

RILIEVO LASER SCANNER DELL'AREA CRATERICA DEL VESUVIO

Giuseppe VILARDO ^(a), Guido VENTURA ^(b), Carlo TERRANOVA ^(c), Maria MARSELLA ^(d)

(a) INGV-OV, Via Diocleziano 328, Napoli, tel 0816108 329, fax 0816108351, e-mail vilardo@ov.ingv.it

(b) INGV-Roma 1, Via di vigna Murata 605, Roma, tel 0651860221, fax 065041181, e-mail ventura@ingv.it

(c) Libero Professionista, Consulente Telerilevamento INGV-OV, Via Napoli 43 Pozzuoli, e-mail tierra@iol.it

(d) Università di Roma La Sapienza, Via Eudossiana 18, e-mail maria.marsella@uniroma1.it

Riassunto

La scansione laser aerea rappresenta una valida alternativa alle tecnologie tradizionali per la generazione dei modelli digitali del terreno. La capacità di acquisire dati morfologici di dettaglio anche in presenza di vegetazione densa, rende la tecnica particolarmente adatta allo studio delle aree soggette a rischi naturali. Il presente lavoro descrive i risultati conseguiti nella analisi di un DTM ad altissima risoluzione dell'area craterica vesuviana, ottenuto dall'elaborazione di dati altimetrici acquisiti durante un rilievo Laser Scanning da Aereo (ALS). Tale rilievo è stato eseguito nel mese di gennaio 2005 utilizzando un sensore Optech ALTM 2025 montato su un velivolo della Nuova Avioriprese (Napoli).

Abstract

Airborne Laser Scanning (ALS) represents a new and versatile technology for the automated generation of digital terrain models (DTM). The possibility to retrieve accurate data about both the terrain morphology (even in highly vegetated areas) and the vegetation cover height and density, makes this technology particularly suitable for studies dedicated to hazard areas determination.

In this paper we describe the results obtained by the analysis of a very high resolution DTM produced by ALS data acquired in a survey performed by means of an Optech ALTM sensor carried out in January 2005 on the Vesuvio crater area using an aircraft operated by Nuova Avioriprese (Napoli).

Il sistema a scansione laser

La scansione laser aerea rappresenta una valida alternativa alle tecnologie tradizionali per la generazione dei modelli digitali del terreno (Baltsavias, 1999). In particolare, essa si distingue per l'elevata precisione, per la notevole densità dei punti misurati sul terreno e per la rapidità di esecuzione e di elaborazione dei dati. Nella modellazione della superficie altimetrica possono essere ottenuti risultati di estremo dettaglio in virtù sia delle caratteristiche elettromagnetiche del segnale laser, che rende possibile la penetrazione del raggio incidente al di sotto della vegetazione, che della modalità di registrazione multipla, che permette di discriminare manufatti e vegetazione (Ackermann, 1999).

In termini di risoluzione spaziale e di precisione l'unica tecnica che risulta competitiva alla tecnica ALS è l'aerofotogrammetria, nonostante questa richieda tempi di elaborazione maggiori. Inoltre, poiché il sensore laser è di tipo attivo, il rilievo non risente delle problematiche attinenti all'illuminazione solare e ai relativi effetti d'ombra che invece influenzano le riprese fotogrammetriche e presenta una tolleranza maggiore nei riguardi di condizioni atmosferiche avverse (pioggia, nebbia, alta umidità, nuvolosità a bassa quota).

I risultati ottenuti da studi dedicati alla validazione di DEM laser confermano che è possibile raggiungere i requisiti di precisione stabiliti da organismi internazionali per rilievi altimetrici di

dettaglio, fino a scale cartografiche 1:2000. In particolare, l'errore planimetrico risulta maggiore di quello altimetrico per quote elevate mentre è minore per basse quote di volo e dipende limitatamente dall'angolo di scansione fino a valori di 20 deg. Tali errori, che per la parte altimetrica sono compresi tra 0.15 e 0.25 m, sono da considerarsi un limite inferiore in quanto non tengono conto di altri effetti dovuti a particolari geometrie di acquisizione (inclinazione del raggio incidente, pendenza del terreno, ecc.) o tipologia della superficie riflettente (rugosità, presenza di vegetazione ecc.).

