

Rapporti tecnici

INGV

**Il primo rilievo laser scanner terrestre
della Solfatara (Napoli, 2009)**

197



Direttore

Enzo Boschi

Editorial Board

Raffaele Azzaro (CT)

Sara Barsotti (PI)

Mario Castellano (NA)

Viviana Castelli (BO)

Rosa Anna Corsaro (CT)

Luigi Cucci (RM1)

Mauro Di Vito (NA)

Marcello Liotta (PA)

Simona Masina (BO)

Mario Mattia (CT)

Nicola Pagliuca (RM1)

Umberto Sciacca (RM1)

Salvatore Stramondo (CNT)

Andrea Tertulliani - Editor in Chief (RM1)

Aldo Winkler (RM2)

Gaetano Zonno (MI)

Segreteria di Redazione

Francesca Di Stefano - coordinatore

Tel. +39 06 51860068

Fax +39 06 36915617

Rossella Celi

Tel. +39 06 51860055

Fax +39 06 36915617

redazionecen@ingv.it



Rapporti tecnici INGV

IL PRIMO RILIEVO LASER SCANNER TERRESTRE DELLA SOLFATARA (NAPOLI, 2009)

Arianna Pesci¹, Giuseppe Casula¹, Prospero De Martino², Mario Dolce², Francesco Obrizzo²,
Vincenzo Sepe³ e Folco Pingue²

¹INGV (Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, Sezione di Bologna)

²INGV (Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, Sezione di Napoli - Osservatorio Vesuviano)

³INGV (Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, Centro Nazionale Terremoti)

197

Indice

Introduzione	5
1. Le misure TLS	6
2. L'allineamento delle scansioni	8
3. I dettagli del rilievo	10
4. Conclusioni	13
Ringraziamenti	13
Bibliografia	14

Introduzione

L'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia è impegnato nello studio, controllo e monitoraggio del territorio nazionale e svolge le attività istituzionali di ricerca principalmente nei settori della geofisica, vulcanologia e geochimica. Tra gli Obiettivi Specifici (OS) dell'Ente, grande rilievo è dato al controllo delle aree vulcaniche attive, tema che non può essere affrontato se non mediante uno studio multidisciplinare, basato sull'integrazione delle conoscenze e delle tecniche scientifiche.

Il TTC (Tema Trasversale Coordinato) è uno strumento che sigla la collaborazione tra i ricercatori, tecnici e tecnologi impegnati nel raggiungimento di un comune OS benché appartenenti a sezioni distinte; una formula che permette la condivisione delle informazioni e la divulgazione delle singole esperienze nonché l'integrazione delle metodologie di rilievo e la condivisione dei risultati. I TTC che si occupano (prevalentemente) del monitoraggio delle aree vulcaniche attive italiane sono: *Sorveglianza geochimica delle aree vulcaniche attive* (TTC 1.2), *Sorveglianza geodetica delle aree vulcaniche attive* (TTC 1.3), *Sorveglianza sismologica delle aree vulcaniche attive* (TTC 1.4), *Sorveglianza dell'attività eruttiva dei vulcani* (TTC 1.5). In particolare, il TTC 1.3 (*Sorveglianza geodetica delle aree vulcaniche attive*) si occupa del monitoraggio mediante lo sviluppo organico delle reti GPS, tiltmetriche, EDM e di livellazione esistenti sui vulcani italiani; promuove inoltre lo sviluppo e la razionalizzazione del controllo dei vulcani tramite interferometria satellitare; sviluppa sistemi ad alta precisione per la definizione di modelli digitali (DEM o DTM) nell'ottica di realizzare, mediante analisi multi-temporali, un monitoraggio ad alta risoluzione spaziale e temporale delle variazioni superficiali del terreno.

In seguito ad un accurato lavoro di sperimentazione sul territorio e test di laboratorio, nel 2008 l'INGV ha acquisito la strumentazione laser a scansione terrestre (TLS) ILRIS-ER (Optech) e cominciato le prime missioni di misura che ha visto impegnati sul campo i ricercatori, tecnici e tecnologi delle sezioni di Bologna, Roma, Napoli e Catania.

Il TLS è uno strumento capace di acquisire una quantità notevole di punti distribuiti densamente sulle superfici fisiche di interesse e di misurarne le coordinate in uno stesso sistema di riferimento, la cui origine è il centro strumentale dello scanner. La descrizione dello strumento e del suo funzionamento è stata spesso trattata nei vari rapporti tecnici INGV, per cui non verrà approfondita ulteriormente se non per richiamare brevemente le principali caratteristiche.

Il risultato di un rilievo laser scanner è detto nuvola di punti ed è l'insieme delle coordinate geometriche dei punti osservati (milioni) date nel sistema di riferimento cartesiano (x, y e z) cui è associato anche un valore di intensità (I) generalmente fornito nell'intervallo $[0, 255]$. L'intensità è una variabile strettamente correlata alla rugosità dei materiali e alle condizioni di umidità al momento del rilievo e, in certi casi, fornisce indicazioni sullo stato di alterazione delle superfici [Pesci et al., 2008a; Franceschi et al., 2009]. Il risultato di una singola scansione, cioè la nuvola di punti è quindi composto dall'insieme delle coordinate e delle intensità (x, y, z, I) di tutti i punti misurati nello stesso sistema di riferimento. I sistemi laser a scansione terrestre (TLS) sono ormai largamente diffusi ed utilizzati nelle più diverse applicazioni. Vengono impiegati per rilievi sia ambientali, per esempio in aree di dissesto idrogeologico o in aree vulcaniche e montane, che architettonici, principalmente in ambiente urbano, e sono molti i campi di studio.

