

# RAPPORTI TECNICI INGV

Rilievo fotogrammetrico  
SfM very close range per applicazioni  
in ambito archeometrico:  
test e considerazioni



ISTITUTO NAZIONALE DI GEOFISICA E VULCANOLOGIA

451

### **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

Rilievo fotogrammetrico SfM very close range  
per applicazioni in ambito archeometrico:  
test e considerazioni

*Very close SfM photogrammetry in  
archeometric applications: test and evaluations*

Alessandra Rossetti<sup>1</sup>, Arianna Pesci<sup>2</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

Accettato 8 marzo 2022 | Accepted 8 March 2022

Come citare | How to cite Rossetti A., Pesci A., (2022). Rilievo fotogrammetrico SfM very close range per applicazioni in ambito archeometrico: test e considerazioni. Rapp. Tec. INGV, 451: 1-30, <https://doi.org/10.13127/rpt/451>

In copertina Piani di riferimento interpolati; elaborazione di B. Angioni | Cover The reference planes interpolated; processed by B. Angioni

451



# INDICE

<b>Riassunto</b>	7
<i>Abstract</i>	7
<b>Introduzione</b>	7
<b>1. Metodo di lavoro</b>	9
1.1 Considerazioni preliminari sulle precisioni	11
<b>2. Rilievi dei reperti archeologici</b>	14
<b>3. Trattamento delle immagini</b>	18
3.1 Laterizi	19
3.2 Lapidari	22
<b>4. Conclusioni</b>	25
<b>Bibliografia</b>	26
<b>Ringraziamenti</b>	26



## Riassunto

La fotogrammetria di tipo SfM (Structure from Motion) offre una grande versatilità nelle operazioni di rilievo e di restituzione. La caratteristica più importante che permette di applicare tale tecnica a un ampio intervallo di distanze di osservazione, è la risoluzione delle immagini intesa sia come quantità che come qualità dei pixel che le compongono. Con la stessa camera fotografica digitale, dotata di un buon sensore (CMOS) e operando in buone condizioni di luce, si possono acquisire immagini su grandi o brevi distanze con focali che possono variare tra gli estremi del grandangolo e del teleobiettivo. La fotogrammetria può essere così applicata a elementi di varie dimensioni: da grandi strutture quali i versanti, i terreni e gli edifici, fino ai manufatti e ai reperti archeologici anche molto piccoli. Si tratta quindi di utilizzare uno strumento versatile come una camera digitale per riuscire a lavorare su scale e precisioni specifiche a seconda dell'ambito di lavoro. Nella scala del rilievo di una parete rocciosa (alcune centinaia di metri) si ottengono modelli digitali derivati con precisioni centimetriche, nella scala di applicazioni da brevissime distanze su piccoli oggetti, si raggiungono precisioni assai più elevate, fino a qualche centesimo di millimetro. In questo rapporto tecnico si mostrano alcune prove di rilievo SfM effettuate sui reperti archeologici conservati al Museo Delta Antico di Comacchio (FE) per osservare il tipo di precisione e accuratezza ottenibile e valutare l'utilità del metodo di lavoro utilizzato per applicazioni future all'intera collezione.

## Abstract

*SfM (Structure from Motion) photogrammetry offers great versatility in survey and restitution operations. The most important feature that allows this technique to be applied to a wide range of observation distances is the resolution of the images intended both as the quantity and quality of the pixels that compose them. With the same digital camera, equipped with a good sensor (CMOS) and operating in good light conditions, it is possible to acquire images over large or short distances with focal lengths that can vary between the extremes of wide angle and telephoto. Photogrammetry can thus be applied to elements of various sizes: from large structures such as slopes, land and buildings, to artifacts and even very small archaeological finds. It is therefore a question of using a versatile tool such as a digital camera to be able to work on specific scales and accuracies depending on the area of work. In the scale of the relief of a rock wall (a few hundred meters) derived digital models with centimeter accuracies are obtained, in the scale of applications from very short distances to small objects, much higher accuracies are achieved, up to a few hundredths of a millimeter. This technical report shows some SFM relief tests carried out on the archaeological finds preserved at the Delta Antico Museum in Comacchio (FE) to observe the type of precision and accuracy obtainable and to evaluate the usefulness of the working method used for future applications to the entire collection.*

Keywords SfM; Archeomatica; Close range

---

## Introduzione

La fotogrammetria SfM, diffusamente utilizzata nel telerilevamento terrestre, geomorfologico [Westoby et al., 2012] e architettonico [Teza et al., 2016], nasce dall'integrazione di algoritmi sviluppati nell'ambito della computer vision, oggi generalmente compatibili con le normali risorse

di calcolo. Il modello che si ottiene è tridimensionale e foto-realistico, cioè corredato da un'informazione di colore (radiometrica) che caratterizza un oggetto osservato mediante un set di scatti fotografici. Tali immagini vengono acquisite senza la necessità di posizionarsi su punti noti o misurati a posteriori, ovvero senza la necessità di conoscere a priori i parametri di calibrazione esterna (posizione e orientamento della camera nello spazio), ma con l'imperativa prescrizione di avere una sovrapposizione consistente (50%).

Rispetto alle tecniche fotogrammetriche più classiche, la caratteristica saliente della tecnica SfM è appunto la registrazione automatica (fase di allineamento) in uno stesso sistema di riferimento delle immagini: questo rende il metodo semplice, veloce e user-friendly [Granshaw e Fraser, 2015].

Il pacchetto software qui utilizzato è Photoscan ([www.agisoft.com](http://www.agisoft.com)) che permette di effettuare l'allineamento delle immagini in due fasi e cioè con una registrazione preliminare di tipo FBR (feature-based) e ABR (area-based) [Remondino et al., 2014]. La registrazione automatica richiede immagini di buona qualità e condizioni di illuminazione che rimangano costanti durante il rilievo per evitare la presenza di ombre che rendono più complessa l'interpretazione dei dati. La fotogrammetria SfM prevede il completamento della modellazione fotogrammetrica mediante il Bundle Adjustment (BA), ossia un aggiustamento 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 stessa. Il tutto è ottenuto attraverso un processo di ottimizzazione finalizzato a minimizzare, mediante fit con minimi quadrati non lineari, l'errore di re-proiezione tra le posizioni stimate e quelle effettive dei punti nelle diverse immagini.

Nel caso in cui siano disponibili le coordinate precise di punti di controllo, queste possono essere utilizzate nel processo per ottenere una nuvola di punti molto densa, foto-realistica e geo-referenziata o comunque inserita in un sistema di riferimento noto. In alternativa, per fornire una metrica ai modelli ottenuti, si possono selezionare alcuni punti e inserirne i valori di distanza. Occorre sottolineare che una modellazione fotogrammetrica non accompagnata da informazioni geometriche sulla localizzazione spaziale del target fornisce una nuvola di punti priva del fattore di scala e che tale fattore deve essere necessariamente introdotto durante la fase di post processing. Alcuni studi precedenti hanno permesso di verificare [Pesci et al., 2019; Pesci et al., 2020] che tra i vari metodi per calcolare il fattore di scala è molto efficiente e rapido quello basato sull'utilizzo delle polilinee. Si tratta di conoscere o misurare in modo indipendente la lunghezza di una linea creata collegando punti specifici individuabili nella nuvola di punti e di utilizzarla per scalare l'intero modello rendendolo realistico. Se la lunghezza della polilinea e la sua distribuzione nello spazio sono tali da racchiudere l'oggetto rilevato l'errore relativo di scala diventa abbastanza piccolo da poter essere trascurato rispetto a quelle che sono le precisioni effettive dei modelli ottenuti. Il punto di forza di questo metodo, quindi, è la semplicità operativa e la grande efficienza in termini di credibilità del risultato.