Generazione di DTM

I dati raccolti durante i rilievi ALS vengono integrati con quelli derivanti dal sistema di posizionamento ed assetto GPS/INS, per ottenere i *raw data*. Questi vengono successivamente discriminati attraverso la lettura dei tempi di ritorno tra i *first pulse* ed *last pulse*. Tale distinzione consente di migliorare il procedimento di classificazione per l'estrazione dei punti "terreno", utilizzabili per la generazione del DTM, e dei punti non appartenenti al terreno (manufatti e vegetazione) utili alla formazione del Modello Digitale della Superficie (DSM).

Il DTM si ottiene mediante interpolazione dei punti terreno integrata con le linee di discontinuità del terreno (ad esempio le scarpate) e con i punti singolari, che inciderebbero sulla corretta ricostruzione del modello numerico (ponti, etc.) (Axelsson, 1999).

I *raw data* si ottengono attraverso diverse fasi d'elaborazione dei dati provenienti dai sensori installati sul velivolo, *Laser Range Finder* e il sistema di posizionamento e assetto integrato GPS/INS, ed utilizzando i dati di calibrazione (offset strumentali). Essi sono costituiti da coordinate riferite al sistema cartografico UTM rispetto al datum WGS84, la quota ellissoidica e l'intensità radiometrica percentuale del segnale di ritorno. L'intensità varia in funzione della tipologia del *target* riflettente e risulta utile per discriminare diverse tipologie di terreno, vegetazione o manufatti. Una sua corretta utilizzazione prevede l'esecuzione di una fase di calibrazione del segnale di intensità, che altrimenti risulta incongruente tra i dati ottenuti da strisciate o rilievi diversi.

Il calcolo delle coordinate deriva dal rilievo GPS cinematico in modalità "on the fly" (OTF), che permette di riagganciare il segnale GPS dopo eventuali interruzioni entro distanze di 10-20 km e fornisce la posizione dell'aeromobile con precisioni di circa 5-10 cm. Nell'ambito di questo lavoro, per il trattamento dei dati sono stati utilizzati 2 moduli applicativi in ambiente MicroStation, TerraScan e TerraModeler, rispettivamente per il filtraggio e la classificazione dei punti e per l'analisi delle superfici. Per discriminare i punti che appartengono al terreno si utilizza come primo criterio di selezione la condizione che essi devono necessariamente essere o l'unico o l'ultimo eco. Successivamente, per procedere nella classificazione, si applica una procedura basata sulle caratteristiche geometriche e di posizione di ogni singolo punto rispetto a quelli planimetricamente più vicini. In questo modo vengono distinti punti errore (classe *outlier*), punti appartenenti al terreno (classe *ground*) e punti attribuibili alla vegetazione o ad edifici distinti in base alle dimensioni. La routine di classificazione del terreno individua i punti appartenenti a questa classe costruendo iterativamente un modello del terreno tipo TIN (Figura 1).