Il laser scanner ILRIS-ER, che è la versione più potente del modello ILRIS-3D ha delle precise specifiche tecniche fornite dai costruttori nelle *brouchure* ufficiali (www.optech.ca), ma è importante conoscere 3 parametri fondamentali: portata, divergenza e passo di campionamento. La portata è la massima distanza misurabile e dipende dall'intensità del segnale di ritorno, generalmente correlata con la rugosità del materiale osservato; la divergenza (sp) è la larghezza del raggio emesso, caratteristica del segnale (e dello strumento utilizzato) e cresce linearmente con la distanza (R) secondo la formula: $sp(mm) = 0.17 \cdot R(m) + 12$; il passo di campionamento (ss) è la distanza tra due punti sulla stessa linea di scansione e dipende, anch'esso, dalla distanza di lavoro: $ss(mm) = 0.02 \cdot R(m)$. Secondo queste formule, alla distanza di 100 m, l'impronta laser sulla superficie (supposta ortogonale) risulta essere 29 mm ed il passo di campionamento 2 mm. È importante notare che il passo di campionamento può essere aumentato per ridurre i tempi di acquisizione senza tuttavia, con i dovuti accorgimenti, ridurre la precisione finale della misura [Pesci et al., 2011]. In questo rapporto tecnico viene descritto il primo rilievo della Solfatara (Pozzuoli, Napoli) eseguito mediante lo scanner ILRIS-ER.

La Solfatara è un'area vulcanica attiva, soggetta a numerose e continue manifestazioni fumaroliche, tremore sismico e deformazione ciclica del suolo e per questo viene continuamente monitorata e studiata mediante una fitta rete strumentale [Petrosino et al. 1998; Orsi et al. 2009], al fine di controllarne lo stato e prevenire eventuali situazioni di pericolo per le zone limitrofe, densamente abitate (<http://www.ov.ingv.it/volcanology>). L'edificio vulcanico è formato prevalentemente da rocce piroclastiche

generate dall'interazione tra il magma e l'acqua, a tratti ricoperte dai prodotti incoerenti del più recente vulcano di Astroni. Le rocce risultano alterate dai fenomeni idrotermali, assumendo carattere litoide e pigmentazioni policrome. Il suolo del cratere è prevalentemente costituito da argille e silici, di colore biancastro e nella zona centrale è ben visibile la fangaiia, cioè la depressione entro cui i fanghi ribollono e sono presenti nubi di vapore e gas.

Il versante che circonda la base del cratere è caratterizzato da una notevole inclinazione ed è formato dai prodotti della cupola di lava trachitica, che hanno subito fatturazione ed alterazione. La parte bassa delle pareti presenta una colorazione rosso scura (indice della presenza della lava) mentre le parti più alte hanno colorazione più chiara e sono costituite da piroclasti incoerenti.

Gli affioramenti geologici del versante orientale mostrano tipiche strutture e tessiture delle rocce piroclastiche, nonostante la forte alterazione causata dalle numerose fumarole, intorno alle quali si osservano i cristalli di zolfo (giallo vivo) incrostati. Per effetto di sublimazione, provocato dalle attività idrotermali del vulcano, sono anche visibili croste e cristalli di solfuro di arsenico, mercurio, antimonio.

Il cratere ed ha una forma ellittica con assi di 770 m e 580 metri circa ed un perimetro approssimativo di 2.3 km. La parte più alta della cintura craterica ed il fondo del cratere sono posti rispettivamente a circa 199 m e 92 m slm, con un dislivello complessivo di circa 100 m.

1. Le misure TLS

Nel Giugno 2009, nell'ambito della campagna di misura dedicata alle attività del TTC 1.3 è stata rilevata per la prima volta la Solfatarata. L'area presentava numerosi interrogativi in merito alla geometria del cratere, caratterizzata da una base larga e piatta contornata da pareti ripide, alte fino a 100 m, dalla presenza di una importante attività fumarolica, da zone interessate da fitta vegetazione e dalle numerose dune e buche. Inoltre, le condizioni di lavoro, specialmente in estate, risultano difficili per l'alta temperatura che surriscalda lo strumento (fino a causarne il possibile spegnimento) e mantiene costantemente in azione le ventole interne consumando rapidamente le batterie.

In **figura 1** sono evidenziati i punti di stazione da cui sono state effettuate le scansioni. In particolare, è bene precisare che lo scanner è stato posizionato sia nell'interno del cratere che sulla corona esterna, con un dislivello di circa 100 m tra le due posizioni.

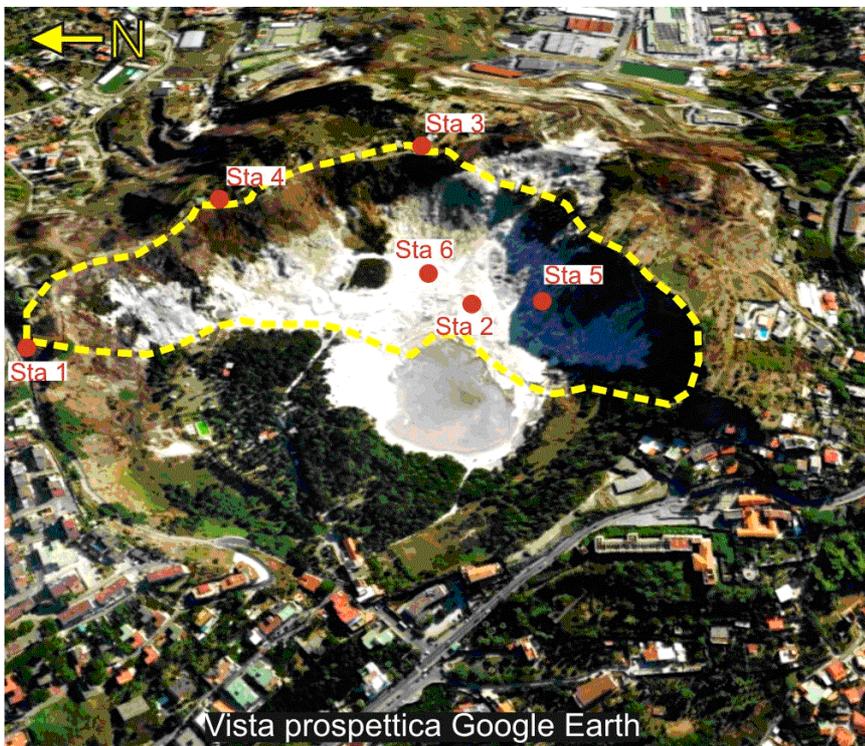


Figura 1. La Solfatarata in una vista prospettica. I cerchi rossi indicano i punti da cui sono state effettuate le scansioni e la linea tratteggiata delimita l'area rilevata.

