

## 3D Modelling per la documentazione archeologica: verifiche metriche

Salvatore D'Amelio, Vincenzo Maggio, Benedetto Villa

Dipartimento di Ingegneria Civile, Ambientale, Aerospaziale e dei Materiali, Università degli Studi di Palermo,  
Viale delle Scienze, 90128 Palermo  
(salvatore.damelio, vincenzo.maggio, benedetto.villa)@unipa.it

### Riassunto

Il rilievo in ambiente subacqueo ha sempre presentato notevoli difficoltà sia operative che tecniche e ciò ha reso spesso difficile l'impiego di molte tecniche di rilievo comunemente impiegate per la documentazione dei Beni Culturali. Il lavoro affronta il tema della valutazione in termini di realizzabilità e livello di precisione della ricostruzione di un modello tridimensionale di un oggetto in contesto subacqueo ottenuto con l'impiego del software *Autodesk123DCatch*. I modelli restituiti oggetto di studio sono ottenuti da set di fotografie e set di fotogrammi estratti da sequenza video.

### Abstract

*The survey in underwater environment has always presented considerable difficulties both operative and technical and this has sometimes made it difficult to use a lot of survey techniques commonly used for the documentation of Cultural Heritage. The work concerns the issue of evaluation in terms of feasibility and accuracy of the reconstruction of a three-dimensional model of an object in underwater context obtained with the use of the Autodesk123DCatch software. The study subjects are generated models obtained from sets of photographs and frames set extracted from video sequence.*

### Introduzione

La documentazione dei Beni Archeologici subacquei costituisce una fase fondamentale per lo studio e la conservazione dei reperti e per la progettazione delle strategie di intervento. I reperti subacquei costituiti da elementi lignei delle imbarcazioni o parte del carico, successivamente alla loro individuazione e scavo devono essere documentati e rilevati in tempi brevi in attesa di predisporre un adeguato progetto di conservazione e recupero.

Il rilievo in ambiente subacqueo ha sempre presentato notevoli difficoltà sia di carattere operativo sia di tipo tecnico e ciò ha reso spesso difficile l'impiego di molte tecniche di rilievo comunemente impiegate per la documentazione dei Beni Culturali in contesto terrestre. Oggi nel campo della documentazione dei Beni Culturali si assiste ad un notevole sviluppo di tecniche cosiddette di *3D Modeling* il cui impiego consente di ottenere in tempi rapidi e in maniera quasi automatica modelli tridimensionali a partire da immagini digitali. Tali tecniche si basano su algoritmi che derivano dal mondo della *Computer Vision* e sono in grado di velocizzare le fasi di elaborazione del processo di restituzione del dato metrico tridimensionale (Barazzetti, L. et al, 2010, 2011). Gli algoritmi impiegati in tali tecniche fanno riferimento alla cosiddetta *Structure from Motion* (SfM) grazie alla quale è possibile ottenere, oltre all'orientamento delle prese fotografiche, la restituzione di modelli 3D in modalità automatica e senza l'impiego di target esterni (Remondino F.,2010). Il loro impiego ha trovato maggiore diffusione grazie a software *low-cost* (es. *Agisoft PhotoScan*) e *free web-sources* (ad es. *ARC3D*, *Autodesk123D Catch*, *Hyp3D*) che consentono di ottenere modelli tridimensionali da set di foto ottenute da camere non calibrate e in modalità quasi totalmente automatica. Recenti studi sono stati orientati alla verifica e alla attendibilità dei risultati ottenuti

dall'impiego di *software web service* nel contesto della documentazione di beni architettonici e archeologici (Fratus de Balestrini E., Guerra F., 2010). Data la robustezza degli algoritmi impiegati, è possibile elaborare grandi quantità di informazioni sui fotogrammi, tale da garantire l'orientamento dell'intero *set* e l'elaborazione delle autocorrelazioni dei punti omologhi, anche in condizioni estreme per le applicazioni fotogrammetriche tradizionali come ad esempio la presenza di elementi di disturbo quali cadute di luce, riporto di ombre, distorsioni ottiche, distanza variabile dal soggetto, variazione della distanza focale, etc. In relazione alla flessibilità dell'approccio esso può essere usato per vasto *range* di scene e di oggetti (Alshawabkeh Y. et al., 2011). Nel campo della documentazione archeologica subacquea negli ultimi anni si è guardato con interesse alle implementazioni dei processi di automazione nelle tecniche di fotogrammetria close-range (Canciani, M., et al., 2002), che prevedevano comunque l'impiego di *target* codificati necessari al tipo *software* impiegato per potere effettuare il processo di calibrazione della camera e di orientamento delle prese. Molto recenti sono alcune applicazioni basate su tecniche automatiche *image-based* che indaga sulle potenzialità e i limiti di tale tecnica su set di foto digitali (Skarlatos D., et al.(2012) mettendo in evidenza le peculiarità di velocità ed economicità di tali tecniche particolarmente adatte al rilievo archeologico subacqueo.

