

## **Fotogrammetria e Computer Science per Analisi e Visualizzazione dell'Archeologia degli Elevati**

Peloso D., Drap P., Merad D., Boi J-M, Seinturier J., Reidinger C., (\*)  
Vannini G., Nucciotti M., Pruno E. (\*\*)

(\*) LSIS umr CNRS 6168, Centre National de la Recherche Scientifique, Marseille, France  
name.surname@univ-amu.fr

(\*\*) Dipartimento di Studi Storici e Geografici dell'Università degli Studi di Firenze, Florence, Italy.  
guido.vannini@unifi.it, nucciotti@unifi.it, elisa.pruno@unifi.it

### **Abstract**

Il progetto “*Signori mediterranei: archeologia del potere nella Transgiordania latina. Il caso di Shawbak, il Crac de Montréal - Petra e Shawbak, dalla Signoria di Transgiordania all'impero ayyubide.*” è un esempio di implementazione tra ricerca archeologica e *computer vision*, rivolto all'elaborazione di un sistema 3D di informazione geografica (GIS) dedicato all'analisi stratigrafica delle strutture architettoniche del castello di Shawbak e sviluppato grazie ad una lunga collaborazione, ancora in itinere, tra Università di Firenze e CNRS di Marsiglia.

In particolare, l'attività di ricerca del “*Laboratoire des Sciences de l'Information et des Systèmes*” del CNRS, negli ultimi anni, è stata rivolta allo sviluppo di un sistema di documentazione dedicato all'archeologia medievale, basato su strumenti capaci di gestire la geometria delle strutture architettoniche, calcolata a partire dai dati fotogrammetrici e nuvole dense di punti 3D.

L'obiettivo del lavoro è quello di integrare dei moduli di analisi statistica che siano in grado di rapportare le informazioni semantiche con i dati dimensionali, al fine di evidenziare le relazioni fisiche e stratigrafiche relative alla sequenza cronologica di ogni singolo edificio e dell'intero sito.

Il sistema è in grado di esprimere graficamente gli elementi architettonici misurati (i.e. i conci) ma anche gli elementi concettuali, come le USM (Unità Stratigrafica Muraria) positive e negative.

Analisi di classificazione consentono di stabilire e osservare dei legami tra le misure dei conci, la loro posizione nelle murature e le unità stratigrafiche corrispondenti.

Tutti questi dati ed informazioni vengono organizzati in un GIS 3D collegato ad un database archeologico: i modelli 3D sono, quindi, una rappresentazione grafica del database e l'interfaccia attraverso cui l'utente è in grado di modificare e produrre diversi tipi di analisi.

### **Abstract**

*The paper presents an interdisciplinary project which is a work in progress towards a 3D Geographical Information System (GIS) dedicated to Cultural Heritage with a specific focus application on the Castle of Shawbak, one of the best preserved rural medieval settlements in the entire Middle East). The Shawbak archaeological project is a specific and integrated project between medieval archaeological research and computer vision done thanks to a long cooperation between University of Florence and CNRS, LSIS, Marseille. Focusing mainly on stratigraphical analysis of upstanding structures we provide archaeologists with two-step pipeline. First a survey process using photogrammetry, both in a traditional way with additional annotations and using the most advanced technique to obtain dense maps and then a tool for statistical analysis. Two main applications are presented here, stratigraphy analysis with Harris matrix computed on the fly from the 3D viewer and statistical tools, clustering operation on ashlar in order to show new relationships between the measured artifacts*

**Keywords:** Archeologia Medievale, Stratigrafia, Fotogrammetria, Computer vision, GIS, Principal Component Analysis, Clustering.

## **1 Introduzione**

La missione archeologica dell'Università di Firenze lavora da molti anni ad un progetto di ricerca finalizzato ad analizzare le forme degli insediamenti Crociati nei territori della Signoria di Transgiordania nel corso del XII secolo. La scelta di questa area è dipesa dal fatto che Le fortificazioni in questa area geografica, sono state completamente e definitivamente abbandonate dai Crociati dopo la battaglia di Hattin (1187), in cui è stato sconfitto l'esercito del Regno Latino di Gerusalemme da Salah al-Din, salvo specifiche eccezioni, perciò le analisi potevano contare su uno specifico termine cronologico.

