

Rapporti tecnici

INGV

**Fase preliminare di un esperimento
per valutare la risoluzione dei
modelli SfM**

389



Direttore Responsabile

Silvia MATTONI

Editorial Board

Luigi CUCCI - Editor in Chief (INGV-RM1)

Raffaele AZZARO (INGV-CT)

Mario CASTELLANO (INGV-NA)

Viviana CASTELLI (INGV-BO)

Rosa Anna CORSARO (INGV-CT)

Mauro DI VITO (INGV-NA)

Marcello LIOTTA (INGV-PA)

Mario MATTIA (INGV-CT)

Milena MORETTI (INGV-CNT)

Nicola PAGLIUCA (INGV-RM1)

Umberto SCIACCA (INGV-RM2)

Alessandro SETTIMI

Salvatore STRAMONDO (INGV-CNT)

Andrea TERTULLIANI (INGV-RM1)

Aldo WINKLER (INGV-RM2)

Segreteria di Redazione

Francesca Di Stefano - Referente

Rossella Celi

Tel. +39 06 51860068

redazionecen@ingv.it

in collaborazione con:

Barbara Angioni (RM1)

REGISTRAZIONE AL TRIBUNALE DI ROMA N.173 | 2014, 23 LUGLIO

© 2014 INGV Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia

Rappresentante legale: Carlo DOGLIONI

Sede: Via di Vigna Murata, 605 | Roma



Rapporti tecnici INGV

FASE PRELIMINARE DI UN ESPERIMENTO PER VALUTARE LA RISOLUZIONE DEI MODELLI SFM

Arianna Pesci¹, Giordano Teza², Massimo Bacchetti³, Giulia Piroddi⁴, Beniamino Rocchi⁵

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

²Università degli Studi di Padova (Dipartimento di Geoscienze)

³Università degli Studi di Bologna (Dipartimento di Fisica e Astronomia)

⁴Università degli Studi di Padova (Dipartimento di Fisica e Scienze della Terra)

⁵Università degli Studi di Padova (Dipartimento di Fisica e Astronomia)

389

Come citare: Pesci A. et al., (2017). Fase preliminare di un esperimento per valutare la risoluzione dei modelli SfM. Rapp. Tec. INGV, 389: 1-20.

Indice

Introduzione	7
1. La fotogrammetria SfM e il software utilizzato	7
2. L'esperienza	8
2.1 Il target	8
2.2 Le misure	10
2.3 Elaborazione e ispezione delle nuvole di punti	11
3. Risultati e conclusioni	13
Bibliografia	15

Introduzione

Il lavoro qui descritto riguarda le esperienze realizzate nel tentativo di fornire informazioni a priori sulla risoluzione ottenibile mediante rilievi con fotogrammetria Structure-from-Motion (SfM). Si è cercato di capire se sia o meno possibile ottenere un valore di soglia utile a mettere in relazione la dimensione del pixel a terra con il dettaglio misurabile nel modello finale a partire dalla sola conoscenza delle caratteristiche delle camere utilizzate, dalla geometria del rilievo e in particolare dalla distanza di lavoro. Per fare ciò è stato realizzato un target, in questo caso bidimensionale, e fotografato col consueto approccio utilizzato in fotogrammetria, da varie distanze. Per ciascuna distanza, le immagini catturate sono state elaborate per ricavarne nuvole di punti ispezionabili ed estrarre informazioni sulla dimensione dei più piccoli dettagli in esse presenti. Il lavoro è stato realizzato con la finalità di trovare una relazione empirica che possa indicare la risoluzione della nuvola di punti in funzione della distanza di acquisizione e quindi del pixel a terra.

Nelle esperienze precedenti attuate alle sezioni di Bologna dell'INGV sono stati ottenuti i seguenti risultati salienti: 1) il rilievo SfM, se eseguito correttamente, è confrontabile con quello ottenuto mediante laser scanner terrestre (TLS) [Pesci et al., 2015; Teza et al., 2016]; 2) al di sopra di un certo numero di scatti fotografici il risultato non cambia, ossia un'eccessiva quantità di immagini non comporta alcun beneficio in termini di risoluzione [Pesci e Teza, 2016]; 3) la risoluzione dipende dalla distanza di lavoro, ossia la dimensione del pixel a terra è il parametro principale da tenere in considerazione [Pesci et al., 2016a]; 4) i modelli SfM ottenuti da camere con caratteristiche diverse ma compatibili portano a risultati confrontabili e molto simili tra loro [Pesci et al., 2016b].

Da questi risultati di base si è partiti per realizzare un esperimento ad hoc e tentare di valutare la risoluzione ottenibile in partenza solo in riferimento alla distanza di lavoro, s'intende utilizzando i rigorosi criteri per le misure già abbondantemente descritti nelle esperienze precedenti.

1. La fotogrammetria SfM e il software utilizzato

Si ricorda che la fotogrammetria SfM, ormai di corrente impiego nel telerilevamento terrestre, tanto nel rilievo geomorfologico [Westoby et al., 2012] come in quello architettonico [Teza et al., 2016], è sostanzialmente legata all'introduzione in fotogrammetria di metodi e algoritmi della visione artificiale (*computer vision*). Gli algoritmi utilizzati nella fotogrammetria SfM sono del tutto compatibili con risorse di calcolo ormai comunemente disponibili. Essi permettono di ottenere un modello tridimensionale fotorealistico, ossia con dato radiometrico strettamente legato al colore originale dell'oggetto osservato, a partire da un set di immagini scattate senza alcun tipo di vincolo a priori sulle posizioni delle fotocamere utilizzate, purché i punti di presa siano scelti in modo corretto. Ciascun punto della superficie da modellare deve cioè essere osservato da almeno due fotocamere e i punti di presa devono essere spazialmente ben distribuiti attorno all'oggetto [Micheletti et al., 2015]. Rispetto alle tecniche fotogrammetriche precedenti, la caratteristica saliente della tecnica SfM è la registrazione automatica in uno stesso sistema di riferimento (detta anche allineamento) delle immagini di partenza, fatto che rende la tecnica stessa particolarmente utile, affidabile e *user-friendly* [Granshaw e Fraser, 2015].

