

RICOSTRUZIONE DELLE VARIAZIONI MORFOLOGICHE DELLA SCIARA DEL FUOCO (ISOLA DI STROMBOLI) DAL 1938 AL 2004 MEDIANTE ANALISI DI DATI FOTOGRAMMETRICI MULTI-TEMPORALI

Paolo BALDI (*), Massimo FABRIS (***), Maria MARSELLA (***)

(*) Dipartimento di Fisica – Settore Geofisica

Università di Bologna, Viale Bertini Pichat, 8 – 40127 Bologna

(**) Laboratorio di Rilevamento e Geomatica – DAUR – Dipartimento di Architettura, Urbanistica e Rilevamento
Università di Padova, Via Marzolo, 9 – 35131 Padova, e-mail: massimo.fabris@unipd.it

(***) DITS – Università “La Sapienza”, Roma, Via Eudossiana, 18 – 00184 Roma

Riassunto

Il vulcano Stromboli, ed in particolare il versante della Sciara del Fuoco, è stato soggetto nel passato, e recentemente nel 2002-2003, ad eventi franosi in concomitanza con attività effusiva. La conoscenza delle caratteristiche geometriche e dei meccanismi dei fenomeni di instabilità che avvengono nel versante, può contribuire a ridurre i rischi legati ai fenomeni eruttivi che regolano l'attività del vulcano stesso. La disponibilità di rilievi aerofotogrammetrici effettuati dal 1938 al 2004 ha permesso la generazione di DTM (*Digital Terrain Model*) con griglia di passo 5 metri del versante della Sciara, e la restituzione al tratto della linea di costa. Il DTM del 1938, a causa della perdita delle diapositive, è stato ottenuto dalla digitalizzazione di cartografia aerofotogrammetrica a scala 1:10000. Il confronto dei DTM ottenuti ha permesso la valutazione qualitativa e quantitativa delle masse coinvolte sia nei fenomeni eruttivi che in quelli franosi visibili alle date dei rilievi. La restituzione delle linee di costa ha permesso inoltre di evidenziare notevoli variazioni non solo in corrispondenza della Sciara del Fuoco ma anche in prossimità delle aree abitate, e collegabili a fenomeni di instabilità sottomarina.

Abstract

The Stromboli volcano, and in particular the Sciara del Fuoco slope, has been characterized in the past, and recently in 2002-2003, by landslide events during effusion activities. The knowledge of the geometrical characteristics and the mechanisms of instability phenomena of the slope, can contribute to reduce the risks coming from eruptive phenomena which regulate the activity of the volcano. The aerial photogrammetric survey performed from 1938 to 2004 allowed to extract DTMs (Digital Terrain Models) of the Sciara flank with a grid of 5 x 5 meters, and the restitution of the coastline. The DTM of 1938, due to the loss of the diapositive film frames, has been obtained from the aerophotogrammetric cartography at 1:10000 scale. The comparison of the extracted DTMs, allowed to evaluate the volumes involved both in the lava flows and erosion phenomena which were visible at the data of the surveys. The extraction of the coastline allowed to evidence remarkable changes in corrispondence of the Sciara del Fuoco slope and near the Stromboli village, which can be related with submarine instability phenomena.

Introduzione

Il vulcano Stromboli, l'isola vulcanica più a nord dell'arcipelago delle isole Eolie, è la porzione sub-aerea di un grande edificio vulcanico che risale da una profondità di circa 2000 metri ad una quota di 924 metri s.l.m. (figura 1). Il vulcanismo di Stromboli è noto per la persistenza dell'attività:

libri classici di vulcanologia del diciannovesimo secolo indicano che l'attività persistente di Stromboli è durata per 2000-2500 anni, facendogli guadagnare il nome di "Faro del Mediterraneo". In ogni caso risulta difficile determinare, sulla base dei dati storici, l'inizio dell'attuale attività; informazioni relativamente precise sono disponibili solo a partire dal diciottesimo secolo. Studi effettuati da Rosi et al. (2000) hanno dimostrato che il vulcano è attivo da almeno il quarto secolo A.C. e che una variazione significativa dello stile eruttivo e della composizione dei prodotti si è verificata, dopo un periodo di inattività, tra il terzo ed il settimo secolo D.C. L'attività attuale si concentra in corrispondenza dell'area craterica localizzata a quota 750 metri s.l.m. all'interno della Sciara del Fuoco, una depressione sul fianco NW del cono. L'attività consiste in piccole esplosioni intermittenti della durata di pochi secondi che avvengono nei differenti crateri ad intervalli di 10-20 minuti. Ciascuna esplosione lancia scorie incandescenti, frammenti di magma, cenere e blocchi ad altezze comprese tra alcune decine e alcune centinaia di metri. L'attività esplosiva è associata ad una continua emissione gassosa dall'area craterica. La normale attività viene periodicamente interrotta dalla fuoriuscita di flussi lavici e da esplosioni violente (Barberi et al., 1993). La fotogrammetria digitale multi-temporale, che è stata utilizzata efficacemente durante l'ultima eruzione (2002-2003) per il monitoraggio del versante della Sciara del Fuoco (Baldi et al., 2004), permette la generazione di Modelli Digitali del Terreno (DTM) che possono essere confrontati direttamente se sono co-registrati nello stesso sistema di riferimento. Una co-registrazione ottimale può essere ottenuta attraverso il riconoscimento di un certo numero di punti comuni ai diversi rilievi o, nel caso questo non sia possibile, mediante l'applicazione di una procedura di *surface matching*. In questo lavoro viene effettuata una ricostruzione delle variazioni morfologiche che hanno interessato il versante della Sciara a partire dal 1938 fino al 2004.

