

Archeologia e Calcolatori
24, 2013, 329-340

DAL RILIEVO FOTOGRAMMETRICO ALL'ANALISI DEI DATI. IL PROGETTO SHAWBAK

1. INTRODUZIONE

Il lavoro qui presentato, che fa parte di una ricerca interdisciplinare riguardante lo studio degli insediamenti medievali nella valle di Petra (Giordania), in particolare il castello di Shawbak, è focalizzato ad individuare e sperimentare un sistema integrato di documentazione e presentazione dei dati archeologici (PRUNO, NUCCIOTTI, DRAP 2012, 371-384). Uno dei principali obiettivi di questa ricerca interdisciplinare è l'analisi archeologica del sito di Shawbak, basata sulla raccolta di tutti i dati stratigrafici e sul confronto con quelli degli insediamenti medievali della valle di Petra. Lo sforzo comune tra i due gruppi (il CNRS-LSIS di Marsiglia e il Dipartimento di Storia, Archeologia, Geografia, Arte e Spettacolo dell'Università degli Studi di Firenze) riguarda in particolare le metodologie di acquisizione e di elaborazione dei dati 2D e 3D. Scopo primario è la realizzazione di un GIS 3D. Per raggiungere questo scopo abbiamo cercato di unire due approcci che provengono da due diversi settori scientifici. Da un lato, l'analisi archeologica, i cui dati sono raccolti ed elaborati in un database, il Petradata, creato appositamente ed utilizzato dal gruppo di ricerca della Cattedra di Archeologia Medievale dell'Università di Firenze da molti anni (NICCOLUCCI *et al.* 2000). Questo database raccoglie tutte le osservazioni archeologiche ed utilizza i concetti messi a punto anche nel processo di rilievo, quali CF (Corpo di Fabbrica, secondo BROGIOLO 1988, ed ora BROGIOLO, CAGNANA 2012) e USM (Unità Stratigrafica Muraria) (Fig. 1).

Il secondo approccio proviene dal settore fotogrammetrico e della computer science, per produrre modelli 2D e 3D collegati a un'analisi dei dati geometrici guidata dalla conoscenza archeologica. Il rilievo fotogrammetrico è organizzato in due modi diversi. Dopo la fase di orientamento, le immagini sono usate per realizzare modelli 3D con la generazione di nuvole di punti dense mediante un processo automatico e anche per misurare e rappresentare i conci delle murature oggetto del rilievo. In quest'ultima fase il rilievo è opera dell'archeologo (DRAP *et al.* 2000, 2009). I conci sono stati scelti come elemento atomico da utilizzare nel processo di misurazione fotogrammetrica; il legame con il database archeologico è costituito dall'appartenenza di ciascun concio misurato ad una USM (DRAP *et al.* 2009). Ogni USM positiva è un'azione costruttiva unitaria, che rappresenta (a seconda del dettaglio a cui l'archeologo vuole giungere) un diverso momento costruttivo (BROGIOLO, CAGNANA 2012, 28-29). In altre parole identificare