Nel corso del tempo, il progetto ha rivolto la sua attenzione ad uno dei più importanti siti fortificati di tutta la regione, ovvero il castello di Shawbak, come un vero e proprio 'osservatorio stratigrafico' (Vannini, 2009). La fortificazione è da considerarsi una straordinaria area archeologico-monumentale caratterizzata da una stratificazione archeologica molto leggibile e che racchiude in se un archivio materiale che si estende per almeno 1600 anni, dall'età romano-bizantino (strutture appartenenti a questi periodi sono state riconosciute grazie alle recenti indagini archeologiche) attraverso il periodo crociato-ayyubide, mamelucco ed ottomano (Pruno, Sciortino, 2012).

Lo scopo principale di questa ricerca congiunta tra Firenze e Marsiglia è l'analisi archeologica del sito ed il suo *«interpretative design»*, sulla base di tutte le informazioni digitali rilevate nel corso di molti anni di indagini, sullo sviluppo di metodologie di acquisizione e di elaborazione dei dati raccolti in ambiente 2D e 3D. Il nostro primo obiettivo, infatti, è stato la realizzazione di un GIS 3D.

Tali obiettivi sono stati raggiunti attraverso due differenti approcci: da un lato la documentazione dell'analisi archeologica, attraverso l'elaborazione di un database *«PetraData»* (Niccolucci et al., 2000); un sistema fondato sulla classificazione di tutte le tutte le osservazioni archeologiche all'interno di schede gerarchicamente ordinate sulla base dei diversi livelli di indagine, come ad esempio CF (Corpo di Fabbrica) o USM (Unità Stratigrafica Muraria). (per le definizioni dell'archeologia degli elevati si veda Brogiolo, 1988).

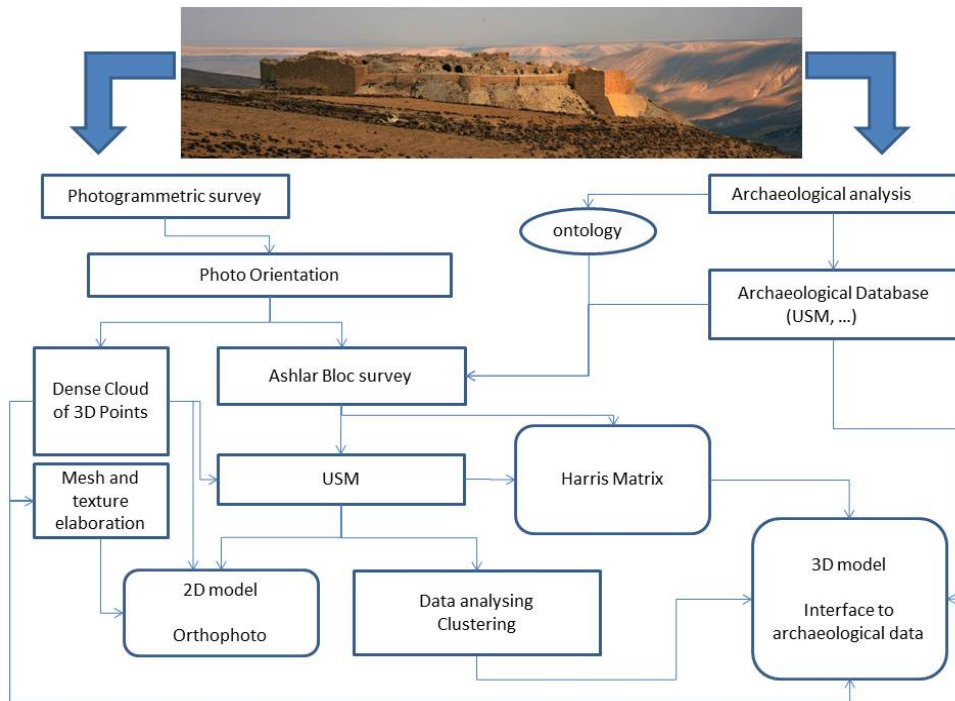


Figura 1. Schema sinottico del progetto interdisciplinare.

Il secondo approccio si basa sull'utilizzo dei rilievi fotogrammetrici ed applicazioni informatiche per la produzione di modelli 3D o 2D legati all'analisi geometrica dei dati, guidata dalla conoscenza ed esperienza in materia archeologica.

Il rilievo fotogrammetrico è organizzato in due modi distinti. Dopo la fase di orientamento, le fotografie vengono elaborate per la produzione di modelli 3D attraverso la generazione di una nube densa di punti ottenuta mediante un processo automatico ed anche per misurare e rappresentare i singoli conci; in questa fase, l'indagine viene effettuata da un archeologo esperto (Drap et al., 2009).

