

La Torre della Marina di Vietri sulla Costa d'Amalfi: test statistico-predittivi di dati fotogrammetrici

The Tower of Marina di Vietri on Amalfi Coast: a statistical-predictive test of photogrammetric data

Sara Morena^a, Salvatore Barba^b

Università di Salerno, Fisciano, Italy
^asmorena@unisa.it; ^bsbarba@unisa.it

Abstract

The focus of the work is on close-range photogrammetry and mainly on the low-cost technologies, experimented in the survey of Tower of Marina di Vietri, a historical building erected in the sixteenth century at Vietri sul Mare in the Province of Salerno. The general objective is to codify a methodology for objectifying the comparisons of the results; hence, the research starts from an original analysis conducted on the returned orthophotos by several photogrammetric paradigms. To estimate its reliability and precision, we proceeded, at first, with the extension and application of an error propagation law and then with the validation of the comparison according to a predictive type test.

The first results are presented here after a study on raster images generated according to different algorithms. Subsequently, on each graphic product, 73 points were identified and for each of the relative coordinates the deviation are evaluated by verifying them with the value of the standard deviation. Consequently, for the purpose of greater validation of the methodology, a predictive test was implemented with the aim to confirm the criterion used for the comparison and to guarantee, in probabilistic terms, the values analysed; finally, a further three-dimensional analysis was conducted directly on the 3D models.

It is banal to observe that aleatory –subjectivity, etc.– which often characterizes already known approaches, in any case assumed as a starting point, does not always allow to obtain generally valid results and, therefore, extendable beyond the single case study. The implementation of this first test, otherwise, proved to be extremely valid in the survey for architecture, both for an absolute evaluation of the quality of the individual results and for the possibility to estimate, also predictively, the relative effectiveness of the method used. This guarantees the evaluation of the relative percentages of errors in probabilistic terms.

Keywords: Low-cost survey, SfM, error theory, cultural heritage.

1. Introduzione

L'uso delle nuove tecnologie nel campo del rilievo architettonico rappresenta oggi una pratica sostanziale per la conoscenza e la salvaguardia del Cultural Heritage: la possibilità di riuscire a perseguire tale scopo anche attraverso

l'implementazione di tecnologie più o meno low-cost rappresenta sicuramente un traguardo notevole, permettendo di volgere una maggior attenzione al cosiddetto patrimonio diffuso presente sul nostro territorio che spesso versa in

uno stato di abbandono e che, in alcuni casi, risulta quasi o del tutto sconosciuto.

Obiettivo di questo nuovo studio è quello di approfondire, attraverso innovativi test statistico-predittivi, l'utilizzo di strumenti e applicativi economici per la conoscenza del patrimonio architettonico, implementabili sia per rilievi sia quali mezzi per la conservazione, valorizzazione e diffusione.

Il lavoro, infatti, prevede un'originale analisi e confronto delle metodologie impiegate per l'acquisizione e l'elaborazione dei dati. Questa valutazione, che ha come base uno sviluppo della teoria degli errori, si propone di stimare l'affidabilità e la precisione degli elaborati generati. Il metodo per il raffronto, inoltre, troverà ulteriore riscontro sulla base del valore predittivo di un test condotto secondo il paradigma del *close-range photogrammetry* e l'implementazione di tecnologie *low-cost* applicate alla Torre della Marina, un manufatto storico del XVI secolo sito in Vietri sul Mare.



Fig. 1. A View of Vietri in the Gulf of Salerno, (Clarkson Stanfield, 1855); Coll. Ashmolean Museum, Picture Library, Beaumont Street, Oxford.

2. Caso di studio

Il sistema difensivo della costiera amalfitana rappresenta un elemento distintivo del territorio salernitano, esplicitativo dell'evoluzione che lo stesso territorio ha 'subito' nel corso dei secoli. Le caratteristiche orografiche del litorale, ricco di promontori e insenature, da sempre si è rivelato un ambiente favorevole per gli attacchi nemici, prima dalla pirateria e poi dai saraceni, rendendo questi luoghi soggetti a invasioni e saccheggiamenti. Le prime testimonianze per far fronte a

tale insicurezza risalgono già al periodo Romano, con sporadiche torri sparse lungo la costa (Russo, 2009, p. 32); tuttavia, solo verso la fine del XIII secolo, a seguito dell'intensificazione delle incursioni saracene, si concretizzò un sistemico intervento per la difesa di queste terre. A partire dalla dinastia Angioina a quella Aragonesa poi, si procedette alla realizzazione di svariati manufatti aventi finalità di monitoraggio e segnalazione della costa. Ciò nonostante il fenomeno corsaro non trovò tregua e intorno al XVI secolo il vicereame spagnolo elaborò un imponente piano di difesa con due progetti: il primo elaborato da don Pedro de Toledo (1532) e il secondo realizzato da don Pedro Afan de Ribera (1563).