### **Obiettivi**

Il lavoro di ricerca è finalizzato alla valutazione in termini di affidabilità e precisione metrica dei modelli 3D generati dal *software free web-sources Autodesk123DCatch* di un oggetto *free-morfing*, un'anfora disposta sul fondo marino, riproponendo il contesto archeologico tipico del ritrovamento di un reperto isolato. I diversi modelli sono stati generati da un set di fotografie a diversa risoluzione e da fotogrammi estratti da sequenze video della stessa scena. A differenza dei *software* fotogrammetrici convenzionali, al termine del processo di restituzione del modello tridimensionale non viene generato dal *software* impiegato alcun *report* contenente i valori dei parametri di precisione del processo. Per tale ragione la valutazione effettuata è stata di tipo comparativo ovvero le *mesh* prodotte e opportunamente orientate e scalate sono state confrontate direttamente con una superficie di riferimento ad alta risoluzione ottenuta da un rilievo *laser scanner*. Oggetto del rilievo è un'anfora di terracotta alta 40cm e con distanza massima tra le anse di 33cm.

### **Metodologia applicata**

Per potere ottenere delle valutazioni sulla capacità di calcolo e di precisione del *software* si è proceduto con la realizzazione di un set fotografico attorno all'oggetto. Ne è seguita una ripresa video cercando di seguire lo stesso percorso fatto per le prese fotografiche. È stato associato all'oggetto del rilievo un riferimento metrico costituito da un telaio metallico quadrato di 60cm di lato, riportante una scala graduata sulla faccia superiore e quattro *target* in prossimità dei vertici, che è stato posto sul fondo e al cui interno è stato disposto l'oggetto stesso.

Le fotografie sono state elaborate in due progetti differenti, mantenendo le stesse prese e applicando per il secondo una riduzione della risoluzione delle foto. Nel caso delle riprese video si è proceduto inizialmente alla estrazione dei singoli fotogrammi, e quindi si sono effettuati due progetti distinti in cui si è cambiato il numero dei fotogrammi impiegati nel processo.

Le *mesh* generate, scalate ed orientate, sono state comparate direttamente con il *software Geomagic Qualify* in grado di gestire di volta in volta le *mesh* poste a confronto ed in grado di visualizzare e graficizzare le aree di massimo e minimo scostamento tra la superficie ottenuta e la superficie di riferimento.

### **Acquisizione dei dati**

#### **Dati LaserScanner:**

Il modello di riferimento è stato prodotto a partire da scansioni effettuate con il *laser scanner* a triangolazione *NextEngine3DScanner*. La modalità impiegata (*wide*) consente di raggiungere

precisioni massime di 0,4mm. Le nuvole di punti sono state di volta in volta orientate attraverso l'uso del *software* dedicato *NextEngineStudioCORE* applicando il processo di allineamento manuale e automatico. Il *software* consente anche la generazione di una *mesh* triangolare texturizzata esportabile nel formato .OBJ.

#### **Dati fotogrammetrici:**

Le acquisizioni di foto e video è stata effettuata con una SRL camera NikonD90 dotata di gruppo ottico zoom 18-55mm Nikkor. La risoluzione massima del sensore è di oltre 12Mpx con una matrice di 4288x2848pixel. La camera è stata dotata di custodia subacquea dedicata con operatività fino a 60m di profondità. Partendo dalla considerazione di dovere operare alla distanza piuttosto ravvicinata di circa 1m dall'oggetto, al fine di potere avere la completa comprensione dell'oggetto e del riferimento metrico all'interno dell'inquadratura, si è optato per adottare una focale pari a 18mm, corrispondente a circa 24mm a terra.

