

LA GRANDE FRANA DI MAIERATO (VV)

A cura di L. Arieni, M. Canavesi, P. Gattinoni, V. Imeneo, L. Scesi, C. Silvestri.

laura.scesi@polimi.it, paola.gattinoni@polimi.it

Indice

1	INTRODUZIONE.....	2
2	ASSETTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO.....	2
3	ASSETTO IDROGEOLOGICO	8
4	CRONOLOGIA DEGLI EVENTI.....	9
5	CARATTERISTICHE ED EFFETTI DELLA FRANA.....	10
6	CARATTERIZZAZIONE GEOLOGICO-TECNICA.....	12
7	CINEMATISMO E FATTORI D'INNESCO.....	14
8	ANALISI PRELIMINARE DI STABILITÀ	16
9	CONCLUSIONI.....	19
10	RINGRAZIAMENTI	19
11	BIBLIOGRAFIA	19

ABSTRACT

A large landslide formed at Maierato (Vibo Valencia District), Southern Italy, on February 15, 2010, at 14:30 local time, when rapid failure occurred after several days of preliminary movements. The landslide has an area of 0.3 km², a runout distance of 1.2 km and an estimated volume of about 10 Mm³. The landslide caused nearly 2,300 inhabitants to be evacuated with high economic losses. The most probable trigger of the landslide was the cumulative precipitation over the preceding 20 days (having a return period of more than 100 years), which followed a long period of 4-5 months of heavy rainfall (of about 150% of the average rainfall of the period). This report presents a summary of our findings pertinent to the landslide's activities based on our field investigations. In particular, this report covers: (1) details of land deformation caused by the landslide, (2) geology pertinent to landslide development, (3) identification of the landslide mechanism and its triggering factors based on the analysis of the boring core specimens and landform features, as well as the available video of the event, and (4) preliminary evaluation of stability of the original slope before the landslide using the finite-element-based shear strength reduction method. The aim of the paper is to describe the landslide and explain its mechanism of occurrence.

1 INTRODUZIONE

In data 15 febbraio 2010, alle ore 16.30 circa, il Comune di Maierato (VV) è stato interessato da un vasto movimento franoso che ha coinvolto il versante sinistro del Torrente Scotrapiti, interrompendo la viabilità lungo la circonvallazione del paese e lungo la Strada Provinciale per Filogaso. Fortunatamente, la preventiva evacuazione della zona ha scongiurato il coinvolgimento di persone nel movimento franoso. Tale frana, uno scivolamento roto-traslazionale evoluto in colata (Figura 1), ha comunque causato l'evacuazione di circa 2300 abitanti e la distruzione di alcune vie di comunicazione principali per l'area.

Nella presente nota si descriveranno la cronologia degli eventi, gli effetti della frana, il suo meccanismo e i relativi fattori d'innescio. Tutte le evidenze che verranno illustrate nel seguito derivano da dati di campo raccolti durante il rilevamento in sito e l'esecuzione di sondaggi meccanici, oltre che dall'esecuzione di prove geotecniche di laboratorio e dall'esame dei dati meteorologici disponibili per l'area in esame. Infine, sulla base della ricostruzione del modello concettuale della frana e grazie ai parametri di resistenza e deformabilità

ricavati dalle prove di laboratorio è stato possibile procedere ad una prima verifica delle condizioni di stabilità, tramite l'impiego di un modello matematico agli elementi finiti. L'obiettivo della presente nota è quindi triplice: (1) descrivere l'assetto geomorfologico, geologico e idrogeologico della frana di Maierato, (2) fornire una cronologia degli eventi, utile alla caratterizzazione del movimento franoso e (3) discutere i fattori predisponenti e scatenanti della frana, fornendo alcune indicazioni circa la sua futura evoluzione.

2 ASSETTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO

L'area in esame si colloca nel Comune di Maierato (Provincia di Vibo Valentia), ubicato nella Calabria centrale, a NE di Pizzo Calabro, a pochi chilometri di distanza dalla costa tirrenica, e immediatamente a Sud della stretta di Catanzaro, sul versante sudorientale di una struttura distensiva ad horst e graben avente direzione NE-SO. Più in particolare, l'evento franoso del 15 febbraio 2010 è localizzato ad Ovest del centro abitato di Maierato, lungo il versante compreso tra le località Draga, Mosto e Giardino (Figura 1).



Figura 1 - Immagine panoramica della grande frana di Maierato.

Tale versante presenta un'esposizione verso Sud-Est ed è caratterizzato da una sommità sub pianeggiante (posta ad una quota di circa

315 m s.l.m.) e da un profilo debolmente concavo, digradante verso il Fosso Scotrapiti.



Figura 2 - Inquadramento geomorfologico dell'area di studio. In rosso è delimitata la DGPV (Guerricchio et alii, 2010, modificata). Le frecce indicano le direzioni di movimento della DGPV mentre la linea tratteggiata in giallo indica la posizione della

Da un punto di vista geomorfologico, l'area in esame è interessata da una grande deformazione gravitativa profonda di versante (DGPV) che coinvolge la porzione

Sud-orientale della Cresta Basilica (Figura 2), delimitata dal Fosso Scotrapiti (a Sud) e dal Fosso Ceramida (a Nord), per un estensione di circa $7,5 \times 3,5 \text{ km}^2$ (GUERRICCHIO ET ALII, 2010).