Nel caso specifico del pacchetto software PhotoScan [Agisoft, 2017], l'allineamento delle fotocamere è verosimilmente attuato, in modo peraltro molto efficiente in termini di costo computazionale, in due fasi [Remondino et al., 2014]: una procedura di registrazione preliminare di tipo feature-based (FBR), seguita da una registrazione fine di tipo area-based (ABR). L'allineamento preliminare FBR consiste nel riconoscimento in ciascuna immagine di particolari morfologici (ad esempio, spigoli), nella memorizzazione di dati atti a descriverne i corrispondenti intorni, nel confronto tra gli intorni dei detti particolari morfologici nelle immagini considerate a dare corrispondenze tra punti omologhi (due punti in immagini diverse sono detti omologhi se rappresentano lo stesso punto reale) e, infine, nella verifica di tali corrispondenze, con l'esclusione di quelle non valide. La registrazione fine, di tipo ABR, è attuata mediante il riconoscimento automatico di aree corrispondenti utilizzando o la correlazione incrociata o la correlazione di fase o, ancora, l'informazione mutua tra le immagini, eventualmente col supporto di tecniche di ottimizzazione come il *simulated annealing*. Agisoft non fornisce dettagli sugli algoritmi utilizzati, la cui efficacia nella modellazione fotogrammetrica è tuttavia provata [Remondino, 2014]. Al fine di ridurre il dispendio di tempo necessario per attuare la registrazione automatica, l'utente può preventivamente indicare sottoinsiemi di immagini che hanno parti in comune, in modo da limitare ad esse la ricerca di punti omologhi. Inoltre, nel caso in cui la fotocamera sia dotata di GPS integrato (oppure sia posizionata su un drone o un natante dotato

di GPS), le posizioni dei punti di presa sono utilizzate per ridurre in modo significativo il tempo di calcolo e aumentare le probabilità di successo delle procedure di allineamento automatico delle immagini.

La registrazione automatica richiede immagini di buona qualità e condizioni di illuminazione simili durante il rilievo, in modo da non ingannare gli algoritmi. In ogni caso, Photoscan consente di ottenere un compromesso tra tempo di calcolo e precisione del risultato agendo sull'opzione *Accuracy* dei parametri di allineamento, che consente un eventuale sottocampionamento delle immagini. La fotogrammetria SfM prevede (come del resto le tecniche fotogrammetriche più avanzate precedenti ad essa) il completamento della modellazione fotogrammetrica mediante il *Bundle Adjustment* (BA), ossia l'affinamento contemporaneo delle coordinate 3D che descrivono la geometria della scena, delle posizioni via via assunte dalla fotocamera durante il rilievo e dei parametri ottici della fotocamera. Tale affinamento è ottenuto mediante un processo di ottimizzazione finalizzato a minimizzare, mediante algoritmi dei minimi quadrati non lineari, l'errore di reproiezione tra le posizioni stimate e quelle effettive dei punti nelle varie immagini. Nel caso in cui siano disponibili le coordinate precise di punti di controllo a terra (*Ground Control Points*, GCPs), queste possono essere utilizzate nel processo BA per ottenere una nuvola di punti molto densa, fotorealistica e georeferenziata. È importante precisare che, qualora siano disponibili le coordinate GPS delle posizioni assunte dalla fotocamera durante il rilievo, queste non sono utilizzabili per la georeferenziazione per via dell'errore rilevante (anche dell'ordine del metro in elevazione); esse sono utilizzate invece per due finalità: per inizializzare correttamente l'allineamento delle immagini e per definire il corretto fattore di scala. La modellazione fotogrammetrica, se non supportata dall'uso di GCPs o di coordinate GPS della fotocamera, fornisce una nuvola di punti definita a meno di un fattore di scala, da cui la necessità di introdurlo esternamente se è necessario eseguire delle misure o comunque sono necessari dati definiti in un sistema di riferimento metrico.

È da notare che il fatto di disporre di nuvole di punti fotorealistiche consente di utilizzare, in caso di disponibilità di dati multitemporali e previa modellazione 2.5D, procedure di correlazione di immagini digitali al fine di ottenere il campo degli spostamenti e il campo delle deformazioni, cosa particolarmente utile, ad esempio, nel caso del monitoraggio di un versante instabile [Travelletti et al., 2012]. In generale, la fotogrammetria SfM permette di ottenere dati di grande qualità ad un costo molto inferiore rispetto al TLS. Inoltre, il fatto che lo strumento sia una fotocamera (la cui massa può essere dell'ordine di 200-300 g) rende la tecnica SfM compatibile con l'uso di un drone leggero, cosa attualmente non possibile con il TLS (strumenti di massa attualmente non inferiore ad alcuni chilogrammi). Per tale motivo, la fotogrammetria SfM è usata in modo crescente in studi di stabilità di versante utilizzando droni leggeri [Rusnák et al., 2016], almeno in quei casi in cui non vi è forte copertura vegetale del terreno. In ogni caso, ciascuna delle due tecniche presenta vantaggi e svantaggi e l'utilizzo dell'una o dell'altra può dipendere anche dalle condizioni in cui il rilievo deve essere eseguito [Teza et al., 2016].

