

LA FOTOGRAMMETRIA DIGITALE APPLICATA IN AREE VULCANICHE :L'AREA SOMMITALE DEL MONTE ETNA

Paolo BALDI (*), Ernesto BERNARDO (**), Mauro COLTELLI (***), Massimo FABRIS (*),
Maria MARSELLA (**), Cristina PROIETTI, (**), Alberico SONNESSA (**)

(*) Dipartimento di Fisica – Settore Geofisica

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

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

(***) INGV – Sezione di Catania, Piazza Roma 2 Catania

Riassunto

Le aree vulcaniche sono frequentemente soggette a variazioni topografiche dovute a colate di lava od eventi di frana collegati all'attività eruttiva. La disponibilità di cartografia aggiornata e dettagliata contribuisce a realizzare analisi di tipo quantitativo che contribuiscono alla conoscenza ed al monitoraggio dei fenomeni effusivi. La topografia è un importante parametro di input per i codici di simulazione che vengono adottati per costruire mappe di hazard e valutare l'evoluzione temporale dei flussi lavici.

In questo lavoro viene presentato l'aggiornamento della topografia della parte sommitale dell'Etna estratta da un volo fotogrammetrico realizzato nell'agosto 2004. Questa area è stata, infatti interessata da diverse eruzioni effusive tra il 1998, anno di aggiornamento della Carta Tecnica Provinciale di Catania (CTP-1998), e il 2004. Vengono inoltre presentate alcune prove di editing del DTM 2004 per eliminare la vegetazione. La procedura di estrazione automatica del DTM può infatti portare, in aree ricoperte da fitta vegetazione, ad una rappresentazione errata delle caratteristiche morfologiche della superficie.

Questo lavoro presenta, infine, il calcolo del volume di un flusso lavico emesso nel 2002 sul versante NE. Questo è stato ottenuto dal confronto tra il DTM 2004 e il DTM estratto dalla CTP-1998 dopo aver valutato l'ondulazione del geoide nella zona in esame. I due DTM si riferiscono, infatti, a due diversi sistemi di riferimento altimetrici: il 2004 si basa sulle quote ellissoidiche mentre il 1998 utilizza quote geoidiche.

Abstract

Volcanic areas are frequently interested by topographic variations related to lava flow emplacement or landslides induced by an eruptive activity. Quantitative analysis, supported by the availability of an updated and detailed cartography, are useful for monitoring and modelling lava flow emplacement. Topography is one of the main input parameters of simulation codes, normally used for hazard map definition and for forecasting the evolution of ongoing lava flows.

This work presents the updating of the Mt. Etna summit area topography from an aerial photogrammetric survey (August 2004). The topography of the whole volcano edifice was updated in 1998 by Provincia di Catania but the summit area was interested by lava flow emplacements between 1998 and 2004.

This work presents also some editing tests carried out, on the 2004 DTM, to improve the surface representation in densely vegetated area. The automatic DTM extraction evaluates, in such areas, the tree canopy and not the terrain surface.

Finally, the comparison of the 2004 and 1998 topography permitted us to evaluate the volume of the lava flow emplaced on 2002 on the NE Etna flank. The two DTM was referred to different altimetric reference systems: the 2004 and the 1998 elevations were ellissoidic and geoidic respectively, thus the 2004 DTM was suitably modified in order to have congruent elevations.

Introduzione

L'attività vulcanica comporta una grande variabilità di processi (ricaduta di prodotti dalla colonna eruttiva, flussi piroclastici, flussi lavici, emissioni di gas, frane di detrito, collassi strutturali, lahar, etc.) che risultano essere potenzialmente pericolosi per il territorio o per la popolazione.

Il controllo del territorio potenzialmente soggetto ad eruzioni effusive richiede la disponibilità di cartografia numerica tridimensionale aggiornata da utilizzare come base per GIS dedicabili alla gestione delle emergenze, anche attraverso l'inserimento di modelli di simulazione.

La disponibilità della morfologia del flusso lavico, della topografia pre-eruzione e dei parametri che descrivono le proprietà fisiche della lava (derivati da letteratura o misurati direttamente) rappresenta l'insieme dei dati necessari all'utilizzo e alla validazione dei codici. La disponibilità di dati che descrivono l'evoluzione temporale della morfologia del flusso permetterebbe inoltre di validare i codici di simulazione per un utilizzo in real-time e non solo per la quanto riguarda la geometria finale del campo lavico.

