

CONSIDERAZIONI SUI FENOMENI DI INSTABILITÀ AVVENUTI SUL VERSANTE DELLA SCIARA DEL FUOCO SULLA BASE DEI DATI DISPONIBILI AL 16-1-2003

A cura di

P. Tommasi (1), F.L. Chiocci (2), M. Coltelli (3), M. Marsella (4)

(1) CNR-IGAG – Roma

(2) DTS - Università di Roma “La Sapienza”

(3) INGV - Sezione di Catania

(4) DITS - Università di Roma “La Sapienza”

Rapporto 1 del 22/01/03

1. *Premessa*

A seguito dell'evento di frana del 30 dicembre della Sciara del Fuoco (di seguito riportata come Sciara) alcuni ricercatori dell'Università di Roma La Sapienza (DST, DITS), INGV e CNR-IGAG partecipanti ai progetti GNV 13 e 15 (finanziati tramite l'INGV dalla Protezione Civile) sono stati coinvolti nell'organizzazione dei primi rilievi topo-batimetrici finalizzati alla ricostruzione delle morfologie terrestri e marine dovute all'evento di frana del 30/12/02 ed a formulare in tempi ristretti delle ipotesi sulla evoluzione delle condizioni di stabilità della fascia NE del versante della Sciara.

Questa attività si è resa possibile soprattutto grazie alla disponibilità di dati topo-batimetrici acquisiti prima dell'evento, raccolti nel corso dei primi due anni dei suddetti progetti GNV. Questo rapporto costituisce una prima descrizione del fenomeno sulla base della analisi dei dati raccolti dal 5/01/03 al 15/01/03 e del confronto con i dati del 2001/2002.

Ulteriori considerazioni verranno illustrate in un secondo rapporto che verrà redatto dopo il completamento della elaborazione dei dati raccolti con il rilievo aerofotogrammetrico del 16/01/03 e il rilievo batimetrico del 15-16/01/03.

2. *Rilievi precedenti all'evento*

Nell'ambito dei progetti GNV sono stati eseguiti rilievi di tutta l'isola di Stromboli, ed, in particolare, del versante della Sciara, tra cui un rilievo aereofotogrammetrico nel maggio 2001 e un rilievo batimetrico multibeam (20-1000 m di profondità) nel febbraio 2002. Tali rilievi hanno consentito di definire in dettaglio la situazione morfologica pre-evento sulla base della interpretazione delle carte topo-batimetriche e, relativamente alla parte emersa, delle ortofoto digitali e delle coppie stereoscopiche.

In particolare, il coordinamento tra il progetto GNV n.13 e n.15 ha permesso di ottenere (Figura 1) un unico modello numerico tridimensionale delle porzioni emerse e sommerse dell'isola (DTMM Digital Terrain and Marine Model). Questo tipo di rappresentazione risulta di particolare utilità per lo studio dell'evoluzione delle isole vulcaniche, dove i fenomeni di instabilità subaerea sono fortemente influenzati dalla morfologia e dalla evoluzione dei fondali.

3. *Rilievi realizzati dopo l'evento*

A causa delle particolari condizioni ambientali e logistiche, delle notevoli dimensioni del fenomeno e della sua estensione alle porzioni sottomarine dell'edificio vulcanico, il rilievo della geometria e degli elementi morfologici e strutturali è stato realizzato attraverso i seguenti metodi:

- restituzione fotogrammetrica per ricostruzione della superficie del versante dopo l'evento
- interpretazione delle foto aeree stereoscopiche

