POLITECNICO DI TORINO
Repository ISTITUZIONALE

Strumenti e metodi geomatici per lo studio di un’antica cava etrusca

Original
Strumenti e metodi geomatici per lo studio di un’antica cava etrusca / Angeli, Stefano; Lazzarato, Alice; Lingua, Andrea. - ELETTRONICO. - (2018), pp. 31-40. (Intervento presentato al convegno 22 Conferenza Nazionale ASITA tenutosi a Bolzano nel 27-29 Novembre 2018).

Availability:
This version is available at: 11583/2728373 since: 2019-03-14T15:54:34Z

Publisher:
ASITA

Published
DOI:

Terms of use:

This article is made available under terms and conditions as specified in the corresponding bibliographic description in the repository

Publisher copyright

(Article begins on next page)

12 October 2024

Strumenti e metodi geomatici per lo studio di un'antica cava etrusca

Stefano Angeli ([a]), Alice Lazzarato ([a]), Andrea Lingua ([a])

([a]) Politecnico di Torino, Dipartimento di Ingegneria dell'Ambiente, del Territorio e delle Infrastrutture, corso Duca degli Abruzzi 24, 10129, Torino.
stefano.angeli@polito.it, alice.lazzarato@studenti.polito.it, andrea.lingua@polito.it

Abstract
Il rischio idrogeologico in Italia è diffuso in modo capillare. Diversi sono i fattori naturali che predispongono il nostro territorio a crolli in roccia, frane e alluvioni. La prima causa è senza dubbio la conformazione geologica e geomorfologica, caratterizzata da un'orografia giovane, quale quella alpina, e da rilievi in via di sollevamento. Per questo motivo, le tematiche legate allo studio degli ammassi rocciosi sono da sempre di primaria importanza.
I metodi tradizionali di rilievo di una parete in roccia, per l'analisi successiva di rischio crolli, prevedono l'azione di un geologo specializzato direttamente in quota. È chiaro come questa operazione non sia semplice e richieda molte competenze multidisciplinari.
Con questa attività si è voluto studiare l'utilizzo di metodi geomatici per rilievi geotecnici, in particolare l'uso della fotogrammetria (aerea e terrestre) e del LiDAR (*Light Detection and Ranging*). La parete oggetto di studio, che si trova all'interno del parco archeologico di Baratti e Populonia, ricopre molta importanza dal punto di vista storico e culturale, essendo essa un'antica cava di epoca etrusca.

1. INTRODUZIONE

Utilizzando differenti metodi di rilievo si sono potuti cogliere i limiti e i pregi di questi. La fotogrammetria, sia aerea che terrestre, ha permesso di giungere ad un'ottima stima di giacitura dei piani di discontinuità. Il rilievo LiDAR ha dato anch'esso dei buoni risultati per il calcolo della giacitura mentre per il calcolo di spaziatura, apertura e persistenza, si sono riscontrati dei problemi a causa delle molteplici zone d'ombra presenti nella nuvola di punti. È stato inoltre eseguito un tentativo di misura utilizzando la visione stereoscopica, la quale, sfruttando la visione tridimensionale della parete, ha permesso di effettuare alcune di queste misure in modo più semplice e veloce, in particolare per quanto riguarda la spaziatura.
È importante sottolineare come, questi dati, possano essere inseriti all'interno di un GIS e in questo modo possano essere resi fruibili a diversi utenti. Si potrà così avere traccia nel tempo degli spostamenti che avvengono nell'ammasso roccioso, qualora vengano fatti ulteriori rilievi a distanza di tempo. Questa implementazione risulta molto utile in contesti dove il rischio di crolli in roccia è

rischio di crolli in roccia è più elevato, dove la creazione di un database con le diverse configurazioni di una certa parete rocciosa nel tempo può fornire uno strumento accessibile da più enti per la mitigazione del rischio e per lo studio di tale zona.