In questo lavoro si intende verificare l'accuratezza della fotogrammetria SfM quando applicata in modo rapido ed economico, ossia minimizzando il numero di scatti fotografici e il tempo impiegato dal software di analisi. Il campione utilizzato allo scopo è un piccolo insieme di reperti archeologici conservati al Museo Delta Antico di Comacchio che un tempo appartenevano a una villa romana. Secondo le ricostruzioni storiche si tratta di una villa urbano-rustica con parte residenziale e produttiva facente parte di un complesso sorto sull'isoletta delle Menate. Il complesso aveva inizialmente solo un carattere produttivo, come testimoniato dalle pavimentazioni molto semplici, dai pilastri e dalle tettoie realizzate allo scopo di essiccare le argille, ma tra la fine del I e il II d.C. assunse un carattere residenziale con la realizzazione di pavimenti a mosaico, rivestimenti in marmo, cornici, intonaci e vani con finestre vetrate.

Le campagne di scavo condotte alla fine degli anni Cinquanta del Novecento hanno portato alla luce gli elementi che componevano l'intero complesso, restituendo una grande quantità di materiali interessanti, quali ceramiche, ollette, lucerne, anfore, bottiglie, ampolle (balsamari),

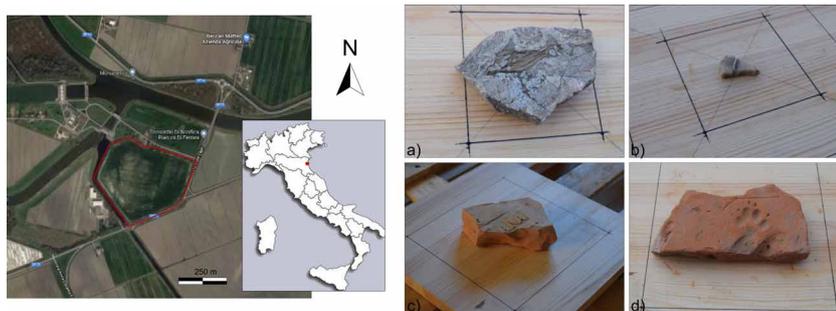
ciotole, mattoni e tegole recanti diversi tipi di bollo, tra cui il più frequente è quello di Pansiana. Infine, la presenza di numerosi scarti di cottura va a sostegno dell'ipotesi della presenza di una fornace nei pressi della villa.

I risultati ottenuti sul piccolo campione sono fondamentali per stabilire se l'accuratezza del metodo è tale da renderlo applicabile all'intera collezione dei reperti provenienti dal sito archeologico di Bocca delle Menate.

## 1. Metodo di lavoro

Il campione utilizzato per verificare la validità e l'accuratezza del metodo consta di 40 reperti, aventi dimensioni variabili tra qualche centimetro e alcune decine di centimetri, di cui 26 appartengono alla classe dei laterizi e 14 a quella dei lapidei. Tali frammenti, assieme a molti altri, sono stati raccolti durante la ricognizione di superficie avvenuta nell'aprile del 2021 nell'area di Bocca delle Menate.

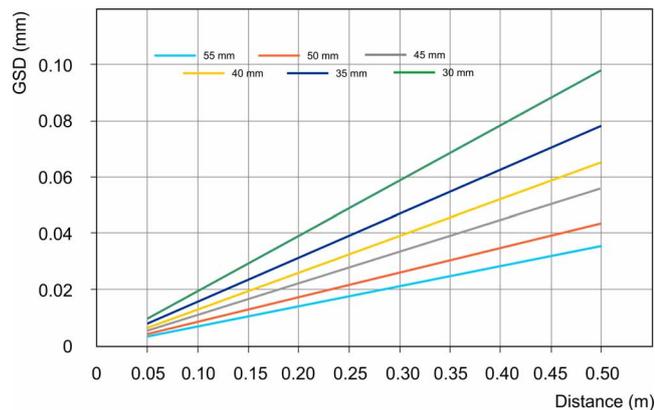
L'obiettivo finale della presente analisi e delle applicazioni descritte in questo rapporto è quello di creare una banca dati interrogabile e navigabile per una consultazione virtuale dei reperti. A questo si aggiungono altri obiettivi non meno importanti, tra cui quello della divulgazione storico-scientifica e dell'accessibilità delle ricostruzioni digitali al pubblico con l'eventuale stampa 3D delle stesse per poterle impiegare in laboratori didattici per i più piccoli e/o in percorsi tattili per non vedenti. Nella Figura 1 sono riportati alcuni esempi dei materiali che sono stati rilevati. La strumentazione utilizzata per questo lavoro è una fotocamera Nikon D3300 dotata di sensore CMOS di 23.5 mm di lato con obiettivo Nikkor 18-55 mm. In linea teorica è possibile, in base alle caratteristiche della camera utilizzata e alla modalità di acquisizione, conoscere la dimensione del pixel "a terra" (GSD) a partire dalla distanza di scatto secondo la formula:  $GSD = D * ss / (f * sp)$ ; dove D è la distanza camera-oggetto; f è la focale utilizzata; ss è la lunghezza del sensore; sp è la dimensione in pixel del sensore.



**Figura 1** A sinistra, all'interno del cerchio rosso, si può osservare l'area del sito archeologico di Bocca delle Menate; a destra, invece, sono riportate le fotografie di quattro frammenti rinvenuti durante la ricognizione di superficie nell'aprile del 2021: a) frammento di marmo caratterizzato dalla presenza di una decorazione a forma di delfino; b) frammento in alabastro di una decorazione; c) mattone con bollo parziale; d) laterizio con l'impronta di un cane. Notiamo in ogni immagine un quadrato di riferimento disegnato sulla tavoletta su cui è posato il reperto.

**Figure 1** The archaeological area of Bocca delle Menate is shown in the left side picture, within the red circle; the four pictures on the right show four finds which have been picked up during the archaeological survey in April 2021. From the left-top clockwise they are: a) a marble piece with dolphin decoration; b) a little alabaster piece; c) a brick piece with an identifying mark; d) a brick piece with a dog print. Note the black square enclosing the objects in each image.

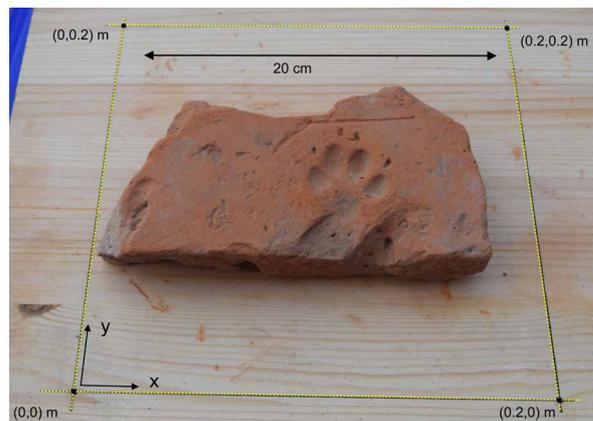
Dalla Figura 2 risulta evidente che se gli scatti avvengono ad una distanza di qualche decina di centimetri (o inferiore) si possono ottenere dei pixel aventi dimensioni dell'ordine di pochi centesimi di millimetro, che per distanze ancora inferiori arrivano a raggiungere alcuni millesimi di millimetro (per esempio da 5 cm di distanza con una focale 55 mm si ottiene un valore inferiore a 4 millesimi di millimetro, cioè  $4 \cdot 10^{-6}$  m). Come già sottolineato, al fine di massimizzare la rapidità delle acquisizioni e delle operazioni successive di calcolo, il numero degli scatti fotografici durante la fase di rilievo viene minimizzato. Inoltre, occorre tenere in considerazione l'eventuale difficoltà di ottenere delle immagini a fuoco da una distanza ravvicinata e che non producano, per effetto della presenza strumentale ingombrante, delle alterazioni nella luminosità dell'oggetto.



**Figura 2** La dimensione teorica dei pixel (asse y, in millimetri) in funzione della distanza di acquisizione (asse x in metri). Le famiglie dei valori variano in base alla focale utilizzata (qui compresa tra 30 e 55 mm).

**Figure 2** The y-axis shows the pixels theoretical dimension (in millimeters) as a function of the distance at which the pictures have been taken. Different colours indicate different focal lengths.