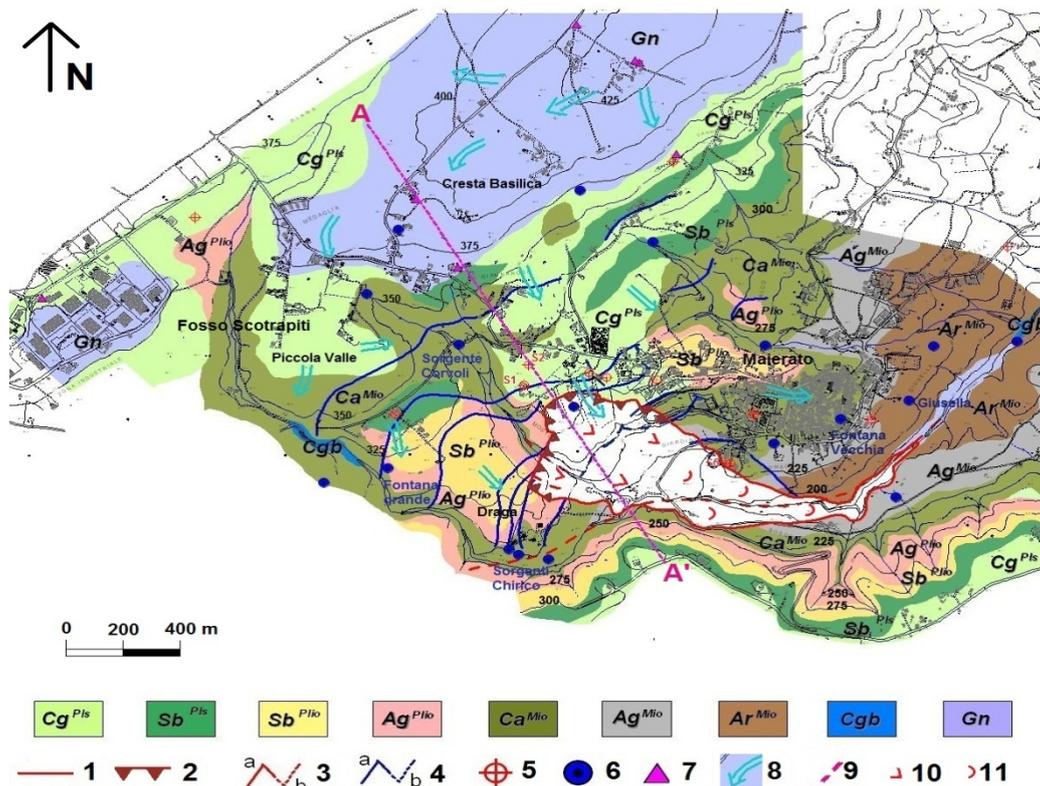


Figura 3 - Carta geologica della zona in frana. Legenda dei simboli: (CgPls) conglomerati continentali (Pleistocene), (SbPls) sabbie continentali (Pleistocene), (SbPlio) sabbie argillose con macrofossili e (AgPlio) argille (Pliocene Medio), (CaMio) calcari evaporitici (tardo Miocene), (Ag^{Mio}) argilliti (Miocene Sup.), (Ar^{Mio}) arenarie e argille sabbiose (Miocene Med-Sup.), (Cgb) conglomerati (Miocene Med-Sup.), (Gn) substrato cristallino metamorfico (Paleozoico), (1) frana limite del corpo di frana, (2) scarpata principale della frana, (3) faglie (a = rilevate, b = presunte), (4) superfici di movimento (a = rilevate, b = presunte), (5) sondaggi meccanici/piezometri, (6) sorgenti, (7) pozzi, (8) direzioni di flusso sotterraneo, (9) traccia della sezione AA', (10) scorrimento, (11) colamento.

Da un punto di vista geologico, in sostanziale accordo con quanto riportato dalla Carta Geologica della Calabria (Cassa per il Mezzogiorno, 1968), il rilevamento in sito dell'area di frana ha permesso di individuare

la seguente successione stratigrafica (Figura 3 e Figura 4) (le formazioni sono riportate in ordine cronologico dalla più recente alla più antica):

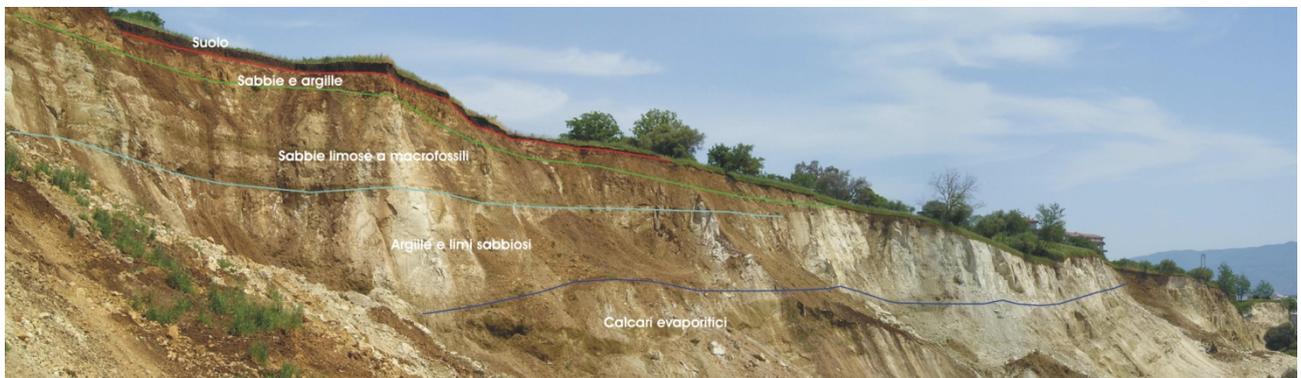


Figura 4 - Particolare della scarpata principale della frana dove è visibile la porzione più giovane della successione stratigrafica.

depositi recenti di origine continentale (Pleistocene), aventi spessore variabile tra 0 e 10 m; sono costituiti prevalentemente da conglomerati in matrice sabbioso-limosa (nella porzione superiore) e sabbie limoso-

argillose (nella porzione inferiore) dalla colorazione tipicamente rossastra (Figura 5a); tali depositi sono permeabili, moderatamente costipati e presentano una resistenza all'erosione da bassa a moderata;



Figura 5 - Immagini rappresentative delle diverse formazioni: (a) conglomerati di origine continentale con ciottoli di origine gneissica e scistosa in abbondante matrice sabbioso-argillosa di colore oca-bruno (Loc. Giannarosa); (b) sabbie grigio-giallastre nella parte sommitale della formazione Pliocenica, con presenza di strutture di

risedimentazione e macrofossili (Loc. Maierato); (c) affioramento di argille plioceniche passanti verso l'alto a sabbie argillose lungo un fronte laterale della frana con distacco di blocchi a comportamento rigido (Loc. Olivetta); (d) affioramento di calcare evaporitico miocenico sulla scarpata della frana, con evidenti intercalazioni argillose; (e) argilliti mioceniche prelevate durante un carotaggio; (f) affioramento di arenarie mioceniche cementate, con presenza di fossili (bivalvi, pettinidi, gasteropodi,...), in Loc. Giusella; (g) conglomerato basale con grossi blocchi di origine gneissica imballati in matrice sabbiosa-ghiaiosa, nell'alveo Fosso Scotrapiti (Loc. Olivetta); (h) basamento cristallino molto alterato in sabbie (arenitizzato), con orizzonte pedogenizzato superficiale dello spessore di circa 2 m (Loc. Cresta Basilica).

sabbie e sabbie argillose (Pliocene medio), di colore grigio chiaro fino a bruno chiaro, moderatamente addensate, ricche in fossili (in particolare pectinidi e gasteropodi, Figura 5b); sono caratterizzate da uno spessore compreso tra 5 e 25 m; talora all'interno delle sabbie sono presenti strutture di risedimentazione a laminazioni incrociate e hummocky, che testimoniano un cambiamento dell'ambiente deposizionale pur conservandosi le condizioni marine poco profonde;

argille, argille siltose e silts (Pliocene medio), di colore bruno-chiaro fino a grigiastro, con intercalazioni di grosse bancate di marne calcaree, oppure in sottili strati di sabbie grossolane, per uno spessore variabile da 10 a 25 m (Figura 5c); hanno le tipiche caratteristiche dei terreni pelitici, ossia granulometria finissima e scarsa permeabilità;

calcare evaporitico bianco-giallastro (tardo Miocene) con intercalazioni argillose e marnoso-argillose oltre che noduli e lenti di anidrite (Figura 5d); tale calcare, che ha una potenza decametrica (variabile da circa 25 a circa 45 m), si presenta da stratificato a mal stratificato, generalmente in bancate; spesso, ove i processi erosivi non sono stati aggressivi e in funzione del maggior grado di cementazione, assume consistenza quasi lapidea; di contro, dove il processo erosivo ha avuto maggiore possibilità di azione, il calcare si presenta a volte disgregato, assimilabile ad una sabbia molto fine o ad un'argilla; a Nord dell'abitato di Maierato (loc. Giannarosa e Falco) tale unità poggia, in discordanza angolare, direttamente sul basamento metamorfico;

argilliti e marne argillose (Miocene superiore) di colore grigio scuro-verde (Figura 5e); tali argille si presentano ben consolidate, talora con notevole coesione, e contengono sottili intercalazioni sabbioso-limose; il contatto con le sottostanti arenarie e argille sabbiose è transizionale (molto evidente in termini cromatici); lo spessore è compreso tra 10 e 20 m, con tendenza a diminuire verso Ovest, dove affiora solo in Loc. Draga; affiora invece con notevole continuità in località Giardino, ad Est dell'abitato di Maierato e lungo il Fosso Scotrapiti. Considerando la loro caratteristiche granulometriche e coesive, questa Formazione costituisce un orizzonte poco permeabile, al cui contatto sono stati rilevati numerosi fenomeni risorgivi (es. Fontana Vecchia);