La torre oggetto di studio fu realizzata intorno al 1564, coincidente proprio con il periodo vicereale. Edificata dall'Università della Cava –Cava de' Tirreni, una delle principali città costruttrici delle torri marittime dell'epoca–, presenta cinque troniere e assolveva principalmente alla funzione di segnalazione e sbarramento, con una pianta quadrata di 17 m e una struttura tronco piramidale che si sviluppa per un'altezza di 25 m. Nonostante originariamente fosse realizzata in prossimità del mare (Fig. 1), oggi si trova completamente integrata nel contesto urbano della città (Santoro, 2012, p. 241). La sua conformazione fisica ha subito nel tempo una serie di trasformazioni al fine di adeguare la struttura alle svariate funzioni assolte. Da principio, per ottemperare alla funzione difensiva, fu realizzata di grosse dimensioni ed era sprovvista di un ingresso diretto nei primi sei metri di altezza. L'invulnerabilità della torre, infatti, era garantita da un'apertura al secondo livello in direzione della città, probabilmente tramite una scala fissa, situata prossima alla torre e collegata per mezzo di un ponte levatoio. Il manufatto, su due livelli, presentava una terrazza, accessibile per mezzo di una scala interna, caratterizzata dalla presenza di una tipica garitta voltata. Però, dal XVIII secolo in poi, la torre ha subito una serie di superfetazioni con l'aggiunta di alcuni volumi sulla piazza, l'apertura di un ingresso alla base, la realizzazione di una scalinata accostata al manufatto, l'eliminazione del ponte levatoio e, in ultimo, la realizzazione di una sorta di balconata al primo

livello sorretta da un grande arco addossato alla parete (Barbato, Morena, 2017, pp. 3-5).

2.1. Rilevamento e post-processing

L'acquisizione in loco è stata condotta con una camera digitale compatta, una Fujifilm XF1 dotata di un sensore EXR CMOS (8,8 x 6,6 mm) con risoluzione massima di 12 Megapixel. Il rilievo è stato eseguito operando con focale fissa a 6mm, da una distanza di circa 7m ed assicurando un overlap, a vantaggio di sicurezza, degli scatti dell'80-90% per, quindi, un GSD di 0,34 cm/pixel (Luhmann, *et al.*, 2006). Le dimensioni dell'edificio e la tecnica adoperata hanno permesso di condurre in modo speditivo le acquisizioni, anche se svariate sono state le problematiche riscontrate: innanzitutto, lo spazio circostante al manufatto si presentava vario e, di conseguenza, non sempre sono state possibili acquisizioni della facciata parallele al piano focale, in aggiunta la presenza di edifici circostanti ha inevitabilmente generato ombra sulla torre, oltre che l'adiacenza di un arbusto stesso che ha reso difficoltoso il rilievo della facciata principale; in ultimo, non avendo adoperato un'asta telescopica, non è stato possibile rilevare interamente e correttamente la parte superiore dell'edificio con conseguente mancanza di informazioni.

A supporto di tale rilievo è stata condotta un'ulteriore acquisizione tramite stazione totale Topcon GPT che consente di ottenere una precisione –da manuale e in assenza di prisma– di circa 0,005 m. L'attività di campagna si è conclusa con l'acquisizione di 69 prese fotografiche, 24 punti, oltre a 28 misure lineari (Bitelli, 2002).

Il post processing dei dati, invece, è stato condotto con quattro differenti software (Fig. 2): tre software di SfM (Structure for Motion), PhotoScan,

ReCap Photo e Reality Capture, e un software che lavora in modalità SfSi (Shape for Silhouette), PhotoModeler, che prevede l'identificazione manuale dei punti omologhi per la generazione del modello tridimensionale (García Fernandez, *et al.*, 2015).

3. Confronti

Lo sviluppo della teoria degli errori, nel caso in esame, ha previsto un'analisi di tipo puntuale; ovvero il confronto è stato valutato in termini di coordinate di *punti tipo* selezionati sulle quattro ortofoto restituite e visibili in Fig. 3.

Precisamente, 73 sono i punti omologhi individuati per ogni immagine, differenziando i punti chiaramente visibili, in rosso (denominati *punti reali*) e quelli più difficilmente collimabili in giallo (*punti ipotizzati*). Le immagini, quindi sono state importate in AutoCAD, allineate rispetto all'origine, al fine di avere lo stesso sistema di riferimento, e, successivamente i valori delle coordinate sono stati annotati ed esportati.

I dati di input del test sono, quindi, rappresentati dalle coordinate individuate sulle 4 ortofoto. Per ognuno dei punti sono stati poi calcolati due parametri statistici: la media aritmetica (x_m e y_m) e la deviazione standard (σ_x e σ_y) determinati sul piano ortografico e poi raccolti in tabella 1.