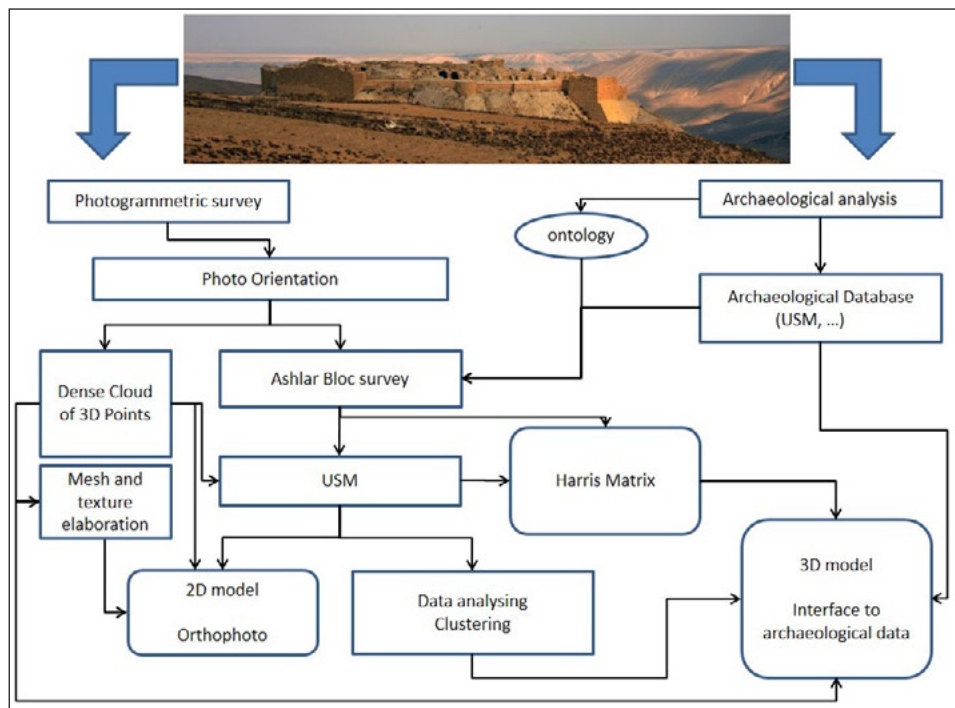


Fig. 1 – Schema sinottico del progetto interdisciplinare che visualizza la cooperazione tra l’archeologia e la computer science e un’immagine del castello di Shawbak (Ma’an, Giordania).

e documentare le USM delle strutture in elevato e i loro rapporti stratigrafici permette agli archeologi di definire anzitutto una cronologia relativa delle fasi costruttive, attraverso l’identificazione delle loro posizioni e dei reciproci rapporti fisico-stratigrafici. Una volta che i conci sono misurati e collegati al database (mediante l’identificazione della loro appartenenza ad una USM), vengono individuati due importanti legami tra di loro: le relazioni temporali relative, date dalle relazioni stabilite mediante il matrix di Harris, espresse nel database, e le relazioni strutturali, date dalle dimensioni e dalla posizione di ciascun blocco o USM. Abbiamo pertanto sviluppato un visualizzatore 3D in grado di mostrare tutti i dati utilizzati: modelli fotogrammetrici, con immagini fotografiche e punti 2D e 3D, conci, nuvole di punti dense, USM, sviluppo di analisi clustering e il grafo utilizzato per il matrix di Harris. L’idea principale alla base di questo visualizzatore 3D non è quella di produrre una bella immagine del sito, ma di favorire la ricerca archeologica attraverso un pannello di controllo di tutti i dati prodotti.

2. IL PROGETTO ARCHEOLOGICO: OBIETTIVI E METODO

La missione della Cattedra di Archeologia Medievale dell'Università di Firenze lavora da molti anni ad un progetto teso ad analizzare le forme dell'insediamento di XII secolo nei territori della Signoria di Transgiordania. La ricerca ha iniziato documentando i caratteri della prima fase insediativa dei Crociati in Terrasanta, là dove sono meglio preservati e stratigraficamente chiari, cioè in Transgiordania, l'attuale Giordania. Le fortificazioni di quest'area sono state completamente abbandonate dai Crociati dopo la battaglia di Hattin (1187) – nella quale l'esercito del Regno Latino di Gerusalemme fu sconfitto dalle armate di Salah al-Din – eccetto alcune specifiche eccezioni. Gradualmente, il programma, via via perfezionato grazie ai risultati in itinere della ricerca, ha diretto la sua attenzione ad uno dei più importanti siti fortificati dell'intera regione, Shawbak, che, dopo l'identificazione e lo studio del sorprendente ruolo svolto da Petra, è diventato, per così dire, un imprescindibile “osservatorio stratigrafico” (VANNINI, NUCCIOTTI 2009).

Shawbak deve essere considerata una straordinaria area monumentale, che può essere esplorata archeologicamente in modo integrale. È caratterizzata da una ben leggibile stratificazione archeologica, che abbraccia gli ultimi 1600 anni, dall'epoca romano-bizantina (alcune strutture pertinenti a queste fasi sono state individuate recentemente: VANNINI, NUCCIOTTI 2009) attraverso il periodo Crociato-Ayyubide, quello Mamelucco e, infine, quello Ottomano (PRUNO, SCIORTINO 2012). La ricerca si è basata, sin dal suo inizio, sull'utilizzo dei metodi dell'archeologia leggera, cioè, di un sistema che integra archeologia del territorio, ambientale, archeologia degli elevati e saggi di scavo stratigrafico. Tutti questi settori sono tra loro strettamente connessi in un sistema informatico che copre le fasi della raccolta, della conservazione e dell'analisi di tutti i dati archeologici. In questa ricerca, l'analisi stratigrafica delle strutture architettoniche in elevato è strategicamente assai importante perché permette di conoscere in tempi relativamente brevi le principali fasi di vita del sito (e anche dell'intera regione di riferimento). Si tratta, inoltre, di una chiave conoscitiva fondamentale ai fini del programma di conservazione e restauro delle strutture, che è oggetto di un accordo italo-giordano di cooperazione scientifica tra l'Università di Firenze e il Dipartimento delle Antichità della Giordania, in corso di rinnovo.