1.1 Il caso studio

Il Parco archeologico di Baratti e Populonia si estende tra le pendici del promontorio di Piombino ed il golfo di Baratti. Sulle colline presenti al di sotto della parte alta di Populonia, nella cosiddetta località Le Grotte, si trovano necropoli risalenti al IV-III secolo a.C. In prossimità di queste tombe si trova la cava su cui si concentra questo studio (Figura 1). La cava veniva utilizzata per estrarre blocchi di "panchina", un'arenaria morbida locale utilizzata per la maggior parte delle costruzioni di Populonia. Nella parete è possibile vedere l'inclinazione del fronte di cava: per l'estrazione dei blocchi si seguiva l'inclinazione del sedimento di sabbia in modo da avere blocchi con sedimentazione orizzontale.

Figura 1 - Parete di scavo, oggetto di studio, nella cava delle grotte (Baratti).

Dal punto di vista geologico la zona delle tombe delle Grotte, dove è situata la cava, è interessata da affioramenti di "Panchina". I livelli di panchina, dagli studi, si ritiene che siano livelli di paleospiaggia da ricondurre a fasi di regressione marina. Questi livelli si trattano per lo più di depositi calcarenitici formatisi per cementazione delle sabbie di spiaggia. La cementazione è stata resa possibile grazie all'abbondante presenza di carbonati di origine bioclastica e alla circolazione di acque meteoriche. Alternate a livelli di sabbie cementati sono presenti lenti di sabbie incoerenti non influenzate dallo scorrimento di acque meteoriche. I livelli quindi si presentano normalmente cementati, pressoché privi di matrice silito-argillosa e di colore giallastro. La macchia mediterranea che ricopre la zona circostante la cava delle grotte impedisce la ricostruzione più dettagliata della zona e solo nella zona antropizzata è visibile la laminazione del sedimento di natura da arenacea a grana media a calcarenitica con lamine piane del tutto simili a strati che si estendono per diversi metri con inclinazioni medie da 25° a 30° verso est.

2. ACQUISIZIONE DATI

L'approccio integrato alle attività di rilevamento seguito si attua in tre fasi principali: la realizzazione di una rete di inquadramento, di una rete di raffittimento ed un rilievo di dettaglio.

La rete d'appoggio planoaltimetrica è stata realizzata utilizzando due ricevitori GNSS (Geomax Zenith 35) in modalità statica ed è stata compensata con riferimento alle stazioni permanenti di Portoferraio, Gavorrano, Cecina, Grosseto e Siena. Successivamente, mediante metodo celerimetrico moderno, utilizzando una *Image Station* Leica sono stati rilevati alcuni vertici di raffittimento e i punti materializzati sia a terra che in parete. L'acquisizione dei dati utili a realizzare il modello digitale, in forma di nuvola di punti, della parete oggetto di studio, invece, è stata effettuata utilizzando diverse metodologie: rilievi fotogrammetrici da terra, da UAV (*Unmanned Aerial Vehicle*) e rilievi LiDAR.
Per quanto riguarda il rilievo LiDAR, lo strumento utilizzato è stato il laser scanner Faro Focus3D S 120, un TLS (*Terrestrian Laser Scanner*) distanziometrico con funzionamento a misura di fase. Operativamente le scansioni sono state effettuate posizionando lo strumento in modo che l'insieme delle scansioni ricoprisse totalmente la parete rocciosa della cava. Ogni punto di stazionamento è stato inoltre scelto in modo che tra scansioni consecutive ci fosse un ricoprimento di almeno il 30% così da poter ritrovare punti comuni nelle diverse scansioni per poterle registrare con successo. Si è inoltre impostata la densità dei punti di acquisizione a 1/5, 4x ottenendo mediamente una nuvola da circa 24 milioni di punti.
Il rilievo fotogrammetrico è stato svolto utilizzando una fotocamera Canon EOS 5DsR e un drone DJI Mavic Pro. Con l'UAV sono stati effettuati due voli: uno con camera in posizione nadirale e uno con camera inclinata a 45°, entrambi ad una distanza di circa 10 m dalla parete. Per il rilievo da terra, invece, si è proceduto effettuando tre strisciate a tre diverse altezze, lungo la parete, orientando in due direzioni differenti il piano di presa: tre strisciate sono state acquisite tenendo la direzione del sensore perpendicolare rispetto alla parete, mentre tre strisciate mantenendo un'inclinazione di 45° intorno all'asse verticale, rispetto al piano della parete, ottenendo in questo modo un buon ricoprimento della superficie in esame (Chiabrando et al. 2015).