In quest'ultima –in aggiunta ai valori indicati in giallo (*punti ipotizzati*)– sono stati evidenziati, in rosa e in verde, rispettivamente i valori eccedenti o meno la deviazione standard (Barbato, Mage, 2014). Riassumendo, il numero di punti che superano σ sono stati: 15 per PhotoScan; 46 per Reality Capture; 16 per ReCap Photo e 102 per PhotoModeler.

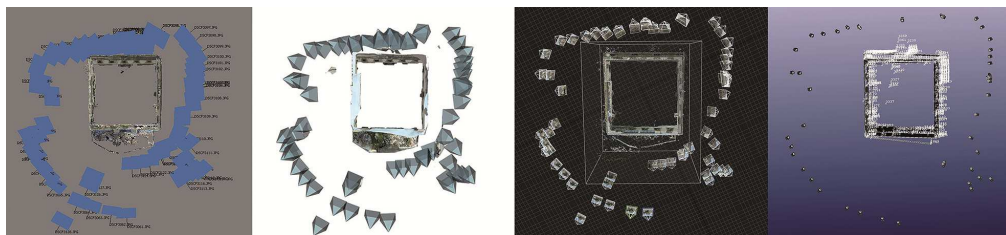


Fig. 2. Stazioni fotografiche in PhotoScan, ReCap Photo, Reality Capture e PhotoModeler.