3. RILIEVO FOTOGRAMMETRICO

Lo scavo archeologico, per sua stessa natura, è un tipo di ricerca irrimediabilmente distruttiva, pertanto è fondamentale accompagnarlo con una documentazione dettagliata che rifletta le conoscenze accumulate nel corso della ricerca. Non solo lo scavo, però, necessita di un'adeguata documenta-

zione, ma anche l'analisi stratigrafica delle strutture in elevato (BROGIOLO 1988 e ora BROGIOLO, CAGNANA 2012, in particolare 45-59). Usualmente questa documentazione è tanto iconografica quanto testuale. Le rappresentazioni grafiche spaziano da eidotipi delle letture stratigrafiche a fotografie, rilievi topografici e fotogrammetria, che sono indispensabili per questo tipo di documentazione e sono parte intrinseca di ogni rilievo archeologico. Tuttavia, come ha sottolineato Olivier Buchsenschutz nell'introduzione al convegno *Images and Archaeological Surveys*, svoltosi ad Arles (Francia) nel 2007 (BUCHSENSCHUTZ 2007), anche un disegno molto preciso conserva solo alcune osservazioni che supportano una dimostrazione, proprio come un discorso conserva solo alcuni argomenti, ma questa scelta non è solitamente esplicita. Questo assunto pone le basi del nostro lavoro: un rilievo è tanto un documento metrico quanto un'interpretazione di un archeologo.

L'approccio fotogrammetrico è stato scelto per risolvere due tipi di problemi: il primo è costruire una rappresentazione bidimensionale o tridimensionale del sito, o parte di esso, per averne una rappresentazione che possa essere utilizzabile come interfaccia delle grandi quantità di dati testuali e grafici collazionati e informatizzati nel corso della ricerca dall'archeologo (Fig. 2). Il secondo è la necessità di raccogliere i dati metrici di un manufatto per essere in grado di condurre analisi dimensionali, clustering ed altri tipi di calcoli statistici.

Il primo uso della fotogrammetria è applicato alla misurazione dei conci. Questo avviene grazie ad un metodo specifico, già pubblicato (DRAP *et al.* 2000, 2009). Gli utenti possono ottenere misurazioni 3D utilizzando una sola foto, senza che questo alteri la precisione del risultato. Questo sistema permette all'utilizzatore di concentrarsi sugli aspetti archeologici del rilievo. L'utente, esperto della materia – in questo caso specifico un archeologo medievista – può trarre vantaggio dal processo manuale per aggiungere annotazioni ai punti misurati. Questi tag semantici possono essere utilizzati per completare il rilievo (ad es., per ottenere un concio completo dall'estruzione realizzata usando una profondità arbitraria scelta dall'archeologo oppure per aggiungere altri dati al concio, come ad esempio gli strumenti utilizzati, il litotipo, etc.) (DRAP *et al.* 2009). Il secondo utilizzo della fotogrammetria riguarda l'intensiva produzione di nuvole di punti 3D con l'informazione del colore. Dal momento che stiamo lavorando ormai da molto tempo su questo sito, abbiamo un gran numero di foto orientate ed è possibile utilizzarne una parte per generare dense nuvole di punti 3D (Fig. 2) con il metodo proposto da FURUKAWA e PONCE (2010). Questo approccio, che sembra essere molto accurato e piuttosto esaustivo, è, ad un primo livello, realmente povero da un punto di vista semantico. Naturalmente con esso possiamo gestire una grande quantità di punti 3D, ma perdiamo tutto il carico di conoscenza realizzato nel rilievo fotogrammetrico originale.