3. ELABORAZIONE DATI

Per processare i dati grezzi acquisiti utilizzando i ricevitori GNSS è stato utilizzato il *software* Leica GeoOffice (LGO). Le principali operazioni effettuate sono l'elaborazione delle baseline nelle reti di controllo geodetico e la compensazione della rete. Di seguito si riporta una tabella riassuntiva con le coordinate dei punti calcolati e le ellissi d'errore (*diluition of precision*) risultate da LGO (Figura 2).

Punto	Coordinate		Diluition of precision
3000	Est	622613.5813 m	0.0025 m
	Nord	4759835.8272 m	0.0029 m
	Quota	147.0511 m	0.0077 m
4000	Est	6222637.2154 m	0.0024 m
	Nord	4759831.6514 m	0.0030 m
	Quota	145.8909 m	0.0076 m

Figura 2 - Indicazione dei vertici della rete di inquadramento con le relative coordinate e precisioni.

Per la registrazione delle scansioni *laser* è stato utilizzato il *software* Faro Scene. Gli scopi di questo lavoro prevedevano una precisione inferiore al centimetro per poter effettuare delle misure accurate sulla nuvola, rispettata ottenendo un valore medio pari a 0,7 mm.
Riguardo l'elaborazione dei dati fotogrammetrici, questa è svolta utilizzando il *software* Agisoft Photoscan. In seguito all'elaborazione dei due *dataset* (DJI Mavic Pro e Canon EOS 5DsR) sono stati raggiunti i seguenti parametri di valutazione riportati in tabella (Figura 3).

	DJI Mavic Pro	Canon EOS 5DsR
Errore GCP totale (m)	0.015	0.033
Errore GCP totale (pix)	0.94	9.14
Errore check point totale (m)	0.03	0.11
Errore check point totale (pix)	0.92	3.79

Figura 3 – Parametri di valutazione riguardanti le elaborazioni fotogrammetriche.

Il risultato finale di tutte le elaborazioni sono quindi tre nuvole di punti: una ottenuta grazie al rilievo LiDAR e due ottenute con rilievo fotogrammetrico. Per passare all'analisi in chiave geomeccanica della parete rocciosa è prima necessario capire qual è la qualità delle nuvole ottenute e quanto accurate, precise e dense esse siano.

3.1. Analisi qualitativa dei dati acquisiti

Le nuvole fotogrammetriche hanno una densità molto omogenea nella parte raffigurante la parete rocciosa, questo le rende adatte al loro utilizzo per scopi geomeccanici. Per quanto riguarda la nuvola ottenuta con TLS, la densità risulta molto meno omogenea rispetto alle nuvole precedenti nonostante essa sia notevolmente maggiore in termini di quantità di punti (Figura 4).