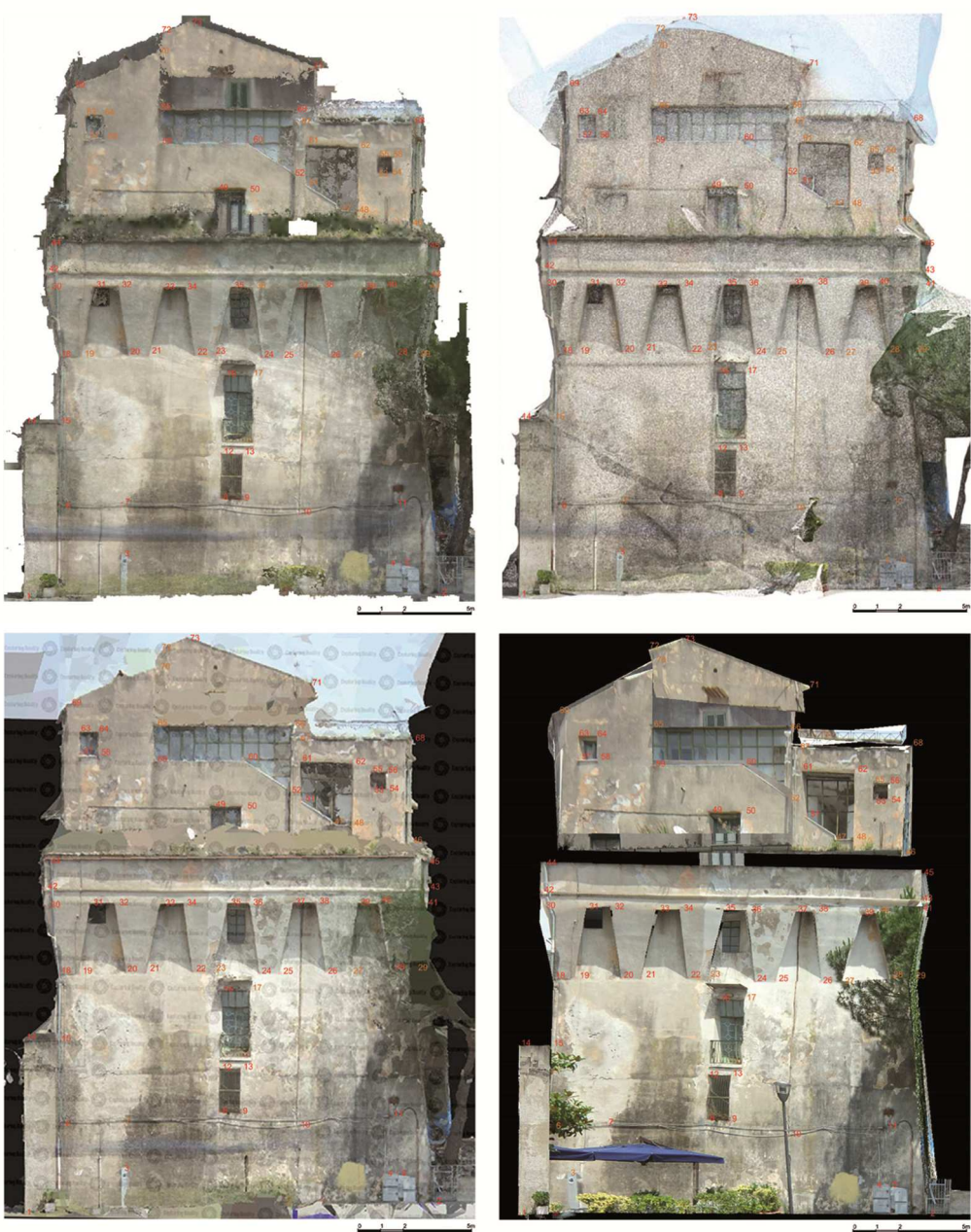


Fig. 3. I 73 punti identificati sugli output esportati da PhotoScan, ReCap Photo, Reality Captre e Photo Modeler.

L'analisi, quindi, evidenzia un numero significativo di discrepanze rispetto la deviazione standard con l'algoritmo SfSi; inevitabilmente la collimazione manuale dei punti omologhi per

la generazione del modello 3D, comporta un incremento di imprecisioni rispetto ai processi automatizzati, esasperato dalla particolare geometria tronco piramidale della torre oltre che per