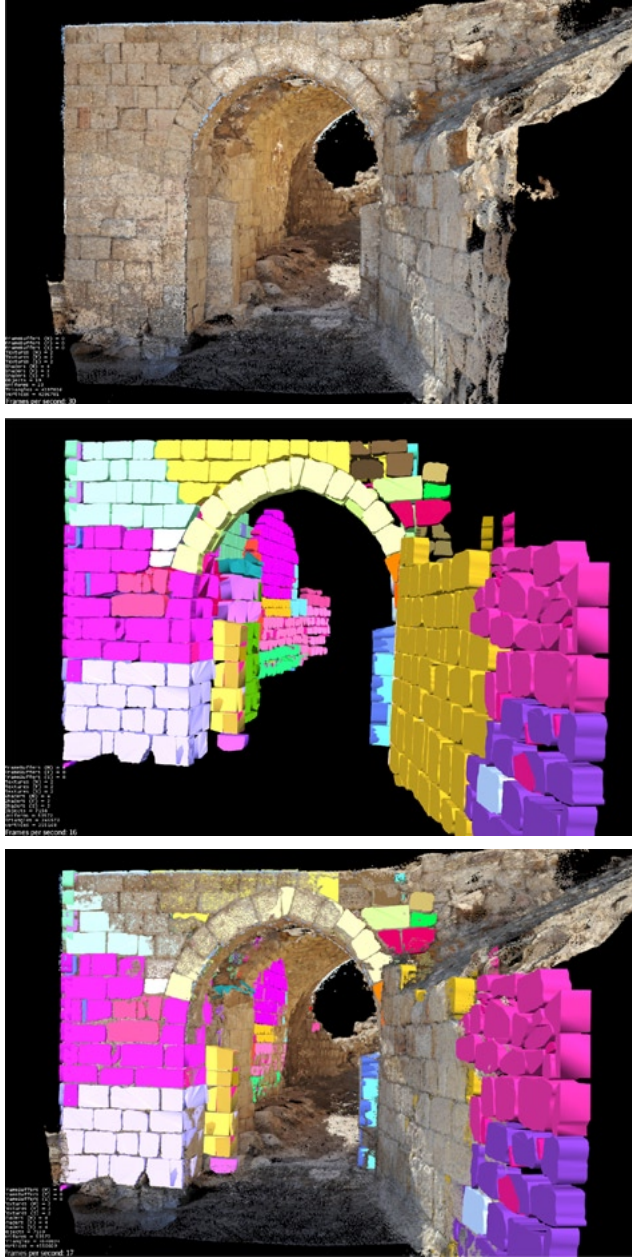


Fig. 2 – Unione dei due diversi approcci fotogrammetrici in un unico visualizzatore 3D interattivo.

Il problema principale è dunque come unire da una parte l'alta quantità di informazioni (punti 3D, informazione del colore per ogni punto) e dall'altra l'indispensabile conoscenza archeologica. Noi abbiamo sviluppato un approccio ibrido, basato sulla fotogrammetria e sulla visualizzazione 3D, per utilizzare i dati usualmente prodotti dall'archeologo. Anche in un contesto 3D, gli archeologi usano spesso documenti 2D, come le foto, le ortofoto e sovente le USM vengono disegnate su documenti di questo genere. Il nostro approccio ci permette di produrre ortofoto direttamente mediante query specifiche al database o, anche, ottenere il matrix di Harris, attraverso richieste al modello 3D (per esempio un grafo parziale del matrix di Harris a partire da una USM identificata nel modello 3D). Il visualizzatore 3D, che è in grado di supportare tanto dense nuvole di punti 3D quanto visualizzazioni di manufatti, permette anche una interazione bidirezionale e può essere utilizzato per visualizzare le richieste fatte al database o risultati di analisi statistiche come quelle clustering (DRAP *et al.* 2012). Nella Fig. 2 possiamo vedere i conci misurati da un archeologo che, con aggiunta di annotazioni conoscitive, permettono di creare un link con il database archeologico, colorandosi in accordo alla loro appartenenza alle diverse USM. Nella stessa vista si mostra la densa nuvola di punti 3D: come illustrato in un lavoro precedente, possiamo trasmettere informazioni semantiche mediante i punti 3D e cambiare, ad esempio, il loro colore, in accordo alle USM (DRAP *et al.* 2012).

4. MATRIX DI HARRIS E MODELLI 3D

Seguendo il concetto principale dell'archeologia stratigrafica, stiamo tentando di documentare direttamente sui rilievi i caratteri principali di ciascuna unità stratigrafica. Dalla pubblicazione della prima edizione del volume di E.C. Harris *Principles of Archaeological Stratigraphy*, molti archeologi hanno abbracciato l'idea che tutti i siti siano stratificati e che proprio per questo è necessario conoscere i principi della stratigrafia archeologica per ottenere tutte le informazioni possibili da ciascuno di essi. Infatti, tutte le unità stratigrafiche sono il risultato di azioni naturali o antropiche di deposito e di erosione (nel caso di stratificazioni antropiche si deve parlare piuttosto di azioni di costruzione o di distruzione). Riguardo alle strutture in elevato, l'unità stratigrafica è solitamente il risultato di un'azione umana di costruzione e di un'azione umana o naturale di distruzione. Per individuare la sequenza cronologica relativa dell'edificio (e, mediante la sequenza cronologica relativa dei corpi di fabbrica, quella di tutto il sito) è necessario indicare la posizione di ciascuna USM e le relazioni stratigrafiche che intrattiene con le altre USM. A questo proposito è assai rilevante il concetto di interfaccia. Seguendo Harris, infatti: «There are thus two main types of interface: those which are the surfaces of strata and those which are only surfaces, formed by the removal of existing stratification» (HARRIS 1979, 54). Ogni interfaccia ha una superficie, ha relazioni