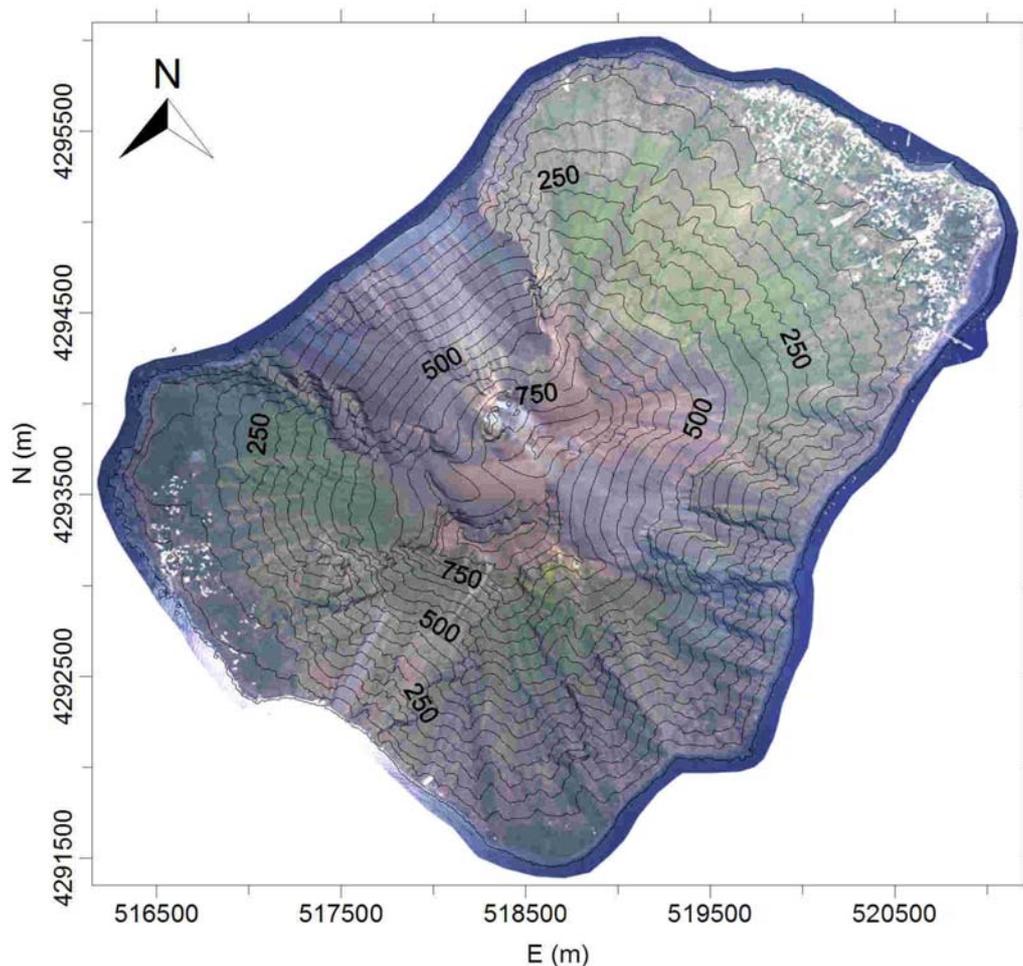


Figura 1 – Ortofoto dell'isola di Stromboli (rilievo aerofotogrammetrico del 4 agosto 2004)

Dataset utilizzati per la ricostruzione delle variazioni morfologiche

Nell'ambito di questo studio sono stati considerati i rilievi aerofotogrammetrici effettuati nel 1938, 1954, 1967, 1974, 2001, 2003 e 2004. L'elaborazione delle immagini, effettuata con il software Socet Set, ha permesso l'estrazione di DTM con griglia di passo 5 metri del versante della Sciara del Fuoco e la restituzione al tratto della linea di costa. Il DTM del 1938, a causa della perdita delle diapositive, è stato ottenuto dalla cartografia a scala 1:10000 realizzata tramite restituzione aerofotogrammetrica. L'analisi multi-temporale dei rilievi fotogrammetrici ha richiesto la definizione di un sistema di riferimento comune che è stato ottenuto riconoscendo punti naturali localizzati in aree ritenute stabili (spigoli di fabbricati e affioramenti rocciosi) in tutta la serie di immagini (Pesci et al., 2004). Le coordinate di riferimento dei punti fotografici d'appoggio selezionati sono state misurate in stereoscopia sui modelli del blocco fotogrammetrico relativo al 2001, a sua volta orientato in modo rigoroso mediante punti segnalizzati predisposti prima del volo e misurati con metodologia GPS. I DTM estratti automaticamente sono stati editati manualmente nelle aree di non corretto adattamento del modello alla reale morfologia del terreno. La presenza di fumo in corrispondenza dell'area craterica ha impedito, in alcuni casi, la ricostruzione della superficie nella parte sommitale della Sciara; in particolare il modello del 1974 risulta troncato a quota 540 metri. Il confronto tra ciascun DTM ed il successivo ha permesso la generazione delle mappe dei residui riportate nelle figure 2 e 3.