In questo lavoro preliminare, le immagini sono state acquisite nel formato jpeg, che permette di collezionarne un'elevata quantità senza occupare un'eccessiva memoria. Nonostante si tratti di un formato compresso e quindi "degradante" rispetto alla risoluzione di formati alternativi (raw, tiff, ecc.), trattandosi di misure organizzate su distanze di lavoro non superiori a 20-30 cm il compromesso tra la dimensione dei file e il dettaglio ottenibile, come visto in precedenza, risulta comunque più che accettabile. Per fornire un riferimento metrico, come già evidente nella Figura 1, gli oggetti sono stati appoggiati su una tavoletta su cui sono stati evidenziati degli elementi geometrici di riferimento: nel caso specifico due quadrati di lato 20 cm e 10 cm. Da un punto di vista applicativo, il set di immagini relative a ciascun oggetto permette di individuare dei punti di riferimento di coordinate note, ossia i vertici dei due quadrati disegnati e di avere linee di lunghezza nota che formano delle polilinee aventi perimetro rispettivamente di 80 cm e 40 cm. In alcuni lavori e rapporti tecnici precedenti è stato evidenziato come l'uso delle polilinee per effettuare il calcolo del fattore di scala, utile a trasformare una nuvola di punti ottenuta senza inserire alcun vincolo in fase di restituzione fotogrammetrica, sia una scelta vincente se le lunghezze in esame sono tali da contenere l'oggetto rilevato [Pesci et al., 2020; Pesci et al., 2021]. L'errore sulla metrica del modello ottenuto risulterà, in tali casi, trascurabile rispetto alla precisione attesa per ciascun modello e pertanto non comporterà alterazioni nel risultato delle indagini metriche.



**Figura 3** Il laterizio già mostrato in Figura 1d appoggiato su una tavoletta di compensato e inserito nel perimetro all'interno di un quadrato di 20 cm di lato. I quattro vertici  $(0;0)$ ,  $(0.2; 0)$ ,  $(0; 0.2)$ ,  $(0.2; 0.2)$  e la lunghezza del perimetro (80 cm) forniscono, durante la fase di analisi, i riferimenti metrici necessari ad associare una scala reale alla nuvola di punti.

**Figure 3** The brick already shown in Figure 1d placed on a wooden plate within a 20 cm sided square. The four vertices  $(0;0)$ ,  $(0.2; 0)$ ,  $(0; 0.2)$ ,  $(0.2; 0.2)$  together with the perimetral length (80 cm) are needed to derive the metrical reference enabling to assign the real size to the point cloud.

## 1.1 Considerazioni preliminari sulle precisioni

Al fine di ottenere un'informazione oggettiva e non soltanto presunta o teorica sulle precisioni attese per le osservazioni e i rilievi, prima di iniziare i lavori di fotogrammetria sul campione dei 40 reperti archeologici, si è deciso di svolgere una prova indipendente. In particolare è stato rilevato il retro di una mattonella decorativa moderna sul quale sono ben visibili le scritte "CERAMICA - AURELIA, VEGGIA ITALY" relative al noto marchio di produzione di ceramiche fondato nel 1961 a Veggia (Sassuolo, MO). La scelta di un elemento moderno è stata dettata dal desiderio di quantificare la precisione in assenza di tutte le irregolarità che sono generalmente presenti sulla superficie dei reperti archeologici e sono dovute al degrado prodotto da diversi fattori fisici e chimici: la disgregazione meccanica, le oscillazioni termiche, la dissoluzione ad opera di agenti biologici, la corrosione, le radiazioni elettromagnetiche, ecc. L'obiettivo era quindi quello di verificare empiricamente le precisioni attese per comprendere a quale livello si potesse giungere nell'interpretazione dei dati rilevati. Nella Figura 4 è mostrato l'oggetto da rilevare nella sua interezza (a sinistra) e in un suo particolare contenente parte della scritta (a destra).

Nel caso del rilievo dell'oggetto visto nella sua interezza, le immagini (30 in totale) sono state acquisite da una distanza di circa 30 cm da posizioni distribuite sulla semisfera che circonda la mattonella e utilizzando una focale di 48 mm; nel caso del rilievo parziale, le immagini (20 in totale) sono state acquisite da una distanza di circa 10 cm utilizzando una focale di 55 mm.

La mappa delle differenze punto piano nell'intervallo  $\pm 5 \cdot 10^{-4}$  m (cioè tra  $\pm 5$  decimi di millimetro) permette di notare che sul bordo la colorazione dei punti è prevalentemente di verde ad indicare che la loro distanza dal piano interpolato presenta dei valori molto prossimi allo zero. Si nota che i valori negli angoli indicano un abbassamento di alcuni decimi di millimetri rispetto al piano interpolatore e che la parte centrale della mattonella è rialzata mediamente di circa 2-3 decimi di millimetro. Le scritte, infine, si leggono bene.

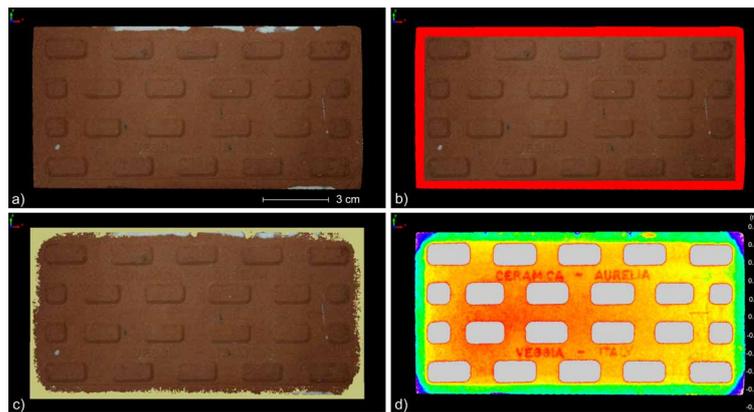
Lo stesso approccio applicato alla nuvola di punti relativa al rilievo parziale (Figura 4, a destra) rivela una maggiore nitidezza nei dettagli, come si può verificare confrontando la Figura 5d con

la Figura 6b. Un confronto diretto e visivo (Figura 7) evidenzia la miglior qualità di dettaglio ottenuta con foto acquisite da una distanza inferiore e utilizzando una focale più lunga.



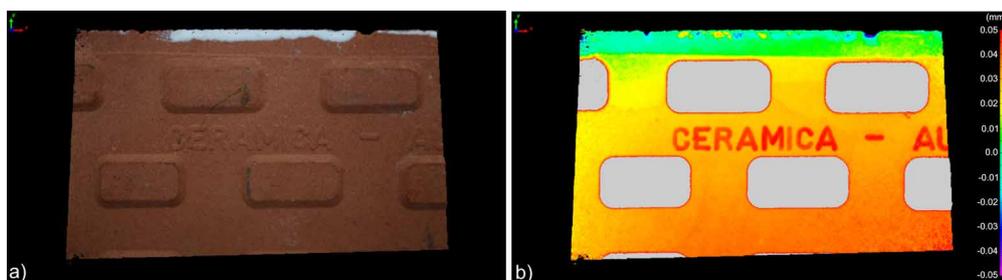
**Figura 4** A sinistra, una delle foto del set relativo al rilievo completo dell'oggetto; a destra, una delle foto del set relativo al rilievo parziale a maggiore definizione.

*Figure 4* The picture on the left is taken from the total set survey of the target seen in its complete size; the picture on the right is taken from the total set survey of a target detail. The last one has of course a higher definition than the former one.



**Figura 5** a) La nuvola di punti; b) la scelta dei punti sulla cornice; c) il piano di best fit alla cornice; d) la mappa delle differenze punto-piano.

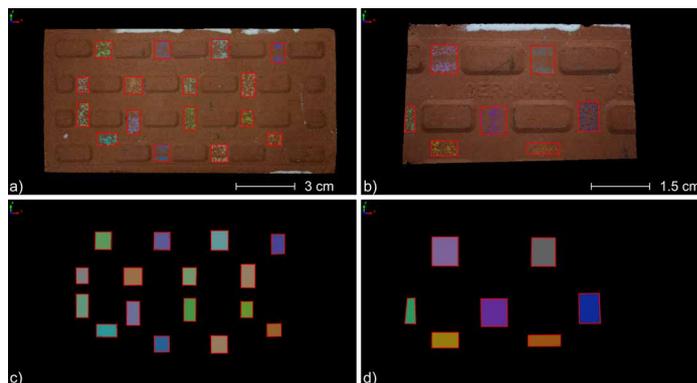
*Figure 5* a) The point cloud; b) the points on the frame which have been chosen; c) the plane fitted to b); d) the point to plane differences.