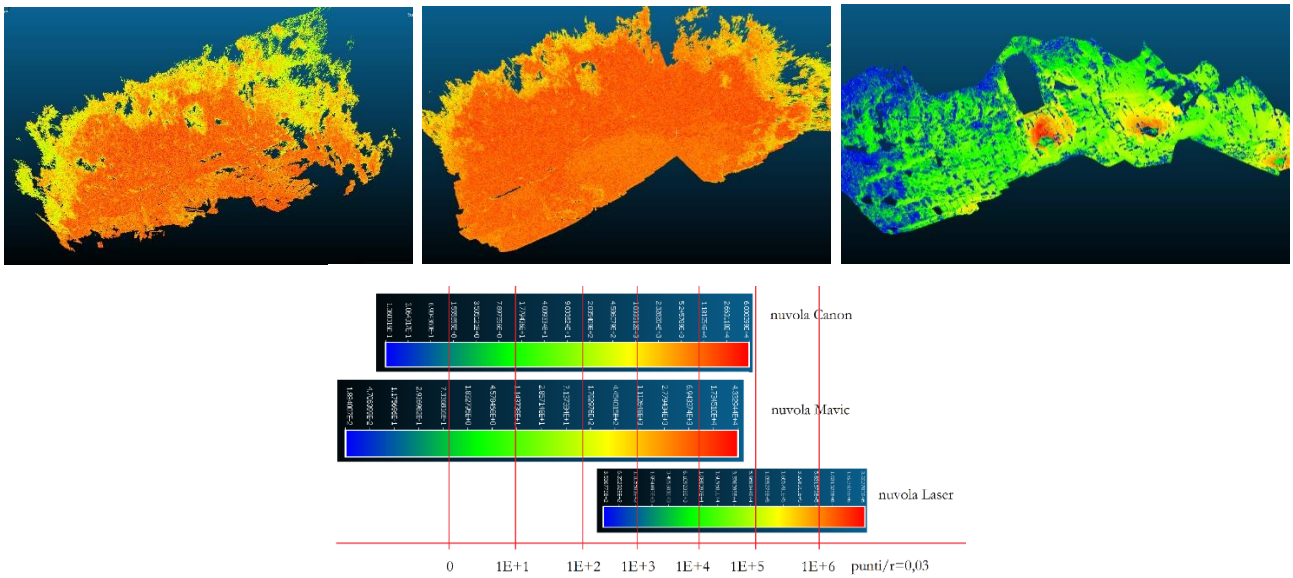

Figura 4 - Densità approssimata della nuvola Canon in scala Logaritmica (r=0,03) (in alto a sx), nuvola Mavic (in alto al centro), nuvola TLS (in alto a dx) e confronto tra le tre nuvole ottenute (in basso).

Inoltre, in una zona della parete, dove è presente un'area particolarmente interessante dal punto di vista geotecnico, essa risulta meno densa rispetto alle nuvole fotogrammetriche e con molte zone d'ombra. Il ridotto numero di punti in quest'area non è sufficiente per poter permettere il suo utilizzo per scopi a fini geotecnici e geomeccanici di dettaglio.
Questo si verifica sostanzialmente per due motivi: in primis poiché è stato utilizzato un laser scanner terrestre ed essendo esso stato posizionato ad una quota minore rispetto alla parete, i punti acquisiti nella parte alta di questa sono troppo distanti ed alcuni risultano nascosti. Nella parte alta della parete infatti, essendo presenti molte irregolarità dal punto di vista geometrico, il laser scanner non è risultato essere lo strumento migliore per avere un dato completo e accurato.

