

## VERSO UN SISTEMA INTEGRATO DI DOCUMENTAZIONE DELL'ARTE RUPESTRE. L'ESPERIENZA AKAP (EGITTO)

### 1. INTRODUZIONE

L'applicazione di nuove tecnologie per lo studio dei beni culturali è un settore in continuo sviluppo ormai da molti anni. Sono moltissime le pubblicazioni dedicate alla sperimentazione di nuove strumentazioni, nuovi software e nuove tecniche che, provenienti per lo più dal campo dell'ingegneria civile o militare, sono impiegate in settori legati alla ricerca archeologica e in particolare alla documentazione e all'archiviazione dei dati.

Le esperienze qui descritte offrono risultati concreti ottenuti nell'ambito della documentazione e dello studio dell'arte rupestre in un'area geografica, quale è quella dell'Alto Egitto e della Nubia, particolarmente complessa. Si porrà l'attenzione soprattutto sugli aspetti tecnici e pratici della documentazione digitale, evidenziandone i pro e i contro. L'importanza dei siti indagati, fortemente minacciati dalle odierne attività dell'uomo, unitamente ai limiti imposti dalla gestione di una missione estera, ha motivato la scelta delle diverse tecniche di rilievo, così da poter intervenire rapidamente e ampliare la quantità e la qualità dei dati rilevati.

Le caratteristiche degli elementi artistico-figurativi rappresentati nei pannelli d'arte rupestre hanno indotto alla risoluzione di una serie di problematiche legate alla loro documentazione, effettuata attraverso la fotogrammetria stereoscopica. L'elemento centrale e su cui si è deciso di fare perno è quindi il dato tridimensionale, imprescindibile da questi contesti artistici e dal paesaggio in cui sono inseriti. A fronte di alcune osservazioni critiche avanzate da diversi studiosi e di cui si accennerà tra breve, va precisato che la presente proposta non si intende come un tentativo di sostituzione della documentazione tradizionale, ma, al contrario, come uno strumento di arricchimento che può offrire nuove possibilità, fornendo elementi altrimenti non implementabili. È fondamentale sottolineare il carattere non invasivo di questo tipo d'indagini: infatti, a differenza dello scavo archeologico, ad esempio, che comporta l'inevitabile distruzione dello strato, «il rilevamento dell'arte rupestre è uno dei rari aspetti dell'archeologia, dove la raccolta di documentazione non comporta una distruzione delle evidenze» (ANATI 1976).

### 2. AKAP E LA DOCUMENTAZIONE DIGITALE DELL'ARTE RUPESTRE

Dal 2005 il Progetto AKAP (Aswan-Kom Ombo Archaeological Project) condotto dall'Università di Yale e dall'Università di Bologna sta indagando

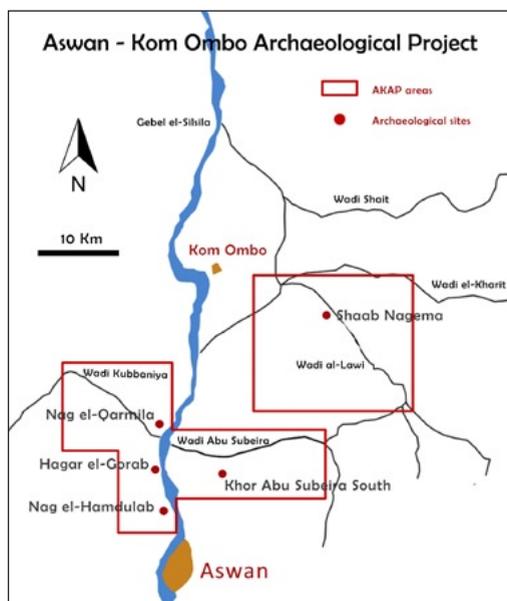


Fig. 1 – Aree in concessione all'Aswan-Kom Ombo Archaeological Project.

alcune aree selezionate nella regione tra Aswan e Kom Ombo, con l'obiettivo di ricostruire i modelli insediativi e di colmare le lacune cronologiche utili allo studio dell'interazione tra egiziani e nubiani nella loro terra di confine. In particolare, l'attenzione della missione ricade sui territori corrispondenti alla riva occidentale del Nilo, dall'area settentrionale di Qubbet el-Hawa a quella di Kubbaniya, Wadi Kubbaniya e Wadi Abu Subeira, sino al deserto a S-E di Kom Ombo (Fig. 1).

Dal punto di vista strettamente metodologico l'obiettivo principale è stato quello di creare un sistema multiscala di rilevamento, incrementando la qualità dei dati a prescindere dalla quantità, inserendo poi il tutto in un sistema informativo digitale che permettesse di gestirli in modo integrato, sfruttando tutte le informazioni ricavabili dal modello tridimensionale. L'iter metodologico è stato impostato per soddisfare appieno tre aspetti fondamentali:

- necessità di localizzare e posizionare le evidenze di arte rupestre all'interno del sistema cartografico del progetto;
- necessità di documentare il contesto geomorfologico in cui le evidenze sono presenti;
- necessità di documentare in maniera più fedele ed oggettiva possibile i soggetti raffigurati.