Le aree osservate le nuvole di punti ottenute sono mostrate nelle **figure 2 e 3**, e le caratteristiche principali di ogni scansione sono elencate in **tabella 1**. In particolare, la quantità totale di punti osservati in ogni scansione (P tot), la distanza media di lavoro (D) ed il passo di campionamento (SP) sono riportate per focalizzare l'attenzione sulla densità di ogni nuvola di punti. La distanza media di lavoro è spesso sottostimata poiché la densità dei punti è molto maggiore nelle zone più vicine. È importante sottolineare che, nella fase di misura, si opera affinché le nuvole di punti risultino parzialmente sovrapposte (almeno di un 10-20 %) poiché le parti in comune sono fondamentali per unire, successivamente, tutte le scansioni.

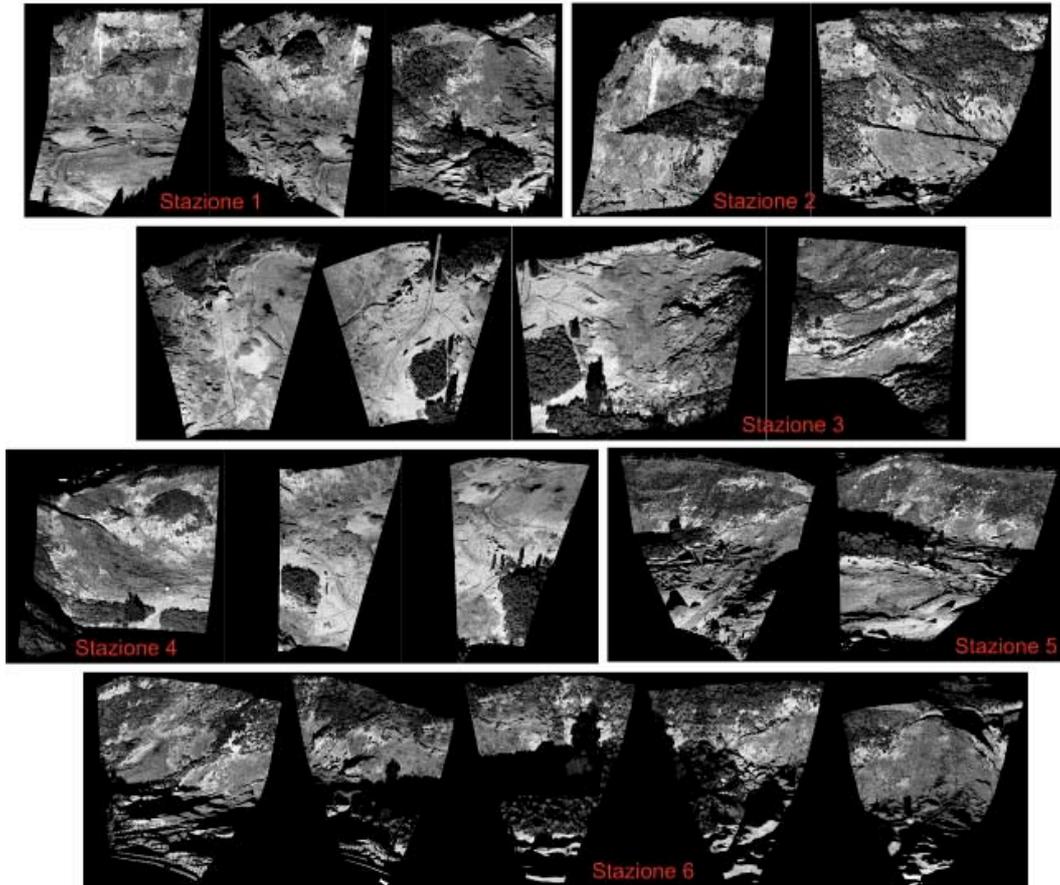


Figura 2. Le nuvole di punti ottenute e le viste prospettiche.

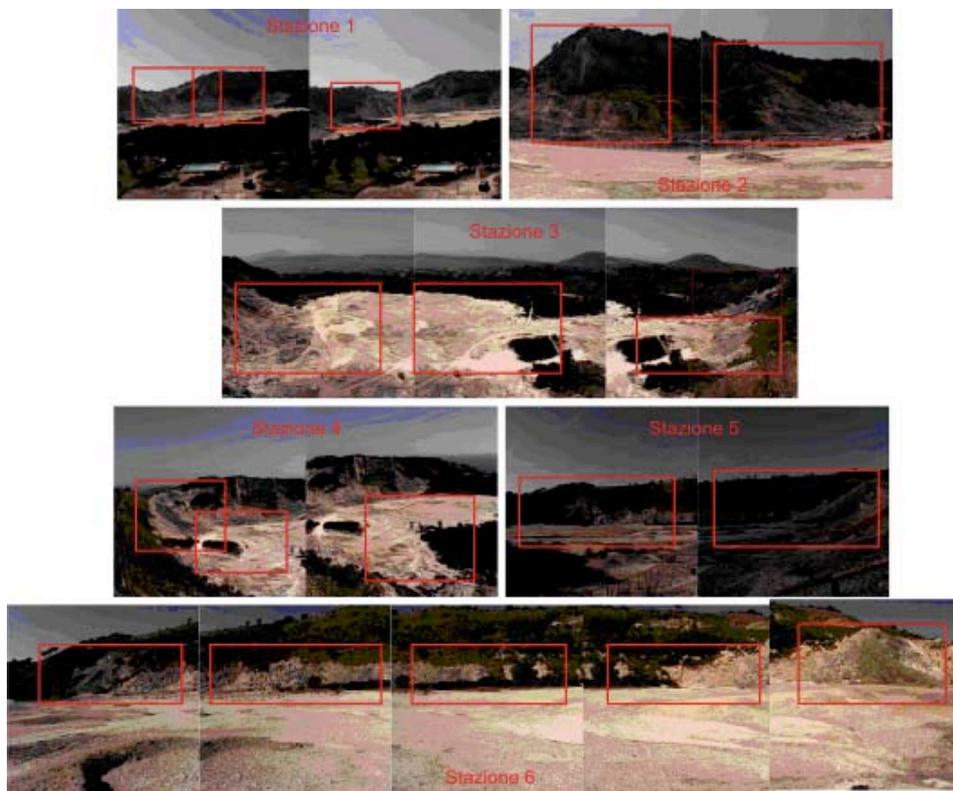


Figura 3. Le immagini delle aree osservate; i riquadri indicano, in via schematica, le zone rilevate dentro al campo di vista dello scanner.