Una volta che i conci vengono misurati e riconosciuti nel database archeologico come appartenenti alla loro USM si vengono a definire le relazioni di tipo temporale, secondo le regole della stratigrafia così come definite da Harris. Ogni USM, infatti, è un insieme omogeneo che rappresenta una singola azione di costruzione o distruzione, tanto naturale quanto antropica e quindi identificando le relazioni dapprima fisiche e poi stratigrafiche di ogni singola USM si arriva a definire la sua cronologia relativa.

Nostro interesse era quello di sviluppare una metodologia di visualizzazione 3D in grado di porre in evidenza tutti i dati utilizzati, e cioè i modelli fotogrammetrici, con le fotografie e i punti 2D/3D, i blocchi murari, le nuvole dense di punti 3D, le USM, i clustering analysis ed, infine, le relazioni USM rispetto al Matrix di Harris (Harris, 1979).

L'idea principale di tale sistema di visualizzazione 3D non è quella di realizzare una rappresentazione scenografica del sito, ma l'obiettivo è poter guidare lo studio archeologico attraverso un sistema che possa controllare e relazionare tutti i dati acquisiti e prodotti.

## **2 Obiettivi e metodologia**

L'approccio fotogrammetrico su cui si sviluppa la ricerca è stato pensato per risolvere due differenti problematiche: la prima è quella di costruire una rappresentazione 3D o 2D del sito, o di singole parti del sito, in modo da avere una rappresentazione che possa essere utilizzata come interfaccia per la grande quantità di dati testuali ed iconografici raccolti ed elaborati dagli archeologi. La seconda è la necessità di acquisire dati di natura metrica sui manufatti identificati per essere in grado di effettuare analisi di tipo dimensionale, clustering ed altre analisi di tipo statistico (Vedi Figura 1).

Le applicazioni fotogrammetriche inizialmente vengono utilizzate per compiere delle misurazioni sui singoli blocchi murari (Drap et al. 2000). Gli utenti possono effettuare una misurazione 3D utilizzando una singola fotografia, senza alterare la precisione del risultato e con la possibilità di aggiungere, attraverso un processo manuale, delle informazioni qualitative. Questi tags semantici possono essere utilizzati per completare i rilievi (ad esempio ad un concio si può attribuire una profondità arbitraria proposta dall' archeologo o semplicemente possono essere aggiunti dati ed informazioni di interesse archeologico (come il riferimento agli strumenti di elaborazione, la qualità della pietra, ecc.).

Una seconda tipologia di applicazione fotogrammetrica può riguardare la generazione di nuvole di punti 3D arricchite con informazioni colorimetriche. Le numerose riprese fotogrammetriche realizzate negli ultimi anni e relative ai diversi ambienti che compongono il castello hanno permesso di generare una densa nuvola di punti 3D (vedi Figura 2) con il metodo proposto da Furukawa e Ponce (Furukawa, Ponce, 2010). Questo approccio, molto preciso ed abbastanza esauriente, non permette però di mantenere informazioni semantiche. Il problema principale è, quindi, come combinare da un lato l'elevata quantità di informazioni (punti 3D, informazioni di colore per ciascun punto) e dall'altro lato l'indispensabile conoscenza archeologica.

Al fine di soddisfare le nostre esigenze, abbiamo sviluppato un sistema ibrido, basato sulla fotogrammetria e la visualizzazione in 3D, avendo anche la necessità di utilizzare tutti i dati archeologici 2D, come foto o ortofoto ed USM. Questo approccio ci permette di riprodurre delle ortofoto sulla base di specifiche richieste al database ed anche al Matrix di Harris a partire dal modello 3D (ad esempio un grafico parziale di Harris da una USM identificata nel modello 3D). (Drap et al., 2012).



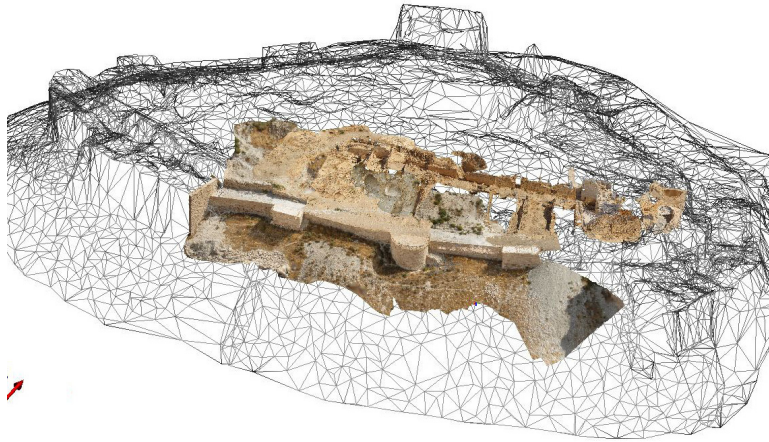
Figura 2. La fusione dei due approcci fotogrammetrici in unico, interattivo, visualizzatore 3D.