**Figura 6** a) La nuvola di punti; b) la mappa delle differenze punto-piano. Si nota come la scritta sia molto più definita qui che non nel rilievo a minor risoluzione (cfr. Figura 5d).

*Figure 6* a) The point cloud; b) the point to plane differences. As expected, the letters are much better defined here than in the low resolution survey (Figure 5d).

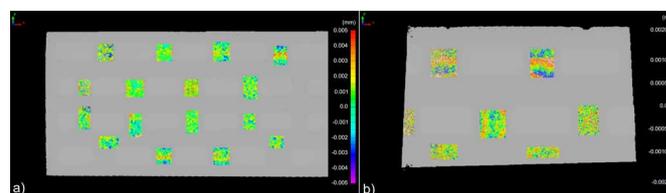
Oltre all'ispezione visiva, per valutare quantitativamente la precisione dei modelli 3D, è stato utilizzato un metodo che consentisse di estrarre informazioni sul "rumore" delle nuvole di punti, sulla ripetibilità e, allo stesso tempo, evitasse di compromettere il risultato inserendo nei calcoli dei pattern dovuti ad aspetti morfologici dell'elemento (ad esempio, la bombatura ben visibile in rosso sia nella Figura 5d che parzialmente nella Figura 6b). È stata quindi creata una serie di primitive di riferimento, ossia dei piccoli piani di lato compreso tra circa 0.5 cm e 1 cm, distribuiti abbastanza regolarmente nella nuvola di punti e fittati a tali specifiche aree. Successivamente si è seguito il solito approccio del calcolo delle mappe punto-piano ed è stata definita la scala di valori che contenesse tutte le differenze, compresi i picchi e le irregolarità puntuali. La Figura 7 mostra la localizzazione delle primitive di riferimento per le nuvole di punti relative all'intera mattonella e a una parte di essa.



**Figura 7** a) La nuvola di punti dell'intera mattonella; b) la nuvola di punti di un dettaglio della mattonella; c) le primitive di riferimento per a); d) le primitive di riferimento per b).

*Figure 7* a) The point cloud for the whole target; b) the point cloud for the target detail; c) the reference primitives for a); d) the reference primitives for b).

Tutte le distanze punto-piano sono state calcolate nelle aree evidenziate nelle Figura 7b e 7c e rappresentate nella Figura 8. Le scale di colore sono state scelte per includere tutto l'intervallo di valori relativo alle differenze e una semplice statistica mostra che queste ultime sono contenute rispettivamente negli intervalli  $\pm 6 \cdot 10^{-2}$  mm e  $\pm 2 \cdot 10^{-2}$  mm.



**Figura 8** a) Le mappe delle differenze punto-piano relative alla Figura 7c; b) le mappe delle differenze punto-piano relative alla Figura 7d.

*Figure 8* a) The point to plane differences for Figure 7c; b) the point to plane differences for Figure 7d.

L'analisi effettuata per verificare la precisione e il potere risolutivo della tecnica utilizzata mostra che le dimensioni dei pixel sono circa  $2 \cdot 3 \cdot 10^{-2}$  mm per il modello relativo all'intera mattonella e circa  $0.7 \cdot 1 \cdot 10^{-2}$  mm per il modello relativo al dettaglio dell'oggetto rilevato e che in entrambi i

casi le ripetibilità sono circa 4 volte la dimensione nominale del pixel. Questo dato può essere utile nella programmazione delle misure al fine di ottimizzare il rilievo pur non rinunciando al dettaglio richiesto che si mostra essere al di sotto del decimo di millimetro.

## 2. Rilievi dei reperti archeologici

Nel mese di dicembre 2021 è stato possibile accedere al Museo Delta Antico di Comacchio e prendere visione diretta dei reperti ivi conservati. Tali elementi sono stati identificati e catalogati nel maggio 2021 durante una campagna di rilievo organizzata dal Dipartimento di Studi Umanistici dell'Università di Ferrara nell'ambito del progetto europeo "EnVironmental And cuLtUralhEritage development" ([www.parcodeltapo.org/](http://www.parcodeltapo.org/)) e sono tuttora oggetto di studio. La fotogrammetria SfM è stata quindi considerata come un'opportunità per creare un archivio digitale costituito da modelli 3D. L'idea è quella di avere a disposizione un insieme di ricostruzioni virtuali facilmente accessibili e utilizzabili per scopi diversi. Oltre alla possibilità di studio da parte degli addetti ai lavori, si pensa anche ad applicazioni di carattere didattico e divulgativo. Nel primo caso, l'aspetto relativo alla metrica e alla sua precisione è sicuramente il fattore più rilevante, unito ovviamente a quello della risoluzione; negli altri casi, invece, è richiesta soltanto un'ottima qualità delle immagini.

Nelle tabelle seguenti sono elencati i reperti che fanno parte del piccolo campione su cui è stato testato il metodo di acquisizione delle immagini e di creazione dei modelli 3D. Come già illustrato, si tratta di un procedimento necessario per garantire che il metodo che si intende applicare all'intera collezione dei reperti archeologici conservata al Museo Delta Antico di Comacchio funzioni correttamente e rispetti le precisioni richieste. La Tabella 1 mostra i 26 laterizi accompagnati da una serie di informazioni: oltre all'immagine, vengono riportati il codice identificativo, il bollo (eccezion fatta per il reperto 307 su cui è presente una impronta di cane), il numero delle fotografie che sono state scattate, la lunghezza focale utilizzata e il fattore di scala necessario per assegnare alla nuvola di punti originale un set metrico di valori. La Tabella 2, realizzata con gli stessi criteri, mostra le informazioni per i 14 lapidei ed una breve "descrizione" dei manufatti.

<i>Foto del reperto</i>	<i>Codice identificativo</i>	<i>Bollo</i>	<i>Numero di foto acquisite</i>	<i>Focale (mm)</i>	<i>Fattore di scala %</i>
	BM21 52	SIANA	39	48	
	BM21 117	CNFA	45	48	
	BM21 123	SIANA®	33	36	13.9

	BM21 129	TIPANS	46	38	5.1
	BM21 132	CNFAVST	38	34	7.7
	BM21 146	S	55	55	14.9
	BM21 233	NA	39	36	8.5
	BM21 286	OLO	48	46	12.4
	BM21 304	IAN	39	48	7.1
	BM21 307	-	49	52	5.4
	BM21 308	CNFAVST	54	55	15.6
	BM21 323	TIPANSI	40	38	1.3
	BM21 398	PANS	41	28	3.6
	BM21 498	A	54	52	10.9

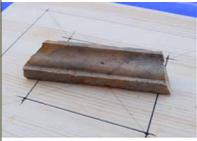
	BM21 527	ANA	31	25	4.6
	BM21 531	NSIAN	34	55	4.5
	BM21 532	AS	35	55	10.8
	BM21 583	TIPANS	43	34	3.1
	BM21 654	AN	43	55	9.0
	BM21 706	PA	38	55	11.1
	BM21 713	PA	32	38	5.4
	BM21 720	TIPAN	30	34	11.9
	BM21 721	ANSIA	43	35	5.1
	BM21 749	NA	50	55	11.9
	BM21 753	OLO	40	55	4.9

	BM21 859	NSIANA	43	52	14.0
---	----------	--------	----	----	------

**Tabella 1** I laterizi bollati. Per ciascuno sono mostrati: la foto, il codice identificativo, il bollo, il numero di foto acquisite, la lunghezza focale utilizzata e il fattore di scala. Il fattore di scala è la correzione percentuale applicata per passare dalle dimensioni non metriche a quelle reali.