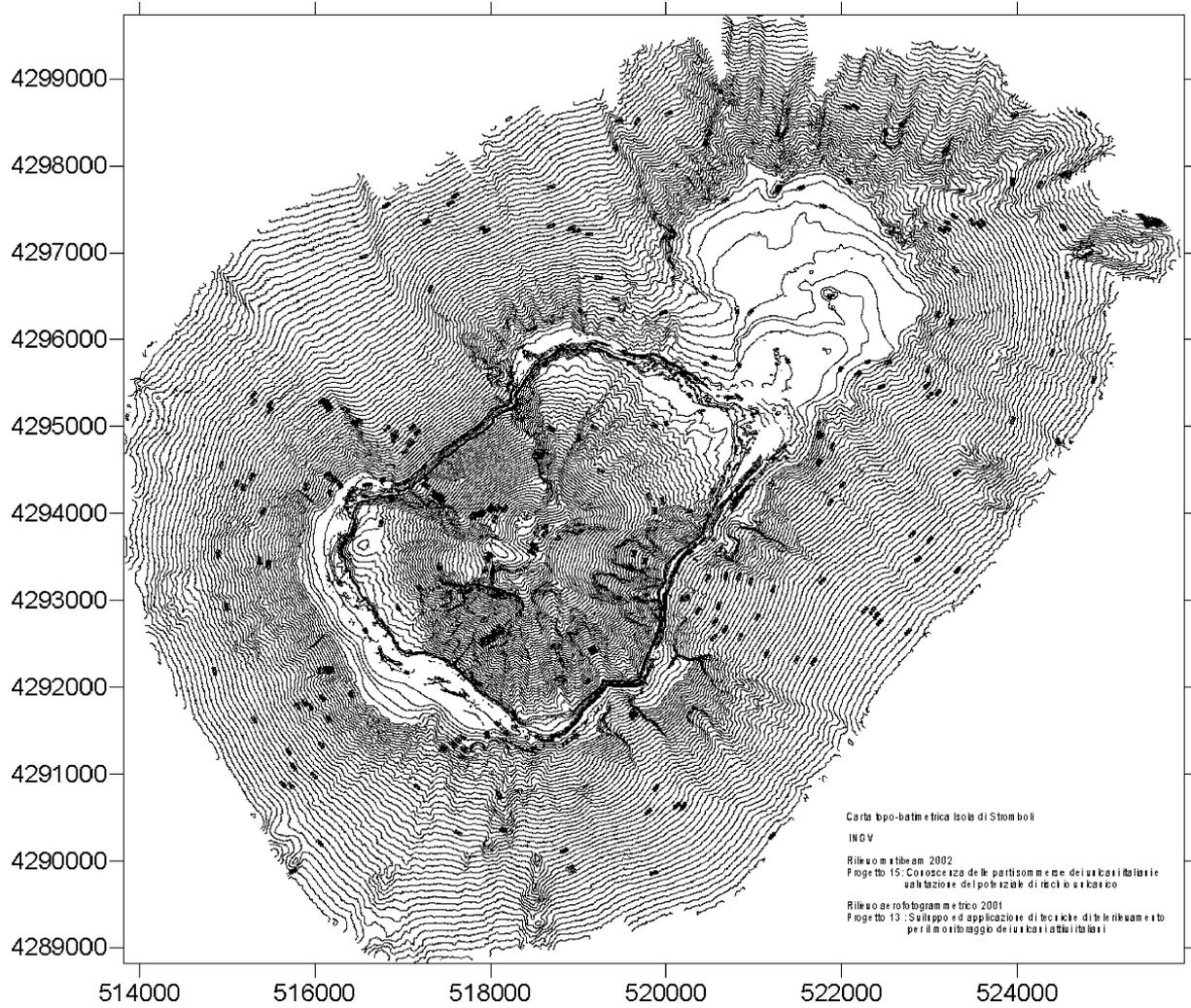


Figura 1 Rappresentazione a curve di livello dei dati topo-batimetrici acquisiti durante i rilievi 2001-2002

- rilievi batimetrici *multibeam*
- analisi delle immagini acquisite giornalmente durante i sorvoli con gli elicotteri

I dati raccolti sono stati interpretati tenendo presenti le osservazioni dirette effettuate dai ricercatori e tecnici operanti sull'isola. Il documento è stato redatto sulla base dei dati ottenuti da:

- rilievo aerofotogrammetrico B/N eseguito in data 5/01/03 dall'Aeronautica Militare
- rilievo *multibeam* tra 0-300 metri di profondità (9/01/03)
- rilievo *multibeam* tra 300-2000 metri di profondità (15-16/01/03)
- sopralluoghi da elicottero e da terra a partire dal 29 dicembre 2002

I dati ottenuti dal rilievo batimetrico *multibeam* effettuato dal 15/01/03 sono ancora in corso di elaborazione così come si sta approfondendo l'analisi delle foto da elicottero scattate prima e dopo la frana. I risultati di queste attività saranno oggetto di un successivo rapporto.

Le foto aeree del 05/01/03 sono state immediatamente elaborate dai ricercatori del laboratorio fotogrammetrico dell'Università di Bologna per realizzare un DTM con griglia 5X5 metri ed una ortofoto digitale. I dati multibeam, tuttora in corso di elaborazione, hanno consentito di ottenere delle rappresentazioni preliminari della morfologia del pendio sottomarino utilizzate nell'analisi di seguito descritta.

4. Risultati ottenuti

I dati raccolti sono risultati utili sia per l'identificazione e la quantificazione dei lineamenti geomorfologici finalizzata alla definizione della dinamica dell'evento di frana/tsunami, sia per la produzione della cartografia di base da impiegare nella pianificazione degli interventi e nella stesura del piano d'emergenza.

In particolare, è stato possibile:

1. ricostruire la superficie della Sciara post-evento (Figura 2)
2. quantificare la volumi mobilizzati (Figura 3) potenzialmente instabili (Figura 4)
3. realizzare una carta dei fenomeni di instabilità riconoscibili nell'area in dissesto (Figura 5)
4. individuare le aree significative da sottoporre a controllo per la valutazione delle condizioni di stabilità del versante e le metodologie più idonee con cui effettuare il controllo

5. Interpretazione delle foto aeree

Nonostante l'interpretazione delle foto aeree e la restituzione fotogrammetrica a cui fa riferimento non siano ottimali, a causa delle difficili condizioni meteo (poca luce e vento molto forte) ed ambientali (emissione di vapore dai crateri e dal contatto della colata lavica con l'acqua del mare e soprattutto emissione di cenere per frammentazione di blocchi di colata e di materiale del versante in frana), è possibile ricavare alcuni importanti elementi sulle caratteristiche geometriche e sulla tipologia dei fenomeni di dissesto da impiegare nella ricostruzione dell'evoluzione del versante.

L'area immediatamente all'interno della depressione della Sciara, sul fianco NE di quest'ultima, appare interessata da un ampio e profondo fenomeno di dissesto che si sviluppa a partire dal cratere sino a quote non precisabili al di sotto del livello del mare, per una larghezza massima visibile (alla quota mare) di poco più di 500 m.

Nella parte alta del versante si riconoscono alcuni caratteri tipici di una frana che ha prodotto un ribassamento della sommità del pendio con forti spostamenti verticali ed orizzontali che fanno supporre l'esistenza di una superficie di distacco relativamente profonda. Questo fenomeno, che indicheremo come evento α (Figura 5), è il principale evento di instabilità che ha controllato la successiva evoluzione del versante. L'evento non ha prodotto il collasso del corpo frana seguito da