Fig. 2 – Immagine satellitare dell'area comprendente i siti di Nag el-Hamdulab (NH) e Khor Abu Subeira (KASS).

Quest'ultimo punto, sul quale si porrà qui una maggior attenzione, è determinante in quanto potrebbe risultare l'unico modo per conservare memoria della gran parte dei siti rupestri dell'Alto Egitto, ma soprattutto della Nubia (CURCI *et al.* 2012).

### 2.1 I siti e le loro caratteristiche

I luoghi su cui si è operato presentano caratteri geomorfologici molto dissimili anche se localizzati in un territorio apparentemente omogeneo. Essi si presentano come zone desertiche caratterizzate da rilievi rocciosi di arenaria e distese sabbiose create dall'erosione millenaria delle rocce stesse o trasportate dai venti (GATTO *et al.* 2009).

I siti sinora documentati (KASS1, NH, WAS6, SM13) sono una chiara testimonianza di questa variabilità. Per aiutare a comprendere tali differenze e il loro rapporto con le attività di rilievo, è significativo il confronto tra l'area di Khor Abu Subeira South e Nag el-Hamdulab (Fig. 2). Nel primo caso ci troviamo nei pressi di un grande canyon (o *wadi*), lungo i cui lati s'innalzano rilievi rocciosi di arenaria e caolino che si estendono per chilometri, ospitando al loro interno una moltitudine di *wadi* più piccoli (detti *khor*) di forma più irregolare e alti sino ad una trentina di metri. La situazione è molto diversa per il sito di Nag el-Hamdulab, ubicato in prossimità di un villaggio sulla riva occidentale del Nilo, dal quale prende il nome. Questa zona è priva di canyon e presenta rilievi meno elevati e più diradati (*gebel*) che circoscrivono aperte vallate in cui la sabbia prevale sulla roccia. Più in dettaglio, si riconosce una

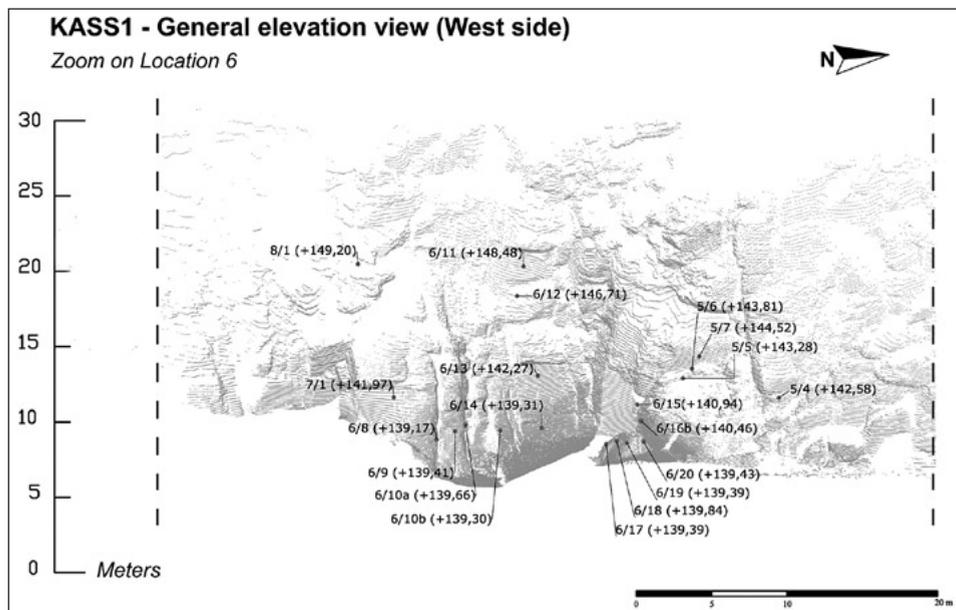


Fig. 3 – Vista frontale della Location 6 presso il KASS1. Restituzione grafica da nuvola di punti.

serie di supporti maggiormente utilizzati per queste antiche rappresentazioni: rocce che formano ripari naturali, grandi massi isolati dal resto del banco roccioso e pareti (spesso dalle superfici più regolari) rivolte verso punti facilmente riconoscibili come *gueltas* (bacini naturali) o zone di transito.

