



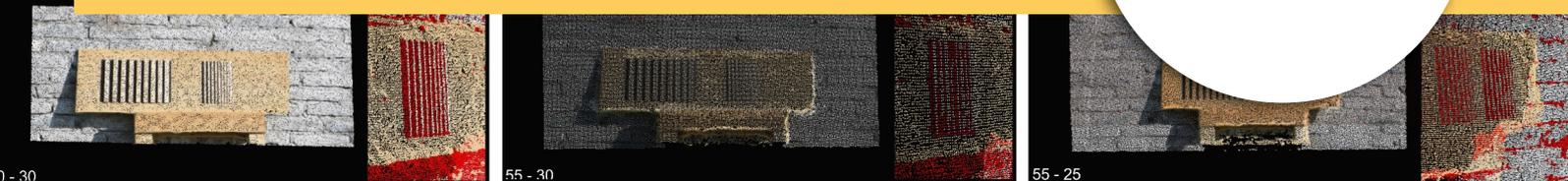
# RAPPORTI TECNICI INGV

Risoluzione della nuvola di punti SfM  
per rilievi a breve distanza:  
limiti e considerazioni



ISTITUTO NAZIONALE DI GEOFISICA E VULCANOLOGIA

449



### **Direttore Responsabile**

Valeria DE PAOLA

### **Editorial Board**

Luigi CUCCI - Editor in Chief (luigi.cucci@ingv.it)  
Raffaele AZZARO (raffaele.azzaro@ingv.it)  
Christian BIGNAMI (christian.bignami@ingv.it)  
Viviana CASTELLI (viviana.castelli@ingv.it)  
Rosa Anna CORSARO (rosanna.corsaro@ingv.it)  
Domenico DI MAURO (domenico.dimauro@ingv.it)  
Mauro DI VITO (mauro.divito@ingv.it)  
Marcello LIOTTA (marcello.liotta@ingv.it)  
Mario MATTIA (mario.mattia@ingv.it)  
Milena MORETTI (milena.moretti@ingv.it)  
Nicola PAGLIUCA (nicola.pagliuca@ingv.it)  
Umberto SCIACCA (umberto.sciacca@ingv.it)  
Alessandro SETTIMI (alessandro.settimi1@istruzione.it)  
Andrea TERTULLIANI (andrea.tertulliani@ingv.it)

### **Segreteria di Redazione**

Francesca DI STEFANO - Coordinatore  
Rossella CELI  
Robert MIGLIAZZA  
Barbara ANGIONI  
Massimiliano CASCONI  
Patrizia PANTANI  
Tel. +39 06 51860068  
redazione@ingv.it

**REGISTRAZIONE AL TRIBUNALE DI ROMA N.174 | 2014, 23 LUGLIO**

© 2014 INGV Istituto Nazionale  
di Geofisica e Vulcanologia  
Rappresentante legale: Carlo DOGLIONI  
Sede: Via di Vigna Murata, 605 | Roma



ISTITUTO NAZIONALE DI GEOFISICA E VULCANOLOGIA

# RAPPORTI TECNICI INGV

Risoluzione della nuvola di punti SfM per rilievi a breve distanza: limiti e considerazioni

*SfM point cloud resolution for close range applications: limits and considerations*

Alessandra Rossetti<sup>1</sup>, Arianna Pesci<sup>2</sup>, Fabiana Loddo<sup>2</sup>, Giordano Teza<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Università degli Studi di Ferrara, Dipartimento di Studi Umanistici

<sup>2</sup>INGV | Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, Sezione di Bologna

<sup>3</sup>Alma Mater Studiorum Università di Bologna, Dipartimento di Fisica e Astronomia "Augusto Righi"

Accettato 8 marzo 2022 | Accepted 8 March 2022

Come citare | How to cite Rossetti A., Pesci A., Loddo F., Teza G., (2022). Risoluzione della nuvola di punti SfM per rilievi a breve distanza: limiti e considerazioni. Rapp. Tec. INGV, 449: 1-18, <https://doi.org/10.13127/rpt/449>

In copertina Tutte le nuvole di punti ottenute dall'analisi delle immagini scattate dalle distanze tra 5 m e 30 m con le focali di 55 e 110 mm al target 3D. Nella colonna di destra sono mostrate le nuvole di punti del target 2D | All point clouds obtained, for the 3D target, by analyzing the images taken from distances between 5 m and 30 m with focal lengths of 55 and 110 mm. In the right column, the point clouds of the 2D target are shown

449



# INDICE

<b>Riassunto</b>	7
<i>Abstract</i>	7
<b>Introduzione</b>	7
<b>1. L'esperimento</b>	9
<b>2. Analisi e risultati</b>	11
<b>Ringraziamenti</b>	15
<b>Bibliografia</b>	15



## Riassunto

La stima della risoluzione di una nuvola di punti ottenuta mediante la fotogrammetria Structure-from-Motion (SfM) è fondamentale per una corretta analisi dell'oggetto rilevato. Il fatto di conoscere i valori di risoluzione, e in particolare, i relativi limiti permette infatti di formulare delle ipotesi realistiche, fin dalla fase di progettazione delle misure, sul grado di dettaglio che è possibile raggiungere. In questo lavoro si presenta un caso di studio pensato per le applicazioni in ambito architettonico, in cui le distanze in gioco generalmente variano da alcuni metri a qualche decina di metri. A questo scopo è stato realizzato e misurato un target artificiale 3D composto sia da elementi piatti, sia da elementi tridimensionali al fine di valutare quanto le misure siano perturbate in un caso 3D rispetto a condizioni ideali di visibilità 2D. I risultati, a integrazione di evidenze precedenti, presentate in varie pubblicazioni, hanno evidenziato un peggioramento della risoluzione del 20-25% rispetto al caso 2D.

## Abstract

*A reasonable estimate of the resolution of a point cloud obtained by Structure-from-Motion (SfM) photogrammetry is mandatory in order to perform a correct analysis of the detected object. The knowledge of the expected resolution and of its limits allows one to establish, right from the measurement design stage, realistic hypothesis on the achievable degree of detail. This paper shows a case study designed for applications in the architectural field, where the distances involved generally range from few meters to a few tens of meters. Therefore, an artificial 3D target composed of both flat and three-dimensional elements was devised and measured in order to evaluate the degree of perturbation in a 3D case with respect to ideal 2D visibility conditions. The results confirmed and extended what already evidenced in previous publications, showing that resolution gets worst of about 20-25% when compared with the 2D case.*

Keywords SfM; Risoluzione; Nuvole di punti | SfM; Resolution; Point cloud.

---

## Introduzione

Il presente breve rapporto tecnico nasce in concomitanza con l'approvazione del progetto di ricerca libera dell'INGV "RESCUE" (*Principal Investigator*: Arianna Pesci, Sezione di Bologna), che si propone di utilizzare la fotogrammetria Structure-from-Motion (SfM) per rilevare alcune antiche pievi sparse sul territorio regionale dell'Emilia-Romagna (e zone limitrofe) e ispezionarle al fine di ricercare eventuali impronte di terremoti storici. Si tratta quindi di studiare la morfologia dei monumenti selezionati andando ad analizzarne i prospetti per mettere in evidenza i pattern deformativi e valutare se, in caso di riscontro, possano essere messi in relazione con gli eventi sismici maggiori noti in bibliografia [si vedano ad esempio Riva et al., 2003; Klin et al., 2019; Rovida et al., 2022]. Inoltre, in collaborazione con l'Università degli Studi di Ferrara, è in corso la valutazione e la sperimentazione di alcuni utilizzi della fotogrammetria in ambito archeologico a varie scale per lo studio di reperti di diverse classi di materiali.

La tecnica SfM scaturisce dall'introduzione in fotogrammetria di metodi e algoritmi di *computer vision*. Essa è di corrente impiego nel telerilevamento terrestre, sia nel rilievo geomorfologico

[Westoby et al., 2012], sia in quello architettonico [Teza et al., 2016] ed ha prestazioni che, in condizioni ottimali, sono paragonabili a quelle di tecniche molto più costose come il laser a scansione terrestre (*Terrestrial Laser Scanning*, TLS). La precisione e la risoluzione di una nuvola di punti ottenuta da rilievi fotogrammetrici di tipo SfM sono legate alla strategia di acquisizione delle immagini digitali, alle fotocamere utilizzate, alle impostazioni di scatto (ottica) e alla distanza di lavoro. Inoltre, la precisione e la risoluzione possono variare anche all'interno della nuvola di punti in dipendenza della posizione reciproca tra le fotocamere e l'oggetto osservato che entra in gioco quando si sovrappongono le immagini ottenute da posizioni diverse. Si precisa che spesso la risoluzione di una nuvola di punti è confusa con il passo di campionamento medio. Qui si considera invece il termine "risoluzione" nel suo significato corretto, vale a dire la distanza minima che due particolari distinti devono avere affinché siano effettivamente apprezzati come distinti. Ovviamente, la risoluzione non può essere migliore del passo di campionamento, ma non necessariamente coincide con esso, come evidenziato, nel caso del TLS, da Lichti e Jamtsho [2006] e da Pesci et al. [2011]. La precisione è ovviamente qui utilizzata con il significato usuale, ossia deviazione standard delle misure e quindi quantificazione della ripetibilità delle misure, in accordo con le norme ISO 5725-1:1994. La conoscenza dei limiti e dei valori di risoluzione permette di formulare delle ipotesi realistiche, fin dalla fase di progettazione delle misure, sul livello di dettaglio che si potrà ottenere, e può anche suggerire l'adozione di specifiche strategie per raggiungere il livello di dettaglio eventualmente richiesto.

Al fine di ottenere informazioni sulla risoluzione è possibile utilizzare un metodo empirico tale da consentire di avere un risultato soddisfacente in modo semplice, rapido e ripetibile. Un approccio di tale tipo è presentato in Pesci et al. [2017] e in Pesci et al. [2020], di cui l'esperimento descritto nel presente Rapporto Tecnico può essere inteso come un'estensione. In quei lavori era stato utilizzato un approccio molto simile per estrapolare delle informazioni relative alla risoluzione dei rilievi SfM acquisiti da grande distanza, anche se l'analisi era limitata ad una configurazione 2D. In Pesci et al. [2017], lavoro che aveva carattere assolutamente preliminare, è stato utilizzato un semplice target di cartone; in Pesci et al. [2020] è stato invece utilizzato un target artificiale piano su cui erano stati incollati delle strisce nere di larghezza variabile tra 1 mm e 2 cm ed erano stati effettuati dei rilievi da distanze comprese tra i 10 e i 50 m (con un intervallo di 10 m tra ciascuna distanza), utilizzando tre focali comprese tra i 55 ed i 210 mm. In Pesci et al. [2020] è altresì presentato un limite di risoluzione, dipendente dalla distanza e dalla focale utilizzata, risultato essere mediamente pari a 2.5 volte la dimensione del pixel a terra (*Ground Sampling Distance*, GSD), essendo quest'ultimo legato alla distanza di acquisizione  $d$ , alla focale  $f$  e al lato del pixel del sensore  $p$  dalla nota relazione  $GSD = pd/f$ . Tale risultato ha trovato conferma anche in sperimentazioni in situ in area appenninica, su lunghe distanze di acquisizione, attuate mediante il confronto tra rilievi contemporanei di un versante eseguiti col laser scanner terrestre (TLS) e con la SfM, calcolando le differenze e la loro distribuzione nello spazio.

Qui si ripropone lo stesso approccio metodologico utilizzando però un target 3D che, per le fattezze arbitrariamente create, è un elemento piuttosto ostico da rilevare poiché le strisce sono incastrate tra dei listelli sufficientemente sporgenti da coprirne parzialmente la vista. In questo modo, l'osservazione non sarà ottimale e completa in ogni scatto realizzato. L'idea di confrontare un risultato iniziale che rappresenta una situazione di rilievo particolarmente semplice (target 2D) con un risultato ottenuto in una condizione meno favorevole (target 3D) permetterà di riconfermare i limiti di risoluzione attesi e quantificarne il degrado per assegnare una gamma realistica di valori di risoluzione nelle fasi progettuali delle misure da implementare nel quadro del progetto RESCUE.

## 1. L'esperimento

L'esperimento è stato concepito per un tipo di applicazione SfM da realizzare in ambito architettonico nel quale le distanze in gioco sono comprese tra pochi metri e qualche decina di metri. Il target 3D utilizzato in questa esperienza è mostrato nella Figura 1. Si tratta, in sostanza, di una rivisitazione del modello 2D utilizzato in Pesci et al. [2020], modificato con l'aggiunta di listelli che formano un allineamento di elementi tridimensionali per rendere più ostica la visualizzazione dei particolari che si intendono rilevare. L'oggetto è costituito da una base rettangolare e piatta di legno compensato di base 80 cm ed altezza 30 cm sulla quale sono state applicate delle striscioline nere di larghezza variabile tra 1 mm e 2 cm ed alte 20 cm, con un incremento di 1 mm tra due striscioline adiacenti. Questi elementi da misurare sono a loro volta intervallati da dei listelli di legno alti 1 cm ed aventi, ciascuno, una larghezza di 2 cm, che è dunque la distanza tra due striscioline adiacenti. Nella Figura 1 è possibile osservare anche il target utilizzato per le indagini in ambito 2D e notare che le strisce nere, colore scelto per creare un forte contrasto e agevolare nel seguito le ispezioni delle nuvole di punti, sono esattamente uguali a quelle del target 3D.



**Figura 1** a) Target 2D: pannello di legno con le strisce nere da misurare; b) target 3D: pannello di legno con le strisce nere da misurare intervallate da dei listelli aventi spessore pari a 1 cm.  
*Figure 1* a) Target 2D: wooden panel with black stripes; b) target 3D: wooden panel with black stripes and wooden slats (1 cm thickness).

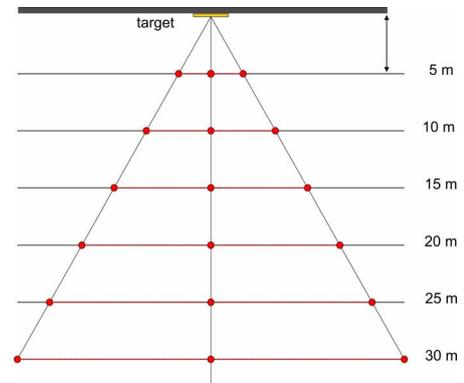
I due pannelli si possono immaginare come due casi limite: il primo, cioè il target 2D, è sostanzialmente una tavola i cui elementi da misurare sono sempre ben visibili da ogni punto di vista, purché non eccessivamente distante da condizioni di incidenza normale. Il secondo, cioè il target 3D, è invece corredato da delle file di listelli che occludono parzialmente la vista dei particolari da rilevare (ovviamente, anche gli stessi listelli costituiscono un insieme di oggetti da osservare). Si può quindi parlare di un caso ideale, senza occlusioni, e di un caso reale in cui le condizioni di osservazione di modellazione fotogrammetrica sono fortemente peggiorate. È ragionevole ritenere che la casistica tipica di un rilievo architettonico rientri tra queste due condizioni estreme. Si noti come il target 3D permetta, in sostanza, di valutare il comportamento della tecnica SfM nel rilievo di una parete in mattoni e, in particolare, nella caratterizzazione sia dei mattoni (rappresentati dai listelli sporgenti), sia delle fughe tra essi (rappresentate dai rettangoli neri). L'approccio è dunque simile a quello descritto, nel caso della tecnica TLS, in Pesci et al. [2011].

Le immagini sono state acquisite con una fotocamera Nikon D3300, il cui sensore ha 6000x4000 pixel e dimensioni 23.5x15.6 mm, da cui lato del singolo pixel  $p = 3.9 \mu\text{m}$ . La fotocamera è equipaggiata con obiettivo che consente distanze focali nel range da 55 mm a 300 mm, posizionata in una serie di punti giacenti lungo delle rette parallele al muro su cui il target è stato appoggiato. Le distanze delle rette dal target sono state fissate in 5, 10, 15, 20, 25 e 30 m, come rappresentato sinteticamente nella Figura 2. Nei punti estremi di ciascuno dei segmenti la distanza di acquisizione è circa del 13% più elevata rispetto al punto centrale (ad esempio, 34 m nel caso della retta a 30 m dal target; tale fatto è comunque trascurato nell'analisi nel seguito

descritta). Lungo ogni linea è stata acquisita una decina di immagini del target, utilizzando rispettivamente una focale di 55 mm e di 110 mm. Alcuni dati riguardanti le immagini acquisite (distanza, focale, GSD, numero di immagini) sono riportati in Tabella 1.

**Figura 2** Schema del rilievo. I cerchi rossi indicano le posizioni iniziali, centrali e finali degli scatti su ogni linea.

*Figure 2* Raw representation of the survey strategy. The red circles mark the starting, central and ending position for image acquisition.



$d$ (m)	$f$ (mm)	GSD (mm)	Nr. Scatti	Foto riferimento	$f$ (mm)	GSD (mm)	Nr. Scatti	Foto riferimento
5	110	0.18	11		55	0.35	11	
10	110	0.35	12		55	0.71	11	
15	110	0.53	14		55	1.06	13	
20	110	0.71	14		55	1.4	14	

25	110	0.89	13		55	1.8	14	
30	110	1.06	15		55	2.1	16	

**Tabella 1** Descrizione dei dati raccolti e immagini rappresentative della vista normale (ossia acquisite dalla posizione centrale in Figura 2), in particolare distanza di acquisizione ( $d$ ), distanza focale ( $f$ ), dimensione del pixel a terra (GSD) e numero di immagini acquisite per ciascuna distanza.

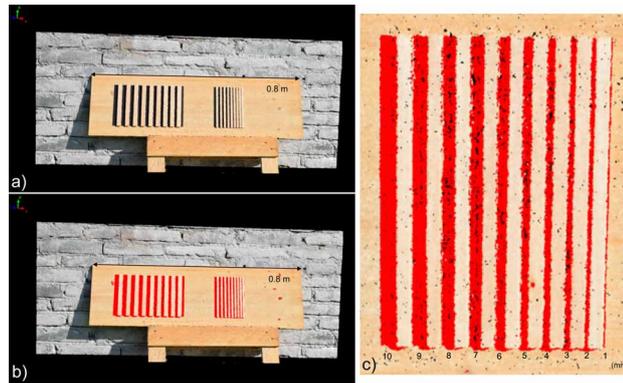
**Table 1** Data description and images from normal incidence view (corresponding to the central red point in Figure 2). These data are provided: acquisition distance ( $d$ ), focal distance ( $f$ ), ground sampling distance (GSD) and number of images taken for each distance.

## 2. Analisi e risultati

Il software utilizzato per l'analisi fotogrammetrica delle immagini è Metashape di Agisoft [Agisoft, 2022], che dispone di una comoda e semplice interfaccia grafica per la gestione delle operazioni in modo molto intuitivo. I passi seguiti sono, in sintesi, i seguenti, s'intende attuati per ciascun set di immagini, cioè per ciascuna distanza di acquisizione:

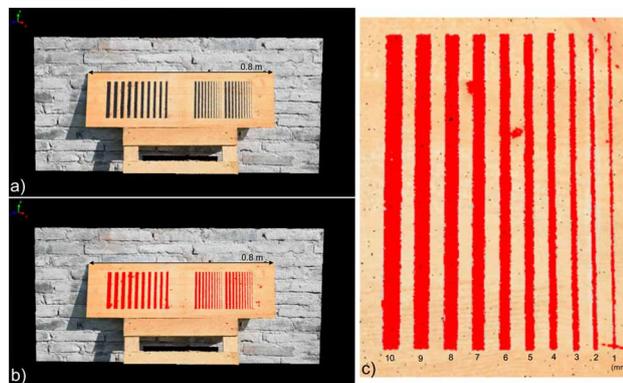
- allineamento completamente automatico delle immagini, che quindi sono poste nello stesso sistema di riferimento non metrico. L'impostazione scelta per la precisione in questa fase è stata "high";
- modellazione fotogrammetrica e creazione della nuvola di punti densa per ogni set di immagini. L'impostazione scelta per la precisione nella fase di generazione della nuvola di punti è stata "high". Il risultato è una nuvola di punti definita in un sistema di riferimento non metrico (per ulteriori informazioni tecniche riguardo alle opzioni scelte si rinvia al manuale utente di Metashape);
- conversione dei dati in un sistema di riferimento metrico, in modo da ottenere una nuvola di punti densa e metrica. Tale operazione è stata del pari eseguita con Metashape introducendo le coordinate di alcuni punti di controllo misurati direttamente sul target. Nel test qui descritto tali punti sono, semplicemente, i quattro angoli del target, riconosciuti nella nuvola di punti; l'identificazione di tali punti e l'inserimento delle relative distanze ha consentito di ottenere nuvole di punti idonee alle analisi successive.

Ciascuna immagine acquisita copre l'intero target, s'intende a meno di eventuali occlusioni dovute ai listelli verticali incollati sul piano. Analogamente, ciascuna nuvola di punti rappresenta l'intero target. In Figura 3 e Figura 4 sono riportate alcune delle nuvole di punti ottenute.



**Figura 3** Nuvola di punti del target 3D rilevato a 5 m di distanza con una focale di 110 mm: a) vista del target; b) vista del target in cui sono individuati i punti a bassa intensità, contrassegnati in rosso; c) particolare di un'area con punti a bassa intensità.

*Figure 3* Point cloud of the 2D target detected from a distance of 5 m with a focal length of 110 mm: a) target; b) target, where low intensity points are shown in red; c) particular of a low intensity area.



**Figura 4** Nuvola di punti del target 2D rilevato a 5 m di distanza con una focale di 110 mm: a) vista del target; b) vista del target in cui sono individuati i punti a bassa intensità, contrassegnati in rosso; c) particolare di un'area con punti a bassa intensità.

*Figure 4* Point cloud of the 2D target detected from a distance of 5 m with a focal length of 110 mm: a) target; b) target, where low intensity points are shown in red; c) particular of a low intensity area.

L'esperimento è volto a valutare se, sulla specifica nuvola di punti, siano osservabili e misurabili gli elementi neri di larghezza variabile; il valore più piccolo osservabile rappresenta la risoluzione raggiunta in quelle condizioni di osservazione. Per questo motivo si è scelto di selezionarne i punti mediante una ricerca di colore o intensità, oltre alla individuazione geometrica sulla nuvola. Sono stati cioè considerati come appartenenti agli elementi neri quei punti i cui livelli di colore per ciascun canale RGB (rosso, verde e blu) sono tutti al di sotto di 50; per ciascun canale di colore a 8 bit i livelli sono numeri interi da 0 a 255. Il colore nero estremo è individuato dal vettore RGB (0 0 0), il nero intenso è (10 10 10), il nero grafite è (28 28 28). Si deve notare la natura discreta di questi elementi, che differiscono in larghezza con l'incremento di 1 mm nella sequenza e nella disposizione sul pannello, sia in 2D, sia in 3D. La prova si considera superata se gli elementi vengono riconosciuti e se sono ben misurabili, cioè se può essere definita la loro larghezza (se i punti individuati sono insufficienti per poter stimare la larghezza, anche se l'elemento è riconosciuto la prova è considerata non superata). È evidente che si tratta di applicare una stessa scelta (arbitraria) nell'ispezione di tutte le nuvole di punti ma, in generale,

se ci fossero variazioni di illuminazione rilevanti ogni caso potrebbe essere trattato come caso a parte. Nel caso in cui l'elemento  $i$  sia chiaramente riconosciuto, ma non completamente misurabile, allora la prova viene considerata superata ed è attribuito un valore intermedio tra l'elemento  $i$  e l'elemento  $i+1$ , cioè il successivo. Se, per esempio, nella configurazione di acquisizione ad una distanza di 20 m con focale 110 mm si osserva il particolare largo 2 mm, ma non lo si riesce a misurare con precisione e se, nella stessa condizione si osserva e si misura con grande chiarezza la larghezza del particolare di 3 mm, allora sarà assegnato alla risoluzione il valore intermedio 2.5 mm. Questa è naturalmente una scelta arbitraria, ma è funzionale all'esperimento. La Figura 5 mostra tutte le nuvole di punti e le selezioni degli elementi di interesse, colorate in rosso. L'esame delle Figure 4 e 5 evidenzia come, a parità di lunghezza focale e di distanza di acquisizione, le strisce nere nel target 2D siano meglio rappresentate, con contorni molto più netti, di quelle del target 3D. Come atteso, si osserva dunque l'effetto del disturbo indotto dalla presenza dei listelli che, in base alla posizione reciproca di target e fotocamera, nascondono parzialmente la vista delle regioni nere, la cui corretta identificazione e modellazione era l'obiettivo dell'esperimento qui descritto. I risultati di tutte le misure sono riportati in Tabella 2.



**Figura 5** Tutte le nuvole di punti ottenute dall'analisi delle immagini scattate dalle distanze tra 5 m e 30 m con le focali di 55 e 110 mm al target 3D. Nella colonna di destra sono mostrate le nuvole di punti del target 2D.

**Figure 5** All point clouds obtained, for the 3D target, by analyzing the images taken from distances between 5 m and 30 m with focal lengths of 55 and 110 mm. In the right column, the point clouds of the 2D target are shown.

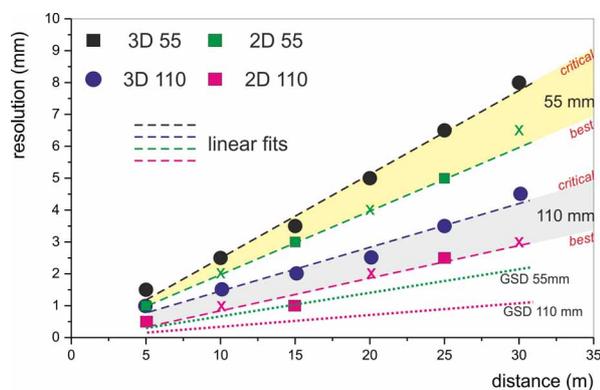
$d$ (m)	Target 3D $f$ 55 mm	Target 2D $f$ 55 mm	Target 3D $f$ 110 mm	Target 2D $f$ 110 mm
5	1.5	1	1	0.5
10	2.5	2	1.5	1
15	3.5	3	2	1
20	5	4	2.5	2
25	6.5	5	3.5	2.5
30	8	6.5	4.5	3

**Tabella 2** Risultato dell'analisi sulle nuvole di punti: le dimensioni degli elementi visibili e misurabili sono considerate come la migliore risoluzione ottenuta. I valori nelle aree ombreggiate sono estratti da un esperimento precedente eseguito con la stessa fotocamera, stesso target e stesse impostazioni.

**Table 2** Point clouds analysis result: the size of the visible and measurable elements is assumed to correspond to the best achievable resolution. Values shown in the shaded areas are taken from a previous experiment carried out with the same camera and settings.

Come già accennato, è stato altresì riutilizzato il target 2D a suo tempo concepito e impiegato per uno studio della risoluzione a grandi distanze. Durante l'esperimento illustrato in questo lavoro, le immagini del target 2D sono state acquisite solo da tre distanze corrispondenti a 5, 15 e 25 m; al fine di completare il campionamento, sono stati pertanto considerati i risultati di un esperimento precedente, descritto in Pesci et al. [2020], e relativi a immagini acquisite dalle distanze 10, 20 e 30 m. In quell'esperimento era stata utilizzata la stessa fotocamera con analoghe distanze focale, e quindi le GSD a pari distanza sono uguali.

I risultati sono sintetizzati nella Figura 6, in cui sono mostrate le risoluzioni ottenibili e gli scarti tra le condizioni ottimali (2D) e quelle critiche. Sono anche riportati i valori GSD (linee a punti). È interessante notare che questo grafico potrebbe indicare quali siano le risoluzioni attese in base alla configurazione di rilievo adottata, ma anche in base alla rumorosità dell'oggetto rilevato, che potrebbe essere caratterizzato da una forma semplice oppure altamente decorata e pertanto più ostica nella restituzione di un modello completo e realistico. Considerando i valori ottenuti, si nota che la complicazione dovuta alla forma 3D comporta una perdita di risoluzione di circa il 20-25% rispetto ai limiti di risoluzione ottenuti nel caso 2D, percentuale che potrebbe essere utilizzata per pianificare le misure. Infatti, nel caso in cui fosse necessario acquisire un elemento architettonico caratterizzato dalla presenza di particolari da individuare aventi delle dimensioni dell'ordine di 2 mm e, a causa di vincoli sul posizionamento della fotocamera, non fosse possibile scattare delle fotografie a una distanza inferiore a 12 m, i risultati ottenuti mostrano che si renderebbe necessario l'utilizzo dell'obiettivo con una focale di almeno 110 mm, con le conseguenti complicazioni indotte dal minor campo dell'obiettivo di 110 mm rispetto a quello di 55 mm, che richiedono un maggior numero di immagini per coprire il particolare e dunque un maggior tempo di calcolo.



**Figura 6** Il grafico mostra la risoluzione ottenibile sui modelli 3D e 2D utilizzando le focali di 55 e 110 mm.

I cerchi mostrano i risultati per le misure 3D, i quadrati per le misure 2D e le crocette sono i dati ottenuti con le stesse condizioni da un lavoro precedente. Le linee a punti rappresentano i GSD per le focali utilizzate e le distanze considerate.

**Figure 6** Resolution which can be achieved on 3D and 2D models obtained using the 55 and 110 mm focal lengths. The circles show the results for the 3D measurements, the squares for the 2D measurements and the crosses are the data obtained with the same conditions from a previous experiment. Dot lines are GSD at given focal and distance.

I risultati qui presentati non sono un punto di arrivo, ma un punto di partenza. Essi troveranno infatti applicazione nei rilievi SfM di edifici reali di interesse storico e/o archeologico e dei particolari che li caratterizzano. Mentre nell'esperimento precedente in cui si cercava di ottenere un limite di risoluzione, poi individuato in circa 2.5 volte la dimensione del pixel (GSD), è stato possibile verificare il risultato anche su distanze [Pesci et al., 2020] di alcune centinaia di metri,

in questo caso un confronto in scala non è semplice. Si è cercato di stimare l'effetto peggiorativo sulla risoluzione dovuto a elementi (listelli) distribuiti in modo invasivo sull'area da osservare e in parte occludenti rispetto alla osservazione dei particolari di interesse (striscioline nere): uno studio analogo su grandi distanze e su aree reali (artificiali o naturali che siano) diventa molto complicato. Tuttavia è previsto uno studio sulla estendibilità dei risultati ottenuti a distanze di acquisizione maggiori (molte decine di metri), da realizzarsi mediante target e bersagli specifici, sebbene non abbia un particolare interesse per il rilievo architettonico (non quindi centinaia di metri). Si è comunque ritenuto di presentare brevemente qui questi risultati in modo da consentirne l'immediata fruibilità da parte degli utenti della tecnica SfM, presenti pressoché in ogni sezione dell'INGV e altrove.

## Ringraziamenti

Gli autori desiderano ringraziare la Prof. Carmela Vaccaro per la collaborazione tra INGV e Università di Ferrara e Massimo Bacchetti (Università di Bologna) per il contributo prezioso nella costruzione dei target.

## Bibliografia

- Agisoft, (2022). *Guida utente Agisoft Metashape*. Disponibile online a <https://www.agisoft.com/downloads/user-manuals/> (ultimo accesso: 30.01.2022)
- Klin P., Laurenzano G., Romano M.A., Priolo E., Martelli L., (2019). *ER3D: a structural and geophysical 3-D model of central Emilia-Romagna (northern Italy) for numerical simulation of earthquake ground motion*. *Solid Earth*, 10(3), 931-949.
- Lichti D.D., Jamtsho S., (2006). *Angular resolution of terrestrial laser scanners*. *Photogrammetric Record*, 21, 141-160.
- Pesci A., Teza G., Bonali E., (2011). *Terrestrial laser scanner resolution: numerical simulations and experiments on spatial sampling optimization*. *Remote Sensing*, 3(1), pp. 167-184. <http://doi.org/10.3390/rs3010167>
- Pesci A., Teza G., Bacchetti M., Piroddi G., Rocchi B., (2017). *Fase preliminare di un esperimento per valutare la risoluzione dei modelli SfM*. *Rapporti Tecnici INGV*, 389, 1-20.
- Pesci A., Teza G., Kastelic V., Carafa M.M.C., (2020). *Resolution and precision of fast, long range terrestrial photogrammetric surveying aimed at detecting slope changes*. *Journal of Surveying Engineering*, 146(4), 04020017-1-13. [http://doi.org/10.1061/\(ASCE\)SU.1943-5428.0000328](http://doi.org/10.1061/(ASCE)SU.1943-5428.0000328)
- Riva P., Perotti F., Cavaglieri L., Gelmini A., (2003). *Analisi sismica della Torre degli asinelli*. In: E. Boschi, E. Guidoboni (Eds.), *I terremoti a Bologna e nel suo territorio dal XII al XX secolo*, Compositori, Bologna, pp. 365-383.
- Rovida A., Locati M., Camassi R., Lolli B., Gasperini P., Antonucci A., (2022). *Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani (CPTI15), versione 4.0*. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV). <http://doi.org/10.13127/CPTI/CPTI15.4>
- 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*, [http://doi.org/10.1061/\(ASCE\)SU.1943-5428.0000172](http://doi.org/10.1061/(ASCE)SU.1943-5428.0000172), 04016004.
- 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 (QUAD. GEOFIS.) accolgono lavori, sia in italiano che in inglese, che diano particolare risalto alla pubblicazione di dati, misure, osservazioni e loro elaborazioni anche preliminari che necessitano di rapida diffusione nella comunità scientifica nazionale ed internazionale. Per questo scopo la pubblicazione on-line è particolarmente utile e fornisce accesso immediato a tutti i possibili utenti. Un Editorial Board multidisciplinare ed un accurato processo di peer-review garantiscono i requisiti di qualità per la pubblicazione dei contributi. I QUADERNI DI GEOFISICA sono presenti in "Emerging Sources Citation Index" di Clarivate Analytics, e in "Open Access Journals" di Scopus.

QUADERNI DI GEOFISICA (QUAD. GEOFIS.) welcome contributions, in Italian and/or in English, with special emphasis on preliminary elaborations of data, measures, and observations that need rapid and widespread diffusion in the scientific community. The on-line publication is particularly useful for this purpose, and a multidisciplinary Editorial Board with an accurate peer-review process provides the quality standard for the publication of the manuscripts. QUADERNI DI GEOFISICA are present in "Emerging Sources Citation Index" of Clarivate Analytics, and in "Open Access Journals" of Scopus.

# RAPPORTI TECNICI INGV

ISSN 2039-7941

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

I RAPPORTI TECNICI INGV (RAPP. TEC. INGV) pubblicano contributi, sia in italiano che in inglese, di tipo tecnologico come manuali, software, applicazioni ed innovazioni di strumentazioni, tecniche di raccolta dati di rilevante interesse tecnico-scientifico. I RAPPORTI TECNICI INGV sono pubblicati esclusivamente on-line per garantire agli autori rapidità di diffusione e agli utenti accesso immediato ai dati pubblicati. Un Editorial Board multidisciplinare ed un accurato processo di peer-review garantiscono i requisiti di qualità per la pubblicazione dei contributi.

RAPPORTI TECNICI INGV (RAPP. TEC. INGV) publish technological contributions (in Italian and/or in English) such as manuals, software, applications and implementations of instruments, and techniques of data collection. RAPPORTI TECNICI INGV are published online to guarantee celerity of diffusion and a prompt access to published data. A multidisciplinary Editorial Board and an accurate peer-review process provide the quality standard for the publication of the contributions.

# MISCELLANEA INGV

ISSN 2039-6651

[http://istituto.ingv.it/it/le-collane-editoriali-ingv/miscellanea-ingv.html](http://istituto.ingv.it/it/le-collane-editoriali-ingv/miscellanea-ingv.html/)

MISCELLANEA INGV (MISC. INGV) favorisce la pubblicazione di contributi scientifici riguardanti le attività svolte dall'INGV. In particolare, MISCELLANEA INGV raccoglie reports di progetti scientifici, proceedings di convegni, manuali, monografie di rilevante interesse, raccolte di articoli, ecc. La pubblicazione è esclusivamente on-line, completamente gratuita e garantisce tempi rapidi e grande diffusione sul web. L'Editorial Board INGV, grazie al suo carattere multidisciplinare, assicura i requisiti di qualità per la pubblicazione dei contributi sottomessi.

MISCELLANEA INGV (MISC. INGV) favours the publication of scientific contributions regarding the main activities carried out at INGV. In particular, MISCELLANEA INGV gathers reports of scientific projects, proceedings of meetings, manuals, relevant monographs, collections of articles etc. The journal is published online to guarantee celerity of diffusion on the internet. A multidisciplinary Editorial Board and an accurate peer-review process provide the quality standard for the publication of the contributions.

**Coordinamento editoriale**

Francesca DI STEFANO  
Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia

**Progetto grafico**

Barbara ANGIONI  
Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia

**Impaginazione**

Barbara ANGIONI  
Patrizia PANTANI  
Massimiliano CASCONI  
Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia

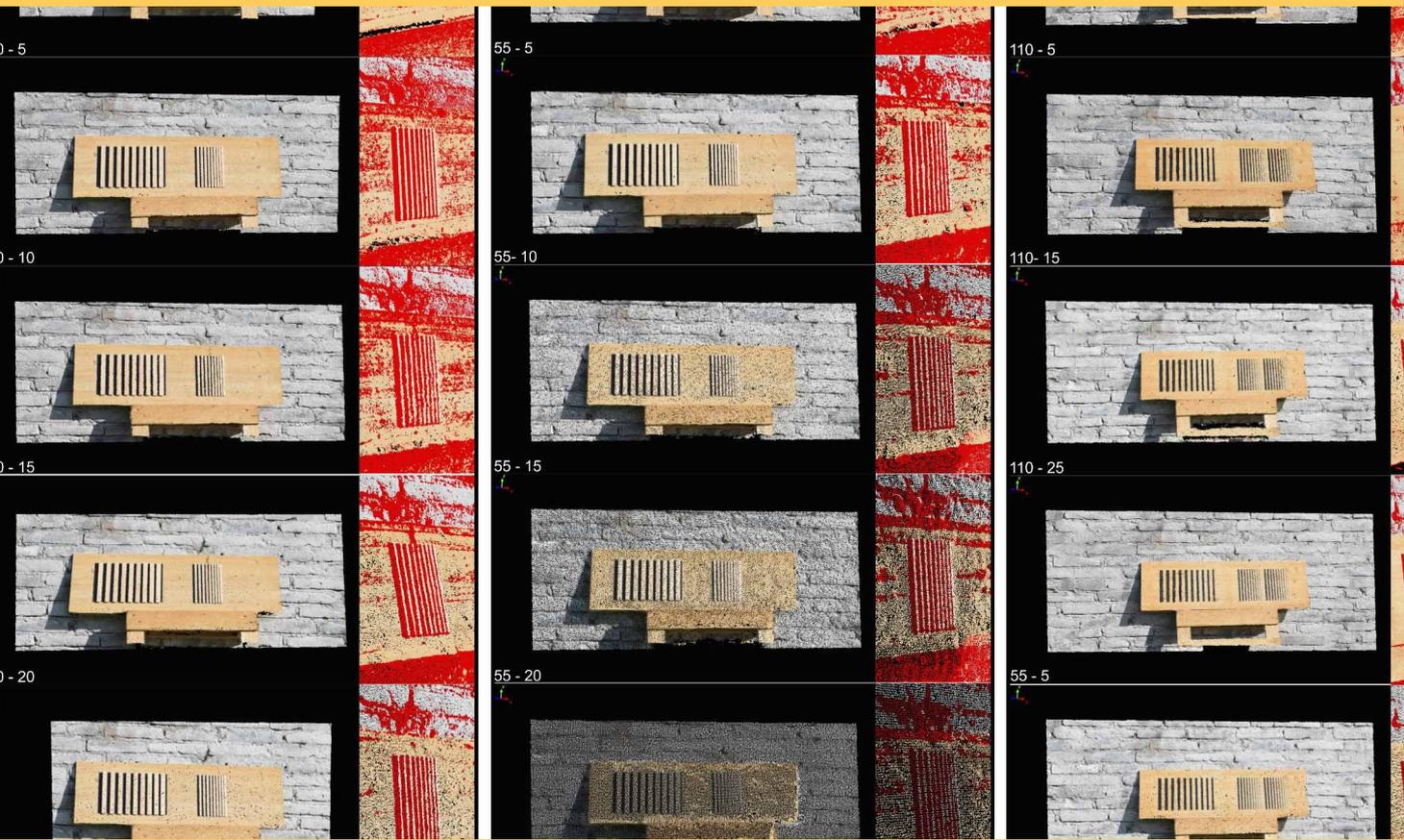
©2022

Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia  
Via di Vigna Murata, 605  
00143 Roma  
tel. +39 06518601

[www.ingv.it](http://www.ingv.it)



Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0)



ISTITUTO NAZIONALE DI GEOFISICA E VULCANOLOGIA