n	PhotoScan		Reality Capture		Recap		PhotoModeler		S _{x,ps} [m]	S _{y,rc} [m]	S _{x,r} [m]	S _{y,pm} [m]	σ _x [m]	T _x [m]	S _{y,ps} [m]	S _{x,rc} [m]	S _{y,r} [m]	S _{x,pm} [m]	σ _y [m]	T _y [m]			
	X _{ps} [m]	Y _{ps} [m]	X _{rc} [m]	Y _{rc} [m]	X _r [m]	Y _r [m]	X _{pm} [m]	Y _{pm} [m]													X _m [m]	Y _m [m]	
1	0,89	0,17	0,89	0,23	0,89	0,18	0,86	0,23	0,88	0,20	0,01	0,01	0,01	-0,02	0,01	0,04	-0,03	0,03	-0,02	0,03	0,03	0,10	
2	19,15	0,51	18,90	0,78	19,10	0,46	18,83	0,27	19,00	0,51	0,15	-0,10	0,10	-0,16	0,15	0,46	0,01	0,27	-0,04	-0,24	0,210	0,63	
3	5,25	2,15	5,17	2,23	5,19	2,07	3,0057	2,0549	4,66	2,13	0,60	0,52	0,54	-1,65	1,10	3,30	0,02	0,10	-0,05	-0,07	0,078	0,23	
4	16,84	1,67	16,73	2,00	16,79	1,71	16,45	1,52	16,70	1,73	0,14	0,02	0,09	-0,25	0,17	0,52	-0,05	0,28	-0,02	-0,21	0,201	0,60	
5	17,53	1,80	17,35	2,00	17,49	1,72	17,17	1,53	17,39	1,76	0,15	-0,03	0,11	-0,22	0,17	0,50	0,03	0,24	-0,04	-0,23	0,193	0,58	
6	2,52	4,21	2,50	4,20	2,53	4,12	2,2861	4,1334	2,46	4,16	0,06	0,04	0,07	-0,18	0,12	0,35	0,05	0,03	-0,05	-0,03	0,047	0,14	
7	5,24	4,37	5,25	4,30	5,37	4,30	4,72	4,28	5,15	4,31	0,10	0,11	0,22	-0,43	0,29	0,87	0,06	-0,01	-0,01	-0,03	0,038	0,11	
8	9,53	4,59	9,50	4,72	9,51	4,59	9,14	4,43	9,42	4,58	0,11	0,08	0,09	-0,28	0,19	0,56	0,01	0,14	0,00	-0,15	0,120	0,36	
9	10,47	4,57	10,36	4,73	10,42	4,58	10,10	4,41	10,34	4,57	0,13	0,03	0,08	-0,23	0,16	0,49	0,00	0,15	0,01	-0,16	0,129	0,39	
10	13,01	3,89	12,94	4,10	12,91	3,96	12,75	3,72	12,90	3,92	0,11	0,03	0,01	-0,15	0,11	0,32	-0,03	0,19	0,04	-0,19	0,157	0,47	
11	17,13	4,36	16,95	4,55	17,16	4,25	16,91	4,05	17,04	4,30	0,09	-0,09	0,12	-0,13	0,13	0,38	0,06	0,25	-0,05	-0,26	0,211	0,63	
12	9,54	6,60	9,53	6,07	9,53	6,54	9,17	6,31	9,44	6,38	0,10	0,09	0,09	-0,27	0,18	0,55	0,22	-0,31	0,16	-0,07	0,242	0,73	
13	10,51	6,59	10,42	6,60	10,40	6,54	10,17	6,34	10,38	6,52	0,14	0,04	0,03	-0,21	0,15	0,45	-0,07	0,08	0,02	-0,18	0,122	0,37	
14	0,91	7,82	0,90	7,92	0,89	7,91	0,88	7,67	0,90	7,83	0,01	0,01	0,00	-0,01	0,01	0,03	-0,01	0,09	0,08	-0,16	0,115	0,34	
15	2,33	7,84	2,33	7,85	2,38	7,94	2,21	7,67	2,31	7,82	0,02	0,01	0,01	-0,07	-0,10	0,07	0,21	0,02	0,03	0,11	-0,16	0,112	0,34
16	9,68	9,98	9,60	10,07	9,61	9,95	9,68	9,69	9,64	9,92	0,04	-0,04	-0,04	-0,04	0,04	0,13	0,05	0,15	0,03	-0,23	0,162	0,49	
17	10,90	9,98	10,82	10,08	10,82	9,94	10,78	9,68	10,83	9,92	0,07	-0,01	-0,01	-0,04	0,05	0,14	0,06	0,16	0,02	-0,24	0,170	0,51	
18	2,49	10,74	2,47	10,80	2,58	10,81	2,42	10,60	2,49	10,74	0,00	-0,02	0,09	-0,07	0,07	0,21	0,00	0,06	0,07	-0,14	0,097	0,29	
19	3,38	10,76	3,32	10,83	3,40	10,81	3,40	10,65	3,38	10,76	0,01	-0,06	0,03	0,02	0,04	0,12	0,00	0,07	0,05	-0,11	0,080	0,24	
20	5,43	10,84	5,33	10,89	5,42	10,87	5,37	10,65	5,39	10,81	0,04	-0,06	0,03	-0,02	0,04	0,13	0,03	0,07	0,06	-0,16	0,108	0,33	
21	6,33	10,81	6,23	10,89	6,32	10,86	6,27	10,65	6,29	10,81	0,04	-0,06	0,04	-0,02	0,05	0,14	0,01	0,09	0,06	-0,16	0,109	0,33	
22	8,35	10,85	8,33	10,92	8,35	10,88	8,30	10,68	8,33	10,83	0,02	-0,01	0,02	-0,03	0,02	0,07	0,02	0,09	0,05	-0,15	0,105	0,32	
23	9,28	10,84	9,27	10,92	9,10	10,88	9,2442	10,69	9,22	10,83	0,05	0,05	-0,12	0,02	0,08	0,25	0,01	0,09	0,05	-0,14	0,101	0,30	
24	11,32	10,78	11,26	10,84	11,24	10,80	11,27	10,54	11,27	10,74	0,05	-0,01	-0,03	0,00	0,03	0,10	0,04	0,10	0,06	-0,20	0,134	0,40	
25	12,22	10,75	12,17	10,85	12,11	10,81	12,19	10,55	12,17	10,74	0,05	0,00	-0,06	0,01	0,04	0,13	0,01	0,10	0,07	-0,19	0,132	0,39	