I dati che descrivono la geometria finale dei flussi lavici (volume, spessore, area del campo lavico) possono essere derivati, con precisione nota, dalla elaborazione di Modelli Digitali del Terreno (DTM) pre e post-eruzione. L'evoluzione temporale può essere ricavata da carte che descrivono le variazioni planimetriche del campo lavico (ad esempio, da ortofoto o da immagini non fotogrammetriche opportunamente raddrizzate e georeferenziate) o, se possibile, da una frequente ripetizione dei monitoraggi (ad esempio fotogrammetrici o LIDAR) che permetterebbe di avere una ricostruzione 3D.

Dati disponibili

La cartografia più aggiornata dell'intero edificio è rappresentata dalla Carta Tecnica Provinciale del 1998 (CTP-1998) della provincia di Catania. Il DTM di Figura 1, che copre l'intero vulcano, è stato estratto, con maglia di 10 m, da questa cartografia considerando sia le curve di livello che i punti quotati, secondo il metodo di Delauney delle Triangular Irregular Network (TIN).

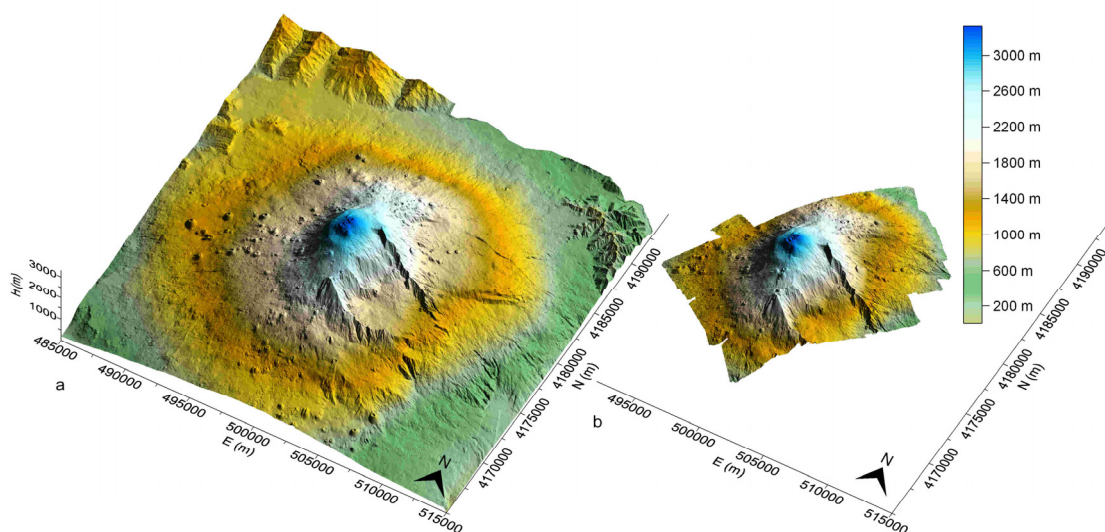


Figura 1 – DTM dell'intero edificio vulcanico interpolato dalla CTP-1998 (a sinistra) e DTM di aggiornamento ottenuto dal rilievo aerofotogrammetrico agosto 2004 (a destra).

L'Etna ha però presentato, nel periodo 1998-2003, attività sommitale e laterale rendendo necessario un aggiornamento della cartografia costituito da un rilievo aerofotogrammetrico realizzato dalla Nuova Avioriprese di Napoli nell'Agosto 2004. Il rilievo ha coperto le aree modificate dai seguenti

eventi eruttivi successivi alla data del rilievo della CTP: eruzioni dal Cratere di SE e Bocca Nuova del 1999, eruzione dal Cratere di SE del 2000 e eruzioni laterali del 2001 e del 2002-03.