Scan (sta)	P tot	P lin	Pxlin	D (m)	SP (x,y) Count/mm
1 (1)	3270324	1564	2091	532.55	7/74.6
2 (1)	3792694	1543	2458	553.36	7/77.5
3 (1)	2393904	1272	1882	521.39	7/73.0
4 (2)	3766815	1781	2115	147.64	13/38.4
5 (2)	3536610	1531	2310	169.66	13/44.1
6 (2)	2830022	1223	2314	167.52	11/36.9
7 (3)	3048752	1336	2282	265.7	13/69.1
8 (3)	1587698	833	1906	222.71	15/66.8
9 (3)	1587698	603	953	415.54	15/124.7
10 (3)	574659	1134	2026	229.78	15/68.9
11 (4)	2297484	688	869	448.86	20/179.5
12 (4)	597872	1407	1869	371.91	9/66.9
13 (4)	2629683	1497	2039	290.15	11/63.8
14 (5)	3052383	1016	2352	369.94	13/96.2
15 (5)	2389632	1058	2352	314.93	13/81.9
16 (6)	2488416	1053	2072	262.56	11/57.8
17 (6)	2181816	814	2055	170.37	14/47.7
18 (6)	1672770	814	2055	138.42	14/38.8
19 (6)	1338301	713	1877	149.86	16/48.0
20 (6)	1678038	894	1877	179.66	16/57.5

Tabella 1. Caratteristiche delle scansioni effettuate. Le scansioni sono numerate secondo la successione temporale delle esecuzioni; sta indica il punto di stazione; “P tot” è il contenuto totale di punti rilevati con ogni scansione; “P lin” è il numero di linee di scansione; “Pxlin” sono i punti misurati per linea; “D” è la distanza media di misura; “SP” è il passo di campionamento dato in millimetri in riferimento alla distanza media.

2. L'allineamento delle scansioni

L'unione delle scansioni per la costruzione di un'unica nuvola di punti, rappresentativa dell'area in esame, è stata realizzata applicando una successione di operazioni per l'allineamento delle immagini. Inizialmente è stato necessario procedere con un allineamento “grezzo” basato sul riconoscimento di punti omologhi nelle aree comuni alle diverse scansioni; successivamente sono stati applicati degli efficaci algoritmi di *surface-matching* basati su procedure iterative (*ICP*, Iterative Closest Points) atti a minimizzare la distanza tra i punti delle due scansioni (Polyworks).

Queste procedure, ormai largamente diffuse ed utilizzate, garantiscono una unione delle immagini priva di sistematismi permettendo la costruzione di un modello geometrico finale privo di distorsioni, o meglio, nel quale gli errori di allineamento sono assai inferiori alla risoluzione del modello. Nel nostro caso, le scansioni con densità mediamente di 1 punto per 5/10 cm sono state allineate con precisioni di circa 0.5 cm.

Nelle **figure 4 e 5** sono mostrati i passi della procedura di allineamento. In particolare sono mostrate le mappe delle differenze (distanze punto-punto) tra le scansioni allineate in modo “grezzo” ed in modo “fine”; le variazioni passano da valori compresi tra +/- 10 cm a valori compresi tra +/- 1 cm.

L'unione delle scansioni è mostrato in **figura 6** nelle duplice rappresentazione con colorazione per immagine, nella quale si distinguono le singole scansioni, e con colorazione naturale, cioè utilizzando i valori di intensità.

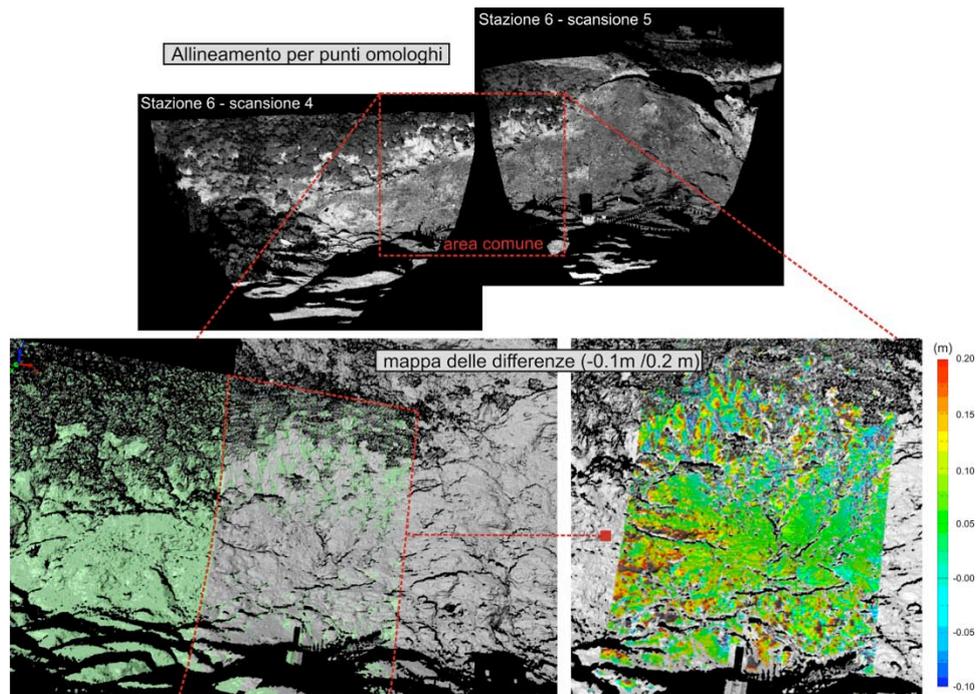


Figura 4. L'allineamento "grezzo" mediante la scelta di punti omologhi nell'area comune alle due scansioni. La linea tratteggiata mostra l'area in comune alle scansioni sovrapposte e la mappa delle differenze rivela valori compresi tra -0.05 m e 0.10 m.