Photoscan consente la scelta della densità della nuvola di punti da generare agendo sull'opzione *Quality* dei parametri di ricostruzione. Se l'utente sceglie *Ultra High Quality*, viene utilizzata tutta l'informazione a disposizione, ossia vengono utilizzate le immagini originali. Se l'utente sceglie *High Quality*, vi è un sottocampionamento di un fattore 2 per ciascuna direzione, ossia un sottocampionamento di un fattore 4, e così via, a scalare. La riduzione della qualità consente, ovviamente, di ridurre il tempo di calcolo, sia pur a spese della densità della nuvola di punti ottenuta. L'utente sceglierà la qualità ottenibile sulla base delle caratteristiche delle immagini a sua disposizione (e quindi della risoluzione effettivamente ottenibile) e delle sue esigenze.

2. L'esperimento

L'idea dell'esperimento è nata seguendo le esperienze già maturate nell'ambito del telerilevamento con TLS [Pesci et al., 2011], ossia realizzare un target artificiale semplice da osservare, semplice da misurare e tale da rendere semplice l'ispezione della nuvola di punti dopo il trattamento dei dati.

2.1 Il target

Il target (figura 1), per questa fase preliminare dell'esperimento, è stato concepito come oggetto bidimensionale, formato da un pannello rettangolare di compensato grezzo, di colorazione chiara e sul quale sono presenti molte venature. Sul pannello sono state applicate strisce nere di carta, stampate e poi ritagliate per non sbagliarne la dimensione di larghezza variabile tra 1 mm e 20 mm con passo di 1 mm. La scelta di non rappresentare, in questa fase preliminare, un oggetto tridimensionale nasce dalla necessità di avere una

informazione non superabile, cioè un limite invalicabile per la risoluzione ottenibile. Si sottolinea che la generazione di una superficie piana a partire da un rilievo fotogrammetrico non è banale come potrebbe sembrare in apparenza. In ogni caso, l'esperienza descritto sarà completata da analisi di tipo 3D, con target scelto di conseguenza, tuttavia non descritte in questa sede.

Pur trattandosi di un target costruttivamente molto semplice, è bene descrivere come si è giunti a scegliere forma e materiali. Inizialmente la scelta più opportuna è stata quella di creare dei bersagli direttamente mediante la stampa laser su fogli in formato A3 e A4. In tal modo era possibile creare linee e altri oggetti geometrici con proporzioni esatte e ben definite. Tuttavia sia la carta sia i pannelli di cartone utilizzati sono risultati di difficile elaborazione; probabilmente l'immagine, troppo perfetta e luminosa, non è adatta a questo tipo di rilievo. Le prime esperienze, soprattutto le esperienze negative, hanno contribuito a comprendere che la tipologia degli oggetti per lo studio della risoluzione devono essere: 1) il più possibile naturali, con una risposta alla luce non troppo accecante e con una serie di particolari che rendano possibile sia a piccola che a grande distanza l'individuazione di punti omologhi; 2) composti da elementi con un buon contrasto di colore per mettere bene in evidenza i dettagli da misurare; 3) caratterizzati da dimensioni idonee ad osservazioni nell'intervallo di distanze di acquisizione prestabilito (figura 2). Nel caso specifico, l'obiettivo è valutare se sono ottenibili risoluzioni sub-centimetriche o centimetriche nel range 0-20 m.

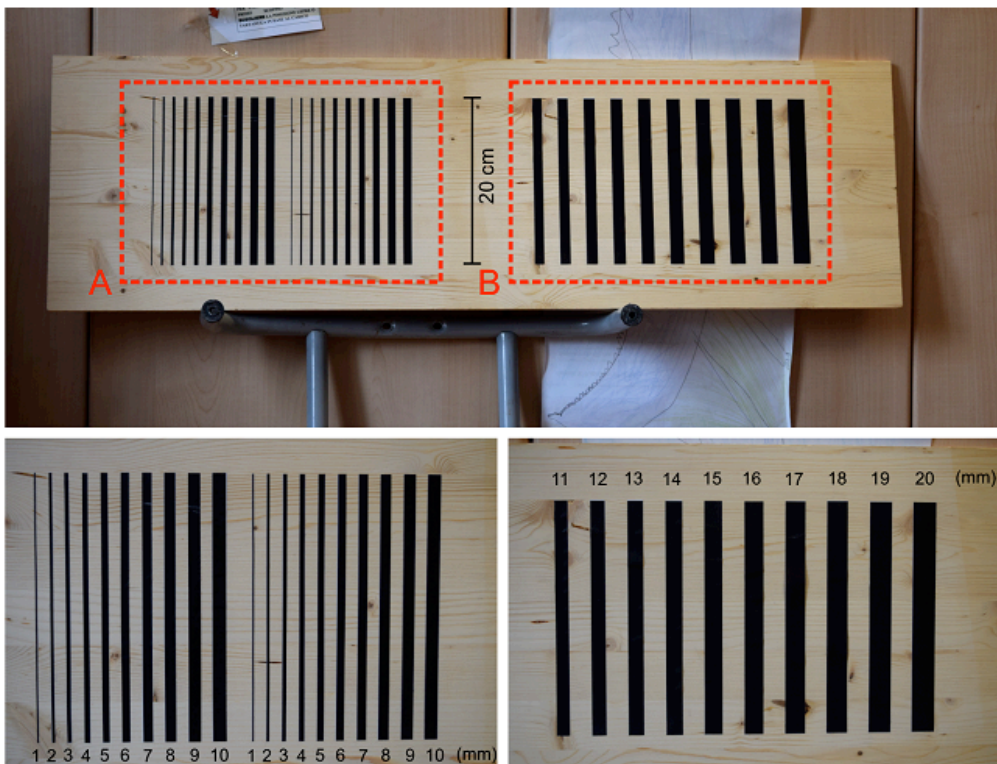


Figura 1. Il target utilizzato, ossia un pannello di compensato su cui sono state applicate striscioline nere di larghezza variabile tra 1 mm e 20 mm.