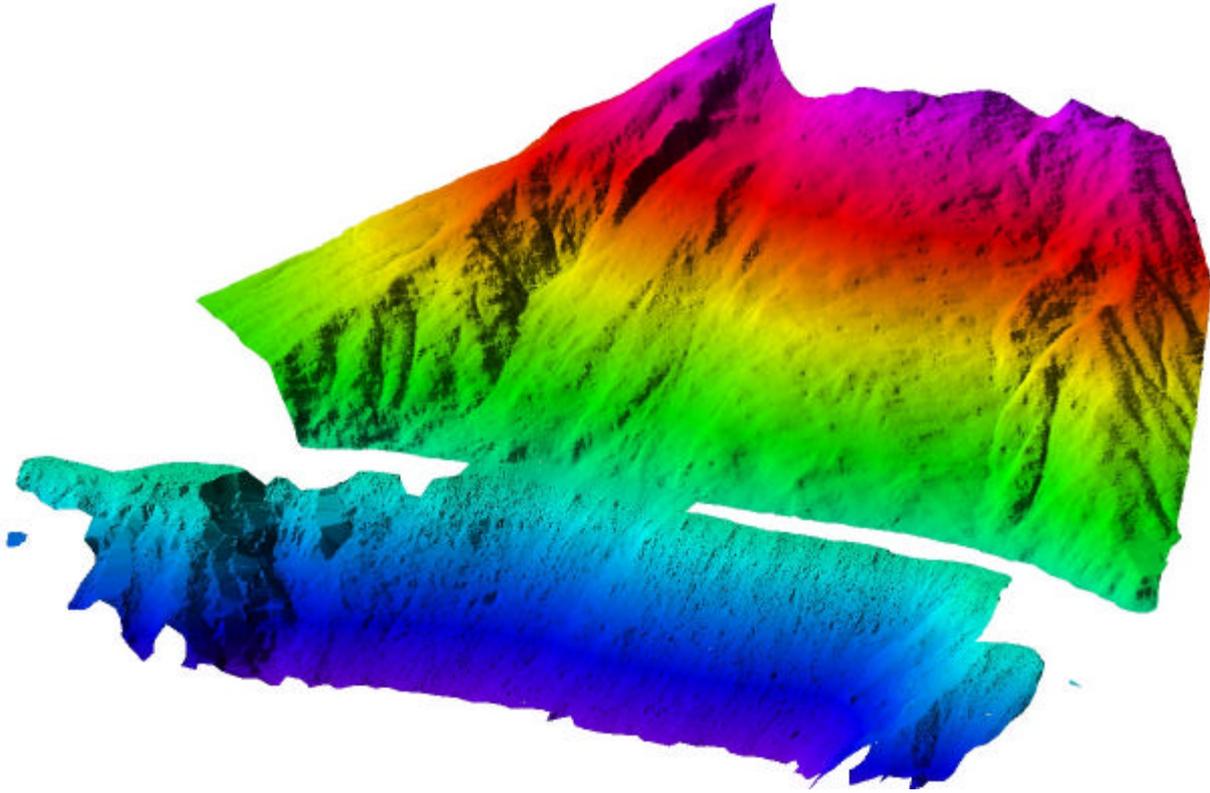


Figura 2 Rappresentazione della superficie post-evento della Sciara fino a 300 metri di profondità

Rappresentazione delle differenze altimetriche tra i DTMM 2001 e 2003.

Progetto GNV n°13 e n°15
 "Sviluppo ed applicazione di tecniche di telerilevamento per il monitoraggio dei vulcani attivi italiani"

"Instabilità sui fianchi sommersi dei vulcani italiani"

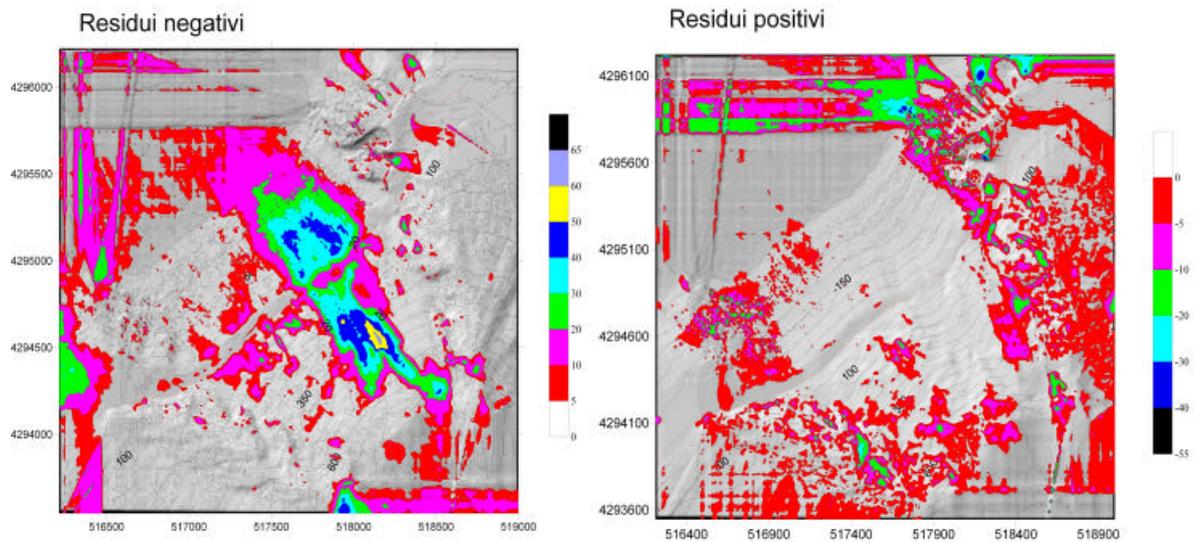


Figura 3 Residui osservati tra il DTM 2001 e il DTM 2003 utilizzati nel computo volumetrico