arenarie e argille sabbiose (Miocene medio-superiore), talora cementate, con frammenti di bioclasti e livelli sabbioso-siltosi di colore grigio; tale formazione, affiorante lungo il Fosso Scotrapiti a valle della loc. Vonace, presenta, dal punto di vista litologico e stratigrafico, una notevole diversificazione sia laterale che verticale; i caratteri essenziali della Formazione sono rappresentati da una granulometria generalmente medio-grossolana e composizione quarzoso-silicea, accompagnata dalla presenza di intercalazioni di arenarie, sia alternate agli strati sabbiosi che in grosse bancate stratificate, la cui potenza è molto variabile; questa unità affiora nella parte bassa dell'abitato di Maierato in località Vonace e Giusella, con potenza variabile da 10 a oltre 40 m; nonostante la parziale cementazione, non si può parlare di arenarie vere e proprie, ma di un sedimento che, seppur dotato di

una certa consistenza, è fortemente erodibile (Figura 5f);

conglomerato a ciottoli e blocchi di origine gneissica, da subangolosi a subarrotondati in matrice sabbioso-ghiaiosa (Miocene medio-superiore), caratterizzato da modesto spessore (0-5 m) e scarsa continuità laterale (Figura 5g). Testimonia la lacuna temporale intercorsa tra la fine del Paleozoico e la trasgressione di età tortoniana; l'affioramento di tali conglomerati lungo lo Scotrapiti nella zona dell'Olivetta (a circa 330 m s.l.m.) e più a valle (nella zona compresa tra le località Giusella e Coturella) è indicativo della scarsa profondità alla quale si trova in queste zone il sottostante basamento cristallino;

basamento cristallino (Paleozoico), identificato a scala regionale con l'Unità di Castagna (tettonicamente sovrapposta alle filladi dell'Unità di Bagni), affiora con discreta continuità nella parte settentrionale dell'area (loc. Cresta Basilica), nella zona posta alle quote altimetriche maggiori (superiori ai 375

m s.l.m.). Esso costituisce il substrato su cui poggia, in discordanza, la successione Neogenica precedentemente descritta; dal punto di vista litologico, prevalgono scisti e paragneiss biotitico-granatiferi, con associate metabasiti e frequenti intrusioni filoniane, rappresentate da apliti e pegmatiti, generalmente concordanti con la scistosità generale; i diversi eventi metamorfici sovrapposti, nonché le svariate vicissitudini tettoniche, hanno prodotto una serie di piani di fratturazione, concordanti e/o discordanti con la direzione della scistosità, fino alla formazione di strutture cataclastiche, quando non addirittura milonitiche; l'allentamento meccanico conseguente a tali processi, unitamente all'esposizione ad agenti atmosferici, ha aumentato la superficie soggetta alla loro azione, esasperando ed amplificando la progressiva fratturazione ed alterazione chimica (Figura 5h), con un netto decadimento delle caratteristiche meccaniche associato ad un incremento della permeabilità.



Figura 6 - Faglia lungo il fosso Corvoli.

Le rocce della successione sedimentaria appena descritta sono caratterizzate da una stratificazione sub orizzontale, avente

inclinazione di circa 10-15° con immersione verso ESE (Figura 4). Esse sono inoltre interessate da alcune dislocazioni tettoniche

di modeste dimensioni ad andamento NO-SE (Figura 4 e Figura 6), oltre che da due famiglie di discontinuità verticali, circa ortogonali tra

loro, aventi direzione rispettivamente 35°-215° e 150°-330°, particolarmente evidenti sul fronte di frana (Figura 7).

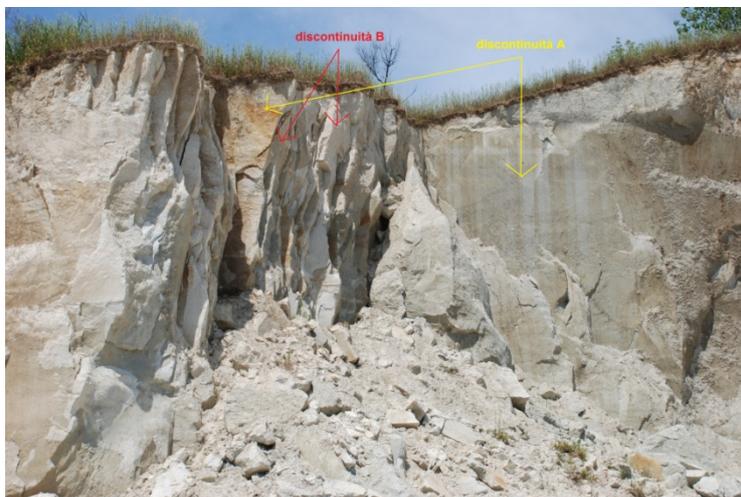


Figura 7 - Particolare della parete rocciosa della nicchia si distacco. Sono evidenti le discontinuità che suddividono l'ammasso, svincolandolo sia a monte (discontinuità A) che lateralmente (discontinuità B).

La successione normale mostra una tendenza all'assottigliamento verso Ovest e risulta localmente ribassata e raddoppiata (Figura 3). Come si può vedere dalla Carta Geologica (Figura 3), infatti, le formazioni sopra descritte risultano traslate da numerose superfici di scollamento, collegate ad antichi movimenti gravitativi e concentrate soprattutto nella zona occidentale del paese, più in particolare, lungo la dorsale compresa tra le località Piccola Valle e Draga e nella zona interessata dal movimento franoso del 15 febbraio u.s. (località Mosto e Giardino).

3 ASSETTO IDROGEOLOGICO

Nell'area di studio è presente un acquifero profondo, contenuto all'interno del substrato cristallino, dal quale prelevano acqua i pozzi dell'acquedotto comunale di Maierato. Il monitoraggio piezometrico eseguito negli ultimi mesi ha permesso di evidenziare che la falda contenuta negli scisti è localmente in pressione, in quanto confinata dalle sovrastanti argille del Miocene, con una prevalenza che raggiunge anche i 15 m

(piezometro S1, Figura 4). Tale vasto acquifero riceve la propria alimentazione dall'altopiano di Cresta Basilica, dove l'elevata permeabilità degli scisti subaffioranti determina una notevole capacità di infiltrazione, seppure con tempi di risposta alle sollecitazioni meteoriche relativamente lunghi. La direzione di flusso principale appare orientata da NO verso SE (Figura 3) e alimenta localmente i due acquiferi più superficiali, contenuti rispettivamente nelle arenarie mioceniche e nei calcari evaporitici, tra loro separati dal setto impermeabile delle argille mioceniche. Anche per questi due livelli acquiferi più superficiali la direzione di flusso principale ha andamento NO-SE e determina l'alimentazione di svariate sorgenti. In particolare, il livello acquifero costituito dalle arenarie mioceniche alimenta:

la Fontana Grande: ubicata in località Olivetta a circa 320 m s.l.m.; fino agli anni '80 tale sorgente alimentava le fontane del centro abitato di Maierato tramite una condotta che passava nella parte alta del versante e che è stata interessata dal movimento franoso del 15 febbraio u.s.; la sorgente, che eroga una

portata stimabile in alcuni l/s, è tutt'ora captata e scarica le sue acque direttamente nel Fosso Scotrapiti;

la sorgente Corvoli: ubicata anch'essa in località Olivetta, a circa 320 m s.l.m., che alimenta il fosso omonimo.