4. STUDIO GEOMECCANICO DEL SITO

La caratterizzazione della parete in esame è stata condotta principalmente con lo scopo di definire e quantificare i fattori che sono responsabili dell'instabilità dei blocchi e le caratteristiche geometriche della parete. In particolare, è stata posta l'attenzione su: discontinuità (giacitura, spaziatura e persistenza), osservazioni sulle caratteristiche stratigrafiche della parete, caratteristiche volumetriche e geometriche dei blocchi che possono staccarsi.
Per valutare questi fattori sono stati utilizzati i dati raccolti mediante le tecniche di rilievo a distanza come descritto in precedenza. Molti sono stati molti gli autori che hanno studiato e utilizzato queste tecniche in ambito geotecnico e nel contesto di stabilità in roccia. Tra questi si ricorda lo studio di Salvini et al. (2013) e lo studio di Santana et al. (2012).
Si specifica innanzi tutto che i passaggi effettuati descritti di seguito sono stati eseguiti allo stesso modo sia per la nuvola ottenuta con fotogrammetria terrestre che per la nuvola ottenuta con i fotogrammi acquisiti dal drone.
Uno dei problemi più grandi nel trattamento di nuvole di punti di pareti rocciose è la presenza di zone ricche di vegetazione che spesso impediscono o disturbano l'acquisizione della parete. Per questo motivo è necessario procedere con una o più operazioni di filtraggio. Una delle prime operazioni da svolgere è il ricampionamento delle nuvole, in questo modo vengono mediate le misure di distanza per ogni punto misurato e, impostando un valore di soglia di deviazione standard, vengono scartati i punti al di sopra della soglia (filtro SOR, *Statistical Outlier Removal*).
Successivamente per eliminare la maggior parte della vegetazione, avendo la parete rocciosa una morfologia complessa, è necessario un passo di segmentazione per dividere l'intero set di dati in regioni 2.5D più piccole. Il metodo proposto da Forlani et al. (2005) è adatto a questo scopo. Questo si basa su una tecnica di segmentazione RANSAC che richiede la definizione di due parametri di *input*: la distanza massima consentita di un punto dal suo piano di riferimento e il numero minimo di punti per regione. Un piano π è stimato da minimi quadrati in base ai soli punti appartenenti a una regione specifica (Scaioni et al. 2010). Prima di utilizzare l'algoritmo RANSAC è preferibile calcolare le normali in modo da poter impostare i parametri desiderati.
Le normali sono calcolate impostando come superficie locale di approssimazione un piano, e l'orientamento delle normali verso $-Z$. Una volta che sono state

identificate le diverse regioni, ognuna con un proprio piano, è possibile esportare la nuvola così creata andando in questo modo ad eliminare i punti non appartenenti a nessun piano, cioè la vegetazione. Caricando nuovamente questa nuvola nel *software* CloudCompare si visualizzeranno solo i punti appartenenti ai piani.
La nuvola ottenuta con TLS non verrà utilizzata per rilievi di dettaglio (come la misurazione diretta sulla nuvola di piccole distanze) ma verrà utilizzata per il riconoscimento automatico delle giaciture dei piani come descritto successivamente.
Dopo aver ottenuto delle nuvole fotogrammetriche il più possibile ripulite dalla vegetazione e dal rumore, è possibile effettuare delle misurazioni di dettaglio come per esempio la misura dello spessore degli strati presenti lungo due piani scelti (Figura 5).

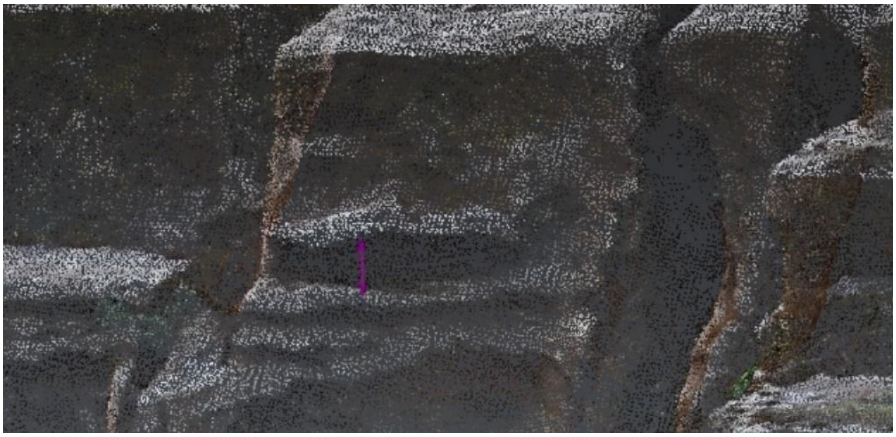

Figura 5 - Esempio di misurazione dello spessore.

Per questa misurazione si è scelto di usare la nuvola realizzata dai dati acquisiti con fotogrammetria terrestre essendo quella in cui erano più facilmente riconoscibili gli strati presenti nella parte alta della parete. La media degli spessori misurati sul piano 1 è di 0.25 m mentre sul piano 2 di 0.239 m. Lo spessore minimo che è stato possibile misurare è stato di 6 cm, è dunque chiaro che per riuscire a misurare spessori inferiori a questo è necessario avere delle nuvole più dettagliate in cui la distanza media tra i punti sia submillimetrica.