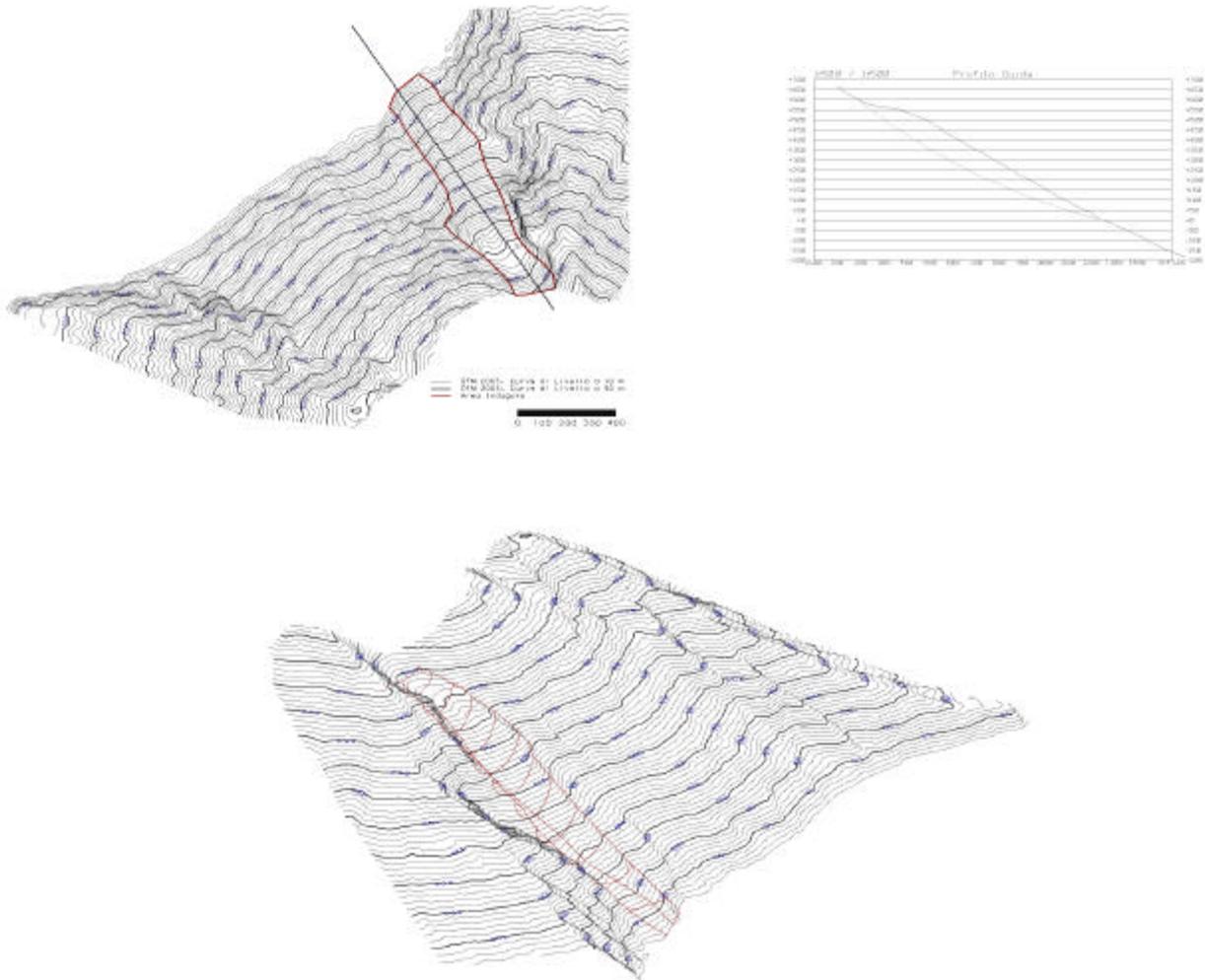
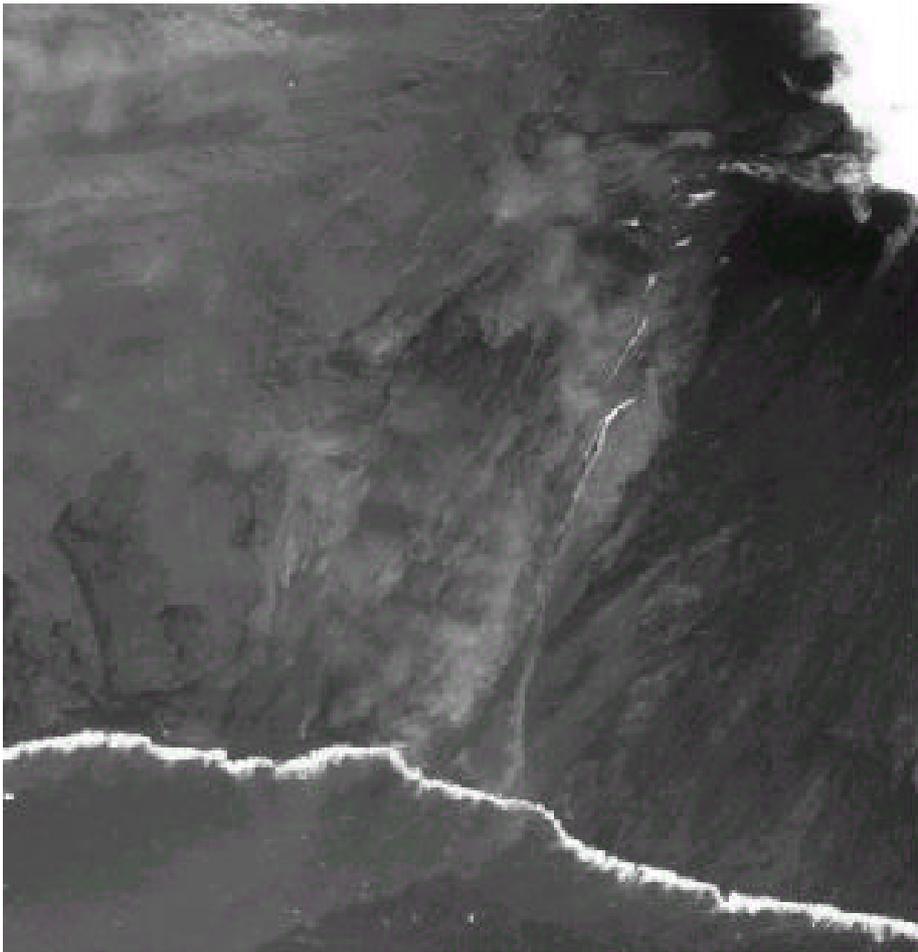


Figura 4 Rappresentazione della geometria ipotizzata per il calcolo del volume di materiale potenzialmente instabile

Figura 5 Carta morfologica dei fenomeni di insatbilità e foto aerea del 5-1-03 su cui si è basata l'interpretazione.

- 1) Colate laviche
- 2) Orlo di cratere
- 3) Nicchie di distacco e cigli laterali del fenomeno di instabilità principale:
 - a) Riconosciute
 - b) Probabili
- 4) Nicchie di distacco e cigli laterali dei fenomeni di instabilità secondari
 - a) Riconosciute
 - b) Probabili
- 5) Limite superiore (terrazzo) del corpo principale di "frana"
- 6) Limiti di aree soggette a scoscendimenti laterali, crolli ed erosione diffusa
- α) Evento di instabilità principale che coinvolge l'intero versante dalla nicchia principale in sommità (quote 720-750)
- β) Evento di frana secondario sviluppatosi lungo il fianco SW dell'area interessata dall'evento di instabilità principale
- γ) Evento di frana secondario sviluppatosi nel terzo inferiore dell'area interessata dall'evento di instabilità principale (zona centrale)



una valanga di roccia/detriti, anche se quest'ultimo è stato verosimilmente disarticolato fino in profondità.

Infatti, alla sommità del versante si riconosce un'articolata nicchia di distacco che si sviluppa ad E tra il Bastimento (costone di roccia isolato ed allungato che delimita la spalla NE della Sciara nella metà superiore del versante) e il Cratere settentrionale (conosciuto anche come Cratere 1) a ridosso di importanti discontinuità preesistenti che conferivano una gradonatura alla cresta, mentre a S coincide con il ciglio della brecciatura apertasi sul fianco del Cratere 1.