In questi siti sono state registrate solo forme d'arte rupestre di tipo “sottrattivo”, ossia create tramite asportazione di materiale dal supporto, in particolare picchiettature e incisioni (BEDNARIK *et al.* 2003). Da un punto di vista più tecnico le picchiettature compaiono in modo diversamente visibile sulla superficie rocciosa, spesso costituendo scene (o pannelli) caratterizzati da orientamenti variabili e posizioni su quote anche molto diverse tra loro. Questi caratteri topografici e dimensionali sono stati per lungo tempo un ostacolo in termini di documentazione, che riteniamo possa dirsi in gran parte superato proprio grazie ai risultati ottenibili dalle tecniche di rilievo qui descritte, come ad esempio la scansione laser (Fig. 3). La visibilità dell'arte rupestre dipende molto dalla patina formatasi (HELLSTRÖM 1970) e dall'alterazione dell'arenaria dovuta alla sua prolungata esposizione agli agenti atmosferici. Le figure si dispongono in circoscritte aree della roccia formando scene più semplici, composte da uno o due soggetti, e scene più articolate composte da gruppi figurativi che si articolano in modo più o meno sinergico e dinamico

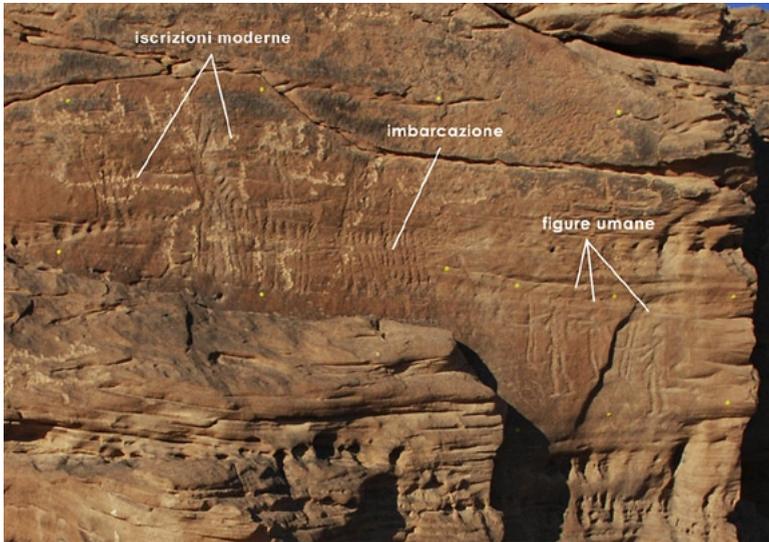


Fig. 4 – Esempio di un palinsesto di raffigurazioni dal sito NH2.

a seconda delle rappresentazioni (Fig. 4). Molti di questi pannelli infatti sono dei veri e propri palinsesti, formati da “strati” d’arte corrispondenti a periodi differenti. Tali caratteristiche sembrano ricorrere in tutti questi siti, mentre ciò che cambia notevolmente è invece il modo in cui l’arte si concentra all’interno delle varie aree (CURCI *et al.* 2012).

## 2.2 I metodi e le tecniche

La presenza di una metodologia d’indagine già ben sviluppata e riconosciuta dalla comunità scientifica ha permesso di organizzare la parte tecnica di rilievo in modo sinergico, accostandola in termini di tempi e obiettivi alle procedure di studio strettamente archeologico. Le attività di posizionamento GPS, la scansione laser a tempo di volo e la stereofotogrammetria sono state sviluppate così di pari passo alle attività di schedatura, copia a contatto e analisi interpretativa di ogni singola figura (URCIA 2010-2011; LIPPIELLO 2012). Nonostante il metodo di ricalco a contatto sia tuttora ritenuto come più idoneo al rilevamento delle figure e soprattutto delle picchiettature che le compongono, molti sono i suoi limiti (CURCI *et al.* 2012). L’applicazione di questo metodo in maniera estensiva risulta pertanto improponibile, così come improponibile sarebbe il tentativo di una ricostruzione grafica dei contesti geomorfologici utilizzando in larga scala metodi più tradizionali.

A1 = Schedatura tecnica basilare	A2 = Schedatura tematica (RAF)
B1 = Rilievo fotografico	B2 = Rilievo fotografico stereoscopico
C1 = Rilievo fotogrammetrico	C2 = Rilievo fotogrammetrico multiscala
D1 = Scansione laser 3D schematica del contesto	D2 = Scansione laser 3D dettagliata del contesto
E1 = Rilievo GNSS del sito (globale)	E2 = Rilievo GNSS del sito (corr. differenziale)
F1 = Elaborazione di documentazione progressa	F2 = Nessuna documentazione

Tab. 1 – Schema dei livelli della documentazione.

In base alla notevole estensione dell'area in concessione e alla varietà dei contesti presenti al suo interno, si è potuto stabilire un set-up operativo definito in base alla priorità e all'importanza dei contenuti di ogni sito (Tab. 1).

È possibile quindi passare da siti con una documentazione digitale di base a siti di maggiore importanza, con una documentazione completa, con ricostruzioni fotorealistiche dei pannelli, posizionati all'interno del loro contesto geomorfologico rappresentato nelle tre dimensioni, viste assonometriche, rappresentazioni bidimensionali ad alta risoluzione delle iconografie, restituzioni vettoriali dettagliate delle superfici e dei volumi e schede tematiche interattive.