26	14,32	10,81	14,17	10,89	14,26	10,83	14,16	10,50	14,23	10,76	0,09	-0,06	0,03	-0,06	0,07	0,22	0,05	0,14	0,07	-0,25	0,174	0,52	
27	15,31	10,82	15,27	10,93	15,17	10,82	15,1130	10,519	15,22	10,77	0,09	0,05	-0,04	-0,11	0,09	0,26	0,05	0,16	0,05	-0,26	0,179	0,54	
28	17,22	10,79	17,10	10,94	17,07	10,80	17,227	10,62	17,15	10,79	0,07	-0,06	-0,09	0,07	0,08	0,25	0,01	0,15	0,01	-0,17	0,131	0,39	
29	18,05	10,77	17,92	10,95	18,18	10,82	18,048	10,629	18,05	10,79	0,00	-0,13	0,13	0,00	0,11	0,32	-0,02	-0,16	0,03	-0,16	0,132	0,40	
30	1,85	13,85	1,83	13,83	1,88	13,90	1,834	13,88	1,85	13,85	0,00	-0,02	0,03	-0,02	0,02	0,07	0,00	-0,02	0,04	-0,03	0,031	0,09	
31	3,94	13,91	3,80	13,92	3,88	13,89	3,8251	13,766	3,86	13,87	0,08	-0,06	0,02	-0,04	0,06	0,19	0,04	0,05	0,02	-0,10	0,070	0,21	
32	4,99	13,91	4,91	13,95	4,99	13,93	4,9333	13,8	4,96	13,90	0,04	-0,04	0,03	-0,02	0,04	0,12	0,01	0,05	0,03	-0,10	0,066	0,20	
33	6,94	13,90	6,91	13,93	6,78	13,86	6,7444	13,71	6,88	13,85	0,06	0,03	-0,09	0,00	0,07	0,20	0,05	0,08	0,01	-0,14	0,099	0,30	
34	7,97	13,87	7,88	13,92	7,96	13,87	7,9493	13,708	7,94	13,84	0,03	-0,06	0,02	0,01	0,04	0,12	0,03	0,08	0,03	-0,13	0,092	0,28	
35	9,94	13,93	9,87	13,92	9,89	13,88	9,8364	13,703	9,88	13,86	0,06	-0,02	0,01	-0,05	0,04	0,13	0,07	0,07	0,02	-0,16	0,106	0,32	
36	10,92	13,91	10,82	13,93	10,84	13,89	10,9061	13,67	10,87	13,85	0,05	-0,05	-0,03	0,03	0,05	0,14	0,06	0,08	0,04	-0,18	0,119	0,36	
37	12,86	13,91	12,74	13,96	12,88	13,91	13,05	13,65	12,88	13,86	-0,02	-0,15	0,00	0,17	0,13	0,39	0,05	0,10	0,05	-0,21	0,139	0,42	
38	13,93	13,89	13,71	13,97	13,85	13,92	13,88	13,66	13,84	13,86	0,08	-0,13	0,01	0,04	0,09	0,28	0,03	0,11	0,06	-0,20	0,139	0,42	
39	15,72	13,89	15,59	13,94	15,74	13,86	15,67	13,51	15,75	13,80	-0,04	-0,16	-0,01	0,21	0,16	0,47	0,09	0,14	0,06	-0,29	0,195	0,59	
40	16,64	13,88	16,49	13,94	16,60	13,86	16,62	13,54	16,59	13,81	0,05	-0,10	0,01	0,04	0,07	0,21	0,08	0,14	0,05	-0,27	0,182	0,54	
41	18,65	13,89	18,56	13,97	18,65	13,89	18,52	13,74	18,60	13,87	0,06	-0,04	0,06	-0,07	0,07	0,20	0,02	0,10	0,02	-0,13	0,092	0,28	
42	1,86	14,63	1,80	14,63	1,87	14,63	1,84	14,50	1,84	14,60	0,02	-0,04	0,03	0,00	0,03	0,10	0,03	0,03	0,04	-0,10	0,064	0,19	
43	18,67	14,46	18,70	14,61	18,58	14,54	18,59	14,14	18,64	14,44	0,04	0,06	-0,06	-0,05	0,06	0,18	0,02	0,18	0,10	-0,30	0,208	0,63	
44	1,86	15,84	1,82	15,82	1,80	15,76	1,86	15,77	1,86	15,80	0,00	-0,04	0,04	-0,01	0,03	0,10	0,04	0,02	-0,04	-0,02	0,036	0,11	
45	18,65	15,82	18,64	15,90	18,62	15,80	18,59	15,45	18,63	15,74	0,03	0,02	-0,01	-0,03	0,03	0,08	0,08	0,16	0,06	-0,29	0,201	0,60	
46	17,85	16,51	17,82	16,53	17,56	16,56	17,73	16,05	17,74	16,41	0,11	0,08	-0,18	-0,01	0,13	0,39	0,10	0,12	0,14	-0,36	0,243	0,73	
47	14,62	17,28	14,49	17,42	14,58	17,38	14,83	16,80	14,63	17,22	-0,01	-0,14	-0,05	0,20	0,15	0,44	0,06	0,20	0,16	-0,42	0,288	0,86	
48	15,49	17,32	15,25	17,42	15,38	17,39	15,57	16,83	15,42	17,24	0,07	-0,17	-0,04	0,15	0,14	0,41	0,08	0,18	0,15	-0,41	0,275	0,83	
49	9,20	18,23	9,19	18,20	9,21	18,16	9,25	17,99	9,21	18,14	-0,01	-0,02	0,00	0,04	0,03	0,08	0,09	0,05	0,02	-0,16	0,108	0,33	
50	10,52	18,12	10,46	18,20	10,54	18,20	10,62	18,02	10,53	18,14	-0,02	-0,07	0,00	0,09	0,07	0,20	-0,01	0,07	0,06	-0,11	0,085	0,25	
51	13,30	18,40	13,12	18,48	13,19	18,39	13,55	17,83	13,29	18,27	0,01	-0,17	-0,10	0,26	0,19	0,57	-0,12	0,21	0,12	-0,45	0,301	0,90	
52	12,64	18,93	12,56	18,98	12,60	18,91	12,71	18,65	12,63	18,87	0,01	-0,07	-0,02	0,08	0,06	0,19	0,06	0,11	0,04	-0,21	0,146	0,44	
53	16,38	18,94	16,20	19,00	16,27	18,95	16,48																