**Table 1** Bricks with identifying marks. For each of them are shown: the picture, the identifier code, the identifying mark, the number of acquired pictures, the camera focal length and the scale factor.

Foto del reperto	Codice identificativo	Descrizione	Numero di foto acquisite	Focale (mm)	Fattore di scala %
	BM21 27	Frammento marmoreo scanalato in marmo africano. È possibile che facesse parte di una lesena	35	24	3.4
	BM21 48	Frammento marmoreo scanalato in portasanta con la figura di un delfino stilizzato. È possibile che facesse parte di una lastra di rivestimento pavimentale o parietale	57	24	4.3
	BM21 71	Frammento modanato in portasanta. Si ipotizza che potesse essere parte di una lastra di rivestimento	42	24	4.4
	BM21 77E	Frammento di toro in marmo bianco a grana media	30	24	10.1
	BM21 122	Frammento in bigio di una lastra di rivestimento caratterizzato dalla presenza dell'incasso della grappa in ferro su un lato	38	24	6.5
	BM21 163	Tondino in bigio	30	24	6.4
	BM21 306	Frammento in giallo antico di una cornice modanata	33	24	4.1

	BM21 426	Frammento in giallo antico caratterizzato da una scanalatura. Possibile parte di una base	33	24	4.9
	BM21 597	Frammento in alabastro di una lastra sagomata a forma circolare con modanatura liscia definita da una striscia di malta	25	24	5.4
	BM21 639	Frammento di cornice in marmo bianco	28	24	5.2
	BM21 833	Cornice modanata in giallo antico	39	24	6.3
	BM21 840	Lastra marmorea di rivestimento triangolare	29	24	11.5
	BM21 884	Toro modanato in alabastro	38	24	7.5
	BM21 1025	Frammento di lastra parietale in marmo rosa di Verona con una decorazione circolare	29	24	6.9

**Tabella 2** I lapidei. Per ciascuno sono mostrati: la foto, il codice identificativo, una breve descrizione, il numero di foto acquisite, la lunghezza focale utilizzata e il fattore di scala. Il fattore di scala è la correzione percentuale applicata per passare dalle dimensioni non metriche a quelle reali.

*Table 2* Marbles. For each of them are shown: the picture, the identifier code, a short description, the number of acquired pictures, the camera focal length and the scale factor.

### 3. Trattamento delle immagini

Come brevemente descritto nella parte introduttiva, in questo lavoro si è applicata la metodologia fotogrammetrica per restituire dei modelli foto-realistici 3D di un piccolo campione di reperti archeologici. Nel caso specifico si tratta di 26 laterizi e 14 lapidei, che saranno contestualizzati in un progetto più ampio, il cui scopo è quello di creare un database visualizzabile ed interrogabile, senza dover necessariamente maneggiare i reperti. La possibilità di lavorare sui modelli digitali permette di effettuare numerose operazioni non invasive e derivare le conseguenti ipotesi, senza rischiare di compromettere lo stato di conservazione dei manufatti.

Inoltre, i modelli rendono i reperti fruibili non solo agli “addetti ai lavori”, ma anche al grande pubblico. I tempi necessari al rilievo e alla restituzione, oltre che alle analisi, variano a seconda dell’oggetto ma, mediante la fotogrammetria, è possibile fornire un’informazione generale fondata su tempi di alcuni minuti per quanto riguarda gli scatti fotografici e di alcune decine di minuti o di qualche ora (in base alla potenza di calcolo a disposizione) per la creazione dei modelli digitali. Il software Photoscan (Agisoft) è stato utilizzato per la parte centrale delle analisi fotogrammetriche e cioè l’elaborazione delle immagini e la restituzione delle nuvole di punti. Per le operazioni di post-processing è stato utilizzato il pacchetto IMInspect di Polyworks ([www.innovmetric.com](http://www.innovmetric.com)) al fine ottenere ed applicare un fattore di scala e trasformare le nuvole di punti iniziali in nuvole di punti metriche. Inoltre, Polyworks è stato utilizzato per generare modelli ed inserirli/regarli in un sistema di riferimento comune, metrico e orientato (anche in modo arbitrario) e per realizzare lavori di ispezione e analisi dati.

Lo schema di lavoro è quindi riassumibile in una serie di alcuni passaggi: 1) posizionamento del reperto su una tavoletta o appoggio sulla quale siano presenti dettagli metrici (nel caso specifico quadrati di vertici e perimetro noti); 2) scatto di immagini (> 20) in buone condizioni di illuminazione; 3) allineamento delle immagini e restituzione delle nuvole di punti mediante il software Photoscan; 4) editing e scalatura delle nuvole di punti col metodo delle polilinee mediante il software Polyworks; 5) ispezione e trattamento delle nuvole di punti per estrarre informazioni metriche e radiometriche (Polyworks).

### 3.1 Laterizi

I laterizi elencati nella Tabella 1 sono quasi tutti bollati, una caratteristica che permette di derivarne la provenienza e l’epoca di produzione. Mediante la fotogrammetria sono stati rilevati e trasformati in elementi digitali, quali le nuvole di punti e i modelli triangolati caratterizzati dalla colorazione naturale dell’oggetto stesso. Ogni modello è stato salvato nel formato pdf 3D, che ne consente una fruibilità immediata da parte di qualsiasi tipo di pubblico, dagli esperti del settore fino ai semplici osservatori. Dal punto di vista operativo, invece, sono stati selezionati i bolli, in quanto essi sono rappresentativi delle parti più interessanti dei reperti. In un certo senso, è come se si fosse virtualmente smontato il reperto mantenendone solo la parte bollata. La Figura 9 mostra i bolli estratti dai modelli e virtualmente conservati all’interno di un contenitore: tutti gli elementi sono in scala e mantengono il colore naturale acquisito al momento del rilievo.



**Figura 9** Le parti bollate delle nuvole di punti estratte dai laterizi. Tutti gli elementi sono rappresentati in modo disordinato poiché ancora non registrati in uno stesso sistema di riferimento per dare una apparenza di oggetti gettati alla rinfusa in un cassetto.

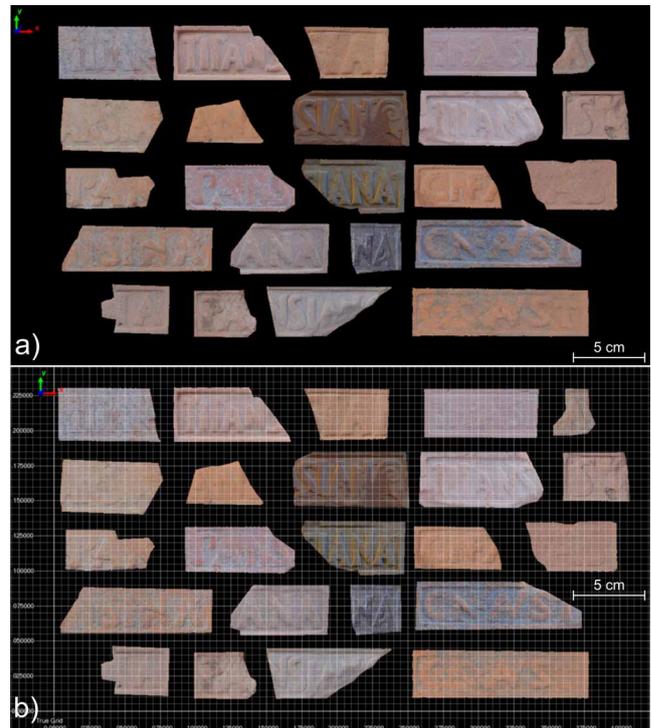
*Figure 9 Point clouds showing brick identifying marks. The elements randomly located in a same space.*

Successivamente, per caratterizzare tutti gli elementi selezionati mediante criteri morfologici e radiometrici (colore) è stata effettuata una operazione di semplificazione registrandoli in un comune

sistema di riferimento mediante operazioni di roto-traslazione. Tutte le selezioni estratte dalle nuvole di punti sono quindi state ordinate in uno spazio comune, come mostrato nella Figura 10.