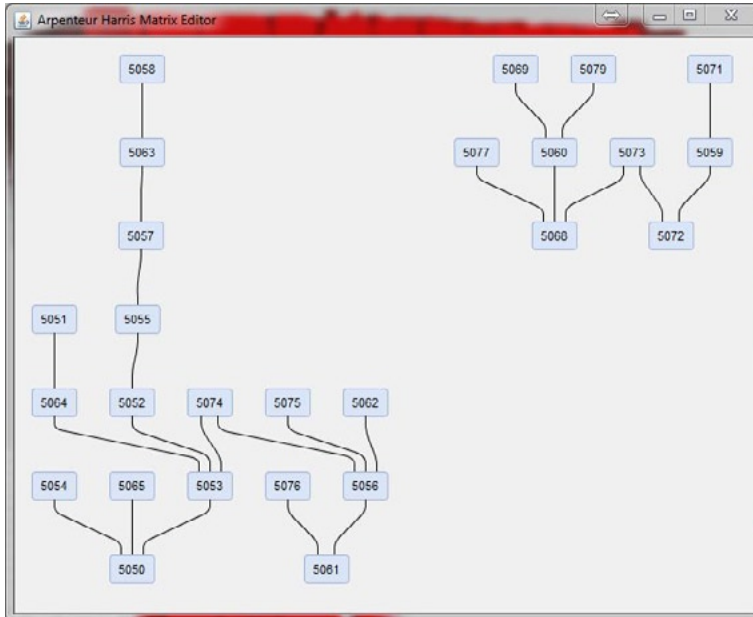


Fig. 3 – Matrix di Harris realizzato scegliendo una USM dal visualizzatore 3D (cfr. Fig. 2). Ciascuna USM qui rappresentata è collegata nel visualizzatore.

stratigrafiche, limiti e contorni. Perciò è importante prima di tutto identificarli e documentarli, poi rilevarne posizione e relazioni fisico-stratigrafiche.

Benché ci siano già dei software che elaborano automaticamente il matrix di Harris a partire dai dati raccolti, è molto interessante avere un sistema integrato che possa gestire ed elaborare le fasi che intercorrono dal rilievo al matrix (Fig. 3).

5. ANALISI STATISTICHE E CLASSIFICAZIONI

Un elemento importante del Progetto Shawbak, dal punto di vista delle letture archeologiche, è la possibilità offerta da questo contesto di studiare la tecnologia costruttiva delle murature crociate di XII secolo, a causa della brevità della fase di vita crociata in quest'area (meno di un secolo). Una volta ben determinate le sue caratteristiche sarà possibile definire un fossile-guida valido per l'intera regione. Per ottenere risultati sempre più validi, può essere assai utile migliorare la ricerca con altri tipi di dati, come quelli ricavabili da indagini mensiocronologiche, assistite anche da analisi clustering.

Queste analisi statistiche sono state recentemente applicate allo studio degli elevati in un progetto spagnolo, di grande rilievo, che riguarda la città di

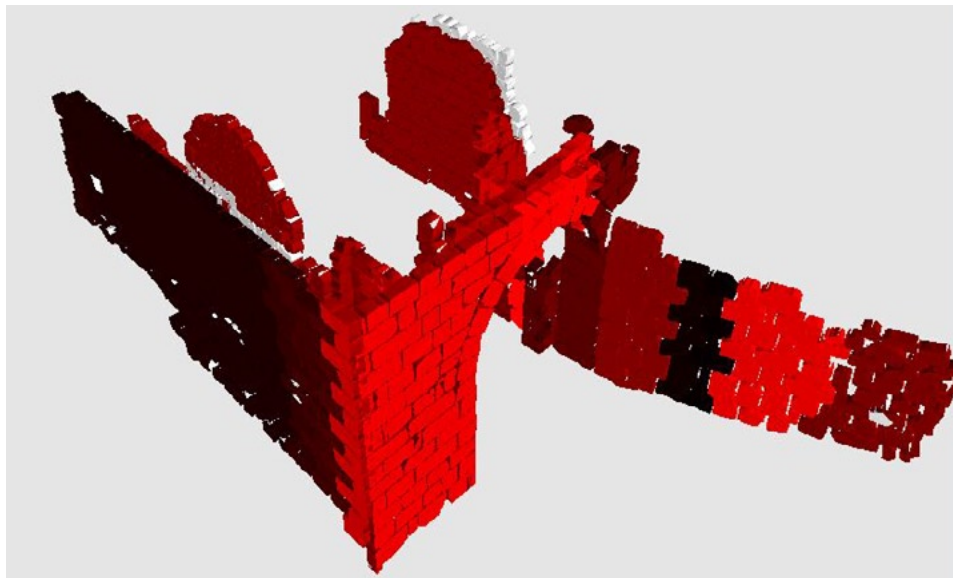


Fig. 4 – Visualizzazione di analisi clustering dei conci.