la presenza di elementi arcuati in facciata. Un ulteriore dato interessante riguarda la ridotta differenza pervenuta tra PhotoScan e ReCap Photo; essendo il secondo, al tempo, un applicativo gratuito.

4. Per una validazione dei risultati

Al fine di validare la metodologia di confronto è stato sviluppato un *test predittivo dei valori*, un'analisi qualitativa dicotomica necessaria per valutare la qualità dell'applicazione in termini probabilistici (Hayes, 1998). Una volta stimati i parametri statistici, infatti, ci si è posti il dubbio di quanto veritieri potessero essere i valori conseguiti dal confronto e quindi, identificare quale di questi algoritmi consenta di raggiungere un'incertezza minore a partire dalla semplicistica collimazione dei punti sulle ortofoto esportate. Per poter procedere alla validazione è risultato necessario individuare il valore soglia *cut-off*, indicativo della positività o meno del risultato, coincidente nel nostro caso, con la deviazione standard computata. I punti individuati sono stati suddivisi in due tipi di dati: *punto reale* (R) e *punto ipotizzato* (H). I primi, come già precedentemente introdotto, sono quei pixel chiaramente visibili, anche sulle ortofoto, e dai quali non ci si attenderebbero errori (ovvero, discrepanze elevate rispetto la deviazione standard); gli altri, viceversa, sono i punti non facilmente identificabili e, di conseguenza, si ipotizza siano più soggetti a inesattezze. Le matrici presentano lungo le colonne il tipo di dato che stiamo analizzando, mentre le righe riportano il risultato delle analisi (il superamento o meno del valore di *cut-off*); pertanto, con la definizione di test-positivo (T+) viene indicato un valore superiore alla deviazione standard, mentre con test negativo (T-) un valore inferiore. Di seguito la matrice tipo così generata:

	H	R	
T+	a	b	(a+b)
T-	c	d	(c+d)
	(a+c)	(b+d)	

con:

a, punti ipotizzati e test-positivi;

b, punti reali e test-positivi;

c, punti ipotizzati e test-negativi;

d, punti reali e test-negativi;

(a + c), punti ipotizzati totali;

(b + d), punti reali totali;

(a + b), punti test-positivi totali;

(c + d), punti test-negativi totali.

Una volta identificati e classificati i dati, si è proceduto al calcolo dei valori necessari al fine di stabilire la qualità del metodo impiegato per l'identificazione degli errori. La *sensibilità* ($Se = a/(a+c)$), indicativa della capacità del test a riconoscere correttamente i *punti ipotizzati*, è rappresentativa, quindi, della probabilità che un dato H sia T+. La *specificità* ($Sp = d/(b+d)$), diversamente, è indicativa della capacità del metodo di individuare correttamente i *punti reali*, di conseguenza è la probabilità che un R risulti negativo al test (T-). Altri valori da considerare sono stati il *valore predittivo positivo* ($PPV = a/(a+b)$) e il *valore predittivo negativo* ($NPV = d/(c+d)$). Il primo corrisponde alla probabilità che un punto risultante test-positivo (T+) sia un *punto ipotizzato* (H), mentre il secondo alla probabilità che un punto risultante test-negativo (T-) coincida con un *punto reale* (R). Quest'ultimi indici, a differenza di Se e Sp – ovvero, i 'caratteri' propri del test e pertanto correlati al funzionamento della probabilità pre-test – valutano le conseguenze del test e quindi rappresentato la probabilità post-test. Tali indici, inoltre, possono essere sintetizzati in un singolo parametro, la *validità*: $V = (a + d)/(a + b + c + d)$, più sarà efficace il test analizzato più il relativo valore sarà elevato. Le matrici relative a ciascun software sia per l'asse x che per l'asse y sono di seguito riportate.

PhotoScan:

	H(x)	R(x)	
T+	5	5	10
T-	14	49	63
	19	54	

PPV:50%; NPV:78%; Se:26%; Sp:91%; V:74%

	H(y)	R(y)	
T+	2	3	5
T-	17	51	68
	19	54	

PPV:40%; NPV:75%; Se:11%; Sp:94%; V:73%

ReCap Photo:

	H(x)	R(x)	
T+	6	4	10
T-	19	44	63
	25	48	

PPV:60%; NPV:70%; Se:24%; Sp:92%; V:68%

	H(y)	R(y)	
T+	1	5	6
T-	24	43	67
	25	48	

PPV:17%; NPV:64%; Se:4%; Sp:90%; V:60%

Reality Capture:

	H(x)	R(x)	
T+	2	28	30
T-	11	32	43
	13	60	

PPV:7%; NPV:74%; Se:15%; Sp:53%; V:46%

	H(y)	R(y)	
T+	2	14	16
T-	11	46	57
	13	60	

PPV:13%; NPV:81%; Se:15%; Sp:77%; V:65%

PhotoModeler:

	H(x)	R(x)	
T+	11	30	41
T-	9	64	73
	20	94	

PPV:27%; NPV:88%; Se:55%; Sp:68%; V:66%

	H(y)	R(y)	
T+	16	45	61
T-	4	69	73
	20	114	

PPV:26%; NPV:95%; Se:80%; Sp:61%; V:63%

Analizzando i dati ottenuti risulterà speditivo leggere i risultati dei diversi applicativi implementati, in quanto il test presenterà la probabilità che un *punto reale* sia metricamente corretto lungo l'asse x e quello y. La stessa analisi, inoltre, è stata condotta non solo sul singolo software ma complessivamente sulla metodologia implementata per il confronto al fine di stimarne la validità:

	H(x)	R(x)	
T+	25	66	91
T-	54	190	244
	79	256	

PPV:26%; NPV:77%; Se:30% Sp:74%; V:63%

	H(y)	R(y)	
T+	21	22	43
T-	56	209	265
	77	231	

PPV:49%; NPV:79%; Se:27%; Sp:90%; V:75%

5. Conclusioni

Sulla base della teoria degli errori si è proceduto, quindi, all'implementazione di test statistico-predittivi in ambito fotogrammetrico al fine di calcolare e valutare in termini probabilistici i possibili errori e la 'bontà' di quanto restituito. In particolare, le osservazioni scaturite da questa analisi hanno permesso di validare i risultati che si caratterizzano per una sempre maggior "accettabilità" di software gratuiti – come ReCap Photo –, anche nel caso di automazione del processo (c'è comunque da osservare che all'epoca delle elaborazioni non era del tutto assicurata, in generale, la generazione di modelli tecnici suscettibili di approfondimenti). Il numero dei punti eccedenti la deviazione standard risulta congruente con altri software commerciali, tuttavia la validazione

del test ha sottolineato un V (sia per gli assi x che y) non completamente soddisfacente; ovvero, secondo percentuali ritenute ancora non adeguate a garantire l'uso di tali modelli per fini tecnico-strutturali dove la precisione e l'attendibilità del modello giocano un ruolo fondamentale. Gli elaborati risultano, invece, validabili per finalità di visualizzazione e condivisione da remoto, ciò anche per la minore dimensione in termini di occupazione di massa e migliore gestibilità dei dati.

L'efficacia di questi modelli low-cost, anche per sole finalità divulgative, e l'ottimizzazione delle relative tecniche trovano, quindi, sempre

più impiego e riscontro, risultando di supporto e di sprono per la divulgazione del patrimonio diffuso.

Ripristinare l'interesse, sia pubblico che privato, verso le architetture oggetto di sperimentazione, implica possibili e auspicabili interventi di restauro, da progettare e mettere in essere con un rigoroso approccio multidisciplinare. Così il disegno, la storia dell'architettura e il restauro, ristabilirebbero non solo l'aspetto tangibile –di questi manufatti, così come di altri meno noti–, ma anche l'identificazione di questi luoghi della nostra cultura.

Bibliography

- Barba, S.; Mage, M.A. (2014). "Evaluación ex-ante y ex-post de la precisión de un proyecto fotogramétrico", in *V Congreso Internacional de Expresión Gráfica en Ingeniería, Arquitectura y Carreras afines, EGrAFIA*, Rosario, pp. 548-557.
- Barbato, D.; Morena, S. (2017). "BIM and Low-Cost Survey Techniques for Building Heritage Conservation", in *Convegno Internazionale e Interdisciplinare IMG2017*. MDPI AG, Bressanone, pp. 1-9.
- Bitelli, G. (2002). "Moderne tecniche e strumentazioni per il rilievo dei Beni Culturali", in *VI Conferenza Nazionale ASITA, IX-XXIV*, Perugia, vol. I., pp. 9-24.
- García Fernandez, J.; Álvaro-Tordesillas, A.; Barba, S. (2015). "An approach to 3D digital modeling of surfaces with poor texture by range imaging techniques. «Shape from Stereo» vs. «Shape from Silhouette»", *ISPRS, XL-5/W4*, pp. 25-29.
- Hayes, B.E. (1998). *Measuring customer satisfaction: Survey design, use, and statistical analysis methods*, ASQC Quality Press, Wisconsin.
- Luhmann, T.; Robson, S.; Kyle, S.; Harley, I. (2006). *Close Range Photogrammetry. Principles, Methods and Applications*, Whittles Publishing, Caithness, pp. 97-104.
- Russo, F. (2009). *Le torri costiere del regno di Napoli. La frontiera marittima e le incursioni corsare tra il XVI ed il XIX secolo*, Edizioni Scientifiche e Artistiche, Naples.
- Santoro, L. (2012). *Le torri costiere della Provincia di Salerno: paesaggio, storia e conservazione*. Paparo Ed., Salerno (Italy), pp. 239-242.