Durante il rilievo sono stati acquisiti 223 fotogrammi lungo 14 strisciate. I fotogrammi a scala fotografica media 1:10000 sono stati digitalizzati con scanner fotogrammetrico ad una risoluzione di 1000 dpi, che ha permesso di ottenere una risoluzione media a terra di 25 cm. Tale risoluzione è sufficiente a garantire il raggiungimento di una precisione cartografica di circa 1 m in altimetria e di 0.5 m in planimetria. La restituzione è stata realizzata utilizzando una stazione fotogrammetrica digitale ad alte prestazioni (Helava system - DPW710) che permette l'estrazione semiautomatica del DTM tramite algoritmi di correlazione d'immagine. Il rilievo è stato inquadrato nel Datum WGS84 realizzando una rete di punti di appoggio misurati tramite un rilievo GPS effettuato nel luglio 2005.

Procedure per l'estrazione di DTM

La restituzione dei dati raccolti su tutta l'area ha permesso di aggiornare la cartografia numerica della parte sommitale fornendo un DTM (Figura 1) con un passo di griglia di 5 metri. Poiché l'edificio vulcanico in alcune sue parti è interessato dalla presenza di vegetazione, la procedura di estrazione automatica del DTM può portare nelle stesse aree ad una rappresentazione errata delle caratteristiche morfologiche della superficie. L'approccio più efficace per eliminare la vegetazione (o le costruzioni) è quello di procedere ad un *editing* manuale che può risultare gravoso in termini di tempi di esecuzione e costi. È altresì possibile ricorrere ad algoritmi di vario tipo che possono riconoscere ed eliminare gli oggetti ed artefatti sul terreno (principalmente alberi ed edifici).

Allo scopo di individuare gli strumenti che permettono l'estrazione automatica di un prodotto più aderente alla reale morfologia del terreno (e che quindi consentono una riduzione dell'*editing* manuale per l'area in esame), sono stati effettuati diversi test con un algoritmo implementato all'interno del software Socet Set: l'individuazione degli oggetti da eliminare avviene impostando due parametri, l'altezza minima dell'oggetto stesso e l'angolo di inclinazione massimo della superficie restituita automaticamente. Il software costruisce la superficie nell'area su cui è posizionato l'oggetto per interpolazione fra i punti griglia vicini.

Alcune prove di filtraggio della vegetazione sono state effettuate su un'area campione sub-pianeggiante e coperta in parte da vegetazione densa (alberature che solo sporadicamente permettono la visione del terreno) e in parte da alberi e cespugli isolati (figura 2a e 2b). Inizialmente, è stato estratto il Modello Digitale della Superficie (DSM) con griglia di passo 1 metro in modalità automatica. In figura 2c viene riportata la rappresentazione in rilievo ombreggiato del DSM, dove è chiaramente visibile la vegetazione. Successivamente sono state applicate le procedure di editing manuale, adattando le curve di livello alla reale morfologia del terreno nelle zone di scarsa correlazione e correggendo le quote dei punti in corrispondenza della vegetazione; nel caso di vegetazione fitta, a causa del ridotto numero di punti in cui l'operatore ha avuto la possibilità di misurare il terreno, il prodotto che si ottiene può risultare fortemente interpolato e quindi non rappresentare con sufficiente risoluzione la morfologia del terreno (figura 2d).

Di seguito vengono riportati i risultati dell'utilizzo dell'algoritmo di eliminazione, applicato utilizzando come quota minima 0.5 m, e diversi valori dell'inclinazione. Le medie e la deviazione standard riportate in Tabella 1 derivano dall'analisi dei residui dei diversi modelli rispetto a quello editato manualmente.

Il primo confronto (A) è stato effettuato tra il DTM estratto automaticamente senza l'utilizzo degli strumenti di rimozione degli oggetti e quello editato manualmente. Dalla tabella 1 il caso G sembrerebbe quello migliore (la media del confronto è quasi nulla). In realtà un controllo in stereoscopia ha messo in evidenza che l'utilizzo di valori angolari troppo bassi tende a fornire un prodotto poco aderente alla reale morfologia. La rappresentazione in shaded relief del caso G (figura 3b) confrontata con quella del caso E (figura 3a) e quella editata (figura 2d), mostra come alcune caratteristiche morfologiche vengano modificate (tagliate) alterando la morfologia del terreno. La stessa considerazione può essere effettuata per il caso F (anche se l'alterazione morfologica che produce è più attenuata). Complessivamente il caso D (con angolo di 20°) è quello

che non altera la morfologia e rimuove gli alberi isolati (ma non quelli fitti): può pertanto essere considerata la soluzione migliore. Se si considera solo l'area caratterizzata da vegetazione rada, il valore della media dei residui si riduce da 0.5 m (restituzione automatica) a 0 per un angolo di inclinazione di 20°. Anche nel caso di aree con vegetazione fitta l'applicazione dell'algoritmo sembra ridurre i residui, senza tuttavia condurre ad una accettabile descrizione del terreno.