Figura 2. Le prime tre immagini mostrano i primi target rivelatisi non adatti all'esperimento. La carta (o il cartone trattato) è troppo liscio e luminoso e le analisi hanno portato a risultati scadenti e non utilizzabili. La quarta immagine invece è un target semplice di cartone grezzo su cui sono stati colorati dei rettangoli delle dimensioni volute ed è stato utilizzato per la fase iniziale di questo esperimento.

2.2 Le misure

La strategia del lavoro è stata quella di appoggiare il target su un elemento di dimensioni maggiori, nel caso specifico un muro di mattoni su cui si osservano murales e colori contrastanti, e scattare una decina di immagini da posizioni differenti e circa alla stessa distanza di presa rispetto al centro del target. Sono stati realizzate dieci serie di scatti a distanze variabili tra i 2 m ed i 20 m con passo di 1 m, utilizzando la fotocamera digitale Nikon 3300, le cui caratteristiche principali sono mostrate in tabella 1 insieme a qualche indicazione sulla dimensione del pixel a terra. In particolare, il lato del pixel a terra, p_T , è dato da $p_T = d p / f$, dove d è la distanza di acquisizione, f è la distanza focale e p è il lato del pixel del sensore, a sua volta dato da $p = L_k / N_k$ dove L_k e N_k sono rispettivamente la lunghezza del lato k del sensore (generalmente rettangolare) e il corrispondente numero di pixel. Nel caso della fotocamera utilizzata la relazione si traduce in $p_T = d \cdot 0.0235 / (0.055 \cdot 4000) = 1.07 \times 10^{-4} d$, dove sono inseriti i parametri relativi al lato minore del sensore, s'intende espressi in metri. Si ricorda che p_T si riferisce all'ipotesi in cui la fotocamera acquisisca in posizione normale rispetto all'oggetto, in analogia con la dimensione dello *spot* nel caso di uno strumento TLS.

Parametro	Unità di misura	Valore	d	p_T
			(m)	(mm)
Dimensioni sensore	mm	23.5 x 15.6	10	1.07
Matrice di pixel	px x px	6000 x 4000	20	2.14
	Mpx	24	30	3.20
Profondità	bit	24	40	4.41
Distanza focale	mm	55	50	5.34
Numero f	-	f/8	60	6.41
Esposizione	S	1/250	70	7.48
Sensibilità	ISO	400	80	8.55
			90	9.61
			90	9.61
			100	10.68

Tabella 1. Caratteristiche principali della camera Nikon D3300 utilizzata in questo esperimento ed un riferimento in merito alla dimensione del pixel a terra per alcune distanze di lavoro.

La figura 3 mostra il sito nel quale è stato realizzato l'esperimento, vale a dire un giardino nelle vicinanze della sede della sezione INGV di Bologna. L'area verde è delimitata da un muro di recinzione di mattoni, in uno stato di conservazione non troppo buono, quindi tale da costituire di per sé un target artificiale molto utile per l'allineamento delle immagini, ossia una superficie in cui i punti omologhi sono facilmente

individuabili e stabili nel tempo. Le linee rappresentano le direzioni di osservazione e, in base alla distanza, la posizione dell'operatore al momento dello scatto. Questa geometria è stata scelta per poter confrontare, in fase di analisi, le nuvole di punti, essendo noto che le caratteristiche del rilievo erano pressoché le stesse e l'unica vera discriminante era la distanza dal target. Inoltre, questo schema di cattura di immagini rappresenta abbastanza fedelmente il caso reale come, per fare un esempio, il rilievo delle coste da natante [Pesci et al., 2016].

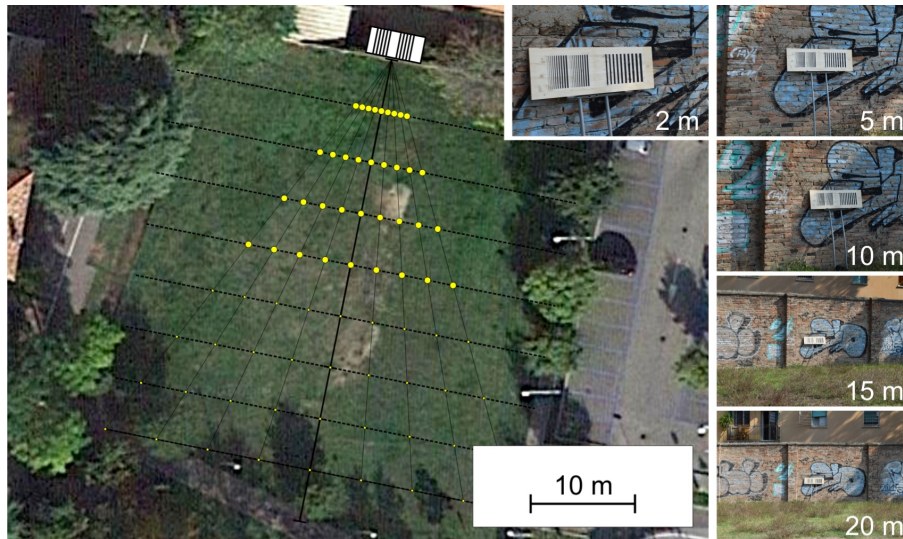


Figura 3. Sito dell'esperimento ed alcune immagini acquisite a varie distanze. Il soggetto delle foto è costituito dal pannello di compensato e dalla parte del muro su cui esso è appoggiato.