Nella Fig. 2 è possibile vedere i blocchi colorati in maniera differente a seconda della diversa USM di appartenenza; inoltre, è possibile trasmettere l'informazione semantica ai punti 3D e modificare, ad esempio, il loro colore a seconda dell' USM. La necessità di evidenziare questi aspetti è legata al concetto di unità stratigrafica, perché solo documentando ciascuna di esse è possibile individuare la sequenza cronologica relativa di ogni singolo edificio (confrontando tutti gli edifici, la sequenza cronologica relativa del sito).

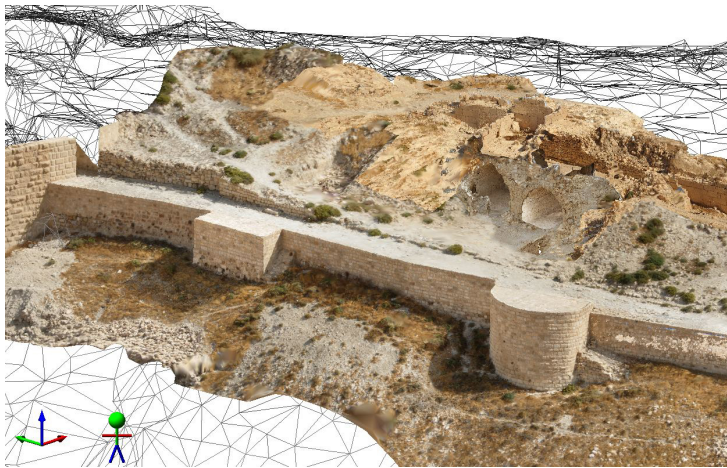
Tutti i rapporti stratigrafici sono formalizzati nella matrice di Harris e sono rappresentati in un grafico, al fine di raccogliere e mettere in ordine cronologico relativo tutti gli eventi che si verificano in un sito. Attualmente siamo in grado di generare il grafico di Harris con un semplice click del mouse nel modello 3D e vedere la corrispondente rappresentazione 3D di una USM; il successivo passo sarà quello di poter visualizzare sul modello 3D anche il rapporto stratigrafico e il grafico Harris. Esistono già alcuni software che elaborano automaticamente la matrice di Harris a partire dai dati raccolti; è nostro interesse, però, sviluppare un sistema integrato dal rilievo alla matrice.

Uno strumento come il nostro rilievo 3D collegato ai dati archeologici è, inoltre, molto utile per la possibilità di avere sempre a disposizione un archivio di dati geometrici tridimensionali costantemente aggiornabile e consultabile. Ad esempio, la copertura fotogrammetrica di molte aree del castello permette di lavorare a posteriori su un soggetto, per compiere misurazioni impossibili da eseguire sul campo per diverse ragioni, tra cui soprattutto la mancanza di tempo, e anche, spesso, per una posizione fisicamente non accessibile.

I modelli geometrici riproducono i singoli ambienti che costruiscono la complessità del castello di Shawbak; il lavoro di trattamento dei dati tridimensionali e di modellizzazione è stato realizzato grazie all'applicazione del software JRC Reconstructor 2 (Gexcel srl) (Vedi Figura 3 e Figura 4).



*Figura 3. Modello geometrico dell'area archeologica e ricostruzione attraverso mesh di alcuni degli ambienti del castello fino ad ora rilevati.*



*Figura 4. Esplorazione del modello geometrico.*

### **3 Obiettivi futuri**

Il progetto presentato nasce da una lunga collaborazione tra l'Università di Firenze, Italia e CNRS di Marsiglia (laboratorio LSIS) al fine di sviluppare un sistema di documentazione dedicato all'archeologia medievale, basato sulla fotogrammetria tradizionale e computer vision, in cui le nuvole di punti 3D possano essere arricchite con i dati semantici.

Gli obiettivi futuri sono rivolti allo sviluppo di questi aspetti:

- Migliorare il modulo che trasferisce i dati semantici del processo manuale fotogrammetrico alla nube densa di punti 3D. Questo è possibile per il fatto che viene utilizzato lo stesso supporto originale per riprodurre i dati archeologici ed il modello 3D, cioè le fotografie.
- Migliorare e integrare il modulo di calcolo statistico per aumentare la correlazione tra i blocchi e gli altri dati archeologici.