Lungo la parte E della nicchia è visibile il forte ribassamento del corpo di frana α che ha dislocato la colata fuoriuscita il 28/12/2002, prima cioè dell'inizio della fase dell'instabilità che ha portato alla generazione dello *tsunami*. La discontinuità che costituisce questa parte della nicchia di distacco è ben riconoscibile verso N ancora per un lungo tratto avendo prodotto vistose deformazioni della colata del 28/12 (rotazioni, allungamenti e gradonature) che scorreva immediatamente alla base della scarpata che delimita questa porzione della Sciara. Da notare che procedendo verso N (ovvero verso quote inferiori) il rigetto osservabile in corrispondenza della nicchia diminuisce progressivamente e la nicchia stessa diviene meno riconoscibile.

A valle della nicchia di distacco si riconosce, nella sua porzione più elevata, la testa del corpo di frana ribassato, che costituisce un ampio terrazzo con il bordo superiore in contropendenza. Tra la nicchia e tale terrazzo si riconosce anche una nicchia intermedia che indica una gradonatura della testa del corpo frana, tipica di movimenti franosi in materiali dotati di una certa coerenza. Il ribassamento della sommità del corpo frana valutato dalla restituzione fotogrammetrica post-frana non è inferiore ai 30 metri.

Lungo il limite superiore ed occidentale della testa del corpo frana si riconosce un allineamento di fuoriuscite di vapore che può essere ricondotto all'emergenza della superficie di distacco. Ben riconoscibile è anche il fianco SW della frana che non sembra riconducibile a lineamenti preesistenti; tuttavia si intravedono parti del ciglio laterale più continue ed integre al piede e nel terzo superiore dell'area in dissesto. Successivamente alla fase che ha portato allo *tsunami* del movimento è iniziato un processo di smantellamento di questo fianco soprattutto ad opera di continui scoscendimenti nelle porzioni meno resistenti e crolli degli orizzonti più coerenti, che hanno prodotto valanghe di roccia e di detriti pressoché incessanti.

Come accennato in precedenza, nei due terzi inferiori del versante le foto aeree e da elicottero non consentono di individuare con sicurezza il limite NE del fenomeno α che comunque non ha interessato la spalla NE della Sciara. Tale limite, orientativamente in corrispondenza della colata del 1985, potrà essere individuato solo con un nuovo volo e relativa restituzione, peraltro già programmati appena consentito dalle condizioni meteo.

E' da notare che la conformazione originaria del versante è caratterizzata da una parte superiore (quota 550-780) con immersione compresa tra N e NE, mentre al di sotto di quota 550 il versante immerge NNW-NW. Inoltre al di sopra di quota 400 il vincolo laterale sul fianco E è molto più pronunciato (Bastimento). Questa conformazione spiegherebbe l'assenza di un ribassamento del fianco NE e il rigonfiamento della parte alta del corpo frana, evidenziato anche dai residui positivi ottenuti nel confronto DTM post e pre evento. Il rigonfiamento si sarebbe verificato per rendere cinematicamente possibile lo scivolamento. La differenza di comportamento tra la parte alta ed il resto del corpo frana α è un elemento importante nell'evoluzione del pendio ed andrà verificato su successivi rilievi aerofotogrammetrici e misure di deformazione.

Il forte arretramento della linea di costa tra i due fianchi del corpo instabile, stimato in circa 70 m e la netta depressione del fondale rilevata almeno fino a quota - 400 dai rilievi batimetrici, testimonia il coinvolgimento della parte sommersa del versante sino a profondità significative.

Oltre al fenomeno principale α l'analisi morfologica evidenzia altri due consistenti fenomeni franosi. Il più intenso dei due fenomeni (β) ha interessato, con un meccanismo da chiarire (in parte ma non solo di scivolamento), la fascia del corpo principale di frana immediatamente all'interno del ciglio SW. La frana β , dopo la fase di rottura, ovvero durante il trasporto a valle del materiale disarticolato, ha prodotto un canalone largo al massimo 120-130 metri, delimitato da una ripida parete sulla parte interna del corpo di frana principale (α), che è stata successivamente interessata da crolli e ribassamenti di grandi blocchi. All'interno del canalone fluisce la lava scaturita dalla bocca aperta a quota circa 500 m sul fianco SW del corpo principale, insieme ai detriti provenienti dalle frane che smantellano le pareti del canalone.

Un'ulteriore frana (γ), riconducibile ad uno scivolamento planare, ha coinvolto spessori probabilmente non superiori ai 20 metri interessando il centro dell'area di dissesto, da quota 320 m fino a sotto il livello del mare, come testimoniato da un più marcato arretramento della linea di costa in corrispondenza di esso. Questa frana ha anche asportato parte di una colata messasi in posto nella notte tra il 29 e 30/12 e quindi successiva a quella del 28/12.

Tra quest'ultima frana (γ) e quella che ha prodotto il canalone del fianco SW (β) in data 5 gennaio era rimasto uno sperone largo almeno 100 m. Lo sperone, già interessato da due frane al piede della parte emersa, viene continuamente "smagrito" da crolli lungo i fianchi dove.

6. Interpretazione dei lineamenti osservati nel rilievo batimetrico del 9/01/03 (tra -10 e -300 m)

Si conferma che l'instabilità sottomarina ha interessato una larga porzione del fianco sinistro della Sciara sommersa (i riferimenti destro sinistro NON sono orografici ma si riferiscono alla vista da mare). In particolare si nota un'ampia area depressa (d in figura) con un volume mancante stimabile in circa 10 milioni di metri cubi anche tenendo in considerazione che esistono accumuli consistenti di materiale che proviene dall'attività effusiva e dal franamento dei blocchi.

La frana sottomarina interessa un settore costiero più ampio di quello interessato dalla frana subaerea, lo spessore del deposito asportato supera i 40 m nella zona più prossima alla costa (in realtà il massimo approfondimento si rileva a circa 150 m di profondità) e si riduce gradualmente verso il largo fino alla profondità di 300 m dove lo spessore si attesta attorno ai 20 m indicando una prosecuzione in profondità del lineamento.