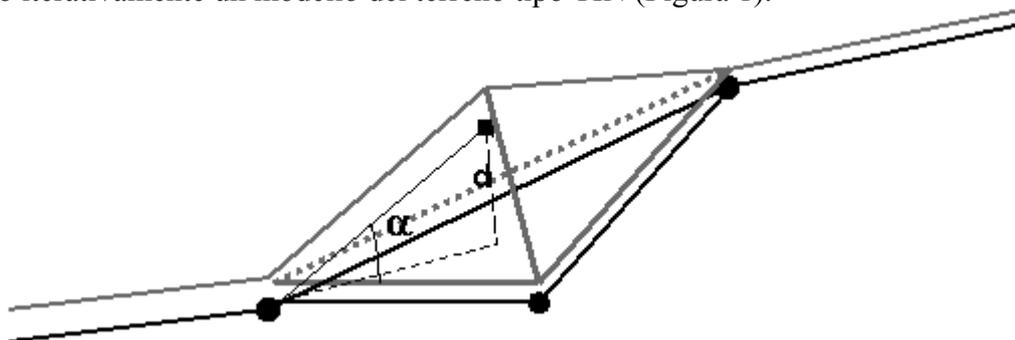


Figura 1 – Costruzione iterativa del TIN del terreno

Dopo aver definito un modello iniziale sfoltito, tra punti selezionati come sicuramente appartenenti al terreno, vengono aggiunti iterativamente nuovi punti per migliorare il dettaglio. I parametri di iterazione determinano quanto vicino ai triangoli di base debba essere un punto affinché sia integrato nel TIN. L'angolo di iterazione, α è il valore di soglia massimo per angolo tra il segmento che unisce il punto investigato con il vertice del triangolo soggiacente più vicino ad esso e il piano del triangolo stesso. Più piccolo è l'angolo di iterazione più difficilmente la routine aggiunge al modello piccole ondulazioni del terreno e punti di bassa vegetazione. In genere, vengono usati angoli di pochi gradi per zone pianeggianti e angoli maggiori per zone più ondulate. La distanza di iterazione (d) è il valore di soglia massimo per la distanza tra il punto investigato ed il piano del triangolo che viene assegnata in modo da evitare la presenza di discontinuità.

Il rilievo del Vesuvio

Nel mese di gennaio 2005 è stato realizzato un rilievo laser scanner nell'area craterica vesuviana (Fig. 2) utilizzando un sensore Optech ALTM integrato con GPS e piattaforma inerziale, in grado di misurare doppi impulsi e registrare l'intensità del segnale con una frequenza di 50000 Hz/sec.

Sono state realizzate le procedure per il calcolo degli offset strumentali e per la calibrazione del sensore su un'area test. Il rilievo è stato georeferenziato posizionando la stazione di riferimento GPS su un punto IGM95. Il piano di volo è stato definito in modo da acquisire punti con una densità variabile da 10 a 1 punto al m^2 ed una accuratezza altimetrica inferiore a 50 cm. Dai dati grezzi sono stati estratti i punti terreno e la classe vegetazione-edificato.