Le fasi operative consistono in cinque momenti principali quali: a) ricognizione e progettazione dell'intervento, fondamentale soprattutto per valutare le caratteristiche del sito a livello di dimensioni, accessibilità e contenuti; b) acquisizione e registrazione dei dati archeologici, metrici e fotografici, per i quali assumono una notevole importanza le tempistiche operative e le condizioni di illuminazione; c) elaborazione dei dati, ossia tutte le operazioni sul formato digitale; d) restituzioni grafiche, molto importanti per la comunicazione dei dati archeologici e iconografici; e) interpretazione ed edizione dei dati, oggi possibile anche direttamente in 3D attraverso i nuovi formati PDF interattivi.

### 3. IL RILIEVO TRIDIMENSIONALE DEI CONTESTI GEOMORFOLOGICI

La morfologia dei siti d'arte rupestre in studio è caratterizzata da forti componenti tridimensionali e, in certi casi, da estensioni che raggiungono anche diversi ettari. Il rilievo di questi contesti è avvenuto pertanto in due modi diversi: attraverso la scansione laser operata attraverso una stazione

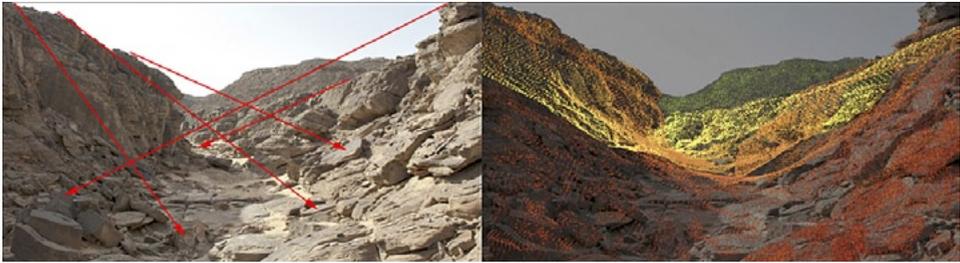


Fig. 5 – Vista dall'interno del sito KASS1 con overlap della scansione effettuata con la Topcon Imaging Station.

totale motorizzata (Imaging Station della Topcon) e tramite rilievo stereofotogrammetrico, effettuato con una fotocamera reflex Canon 500D. Ogni sito è stato suddiviso in settori, sui quali si è ragionato in base alla conformazione e ai contenuti, per definire la giusta scala di dettaglio e quindi il giusto passo di scansione da usare per rilevare ogni elemento al loro interno. La risoluzione utilizzata varia in media da un massimo di 3 cm, per le aree di maggior interesse, a 1 m per le zone più marginali in cui non è necessario il dettaglio. Sono state così effettuate scansioni sequenziali da una serie di punti di ripresa definiti durante la fase preliminare; sono risultate molto vantaggiose, in termini di qualità della nuvola di punti, posizioni sopraelevate rispetto al soggetto (ALYILMAZ *et al.* 2010), com'è avvenuto nel caso di KASS1 (Fig. 5). Con l'Image Master Pro, il software abbinato all'Imaging Station, si sono allineate le varie nuvole tramite collimazione dei vertici delle poligoni materializzati precedentemente a terra.

Queste trasformazioni delle coordinate (roto-traslazione e dimensionamento) hanno permesso di ottenere una ricostruzione virtuale delle aree in esame. Si è valutato poi, a seconda delle esigenze, dove calcolare DEM o DTM così da poter avere modelli vettoriali esportabili in formati condivisibili e quindi leggibili da altri software. Questo passaggio è necessario, ad esempio, qualora si vogliano effettuare layout di stampa o calcolare graficamente curve di livello (Fig. 6). A partire dalle nuvole di punti, per quanto siano formati ancora difficilmente gestibili al di fuori di ambienti operativi proprietari, si possono effettuare diverse indagini, tra cui misurare sulle tre dimensioni, estrarre valori e grandezze, effettuare osservazioni del modello attraverso visualizzazioni prospettiche o restituzioni metriche fotorealistiche o in falsi colori (Fig. 7, Tav. X, c). La seconda modalità di rilievo, descritta più in dettaglio al successivo paragrafo, è stata utilizzata per contesti di dimensione più ridotta, come nel caso del pannello NH7, lungo una ventina di metri (Fig. 8). Ogni superficie da rilevare, analogamente al caso precedente, è stata suddivisa in diverse sezioni, seguendo principalmente l'inclinazione

