

Rapporti tecnici INGV

**Precisione della nuvola di punti SfM:
considerazioni e test**

339



Direttore Responsabile

Stefano GRESTA

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 (INGV-RM2)

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)



Rapporti tecnici INGV

PRECISIONE DELLA NUVOLA DI PUNTI SFM: CONSIDERAZIONI E TEST

Arianna Pesci¹, Giordano Teza²

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

²Università degli Studi di Padova (Dipartimento di Geoscienze)

339

Indice

Introduzione	7
1. Immagini digitali e nuvole di punti	8
1.1 Rilievo fotogrammetrico	8
1.2 Rilievo TLS	10
1.3 Nuvole di punti SfM	10
1.4 Verifica nuvole SfM	12
2. Confronto soluzioni SfM	13
2.1 Statistica delle differenze	14
3. Conclusioni e sviluppi futuri	15
Bibliografia	17

Introduzione

L'obiettivo di questo lavoro è mostrare i primi risultati di un approccio sperimentale realizzato per stimare la precisione tipica che è possibile conseguire nell'ambito del telerilevamento mediante sistemi di fotogrammetria digitale *Structure from Motion* (SfM).

Come evidenziato da [Granshaw e Fraser, 2015], la fotogrammetria SfM differisce dalla fotogrammetria digitale tradizionale per due innovazioni significative, vale a dire: (1) l'uso dell'algoritmo SIFT (*Scale Invariant Feature Transform*) [Lowe, 1999], o di altro algoritmo per l'individuazione automatica dei punti corrispondenti in immagini di uno stesso oggetto acquisite da posizioni diverse, e (2) la tecnica RANSAC (*RANdom SAMple Consensus*) [Fisher e Bolles, 1981], utilizzata per la verifica delle corrispondenti individuate e, in particolare, la soppressione delle false corrispondenze. Tali innovazioni consentono la registrazione completamente automatica in uno stesso sistema di riferimento delle immagini rilevate ai fini della successiva ricostruzione fotogrammetrica. In particolare, l'algoritmo SIFT, del tipo *feature based*, individua in modo automatico i punti omologhi tra due immagini mediante: (i) riconoscimento di particolari (ad esempio spigoli, vertici) mediante operatori morfologici; (ii) memorizzazione di dati rilevanti ai fini della descrizione dell'intorno di ciascun particolare individuato; (iii) confronto tra gli intorni dei punti individuati nelle singole immagini e individuazione dei punti omologhi. Altri algoritmi di registrazione automatica, di tipo *area-based*, operano il riconoscimento automatico di aree corrispondenti in immagini diverse considerando direttamente i valori di intensità. Si deve comunque precisare che non tutti i produttori di pacchetti software per la fotogrammetria dichiarano il tipo di algoritmo da essi implementato. Interessanti considerazioni su diversi pacchetti per la fotogrammetria SfM, incluso un confronto critico tra le corrispondenti prestazioni e con enfasi sugli algoritmi utilizzati per la registrazione automatica, possono trovarsi in [Remondino et al., 2015].

Trattandosi di procedure che ricercano e verificano in modo pressoché completamente automatico delle corrispondenze tra immagini digitali, è requisito fondamentale che il rilievo delle aree di interesse avvenga in modo rapido al fine di prevenire effetti indesiderati dovuti al moto apparente del Sole. Questo agisce, infatti, sia sulle ombre che possono interessare le superfici osservate, a disegnare pattern di forma e colore molto diversi, sia sulla maggiore o minore luminosità delle immagini a seconda degli orari in cui si effettua il rilievo. Tali effetti indesiderati possono condurre al mancato allineamento automatico delle immagini.

Il risultato del processamento fotogrammetrico delle immagini mediante SfM è una nuvola di punti molto densa e fotorealistica, da cui è possibile trarre un modello digitale 3D, del pari fotorealistico. In generale, è difficile fornire una valutazione dell'errore tipico perché una stima di esso non è prevista nel processo di ricostruzione fotogrammetrica. Tuttavia, le nuvole di punti possono essere trattate secondo le strategie comunemente utilizzate nell'ambito dell'analisi dati da laser a scansione terrestre (TLS) per estrarre informazioni utili a quantificare l'errore in parola. È necessario altresì sottolineare che ad una nuvola di punti SfM deve essere assegnato un fattore di scala affinché essa possa divenire la rappresentazione di un oggetto reale in un sistema metrico. Tale fattore di scala può essere gestito sia nella fase di allineamento delle immagini, cioè nella fase di registrazione delle stesse in uno stesso sistema di riferimento, dunque antecedentemente alla generazione della nuvola di punti (utilizzando quindi lo stesso pacchetto software della fotogrammetria), sia successivamente alla generazione della nuvola di punti in questione, eventualmente utilizzando un diverso pacchetto software.

Vari autori hanno già affrontato la questione delle prestazioni dell'SfM anche in riferimento al confronto rispetto alle prestazioni del TLS utilizzato in analoghe condizioni di osservazione. Ad esempio [Andrews et al., 2013] ha mostrato che l'uso di TLS e SfM ha portato a modelli digitali triangolati di un antico granaio molto simili; [Kustoudis et al., 2014] ha evidenziato che, se un'ampia serie di immagini è acquisita in opportuni condizioni di illuminazione, la fotogrammetria SfM permette di ottenere risultati di alta qualità anche per i monumenti caratterizzati da superfici complesse. Inoltre, [Teza et al., 2016] ha evidenziato che le prestazioni di TLS e SfM sono analoghe anche nella generazione di nuvole di punti finalizzate all'esecuzione dell'analisi morfologica di un edificio storico, a patto che i punti a vista del rilievo fotogrammetrico siano ben distribuiti spazialmente.

Le elaborazioni presentate in questo lavoro sono realizzate mediante il software PhotoScan [Agisoft, 2015], per l'analisi delle immagini digitali e l'estrazione delle nuvole di punti, e mediante il software PolyWorks [Innovmetric, 2015] per il calcolo del fattore di scala, per la registrazione delle nuvole in un comune sistema di riferimento e per il calcolo della mappa delle differenze tra modelli digitali.

1. Immagini digitali e nuvole di punti

L'oggetto del rilievo fotogrammetrico qui descritto è il portale della basilica di Santo Stefano (Bologna), famosa per essere un intreccio di sette edifici di culto sorprendentemente incastonati l'uno nell'altro. In un lavoro precedente l'intera facciata della basilica è stata utilizzata per effettuare un confronto tra il rilievo TLS e quello SfM mettendo in evidenza la grande versatilità della metodologia fotogrammetrica nella restituzione di modelli tridimensionali [Pesci et al., 2015]. In quel frangente è stato interessante notare come si sia rivelato efficace utilizzare la lunghezza di polilinee estratte dalle nuvole di punti per correggere la scala dello spazio relativo nel quale il software inserisce le coordinate dei punti ottenute dalle analisi delle immagini digitali e renderle così reali e misurabili.