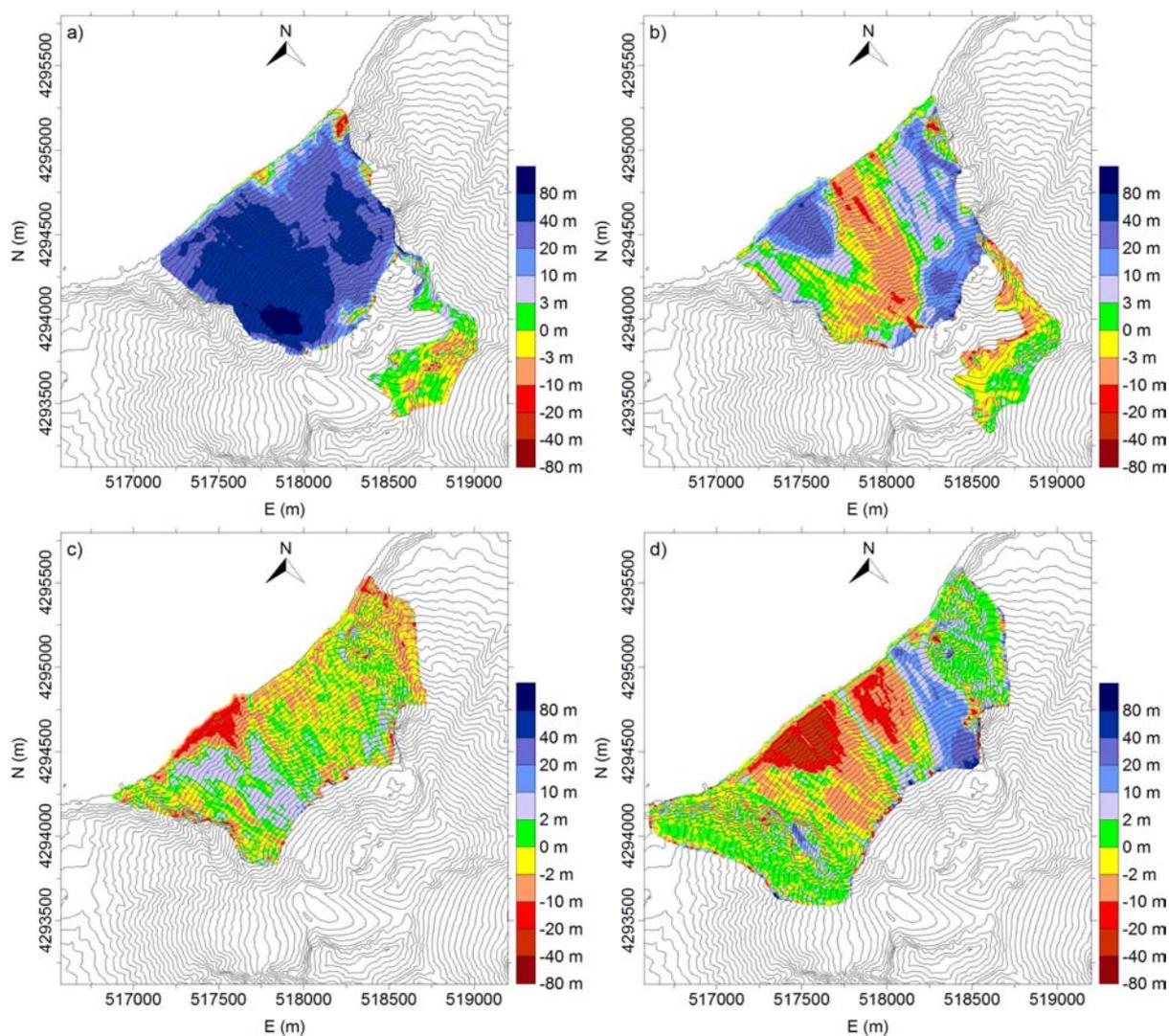


Figura 2 – Mappe dei residui dei confronti tra DTM:
a) 1938 – 1954; b) 1954 – 1967; c) 1967 – 1974; d) 1974 – 2001

Il confronto tra i DTM del 1938 e del 1954 è stato effettuato dopo aver praticato una procedura di “*least square surface matching*” tra i modelli del 1938 e 2001 nell’area non deformata, al di sopra dell’area craterica (Baldi et al., 2004). Il confronto diretto tra questi modelli ha fornito un valore medio dei residui di 3.19 metri e deviazione standard di 4.74 metri; quest’ultima è stata ridotta, dopo l’applicazione della procedura di minimizzazione verticale tra le superfici, a 2.54 metri. Gli ultimi confronti (2001, 2003 e 2004) hanno contribuito al monitoraggio della Sciara durante l’ultima eruzione iniziata il 28 dicembre 2002, proseguita con il distacco di frane sub-aeree e sottomarine il 30 dicembre che hanno provocato uno *tsunami*, e conclusa nel mese di luglio 2003 (Baldi et al., 2005). In particolare l’ultima mappa dei residui (settembre 2003 – agosto 2004) ha permesso la valutazione delle variazioni morfologiche ad eruzione conclusa (figura 3).