2.3 Elaborazione e ispezione delle nuvole di punti

I pacchetti software utilizzati sono il già menzionato Photoscan, dedicato all'allineamento delle immagini e alla modellazione fotogrammetrica, e il modulo IMInspect di PolyWorks [Innovmetrics, 2017] per l'editing e l'ispezione delle nuvole di punti.

Come descritto nel capitolo 2, in assenza di dati spaziali legati a GCPs distribuiti nella scena osservata e/o a un ricevitore GPS solidale con la fotocamera, la nuvola di punti ottenuta è definita a meno di un fattore di scala. Nel caso specifico dell'esperimento, non vi è stata la necessità di ricorrere a complicate procedure per fornire il fattore di scala perché il target ha dimensioni note in altezza e larghezza (30 cm e 80 cm) ed i dettagli interni, cioè le barre nere, hanno altezza di 20 cm e distanza reciproca di 1 cm o 2 cm a seconda della zona del target. Esistono quindi numerosi riferimenti di dimensioni note per calcolare la scala corretta. Inoltre, forma e dimensioni del target non richiedono l'uso di vincoli nella procedura BA, cosa che sarebbe invece richiesta nel caso di un rilievo aereo di un'area estesa [Sun et al., 2016].

L'ispezione delle nuvole è stata abbastanza semplice e realizzata secondo alcuni passaggi diretti: 1) editing della nuvola di punti, ossia rimozione di ogni elemento esterno al piano del target; 2) calcolo del fattore di scala e applicazione dello stesso per trasformare le nuvole di punti in insiemi di coordinate cartesiane; 3) selezione dei punti con colorazione scura e misura dei dettagli; 4) verifica della misura del più piccolo elemento misurato tra quelli disposti del target a distanze discrete; 5) assegnazione del valore più piccolo misurabile alla distanza considerata; 6) calcolo del rapporto tra l'elemento più piccolo misurato e la dimensione del pixel alla distanza di scatto.

L'intero procedimento è riassunto in figura 4. È necessario precisare che, per questioni pratiche, gli elementi da osservare e misurare sono discreti e non continui e, anzi, gli spessori aumentano di una quantità ben definita, vale a dire 1 mm. Per questo motivo, nei casi in cui nella nuvola di punti sia ben visibile e misurabile l'elemento di spessore i e sia visibile, ma non perfettamente misurabile, l'elemento di spessore $i-1$, viene assunto quale valore della risoluzione la media tra i due, cioè $i-0.5$ mm. In concreto, se si misura perfettamente lo spessore 4 mm ma non perfettamente quello di 3 mm ma, il valore assegnato alla

risoluzione sarà 3.5 mm. Questa è una scelta arbitraria, tuttavia motivata dalla necessità di lavorare con un target di dimensione ragionevole e compatibile con i mezzi non troppo sofisticati a nostra disposizione.

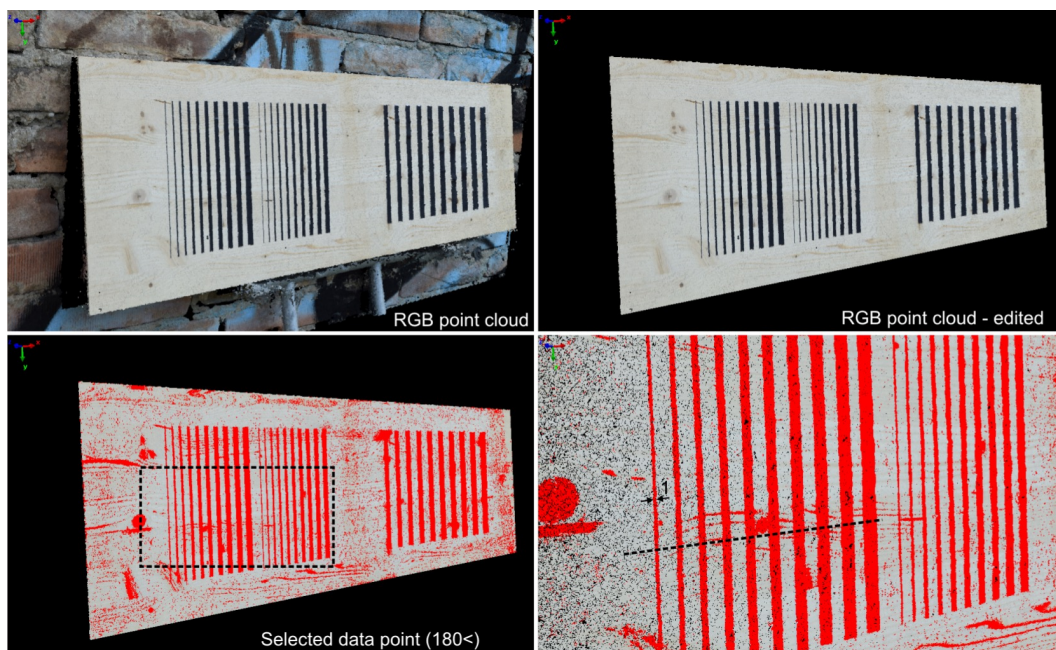


Figura 4. La nuvola di punti ottenuta da analisi SfM di immagini scattate da 2 m circa di distanza: a) la nuvola con dato RGB; b) la nuvola pulita da ogni elemento fuori dal target; c) selezione di colore scuro; d) zoom nella parte di interesse e riconoscimento e misura dell'elemento più piccolo. In questo caso il risultato, in termini di risoluzione, è 1 mm.