Una delle principali zone di recapito della falda contenuta nei calcari evaporitici si localizza, invece, proprio in corrispondenza della zona attualmente in frana. Qui, infatti, erano storicamente presenti vari punti di risorgiva, che emergevano nella parte bassa del versante, al contatto tra i calcari evaporitici e le argilliti mioceniche sottostanti, alimentando i sistemi irrigui delle zone denominate (non a caso!) Giardino e Pantano. Inoltre, la falda contenuta nei calcari evaporitici (al contatto con le sottostanti argille mioceniche) alimenta le seguenti sorgenti:

Sorgenti Chirico: ubicate in località Draga, alla quota di circa 250 m s.l.m.;

la Fontana Vecchia: ubicata nella parte bassa del centro abitato di Maierato, con una portata costante durante l'anno e stimabile in alcuni l/s;

la sorgente ubicata in località Giusella alla quota di circa 210 m s.l.m..

Poiché la principale causa scatenante dell'evento franoso è da ricercarsi nell'intensa circolazione idrica sotterranea (ISPRA, 2010), si sono analizzati i dati di pioggia disponibili per l'area in esame. Gli studi condotti da ARPACAL (2010) immediatamente dopo l'evento, evidenziano come il periodo da agosto 2009 a febbraio 2010 sia stato per la Regione Calabria particolarmente piovoso, raggiungendo in alcune zone valori di pioggia cumulata quasi triplicati rispetto ai valori medi del periodo; come se ciò non bastasse tale periodo fortemente piovoso seguiva ad alcuni anni

più piovosi della media, tali quindi da determinare un sensibile aumento delle riserve idriche sotterranee. Un recente studio di ARPACAL (FILICE ET ALII, 2010) evidenzia come la pioggia cumulata e relativa al periodo settembre 2009 - 15 febbraio 2010 costituisca per l'area di studio il massimo degli ultimi 58 anni, con valori di pioggia cumulata ben al di sopra della media.

E' importante sottolineare che l'abbondanza di precipitazioni interessa un periodo di tempo prolungato, che comprende sia la stagione autunnale (periodo di ricarica dell'acquifero profondo) sia l'arco temporale immediatamente antecedente l'evento franoso in esame (gennaio-febbraio 2010). In particolare, è interessante osservare che le precipitazioni sono risultate ben distribuite durante l'intera stagione, senza picchi di eccezionale intensità, favorendo di conseguenza l'infiltrazione nel sottosuolo. Inoltre, nei 20 giorni antecedenti il collasso, non ha praticamente mai smesso di piovere; studi precedenti (GUERRICCHIO ET ALII, 2010) hanno evidenziato che la cumulata a 20 giorni, decurtata dei picchi superiori ai 25 mm/d così da considerare solo le precipitazioni con elevato tasso di infiltrazione, è caratterizzata da un tempo di ritorno di 100 anni.

4 CRONOLOGIA DEGLI EVENTI

L'evento franoso principale si è verificato in data 15 febbraio 2010, alle ore 16.30 circa. Il collasso è stato preceduto da una lunga fase deformativa (Figura 8), che ha interessato il piede del versante fino a rendere inagibile la strada che da Maierato conduceva a Filogaso.



Figura 8 - Evidenze deformative lungo il versante successivamente collassato. Si osserva la presenza di una zona depressa a monte e una rigonfiata a valle (in corrispondenza della strada, per altro lesionata).

Di conseguenza, quando è avvenuto il collasso l'area era fortunatamente sgomberata, evitando così il coinvolgimento di persone. Inoltre, l'allarme in atto ha fatto sì che sul posto fossero presenti troupe televisive che hanno documentato il momento del collasso.

Tali filmati evidenziano come il collasso, avvenuto in circa una decina di minuti, si sia verificato per arretramenti successivi della scarpata, lungo linee ad andamento NE-SO, sostanzialmente parallele al versante, con innesco nella zona posta immediatamente a SO del tornante e successiva propagazione verso NO, a quote progressivamente crescenti, fino a giungere all'attuale scarpata principale.

Da un punto di vista cinematografico, i filmati evidenziano come l'ammasso roccioso assuma un movimento assimilabile a quello di un flusso viscoso, con traslazione di blocchi di roccia anche di grandi dimensioni tra loro completamente disarticolati. I filmati

mostrano al momento del collasso fuoriuscite di acqua (apparentemente in pressione) dal fronte della frana; tale circolazione idrica ha portato nei giorni successivi all'evento alla formazione di numerosi accumuli d'acqua nel corpo di frana, tutt'ora alimentati dalla ricarica proveniente da monte.

In data 20 febbraio 2010 si è inoltre manifestato un arretramento di circa 80 m della parte centrale della corona di frana.

5 CARATTERISTICHE ED EFFETTI DELLA FRANA

Il movimento franoso ha portato alla formazione di una scarpata principale sub-verticale di circa 50 m di altezza, di forma arcuata e lunga circa 500 m (Figg. 3 e 4), pressoché in continuità verso SO con la scarpata già presente in Località Draga (Fig. 9).



Figura 9 - Evidenze di movimenti gravitativi in località Draga. Si osservi l'allineamento dell'antica scarpata (in rosso) con quella della recente attivazione del 15 febbraio u.s. (in giallo) visibile sulla destra della foto.

In particolare, il fianco sinistro della frana coincide con una dislocazione tettonica sub-verticale (Figura 3 e Figura 10), mentre lungo tutta la scarpata di frana si osservano diversi sistemi di discontinuità, in grado di svincolare

blocchi di roccia sia lungo la direzione del versante (parallelamente alla nicchia di distacco) sia ortogonalmente ad esso (Figura 7).



Figura 10 - Parete rocciosa delimitante il fianco sinistro della frana.

Il movimento franoso, di tipo composito oltre che complesso (CRUDEN & VARNES, 1996), si è innescato come scivolamento roto-traslazionale (la componente rotazionale del movimento è testimoniata da alcune morfologie tipiche ancora evidenti nell'accumulo di frana, Figura 11), è poi evoluto in colata, coprendo una distanza di

circa 1,2 km, per una superficie di frana complessiva pari a circa $0,3 \text{ km}^2$, corrispondente ad un volume dell'ordine dei 10 Mm^3 . Il successivo arretramento della scarpata principale, caratterizzato da una lunghezza di circa 200 m, ha poi coinvolto circa altri $0,4 \text{ Mm}^3$.



Figura 11 - Immagine del corpo di frana in cui si evidenziano, nella zona di distacco, la presenza di una scarpata principale sub verticale, mentre nella zona di accumulo sono evidenti sollevamenti e contropendenze.

Il corpo di frana, costituito da frammenti di calcare evaporitico di piccole dimensioni, con inclusioni di livelli sabbiosi e argillosi e alcuni blocchi lapidei di grandi dimensioni, ha completamente ostruito il corso del Torrente Scotrapiti e del Fosso Corvolì, con la formazione un lago di sbarramento oltre ad alcuni altri piccoli laghi alimentati anche dalla grande quantità di acque sotterranee affluenti da monte nella fase immediatamente successiva all'evento. Nei mesi scorsi, la realizzazione di un canale artificiale all'interno del corpo di frana ha permesso di ricostituire, almeno in parte, la continuità del corso d'acqua, evitando eccessivi accumuli.