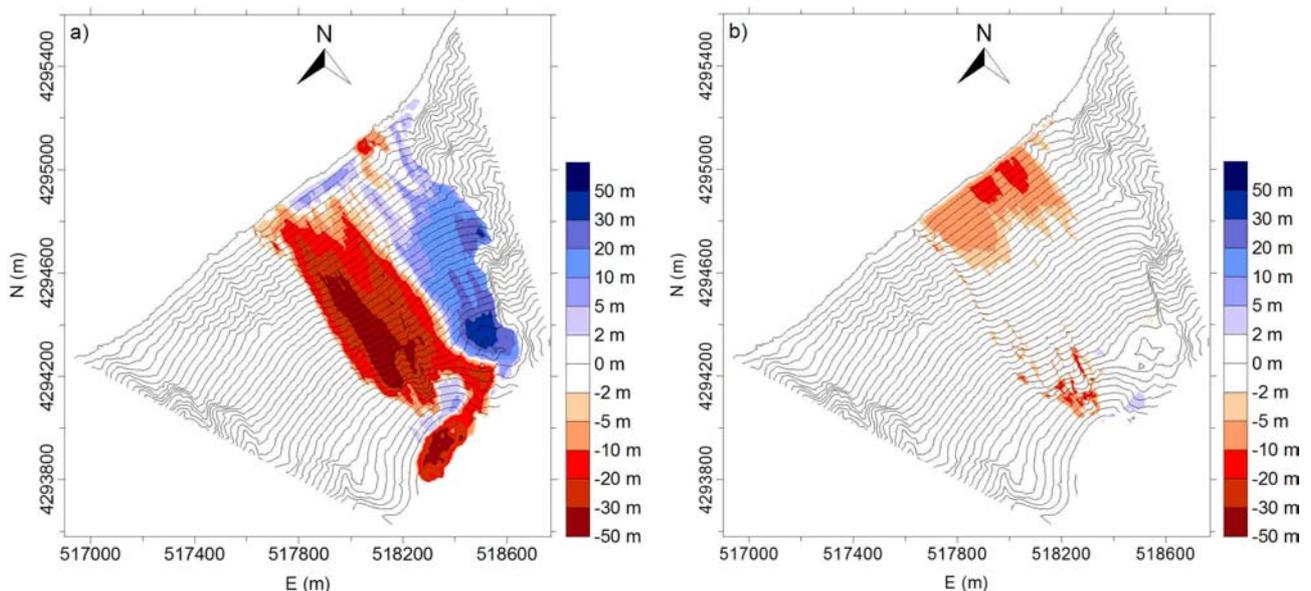


Figura 3 – Mappe dei residui dei confronti tra DTM:
a) maggio 2001 – settembre 2003; b) settembre 2003 – agosto 2004

Discussione dei risultati

Durante tutto il periodo analizzato, dal 1938 al 2004, il versante della Sciara del Fuoco è stato soggetto a numerosi fenomeni di accumulo (flussi lavici prodotti dall’attività eruttiva) e di erosione (frane), come documentato in letteratura (<http://www.ct.ingv.it/Divulgazione/StrombEruz.htm>, http://boris.vulcanoetna.com/STROMBOLI_elenco.html).

Calcolando i volumi accumulati ed erosi per ciascun confronto, è stato possibile effettuare un’analisi quantitativa dei fenomeni che si sono verificati mettendo in relazione i dati ottenuti con le informazioni disponibili (tabella 1). I valori riportati in tabella non rappresentano i volumi effettivamente depositati dai flussi di lava o erosi, in quanto le depressioni create dalle frane che si sono succedute nel tempo sono state parzialmente o totalmente riempite dai flussi lavici. Per esempio, durante la crisi del 2002-2003, il volume totale eroso risulta di circa $16.5 \cdot 10^6 \text{ m}^3$, mentre la lava depositata sul pendio è di circa $11.5 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ (Baldi et al., 2005); al termine dell’attività eruttiva risulta invece che la depressione corrispondente alla frana e alla successiva erosione si è ridotta a $6.6 \cdot 10^6 \text{ m}^3$, mentre il volume delle colate laviche è di $2.8 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ (tabella 1).

Dalla figura 3 risulta evidente una notevole variazione dell’area craterica durante la fase eruttiva (a) e la formazione di un “pianoro” a quota di circa 600 metri. L’evoluzione successiva (figura 3b, confronto settembre 2003 – agosto 2004) evidenzia fenomeni di arretramento della nicchia di distacco della frana del 30 dicembre 2002, di instabilità dell’area del pianoro e di erosione superficiale al di sotto dei 300 metri s.l.m., probabilmente provocata dall’azione del mare e/o da altri fenomeni di instabilità sottomarina.