I risultati sono elencati nella tabella 2. Le prime due colonne riportano la distanza di lavoro, cioè la distanza tra la fotocamera ed il centro del target ed il valore del più piccolo elemento riconoscibile e misurabile. La terza colonna indica la dimensione del pixel a terra p_T per la distanza di riferimento. Va sottolineato che il risultato certamente dipende sia dalle caratteristiche della camera utilizzata sia dalla procedura per l'analisi delle immagini. Come già descritto nel capitolo 2, nell'utilizzo di Photoscan è possibile, nella fase di generazione della nuvola di punti, sceglierne la densità. Nel caso in cui sia scelta l'opzione *Medium* (sottocampionamento del fattore 64 rispetto alla piena risoluzione delle immagini, ossia 8 per ciascun lato), il rapporto tra la p_T e la risoluzione ottenuta è 4.5 ± 0.4 ; nel caso in cui sia scelta invece l'opzione *High* (sottocampionamento del fattore 16) si ottiene il rapporto 1.8 ± 0.4 .

In fase di progettazione di un rilievo è dunque possibile calibrare il tipo ed il numero di scatti e definire una logistica di misura appropriata in base sia alla precisione del risultato da ottenere sia alle risorse a disposizione e del tempo che può essere dedicato al calcolo.

Distanza (m)	p_T (mm)	Risoluzione M (mm)	Rapporto ()	Risoluzione H (mm)	Rapporto ()
2	0.21	1.0	4.7	0.3	1.4
3	0.32	1.0	3.1	0.5	1.6
4	0.43	1.5	3.5	1.0	2.3
5	0.53	2.0	3.7	1.0	1.9
6	0.64	2.5	3.9	1.5	2.3
7	0.75	3.0	4.0	2.0	2.7

8	0.85	3.5	4.1	2.0	2.3
9	0.96	4.0	4.2	2.0	2.1
10	1.07	5.0	4.7	2.5	2.3
11	1.18	5.5	4.7	2.0	1.7
12	1.28	6.0	4.7	3.0	2.3
13	1.39	6.5	4.7	3.0	2.2
14	1.50	7.5	5.0	3.0	2.0
15	1.60	8.0	5.0	4.0	2.5
16	1.71	8.5	5.0	7.0	4.1
17	1.82	8.0	4.4	6.0	3.3
18	1.92	9.0	4.7	6.0	3.1
19	2.03	9.5	4.7	6.0	3.0
20	2.14	10.5	4.9	9.0	4.2
21	2.24	11.0	4.9	9.0	4.0
22	2.35	11.0	4.7	10.0	4.3

Tabella 2. Risultati delle ispezioni: risoluzione ottenibile alle distanze di scatto.

Un esperimento del tutto identico è stato realizzato utilizzando il target mostrato in figura 2 e composto da un cartoncino grezzo su cui sono stati disegnati gli elementi piani da misurare. In questo caso è stata usata una Canon EOS 1200D con caratteristiche molto simili a quelle presentate in tabella 1. Il rapporto tra p_T e la risoluzione così ottenuto è risultato essere 4.1 ± 0.3 , in buon accordo col precedente.

3. Risultati e conclusioni

La fotogrammetria digitale SfM permette di ottenere nuvole di punti fotorealistiche, dense e precise con operazioni relativamente semplici; l'analisi dei risultati ottenuti può essere essa stessa semplice. La possibilità di avere a disposizione buone fotocamere digitali dal costo contenuto e pacchetti software dedicati dal costo altrettanto contenuto apre a tutti la possibilità di operare nel settore del rilievo 3D di precisione, sia esso architettonico, urbanistico o ambientale. Tuttavia, alle predette facilità fa da contraltare il fatto che non siano di semplice stima l'affidabilità, la risoluzione, la precisione (ripetibilità) e l'accuratezza (deviazioni sistematiche) dei modelli ottenuti mediante SfM.

In alcuni lavori precedenti si è avuto modo di ottenere risultati molto incoraggianti confrontando le nuvole di punti SfM e quelle da TLS e ottenendo mappe delle differenze contenute, ad evidenziare non solo la buona precisione delle stesse ma anche l'assenza di errori sistematici nelle misure.

Tuttavia, uno dei punti ancora non completamente chiari nell'utilizzo della fotogrammetria SfM è la risoluzione raggiungibile. Seguendo la stessa strategia utilizzata in passato per valutare la risoluzione del rilievo TLS, descritta in [Pesci et al., 2011], è stato realizzato un target artificiale osservato da varie distanze con la stessa fotocamera e con le stesse impostazioni di acquisizione e di modellazione fotogrammetrica. Il target, in questo primo esperimento, è stato scelto come elemento piano sul quale sono stati incollati dettagli ben visibili e misurabili. Tale scelta è nata dalla necessità di fornire un risultato da considerare come limite non superabile nel contesto della progettazione delle misure, ossia un limite che indichi la condizione necessaria da rispettare per ottenere una certa risoluzione che sia la migliore possibile da una certa distanza di lavoro.