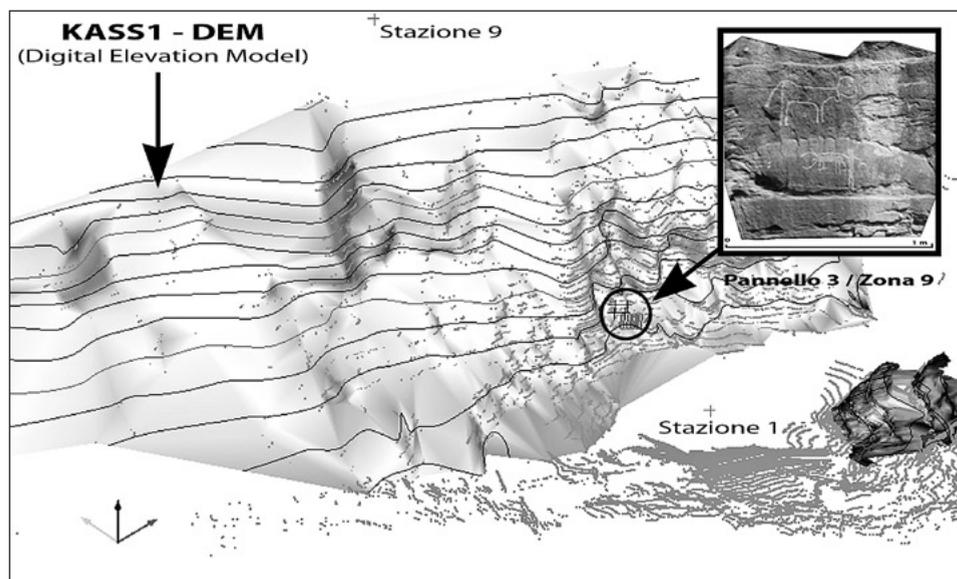


Fig. 6 – Vista prospettica di una parte del *khor* ricostruito attraverso un modello digitale di elevazione (DEM), con curve di livello e collocazione di un pannello d’arte rupestre.

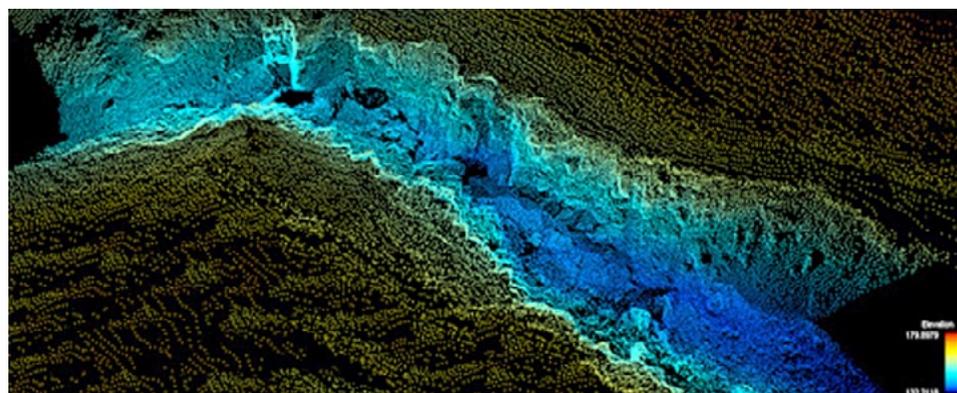


Fig. 7 – Vista prospettica generale di tutto il sito KASS1, restituito attraverso visione radiometrica in falsi colori della nuvola di punti.

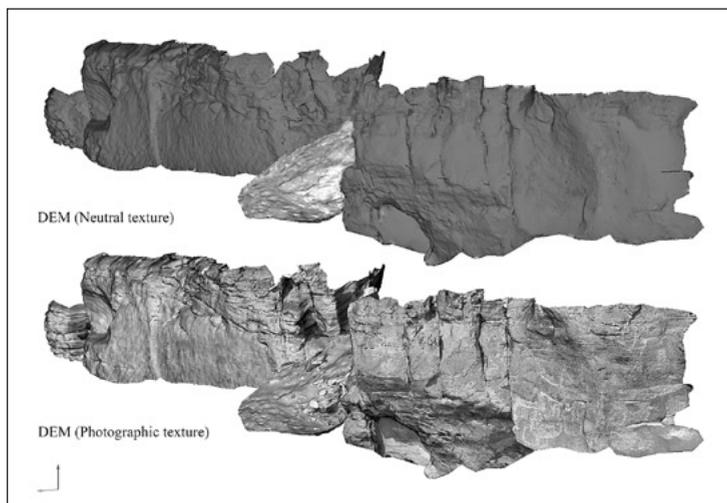


Fig. 8 – Vista della parete contenente le raffigurazioni del sito NH7, ricostruita attraverso fotomodellazione utilizzando il software Image Master Pro.

dei piani presenti e quindi effettuando una sorta di schematizzazione della morfologia (FIORINI 2010). Questo studio preliminare dei soggetti è stato molto importante in quanto ha reso notevolmente più agili le operazioni di ripresa effettuate, quando possibile, dalla stessa distanza.

Si sono quindi scattate le fotografie cercando di ottenere una copertura integrale della superficie e una sovrapposizione minima del 60% per ciascuna stereocoppia (MATTHEWS 2008). Si sono ottenuti così i modelli tridimensionali di ogni sezione tramite fotomodellazione, utilizzando l'Image Master Pro, che ha permesso inoltre di restituire allo stesso tempo le texture fotorealistiche. L'obiettivo del procedimento appena descritto non è quindi quello di riprodurre il "particolare", ma quello di ottenere restituzioni 3D più fedeli per le aree ritenute di maggiore interesse. Questi modelli, più leggeri e gestibili, fungeranno, assieme a quelli ricavati dalla nuvola di punti, come base d'appoggio su cui effettuare macroanalisi e altre osservazioni.

