

TECNICHE DI FOTOMODELLAZIONE PER LA DOCUMENTAZIONE E LA COMUNICAZIONE IN ARCHEOLOGIA: IL SITO DI CALICANTONE (RG)

1. FOTOMODELLAZIONE E RILIEVO ARCHEOLOGICO

Il rilievo in campo archeologico ha subito, negli ultimi vent'anni, grandi cambiamenti legati al progresso tecnologico e al crescente interesse della comunità scientifica per le tecniche di acquisizione dati 3D. Basate su sensori attivi (laser scanner, *range-based modeling*), esse sono ormai diventate una prassi consolidata nella documentazione architettonica ed archeologica e le loro fasi di acquisizione metrica e di post-processamento dei dati sono ben formalizzate (SANTAGATI, INZERILLO, DI PAOLA 2013). Tra i sistemi basati su sensori passivi troviamo, invece, la fotogrammetria, da più tempo e più largamente utilizzata per la precisione e l'affidabilità dei risultati, e la recente computer vision (HARTLEYV, ZISSERMAN 2004; REMONDINO, EL-HAKIM 2006; SANTAGATI, D'AGOSTINO, GALIZIA 2013) che, a differenza della fotogrammetria, si basa su un processo di restituzione 3D da immagini, interamente, o quasi, automatizzato.

La fotomodellazione, impiegata in archeologia già un decennio fa in alcuni progetti pilota (BANDIERA, BERALDIN, GAIANI 2011), è una tecnica che, a partire da coppie, triplette o sequenze di fotografie digitali, consente la creazione di modelli tridimensionali metrici semplificati (*dense stereo matching*), con apparenza fotorealistica. Si tratta di una tecnica in via di evoluzione, che in ambito archeologico o, più in generale, nel contesto dei beni culturali, sta sviluppando l'ambizione di affiancare gli altri sistemi di acquisizione dati 3D già citati, e cioè la fotogrammetria o il laser scanning.

L'uso sempre più intensivo di questa nuova generazione di tecnologie necessita dell'individuazione di "best practices" per la definizione di standard durante le fasi di acquisizione e, soprattutto, di post-processamento dei dati digitali 3D, in linea anche con i principi della Carta di Siviglia¹, attuazione della Carta di Londra nel campo dell'archeologia virtuale, ufficialmente approvata nel corso del "III Congresso Internazionale Archeologica 2.0", tenutosi a Siviglia.

Questo lavoro si propone come contributo all'attuale dibattito sulla sperimentazione e l'integrazione tra tecnologie digitali più recenti e tradizio-

¹ Principio 1: interdisciplinarietà; 2: scopo; 3: complementarità; 4: autenticità; 5: rigore storico; 6: efficienza; 7: trasparenza scientifica; 8: formazione e valutazione (<http://www.arqueologiavirtual.com/carta/>).

nali nel campo del rilevamento, sui limiti e le potenzialità della modellazione 3D da immagini, e sull'utilizzo di quest'ultima quale strumento applicativo nell'indagine storica di un bene o di un sito. Tenendo conto di queste esigenze e con questi obiettivi, grazie alla collaborazione tra i Dipartimenti di Scienze Umanistiche e di Ingegneria Civile e Architettura dell'Università di Catania, abbiamo avviato un'esperienza di fotomodellazione, sul doppio versante della documentazione scientifica e della comunicazione.

F.B., G.D.

2. IL SITO DI CALICANTONE

2.1 *Le indagini 2012-2013*

Il sito di Calicantone è ubicato presso la cd. Cava Ispica, una profonda e lunga vallata di origine carsica che si estende nei territori dei Comuni di Modica, Rosolini e Ispica, ben nota per la ricchezza della documentazione archeologica di età preistorica, tardoantica e medievale. Sono conservate soprattutto strutture ipogee, sia funerarie sia abitative, scaglionate lungo i 13 km di estensione della gola (RIZZONE, SAMMITO 2010).

L'area di contrada Calicantone era già nota in letteratura per l'importanza della sua necropoli, di cui si conoscevano ca. 80 tombe a grotticella artificiale datate al Bronzo Antico siciliano (*facies* di Castelluccio), oltre ad evidenze di superficie relative forse all'abitato (PICONE 1975, 2006; RIZZONE-SAMMITO 1999, 48; 2002; 2010, 49-64). Il sito oggetto dell'indagine è ubicato allo sbocco della Cava Lavinaro su Cava d'Ispica (Fig. 1), ed è costituito da un pianoro situato a 362 m s.l.m., in cui è stata individuata l'area di un villaggio, e da un sistema di balze sul quale invece si estende la necropoli che digrada verso il fondovalle a 292 m s.l.m.