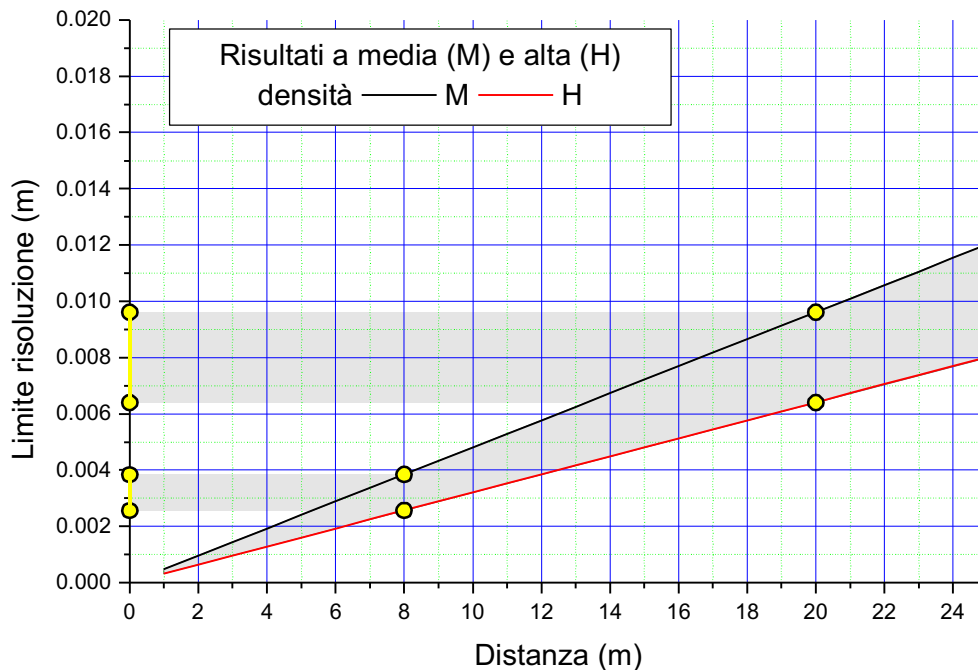


Figura 5. I risultati messi in grafico per le due soluzioni a media ed alta densità. La risoluzione raggiungibile alle varie distanze di rilievo. In giallo due esempi alla distanza da 8 m e 20 m mostrano che la risoluzione attesa sarà un valore tra i 3 mm e 8 mm rispettivamente (nel migliore dei casi).

L'ipotesi che questo risultato ricavato per le distanze tra 2 m e 20 m sia estrapolabile per distanze maggiori va indubbiamente verificata ma, in linea di massima, è possibile immaginare di pensare alla risoluzione come ad un valore pari a circa 4 volte la dimensione del pixel a terra alla distanza di rilievo. Questo andrà verificato in sede sperimentale mediante l'utilizzo di target specifici nel corso delle future campagne di misura in ambito ambientale laddove sia consentito l'accesso per installare un adeguato bersaglio in parete.

Indubbiamente questi risultati rappresentano, per gli autori, un'indicazione forte e di notevole utilità nella pianificazione delle campagne SfM. Va tuttavia precisato che, quale ulteriore sviluppo dello studio qui descritto, 1) è necessario ripetere l'esperimento con un target tridimensionale per valutare eventuali peggioramenti del risultato; 2) è fondamentale allargare il *range* dell'esperimento, qui limitato a 2-20 m, per validare il risultato su distanze maggiori (più rappresentative dei rilievi in ambito ambientale); 3) è interessante ripetere l'esperimento utilizzando un gamma più varia di fotocamere per comprendere se, nella ricerca di un limite di risoluzione ottenibile, la dimensione del pixel a terra sia effettivamente più influente rispetto ad altre caratteristiche delle fotocamere stesse.

Per quanto concerne il punto (1), è già stato costruito un target (figura 6) identico in tutto e per tutto al precedente ma con il valore aggiunto dello spessore degli elementi. Esso è stato realizzato presso il laboratorio del Dipartimento di Fisica dell'Università di Bologna con strumenti di precisione per il taglio degli elementi solidi e conseguente installazione sul pannello. In figura 7 è mostrata la nuvola di punti ottenuta da un rilievo eseguito da 1 m di distanza dal centro del target. Il lavoro è in via di esecuzione e sarà realizzato nei mesi a venire.

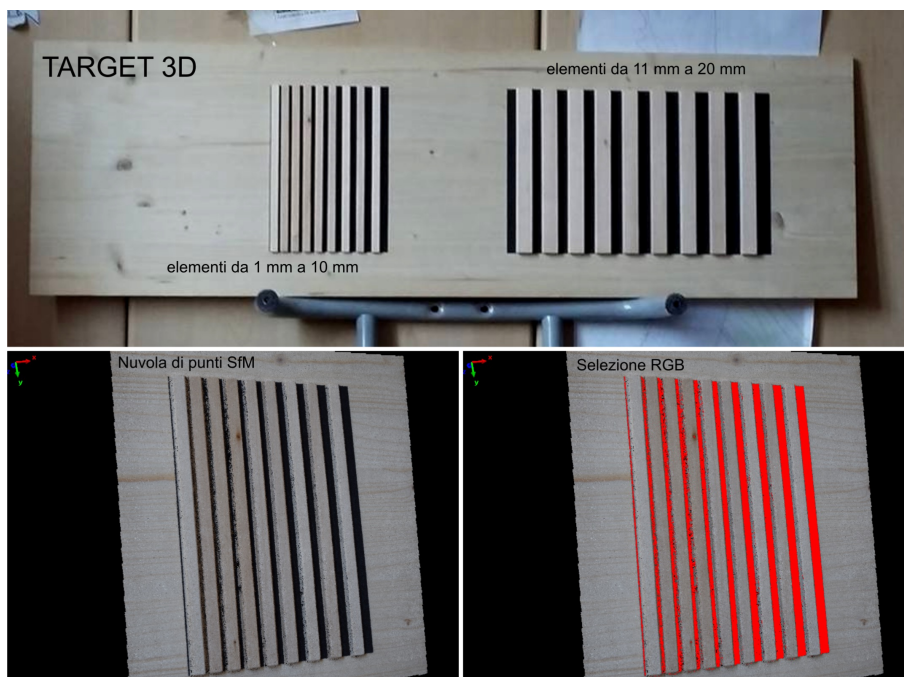


Figura 6. Nuovo target con elementi 3D.