Alla data del 9/1 sono presenti due accumuli consistenti, uno (a in figura) di forma amigdaloide ai piedi del canalone subaereo principale di circa 250x400 m e spessori sino a 20 m (peraltro interessato a sua volta da una piccola nicchia di meno di 100x250m) e un altro (b in figura) in forma di colata di detrito (meno di 100 x oltre 700 m con spessori massimi di 10 m) che si spinge fino ad almeno 300m di profondità, correndo ai piedi del margine sinistro della Sciara sommersa (la colata potrebbe colmare e mascherare parte della nuova depressione prodotta dalla frana).

I volumi di accumulo stimati sono attorno al mezzo milione di metri cubi per ciascuno dei due depositi, le immagini subacquee testimoniano in corrispondenza dell'amigdala la presenza di blocchi di lava non elaborati estremamente eterometrici, anche di grandi dimensioni mentre nella colata di detrito si osservano scorie centimetriche e decimetriche con molto detrito in sospensione; è possibile che la colata di detrito sia costituita sia dal rimaneggiamento e trasporto verso nord da parte del moto ondoso della parte scoriacea della colata lavica sia dall'eventuale mobilitazione di detrito subaereo preesistente ad opera della colata del 28/12.

Per quanto riguarda il resto della depressione, il fianco destro è in continuità con il limite della frana subaerea mentre il fianco sinistro coincide con la colata di detrito e, eventualmente, con la spalla sinistra della Sciara sommersa, nel caso la colata mascheri parte della depressione, come già detto.

All'interno della depressione sono presenti altre rotture di pendio minori la cui interpretazione è ancora da definire e forse un possibile evento di instabilità superficiale di pochi metri di spessore cui potrebbe corrispondere un piccolo corpo deposizionale al piede (c in figura).

7. Ipotesi sui meccanismi di instabilità e sulla evoluzione del versante

Dall'integrazione di tutti i dati disponibili si possono riconoscere e stabilire alcuni importanti caratteristiche nello sviluppo delle condizioni di instabilità che hanno portato all'evento del 30/12/2002.

Prima del 30/12/02 il versante è stato interessato da un movimento profondo (indicato con α) che si sviluppa immediatamente a NE dell'area craterica (figura 6). Dalle foto effettuate da ricercatori dell'INGV durante le ricognizioni da elicottero si riconosce che tale movimento era già avvenuto la mattina del 30/12/2002 e mostrava una certa continuità fino in prossimità del mare, come evidenziato dall'allineamento delle emissioni di vapore e da lineamenti di discontinuità sul terreno (foto di figura 7).

Tale ipotesi dovrà tuttavia essere confermata sulla base di un rilievo ad hoc della sommità della Sciara e del riesame di tutto il materiale fotografico disponibile.

Il prolungarsi degli allineamenti di emissioni di vapore sino alla linea di costa, la loro progressiva divergenza da monte a valle e la coincidenza tra l'allineamento destro (guardando la Sciara dal mare) ed il limite destro della forte depressione dei fondali antistanti fa propendere per un coinvolgimento, fin da questa fase, della porzione sommersa della Sciara.

La mancanza di significative deformazioni dell'edificio vulcanico nel suo complesso (sulla base dei dati della rete di monitoraggio delle deformazioni lente del suolo dell'INGV, Sezione di Catania) induce a non associare, almeno per il momento, questo fenomeno a deformazioni gravitative a scala insulare.

Il dissesto α costituisce l'elemento predisponente per ogni successiva instabilità subaerea e sommersa avendo sicuramente prodotto un indebolimento generale del versante, come evidenziato da dislocazioni riconosciute a quote intermedie del corpo frana (foto in figura 7 e 8).

Nelle foto scattate il 30/12 si riconosce anche la formazione nella parte medio alta del pendio di cigli di distacco nel corpo frana già dislocato dall'evento α , ancor più evidenti nelle foto del 30/12 di poco precedenti lo *tsunami* (foto in figura 8). Nel corso dei sorvoli da elicottero della mattina del 30/12, da questi cigli sono stati notate abbondanti fuoriuscite di lava in parte raffreddate ed in parte attive.

Verosimilmente, da uno o dalla coalescenza di più cigli di frana si è originata la valanga di roccia/detrito ripresa da M. Pompilio (INGV) il 30/12/02 alle 13:15. La quota elevata a cui si trovano i cigli di frana spiega l'alta velocità (100-120 km/h) raggiunta dalla massa prima dell'ingresso in acqua.

Dalle stesse riprese effettuate da M. Pompilio si osserva che l'evento di *tsunami* si genera 7 minuti dopo la valanga di detrito, evidenziando la mancanza di un rapporto causa-effetto tra questi due eventi.

A questo punto si possono formulare tre diverse ipotesi sulla evoluzione del pendio culminata con l'evento che ha prodotto lo *tsunami*.