6 CARATTERIZZAZIONE GEOLOGICO-TECNICA

Immediatamente dopo l'evento franoso del 15 febbraio u.s. si sono avviate alcune indagini geognostiche finalizzate alla ricostruzione geometrica del movimento franoso e al successivo monitoraggio, nonché messa in sicurezza dell'area in frana. A questo scopo, sono stati realizzati 8 sondaggi meccanici (Fig. 3), con esecuzione di prove di permeabilità Lefranc, prelievo di campioni indisturbati, da sottoporre a prove geotecniche di laboratorio, e posa di tubi piezometrici.

I sondaggi meccanici hanno permesso di: (1) confermare la successione stratigrafica già

illustrata; (2) valutare gli spessori delle diverse unità; (3) individuare la profondità del substrato (ove raggiunto dalla

perforazione); (4) individuare gli orizzonti acquiferi e misurare i corrispondenti livelli piezometrici (Figura 12);

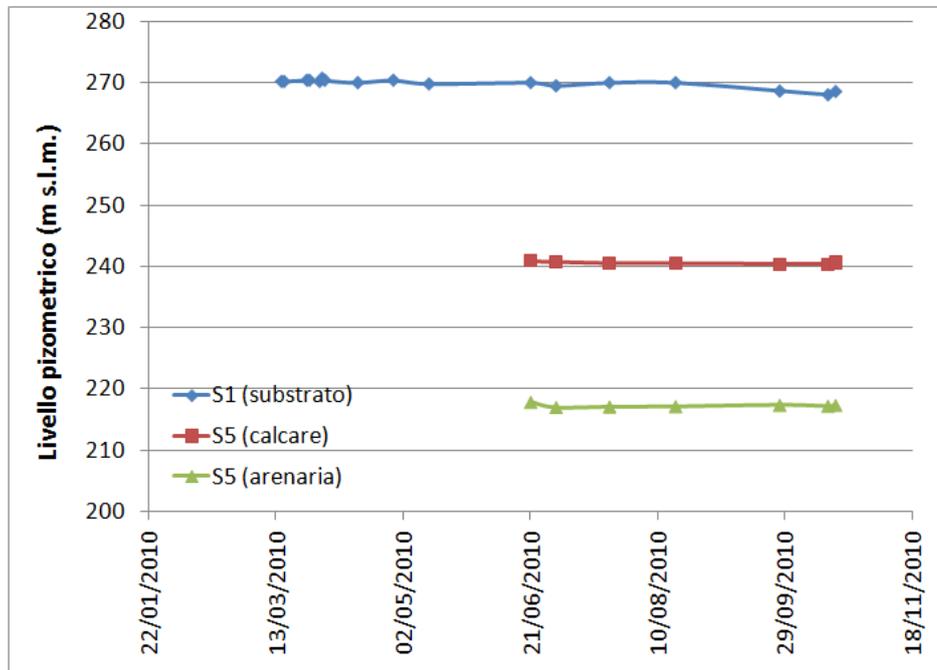


Figura 12 - Livelli piezometrici rilevati nei mesi successivi all'evento, in tre piezometri a diversa profondità.

(5) valutare il grado di alterazione e fratturazione dei diversi litotipi (Figura 13).



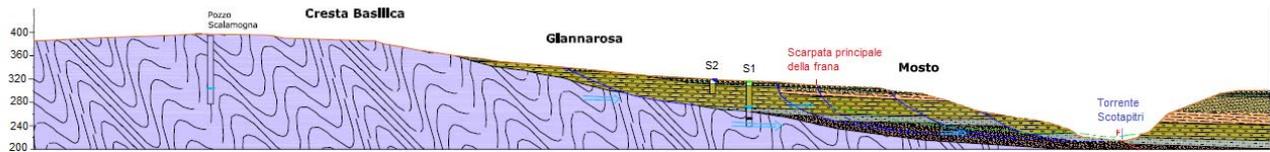
Figura 13 - Esempi di carote relative a: (a) calcari evaporitici, (b) arenarie mioceniche.

Inoltre, le prove Lefranc eseguite nei fori di sondaggio a diversa profondità hanno fornito per i calcari evaporitici conducibilità idrauliche comprese tra $3E-8$ e $4E-7$ m/s, mentre le arenarie mioceniche hanno evidenziato una conducibilità idraulica di circa $5E-8$ m/s. Tali valori di conducibilità idraulica relativamente elevati sono da imputare allo scarso stato di addensamento dei materiali, che infatti sono risultati avere valori di peso specifico asciutto pari a circa $19,5$ e 21 kN/m³ rispettivamente per le arenarie mioceniche e per i calcari evaporitici, corrispondenti a porosità del 28% per le arenarie mioceniche e del 22% per i calcari evaporitici. Infine, le prove di taglio diretto e le triassiali eseguite sempre sui campioni di calcare evaporitico e arenaria miocenica hanno evidenziato le scarse

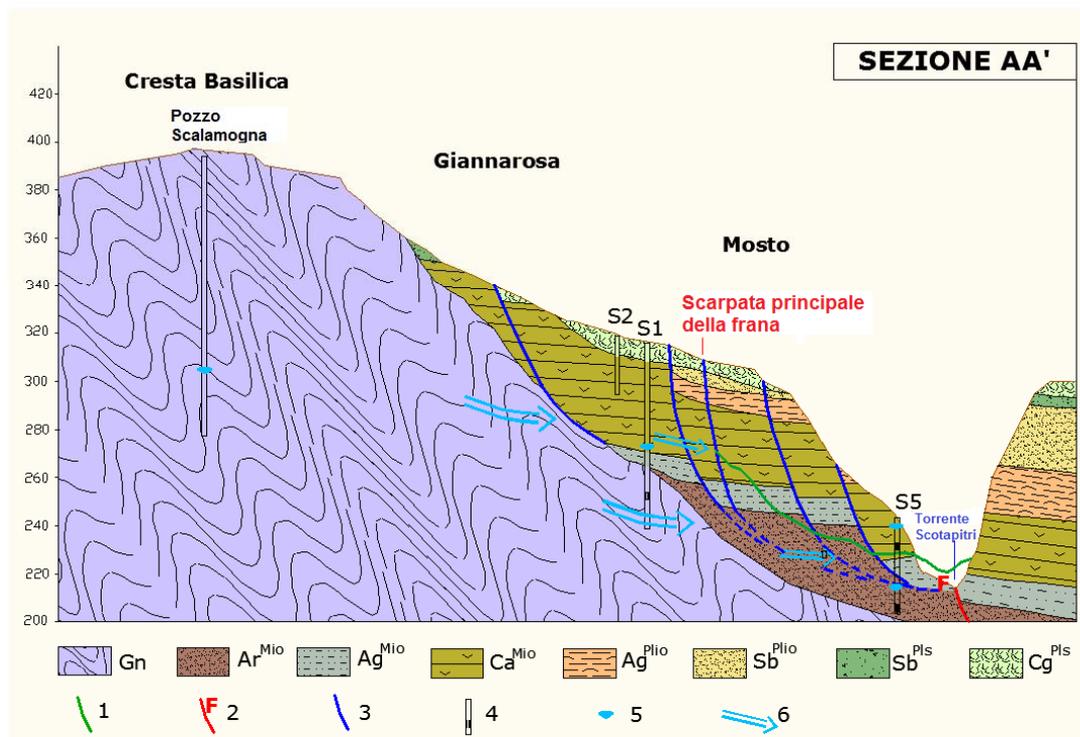
caratteristiche meccaniche di tali materiali. Infatti, per il calcare si sono ottenuti una coesione di 10 kPa, con un angolo d'attrito mediamente pari a 33° e un modulo elastico molto basso (compreso tra 6 e 24 MPa). Analogamente per le arenarie mioceniche si è ottenuto un angolo d'attrito di 37° , con coesione nulla e un modulo elastico compreso tra 70 e 175 MPa.