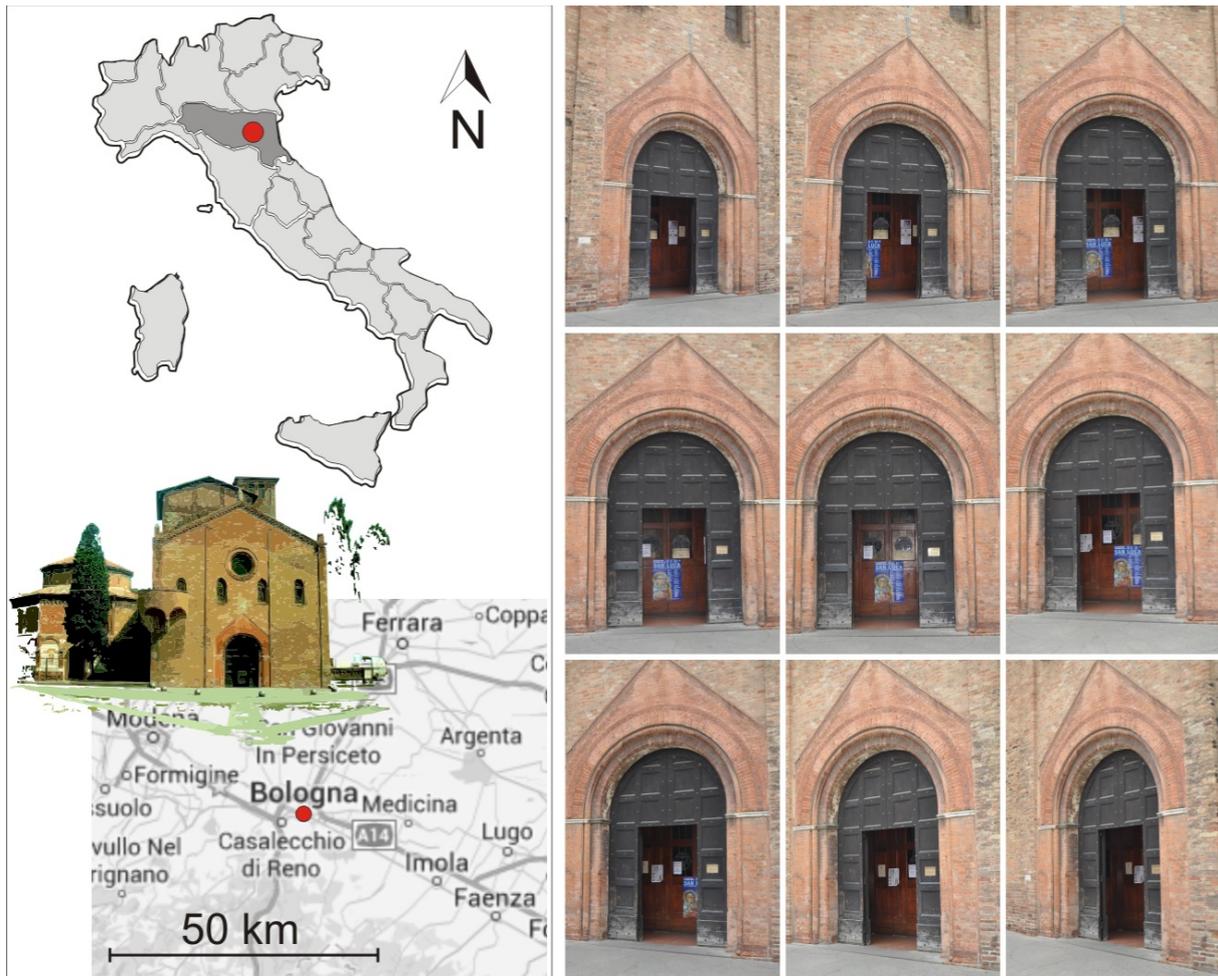


Figura 1. Area di studio e immagini del portale di Santo Stefano (Bologna). Le nove foto sono state acquisite in un intorno vicino al prospetto da varie angolazioni per una copertura completa.

1.1 Rilievo fotogrammetrico

Il rilievo fotogrammetrico è stato eseguito utilizzando la camera professionale ad alte prestazioni Nikon D200 i cui dettagli principali sono riassunti in tabella 1. Sono state scattate 9 foto da posizioni ottimali in cui la camera, fissata su cavalletto, è stata mantenuta ad una distanza di circa 20 m dal portale e spostata secondo un tragitto pressoché regolare di forma semicircolare. La camera ha operato in modalità automatica, con focale fissa (35 mm) e tempo di esposizione 1/250 s. Ogni scatto ha permesso di rappresentare la totalità dell'area di interesse e garantendo una piena sovrapposizione tra le immagini in termini di contenuto informativo (figura 1). In questo modo viene ottimizzata la procedura di estrazione automatica dei punti omologhi necessari agli allineamenti ed alle operazioni di generazione delle nuvole di punti dai modelli fotogrammetrici, ed è del pari aumentata la densità di punti della nuvola di punti finale. Il tempo necessario

per il rilievo è stato di circa 10 minuti, in considerazione dei tempi di attesa necessari per acquisire le immagini in assenza di passanti.

Modello	Unità di misura	Nikon D5000
Sensore		CMOS
Matrice di pixel	px x px	4288 x 2848
Risoluzione orizzontale	Mpx	12.2
Risoluzione verticale	dpi	300
Profondità	dpi	300
Profondità	bit	24
Distanza focale	mm	32
Numero f		f/5.6
Esposizione	S	1/125
Sensibilità	ISO	220

Tabella 1. Caratteristiche principali della fotocamera utilizzata. Numero f , tempo di esposizione e sensibilità si intendono riferiti alle specifiche condizioni di impiego.