#### 4. IL RILIEVO STEREOFOTOGRAMMETRICO DELL'ARTE RUPESTRE

L'utilizzo delle medesime tecniche fotogrammetriche accennate nel paragrafo precedente ha consentito di ottenere un tipo di documentazione con finalità differenti. Mentre per il rilievo dei contesti geomorfologici non sono state necessarie immagini ad alta risoluzione e scale di rappresentazione molto dettagliate, questi elementi vengono qui ad assumere un'importanza primaria.

La fotografia in questo caso ha assunto un ruolo preponderante, sia come strumento alla base del rilievo, sia come elemento informativo dal quale poter estrarre informazioni non solo di tipo quantitativo, ma anche qualitativo. A tal proposito è da sottolineare l'utilità effettiva della documentazione stereografica prodotta, in quanto contemporaneamente utilizzabile come materiale fotografico d'archivio, gestibile ad esempio attraverso un database relazionale (per un esempio sull'arte rupestre della Val Camonica cfr. <http://www.voli.bs.it/ir-incisionirupestri/> e <http://www.irweb.it/>).

Le esigenze e le necessità degli esperti di arte rupestre hanno permesso di impostare un set-up di lavoro mirato in primis alla documentazione dei caratteri archeologici più determinanti, come ad esempio il pecking, ossia le picchiettature che compongono i soggetti figurativi nella roccia. Si è prestata quindi particolare attenzione alla ripresa e alla qualità fotografica, nonché all'accuratezza dei rilievi. Per effettuare gli scatti stereoscopici si è utilizzata una reflex digitale Canon 500D con sensore CMOS da 15,3 Megapixel, precedentemente calibrata utilizzando Camera Calibration Grid, software fornito con Image Master Pro. Grazie al certificato di calibrazione prodotto, si sono ottenuti risultati più che soddisfacenti nonostante l'obiettivo grandangolare 18-200 mm in dotazione, soprattutto durante la fase di bundle adjustment. Ciò è risultato vantaggioso ad esempio vista la frequente impossibilità di poter utilizzare stativi o bracci basculanti, a causa delle posizioni spesso sfavorevoli delle evidenze dell'arte rupestre rispetto al piano dell'operatore. Per ridurre il più possibile il rumore dato dai movimenti, si sono effettuati gli scatti utilizzando un controllo remoto, cercando inoltre di mantenere il punto di ripresa più costante e vicino possibile al soggetto (40-60 cm circa). Sebbene siano diverse le tecniche di ripresa per realizzare scatti stereoscopici (FIORINI 2008), si è preferito in questi casi utilizzare un metodo adattivo rispetto a modalità di scatto sequenziali, più veloci ma più adatte a superfici regolari o prive di repentini cambi di piano (Fig. 9).

Per ogni inquadratura sono stati posizionati un minimo di quattro target in pasta da modellare tipo Play-Doh, precedentemente applicati sulla superficie rocciosa. La loro numerazione e documentazione è avvenuta attraverso un'apposita scheda denominata PSF (Photogrammetric Survey Form) (Fig. 10), compilata in formato cartaceo o direttamente in digitale utilizzando un tablet PC. I target sono stati poi misurati con la stazione totale, ottenendo le loro coordinate relative calcolate nello spazio 3D di riferimento e utilizzate nella fase di processing per definire l'orientamento assoluto e il dimensionamento dei TIN calcolati dal software (Fig. 11). Queste maglie di triangoli, elaborate a risoluzioni variabili dai 3 ai 10 mm, corrispondono all'eidotipo di ogni porzione di superficie rilevata. Ogni modello prodotto con questa tecnica è al tempo stesso una banca dati del reperto rilevato, facilmente archiviabile e aggiornabile, dalla quale è possibile estrarre all'occorrenza una serie di do-

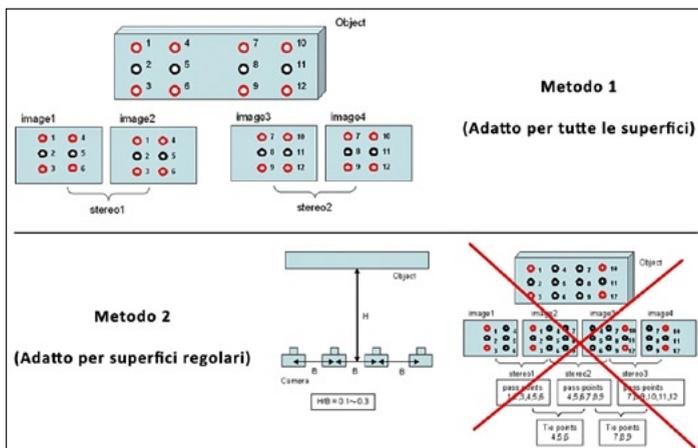


Fig. 9 – Schemi di ripresa per rilevare un soggetto attraverso scatti stereoscopici (esempio tratto dal manuale del software Image Master Pro).