7 CINEMATISMO E FATTORI D'INNESCO

La rottura si è probabilmente sviluppata all'interno delle arenarie mioceniche (caratterizzate nella zona in frana da una scarsissima cementazione), ad una profondità di circa 60-70 m (Figura 14).



(a)



(b)

Figura 14 - Sezione geologica lungo la direzione di movimento della frana (fattore di esagerazione verticale pari a 5). Legenda dei simboli: (Cg^{Pls}) conglomerati continentali (Pleistocene), (Sb^{Pls}) sabbie continentali (Pleistocene), (Sb^{Plio}) sabbie argillose con macrofossili e (Ag^{Plio}) argille (Pliocene Medio), (Ca^{Mio}) calcari evaporitici (tardo Miocene), (Ag^{Mio}) argilliti (Miocene Sup.), (Ar^{Mio}) arenarie e argille sabbiose (Miocene Med-Sup.), (Cgb) conglomerati (Miocene Med-Sup.), (Gn) substrato cristallino metamorfico (Paleozoico), (1) superficie topografica attuale, (2) faglie, (3) superfici di movimento, (4) piezometri e relativi filtri, (5) livello piezometrico, (6) direzioni di flusso sotterraneo.

Il cinematismo di tipo complesso, inizialmente ascrivibile ad uno scivolamento roto-traslazionale in direzione SE (come testimoniano i rigonfiamenti osservati dai Vigili del Fuoco immediatamente prima dell'innescò nonché quelli ancora presenti nel corpo di frana, Figura 8 e Figura 11), è poi evoluto rapidamente in colata a causa dell'abbondante quantità di acqua presente nell'ammasso roccioso.

La principale causa predisponente del dissesto è da ricercarsi nella naturale debolezza geologica di questo territorio, caratterizzato dalla presenza di rocce deboli sia per litologia (i calcari evaporitici e le

argilliti) che per fratturazione (la porzione più superficiale del basamento cristallino), con una successione stratigrafica caratterizzata dall'alternanza tra materiali più permeabili (i calcari, le sabbie del Miocene e gli scisti) e materiali a bassa permeabilità e comportamento spiccatamente plastico (le argilliti del Pliocene, sopra, e quelle del Miocene, sotto). Una tale configurazione geologica, unita all'intenso stato di tettonizzazione che caratterizza questo settore della crosta terrestre, costituisce un fattore fortemente predisponente al franamento.

Il movimento si è innescato a causa dell'intensa circolazione idrica che, in seguito agli eventi meteorici prolungati che hanno interessato la Calabria e, in particolare, l'area di studio nel periodo compreso tra l'agosto 2009 e il febbraio 2010, si è venuta a localizzare sia in corrispondenza del contatto tra calcari (molto permeabili) sopra e argille mioceniche (impermeabili) sotto, sia all'interno delle arenarie sottostanti direttamente alimentati dall'acquifero contenuto nei micasciti (molto permeabili per fratturazione ed alterazione), dove è presente un acquifero localmente in pressione. Si osserva, a questo proposito, che in condizioni di saturazione il calcare evaporitico ha una consistenza da plastica a semi-fluida, che giustifica la rapida evoluzione in colata. Infatti, la prolungata piovosità della stagione precedente e, in particolare, del mese precedente all'evento ha determinato una forte ricarica degli acquiferi, portando alla formazione di una falda in pressione all'interno delle arenarie mioceniche. Tali arenarie, essendo quasi completamente prive di cementazione e quindi assimilabili a sabbie, durante l'innescamento del movimento franoso potrebbero anche aver subito un fenomeno di liquefazione.

In definitiva, la frana del 15 febbraio 2010 altro non è che la manifestazione di una grande DGPV che coinvolge un territorio ben più vasto (GUERRICCHIO *ET ALII*, 2010). Altre riattivazioni ben note sono quelle che hanno interessato la Località Draga, sia in sinistra (Figura 8) che in destra idrografica (nel 1932, ISPRA 2010); altri fenomeni franosi si sono probabilmente verificati, come in gran parte della Calabria (COTECCHIA *ET ALII*, 1986) in seguito agli eventi sismici del 1783, efficacemente descritti da VIVENZIO (1788).

8 ANALISI PRELIMINARE DI STABILITÀ

Al fine di valutare, seppure in via ancora del tutto preliminare, le condizioni di stabilità, sono state condotte delle modellazioni numeriche che coniugano i metodi all'equilibrio limite con le analisi del comportamento tenso-deformativo dei materiali. In particolare, si è utilizzato il codice di calcolo MIDAS/GTS (2010), un modello agli elementi finiti che permette di simulare il comportamento geotecnico di rocce e suoli, anche in presenza di strutture geologiche complesse. Il principale vantaggio nell'utilizzo di tale approccio modellistico consiste nel fatto che, al contrario di quanto accade nelle più tradizionali analisi all'equilibrio limite, non è necessario fornire a priori le possibili superfici di scorrimento. Al contrario, è la modellazione stessa a ricostruire la dinamica di rottura, fornendo come output la superficie di debolezza principale, lungo la quale è possibile nel contempo procedere al calcolo del fattore di sicurezza, tramite il metodo della riduzione della resistenza al taglio (DAWSON *ET ALII*, 1999).

L'analisi numerica è stata condotta lungo la sezione AA' (Figura 14), considerando le caratteristiche geotecniche ottenute dalle prove di laboratorio. Ai fini dell'analisi numerica, il dominio è stato discretizzato tramite una griglia a elementi di forma quadratica aventi dimensioni minime pari a 1 m di lato nelle zone di maggiore interesse e massime di 10 m nel substrato roccioso ai margini del dominio di modellazione (Figura 15).