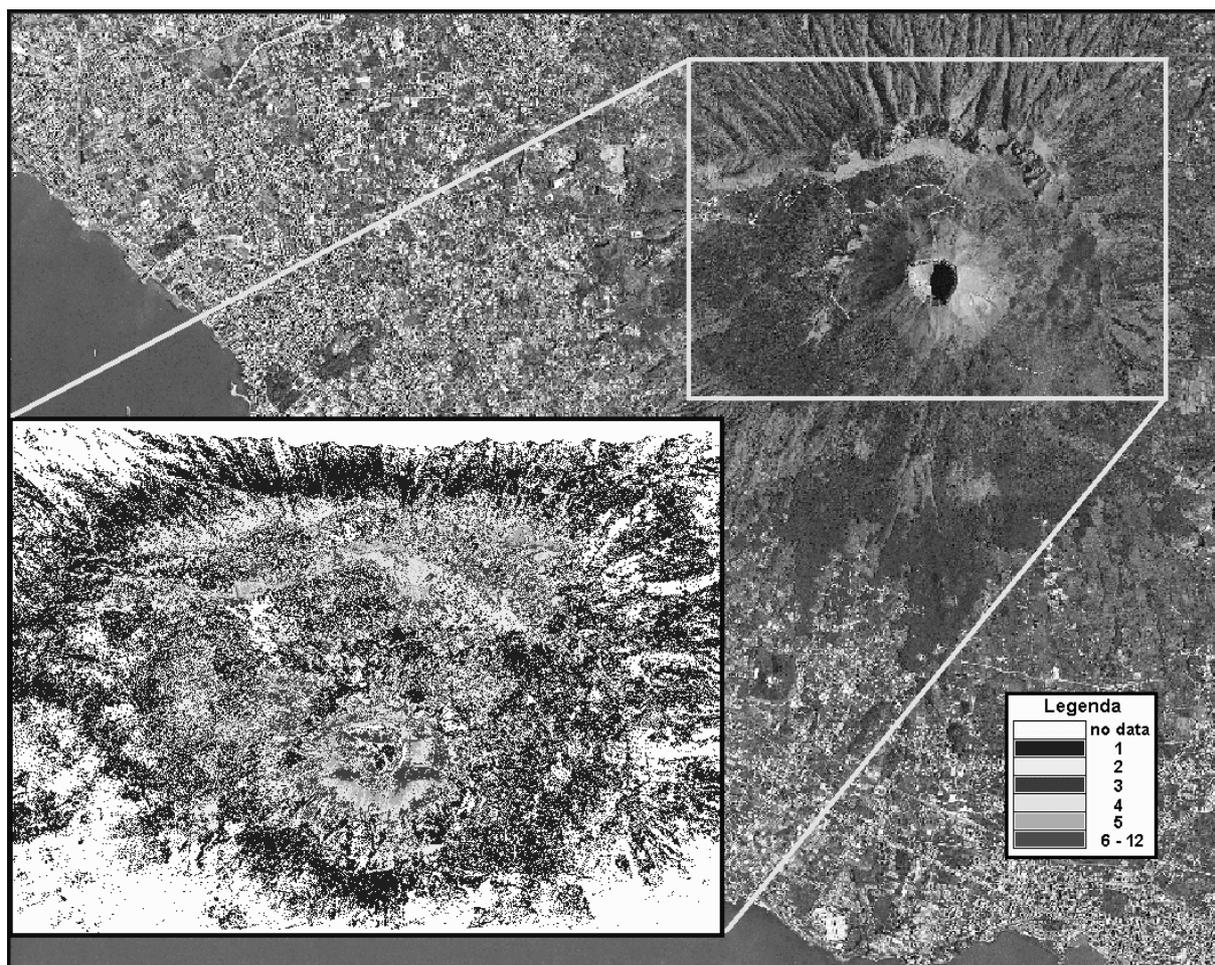


Figura 2 – Vesuvio, area campionata e mappa di densità del campionamento spaziale. I valori in legenda indicano il numero di punti al m^2 .

Il risultato del processo di filtraggio dei dati grezzi è risultato essere un insieme di 16.5 ML di punti localizzati su di un'area di circa 20 km² con una distribuzione della densità spaziale mostrata in Figura 2.

La base dati così ottenuta è stata quindi utilizzata per generare un DTM dell'area craterica con risoluzione di 1 metro. A causa della distribuzione non omogenea degli elementi quotati, il modello altimetrico per l'intera area campionata è stato generato utilizzando un algoritmo di creazione di superficie 3-D in formato TIN (Fig. 3). Al contrario, per l'area dell'atrio del Cavallo (box in Figura 3) comprendente la parte settentrionale della colata lavica del 1944 (Fig.3), laddove la distribuzione dei punti quotati mostrava una densità media da 2 a 12 punti per m², è stato possibile realizzare un DTM in formato GRID con risoluzione spaziale di 9 pixel per m².

La scelta di generare un DTM in formato GRID è stata motivata dal fatto che tale rappresentazione del territorio risulta essere il formato più idoneo ad essere successivamente elaborato per la produzione di informazioni tematiche di carattere geologico-strutturale e che, in particolare, meglio si presta alla realizzazione di analisi morfometriche quantitative.