PSF FORM (Photogrammetric Survey Form) University of Bologna			
Site (ID)		Date	Recorder
KAPC 1		23 / 06 / 2010	A.U.
Locality (ID)	Panel (ID)	Figure (ID)	Pictures number
5	6	/	8345 + 8362, 8363 + 8418 - 8464
NOTES (Surface orientation and 3D position)			Photo OrthoImage 3D model
Sketch with PAF			FILE NAME PAL00_k
			Station name ST 3 bis
			h. Station 1,533
			OR point ST 3
			Stations ST 3 ST 2 ST 7

Fig. 10 – Esempio di scheda PSF (Photogrammetric Survey Form).

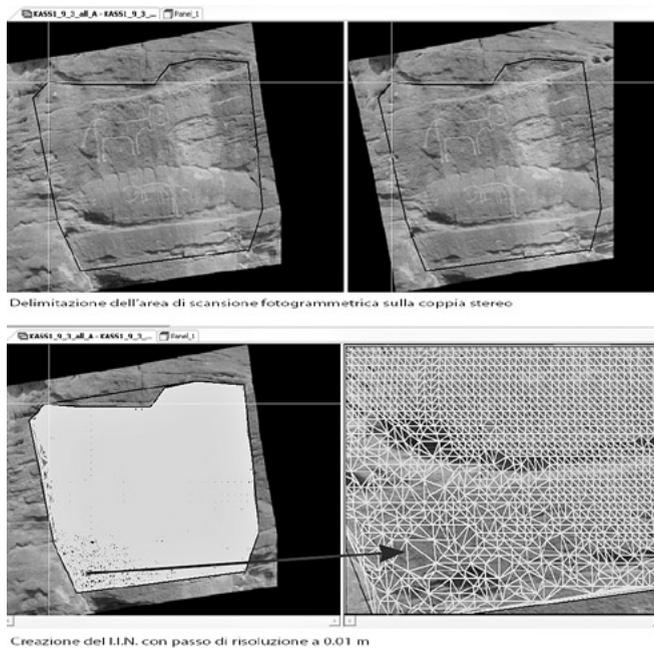


Fig. 11 – Calcolo del TIN nella modalità “stereoscopia” dell’Image Master Pro.

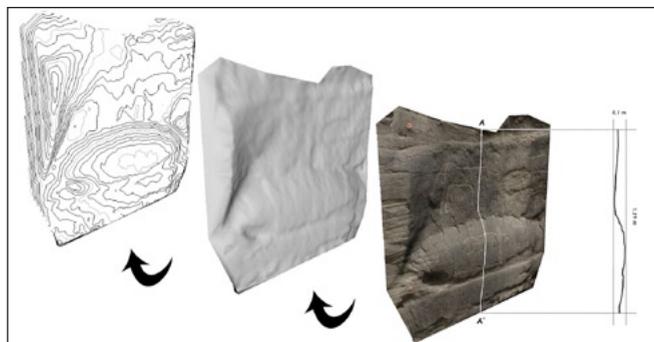


Fig. 12 – Dal modello 3D testurizzato alle restituzioni grafiche vettoriali (DEM, curve di livello, sezioni).

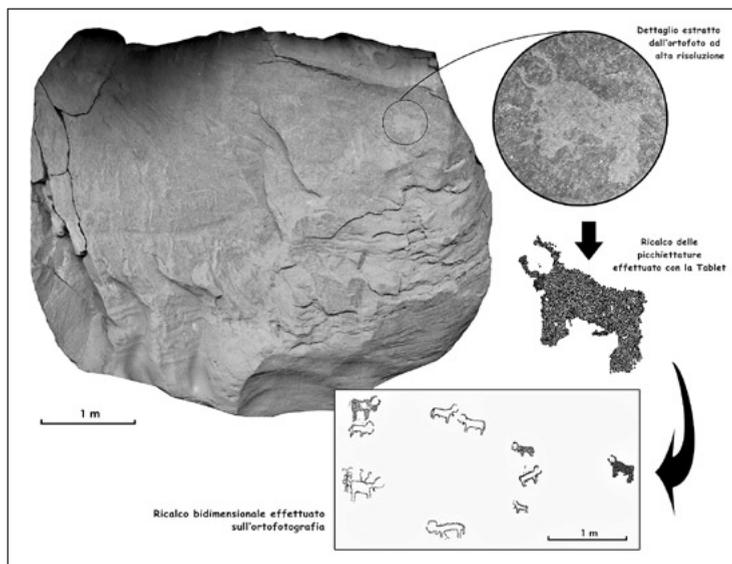


Fig. 13 – Esempio di ricalco digitale effettuato su ortofotografia (KASS1, Location 7, Pannello 1).

cumenti digitali tra i quali le ortoimmagini, le sezioni, le curve di livello (Fig. 12), le viste planimetriche e assonometriche.