Confronto	Anno	Descrizione	Volumi (10^6 m^3)	
			Accumulati	Erosi
1938-1954	1938	Numerose colate laviche che raggiungono il mare	46.3	3.9
	1939	Episodi effusivi con colate che raggiungono il mare		
	1941	Ricaduta di blocchi, fontane di lava, onda d'urto		
	1943	Numerose colate laviche che raggiungono il mare		
	1944	Numerose colate laviche che raggiungono il mare		
	1950	Proiezione di ceneri e blocchi, incendi alla vegetazione		
	1952	Attività effusiva intermittente		
1954-1967	1954	Proiezione di ceneri e blocchi, tsunami	8.7	2.1
	1955	Flusso lavico ai piedi della Sciara del Fuoco		
	1956	Numerose colate laviche		
1967-1974	1967	Colata lavica si riversa in mare	1.0	2.1
	1971	Esplosioni, colate laviche		
1974-2001	1974	Onda d'urto	4.5	5.5
	1975	Colata lavica si riversa in mare		
	1985	Colata lavica si riversa in mare		
	1986	Colata lavica si riversa in mare		
	1990	Ricaduta di frammenti litici sul villaggio di Stromboli		
	1993	Trabocco di colate laviche dai crateri sommitali		
2001-2003	2002	Maremoto, colate laviche che raggiungono il mare	4.6	6.6
	2003	Colate laviche che raggiungono il mare		
2003-2004	2004	Attività esplosiva	0.0	1.3

Tabella 1 – Relazione tra le informazioni documentate degli eventi di Stromboli e i volumi di massa accumulati ed erosi nel periodo dei rilievi aerofotogrammetrici

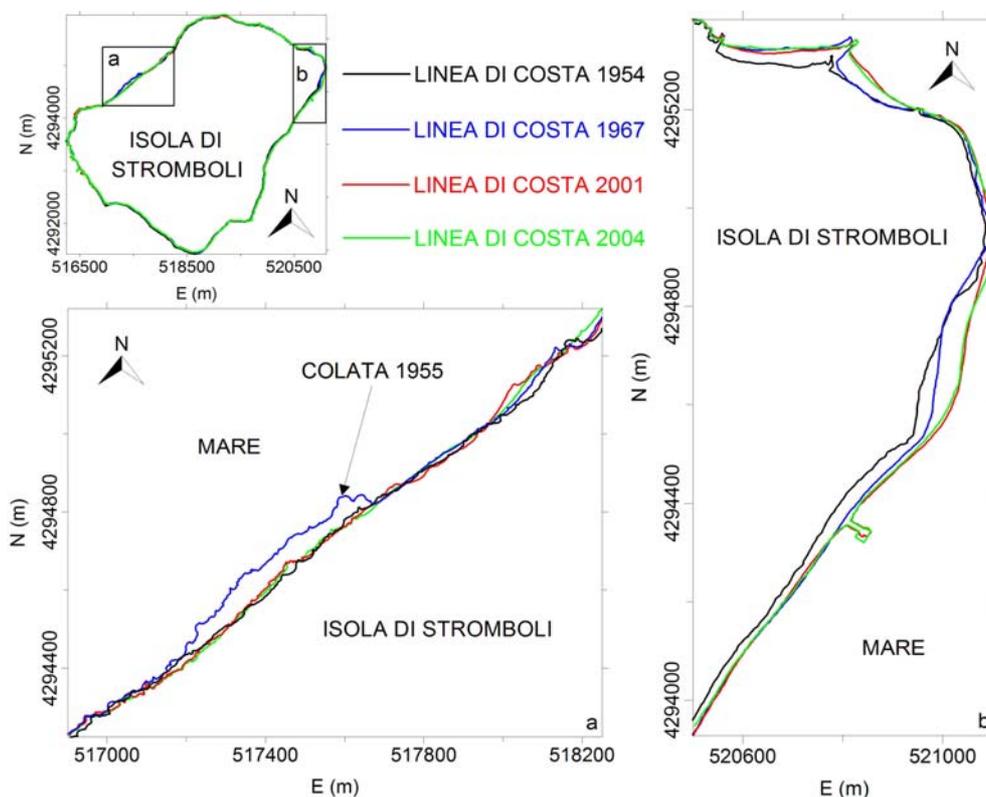


Figura 4 – Restituzione delle linee di costa di quattro differenti rilievi (1954, 1967, 2001 e 2004)