U S M	5032	5035	5038	5040	5102	5105	5326	5328	20214	5036
5032	100									
5035	73,57	100								
5038	64,88	55,72	100							
5040	75,38	67,61	62,41	100						
5102	51,42	80,27	64,66	74,28	100					
5105	76,48	68,87	63,78	57,4	75,38	100				
5326	83,18	59,54	79,74	76,21	84,72	66,5	100			
5328	65,02	51,11	56,81	68,57	72,32	89,76	60,37	100		
20214	63,61	82,36	71,28	63,66	66,22	71,25	90,51	79,27	100	
5036	54,28	75,13	71,33	72,08	52,85	73,23	83,09	73,75	59,55	100

Tab. 1 – Risultati della classificazione.

Vitoria-Gasteiz (AZKARATE GARAI-OLAUN 2010). Ricerche mensiocronologiche sono state già applicate con successo anche ad edifici in pietra (NUCCIOTTI 2000) e possono essere utilmente sperimentate anche nel Progetto Shawbak, per riuscire a consolidare la crono-tipologia delle murature che stiamo realizzando. Uno strumento come il rilievo 3D collegato ai dati archeologici è molto utile a

questo scopo perché con lo stesso tempo del rilievo otteniamo tutti i necessari dati per ciascun tipo di analisi statistica successiva, inseriti, peraltro, già nel diagramma stratigrafico. Paragonando questo sistema a quello consueto in cui si misura un campione di muratura sul sito, la differenza più evidente è che si ha una copertura totale dell'edificio (cosa praticamente impossibile da realizzare nel caso della raccolta dei dati direttamente sul campo, non fosse altro che per la mancanza di tempo, ma, spesso, anche per l'impossibilità di raggiungere fisicamente alcune parti delle murature in esame).

È necessario, però, ancora del tempo per testare e migliorare questo tipo di analisi statistiche, molto interessanti perché permettono di “vedere” diversi tipi di cluster nel pattern degli elementi costruttivi, potenzialmente utili per analizzare, ad esempio, differenti scelte tecnologiche. In un nostro lavoro precedente (DRAP *et al.* 2012) abbiamo utilizzato la *Principal Component Analysis* (PCA), per studiare le informazioni dimensionali di ciascun blocco. Abbiamo anche messo in evidenza i legami esistenti tra le misure di ciascun concio e le corrispondenti USM. In seguito abbiamo applicato la stessa procedura sul resto del CF (1191 conci, 44 USM) e poi abbiamo utilizzato i risultati della PCA per costruire cluster in modo non supervisionato. Abbiamo mantenuto 5 variabili (altezza, larghezza, X, Y, Z) e implementato il metodo gerarchico ascendente. Questo algoritmo principale serve per raccogliere punti in accordo con il parametro di prossimità. In questo tipo di metodo vi sono due passaggi importanti: la scelta della misura dissimile tra conci e la scelta di un indice cluster corrispondente alla distanza *between-class*. Per queste due misure possono essere trovate diverse soluzioni (Fig. 4).

Per la nostra applicazione abbiamo scelto la distanza euclidea per la distanza tra classi e il metodo Ward così da valutare l'indice cluster tra classi. I risultati sono illustrati nella Fig. 4, in cui è possibile notare similarità tra questi cluster e la lettura archeologica (Fig. 2). Inoltre, abbiamo anche verificato che questa classificazione è più influenzata dai parametri X, Y, Z. Per limitare questo effetto, abbiamo applicato un metodo di classificazione non lineare: il *Support Vector Machines* (SVM), che ci è sembrato non solo efficace, ma anche meno sensibile al cambiamento dei learning set nella modellazione dei dati. Si deve notare che ci siamo trovati in una condizione non facile dato che il numero di elementi variabili è maggiore del numero dei blocchi di ciascuna classe e il rischio di multicollinearità è alto. Per cercare di ovviare a questo problema abbiamo scelto una procedura di *supervised learning*. Abbiamo effettuato una selezione all'interno delle classi possibili, mantenendone 10, sulla base della loro cardinalità (cioè sulla base del numero degli elementi presenti in ciascuna di esse). Nonostante questa selezione, la cardinalità delle classi ci è sembrata ancora insufficiente per procedere con l'analisi, quindi è stato introdotto un classificatore binario con cross-validazione, dividendo i dati in gruppi della stessa entità ed escludendone un gruppo alla volta. A questo punto abbiamo cercato di

predire il gruppo escluso per mezzo dei dati analizzati per verificare la bontà del modello utilizzato. Per i nostri calcoli, abbiamo applicato l'algoritmo C-SVC, che è stato implementato (CHIH-CHUNG, CHIH-JEN 2011) con la variabile *Height*, *Length* and *Z*, con i parametri seguenti: *kernel* lineare, *cost parameter* uguale a 1, *weight* parametro di ciascuna classe uguale a 1. I tassi di classificazione vanno dal 74,64% al 97%, ad esempio rispettivamente per l'USM 5036 e per l'USM 5032. Noi vogliamo testare questo metodo attraverso due parametri dimensionali dei conci (altezza e larghezza). I primi risultati sono illustrati nella Tabella 1. È interessante notare che il tasso di classificazione raggiunto è prossimo all'80% (al 90% tra le USM 5326 e 20214). In futuro potremmo pensare di utilizzare questi parametri per classificare i conci trovati nel sito a terra (per esempio a causa di crolli subiti nel corso del tempo dagli edifici) e attribuibili per via ipotetica a diverse fasi della messa in opera (Tab. 1).