Il set di foto è costituito da 30 prese effettuate attorno all'oggetto con un angolo di convergenza dell'asse ottico di prese consecutive di circa 12°, e con un'inclinazione sull'oggetto vicina ai 45° rispetto al piano di giacitura dell'oggetto. Le acquisizioni sono state fatte alla massima risoluzione (4288x2848pixel) e salvate in formato .JPEG.

La ripresa video è stata eseguita cercando di seguire lo stesso percorso fatto per lo schema di prese fotografiche, mantenendo inalterata la focale ed alla risoluzione massima consentita di 1280x720pixel con una frequenza di 24frames/secondo.

#### **Elaborazione dei dati**

##### **Dati LaserScanner:**

Al fine di potere avere un modello di riferimento più facilmente gestibile da parte del *software GoemagicQualify* per la fase del confronto diretto, si è resa necessaria una decimazione consistente del numero di facce della maglia triangolare ottenuta. Il processo di decimazione è stato fatto imponendo la priorità di curvatura che consente di mantenere un buon dettaglio di parti della superficie particolarmente articolata, sebbene venga meno la regolarità della maglia triangolare. Data la natura geometrica poco complessa dell'oggetto questo processo non ha comportato un'apprezzabile perdita di dettaglio fino a portare il numero delle facce dello stesso ordine di grandezza delle superfici da confrontare.

##### **Dati fotogrammetrici:**

Il *workflow* seguito all'interno del *software free web-sources Autodesk123DCatch* si può riassumere secondo quanto segue:

- *upload* delle immagini sul *server* di gestione;
- elaborazione da parte del *server* della ricostruzione del modello (nelle modalità *mobile, standard, maximum*);
- *download* dei risultati (*mesh* triangolare texturizzata).

Successivamente alla fase iniziale di *upload* delle immagini, è consentito all'operatore di intervenire anche manualmente nel processo di orientamento dei fotogrammi inserendo dei punti di collegamento sui fotogrammi e anche di fissare dei riferimenti metrici o valori relativi alla camera di presa. Si è comunque deciso di lasciare invariati tutti i parametri presenti riducendo al minimo l'intervento da parte dell'operatore. Nel nostro caso dato che i fotogrammi seguono una sequenza ordinata e con una buona copertura laterale tra fotogrammi successivi non è stato necessario l'inserimento di punti di collegamento e il sistema non ha riscontrato alcun problema di elaborazione dei diversi gruppi di foto e fotogrammi.

Il set di 30 fotografie è stato elaborato in un primo momento impiegando foto ad una risoluzione di 4288x2848pixel, ovvero senza apportare alcun tipo di modifica ai singoli *file* .JPEG. Lo stesso set è

stato elaborato portando la risoluzione delle foto a 1270x850pixel, ovvero alla risoluzione più prossima a quella dei fotogrammi del video (1270x720pixel).