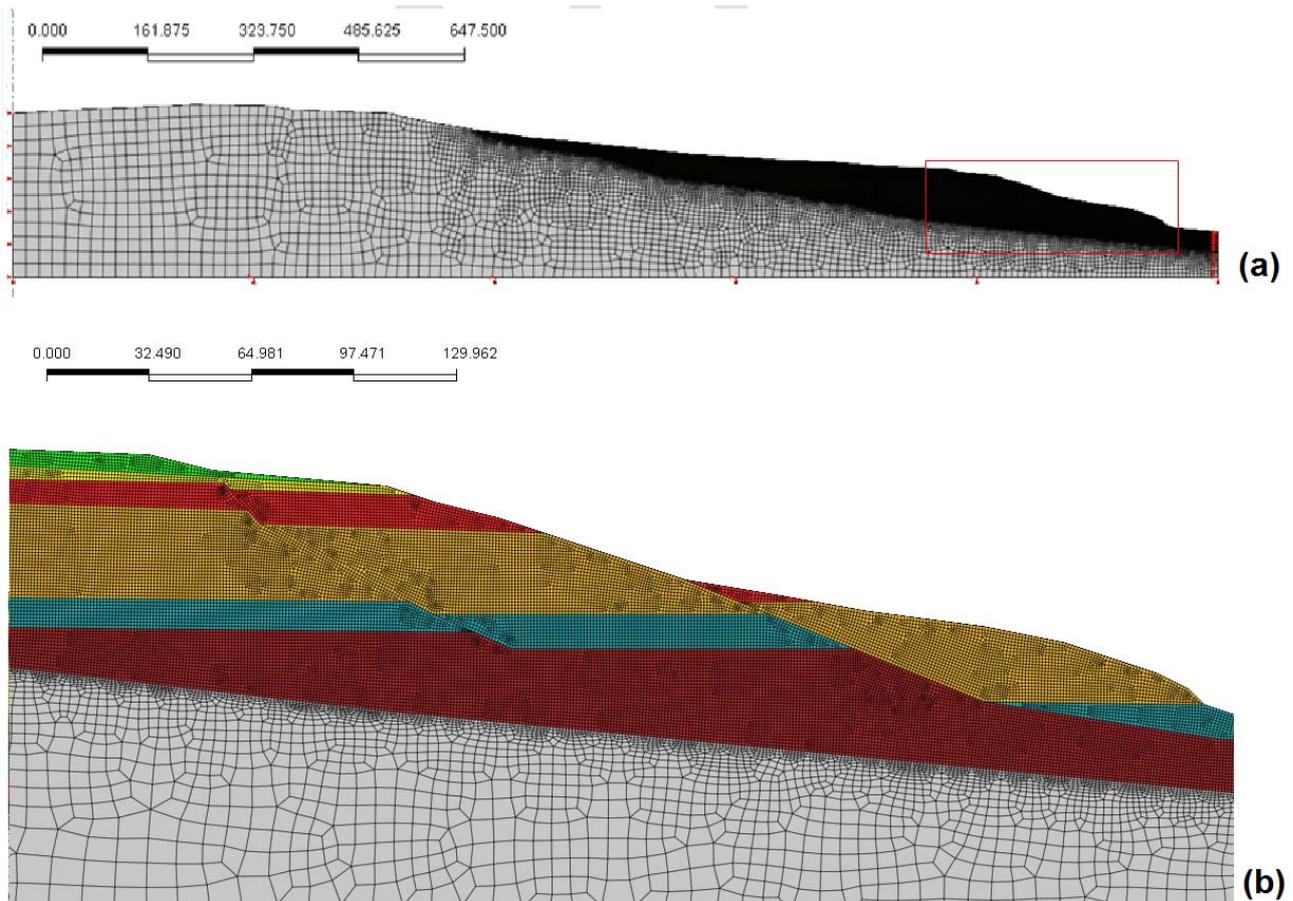


Figura 15 - (a) Dominio di modellazione e relativa griglia di discretizzazione; il rettangolo rosso indica la zona successivamente mostrata ingrandita. (b) zoom del dominio nella zona di maggiore interesse; legenda dei colori: grigio = Gn, marrone = Ar

Per quanto riguarda le condizioni iniziali e al contorno, si sono considerati: (1) spostamenti orizzontali nulli lungo i limiti verticali del dominio, (2) spostamenti sia

orizzontali che verticali nulli alla base del dominio, (3) stato di sforzo iniziale litostatico (Figura 16).

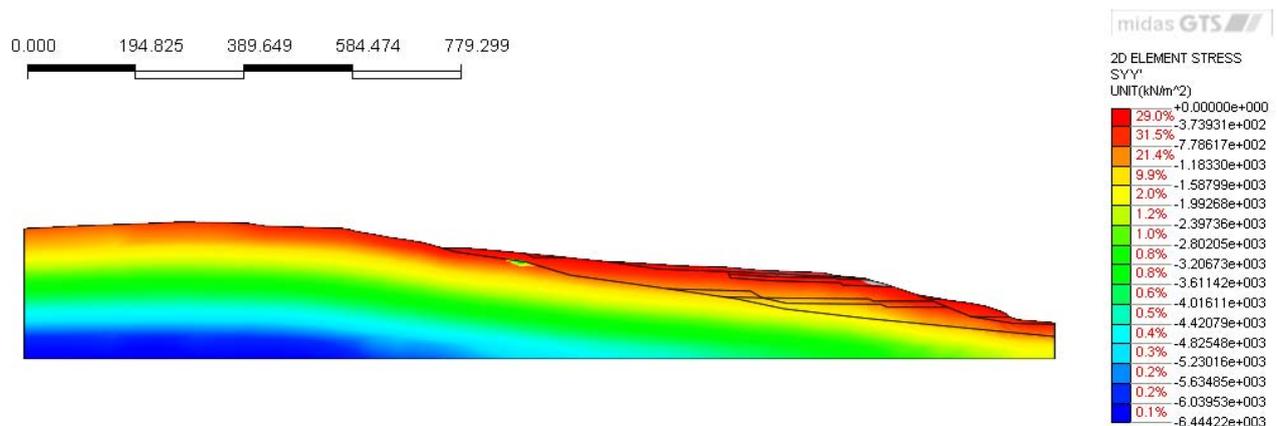


Figura 16 - Distribuzione dello stato di sforzo iniziale.

La modellazione numerica è quindi stata condotta considerando varie profondità della superficie piezometrica, al fine di individuarne le condizioni limite in grado di innescare il movimento.

I risultati ottenuti dalla modellazione hanno permesso di osservare che in condizioni asciutte la stabilità del pendio è garantita, con un fattore di sicurezza superiore addirittura a 3 e una rottura molto localizzata all'interno dei calcari evaporitici (Figura 17a).

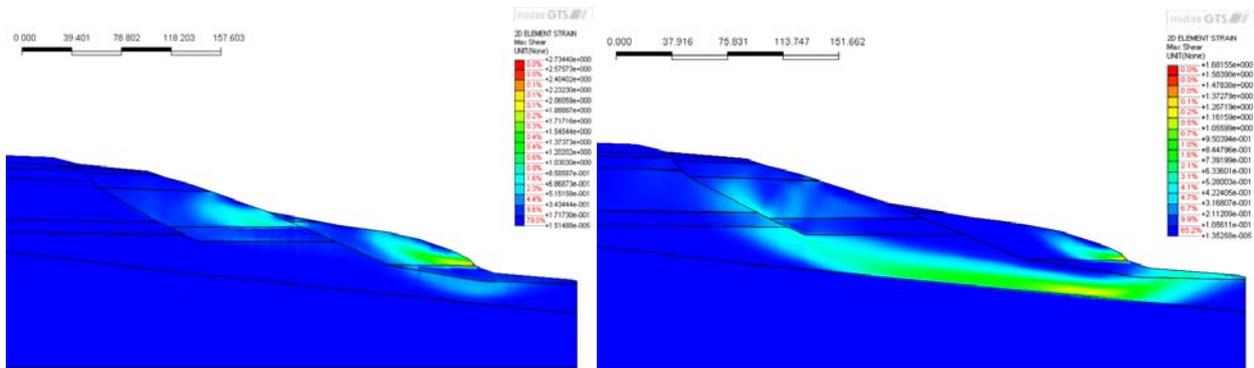


Figura 17 - Distribuzione degli incrementi nello sforzo di taglio, indicativi delle zone soggette a plasticizzazione e quindi rottura per taglio (a) con i parametri di resistenza al taglio e (b) considerando un angolo d'attrito delle arenarie e dei calcari molto ridotto

L'analisi di sensitività effettuata sui valori di angolo d'attrito ha evidenziato che la stabilità

è maggiormente influenzata dall'angolo di attrito delle arenarie mioceniche piuttosto che da quello dei calcari evaporitici (Figura 18).