La figura 2 riporta il grafico della dimensione del pixel a terra di un'immagine ottenuta con tale fotocamera, l_{px} (espressa in m), in funzione della distanza di acquisizione d . Tale dimensione può calcolarsi, in linea teorica, dalla relazione $l_{px} = l_s \cdot d / (f \cdot n_{px})$, dove l_s è la dimensione fisica del sensore (m), n_{px} il corrispondente numero di pixel e f è la focale (m). Essa si riferisce alla risoluzione spaziale dell'immagine fotografica e non coincide necessariamente con la risoluzione spaziale della fotogrammetria, se non nel caso in cui vi sia un'adeguata sovrapposizione tra le immagini acquisite da punti di vista adiacenti. Tale dimensione rappresenta quindi una buona indicazione della risoluzione e della precisione che possono raggiungersi con la tecnica SfM poiché rappresenta un limite inferiore al di sotto del quale non è possibile osservare un dettaglio pur con un forte sovracampionamento. Fermo restando tale limite inferiore, si deve comunque precisare che colore (in particolare, contrasto di colore) e tipo della superficie osservata influenzano anch'essi la precisione della nuvola di punti finale. I valori, per distanze di circa 20 m, si aggirano sui 2 mm. Nello stesso grafico è altresì mostrata la risoluzione spaziale, s'intende in condizioni di incidenza normale, in funzione della distanza per un rilievo TLS eseguito con lo strumento Optech ILRIS 3D [Optech, 2015], come già descritta in [Pesci et al., 2011].

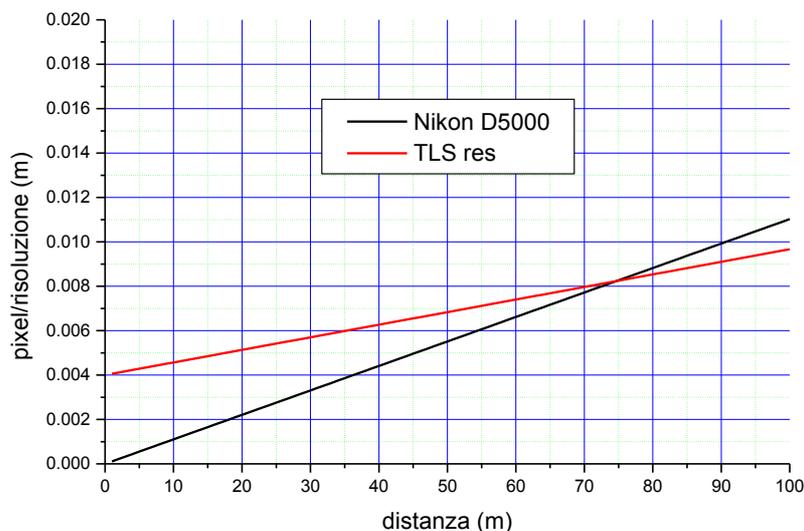


Figura 2. Dimensione del pixel a terra in base alla distanza di acquisizione delle immagini. Inoltre (linea rossa) si mostra la risoluzione raggiungibile mediante rilievo TLS con l'utilizzo dello strumento ILRIS 3D.

1.2 Rilievo TLS

Il rilievo di dettaglio della facciata di Santo Stefano è stato realizzato già nel 2011 nell'ambito di una tesi di laurea magistrale in Ingegneria Edile/Architettura presso l'Ateneo di Bologna per uno studio urbanistico mediante telerilevamento TLS alle diverse scale di indagine. In quel contesto era stato utilizzato lo strumento Optech ILRIS 3D, acquisendo il prospetto di interesse da una distanza di circa 30 m con un passo di campionamento medio di 6-8 mm mediante una singola scansione, fornendo quindi una nuvola di punti le cui coordinate erano assegnate in uno stesso sistema di riferimento relativo (figura 3). Il tempo necessario per eseguire la misura era stato di circa 15/20 minuti, peraltro tempo tipico per una misura veloce da effettuare anche in situazione di emergenza. La verticalità dei dati era stata assicurata dall'uso di una base di alluminio dotata di bolla, montata su treppiede e sulla quale è possibile agganciare lo strumento, rendendone possibile la rotazione attorno agli assi orizzontale e verticale fino a raggiungere la posizione più opportuna mediante semplici e controllati passi operativi [Pesci et al., 2015].

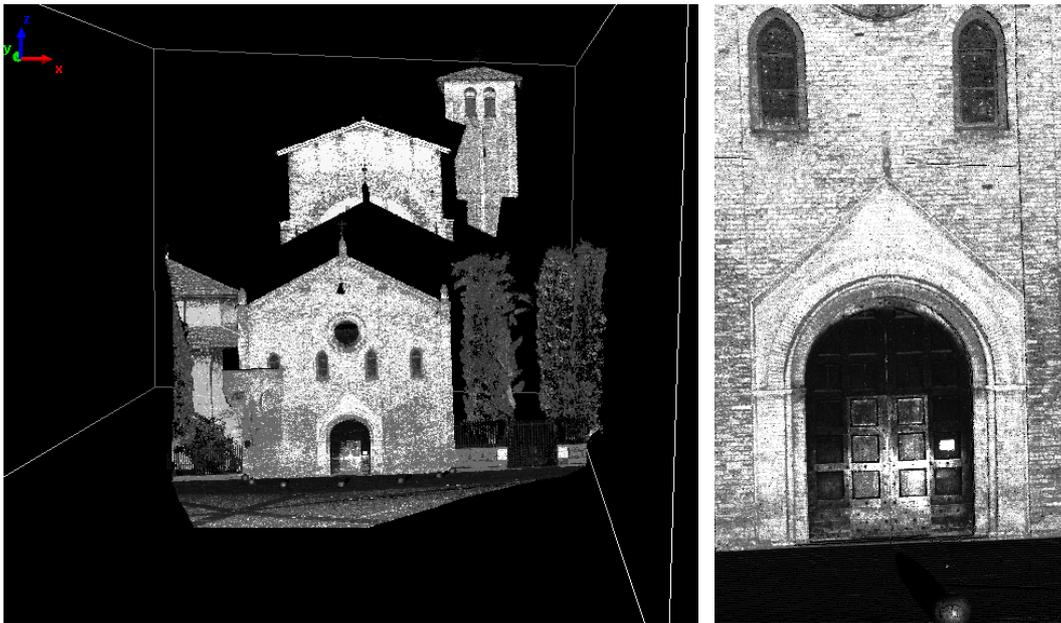


Figura 3. Nuvola di punti complessiva di piazza Santo Stefano in Bologna e singola scansione della Chiesa del Crocefisso e zone limitrofe comprese nel campo di vista, ottenute mediante laser scanner.

1.3 Nuvole di punti SfM

Le immagini descritte sono state utilizzate per generare, mediante la procedura implementata in PhotoScan, un totale di 8 nuvole di punti SfM che differiscono, in sostanza, per la quantità di immagini utilizzate e per la loro distribuzione nello spazio. Nella figura 4 si mostrano tutti i casi considerati cui viene associato un nome. Il modello ottenuto con l'utilizzo di tutte le 9 immagini disponibili è indicato con TOT, mentre con le lettere dalla A alla G sono indicati gli altri casi, che corrispondono ad un numero minore di immagini utilizzate. Il modello TOT, chiaramente, verrà nel seguito utilizzato come modello di riferimento in quanto rappresenta il caso migliore ottenuto dall'elaborazione di 9 immagini completamente sovrapponibili le une alle altre e acquisite secondo una buona geometria di rilievo. Gli altri casi, invece, mostrano situazioni eterogenee in cui per numero di immagini e per distribuzioni più o meno ottimali ci si aspettano risultati differenti in termini di precisione, densità e ripetibilità. Si precisa che PhotoScan dispone del *Camera Optimization Wizard* che, dato un insieme sovrabbondante di immagini, ricerca ed esclude dal processo di allineamento e quindi di modellazione della nuvola di punti quelle immagini che, per posizione e orientamento, sono troppo simili ad altre e quindi non danno luogo ad un incremento di informazione. L'obiettivo del presente lavoro è fornire indicazioni operative ai fini della pianificazione ed esecuzione di un rilievo fotogrammetrico e, in particolare, evidenziare il decadimento qualitativo delle nuvole di punti per effetto di una scelta inappropriata delle posizioni di ripresa. Per tale motivo, non si è fatto ricorso alla citata procedura guidata di ottimizzazione disponibile in PhotoScan.

Operativamente, la procedura seguita è articolata in: 1) caricamento delle immagini scelte in PhotoScan; 2) elaborazione delle immagini e calcolo automatico di posizione ed orientamento delle camere; 3) creazione delle nuvole di punti (densità scelta in tutti i casi qui trattati: high); 4) calcolo del fattore di scala per attribuire le necessarie caratteristiche metriche delle nuvole di punti; 5) rototraslazione delle nuvole di punti per inserirle in uno stesso sistema di riferimento (ortogonale). Il punto 5 è fondamentale per potere effettuare confronti diretti tra le coordinate delle nuvole di punti al fine di valutarne eventuali differenze. Ciò è stato possibile grazie alla disponibilità dei dati TLS, cioè di una nuvola di punti realistica e registrata in un sistema di riferimento esterno, nella quale è stato semplice individuare particolari architettonici per creare una polilinea chiusa e calcolarne la lunghezza. Il rapporto tra il perimetro della polilinea TLS e delle polilinee ottenute congiungendo gli stessi particolari architettonici sui modelli SfM fornisce la correzione da applicare a questi ultimi per renderli metrici. L'allineamento finale delle nuvole di punti è stato eseguito in PolyWorks.

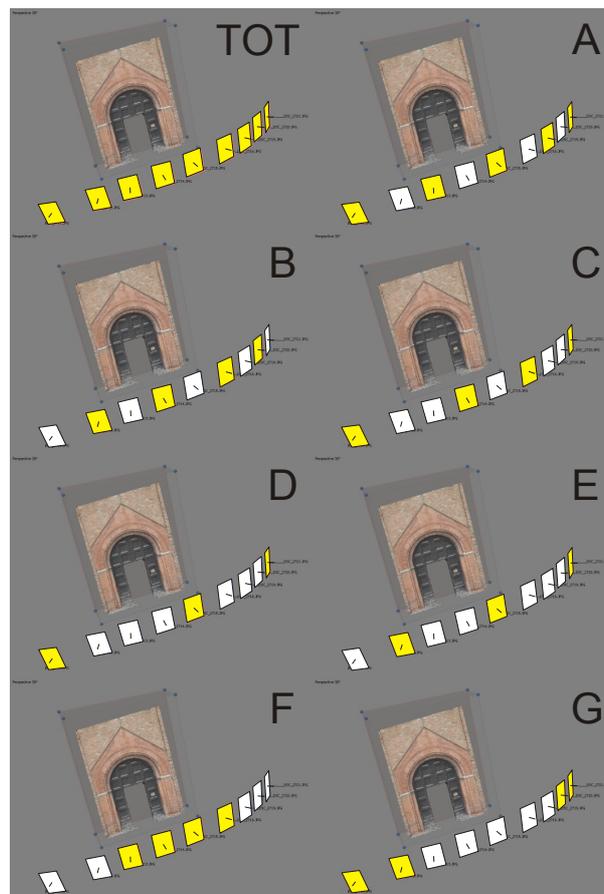


Figura 4. Le nuvole di punti SfM ottenute in base all'utilizzo di tutte le immagini o di un sottogruppo di esse (per ciascun caso le immagini utilizzate sono evidenziate in giallo). La figura è stata creata utilizzando l'interfaccia di PhotoScan.

Nella figura 5 è mostrata la nuvola di punti TLS e la polilinea che, di fatto, incornicia il portale. Inoltre le nuvole di punti SfM sono mostrate per mettere in evidenza la differenza di scala. Nell'esempio specifico la lunghezza reale estratta dalla nuvola di punti TLS è di 17.743 m mentre quella SfM risulta 9.3994 u, con cui si indica l'unità di misura ignota. Il rapporto percentuale tra queste lunghezze corrisponde a circa 188.79% che, applicato come fattore di correzione a tutti i punti della nuvola SfM, consente di normalizzarne i valori e quindi renderla metrica, cioè avere il metro come unità di misura (il rapporto è qui espresso in percentuale, dove, ad esempio, 100% corrisponde a "scala inalterata" e 200% a "scala raddoppiata", in armonia con il fatto che il rapporto è così espresso in PolyWorks). La procedura è stata ovviamente applicata a tutte le nuvole di punti utilizzate, cioè a tutti gli 8 casi (vedi tabella 2).



Figura 5. Nuvola di punti SfM “TOT” (a sinistra), con scala non reale, e nuvola di punti TLS (a destra), con dati metrici e realistici, su cui sono riportate le polilinee corrispondenti.

	TLS	TOT	A	B	C	D	E	F	G
# foto	---	9	5	4	5	4	3	4	4
L (m)	17.743	9.3994	5.479	5.981	5.047	2.7655	1.8726	12.106	11.405
RMS (m)	0.008	0.0026	0.009	0.004	0.003	0.0019	0.0028	0.006	0.0026
SfM/TLS %	---	323.87	296.68	351.57	641.59	947.54	146.57	155.57	188.77

Tabella 2. Lunghezza totale (L) delle polilinee estratte dalle nuvole di punti TLS e da quelle SfM per tutti gli otto casi considerati. Sono altresì riportati, per ciascun caso, il numero di immagini considerate e l’errore della misura di L (RMS , ossia scarto quadratico medio) calcolato da una statistica effettuata estraendo 10 volte tali valori.

1.4 Verifica nuvole SfM

Per verificare la correttezza della procedura utilizzata sono state calcolate le differenze tra la nuvola di punti TLS e tutte le nuvole estratte mediante SfM e trasformate secondo i passaggi sopra descritti, ossia TOT, A, B, C, D, E, F e G. La nuvola di punti TLS è una nuvola di punti organizzata, ossia non è una mera lista di punti ma è organizzata in modo analogo ad un’immagine e quindi, in particolare, dispone dell’informazione sui vicini di un dato punto; ciò rende il confronto tra una nuvola SfM (esportata da PhotoScan quale nuvola non organizzata in formato ASCII) e la nuvola TLS possibile e computazionalmente agevole. Nella figura 6 sono riportate le mappe delle differenze SfM-TLS tra le coordinate dei punti. Considerato che il rilievo TLS è stato effettuato nel 2011 mentre le misure SfM sono relative al 2015 non desta stupore il fatto che la porta in legno sembri spostata di alcuni centimetri. Si tratta di elemento che viene mosso in varie occasioni e che, nel lasso di tempo considerato, è stato anche rimosso e restaurato. Le differenze tra i punti che appartengono alle parti in muratura, al contrario, mostrano valori distribuiti attorno allo zero con piccole deviazioni limitate ad alcuni millimetri (figure 6 e 7).

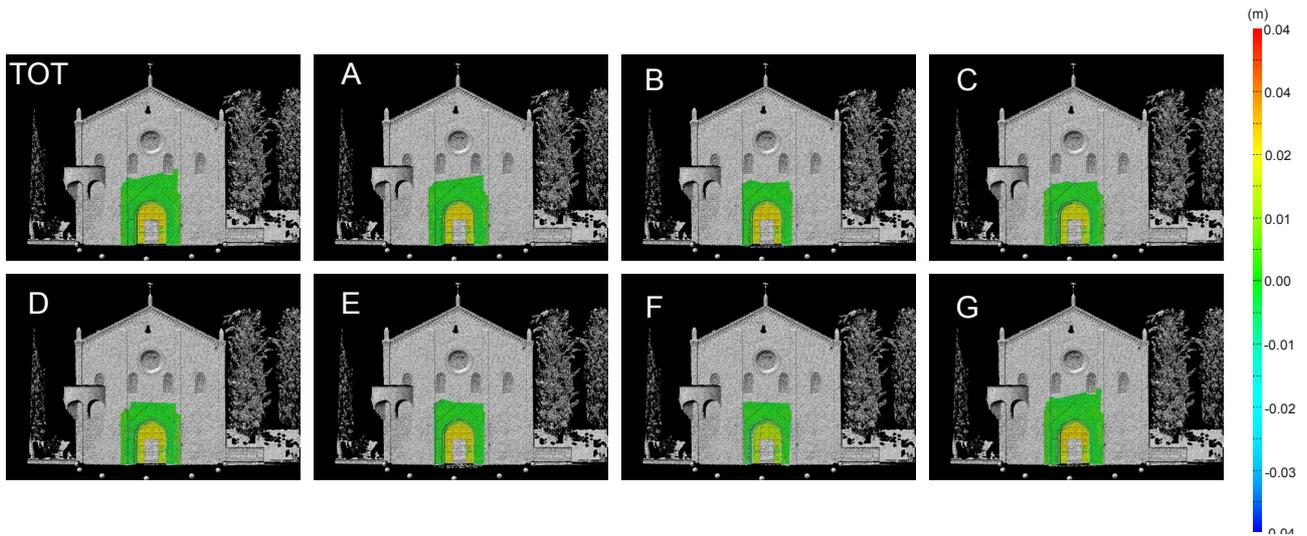


Figura 6. Differenze tra le nuvole di punti SfM e la scansione TLS. Le parti in muratura mostrano valori distribuiti sullo zero.

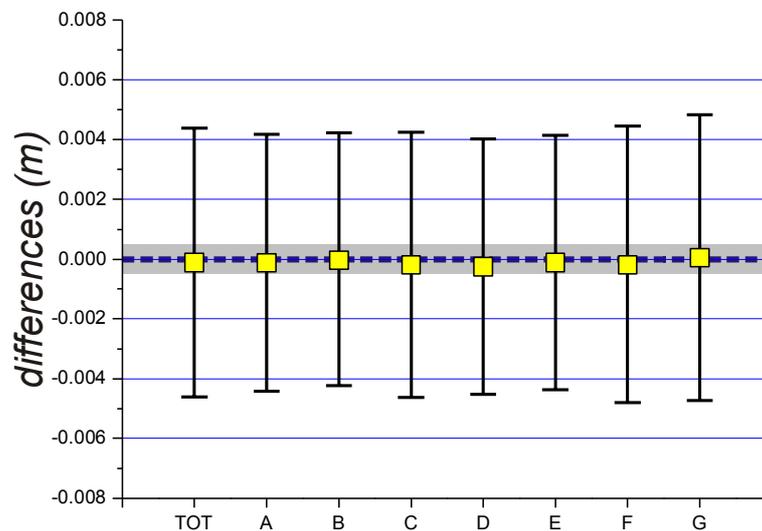


Figura 7. Statistica delle differenze SfM-TLS: medie e deviazioni standard per tutti i casi considerati. I valori sono ottenuti considerando solo le parti di muratura.

2. Confronto soluzioni SfM

La prima fase di elaborazione dati, descritta nel capitolo precedente, era finalizzata alla creazione delle nuvole di punti SfM per tutti gli 8 casi considerati, ed a valutarne le differenze rispetto al TLS, ossia a verificarne la realistica, che si è osservata essere buona. Nel presente capitolo si intende invece discutere sulla qualità dei modelli SfM estratti per i casi di cui sopra confrontandoli con il modello di riferimento che, in questo caso, è il modello ottenuto dall'elaborazione di tutte le nove immagini acquisite, ossia la nuvola di punti TOT (figure 4 e 8), correttamente scalata, resa organizzata e registrata nel sistema di riferimento TLS. L'obiettivo è quindi valutare la degradazione dei risultati in termini di precisione e risoluzione al variare del numero di immagini utilizzate e della loro posizione spaziale reciproca. Non verrà invece qui ulteriormente utilizzata la nuvola di punti TLS poiché, di fatto, è stata acquisita con un passo medio di campionamento di circa 5 mm e risulta, quindi, meno definita rispetto ai modelli fotogrammetrici in termini di densità di informazione nell'area del portale.

Seguendo la strategia operativa di allineamento dati mediante algoritmo ICP abitualmente utilizzata per l'analisi e l'ispezione delle scansioni da TLS, il modello di riferimento (TOT) è stato confrontato con tutti i modelli ottenuti negli otto casi (A, B, C, D, E, F e G). Trattandosi di immagini acquisite da una

distanza pressoché costante utilizzando la stessa camera digitale e operando nella stessa condizione di illuminazione solare, i fattori in gioco sono sostanzialmente due: la quantità di immagini utilizzate e la posizione di scatto dei fotogrammi. Nella figura 8 sono mostrate le mappe delle differenze tra nuvole di punti e si riporta, per facilitare la lettura, lo schema delle immagini utilizzate per costruire il modello.

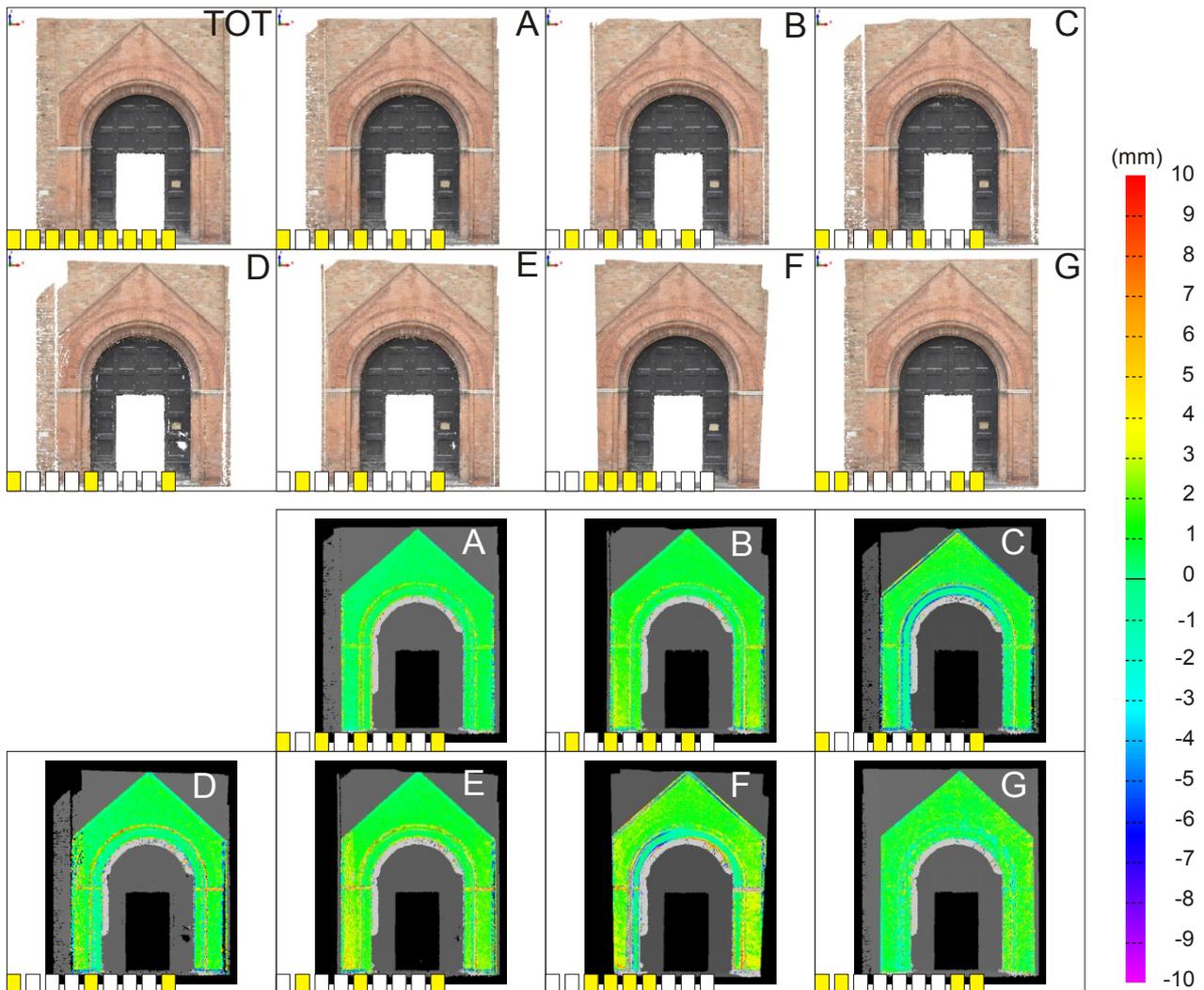


Figura 8. Modelli SfM e mappe delle differenze tra le nuvole di punti dei sottocasi (A-G) e la nuvola di punti di riferimento (TOT).

2.1 Statistica delle differenze

I valori delle differenze tra le coordinate dei punti appartenenti agli otto casi considerati con il modello migliore (TOT) sono stati estratti e analizzati. In particolare la distribuzione statistica è stata ottenuta mostrando valori distribuiti attorno allo zero e con deviazioni di pochi millimetri. Nella figura 9 sono mostrate le medie e l'errore delle differenze per le componenti x , y e z delle coordinate. Le differenze più rilevanti, seppure contenute in pochi millimetri, sono sulla coordinata y che, nel caso specifico, è la direzione normale alla facciata (figura 9). Il caso peggiore è il caso F cioè la situazione in cui gli scatti fotografici sono realizzati da posizioni molto vicine tra loro. In realtà, le mappe delle differenze (fig. 8) evidenziano pattern di valori che indicano una non perfetta rappresentazione nonostante dal punto di vista della statistica descrittiva non risultino variazioni rilevanti. Ciò perché tale statistica non considera le parti con vuoti o molto poco dense. Questo può essere spiegato anche osservando più nel dettaglio i modelli SfM che, in base alle proprietà del rilievo, sono rappresentazioni più o meno buone della realtà in funzione della distribuzione spaziale dei punti di osservazione.

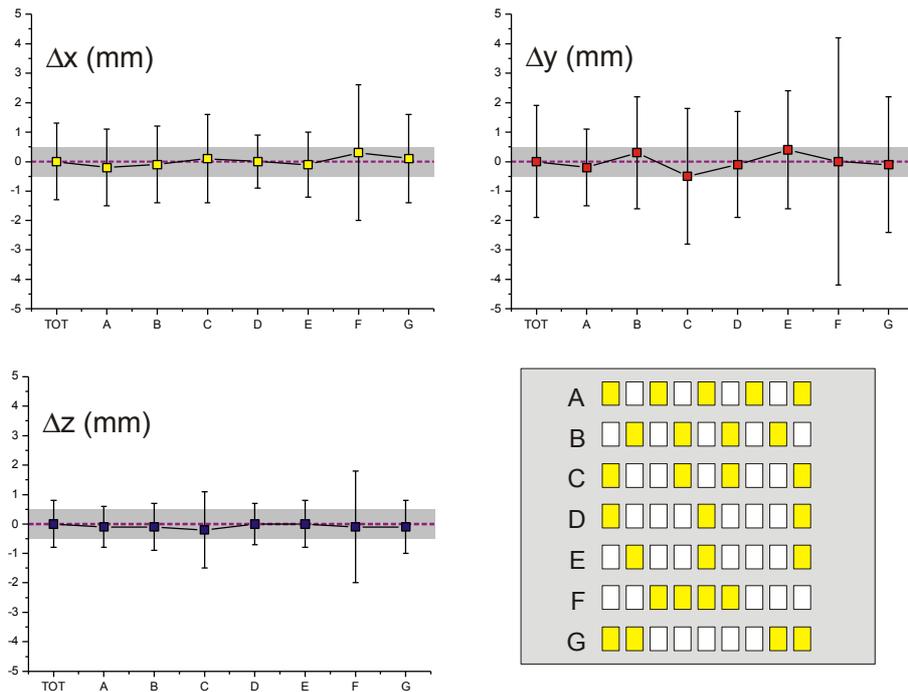


Figura 9. Statistica delle differenze tra i modelli SfM e schema delle immagini per i casi considerati.

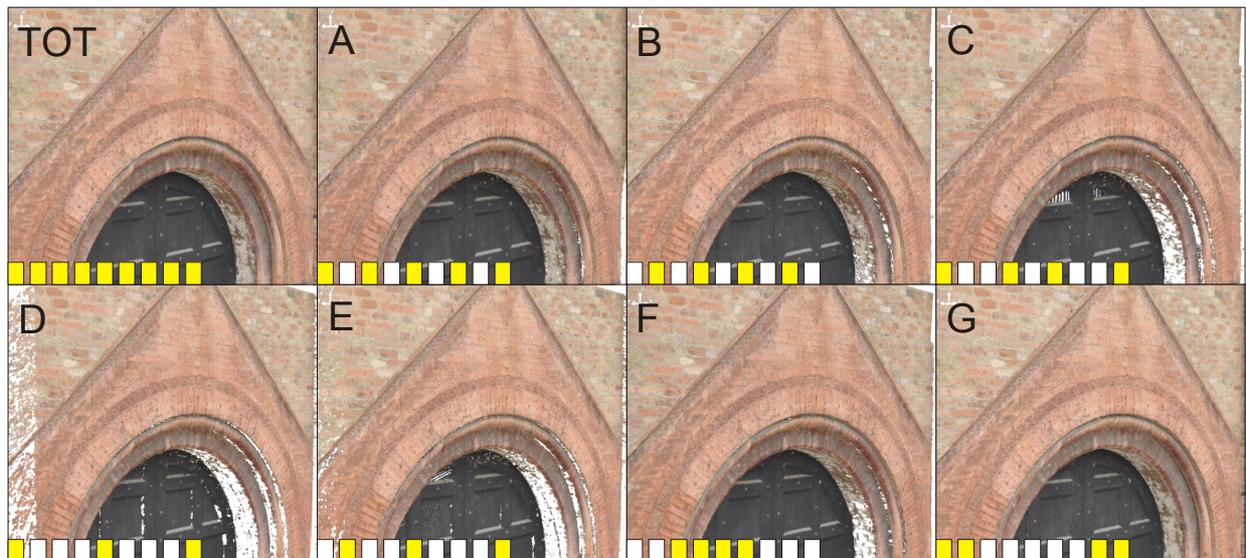


Figura 10. Zoom modelli SfM. È importante notare che in alcuni casi (C, D, E, F) si osserva una zona di dato mancante in corrispondenza delle rientranze nell'arco prossimo al portone in legno.

3. Conclusioni e sviluppi futuri

Il presente lavoro riguarda un caso molto particolare, ossia il portale di un edificio storico caratterizzato da una geometria sostanzialmente 2D, essendo i particolari secondo la terza dimensione di dimensioni mediamente molto minori rispetto a quelli delle altre due.

Un primo interessante risultato è la sostanziale corrispondenza tra la nuvola di punti da TLS e le nuvole di punti ottenute mediante SfM a partire da diversi sottoinsiemi delle immagini disponibili, fatto peraltro atteso dato anche quanto riportato in letteratura. Vale a dire che, a prescindere dalla quantità di coordinate estratte, i dati geometrici sono corretti.

I risultati mostrano che la statistica generale sulla differenza tra le anzidette nuvole di punti generate da SfM con un numero ridotto di immagini e la nuvola di punti ottenute utilizzando tutte le immagini disponibili è sempre molto buona, con scarti quadratici medi sempre ridotti a non più di qualche millimetro, ad indicare la bontà “in media” della descrizione ottenuta. Tuttavia, l’analisi della mappa delle differenze evidenzia l’insorgere di pattern di differenze non casuali, e ciò appare essere sempre più evidente man mano che viene ridotto il numero delle immagini a disposizione e/o viene peggiorata la loro distribuzione spaziale, come evidenzia la figura 8. Inoltre, la figura 10, che presenta degli ingrandimenti locali delle nuvole di punti, mostra come la riduzione del numero di immagini utilizzate faccia perdere dettagli.

Ne consegue che, nella pianificazione ed esecuzione del rilievo fotografico finalizzato a modellazione SfM, è necessario osservare una stessa area da diversi punti di vista; in linea di principio, la ricostruzione 3D a partire da immagini 2D richiederebbe almeno due immagini da punti di vista diversi, ma tale limite inferiore si riferisce ad una superficie estremamente semplice. In un rilievo reale si deve acquisire un rilevante numero di immagini bene distribuite, con enfasi sulla buona distribuzione spaziale, tenendo ovviamente conto del fatto che il rilievo deve essere rapido al fine di evitare effetti legati al cambiamento dell’illuminazione solare. Si confrontino infatti i casi B e C: in entrambi i casi sono state utilizzate 4 immagini su un totale di 9 disponibili: mentre nel caso C, in cui le posizioni di acquisizione sono ben distribuite “ad ampio ventaglio”, la degradazione rispetto a TOT è sostanzialmente limitata, nel caso B il ventaglio è più stretto e la degradazione è sensibile. È quindi importante distribuire adeguatamente i punti di osservazione.

Questo caso di studio ha riguardato una geometria prevalentemente 2D ma, in generale, un edificio o una porzione di ambiente naturale presenta una forma complessa, intrinsecamente 3D. I risultati qui ottenuti, pur interessanti dal punto di vista della valutazione delle prestazioni della fotogrammetria SfM in funzione del numero e della posizione di punti di vista nel caso del singolo prospetto di un edificio o di particolari architettonici, vanno quindi visti come preliminari e non indicativi di una condizione generale. Quindi, al fine di caratterizzare in modo significativo precisione e risoluzione in applicazioni SfM di tipo generale vanno progettati esperimenti ad hoc utilizzando target adatti a vari tipi di valutazione: a) completezza del modello; b) ripetibilità delle misure; c) precisione e accuratezza; d) risoluzione, e tutto ciò per strutture di tipo marcatamente 3D. A tale scopo è stato individuato un sito campione che consiste in una cabina servizi tecnologici di recente costruzione in muratura con mattoni a vista e dettagli facilmente misurabili anche a contatto, costruita in un parco cittadino senza ostacoli circostanti. In tal modo (schema in figura 11) l’oggetto può essere acquisito da posizioni differenti ed in modo regolare secondo una logica di angoli e distanze. La realizzazione del nuovo esperimento è prevista nel mese di Febbraio 2016 e sarà eseguito utilizzando la tecnologia TLS per effettuare nuove valutazioni anche per la parte di calcolo del fattore di scala a supporto delle misure a contatto cioè delle misure dirette delle grandezze e dimensioni degli oggetti rilevabili.

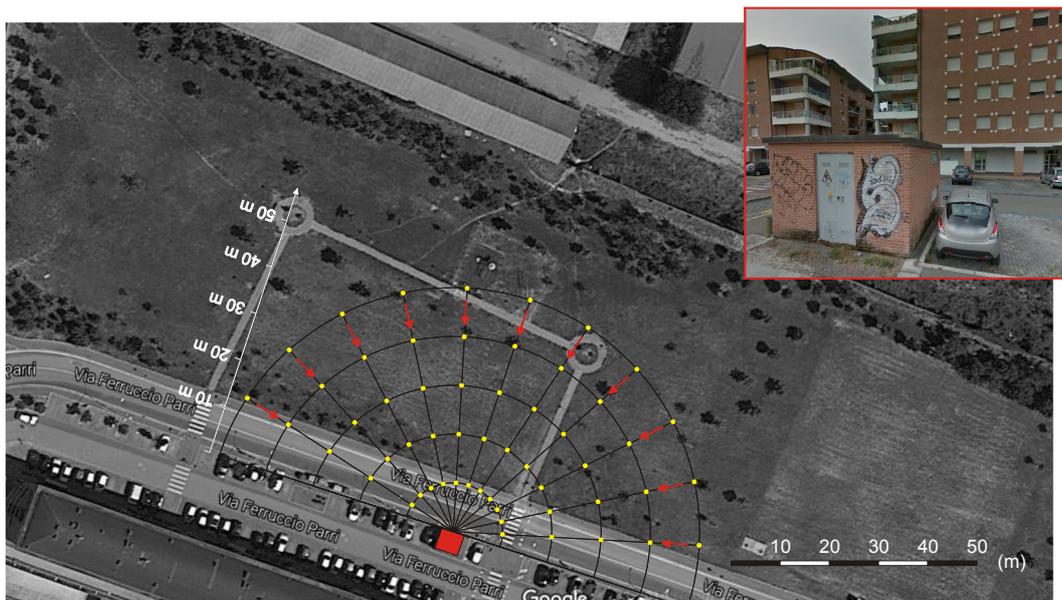


Figura 11. Schema del lavoro per l’esperimento futuro e dettaglio dell’oggetto del rilievo. Le frecce indicano la normale alla camera digitale durante lo scatto fotografico.

Bibliografia

- Agisoft, (2015). Descrizione del pacchetto software PhotoScan. Disponibile online all'indirizzo: <http://www.agisoft.com/> (ultimo accesso: 22.12.2015).
- Andrews, D.P., Bedford, J., Bryan, P.G., (2013). *A comparison of laser scanning and structure from motion as applied to the Great Barn at Harmondsworth, UK*. Proceedings of the XXIV International CIPA Symposium, Strasbourg, France, pp. 31–36.
- Fischler M.A., Bolles, R.C., (1981). *Random sample consensus: a paradigm for model fitting with applications to image analysis and automated cartography*. Communications of ACM, 24(6), 381–395.
- Granshaw S.I., Fraser, C.S., (2015). *Editorial: Computer Vision and Photogrammetry: Interaction or Introspection*. Photogrammetric Record, 30(149), 3–7.
- Innovmetric, (2015). Descrizione del pacchetto software PolyWorks. Disponibile online all'indirizzo: <http://www.innovmetric.com> (ultimo accesso: 22.12.2015).
- Koutsoudis A., Vidmar, B., Ioannakis, G., Arnaoutoglou, F., Pavlidis, G., Chamzas, C., (2014). *Multi-image 3D reconstruction data evaluation*. Journal of Cultural Heritage, 15(1), 73–79.
- Lowe D.G., (1999). *Object recognition from local scale-invariant features*, Proceedings of the International Conference on Computer Vision, vol. 2, pp. 1150–1157.
- Optech, (2015). Descrizione e brochure del laser scanner ILRIS 3D. Disponibile online all'indirizzo: <http://www.optech.com/index.php/product/optech-ilris/> (ultimo accesso: 20.03.2015).
- Pesci A., Teza, G., Ninfo, A., Ferrulli, C., Bonali, E., (2015). *Telerilevamento speditivo mediante laser scanning e moderne tecniche di fotogrammetria digitale*. Rapporto tecnico INGV 319, 21 pp.
- Pesci A., Teza, G., Bonali, E., (2011a). *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.
- 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.

Quaderni di Geofisica

ISSN 1590-2595

<http://istituto.ingv.it/l-ingv/produzione-scientifica/quaderni-di-geofisica/>

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/l-ingv/produzione-scientifica/rapporti-tecnici-ingv/>

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/l-ingv/produzione-scientifica/miscellanea-ingv/>

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

© 2016 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