La restituzione al tratto completa della linea di costa è stata effettuata per i rilievi del 1954, 1967, 2001 e 2004: infatti il rilievo del 1974, come già accennato, presenta una copertura di nuvole e fumo piuttosto estesa, tale da ricoprire anche una buona parte della Sciara del Fuoco, mentre il rilievo del settembre 2003 ha coinvolto solo una porzione del versante e non tutta l'isola. Il confronto tra le restituzioni successive mostra variazioni notevoli non solo in prossimità della Sciara ma anche in corrispondenza del villaggio di Stromboli, con variazione più marcata tra i rilievi del 1967 e del 2001 (figura 4); questo è dovuto principalmente al trasporto di materiale da parte di correnti sottomarine persistenti e all'attività antropica degli ultimi cinquant'anni.

Conclusioni

La fotogrammetria digitale multi-temporale si è dimostrata uno strumento estremamente utile per la ricostruzione delle variazioni morfologiche di versanti in rapida evoluzione. La disponibilità di rilievi aerofotogrammetrici storici, dal 1940 in poi, permette la ricostruzione dei fenomeni su periodi molto lunghi.

L'utilizzo della fotogrammetria digitale multi-temporale ha permesso la ricostruzione delle variazioni morfologiche della Sciara del Fuoco dal 1938 al 2004 attraverso il confronto diretto di DTM co-registrati nello stesso sistema di riferimento. L'applicazione di una procedura di "least square surface matching" ha permesso di migliorare la co-registrazione del modello digitale del 1938 (ottenuto dalla cartografia in scala 1:10000) con quello del 2001 (di riferimento). Il confronto dei modelli, estratti automaticamente mediante il software Socet Set e successivamente editati manualmente nelle aree di non corretto adattamento alla morfologia del terreno, ha fornito non solo un andamento qualitativo e di verifica delle informazioni disponibili in letteratura, ma anche valori quantitativi dei volumi coinvolti nei fenomeni di accumulo ed erosione.

La restituzione al tratto delle linee di costa dei diversi rilievi ha permesso di evidenziare variazioni significative non solo in corrispondenza della Sciara del Fuoco (dove i fenomeni di accumulo ed erosione, oltre che l'azione del mare, facilitano variazioni consistenti) ma anche in prossimità del villaggio di Stromboli, con cambiamenti più accentuati nel periodo 1967-2001.

Bibliografia

- Baldi P., Coltelli M., Fabris M., Marsella M. (2005), "The morphological evolution of the Sciara del Fuoco after the 2002-2003 Stromboli eruption", *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, submitted
- Baldi P., Fabris M., Marsella M., Monticelli R. (2005), "Monitoring the morphological evolution of the Sciara del Fuoco during the 2002-2003 Stromboli eruption using multi-temporal photogrammetry", *ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing*, 59: 199-211
- Baldi P., Fabris M., Marsella M., Monticelli R. (2004), "Utilizzo di DTM di precisione ad elevata risoluzione per il controllo del pendio Sciara del Fuoco dell'Isola di Stromboli", *Atti della 8^a Conferenza Nazionale ASITA*, 1: 241-246
- Baldi P., Fabris M., Marsella M., Pesci A. (2004), "Co-registrazione di Modelli Digitali del Terreno mediante adattamento ai minimi quadrati delle superfici", *Atti della 8^a Conferenza Nazionale ASITA*, 1: 247-252
- Barberi F., Rosi M., Sodi A. (1993), "Volcanic hazard assessment at Stromboli based on review of historical data", *Acta Vulcanologica*, 3: 173-187
http://boris.vulcanoetna.com/STROMBOLI_elenco.html
<http://www.ct.ingv.it/Divulgazione/StrombEruz.htm>
- Pesci A., Baldi P., Bedin A., Casula G., Cenni N., Fabris M., Loddo F., Mora P., Bacchetti M. (2004), "Digital elevation models for landslide evolution monitoring: application on two areas located in the Reno river valley (Italy)", *Annals of Geophysics*, 47, 4: 1339-1353
- Rosi M., Bertagnini A., Landi P. (2000), "Onset of the persistent activity at Stromboli Volcano (Italy)", *Bulletin of Volcanology*, 62: 294-300