Per tornare alla premessa iniziale sull'utilizzo di queste tecniche mirato allo studio specifico dell'arte rupestre, può essere interessante descrivere il ruolo che le ortoimmagini hanno avuto al fine di raggiungere risultati analoghi a quelli ottenibili tramite copia a contatto sull'originale. Nell'esempio relativo al pannello 7.1 del sito KASS1 (Fig. 13), si può verificare come la tecnica di fotomodellazione qui proposta possa costituire una valida alternativa laddove non sia possibile effettuare il ricalco diretto (CURCI *et al.* 2012). Attraverso l'utilizzo di un tablet per disegno grafico collegato al computer, sono state ridisegnate sull'ortofotografia tutte le figure appartenenti alla scena, poi vettorializzate per poter essere importate in altri software con cui effettuare le analisi. Il risultato è una tavola interamente prodotta in laboratorio, che ha permesso di considerare molti caratteri del pannello d'arte in modo pressoché analogo a quanto avviene tramite le operazioni di ricalco *in situ*, come ad esempio la posizione e la dimensione di ogni singola picchiettatura costituente i soggetti zoomorfi.

ANTONIO CURCI, ALBERTO URCIA  
Dipartimento di Archeologia  
Alma Mater Studiorum Università di Bologna

## BIBLIOGRAFIA

- ANATI E. 1976, *Metodi di rilevamento ed analisi dell'arte rupestre*, «Studi Camuni», 7, Brescia.
- BEDNARIK R., MUZZOLINI A., SEGLIE D., SHER Y., CONSENS M. 2003, *Rock Art Glossary: A Multilingual Dictionary*, Turnhout, Brepols.
- CURCI A., URCIA A., LIPPIELLO L., GATTO M.C. 2012, *Using digital technologies to document rock art in the Aswan-Kom Ombo region (Egypt)*, «Sahara Journal», 23, 75-86.
- FIORINI A. 2010, *La documentazione tridimensionale dello scavo archeologico nell'abitato dell'età del bronzo di Mursia, Pantelleria (TP)*, «Ipotesi di Preistoria», 3, 2, 1-14.
- GATTO M.C., CURCI A. 2010, *Ricerche archeologiche nella regione tra Assuan e Kom Ombo. Rapporto sulle missioni 2008/2009 e 2010*, in R. PIRELLI (ed.), *R.I.S.E. Ricerche Italiane e Scavi in Egitto*, IV, Il Cairo, 163-176.
- GATTO M.C., DARNELL J. C., DE DAPPER M., GALLORINI C., GERISCH R., GIULIANI S., HART E., HENDRICKX S., HERBICH T., JORIS H., KLOSE I., MANASSA C. M., MARÉE M., NORDSTROM H. A., PITRE M., PYKE G., RAUE D., ROMA S., ROSE P., SWIECH D., USAI D. 2009, *Archaeological Investigation in the Aswan-Kom Ombo region (2007-2008)*, «Mitteilungen des Deutschen Archäologischen Instituts, Abteilung Kairo», 65, 9-47.
- HELLSTRÖM P. 1970, *The Rock Drawings. The Scandinavian Joint Expedition to Sudanese Nubia I-II*, Stockholm, Scandinavian University Books.
- LIPPIELLO L.E. 2012, *The Landscapes of Ancient Egyptian Religion: Rock Art as Indicator for Formal Ritual Spaces during the Formative Stage of the Egyptian State*, PhD Thesis, Near Eastern Department and Civilization, Yale University.
- MATTHEWS N.A. 2008, *Aerial and Close-Range Photogrammetric Technology: Providing Resource Documentation Interpretation and Preservation*, Technical Note 428. US Department of Interior, Bureau of Land Management, National Operation Center Denver, Colorado.
- URCIA A. 2010-2012, *Tecniche di rilievo e documentazione tridimensionale per lo studio dell'arte rupestre. Esperienze e applicazioni all'interno dell'Aswan Kom Ombo Archaeological Project (Egitto)*, Tesi di Laurea Magistrale, Facoltà di Conservazione dei Beni Culturali, Università degli Studi di Bologna, a.a. 2010-2011.

## ABSTRACT

Since 2005 the Aswan-Kom Ombo Archaeological Project (AKAP), managed by Yale and Bologna Universities, has investigated a number of selected areas in the region between Aswan and Kom Ombo. Many of the rock art sites identified within the concession areas are under threat, due to the impact of modern human activities. Three-dimensional technologies, such as digital surveying, laser scanning and photogrammetry, were used for the first time in the Egyptian Nile Valley in order to obtain a highly detailed image of the rock art and its environmental setting. The aim of the project is to improve data recording and analysis while saving economic resources and reducing time in the fieldwork.