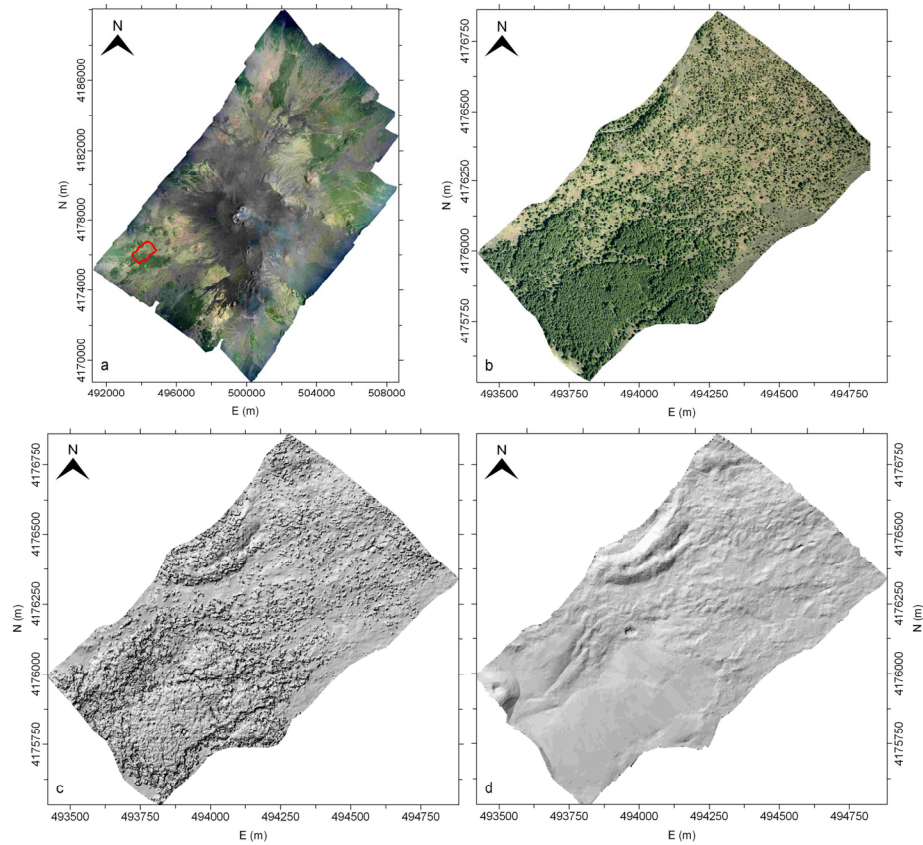


Figura 2– a) Ortofoto del Monte Etna; b) Ortofoto dell'area analizzata; c) Shaded relief del DTM estratto automaticamente; d) Shaded relief del DTM editato manualmente

Confronto	Inclinazione Massima (°)	Media (m)	Dev. St. (m)
A	-	3.43	5.35
B	50	2.42	4.90
C	40	2.50	5.00
D	30	2.31	4.83
E	20	1.99	4.58
F	10	1.22	3.93
G	5	0.05	3.46

Tabella 1 – Confronto tra ciascun DTM estratto automaticamente e quello editato

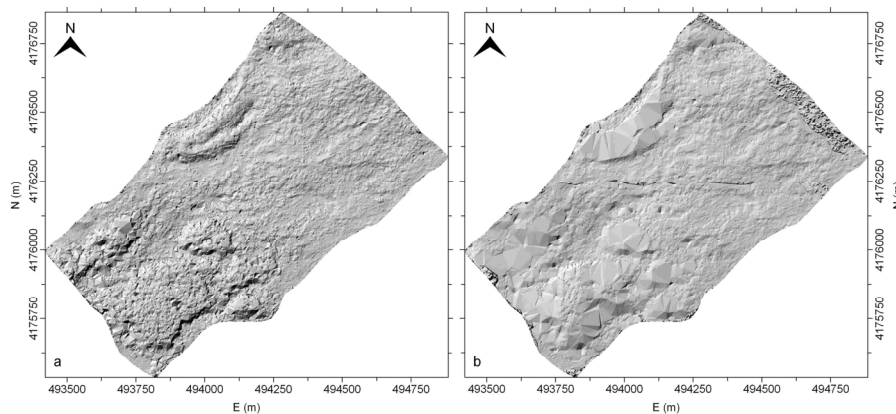


Figura 3 – a) Shaded relief del caso E di tabella 1; b) Shaded relief del caso G di tabella 1