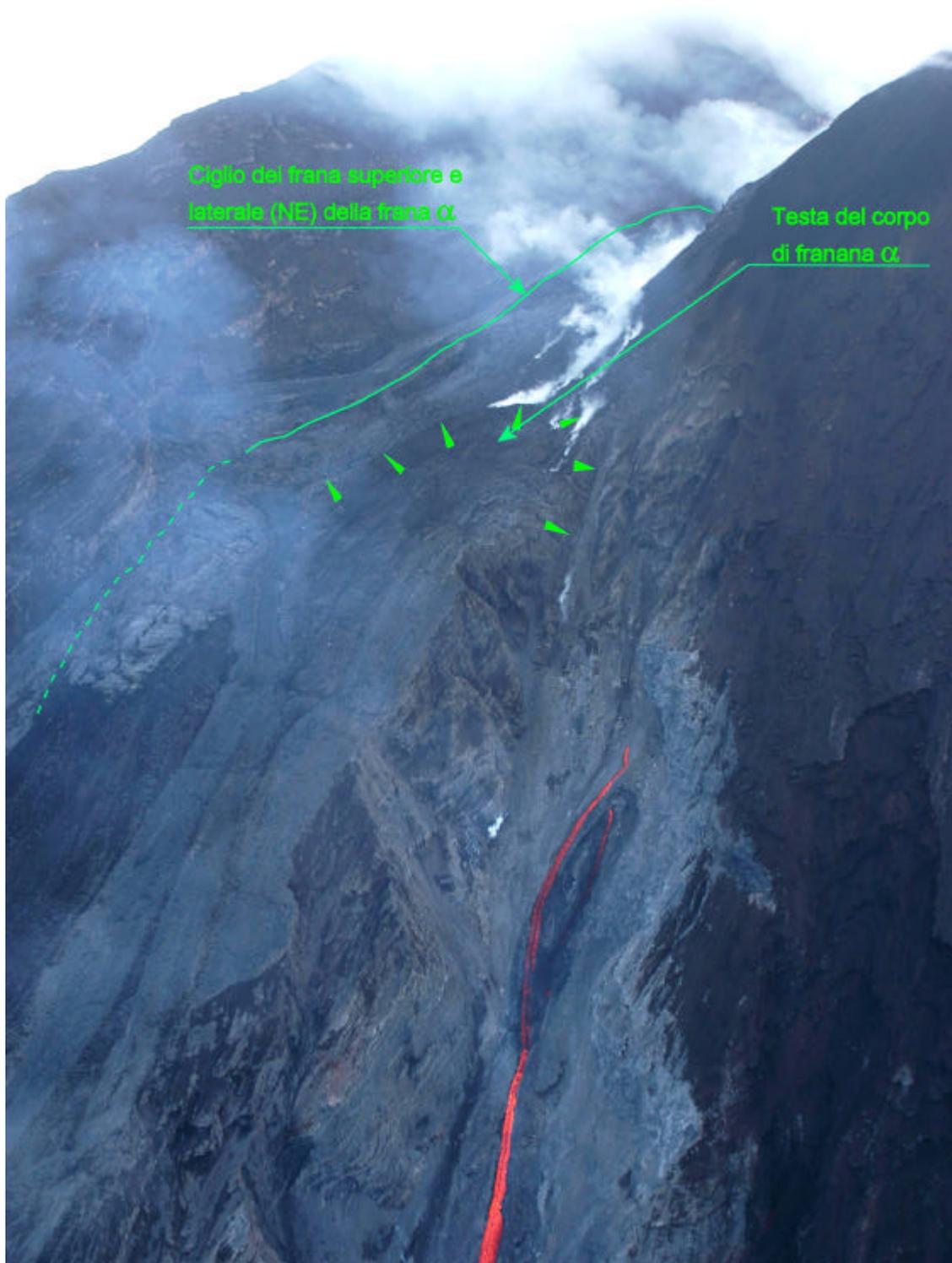


Fig. 6. Foto successiva al 30/12 in cui si vedono il ciglio di distacco e la testa del corpo di frana α (foto INGV, Catania)



Fig. 8. Vista frontale del versante immediatamente precedente alla frana del 30/12 delle ore 13:15 (valanga di detriti) (foto INGV, Catania)

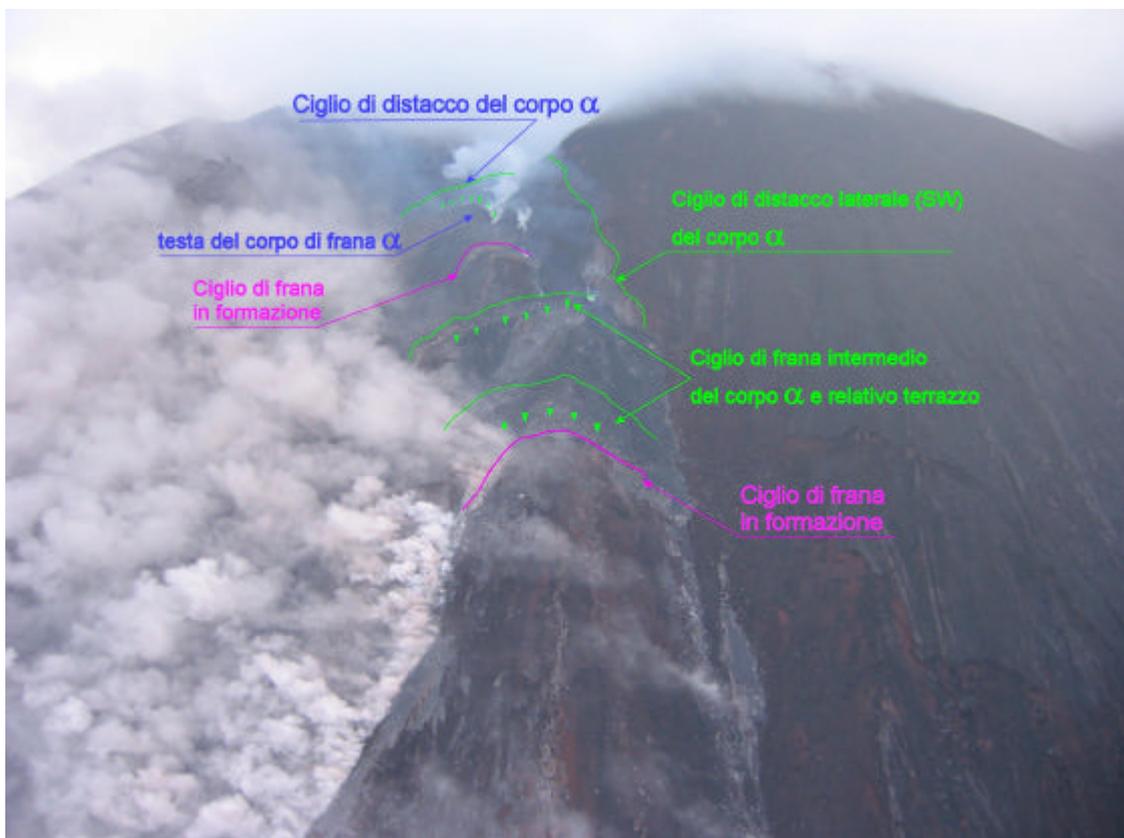


Fig. 7. Vista laterale poco prima alla frana del 30/12 delle ore 13:15 (valanga di detriti) (foto INGV, Catania)

- A) Una consistente porzione del versante NE (sinistro) della Sciara, già predisposta dal movimento α avvenuto prima del 30 dicembre, frana nel tratto di mare antistante (evento β) innescando a sua volta una frana sottomarina, di estensione laterale e dimensioni maggiori di quella subaerea, che determina lo *tsunami*. In questo caso la valanga di detrito costituirebbe una manifestazione preliminare di un più vasto evento di frana (evento β). In questo caso la valanga di detriti che arriva in mare alle 13:15 del 30/12 potrebbe essere il fattore che compromette definitivamente la stabilità del pendio sottomarino.
- B) Il pendio sommerso, venutosi a trovare in condizioni di stabilità progressivamente più gravose ad opera del carico esercitato dal continuo apporto di detriti e di lava dalle colate, viene interessato da un evento franoso (responsabile dello *tsunami*) che si ripercuote sul versante emerso retrostante scalzato al piede dalla frana sottomarina;
- C) Lo *tsunami* è stato prodotto da un unico evento di frana che ha coinvolto la porzione medio-bassa del versante subaereo e una significativa parte del versante sottomarino.