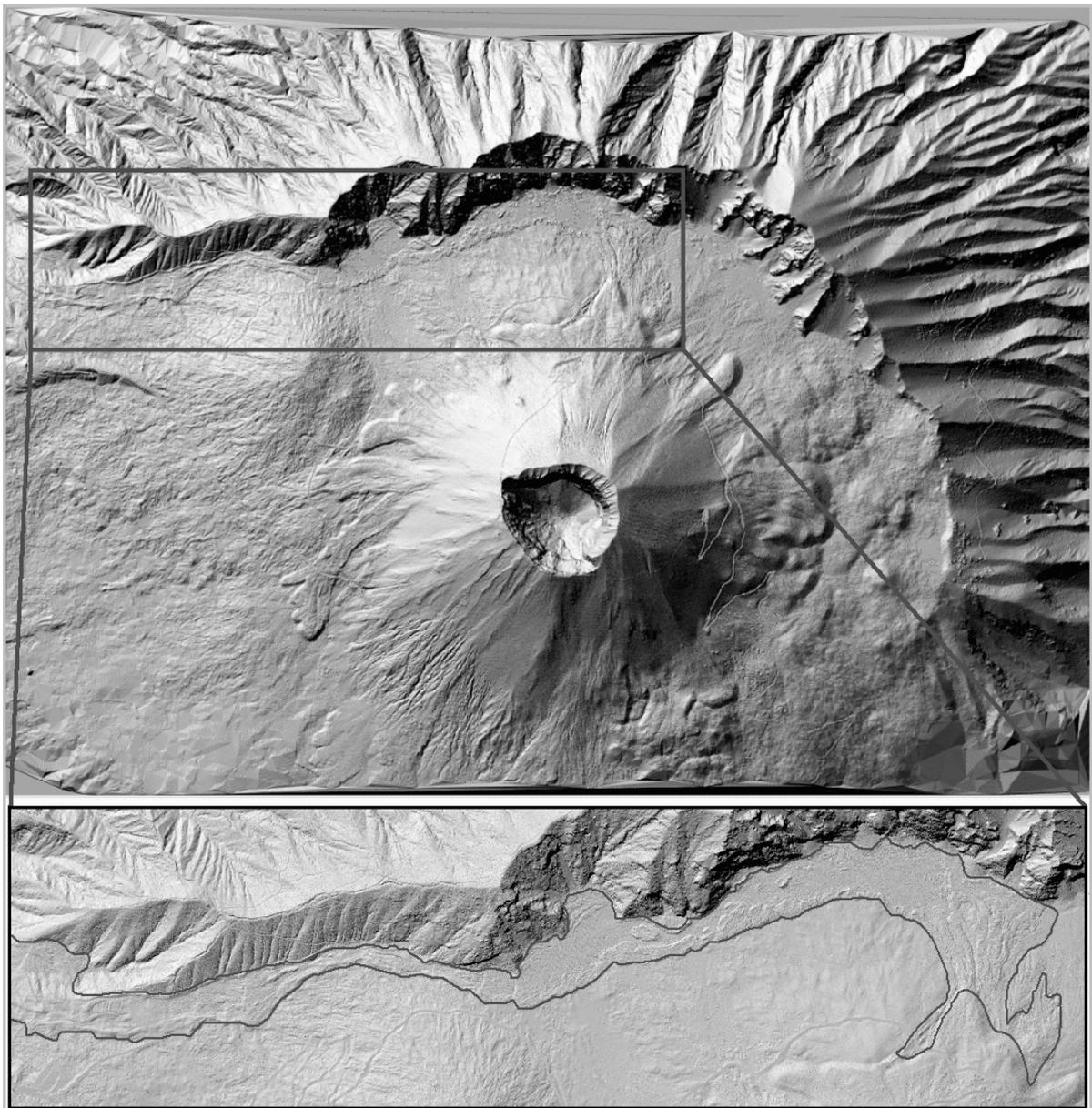


Figura 3 – Rappresentazioni ombreggiate dei DTM in formato TIN (in alto) e GRID (in basso). In basso, settore dell'Atrio del Cavallo con, in rosso, il contorno della colata del 1944.

Risultati

Dall'interpolazione dei punti laser d'elevazione del suolo è stato generato un DTM ad altissima risoluzione dell'area craterica vesuviana sulla base del quale è stata prodotta una carta morfologica di estremo dettaglio dell'area di studio.

L'analisi della topografia di dettaglio della colata del 1944 ha consentito di distinguere le porzioni canalizzate (*channel flow*) dalle zone di argine (*ridge*) (Fig.4).

E' stato inoltre possibile distinguere le singole unità di flusso eruttate durante i trabocchi del 20 Marzo dal flusso principale emesso il 18 Marzo.

Gli spessori della colata sono mediamente inferiori a 20 m nella zona intermedia e distale, mentre sono tra i 20 ed i 40 m nelle zone prossimali, laddove le colate del 20 Marzo, che presentano una morfologia lobata con pendenze elevate del fronte, si sovrappongono a quelle emesse nei due giorni precedenti.

Tenendo conto degli spessori delle singole unità di flusso (t), della larghezza trasversale (w), e della densità del magma (d), è stato calcolato lo *yield strength* applicando la seguente relazione:

$$S_{tw} = t^2 g d/w \quad [1]$$

Per le unità di flusso del 20 Marzo ($t = 5-10$ m; $w = 20$ m; $d = 2530$ kg/m³ a 1100°C con il 40 vol.% di cristalli e 1 wt.% H₂O) si ottiene un valore di *yield strength* compreso tra 31 e 124 kPa.

Per le unità di flusso eruttate il 18 Marzo, $w = 100$ m, da cui si ottengono valori di S_{tw} compresi tra 6.2 e 24.7 kPa.