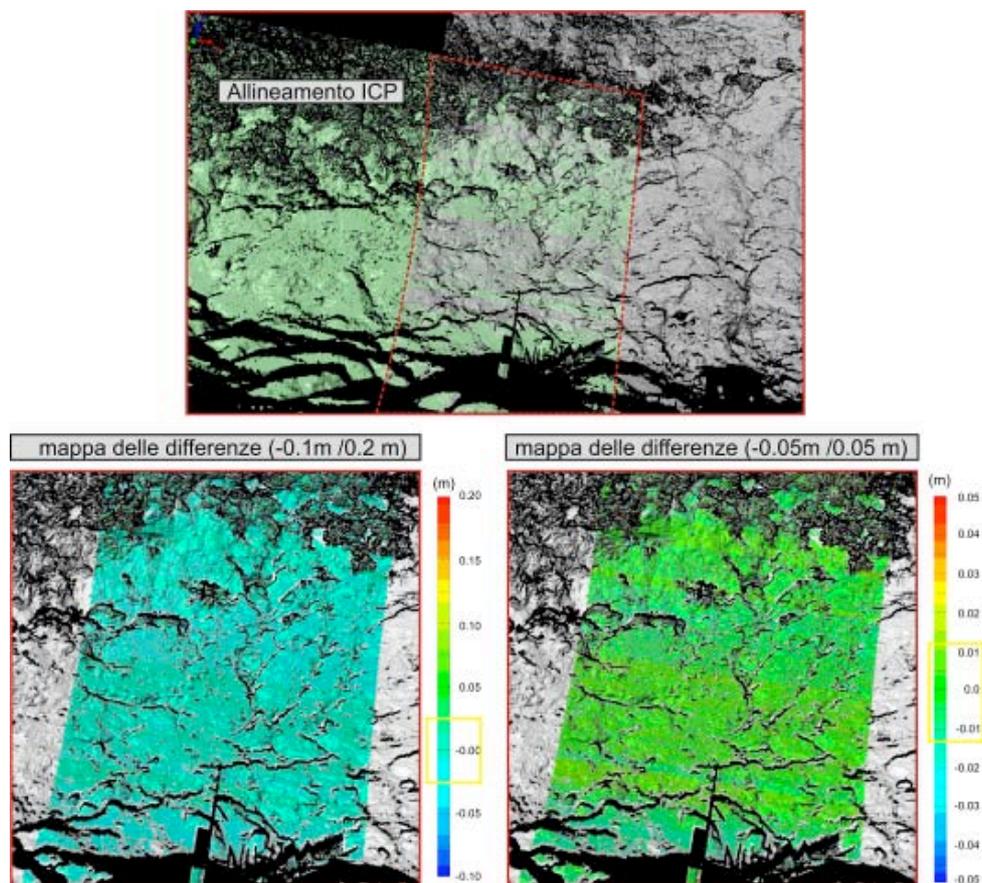


Figura 5. L'allineamento "fine" mediante l'applicazione di algoritmi ICP. Come nella figura precedente, la mappa delle differenze viene mostrata con la stessa scala (tra -0.1 m e 0.2 m) e con una scala più stretta (tra -0.05 m e 0.05 m). Le differenze variano tra +/- 0.01 m.

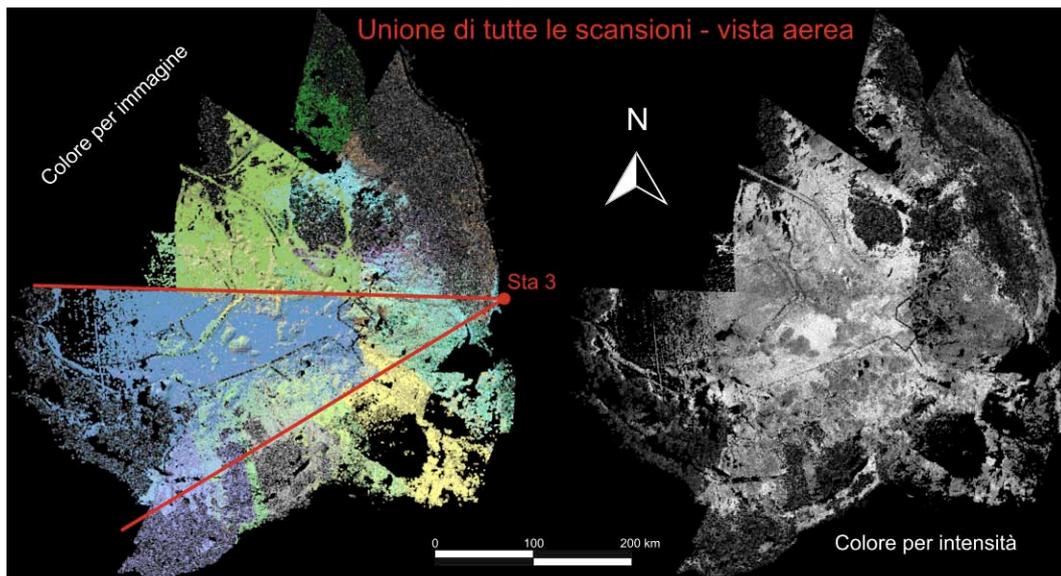


Figura 6. L'unione delle nuvole di punti in una vista "aerea" (lungo l'asse z) colorate per immagine e per intensità. Le linee rosse descrivono l'area occupata dalla scansione 1, effettuata dal punto di stazione 3.

3. I dettagli del rilievo

La ricostruzione completa dell'area è mostrata nella **figura 7**, nella quale la nuvola di punti globale (orientata rispetto ad un sistema relativo cartografico con l'origine posta in prossimità della Solfatarà) viene mostrata nella vista lungo gli assi y e z.