In tutti i casi la frana sottomarina si imposta su la stessa porzione di Sciara indebolita dai movimenti verificatasi prima del 30/12.

Le ipotesi sono compatibili con i dati attualmente a disposizione e vanno pertanto verificate attraverso un attento esame dei dati sismologici, delle caratteristiche dell'onda di *tsunami* in rapporto agli altri eventi e delle analisi geotecniche del fenomeno nel suo complesso.

Anche se è plausibile che si ripristinino condizioni di equilibrio del versante attraverso una progressiva evoluzione caratterizzata da continui fenomeni di dissesto di limitata entità, di seguito vengono formulati alcuni scenari compatibili con i dati finora acquisiti per una prima valutazione del rischio. La loro validazione può derivare unicamente da un'analisi congiunta di tutti gli elementi utili alla comprensione del fenomeno ricavati dall'insieme delle diverse attività di studio attualmente in corso.

- 1) La parte del corpo di frana α , per lo più emersa, non ancora smantellata dalle frane succedutesi dal 30/12 in poi, viene coinvolta in uno scivolamento progressivo e relativamente lento o in un collasso più rapido che dia luogo a una o più valanghe di roccia.
- 2) Il corpo della frana α è più profondo di quello finora mobilizzato e coinvolge una consistente parte del versante sottomarino.
- 3) La rimozione del confinamento sul fianco NE del corpo costituente la Sciara ad opera dei recenti eventi di frana può indurre fenomeni di instabilità gravitativi profondi della restante parte di Sciara.

Al di là di tali scenari va infine detto che l'attuale evoluzione è comunque caratterizzata da fenomeni di instabilità secondari sul versante subaereo e sommerso coinvolti nell'evento del 30/12.

8. Attività proposte per il futuro

Rilievi aerofotogrammetrici

Allo scopo di controllare l'evoluzione complessiva e le deformazioni del versante si è ritenuto opportuno programmare una serie di voli fotogrammetrici a bassa e media quota (scala fotografica 1:5000 -1:15000) da far eseguire alla Aeronautica Militare con cadenza bisettimanale. Le immagini acquisite verranno elaborate con una stazione di fotogrammetria digitale e permetteranno di ottenere in tempi ridotti (circa 12 ore) Modelli Digitali del Terreno e ortofoto da utilizzare sia per controllare le continue variazioni morfologiche dovute a piccoli eventi di frana e crolli di materiale dal versante sia per valutare le deformazioni superiori ai 10 centimetri, qualora la qualità delle riprese lo

consentano. Tali risultati sono vincolati alla realizzazione di voli aerofotogrammetrici in condizioni operative ottimali. Deve essere, inoltre, valutata la possibilità di integrare i dati aerofotogrammetrici con rilievi fotogrammetrici a distanza ravvicinata da postazioni collocate a terra (lateralmente al versante) e su imbarcazioni stabili (frontalmente).

Rilievi Batimetrici

Il tipo di rilievi che si ritiene opportuno eseguire sono i seguenti:

- La prosecuzione in profondità del rilievo batimetrico (già in realizzazione)
- Rilievi per la caratterizzazione litologica delle morfologie individuate con *multibeam*, mediante indagini *side scan sonar*, ROV, magnetometriche e campionatori di fondo (draga, carotiere e *box corer*)
- Ripetizione periodica del rilievo *multibeam* a cadenze di un mese, eventualmente accoppiato a campionamenti, per monitorare l'evoluzione di eventuali lineamenti di instabilità generati dall'evento franoso e dall'accumulo nel tempo del materiale prodotto dall'eruzione e dall'evoluzione dei versanti
- Installazione di OBH o altra strumentazione idrofonica per monitorare possibili segnali precursori di movimenti sottomarini. Potrebbe essere utile l'installazione di un idrofono sulla boa ondometrica già presente nell'area.

Indagini geognostiche e geotecniche in situ

Per l'analisi della futura evoluzione del dell'intero versante occorre ricavare i parametri di resistenza dell'ammasso roccioso per i modelli di previsione di fenomeni di rottura e dell'estensione delle valanghe di detriti/roccia. A questo proposito saranno effettuate, a partire dai dati morfologici pre- e post-frana delle analisi di stabilità a ritroso su fenomeni già avvenuti. Inoltre si prevede di realizzare, compatibilmente con le condizioni logistiche e delle indagini geotecniche in situ per la determinazione delle caratteristiche meccaniche di alcuni orizzonti significativi per il comportamento dell'ammasso. Le indagini saranno effettuate su sequenze esterne all'area di frana simili per litologia e struttura.

Misure di deformazione

Allo scopo di integrare le informazioni utili all'analisi di stabilità del versante nord-occidentale sarebbe opportuno effettuare misure topografiche, eventualmente con strumentazione a puntamento automatico, su appositi prismi retroriflettori posti all'interno e ai margini dell'area in frana. Inoltre, per acquisire elementi sulla stabilità delle zone circostanti l'area attualmente in frana, altri controlli ragionevolmente attuabili sono misure superficiali dell'inclinazione della superficie topografica con sensori tipo tiltmetri servoaccelerometrici o simili, e misure a cavallo di discontinuità eventualmente riscontrate nei rilievi in situ.

La raccolta e l'elaborazione dei dati utilizzati per la stesura di questo rapporto è stata condotta:

Baldi Paolo	Dip. Fisica - Università di Bologna
Belloli Flavio	DITS - Università di Roma "La Sapienza"
Bosman Alessandro	DST- Università di Roma "La Sapienza"/Tor Vergata
Fabris Massimo	Università di Bologna/Padova
Monticelli Roberto	DITS - Università di Roma "La Sapienza"
Pompilio Massimo	INGV - Sezione di Catania
Romagnoli Claudia	DSGA - Università di Bologna