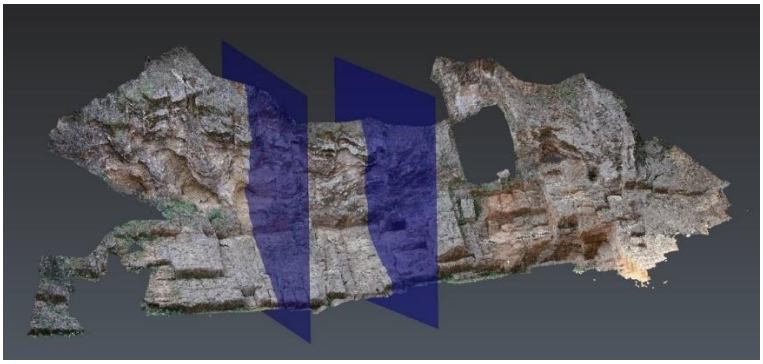

Figura 6 – Piani verticali di riferimento per la misurazione.

4.1. Analisi delle discontinuità

Sulle nuvole fotogrammetriche dopo l'utilizzo dell'algoritmo RANSAC si può procedere con il calcolo delle "*Facets*", cioè delle superfici impostando come

parametri fondamentali il numero minimo di punti per superficie e la massima distanza dei punti dalle superfici. Per valutare la correttezza di questi stereogrammi si procede all'estrazione manuale di alcuni piani significativi e ben individuabili, mediante il software 3DReshaper. Una volta create delle nuvole di punti composte dai punti appartenenti a questi piani, queste vengono importate in CloudCompare e mediante il *Plane Fitting* si può verificare la giacitura del singolo piano. Dopo aver ottenuto un numero significativo di valori di Dip e Dip Direction, utilizzando il *software* Dips di Rocscience è possibile creare uno stereogramma in modo tale da poter effettuare un confronto. Si nota come gli stereogrammi calcolati con Dips siano molto simili l'uno con l'altro e come siano state rilevate le stesse famiglie di discontinuità con le stesse giaciture a meno di ±5°. Questo dimostra come le giaciture calcolate con il plugin *Facets* siano attendibili.
Per la misura della spaziatura è stato utilizzato il *software* 3DReshaper. Le misure vengono effettuate seguendo degli stendimenti di lunghezza variabile. Gli stendimenti sono stati effettuati in modo da disporsi ortogonalmente alla famiglia di discontinuità formata da piani subverticali.
Per la misura della persistenza, in questo caso risulta più semplice e immediato utilizzare il metodo proposto da Zhang e Einstein (1998) che prevede la misura della persistenza ricorrendo ad un rilievo su finestra circolare che porta al calcolo della lunghezza media di traccia μ_l.
Per calcolare le caratteristiche volumetriche dei blocchi che possono staccarsi si utilizza la formulazione proposta da Palmström (2005). Il volume dei blocchi viene calcolato come: $V_b = \frac{S_1 S_2 S_3}{sen\gamma_{12} sen\gamma_{23} sen\gamma_{31}}$
Dove S_1, S_2, S_3 sono la spaziatura caratteristica di tre sistemi di discontinuità presenti mentre γ_{12}, γ_{23}, γ_{31} sono angoli tra i piani medi dei sistemi. Le tre famiglie di discontinuità presenti nell'ammasso roccioso in esame hanno giacitura come riportato in seguito (questi valori sono stati ricavati come media dei risultati ottenuti in precedenza).

Set	Dip Direction	Dip
1 (stratigrafia)	54	13
2 (perpendicolari al pendio subverticali)	143	1
3 (paralleli al pendio sub verticali)	232	47

Figura 7 – Giacitura Set di Discontinuità.