- Rappresentare scenari 3D realistici come memoria dello status quo di strutture architettoniche e manufatti a supporto delle decisioni per gli addetti ai lavori, nonché per un turismo virtuale che apra la fruizione del patrimonio culturale alla globalizzazione.

Il sistema interattivo in fase di sviluppo, permette accesso totale alle informazioni sul manufatto mediante un ambiente interrogabile con testo, finestre e bottoni (Interfaccia utente Grafica) che permette di interagire con la domanda e guidare la consultazione. (Morganti, Riva, 2006)

Il tentativo è di coniugare un lavoro scientifico di progettazione e modellazione con la libera esplorazione di mondi virtuali e con la possibilità, da parte degli utenti, di relazionarsi con i contenuti in modo creativo ed interattivo, in base ai propri percorsi di apprendimento.

- Infine, dal punto di vista archeologico, le unità stratigrafiche rappresentano un aspetto archeologico del ciclo del tempo e questa è la causa della loro rilevanza. Infatti l'altro aspetto importante dello studio di Harris si basa sull'invenzione della matrice di Harris, cioè un sistema per raccogliere e mettere in ordine cronologico relativo tutti gli eventi che si verificano in un sito. Tuttavia la matrice di Harris non consente di indicare il concetto di durata dell'unità stratigrafica e questa è una reale mancanza relativa alla struttura stratigrafica degli alzati (Pruno, Drap, 2012). Quindi il nostro lavoro futuro sarà rivolto alla ricerca di individuare un modo, sulla base forse dell'inserimento di altre relazioni temporali desunte anche dalla teoria di Allen (Allen, 1991), per riuscire a visualizzare la durata delle singole unità stratigrafiche di una struttura archeologica.

### **Bibliografia**

- Allen J.F., (1991), *Temporal reasoning and planning*. In: Brachman, R.J. (eds) Reasoning about plans. pp. 1-67. Morgan Kaufmann Publishers Inc., San Francisco
- Brogio G.P., (1988), *Archeologia dell'edilizia storica. Documenti e metodi*. New Press, Como
- Drap P., Gaillard G., Grussenmeyer P., Hartmann-Virnich A., (2000), *A stone-by-stone photogrammetric survey using architectural knowledge formalised on the ARPENTEUR Photogrammetric workstation*. In: Proceedings of XIXth ISPRS Congress, Vol. XXXIII, part 5, 8, pp. 139-145. ISPRS, Amsterdam
- Drap P., Seinturier J., Chambelland J.C., Pruno E., (2009), *Going To Shawbak (Jordan) And Getting The Data Back: toward a 3D GIS dedicated to medieval archaeology*. In: Proceedings of 3D Arch 2009, 3D Virtual Reconstruction and Visualization of Complex Architectures Trento, Commission V, WG V/4
- Drap P., Merad D., Boï J.M., Seinturier J., Peloso D., Reidinger C., Vannini G., Nucciotti M., Pruno E., 2012, *Photogrammetry for medieval archaeology, A way to represent and analyse stratigraphy*. In: VSMM 2012 18th International Conference on Virtual Systems and Multimedia, Milano
- Furukawa Y., Ponce J., (2010), *Accurate, Dense, and Robust Multiview Stereopsis*. In: IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 32, pp. 1362-1376. IEEE Press, New York
- Harris E.C.,(1979), *Principles of Archaeological Stratigraphy*. Academic Press, London
- Morganti F., Riva G., (2006), *Conoscenza, comunicazione e tecnologia: aspetti cognitivi della RV*, Milano
- Niccolucci F., Tonghini C., Vannini G., Crescioli M., (2000), *PETRA: un sistema integrato per la gestione dei dati archeologici*. Archeologia e Calcolatori, XI, 49-67
- Pruno E., Sciortino R., (2012), *La ceramica post-medievale a Shawbak (Giordania): impostazioni di metodo e prime acquisizioni della ricerca*. In: XLIV Convegno Internazionale della Ceramica, pp. 39-55. Edizione Del Centro Ligure Per La Storia Della Ceramica (Ed.), Savona
- Pruno E., Drap P., (2012), *Dalla stratigrafia all'archeologia teorica: il matrix di Harris e l'archeologia del tempo*. In: Redi, F., Forgione, A. (eds): VI Congresso Nazionale di Archeologia Medievale, pp. 43-45. All'Insegna del Giglio, Firenze
- Vannini G., Nucciotti M., (2009), *Un problema di visibilità archeologica: territorio, analisi "leggere" e sintesi storiche*. In: Vannini, G., Nucciotti, M.: Da Petra a Shawbak, Archeologia di una frontiera. pp. 28-31. Giunti, Firenze