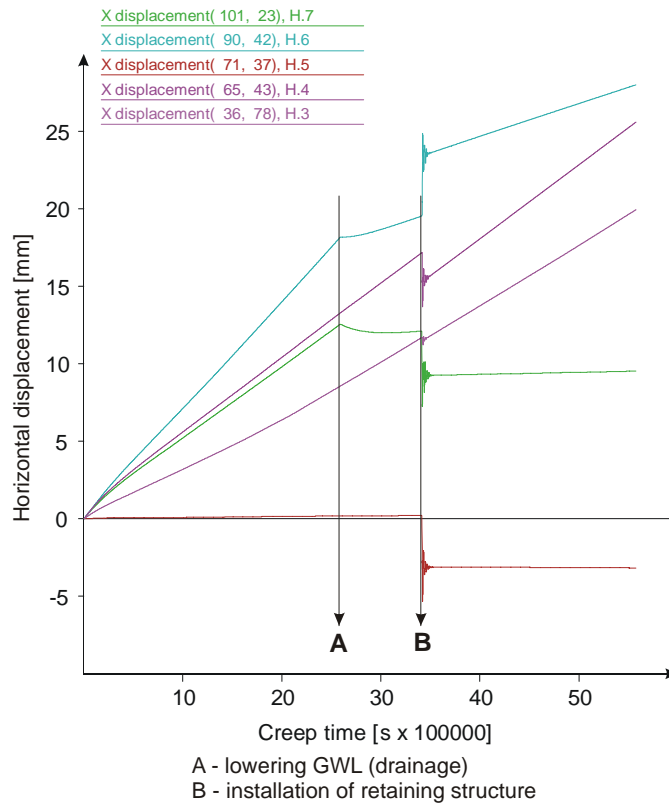


Fig. Andamento degli spostamenti orizzontali registrati nei punti H.3-7 in funzione del tempo. A: drenaggio; B: installazione delle strutture di contenimento

Sulla base dei dati presentati si può notare come un abbassamento della tavola d'acqua influisca sulle deformazioni nella parte inferiore del versante, ma che questo effetto sia comunque abbastanza locale (vedi H.6, H.7). In ogni caso il grado di creep diminuisce sensibilmente in questo settore, ed in particolare in corrispondenza di H.7. È possibile che tale effetto sia maggiormente osservabile per periodi di creep più prolungati. Il grado di creep diminuisce invece molto rapidamente dopo l'applicazione delle strutture di contenimento. Come nel caso dell'abbassamento della tavola d'acqua, anche in questo caso l'effetto della struttura è registrabile in un'area relativamente limitata. Si può supporre che per un periodo di simulazione di creep più lungo si osserverebbero più distintamente gli effetti positivi delle strutture di mitigazione proposte.



16.6.4. Conclusioni

I calcoli condotti sulla sezione scelta (n. 1a) mostrano l'influenza positiva del drenaggio e delle strutture di contenimento sulla stabilizzazione delle deformazioni del corpo di frana. Tali deformazioni non sono del tutto annullate, ma la loro intensità viene diminuita significativamente quando le opere di mitigazione vengono introdotte nel modello.

La sezione si colloca nella parte alta del versante coinvolto nella frana di Corvara. Se i movimenti in questo settore della frana venissero fermati, le forze che hanno un effetto di spinta sulla parte inferiore diminuirebbero.

I risultati della simulazione, pur avendo un carattere solo parzialmente quantitativo, danno comunque conferma della potenziale efficacia degli interventi di mitigazione proposti. In ogni caso, l'azione combinata del sistema di drenaggio e delle strutture di contenimento (fondate al di sotto della superficie di scivolamento) potrebbe ridurre considerevolmente le deformazioni della frana.

Infine, si deve sottolineare che in questa analisi è stata elaborata una procedura di simulazione che prende in considerazione tanto il comportamento elasto-plastico che quello viscoso.