Gli angoli tra i piani medi dei sistemi vengono calcolati utilizzando il software Dips, facendo una media tra gli angoli calcolati sui quattro diversi stereogrammi e risultano essere: $\gamma_{12} = 89.2°$, $\gamma_{23} = 90.9°$, $\gamma_{31} = 58.3°$.
Le spaziature caratteristiche sono le seguenti: $S_1 = 0.24\ m$,$S_2 = 0.70\ m$,$S_3 = 0.63\ m$.
Il volume V_b risulta pari a 0.13 m^3.
Seguendo la classificazione proposta da Palmström questi blocchi vengono classificati come Moderate avendo un volume compreso tra 10 e 200 dm^3.

	BLOCK VOLUME				
	Very small	Small	Moderate	Large	Very large
V_b =	10-200 cm^3	0.2-10 dm^3	10-200 dm^3	0.2-10 m^3	>10 m^3

Figura 8 - Classificazione dei blocchi per volume secondo Palmström.

L'operazione di misurazione diretta sulla nuvola di punti è risultata macchinosa e piuttosto lenta. Per questo motivo si è realizzato un tentativo di restituzione

stereoscopica mediante il *software* StereoCAD. Sicuramente questo metodo di misura è risultato più preciso in quanto non è necessario cliccare precisamente su un punto (come fatto utilizzando 3DReshaper), ma essendo possibile cliccare in qualunque parte del fotogramma la distanza misurata coincide esattamente con quella effettivamente da misurare. Lo svantaggio sta però nel fatto di non poter misurare automaticamente la giacitura dei piani presenti in parete, cosa invece possibile con CloudCompare ottenendo ottimi risultati. Al fine di effettuare un confronto chiaro tra i diversi metodi di rilievo svolti, viene riportato Figura 9 un paragone tra accuratezza, tempo di misura e completezza del risultato (A, T e C in tabella) nei casi specifici di misura di giacitura, spaziatura, persistenza e apertura.

	Giacitura			Spaziatura/ Persistenza/ Apertura			Sicurezza
	A	T	C	A	T	C	
Rilievo tradizionale	++	-	-	++	-	-	- -
Laser Scanner	++	+	++	+	+	-	++
Fotogrammetria aerea e terrestre con nuvola di punti	++	++	++	++	+	+	++
Fotogrammetria aerea e terrestre con stereoscopia	-	+	+	++	++	++	++

Figura 9 - Confronto tra i diversi metodi utilizzati

5. CONCLUSIONI

Come riportato in Tabella 9, si è notato come il rilievo mediante fotogrammetria aerea e terrestre, utilizzando la nuvola di punti, abbia fornito degli ottimi risultati per il calcolo della giacitura in termini di accuratezza, tempo e completezza. Lo stesso non si può dire per l'utilizzo della stereoscopia in quanto non è stato possibile calcolare in modo efficace la giacitura dei piani presenti, nonostante essi fossero ben individuabili. Il rilievo LiDAR ha dato dei buoni risultati per il calcolo della giacitura mentre per il calcolo di spaziatura, apertura e persistenza, si sono riscontrati dei problemi a causa delle molte zone d'ombra. Dal punto di vista della sicurezza invece la metodologia di rilievo tradizionale è sicuramente la meno raccomandata, in quanto le tecniche di rilievo a distanza non necessitano la presenza di operatori specializzati direttamente in parete.

Il rilievo fotogrammetrico è risultato dunque più adeguato in questa particolare circostanza, mentre il laser scanner potrebbe risultare sicuramente più utile per rilevare pareti con una geometria più semplice. I rilievi che sono stati svolti sulle nuvole fotogrammetriche e laser hanno fornito risultati soddisfacenti per quanto riguarda la misurazione di spaziatura, persistenza e giacitura, invece, per quanto riguarda l'apertura, non sono risultate abbastanza dense.