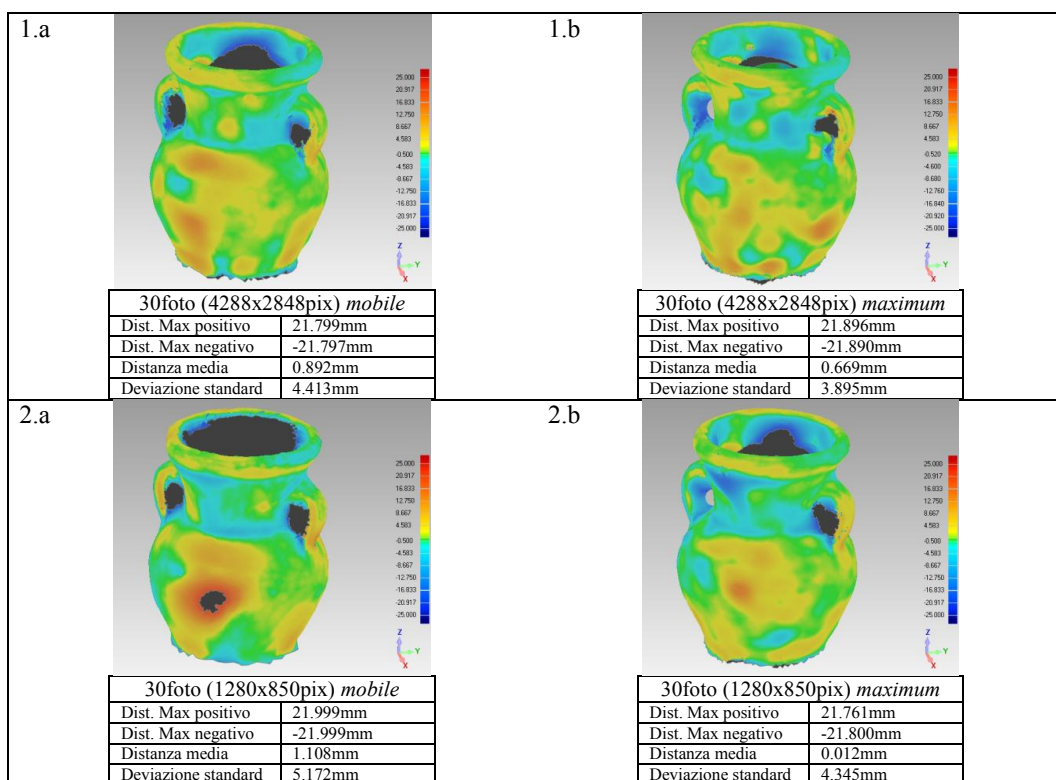
Per potere elaborare i fotogrammi del video è stato necessario eseguire preventivamente la loro conversione dal formato .AVI al formato .JPEG generando un file immagine per ciascun fotogramma. Il numero di fotogrammi generato per sequenza video della durata di 53" è di quasi 1300. In un primo momento si è deciso di elaborare un numero di 30 fotogrammi pari a quello del set di fotografie, ovvero un fotogramma ogni 36. Si è poi proceduto alla elaborazione di un numero di fotogrammi 7 volte maggiore rispetto al precedente, per un totale di 252 fotogrammi.

Per ciascun gruppo si sono generate due *mesh* triangolari texturizzate: la prima corrispondente a quella con risoluzione *mobile* (la più bassa) e l'altra *maximum* (la più alta).

### Analisi e criteri di valutazione dei dati ottenuti

Una volta importata la superficie di riferimento all'interno del *software GeomagicQualify* si è importata quella del modello da confrontare. Si è quindi proceduto all'allineamento della superficie importata con il modello di riferimento.

Il *software* permette di elaborare un *report* della precisione ottenuta dal confronto di ciascun modello con il modello di riferimento valutando il parametro di deviazione e fornendo per ciascuno i valori di deviazione max e min, deviazione media e deviazione standard. Il risultato di tale processo è riportato in Tabella1 dove sono presentati i valori per ciascuna elaborazione e la rappresentazione grafica dei valori della deviazione secondo una scala cromatica avente valori di deviazione massima  $\pm 25$ mm e un valore unitario di  $\pm 0,50$ mm. I valori maggiori della deviazione massima vengono esclusi dal calcolo e corrispondono nella totalità dei casi alle zone sottosquadro delle anse e alla parte interna del collo dell'anfora.



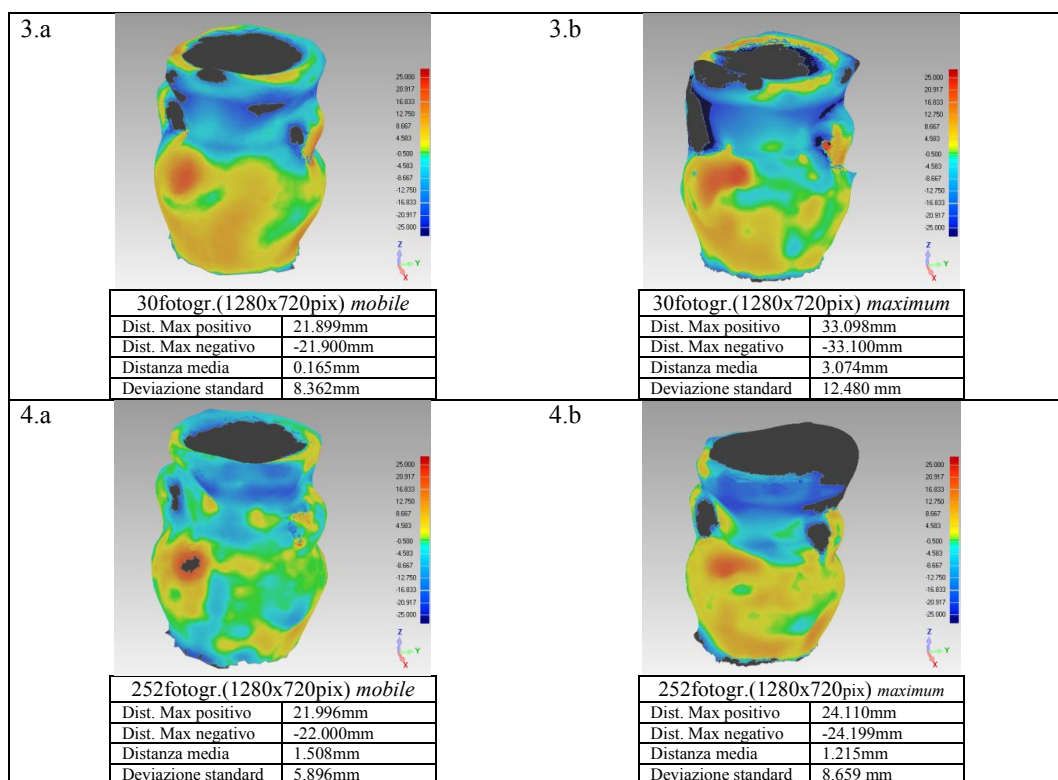


Tabella 1. Rappresentazione grafica dei valori della deviazione secondo scala cromatica sui modelli posti a confronto e relativa tabella dei valori di distanza massima positivo e negativo, distanza media, deviazione standard.

La valutazione dei dati ottenuti riguarda in primo luogo la comparazione dei valori ricavati, poi si è scelto di effettuare una valutazione in termini di una reale utilità dei modelli ottenuti ai fini della documentazione archeologica subacquea.

Secondo i valori dei parametri di riferimento presentati in Tabella 1 si riscontra una maggiore precisione con foto a risoluzione massima (1.a e 1.b) e un incremento della qualità passando all'opzione *maximum* (massima qualità) con un valore di deviazione massima per 1.b pari a -20% ca. rispetto a 1.a. Dall'analisi dei casi 2.a e 2.b si vince un aumento del valore di deviazione standard ma sempre vicino (+10% ca.) ai corrispettivi casi 1.a e 1.b, e un concorde aumento di precisione nel passaggio dall'opzione *mobile* a quella *maximum*. Nel passaggio alle elaborazioni dei set di fotogrammi estratti dal video si verifica che, nonostante la risoluzione sia prossima a quella dei casi 2.a e 2.b (1280x850pixel di questi ultimi contro i 1280x720pixel di 3.a e 3.b) e il numero dei fotogrammi rimanga invariato, confrontando i casi 2.a e 3.a si ha un aumento di quasi il 45% del valore di deviazione media. Inoltre si verifica che il 13% dei vertici della *mesh* generata in 3.a risultano più distanti del valore di deviazione massima prefissato e vengono automaticamente esclusi dal calcolo. Questo dato lascia supporre un deterioramento della precisione dipendente principalmente dalla configurazione spaziale delle prese costituite dai fotogrammi del video. Inoltre si verifica che nel passaggio all'opzione che consente di migliorare la qualità del modello si ottiene un peggioramento di questa, con un valore di deviazione standard di 3.b maggiore di oltre il 50% percento rispetto a quello di 3.a. Portando il numero dei fotogrammi a 252 (oltre 8 volte quelle di 3.a e 3.b) per i casi 4.a e 4.b si è ottenuto che la percentuale del numero dei vertici delle *mesh* esclusi dal calcolo siano rispettivamente del 14% e del 16%. I dati relativi alla deviazione standard

ci danno conferma di un miglioramento della precisione con una riduzione rispetto ai casi 3.a e 3.b di circa il 30%. Si verifica anche in questa occasione un medesimo aumento del valore di deviazione standard tra il modello ottenuto in modalità *mobile* e quello ottenuto in modalità *maximum* dei casi 3.a e 3.b.

Passando ad una valutazione attinente agli aspetti pratici della documentazione archeologica il fine proposto è quello di potere descrivere geometricamente un reperto al fine di consentirne una prima classificazione ed effettuare delle valutazioni tecniche finalizzate al suo recupero. Per tale scopo si è deciso valutare l'utilità delle sezioni grafiche ottenute sezionando il modello di anfora generato con una coppia di piani ortogonali appartenenti allo stesso fascio avente l'asse coincidente con quello di simmetria della geometria dell'anfora. Il primo dei due piani, che intersecherà le due anse dell'anfora, consentirà di ottenere una sezione longitudinale di queste. Negli schemi seguenti sono riportati sulla parte sinistra rispetto all'asse di simmetria le due semi-sezioni sovrapposte (la prima sezione rappresentata dalla linea nera e quella ortogonale dalla rossa) mentre sul lato destro viene presentata la vista frontale del modello texturizzato. Le linee in tratteggio sono le quote relative al modello di riferimento e sovrapposte alle sezioni di tutti i modelli ottenuti, tali quote si riferiscono ad alcuni degli elementi geometrici necessari alla identificazione delle anfore misurate: altezza totale, altezza della spalla, punti di attacco dell'ansa.

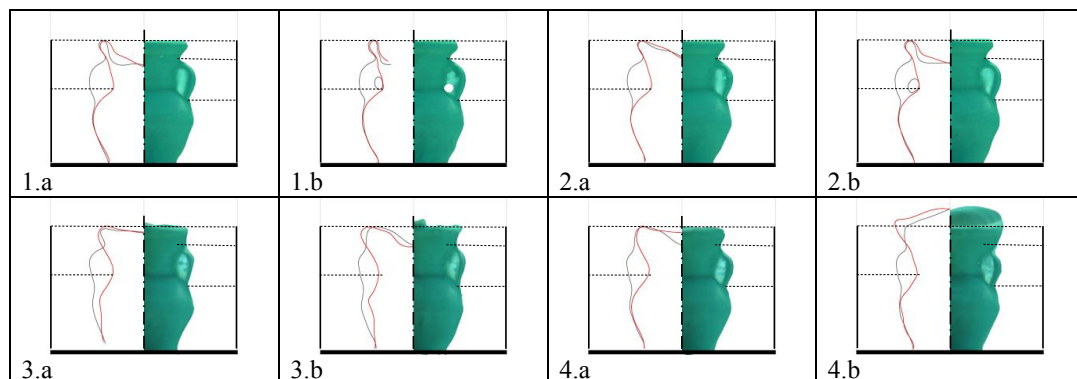


Tabella 2. Rappresentazione grafica delle sezioni e delle superfici 3D texturizzate, su cui sono sovrapposte in tratteggio le quote degli elementi geometrici notevoli misurate sul modello di riferimento.

Dall'analisi degli schemi grafici della Tabella 2 si può riscontrare una corrispondenza geometrica degli elementi caratteristici presi in considerazione, e questo anche nei modelli con livelli di precisione peggiori (3.b e 4.b). Nonostante le forti deformazioni dei modelli ottenuti è però da rilevare che da tali modelli è possibile ancora ricavare sommariamente le dimensioni dell'oggetto e di potere individuare le diverse parti dello stesso.

### Conclusioni

Alla luce di quanto esposto e relativamente ai dati metrici ottenuti è possibile affermare che il software *Autodesk123DCatch* è in grado di elaborare modelli tridimensionali dell'oggetto tramite l'impiego di foto con un livello di precisione sufficiente alla caratterizzazione geometrica dell'oggetto tale da consentirne una eventuale catalogazione (casi 1.a, 1.b, 2.a, 2.b). Nei casi in cui sono stati impiegati i fotogrammi della sequenza video, si è ottenuto un deterioramento della precisione metrica, comportando talvolta una deformazione sostanziale del modello ottenuto rispetto a quello di riferimento (casi 3.b, 4.b). La perdita della qualità della superficie non permette certamente la descrizione geometrica chiara come nei casi precedenti, ma consente comunque di potere identificare le dimensioni di massima dell'oggetto e le sue parti costituenti (anse, collo, spalle, pancia). Questo aspetto è comunque un fattore importante in quanto consente di potere

individuare la tipologia dell'oggetto (anfora) e della sua disposizione spaziale, che unitamente alle dimensioni di massima, consentono di ottenere una più chiara descrizione del contesto archeologico e fornisce elementi utili a un eventuale progetto di scavo e/o di recupero. Una valutazione di carattere più generale può essere fatta nei confronti della potenzialità della tecnica impiegata. Essa consente di ottenere una mole considerevole di dati metrici relativi ad un contesto subacqueo non raggiungibile da nessuna altra tecnica di rilievo attualmente impiegata nel campo dell'archeologia marina, a questo si aggiunge la brevità dei tempi sia nella fase di presa che in quella di elaborazione. Inoltre la facilità di esecuzione delle prese subacquee e della fase di elaborazione tramite il software riduce al minimo l'intervento da parte dell'operatore, consentendone l'uso da parte di personale non necessariamente specializzato. Nonostante il valore di precisione relativamente scarso per le elaborazioni effettuate dalle riprese video, si può evincere che comunque il sistema riesce a ricavare dei dati metrici da sequenze video e questo apre un'importante possibilità di applicazione andando ad utilizzare materiale d'archivio. Il materiale video è solitamente maggiormente disponibile, in quanto sempre utilizzato nelle fasi di prospezione archeologica subacquea, così come quello della documentazione fotografica. Il problema di quest'ultima per potere essere impiegata all'interno del software è che sia garantita una sovrapposizione laterale tra fotogrammi successivi di almeno il 60%, eventualità molto remota a verificarsi per materiale fotografico d'archivio, salvo nei rari casi in cui si sia deciso di effettuare un fotomosaico dell'area.

### Riferimenti bibliografici

- Alshawabkeh Y., Douglas K., Matarya M., Khrisat B., (2011). "Combined Photogrammetric Techniques and Computer Vision: 2D-3D Recording of Gharissa, Jordan", *Journal of Architectural Conservation*, Volume 17, 2, 77-92.
- Barazzetti, L., Scaioni, M., Remondino, F. (2010), "Orientation and 3D modelling from markerless terrestrial images: combining accuracy with automation", *The Photogrammetric Record*, 25,132, 356-381.
- Barazzetti, L., Binda, L., Scaioni, M., Taranto, P. (2011), "Photogrammetric survey of complex geometries with low-cost software: Application to the "G1" temple in Myson, Vietnam", *Journal of Cultural Heritage*, 12,3, 253-262.
- Canciani, M., Gambogi, P., Romano, G., Cannata, G., and Drap, P. (2002), "Low cost digital photogrammetry for underwater archaeological site survey and artefact insertion. The case study of the Dolia Wreck in Secche della Meloria, Livorno, Italia", *International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 34.5/W12, 95-100.
- Doneus M., Verhoeven, G., Fera, M. Briese, Ch., Kucera, M., Neubauer, W., (2011) "From deposit to point cloud – a study of low-cost computer vision approaches for the straightforward documentation of archaeological excavations", XXIIIrd International CIPA Symposium, Prague, 12-16 September 2011.
- Fratus de Balestrini, E., Guerra, F., (2010) "New instruments for survey: on line softwares for 3D reconstruction from images" The International Archives of the photogrammetry, Remote sensing and Spatial Information Science, Vol. XXXVIII-5/W16, 545-552.
- Remondino, F., El-Hakim, S. (2006), "Image-based 3D modelling: a review", *The photogrammetric Record*, 21,115, 269-291.
- Remondino, F., Rizzi, A. (2010), "Reality-based 3D documentation of natural and cultural heritages sites – techniques, problems, and examples", *Applied Geomatics*, 2,3, 85-100.
- Skarlatos D., Demestihia S., Kiparissi S.(2012), "An 'Open' Method for 3D Modelling and Mapping in Underwater Archaeological Sites", *International Journal of Heritage in the Digital Era*, 1,1,1-24.
- Snavely, N., Seitz, S. M., Szeliski, R. (2007), *Modeling the World from Internet Photo Collection*, *International Journal of Computer Vision*, 80,2, 189-210.
- Vergauwen, M., Van Gool, L. (2006), "Web-based 3D reconstruction service", *Machine Vision and Application*, 17, 411-426.