Utilizzando la relazione $S_{tw} = 2 w_1 d g (\tan(\alpha))^2$, basata sulla larghezza degli argini ($w_1 = 15$ m), e dove α è la pendenza del substrato ($\alpha = 10^\circ$), si ottiene un valore di 23.1 kPa, che è consistente con quelli calcolati utilizzando la larghezza e lo spessore del flusso.

Questo risultato è compatibile con le differenze di facies tra le colate eruttate il 18 Marzo (flusso canalizzato, talvolta con pieghe, colate a basso S_{tw}) e quelle emesse il 20 Marzo (flusso lobato, fronti con pendenze elevate, colate ad alto S_{tw}).

La viscosità del magma emesso durante la messa in posto della colata del 1944, assumendo 1100°C, 40 vol.% di cristalli, e 1 wt.% H₂O, è $3.2 \cdot 10^3$ Pa s, ha un valore consistente con quello determinato da Imbò (1961), che è $0.44-15.8 \cdot 10^3$ Pa s.

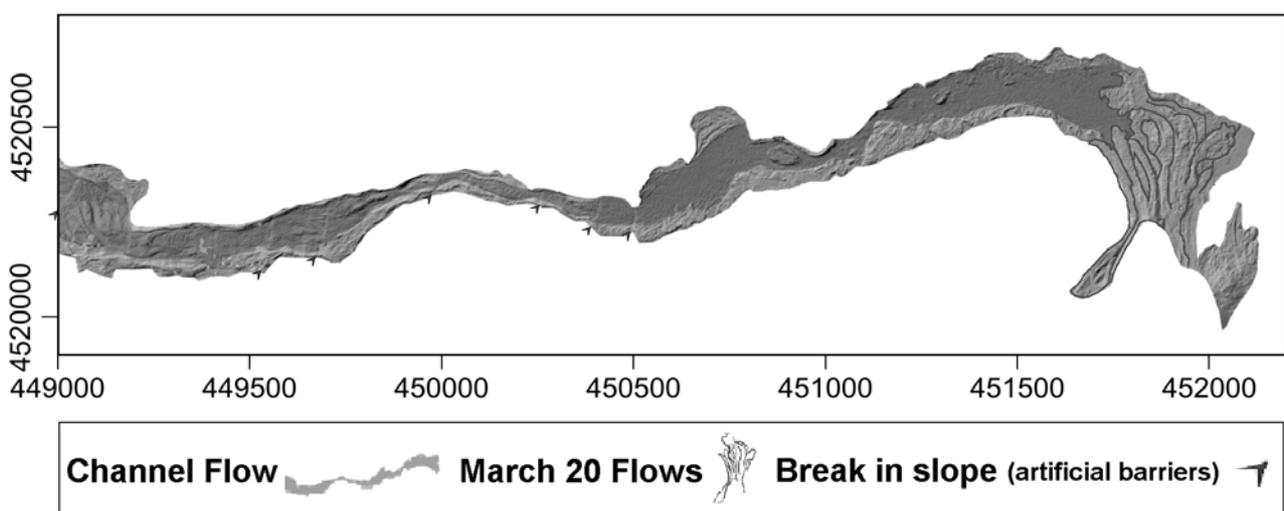


Figura 3 – Dettaglio della colata del 1944 in cui sono evidenziate le porzioni canalizzate (*channel flow*), il contorno della colata del 20 marzo e l'ubicazione di barriere artificiali preesistenti.

Conclusioni

Il rilievo ALS realizzato nel gennaio 2005 ha permesso la realizzazione di un modello digitale del terreno di estremo dettaglio utile alla analisi ed alla gestione del territorio dell'area vulcanica del Vesuvio. In particolare, la base dati raccolta ha permesso l'implementazione di analisi morfologiche quantitative delle aree interessate nel passato da colate.

Bibliografia

Ackermann F., (1999) Airborne laser scanning - present status and future expectations, *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, (54) 2-3, 64-67.

Axelsson P., (1999) "Processing of laser scanner data - algorithms and applications", *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, (54) 2-3, 138-14.

Baltsavias E.P., (1999), "A comparison between photogrammetry and laser scanning". *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, (54) 2-3, 83-94.

Imbò G., (1961), "Coefficienti di viscosità del magma vesuviano e sue variazioni nel periodo storico". *Rendiconti dell'Accademia Nazionale dei Lincei*, serie VIII, vol. XXIX, 249-252.