È importante sottolineare come inserendo i dati ottenuti dalle analisi presentate precedentemente all'interno di un GIS (Geographic Information System), queste possano essere rese fruibili a diversi utenti. In questa maniera si potrà avere traccia nel tempo degli spostamenti che avvengono nell'ammasso roccioso, qualora vengano fatti ulteriori rilievi a distanza di tempo. Questa implementazione è sicuramente molto utile in contesti dove il rischio di crolli in roccia è più elevato, dove la creazione di un *database* con le diverse configurazioni di una certa parete rocciosa nel tempo può fornire uno strumento accessibile da più enti per la mitigazione del rischio e per lo studio di tale zona.

Riferimenti bibliografici

Adorno V., Barnobi L., La Rosa F., Leotta A., Paratore M. (2009), Contributo della tecnologia laser scanner e della termografia IR nella caratterizzazione geomeccanica di un costone roccioso, *Atti 13° Conferenza Nazionale ASITA*.

Alba M., Barazzetti L., Roncoroni F., Scaioni M. (2011), Filtering vegetation from terrestrial point clouds with low-cost near infrared cameras, *European Journal of Remote Sensing, 43 (2): 55-75*.

Alba M., Roncoroni F., Scaioni M. (2009), Monitoraggio di pareti rocciose con terrestrial laser scanning, *Atti 13° Conferenza Nazionale ASITA*.

Chiabrando F., Donadio E., Rinaudo F. (2015), SfM for orthophoto generation: a winning approach for cultural heritage knowledge, *25th International CIPA Symposium 2015, Taipei, Taiwan.*

De Biagi V., Napoli M. L., Barbero M., Peila D. (2017), Estimation of the return period of rockfall blocks according to their size, *Natural Hazards and Earth System Sciences, vol. 17 n. 1, pp. 103-113. - ISSN 1684-9981*.

De Biagi V., Barbero M., Napoli M. L., Peila D. (2017), Block volume-frequency law for risk analysis: an example, *6th Interdisciplinary Rockfall Protection RocExs 2017, Barcelona, 22-24 May 2017, pp. 19-22.*

Forlani G., Roncella R. (2009), Advanced Geostructural Survey Methods Applied to Rock Mass Characterization, *Rock Mechanics and Rock Engineering 42(4):631-665.*

Förstner W., Wrobel B. P. (2016), Photogrammetric Computer Vision, Statistics, Geometry, Orientation and Reconstruction, Springer International Publishing, Switzerland.

Lerma J. L., Navarro S., Cabrelles M., Villaverde V. (2010), Terrestrial laser scanning and close-range photogrammetry for 3D archaeological documentation: The Upper Palaeolithic Cave of Parpallo´ as a case study, *Journal of Archaeological Science 37 pp. 499–507.*

Medic T., Holst C., Kuhlmann H. (2017), Towards System Calibration of Panoramic Laser Scanners from a Single Station, *Sensors2017,17, 1145.*

Palmstrom A. (2005), Measurements of and Correlations between Block Size and Rock Quality Designation (RQD), *Tunnels and Underground Space Technology 20, pp. 362-377.*

Salvini R., Francioni M., Riccucci S., Bonciani F., Callegari I. (2013), Photogrammetry and laser scanning for analyzing slope stability and rock fall runout along the Domodossola–Iselle railway, the Italian Alps, Geomorphology.

Santana D., CorominasJ., Mavrouli O., Garcia-Sellés D. (2012), Magnitude–frequency relation for rockfall scars using a Terrestrial Laser Scanner, Geomorphology.

Scaioni M., Alba M. (2010), Understanding changes and deformations on multi-temporal rock face point clouds, Paparoditis N., Pierrot-Deseilligny M., Mallet C., Tournaire O. (Eds), *ISPRS, Vol. XXXVIII, Parte 3°, Saint-Mandé, France*.

Schnabel R., Wahl R., Klein R. (2007), Efficient RANSAC for Point-Cloud Shape Detection, *Computer Graphics Forum, Volume 26, Issue 2, pp. 214–226*.

Westoby M.J., Brasington J., Glasser N.F., Hambrey M.J., Reynolds J.M. (2012), 'Structure-from-Motion' photogrammetry: A low-cost, effective tool for geoscience applications, Geomorphology.