Bibliografia

- Agisoft, (2017). *Descrizione del pacchetto software PhotoScan*. Disponibile online all'indirizzo: <http://www.agisoft.com/> (ultimo accesso: 11.10.2017).
- Granshaw S.I., Fraser C.S., (2015). *Editorial: Computer Vision and Photogrammetry: Interaction or Introspection?* Photogrammetric Record, 30(149), 3-7.
- Innovmetric, (2017). *Descrizione del pacchetto software PolyWorks*. Disponibile online all'indirizzo: <http://www.innovmetric.com>
- Micheletti N., Chandler J.H., Lane S.N., (2015). *Structure from Motion (SfM) photogrammetry*. Sec. 2.2, in: Cook S.J., Clarke L.E., Nield J.M. (Eds.), *Geomorphological Techniques*. British Society of Geomorphology, London. Disponibile online all'indirizzo: http://www.geomorphology.org.uk/sites/default/files/geom_tech_chapters/2.2.2_sfm.pdf
- Pesci A., Stefanelli P., Bisson M., Muccini F., Carmisciano C., (2016a). *Integrazione di dati laser scanning e fotogrammetrici per il monitoraggio delle coste: i primi rilievi TLS terrestri per il progetto SCANCOAST*. Rapporti Tecnici INGV, n. 330.
- Pesci A., Teza G., Bisson M., Muccini F., Stefanelli P., Anzidei M., Carluccio R., Nicolosi I., Galvani A., Sepe V., Carmisciano C (2016b). *A fast method for monitoring the coast through independent photogrammetric measurements: application and case study*. Journal of Geosciences and Geomatics, 4 (4), 73-81. DOI:10.12691/jgg-4-4-1.
- Pesci A., Teza G., (2016). *Precisione della nuvola di punti SfM: considerazioni e test*. Rapporti Tecnici INGV, n. 339.
- Pesci, A., Teza, G., Ninfo, A., Ferrulli, C., Bonali, E. (2015). *Telerilevamento speditivo mediante laser scanning e moderne tecniche di fotogrammetria digitale*. Rapporti Tecnici INGV 319.
- Pesci A., Teza G., Bonali E. (2011). *Terrestrial laser scanner resolution: numerical simulations and experiments on spatial sampling optimization*. Remote Sensing, 3(1), 167-184.
- Remondino F., Spera M.G., Nocerino E., Menna F., Nex F., (2014). *State of the art in high density image matching*. Photogrammetric Record, 29(146), 144-166.
- Rusnák M., Sládek J., Buša J., Greif V., (2016). *Suitability of digital elevation models generated by uav photogrammetry for slope stability assessment (case study of landslide in Svätý Anton, Slovakia)*. Acta Scientiarum Polonorum, 15(4), 439-449.

- Sun Y., Zhao L., Zhou G. and Yan L., (2016). *Absolute Orientation Based on Distance Kernel Functions*. Remote Sensing, 8 (3). 213-231.
- Teza G., Pesci A., Ninfo A., (2016). *Morphological analysis for architectural applications: comparison between laser scanning and Structure-from-Motion photogrammetry*. Journal of Survey Engineering, 10.1061/(ASCE)SU.1943-5428.0000172, 04016004.
- Travelletti J., Delacourt C., Allemand P., Malet J.P., Schmittbuhl J., Toussaint R., Bastard M., (2012). *Correlation of multi-temporal ground-based optical images for landslide monitoring: Application, potential and limitations*. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 70, 39–55.
- Westoby M.J., Brasington J., Glasse, N.F., Hambrey M.J., Reynolds J.M., (2012). *'Structure-from-Motion' photogrammetry: A low-cost, effective tool for geoscience applications*. Geomorphology, 179, 300-314.

Quaderni di Geofisica

ISSN 1590-2595

<http://istituto.ingv.it/it/le-collane-editoriali-ingv/quaderni-di-geofisica.html>

I Quaderni di Geofisica coprono tutti i campi disciplinari sviluppati all'interno dell'INGV, dando particolare risalto alla pubblicazione di dati, misure, osservazioni e loro elaborazioni anche preliminari, che per tipologia e dettaglio necessitano di una rapida diffusione nella comunità scientifica nazionale ed internazionale. La pubblicazione on-line fornisce accesso immediato a tutti i possibili utenti. L'Editorial Board multidisciplinare garantisce i requisiti di qualità per la pubblicazione dei contributi.

Rapporti tecnici INGV

ISSN 2039-7941

<http://istituto.ingv.it/it/le-collane-editoriali-ingv/rapporti-tecnici-ingv.html>

I Rapporti Tecnici INGV pubblicano contributi, sia in italiano che in inglese, di tipo tecnologico e di rilevante interesse tecnico-scientifico per gli ambiti disciplinari propri dell'INGV. La collana Rapporti Tecnici INGV pubblica esclusivamente on-line per garantire agli autori rapidità di diffusione e agli utenti accesso immediato ai dati pubblicati. L'Editorial Board multidisciplinare garantisce i requisiti di qualità per la pubblicazione dei contributi.

Miscellanea INGV

ISSN 2039-6651

<http://istituto.ingv.it/it/le-collane-editoriali-ingv/miscellanea-ingv.html>

La collana Miscellanea INGV nasce con l'intento di favorire la pubblicazione di contributi scientifici riguardanti le attività svolte dall'INGV (sismologia, vulcanologia, geologia, geomagnetismo, geochimica, aeronomia e innovazione tecnologica). In particolare, la collana Miscellanea INGV raccoglie reports di progetti scientifici, proceedings di convegni, manuali, monografie di rilevante interesse, raccolte di articoli, ecc.

Coordinamento editoriale e impaginazione

Centro Editoriale Nazionale | INGV

Progetto grafico e redazionale

Daniela Riposati | Laboratorio Grafica e Immagini | INGV

© 2017 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