**Figura 10** I bolli estratti dai modelli 3D e inseriti in uno spazio (bacheca virtuale) comune per una visualizzazione iniziale e un confronto diretto.  
a) Vista prospettica; b) vista ortogonale.

**Figure 10** As in Figure 9, but here point clouds have been inserted within a virtual blackboard allowing finds easy comparison. The upper and lower images differ only for the metric scale which is given for the lower one.



La tipologia degli elementi disponibili varia da reperti ben conservati, aventi morfologia e dimensioni facilmente leggibili (Figure 11a e 11b), a reperti invece molto più degradati, visibili ma più difficili da misurare, fino a bolli che sono contaminati dalla presenza di residui di malte. Il primo approccio di ispezione è stato quindi realizzato mettendo insieme tutti gli oggetti 3D e allineandoli su un comune piano orizzontale, come se fossero appoggiati su un pannello, e mediante la creazione di primitive di riferimento ottenute interpolando un piano per ogni elemento da analizzare (Figura 12).

Parallelamente alla caratterizzazione morfologica sono state estratte le lettere comuni a molti bolli. Questa operazione è stata effettuata in seguito all'ispezione visiva di ciascun bollo. A tale scopo, ci si è serviti delle mappe ottenute in precedenza, che hanno consentito di valutare il contorno tra i punti sul piano e i punti in rilievo costituenti le lettere e dei dettagli di colore che hanno fornito una visione di insieme sui contorni e sulle sfaccettature degli elementi. Nella Figura 13 si mostrano le estrazioni dei punti della lettera A, nelle svariate forme appartenenti ai bolli in esame. Le estrazioni sono 20 su 26 in quanto si sono esclusi i bolli privi della lettera A. Infine, è stato creato un set completo in cui fosse possibile osservare tutti gli elementi estratti con un dettaglio non inferiore al decimo di millimetro (Figura 14). La metrica associata a queste immagini consente di derivare delle informazioni importanti sulla morfologia delle lettere senza dover misurare le loro diverse parti direttamente sul reperto. Si sottolinea, inoltre, come la risoluzione delle immagini consenta una visualizzazione di qualità di gran lunga superiore a quella che si potrebbe ottenere da un'osservazione diretta. Anche nel caso di un'analisi effettuata al microscopio, la tecnica qui illustrata offre alcuni vantaggi legati alla possibilità di avere un'immagine ingrandita ben risolta e contenente delle informazioni metriche utilizzabili più volte e da diversi utenti.

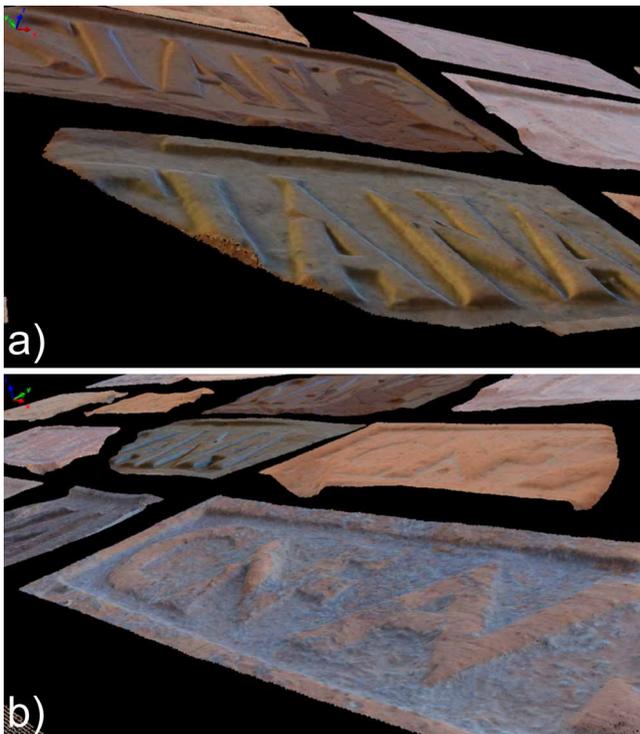


Figura 11 Gli elementi caratterizzati da un diverso stato di conservazione.

Figure 11 Identifying marks characterized by different levels of deterioration.

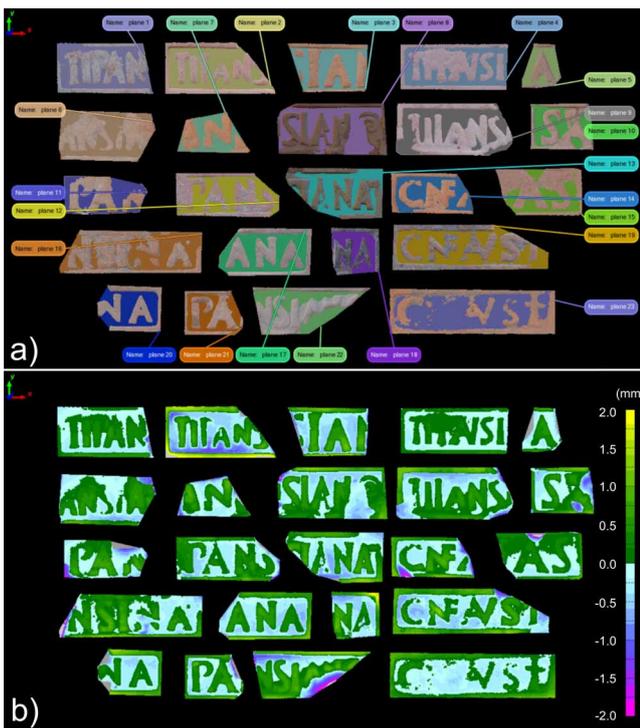


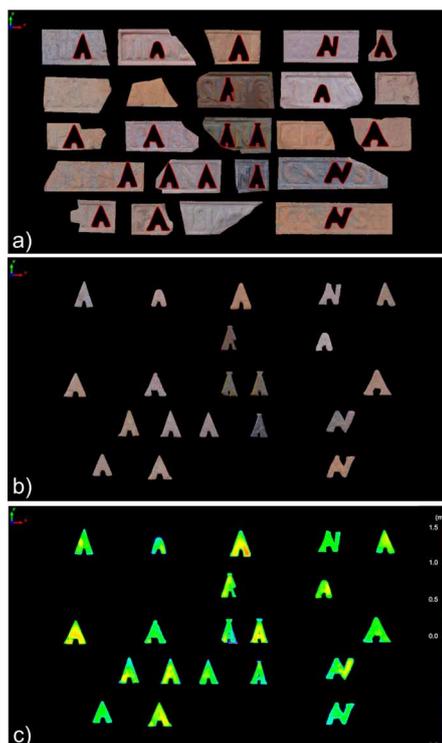
Figura 12 Gli elementi analizzati rispetto a piani di riferimento per valutare la struttura e la definizione dei contorni. a) I piani di riferimento interpolati per ogni elemento; b) le mappe punto-piano.

Figure 12 Brick identifying marks have been analyzed with respect to reference planes, in order to estimate both the structure and the borders of the letters.

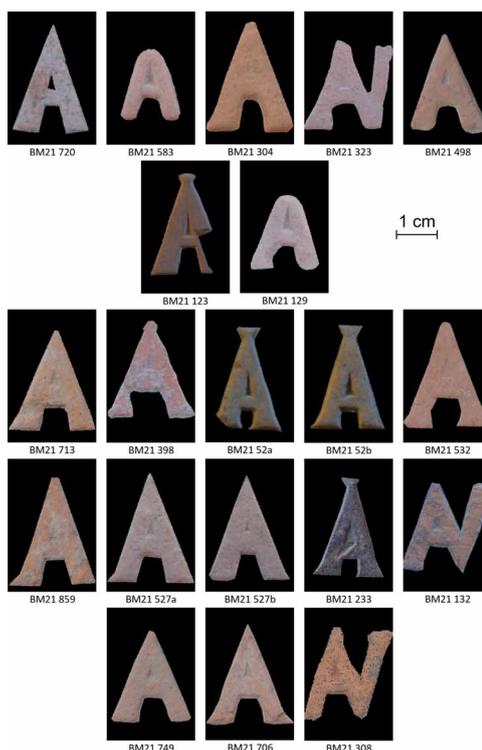
a) The reference planes interpolated to each target; b) the related point to plane differences.