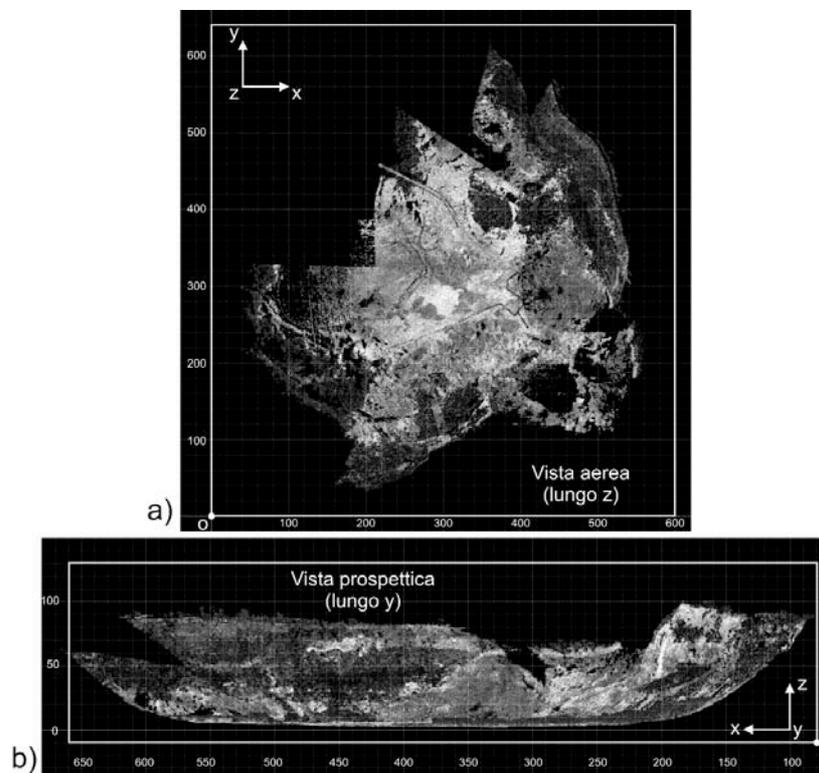


Figura 7. La nuvola di punti orientata in un sistema cartografico relativo. a) Vista aerea; b) vista lungo l'asse y. Le operazioni di registrazione sono state effettuate in maniera manuale, utilizzando un riferimento cartografico di base (Google Earth), per soli scopi di rappresentazione coerente con la rappresentazione geografica del sito.

È importante notare come la geometria di acquisizione influisca nettamente sul risultato finale, cioè sulle caratteristiche della nuvola di punti. In particolare, nella **figura 8** vengono mostrate due scansioni del fondo del cratere. La prima (a) è acquisita dal punto di stazione *sta3*, posto sulla collina (est) ad una altezza di circa 80 m rispetto al suolo; la seconda invece si riferisce all'acquisizione eseguita da una collinetta alta alcuni metri posta sulla base del cratere (*sta2*).

L'angolo di incidenza, nel primo caso, è di circa $30/40^\circ$, mentre nel secondo caso si tratta di pochi gradi ($3/5^\circ$). Quest'ultima configurazione permette comunque di rilevare il terreno ma con una densità inferiore alla precedente e, inoltre, amplifica l'effetto delle ombre causando una parziale perdita di informazione.

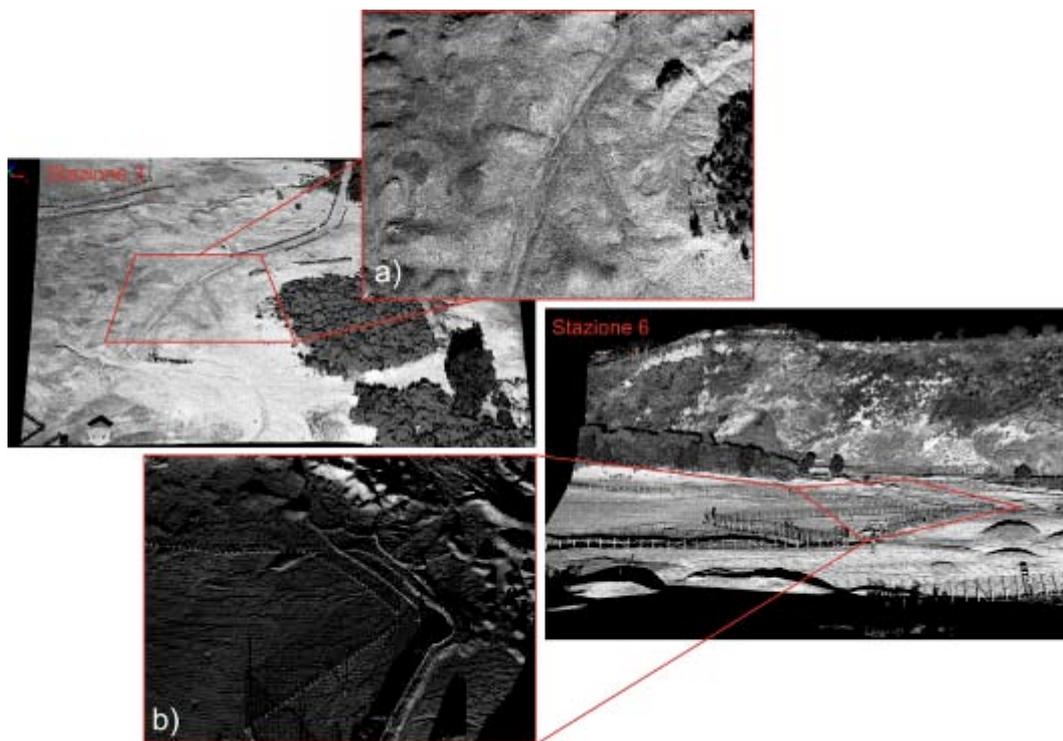


Figura 8. Il dettaglio di due aree pianeggianti osservate dal un punto di stazione in collina *sta3* (a) e dal punto alla base del cratere *sta2* (b).

Gli esperimenti effettuati in merito alla variazione dell'intensità in base all'angolo di incidenza [Pesci et al, 2008b] rassicurano sul fatto che, in presenza di elementi naturali caratterizzati da una irregolarità dell'ordine di grandezza dello spot (impronta a terra del fascio laser), i valori della stessa restano sostanzialmente uguali. Questo accade perché la quantità degli elementi distribuiti in modo normale rispetto all'incidenza del raggio è tale che la dispersione resta minima e, per questo motivo, le ampiezze dei segnali di ritorno non variano drasticamente.