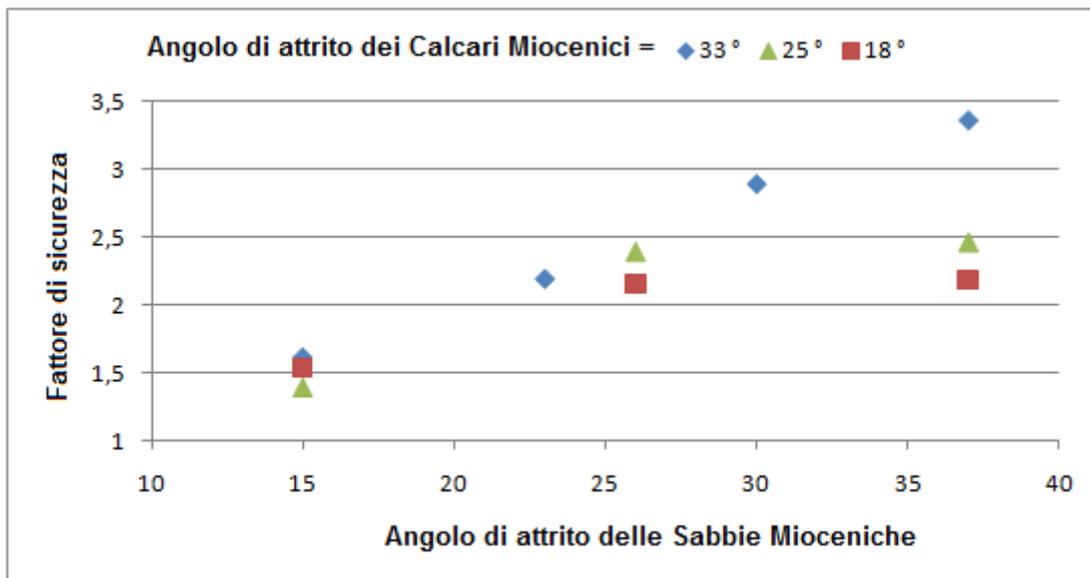


Figura 18 - Risultati dell'analisi di sensitività condotta sui valori di angolo d'attrito delle arenarie e dei calcari.

La presenza di una falda acquifera proveniente dal substrato e alimentante i livelli acquiferi delle arenarie mioceniche e dei calcari determina un sensibile peggioramento delle condizioni di stabilità; in

particolare, considerando un livello piezometrico analogo a quello monitorato negli ultimi mesi (dopo l'evento), il fattore di sicurezza diminuisce di circa il 20%. Anche nelle condizioni idrogeologiche più sfavorevoli (caratterizzate da un

innalzamento del livello piezometrico di circa 10-15 m rispetto a quello attuale), l'equilibrio limite può essere raggiunto solo ipotizzando un angolo d'attrito delle arenarie pari a 15° (più che dimezzato rispetto ai valori ottenuti dalle prove di laboratorio); tale ipotesi potrebbe allo sviluppo di una superficie di rotture localizzata al contatto tra le arenarie mioceniche e il substrato (Figura 17b). Di conseguenza, si ritiene ragionevole ipotizzare un meccanismo di rottura che abbia comportato la liquefazione delle arenarie mioceniche, meccanismo che dovrà ovviamente essere verificato nel prosieguo dello studio.

9 CONCLUSIONI

L'evento franoso, favorito dall'intrinseca debolezza geologica del territorio, è stato innescato dall'intensa circolazione idrica sotterranea (localizzata, come già detto, prevalentemente nei calcari evaporitici e nelle arenarie mioceniche, dove è presente un acquifero talora in pressione) conseguente alle precipitazioni meteoriche particolarmente intense e prolungate nel tempo che hanno interessato l'area in esame nel periodo agosto 2009-febbraio 2010. La presenza di numerose paleo frane, anche di notevoli dimensioni, e il timore per un ulteriore arretramento della scarpata

principale rendono indispensabile prevedere al più presto la messa in opera non solo di un sistema di drenaggio ma anche di un sistema di monitoraggio sia degli spostamenti superficiali e profondi che dei livelli piezometrici.

I dati e le informazioni derivanti dal monitoraggio permetteranno di completare la caratterizzazione geologico-tecnica dell'area, così da giungere ad una definitiva ricostruzione del modello concettuale della frana. Attualmente è in corso un approfondimento della modellazione numerica delle condizioni di stabilità, in grado di tenere conto anche dei sopra citati fenomeni di liquefazione. Ciò permetterà di fornire anche un modello evolutivo della frana, in base al quale implementare ulteriormente il programma di monitoraggio e procedere ad eventuali ulteriori interventi di messa in sicurezza. Inoltre, grazie al monitoraggio accoppiato di spostamenti e livelli piezometrici ed alla modellazione numerica, sarà possibile giungere alla definizione delle soglie di allertamento.

Alla luce di quanto emerso, si auspica quindi che gli Enti competenti provvedano al più presto alla messa in sicurezza dell'area, prima che una riattivazione del movimento franoso possano compromettere la sicurezza degli abitanti di Maierato (VV).

10 RINGRAZIAMENTI

Si ringrazia il Comune di Maierato e in particolare il sindaco dott. Sergio Rizzo, per avere reso possibile tale studio.

11 BIBLIOGRAFIA

CASSA PER IL MEZZOGIORNO (1968): Carta Geologica della Calabria scala 1:25.000. Foglio 241 – Settore III SE – Vibo Valentia, Poligrafica & Cartevalori Ercolano (Na).

ARPACAL (2010) - *Evento meteopluviometrico inverno 2009-2010. Rapporto di evento*. Centro funzionale multirischi della Regione Calabria.

COTECCHIA V., GUERRICCHIO A., MELIDORO G. 1986. The morphogenetic crisis triggered by the 1783 earthquake in Calabria (southern Italy). *Geol Appl e Idrogeol*, XXI, Bari.

CRUDEN AND VARNES, 1996. CRUDEN, D.M., VARNES, D.J., 1996. *Landslides: investigation and mitigation*. In: Turner, A.K., Schuster, R.L. (Eds.), *Landslides—Investigation and Mitigation*, Washington, DC. National Research Council, Transportation Research Board Special Report 247, pp. 36–75 (chap. 3).

DAWSON E.M., ROTH W.H., DRESCHER A. (1999) - *Slope stability analysis by strength reduction*. *Géotechnique* 49, 6, 835-840.

FILICE E., CUNDARI L., LEPERA G. (2010) - *Frana di Maierato. Analizzate le cause pluvio*. ARPACAL Report, Anno I Numero III del 22 maggio 2010.

GUERRICCHIO A., FORTUNATO G., GUGLIELMO E.A., PONTE M., SIMEONE V. (2010) - *Condizionamenti idrologici da DGPV nell'attivazione della grande frana di Maierato (VV) del 2010*. In Atti del Convegno "Tecniche per la difesa dall'inquinamento", Nuova Editoriale Bios, 2010.

ISPRA (2010) - *Secondo Verbale di sopralluogo sulla frana di Maierato*. Rapporto Tecnico RT/SUORIS 18/2010.

MIDAS/GTS (2010) - *MIDAS/GTS, 2010 – User's guide*.

VIVENZIO G. (1788) - *Istoria de' tremuoti avvenuti nella Provincia della Calabria e nella città di Messina nell'anno 1783 e di quanto nella Calabria fu fatto per lo suo risorgimento fino al 1787 preceduto da una teoria*. 2 vols., *Istoria Gen. De' Tremuoti*, Napoli.