**Figura 13** L'estrazione delle lettere A e l'osservazione preliminare delle forme e degli spessori. a) L'intero data set utilizzato; b) l'insieme delle lettere estratte; c) la mappa punto-piano delle lettere estratte.

**Figure 13** A letters in brick identifying marks (20/26).  
a) The complete point cloud of the identifying marks; b) the extracted A letters; c) their relative point to plane differences.



**Figura 14** Estrazione delle lettere A dai bolli rilevati.  
**Figure 14** Letters extracted from finds point clouds.



### 3.2 Lapidei

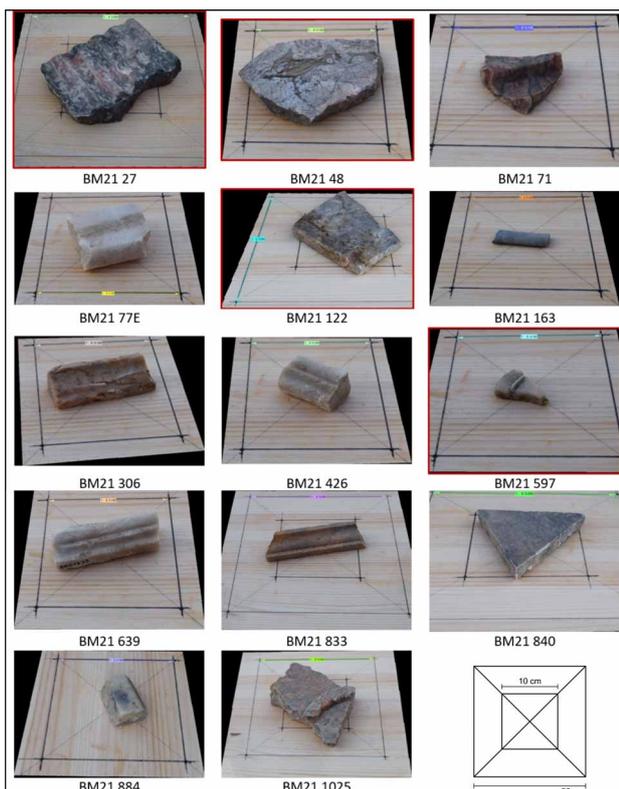
Le nuvole di punti relative ai reperti lapidei, che probabilmente erano parte di rivestimenti parietali o pavimentali o di elementi architettonici, sono mostrate nella Tabella 2. Anche in questo caso, al termine dell'analisi dei dati, sono stati realizzati dei pdf 3D navigabili in modo semplice che possono essere utilizzati da una vasta gamma di utenti. Parallelamente sono state effettuate delle ispezioni volte a fornire dei dati oggettivi e delle misure accurate in relazione alle dimensioni, alle curvature, e agli angoli e sulla base di essi è stato possibile, per quattro frammenti, formulare alcune ipotesi inerenti la funzione originale degli oggetti di cui essi erano

parte. I reperti in questione (BM21 27, BM21 48, BM21 122 e BM21 597) sono stati circondati da un bordo rosso nella Figura 15.

Dal momento che le fasi di acquisizione delle immagini e di successiva analisi non mostrano differenze sostanziali rispetto a quanto effettuato per i laterizi, in questo paragrafo ci si concentrerà esclusivamente sui quattro frammenti di cui sopra, con particolare riguardo sull'ipotesi derivata in relazione all'oggetto di cui originariamente potevano essere parte.

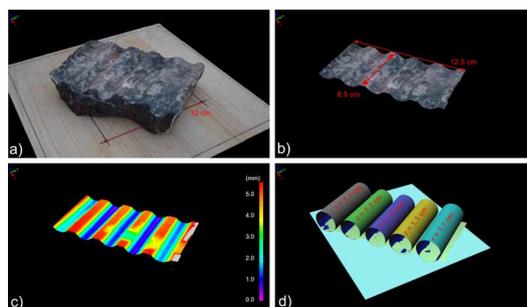
BM21 27 mostra una forma ondulata interessante. Si tratta probabilmente di un frammento che faceva parte di una lesena. Lo studio è stato condotto sulla parte ondulata dell'oggetto. Inizialmente la nuvola di punti è stata ritagliata e rototraslata per allineare gli assi dell'elemento con l'asse orizzontale e verticale di un sistema ortogonale. Successivamente è stato creato un piano di riferimento che consentisse di quantificare la dimensione delle ondulazioni superficiali che, come ben visibile nella Figura 16 varia in modo piuttosto regolare entro l'intervallo (0; 5.5 mm). Le cinque scanalature presenti nell'elemento hanno lunghezza e profondità molto simili tra loro e una valutazione della curvatura permette di modellarle con primitive che hanno forma cilindrica con un raggio di base pari a circa 1.4 cm. Questa regolarità rilevata potrebbe fornire delle informazioni importanti relative alla strumentazione utilizzata in epoca romana per lavorare il marmo in modo così accurato.

BM21 48 presenta una decorazione a forma di delfino che sembra essere stata realizzata scalpellando il blocco di marmo. Lo studio del reperto ha permesso di evidenziare che gli artigiani hanno probabilmente scalpellato il marmo fino a una certa profondità per poi applicare una malta e incollare i tasselli per creare la forma stilizzata di un delfino. La possibilità di effettuare una selezione basata sulla presenza dei colori naturali, identificabili sulla base dell'analisi fotogrammetrica, ha consentito di ritagliare la forma di interesse, ossia il delfino, con un criterio oggettivo e non arbitrario, in quanto sono state eliminate tutte le contaminazioni presenti sul reperto e l'analisi si è limitata soltanto ai punti riferibili alla decorazione.



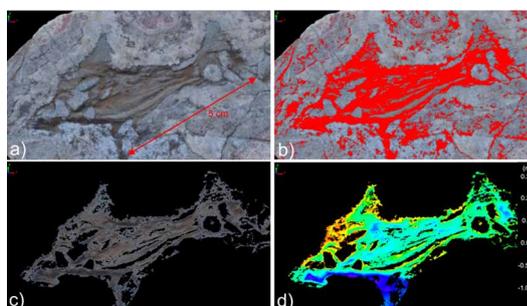
**Figura 15** I modelli 3D dei 14 lapidei oggetto di studio. Tra essi, bordati in rosso, i 4 frammenti per i quali è stata formulata un'ipotesi relativa all'oggetto di cui probabilmente facevano parte.

*Figure 15* 3D models for the 14 marbles of the small sample. The 4 marbles which have been object of a deeper investigation have been placed within a red frame.



**Figura 16** Il reperto BM21 27. a) Il modello 3D; b) la superficie ondulata ritagliata dal modello; c) la mappa delle differenze punto-piano; d) le primitive cilindriche di best fit per gli avvallamenti della superficie del reperto.  
**Figure 16** BM21 27 find. a) The 3D model; b) the top surface of the find obtained from the 3D model; c) the point to plane differences; d) the best fit to the find surface model as derived by means of five equal cylinders.

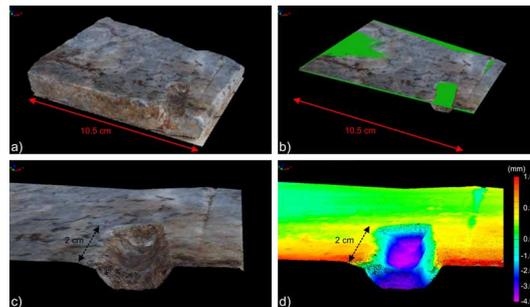
La Figura 17 mostra l'area del reperto caratterizzata dalla decorazione a forma di delfino. I contorni appaiono netti e la profondità della scalpellatura risulta di circa 1.5 mm. Si osserva molto chiaramente (Figura 17a) la presenza di un residuo di materiale (di colore grigio-verde) distribuito in maniera uniforme sia sulla pinna dorsale che sulla metà superiore di quella caudale. In assenza di analisi al microscopio, è difficile interpretarne la composizione chimica e lo scopo di impiego, così come è difficile comprendere se le regioni più chiare all'interno del delfino nella Figura 17a e quelle prive di colore rosso nella Figura 17b non siano state incise oppure se su di esse sia rimasta traccia del materiale utilizzato per incollare alla sagoma altri elementi, quali ad esempio tessere di mosaico, tasselli o pietre ornamentali.