In **figura 9** sono stati selezionati i punti con simili caratteristiche di riflettività, isolati negli intervalli $0 < i < 100$, $100 < i < 150$, $150 < i < 200$ e $200 < i < 255$. Questa prima osservazione permette di evidenziare le differenti composizioni di cui sono formati sia i versanti che la base del cratere. In questa fase, non è stato effettuato uno studio mirato a correlare le intensità rilevate con i materiali di composizione delle pareti crateriche, ma ci si è limitati a constatare la sensibilità del segnale laser.

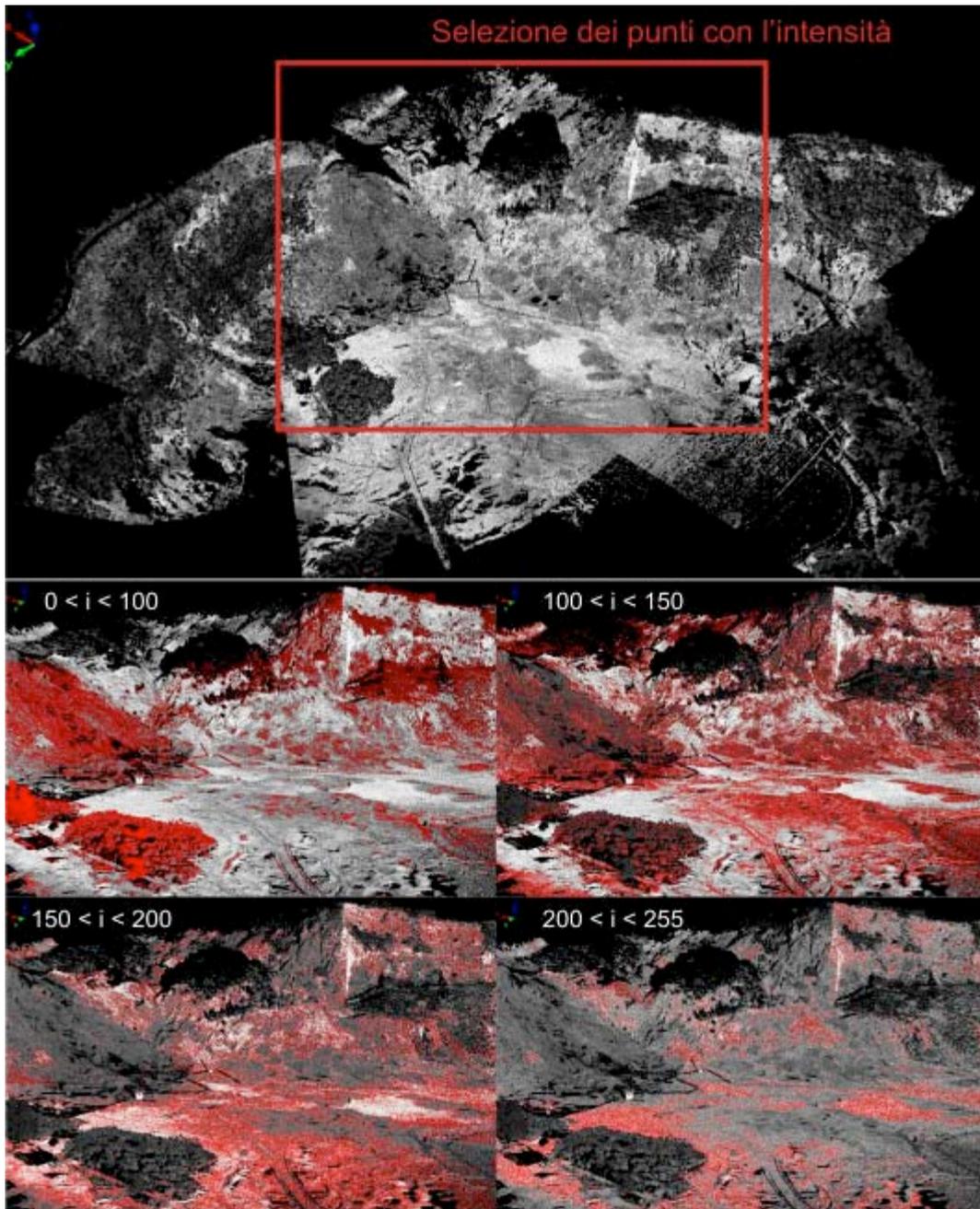


Figura 9. I punti selezionati in base alla riflettività.

La presenza di numerose zone in cui è rilevante l'attività fumarolica della solfatara ha permesso di capire in quale modo questo disturbo agisce sulla restituzione TLS. In particolare, l'attenzione si è concentrata nell'area mostrata in **figura 10**. La nuvola di punti rivela l'effetto ombra causato dai densi fumi che riduce la densità dei punti osservati, comportandosi come tanti ostacoli in lento movimento che limitano la possibilità di rilievo. Nonostante ciò, effettuando un rilievo con adeguato passo di campionamento, è comunque possibile rilevare le zone in questione, oppure effettuando misure successive.