La coregistrazione altimetrica

Il sistema di riferimento altimetrico adottato per la restituzione fotogrammetrica del volo 2004 si basa sulle quote ellissoidiche misurate sui GCP e inserite nel Datum WGS84. Al contrario, il modello estratto dalla cartografia del 1998 utilizza quote “geoidiche” ricavate presumibilmente da uno o più punti di emanazione situati nella zona del rilievo. Dovendo confrontare i due modelli per quantificare, con la massima precisione possibile, le variazioni avvenute sulla superficie del vulcano a seguito delle colate, è necessario riportare i due modelli nello stesso sistema di riferimento, tenendo conto delle ondulazioni del geoide. Le variazioni dell’ondulazione in questa area risultano di notevole entità, con la presenza di un forte gradiente in direzione Est-Ovest, ed un effetto locale dovuto alla topografia (Figura 4).

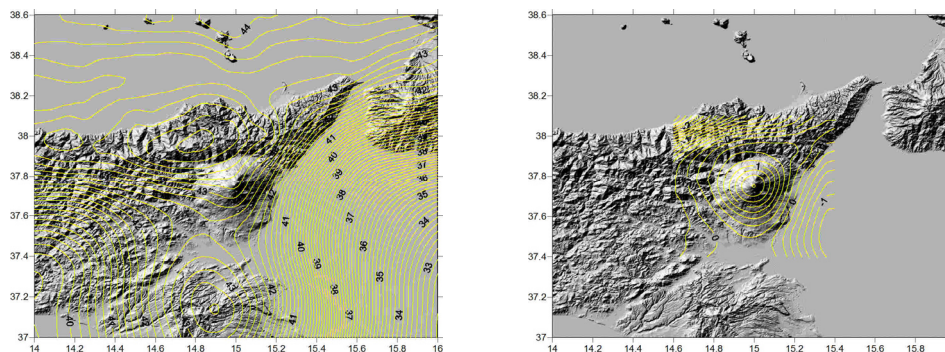


Figura 4 a) Andamento dell’ondulazione del geoide desunta da un modello dell’area mediterranea b) effetto locale dovuto alla topografia

La disponibilità di un geoide a scala nazionale, calcolato rispetto al WGS84, consentirebbe di correggere le quote in modo rigoroso. Tuttavia a causa dell’incertezza sulle modalità con la quale la cartografia del 1998 è stata inquadrata altimetricamente, l’approccio più immediato è quello del confronto diretto dei modelli digitali nelle aree in cui si suppone non sia avvenuti cambiamenti.

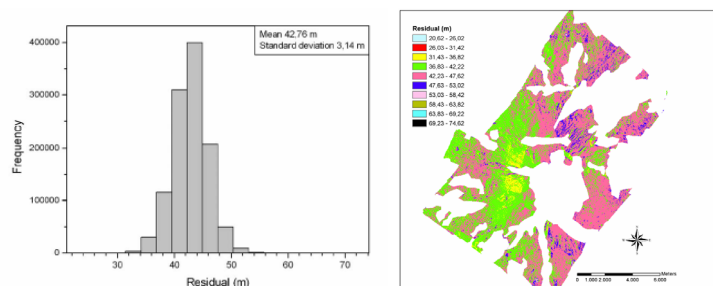


Figura 5 Confronto tra il DTM 2004 ellissoidico e il DTM 1998 geoidico eliminando le aree interessate da colate laviche tra il 1998 e il 2004 e le aree caratterizzate da fitta vegetazione: a) distribuzione dei residui altimetrici b) mappa dei residui altimetrici

Le differenze dei residui altimetrici tra il DTM 2004 ellissoidico e il DTM 1998 *geoidico*, eliminando le aree interessate da colate laviche avvenute tra il 1998 e il 2004 e le aree caratterizzate da fitta vegetazione, sono rappresentate in Figura 5. Il valore medio delle differenze, che risulta di $42,8 \pm 3,0$ m è stato applicato al DTM del 2004 senza tener conto delle ondulazioni geoidiche dell'ordine di qualche metro, in quanto gli errori del DTM di riferimento sono certamente superiori.

Calcoli volumi

Il confronto tra il DTM 2004, riportato alla superficie del geode, e il DTM 1998 permette di valutare le variazioni morfologiche dell'edificio vulcanico. Come esempio viene riportata una stima preliminare del volume del flusso lavico emesso sul versante NE tra il 27 ottobre e il 7 novembre 2002 (19×10^6 m³), la cui area è stata delimitata sull'ortofoto estratta dal volo 2004 (Figura 6).

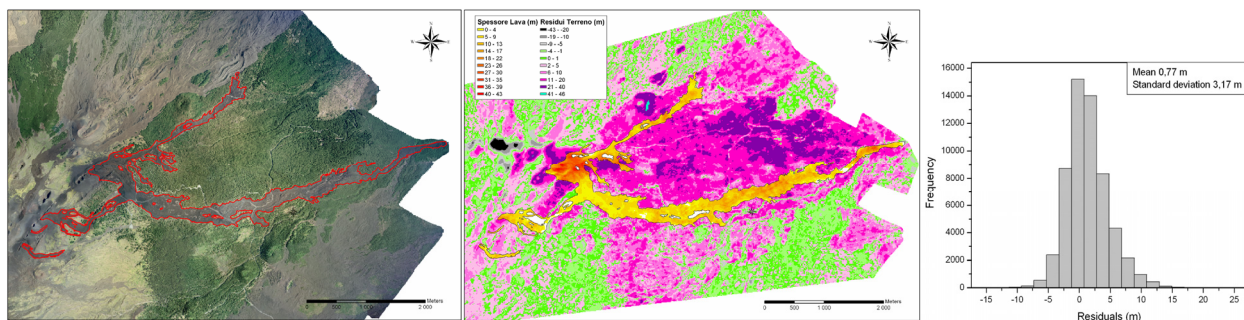


Figura 6 Rappresentazione della colata 2002 NE dell'Etna: limite della colata tracciato sull'ortofoto 2004; rappresentazione dei residui altimetrici al di fuori (terreno) e in corrispondenza del flusso lavico; distribuzione dei residui terreno nelle zone non coperte da vegetazione.

La presenza di alberi nel DTM 2004, non rimossi dalla procedura di estrazione automatica, è evidenziata dai residui positivi (tra 10 e 30 m) visibili in Figura 6. La distribuzione statistica dei residui terreno (al di fuori del flusso lavico), escludendo le zone coperte da fitta vegetazione, ha permesso di verificare la congruenza tra le due superfici pre- e post-eruzione, fornendo un valore medio di $0,77 \pm 3,17$ m.

Conclusioni

Il lavoro presenta alcuni risultati ottenuti dall'elaborazioni di dati cartografici tridimensionali acquisiti per l'aggiornamento della topografia del Monte Etna. Un DTM estratto da un volo fotogrammetrico realizzato nel 2004 è stato analizzato al fine di verificare le prestazioni delle procedure di estrazione automatica e di editing, implementati nel software Socet Set. È stato inoltre affrontato il problema della stima dell'ondulazione del geode prima di procedere al calcolo del volume di una colata lavica attraverso il confronto con un DTM pre-eruzione.

Bibliografia

- 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
- Barzaghi R., Brovelli M. A., Sona G., Manzino A., Sguerso D. (1996), "The new italian quasigeoid: ITALGEO95" *International Association of Geodesy, Bull. d'information*, 77, 137-152.
- Coltelli M., Proietti C., Branca S., Marsella M., Andronico D., Lodato L. (2006), "Analysis of the 2001 lava flow eruption of Mt. Etna from 3D mapping", submitted to *J. Geoph. Res.*
- Stevens N.F., G. Wadge, and J.B. Murray (1999), Lava flow volume and morphology from digitised contour maps: a case study at Mount Etna, Sicily, *Geomorphology*, 28, 251-261.