6. CONCLUSIONI E PROSPETTIVE DI RICERCA

Questo progetto è possibile grazie ad una lunga cooperazione tra la Cattedra di Archeologia Medievale dell'Università di Firenze e il LSIS (CNRS) di Marsiglia. Stiamo lavorando ad un sistema di documentazione dedicato all'archeologia medievale, che sia in grado di integrare 3 componenti:

- Uno strumento di rilievo basato sulla fotogrammetria e sulla computer vision (usando la fotogrammetria tradizionale) per mezzo del quale un operatore sia in grado di disegnare punti specifici annotandovi osservazioni specifiche e anche, grazie agli avanzamenti più recenti, che possa produrre una grande quantità di punti 3D con le informazioni di colore, ma senza informazioni semantiche. In questo caso, sviluppiamo un ponte tra questi due approcci per fare in modo di aggiungere dati semantici alle nuvole di punti 3D.
- Uno strumento di visualizzazione 2D e 3D, che permetta l'interazione tra i dati conservati e l'utente. Questo strumento può elaborare le geometrie provenienti dai dati fotogrammetrici come le nuvole dense di punti 3D; le relazioni stratigrafiche conservate nel database archeologico possono essere rappresentate direttamente da un grafo interattivo che descrive il matrix di Harris.
- Un modulo di analisi statistica che è in grado di produrre conoscenza sulle misure dei manufatti (ad esempio analisi clustering sui conci).

Tutti questi sviluppi usano e sottolineano un modello di conoscenza formalizzato da ontologie che ci permettono di costruire collegamenti tra i concetti propri dell'archeologia e quelli usati nelle tecniche di rilievo.

Attualmente all'interno di questo progetto stiamo lavorando su numerosi altri aspetti:

- Miglioramento del modulo che trasferisce i dati semantici dal processo fotogrammetrico manuale alle nuvole dense di punti 3D. Questo è possibile

grazie al fatto che usiamo lo stesso supporto originale per produrre dati archeologici e dati 3D: la fotografia. Gli archeologi possono disegnare le USM e i conci in foto orientate.

– Miglioramento ed integrazione del modulo di calcolo statistico per incrementare la correlazione tra i conci e le altre informazioni archeologiche.

– Infine, dal punto di vista archeologico, l'unità stratigrafica rappresenta un aspetto del ciclo temporale e questo è il motivo della sua estrema importanza. Infatti, un altro elemento fondamentale del lavoro di Harris è stato quello di elaborare l'idea del matrix, il sistema ad oggi più conveniente di raccogliere e inserire in un ordine cronologico tutti gli eventi occorsi in un sito. Tuttavia il matrix di Harris non permette di indicare il concetto di durata dell'unità stratigrafica, creando, pertanto, una significativa lacuna nella comprensione delle stratificazioni (PRUNO, DRAP 2012). Così, il nostro obiettivo più rilevante è teso ad individuare un numero maggiore di relazioni tra le unità stratigrafiche, seguendo la teoria di Allen (ALLEN 1991; ACCARY, CALABRETTO 2004) per mettere meglio in evidenza le fasi di vita delle strutture archeologiche.

PIERRE DRAP, DJAMAL MERAD, JULIEN SEINTURIER,
JEAN-MARC BOÏ, DANIELA PELOSO
LSIS UMR CNRS 6168 – Marseille

GUIDO VANNINI, MICHELE NUCCIOTTI, ELISA PRUNO
Dipartimento di Storia, Archeologia, Geografia, Arte e Spettacolo
Università degli Studi di Firenze