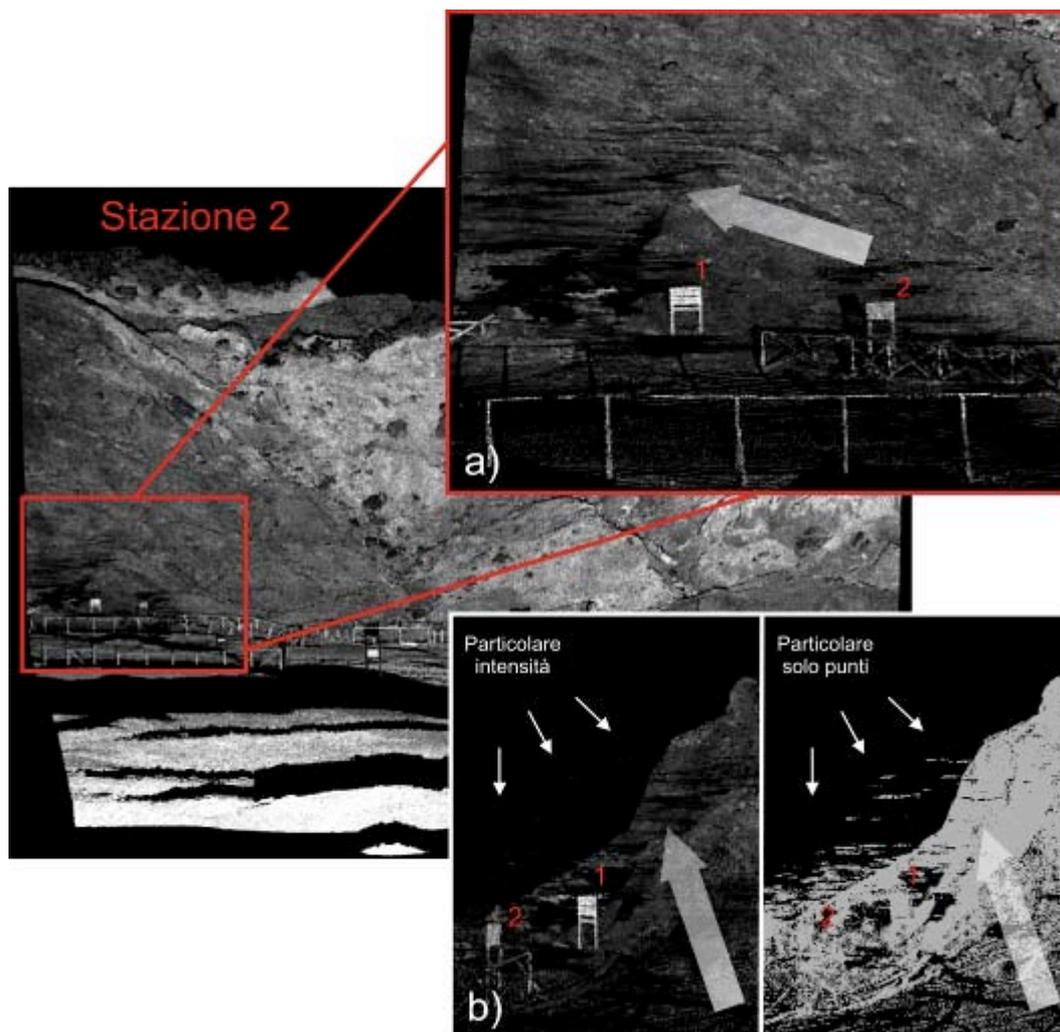


Figura 10. Il rilievo in presenza delle fumarole. Nei riquadri (a e b) viene visualizzata, da due differenti punti di vista, la stessa zona. Due cartelli presenti nell'area sono numerati per rendere più immediata la lettura della figura. I particolari di intensità (b) mostrano i punti rilevati sulle colonne di fumo; le frecce (spesse) indicano la zona di interesse e sono fornite secondo la prospettiva di osservazione.

4. Conclusioni

Il primo rilievo della Solfatara è stato effettuato per capire le possibilità del monitoraggio di un'area vulcanica caratterizzata da una geometria particolare e da una importante presenza di attività fumarolica mediante TLS. Sono state osservate le potenzialità del sistema TLS nel rilievo della base del cratere (anche da punti di osservazione interni e quindi nella situazione di bassi angoli di incidenza) e la sensibilità nella discriminazione tra differenti intensità, associabili ai materiali presenti nell'area.

Il rilievo descritto in questo lavoro ha fornito un modello di zero nell'ottica di perseguire i lavori di monitoraggio previsti dal TTC 1.3 ed ha permesso di identificare i punti migliori per effettuare le scansioni future ottimizzando il risultato ed i tempi necessari alla scansione.

Nei mesi di maggio e giugno 2011 le misure saranno ripetute, nella piena collaborazione tra le Sezioni INGV di Bologna e Napoli.

Ringraziamenti

Gli autori ringraziano Arturo Capuano ed il personale del parco naturalistico della Solfatara per la disponibilità e la collaborazione. Grazie ad Alessandro Bonforte per le preziose indicazioni fornite. Un grazie

al direttore della Sezione INGV di Napoli, Marcello Martini, per il concreto sostegno alle nostre attività di rilevamento.

Bibliografia

- Franceschi, M., Teza, G., Preto, N., Pesci, A., Galgaro, A., Girardi, S., (2009). Discrimination between marls and limestones using intensity data from terrestrial laser scanner. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 64 (6) 522-528.
- Orsi, G., De Vita, S., Di Vito, M., Isaia, R., (1998). Storia geologica e deformativa della caldera dei Campi Flegrei. In: *Archeologia e Vulcanologia in Campania*, 17-28. Arte Tipografica, Napoli.
- Pesci, A., Teza, G., Ventura, G., (2008a). Remote sensing of volcanic terrains by terrestrial laser scanner: preliminary reflectance and RGB implications for studying Vesuvius crater (Italy), *Annals of Geophysics*, 51 (4) 633-653.
- Pesci, A., Teza, G., (2008b). Effects of surface irregularities on intensity data from laser scanning: an experimental approach. *Annals of Geophysics*, 51 839-848.
- Pesci, A., Teza, G., Bonali, E., (2011) Terrestrial laser scanner resolution: numerical simulations and experiments on spatial sampling optimization. *Remote Sens.* 3,167-184.
- Petrosino, S., Damiano N., Cusano, P., DelPezzo, E. (2009). Shallow crustal structure of Solfatara Volcano (Campi Flegrei) from microtremor analysis. *EGU General Assembly – Vienna, 19-24 Aprile 2009.*

Coordinamento editoriale e impaginazione

Centro Editoriale Nazionale | INGV

Progetto grafico e redazionale

Daniela Riposati | Laboratorio Grafica e Immagini | INGV

© 2011 INGV Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia

Via di Vigna Murata, 605

00143 Roma

Tel. +39 06518601 Fax +39 065041181

<http://www.ingv.it>



Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia