



# Low cost image-based modeling techniques for archaeological heritage digitalization: more than just a good tool for 3d visualization?

Mariateresa Galizia y Cettina Santagati

Department of Architecture. Laboratory of Architectural Photogrammetry and Survey "Luigi Andreozzi". University of Catania. Italy.

## Resumen

*Il presente studio mostra i primi risultati di una ricerca volta a comprendere le potenzialità di una serie di applicativi low-cost, free e open source (ARC3D, 123D Catch, Hypr3D) basati sulle tecniche SfM (Structure from Motion) ed in grado di realizzare in maniera automatizzata modelli 3D fotografici a partire da semplici sequenze di immagini fotografiche. Inizialmente nati per la semplice visualizzazione turistica (ad esempio Photosynth) di siti archeologici e/o architettonici o di beni culturali (statue, dettagli etc) oggi attraverso queste tecnologie è possibile riprodurre con costi contenuti e tempi notevolmente ridotti modelli 3D fotorealistici. Sono stati scelti casi studio di diversa complessità (dalle statue alle architetture) in modo da poter avviare una prima verifica sulle potenzialità di modellazione di questi applicativi.*

**Palabras Clave:** PHOTOGRAMMETRY, IMAGE-BASED MODELING, 3D RECONSTRUCTION, COMPUTER VISION.

## Abstract

*This study shows the first results of a research aimed at catching the potentiality of a series of low cost, free and open source tools (such as ARC3D, 123D Catch, Hypr3D). These tools are founded on the SfM (Structure from Motion) techniques and they are able to realize automatically image-based models starting from simple sequences of pictures data sets. Initially born as simple touristic 3D visualization (e.g. Photosynth) of archaeological and/or architectural sites or cultural assets (e.g. statues, fountains and so on), nowadays allow to reconstruct impressive photorealistic 3D models in short time and at very low costs. Therefore we have chosen different case studies with various levels of complexity (from the statues to the architectures) in order to start a first testing on the modeling potentiality of these tools.*

**Key words:** PHOTOGRAMMETRY, IMAGE-BASED MODELING, 3D RECONSTRUCTION, COMPUTER VISION.

## 1 INTRODUZIONE

Negli ultimi anni l'innovazione tecnologica ha dato un notevole sviluppo al sistema di acquisizione, analisi, fruizione e divulgazione delle informazioni relative ai beni culturali.

Tra le possibilità offerte dalle tecnologie informatiche in fase di acquisizione dei dati

spiccano quelle legate all'utilizzo delle tecniche di rilevamento mediante laser scanner 3D (a tempo di volo o a luce strutturata) attraverso cui è possibile campionare, in tempi brevi e con alta precisione, milioni di punti dell'oggetto ottenendo una copia fedele che ne fornisce una rappresentazione 3D. Nonostante il largo utilizzo di queste tecnologie nel campo dei beni

culturali, i costi della strumentazione e dei software di elaborazione sono ancora piuttosto elevati (BERALDIN, 2005).

La crescente attenzione da parte dei ricercatori e sviluppatori verso applicazioni low-cost, free e open source negli ultimi anni ha dato vita ad una serie di applicativi (ARC3D, 123D Catch, Hypr3D) basati sulle tecniche SfM (Structure from Motion) in grado di realizzare in maniera automatizzata modelli 3D fotorealistici a partire da sequenze di immagini fotografiche non calibrate.

Queste tecnologie, in origine nate per la semplice visualizzazione e navigazione turistica (Photosynt) di beni culturali, siti archeologici e/o architettonici (GOESELE, 2007; SNAVELY, 2008; POLLEFEYS, 2004; VERGAUWEN, 2006), nel tempo sono state implementate ottenendo veri e propri strumenti per la digitalizzazione, visualizzazione, elaborazione low-cost, e in tempi ridotti, di oggetti reali.

L'applicazione delle tecnologie image-based modeling a basso costo in progetti di digitalizzazione del patrimonio culturale, in particolare di quello archeologico, richiede la verifica formale e dimensionale dei risultati ottenuti.

La ricerca, articolata in più fasi, indaga le potenzialità dei modelli 3D ottenuti mediante l'utilizzo di due service on line: ARC3D e 123D Catch della Autodesk.

L'articolo è strutturato come segue: nel paragrafo 2 viene esposto l'approccio metodologico alla ricerca; nel paragrafo 3 si illustrano le esperienze e i risultati sui casi studio scelti; nel paragrafo 4 vengono tratte le conclusioni ed indicati gli approfondimenti futuri della ricerca.

## 2 APPROCCIO METODOLOGICO

ARC3D e 123D Catch della Autodesk sono due webservice on line che, sfruttando gli algoritmi della Computer Science, riescono a ricostruire i parametri interni della camera digitale e la

posizione nello spazio dei punti omologhi a partire da una serie di corrispondenze tra sequenze di immagini fotografiche opportunamente riprese, analogamente all'approccio fotogrammetrico (BARAZZETTI, 2011).

Il fine è quello di ritrovare attraverso la corrispondenza pixel-pixel le coordinate 3D di tutti i punti della scena e ricostruire così il modello 3D o per punti (nuvola di punti) o per superfici poligonali (mesh) su cui è applicata la texture fotografica.

ARC3D web-service è stato sviluppato nel 2006 nell'ambito del progetto di ricerca EPOCH dall'equipe di ricercatori dell'ESAT-PSI Lab dell'Università Cattolica di Lovanio (Belgio) e dal Visual Computing Lab dell'ISTI-CNR di Pisa (Italia) (CALLIERI, 2009; CIGNONI, 2009; TINGDAL, 2011; VERGAUWEN, 2006). Operativamente si tratta di catturare una sequenza di immagini fotografiche dell'oggetto di interesse ad alta risoluzione e con un abbondante margine di sovrapposizione tra uno scatto e l'altro.

Il processamento dei dati avviene online: l'utente registrato al service carica la sequenza di immagini sul server e fornisce la propria email in modo da essere informato alla fine del processo di ricostruzione 3D e procedere al download dei dati.

Il sistema è completamente automatizzato nella fase di ricostruzione 3D che, per l'ernorme mole di dati, avviene mediante cloud computing.

Le immagini processate vengono restituite sotto forma di range map da caricare nell'apposito software open source Meshlab (CIGNONI, 2008) con il quale effettuare il processamento della nuvola di punti, la pulizia della mesh e quant'altro utile a migliorare la qualità del modello stesso. Da circa un anno vengono anche forniti il modello ricostruito ad alta definizione (formato OBJ) e il modello a bassa risoluzione per una visualizzazione online.



123D Catch sviluppato nei laboratori della Autodesk supera il precedente progetto Photofly lanciato nell'estate del 2010 sfruttando la tecnologia sviluppata da Realviz.

La fase di acquisizione delle immagini fotografiche si svolge secondo gli stessi principi di ARC3D.

Il processamento dei dati avviene online: dopo aver caricato le immagini l'utente decide se attendere il processamento dei dati e la creazione della scena o se ricevere una email a processo ultimato. In questa prima fase il sistema è completamente automatizzato. Il server restituisce un file (formato 3DP) che, aperto in 123D Catch, visualizza l'oggetto ricostruito sotto forma di modello poligonale texturizzato esportabile in vari formati tra cui l'OBJ. All'interno di 123D Catch, l'utente ha la possibilità di verificare la qualità dei dati acquisiti e migliorare il risultato della computazione attraverso lo stitching manuale di punti omologhi su triplette di immagini. La scena viene quindi re-inviata al server per il nuovo processamento.

Tra le funzionalità c'è anche la possibilità di definire dei sistemi di riferimento, di scalare il modello, di riprocessare la mesh iniziale per ottenerne una di qualità superiore.

In entrambi i casi (ARC3D e 123D Catch) la successiva fase di post-processamento del modello, necessaria a causa delle imperfezioni nella qualità della mesh (rumore e buchi) può essere effettuata su Meshlab, potente software open source sviluppato dal Visual Computing Lab dell'ISTI-CNR di Pisa.

Le potenzialità di queste tecnologie che consentono di ottenere, in tempi brevi e a costi contenuti (computer, connessione ad internet, camera digitale non calibrata), modelli 3D della realtà ne impongono la verifica al fine di comprendere se, oltre alla visualizzazione 3D, sono applicabili in progetti di digitalizzazione del patrimonio archeologico (ABATE, 2011; FILIPPUCCI, 2010; FRATUS DE BALESTRINI, 2011).

A tal fine è necessaria: - la definizione di una metodologia di acquisizione dati (la bontà del modello finale è funzione della qualità delle immagini fotografiche); - una verifica qualitativa e quantitativa dei risultati ottenuti.

Operativamente la ricerca è articolata attraverso successivi step:

- comparazione tra le potenzialità di ricostruzione 3D attraverso i due web service individuati;
- verifica della qualità dei modelli in termini di ricchezza di dettaglio, accuratezza metrica, pesantezza del file finale;
- individuazione del campo di applicazione.

Nel presente studio si mettono a confronto, a partire dalla stessa sequenza di immagini fotografiche, le potenzialità di modellazione dei due sistemi sopra descritti per capire gli ambiti di utilizzo dell'uno e dell'altro.

### 3 CASI STUDIO

Sono stati scelti casi studio di diversa complessità e dimensioni in modo da poter avviare una prima verifica sulle potenzialità di modellazione dei software individuati.

Le indicazioni nella guida utente di ARC3D suggeriscono l'utilizzo di immagini con risoluzione compresa tra 5 e 10 Mpixel. Al fine di testare il limite di utilizzo di questi service in termini di risoluzione dell'immagine sono state utilizzate due macchine digitali a risoluzione diversa: Nikon E8800 (8Mpixel) e Canon EOS-1Ds Mark III con obiettivo 24-105 mm (21 Mpixel).

La correzione della distorsione delle immagini è stata effettuata con il software Ptlens.

### 3.1 Sarcofagi di Costanza e dei Reali d'Aragona, Cattedrale di Catania

I sarcofagi di Costanza e dei Reali d'Aragona si trovano nella cappella della Madonna presso la Cattedrale di Catania.

Il sarcofago medievale di Costanza d'Aragona è addossato alla parete della cappella ed ha 3 lati liberi; quello lungo ha un bassorilievo che rappresenta uno scorcio del piano antistante il Duomo. Sul coperchio è scolpita la figura intera della regina sul letto di morte.

Sono state realizzate 32 riprese fotografiche: 13 per la parte bassa, 14 per la parte alta e ulteriori 5 per il dettaglio del coperchio.

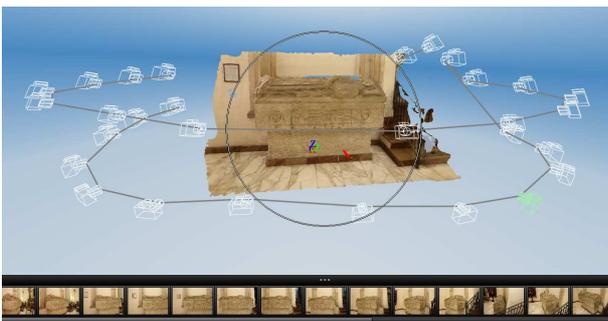


Figura 1. Sarcofago di Costanza d'Aragona. Vista della ricostruzione con 123D Catch.

Utilizzando le immagini con risoluzione 8Mpixel si è riscontrato che:

- ARC3D ha restituito un modello con un errore nella modellazione del terzo lato del sarcofago, inoltre il coperchio non è stato ricostruito in toto. Si è ottenuta una mesh di 366.000 triangoli;
- 123D Catch ha inizialmente restituito un modello in cui il coperchio del sarcofago non è stato ricostruito in toto poichè le ultime 5 foto non sono state processate; attraverso lo stiching manuale dei punti si è proceduto all'integrazione delle immagini e al riprocessamento dei dati ottenendo così un modello più completo. La mesh finale presenta 235.000 triangoli.

Utilizzando le immagini con risoluzione 21Mpixel si è riscontrato che:

- ARC3D ha fallito la modellazione a causa dell'elevato numero di pixel; riducendo il numero di immagini il sistema riesce a modellare porzioni di superficie per un massimo di 9-10 immagini; riducendo progressivamente il numero di pixel il sistema riesce a ricostruire il modello 3D con immagini con risoluzione 12 Mpixel, in questo caso però la visualizzazione della texture in Meshlab è scadente;
- 123D Catch ha dato gli stessi risultati di modellazione del test precedente (8Mpixel) ottenendo una mesh con 256.000 triangoli.



Figure 2-3. Sarcofago di Costanza d'Aragona. Vista del modello texturizzato e della mesh con 123D Catch (8Mpixel).

L'altro sarcofago, datato al III sec. d.C, raccoglie le spoglie dei Reali d'Aragona ed è un importante esempio del tipo "Sidamara". Esso è addossato ad una parete, è riccamente decorato su tre lati ed è chiuso da un coperchio non originale.

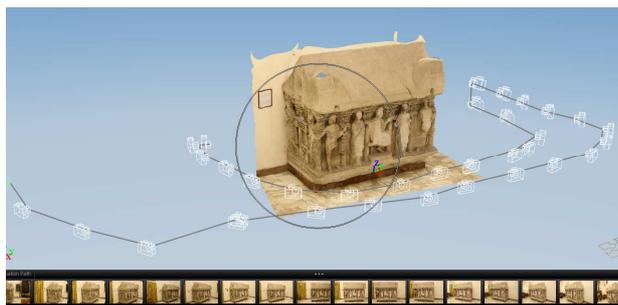


Figura 4. Sarcofago dei Reali d'Aragona. Vista della ricostruzione con 123D Catch.

Sono state realizzate 37 riprese fotografiche: 18 per la parte bassa e 19 per la parte alta.

Utilizzando le immagini con risoluzione 8Mpixel si è verificato che:

- ARC3D ha restituito un modello con errori nella modellazione di un lato corto del sarcofago (vicino al muro); si è ottenuta una mesh di 298.600 triangoli;
- 123D Catch inizialmente ha restituito un modello con alcuni errori nella ricostruzione dell'angolo tra il lato lungo e il lato corto (vicino al muro), che sono stati corretti attraverso lo stiching manuale dei punti e il riprocessamento dei dati, ottenendo un modello finale con 470.600 triangoli.

Utilizzando le immagini con risoluzione 21Mpixel si è riscontrato che:

- ARC3D ha nuovamente fallito la modellazione a causa dell'elevato numero di pixel; riducendo la risoluzione a 12 Mpixel il sistema è riuscito a ricostruire il modello 3D. Anche in questo caso però la visualizzazione della texture in Meshlab è scadente.
- 123D Catch ha dato gli stessi risultati di modellazione del test precedente (8Mpixel) ottenendo una mesh con 483.000 triangoli.

Qualitativamente si è riscontrato che la mesh del modello ottenuto con 123D Catch presenta un minore numero di triangoli per le superfici ad andamento piano – copertorio del sarcofago –

come se venisse effettuata a priori una riduzione “intelligente” della mesh.

Tale caratteristica non è stata riscontrata nel modello ottenuto con ARC3D in cui le superfici sono ricostruite senza alcuna distinzione tra dettaglio ed elemento semplificato.

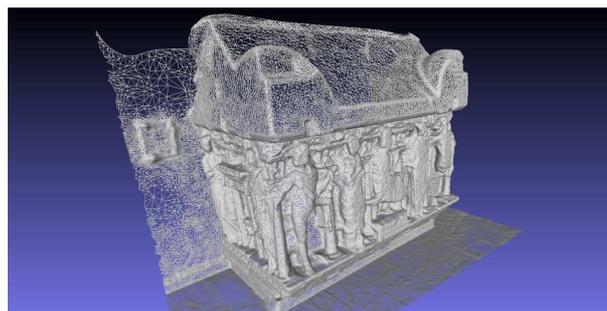


Figura 5. Sarcofago dei Reali d'Aragona. Vista della mesh del modello con 123D Catch (8Mpixel).



Figura 6. Sarcofago dei Reali d'Aragona. Vista della mesh del modello ARC3D (8Mpixel).

### 3.2 Resti della chiesa di Sant'Euplio, Catania

La chiesa di Sant'Euplio è stata parzialmente distrutta dai bombardamenti del 1943. I ruderi occupano due lati del sito originario che conserva anche un sepolcro ipogeo di epoca romana.



Figura 7. Chiesa di Sant'Euplio. Vista della ricostruzione con 123D Catch.

Sono state realizzate 31 riprese fotografiche. Utilizzando le immagini con risoluzione 8Mpixel si è riscontrato che:

- ARC3D dei due lati ha ricostruito solo il lato lungo. Evidenziando criticità nella ricostruzione di superfici concave. Si è ottenuta una mesh con 162.699 triangoli.
- 123D Catch inizialmente ha restituito il modello di entrambi i lati a bassa risoluzione, dopo il ri-processamento dei dati si è ottenuto un modello finale con 606.000 triangoli.

Utilizzando le immagini con risoluzione 21Mpixel si è constatato che i due web service hanno dato la stessa risposta dei casi studio precedentemente affrontati.



*Figura 8-9. Chiesa di Sant'Euplio. Vista della mesh e del modello con texture con 123D Catch (8Mpixel).*

## ACKNOWLEDGEMENTS

Le autrici ringraziano la dott.ssa Grazia Spampinato, vice direttore dell'Ufficio per i Beni Culturali della Curia Arcivescovile di Catania, per l'accesso alla cappella della Madonna della Cattedrale di Catania.

## 4 CONCLUSIONI E SVILUPPI FUTURI

Le sperimentazioni condotte hanno evidenziato potenzialità e limiti di queste tecnologie. Tra i vantaggi vi sono il costo contenuto delle strumentazioni richieste, i tempi ridotti di acquisizione dati e di creazione automatizzata dei modelli 3D, la versatilità di utilizzo (in condizioni estreme o luoghi difficilmente accessibili).

Uno dei limiti è costituito dalla risoluzione delle immagini fotografiche. Ad oggi, questi server non sono in grado di processare in maniera ottimale sequenze di immagini con risoluzione superiore a 10Mpixel. I test effettuati su ARC3D con immagini ad alta risoluzione (21Mpixel) hanno dato errori di modellazione nella ricostruzione della scena. Con 123D Catch non si sono riscontrati particolari miglioramenti nel dettaglio della mesh tra i modelli a 21Mpixel e quelli a 8Mpixel.

Inoltre, sono state riscontrate alcune criticità nella ricostruzione di superfici concave (ARC3D). Lo step successivo della ricerca verrà indirizzato alla verifica metrica dei modelli 3D ottenuti in modo da comprendere l'effettivo campo di applicazione di queste due potenti tecnologie.



## REFERENCES

- ABATE, Dante et al. (2011): “Project Photofly: new 3d modeling online web service (case studies and assessments)”, in *International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences* Volume XXXVIII-5/W16.
- BARAZZETTI, Luigi et al. (2010): “Extraction Of Accurate Tie Points For Automated Pose Estimation Of Close Range Blocks”, in *LAPRS*, Vol. XXXVIII, Part 3A.
- BERALDIN, Jean-Angelo et al. (2005): “Virtual reconstruction of heritage sites: opportunities & challenges created by 3D technologies”, in *The International Workshop on Recording, Modeling and Visualization of Cultural Heritage. May 22-27, 2005. Ascona, Switzerland*. NRC 48100.
- CALLIERI, Marco et al. (2009): “Scanner 3D con hardware low cost e strumenti free/open source”, in *Archeologia e Calcolatori*, Supplemento 2, pp. 173-180.
- CIGNONI, Paolo (2009): “Low cost resources for image synthesis and image-based modeling”, in *Siggraph 2009*
- CIGNONI, Paolo et al. (2008): “MeshLab: an Open-Source Mesh Processing Tool”, in *Sixth Eurographics Italian Chapter Conference*, pp. 129-136.
- FILIPPUCCI, Marco (2010): “Nuvole di pixel. La fotomodellazione con software liberi per il rilievo d’architettura”, in *DISEGNARECON*, vol 3, n.6.
- FRATUS DE BALESTRINI, Elena et al. (2011): “New instruments for survey: on line softwares for 3d reconstruction from images”, in *International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Volume XXXVIII-5/W16.
- GOESELE, Michael et al. (2007): “Multi-View Stereo for Community Photo Collections”, in *Proceedings of ICCV 2007*, Rio de Janeiro, Brasil, October 14-20.
- POLLEFEYS, Marc et al. (2004): “Visual modeling with a hand-held camera”, in *International Journal of Computer Vision*, vol. 59, n. 3, pp. 207-232.
- SNAVELY, Noah et al. (2008): “Modelling the world from internet photo collections”, in *International Journal of Computer Vision*, 80(2), pp. 189-210.
- SNAVELY, Noah et al. (2008): “Finding Paths through the World’s Photos”, in *ACM Transactions on Graphics (Proceedings of SIGGRAPH 2008)*, vol. 27, n.3, pp.11-21.
- TINGDAHL, David et al. (2011): “ARC3D: A public Web service that turns photos into 3D models”, in Stanco, F. Battiato, S. Gallo G. (eds.), *Digital imaging for Cultural Heritage Preservation: Analysis, Restoration, and Reconstruction of Ancient Artworks*, CRC Press.
- VERGAUWEN, Maarten et al. (2006): “Web-based reconstruction service”, in *Machine Vision and Applications*, 17(6), pp. 411-426.