BIBLIOGRAFIA

- ACCARY T., CALABRETTO S. 2004, *Temporalité des corpus archéologiques*, «Document Numérique», Numéro spécial sur le thème Temps et Document, 8, 111-124.
- ALLEN J.F. 1991, *Temporal reasoning and planning*, in R.J. BRACHMAN (ed.), *Reasoning about Plans*, San Francisco, Morgan Kaufmann Publishers Inc., 1-67.
- AZKARATE GARAI-OLAUN A. 2010, *Archeologia dell'Architettura in Spagna*, «Archeologia dell'Architettura», 15, 15-26.
- BROGIOLO 1988, *Archeologia dell'edilizia storica. Documenti e metodi*, Como, New Press.
- BROGIOLO G.P., CAGNANA A. 2012, *Archeologia dell'Architettura. Metodi e interpretazioni*, Firenze, All'Insegna del Giglio.
- BUCHSENSCHUTZ O. 2007, *Images et relevés archéologiques, de la preuve à la démonstration*, in *132^e Congrès National des Sociétés Historiques et Scientifiques (Arles 2007)*, Éditions du CTHS (édition électronique).
- CHIH-CHUNG C., CHIH-JEN L. 2011, *LIBSVM: A library for support vector machines*, «ACM Transactions on Intelligent Systems and Technology (TIST)», 2, 3, 1-27.
- 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, XXXIII*, pt. 5, 8, 139-145, Amsterdam, ISPRS.

- DRAP P., MERAD D., BOÏ J.M., SEINTURIER J., PELOSO D., REIDINGE C., VANNINI G., NUCCIOTTI M., PRUNO E. 2012, *Photogrammetry for medieval archaeology. A way to represent and analyse stratigraphy*, in *18th International Conference on Virtual Systems and Multimedia (VSMM 2012)*, *Proceedings of the Meeting (Milan, Italy 2012)*, IEEE.
- 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 F. REMONDINO, S. EL-HAKIM, L. GONZO (eds.), *Proceedings of the 3rd ISPRS, International Workshop 3D-ARCH 2009 (Trento 2009)*, *ISPRS Commission V-WG4, International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 320-328.
- FURUKAWA Y., PONCE J. 2010, *Accurate, Dense, and Robust Multiview Stereopsis*, «IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence», 32, 1362-1376.
- HARRIS E.C. 1979, *Principles of Archaeological Stratigraphy*, London, Academic Press.
- NICCOLUCCI F., TONGHINI C., VANNINI G., CRESCIOLI M. 2000, *PETRA: un sistema integrato per la gestione dei dati archeologici*, «Archeologia e Calcolatori», 11, 49-67.
- NUCCIOTTI M. 2000, *Le murature medievali di Santa Fiora (Monte Amiata - Toscana): mensio-cronologia delle murature in pietra, un caso di studio*, «Archeologia dell'Architettura», 5, 65-85.
- PRUNO E., DRAP P. 2012, *Dalla stratigrafia all'archeologia teorica: il matrix di Harris e l'archeologia del tempo*, in F. REDI, A. FORGIONE (eds.), *VI Congresso Nazionale di Archeologia Medievale (L'Aquila 2012)*, Firenze, All'Insegna del Giglio, 43-45.
- PRUNO E., NUCCIOTTI M., DRAP P. 2012, *Un système d'information 3D pour l'archéologie du bâti: Showback. Le cas de Montréal (Shawbak, Jordanie)*, in F. GILIGNY, L. COSTA, F. DJINDJIAN, P. CIEZAR, B. DESACHY (eds.), *Actes des 2^{èmes} Journées d'Informatique et Archéologie de Paris – JIAP 2010 (Paris 2010)*, «Archeologia e Calcolatori», Suppl. 3, 371-384.
- PRUNO E., SCIORTINO R. 2012, *La ceramica post-medievale a Shawbak (Giordania): impostazioni di metodo e prime acquisizioni della ricerca*, in *Atti del XLIV Convegno internazionale della ceramica. La ceramica post-medievale nel Mediterraneo. Gli indicatori cronologici. Secoli XVI-XVIII (Savona 2011)*, Albisola, Centro ligure per la storia della ceramica, 39-55.
- VANNINI G., NUCCIOTTI M. 2009, *Un problema di visibilità archeologica: territorio, analisi "leggere" e sintesi storiche*, in G. VANNINI, M. NUCCIOTTI (eds.), *Da Petra a Shawbak, Archeologia di una Frontiera*, Firenze, Giunti, 28-31.

ABSTRACT

In this paper we present an interdisciplinary project which is a work in progress towards a 3D Geographical Information System with a specific focus application on the Castle of Shawbak. The Shawbak archaeological project is a specific and integrated project between medieval archaeological research and computer vision done thanks a long-term cooperation between University of Florence and LSIS/CNRS Marseille. Focusing mainly on stratigraphical analysis of upstanding structures we conducted a survey using photogrammetry, both in a traditional way and using the most advanced techniques to obtain a dense map, and then a tool for statistical analysis. The photogrammetric survey is driven directly by archaeological data which is formalized by ontologies as a link between all the archaeological concepts which are surveyed. The 3D GIS is the last step of this chain and aims at the automatic production of 3D models through archaeological database queries: these 3D models are, in fact, a graphic image of the database and at the same time the interface through which the user is able to modify it and produce different kinds of analysis.