**Figura 17** L'area del reperto BM21 48 caratterizzata dalla decorazione a forma di delfino. a) Il modello 3D; b) la selezione delle zone contraddistinte da una luminosità inferiore a 150 (nella scala 0-255); c) la decorazione a forma di delfino ritagliata dal modello 3D; d) la mappa delle differenze punto-piano relative a c).  
**Figure 17** The small area of BM21 48 find showing the dolphin decoration. a) The 3D model; b) as in a) but showing in red details having luminosity lower than 150; c) the dolphin decoration extracted from the 3D model; d) the point to plane differences for c).

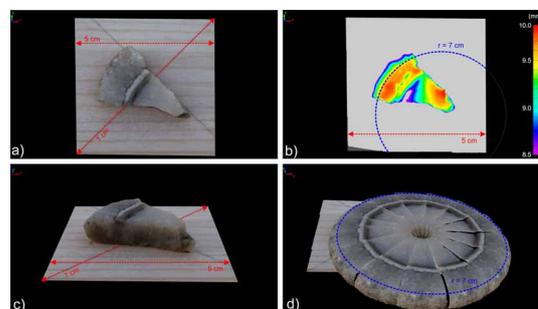
BM21 122 molto probabilmente era un elemento murario, come testimoniato dalla presenza di una sede per l'aggancio di un cardine, forse di una porta o di una finestra, avente sagomatura a forma di clessidra. Allo scopo di valutare con precisione la profondità dell'alloggio, che è risultata essere pari a 0.5 cm, il reperto è stato ritagliato e modellato con un piano.  
 L'ultimo esempio che dimostra le potenzialità delle analisi effettuate mediante l'ispezione delle nuvole di punti fotogrammetriche è fornito dallo studio del reperto BM21 597. In questo caso

la forma del frammento è molto interessante, in quanto richiama il settore di un cerchio, in particolare è il suo bordo esterno ad essere conformato ad arco. Si tratta di un frammento in alabastro, un materiale molto pregiato, avente delle piccole dimensioni (lunghezza massima < 3 cm) e una modanatura liscia definita da una striscia di malta. La sua forma e la sua natura permettono di ipotizzare che potesse essere parte di un elemento decorativo della villa romana. L'analisi effettuata su questo frammento, delineata nei suoi passi più significativi nella Figura 19, consente anche di realizzare un modello dell'oggetto di cui il reperto avrebbe potuto far parte.



**Figura 18** Il reperto BM21 122, una lastra di marmo sagomata per l'inserimento di un cardine. a) Il modello 3D; b) la superficie del modello 3D ritagliata e fittata con un piano di riferimento; c) il dettaglio per l'alloggio del cardine; d) la mappa delle differenze punto-piano relative a c).

*Figure 18* BM21 122 find: a marble piece once probably hosting a hinge. a) The 3D model; b) the top surface of a) and its best fit plane; c) the detail showing the place for the hinge; d) the point to plane differences for c).



**Figura 19** Il reperto BM21 597. a) Il modello 3D (vista ortogonale); b) la mappa delle differenze punto-piano relativa ad a) comprensiva di una circonferenza di best fit al bordo esterno del frammento; c) il modello 3D (vista prospettica); d) l'ipotesi relativa alla forma dell'elemento decorativo ricostruita col programma PolyWorks.

*Figure 19* BM21 597 find. a) The 3D model (orthogonal view); b) the point to plane differences for a). Also shown is the best fit circle to the external border of the find model; c) the 3D model (perspective view); d) the original element in which the find might have been included reconstructed by means of PolyWorks.

## 4. Conclusioni

In questo lavoro è stata presentata l'analisi preliminare di alcuni reperti rinvenuti nel sito archeologico di Bocca delle Menate, a Comacchio (FE), durante la ricognizione di superficie avvenuta nell'aprile del 2021. In tale zona, già oggetto di una campagna di scavo alla fine degli anni Cinquanta del Novecento, sorgeva anticamente una villa romana. I reperti scelti per la

presente analisi sono 40 e appartengono alle classi dei laterizi e dei lapidei. Prima di applicare la fotogrammetria SfM all'intera collezione dei materiali archeologici rinvenuti e conservati presso il Museo Delta Antico di Comacchio (FE), allo scopo di ottenere dei modelli 3D che possano essere inseriti in un archivio digitale, è stato necessario verificare la validità e l'accuratezza del metodo di analisi e per questo motivo è stato selezionato un piccolo campione. Precedentemente a quest'ultimo, è stato analizzato un campione moderno e integro, ossia privo di contaminazioni e degradi che inficerebbero i risultati ottenuti e di conseguenza anche la stima dell'accuratezza raggiungibile con il metodo. Verificato che il metodo, improntato all'insegna della massima velocità ed economia, fornisce dei livelli di precisione più che soddisfacenti, lo si è applicato al piccolo campione di 40 reperti archeologici (26 laterizi e 14 lapidei). I risultati hanno dimostrato la fattibilità del progetto più ampio, di cui il presente lavoro costituisce il punto di partenza, che prevede di estendere l'analisi all'intera collezione del materiale rinvenuto. È superfluo sottolineare come la possibilità di avere dei modelli 3D dei reperti archeologici, inseriti all'interno di un database e pertanto facilmente accessibili, costituirà molto probabilmente non solo un grande passo in avanti per gli addetti ai lavori, che avranno modo di verificare le loro ipotesi su campioni anche molto estesi e appartenenti a collezioni diverse, ma anche per quanto concerne gli aspetti divulgativi di una disciplina affascinante.

## Ringraziamenti

Le autrici desiderano ringraziare il Dott. Marco Bruni, la Dott.ssa Mariarosa Sabattini e tutto il personale del Museo Delta Antico di Comacchio (FE) per la cortese disponibilità e la calda accoglienza nei giorni dedicati alle acquisizioni fotografiche dei reperti analizzati in questo lavoro. Porgono inoltre un sentito ringraziamento alle Prof.sse Carmela Vaccaro, Ursula Thun Hohenstein e Rachele Dubbini dell'Università degli Studi di Ferrara e alla Dott.ssa Francesca Romana Fiano dell'Università degli Studi La Sapienza di Roma, coordinatrici del progetto più ampio di cui il presente lavoro intende essere un piccolo contributo di partenza. Le autrici ringraziano infine il Dott. Obes Zappaterra per la sua accurata catalogazione dei reperti e per la sua simpatia.

Alessandra Rossetti desidera ringraziare l'Università degli Studi di Ferrara per l'assegnazione di una borsa di studio che le ha consentito di entrare a far parte di una grande collaborazione multidisciplinare, nonché di svolgere il presente lavoro sotto la supervisione della Dott.ssa Arianna Pesci.

## Bibliografia

- Granshaw S.I., Frase C.S., (2015). *Computer Vision and Photogrammetry: Interaction or Introspection*. The Photogrammetric Record, 30(149), pp. 3–7.
- Pesci A., Teza G., Loddo F., (2021). *Calcolo del fattore di scala nelle analisi SfM: considerazioni*. Rapporto Tecnico INGV, 436, pp.10.
- 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), 04020017113.
- Pesci A., Teza G., Loddo F., (2019). *Low cost StructurefromMotionbased fast surveying of a rock cliff: precision and reliability assessment*. Quaderni di Geofisica, 156, pp. 122, <https://doi.org/10.13127/qdg/156>
- Pesci A., Teza G., Bacchetti M., Piroddi G., Rocchi B., (2017). *Fase preliminare di un esperimento per valutare la risoluzione dei modelli SfM*. Rapporto Tecnico INGV, 389, pp. 16,

<https://doi.org/10.13127/rpt/389>

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), pp.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 Suveying Engineering. 142 (3): 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, pp. 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)