La consistenza dell'evidenza archeologica ha suggerito l'avvio (2012) di un progetto di indagine in collaborazione tra il Parco archeologico di Cava Ispica e l'Università di Catania (Dipartimento di Scienze Umanistiche), proseguita anche dopo l'attribuzione dell'area, nel 2013, alla Soprintendenza ai Beni Culturali di Ragusa. Il progetto si propone come obiettivo specificamente archeologico la ricostruzione del sistema sociale, economico e simbolico di un abitato dell'età del Bronzo siciliano, attraverso un approccio globale nel quale la ricostruzione del paesaggio costituisce un elemento portante.

Le campagne di scavo effettuate nel 2012 e 2013 sono state rivolte alla realizzazione di una cartografia informatizzata e di un censimento completo delle tombe visibili, nonché all'avvio di un rilievo sistematico che ha comportato, in alcuni casi, uno scavo delle sepolture stesse. Contemporaneamente si è proceduto ad una ricognizione della probabile area dell'abitato, in gran parte occupata, tuttavia, da abitazioni moderne.



Fig. 1 – Cava d'Ispica, sito di Calicantone (ortofoto, sez. 648150, contrada Scorsone).

Il censimento della necropoli ha portato a 91 il numero di tombe note, disposte in un'area di m 100 E-W per m 200 N-S, da quota m 358 s.l.m. Le tombe sono raggruppate in almeno 14 gruppi (da 2-3 a 11 tombe ciascuno), corrispondenti alle diverse balze rocciose, collegate da percorsi interni e scalini intagliati nella roccia, di cui rimangono ampie tracce.

Le tipologie tombali (OCCHIPINTI 2013) appartengono al tipo a grotticella artificiale con camera singola o preceduta da un'anticella, entrambe a

pianta prevalentemente circolare. L'interno delle tombe è generalmente privo di accessori particolari, e solo 4 hanno banchine o nicchie. Più elaborate invece le facciate, con padiglione a pianta ellittica o semicircolare (52%). Una tomba appartiene al tipo, raro in Sicilia, con pilastri (RIZZONE, SAMMITO 2002, 139-140, tav. III.1), due tombe presentano lesene, sei hanno un ingresso con margini rilevati e quattro con cornici. Una prima analisi della distribuzione spaziale mostra una concentrazione delle tombe con facciata più elaborata nelle balze più accessibili e centrali, come la tomba a pilastri, posta al centro della necropoli, in posizione scenografica dominante.

P.M.

2.2 I reperti

La maggior parte delle tombe risulta violata già in antico, molte presentano tuttavia un riempimento che in alcuni casi ha preservato i livelli di deposizione originari. Sono state esplorate sistematicamente 19 tombe, alcune delle quali (in particolare le tombe 69, 70 e 25) hanno restituito livelli preistorici ancora intatti, con i relativi reperti osteologici e ceramici. La tomba 70 ha consentito di individuare un originario livello di sepoltura, obliterato da un pavimento in terra battuta su cui doveva disporsi un secondo livello di sepolture, saccheggiate.

I reperti recuperati consentono di precisare la collocazione cronologica tra un momento medio (boccaletto monoansato, bicchieri a clessidra) ed uno finale (tazza carenata, tazza troncoconica) della *facies* di Castelluccio, grazie ai confronti con materiali iblei ed etnei e alla seriazione proposta da M. Cultraro (CULTRARO 1996). Un possibile prolungamento nella fase del Bronzo Medio siciliano potrebbe essere suggerito dal recupero di frammenti di ceramiche di Thapsos nel riempimento di alcune sepolture oltre che, indirettamente, dalla scarsa frequenza dei coltelli litici, tipici dei corredi del Castellucciano. Anche le caratteristiche elaborate delle architetture spingono verso una datazione bassa, ponendo il problema di un eventuale attardamento della tradizione castellucciana dell'area iblea ancora nella *facies* di Thapsos. Tali ipotesi attendono comunque conferma dai risultati delle datazioni al C14 dei reperti ossei. Questi ultimi, riconducibili ad oltre 40 individui (SIRUGO c.s.), sono stati rinvenuti all'interno di 7 delle 21 tombe finora scavate (tomba 69: 13 inumati; tombe 25 e 70: almeno 8 individui; tomba 86: 4 inumati) e soggetti ad analisi paleo nutrizionali che hanno evidenziato un'alimentazione legata principalmente al consumo di carne rossa.

Le indagini sul pianoro hanno infine portato ad individuare una struttura muraria a grossi blocchi, che si segue per oltre 6 m, forse tratto di un muro di recinzione, connessa, ad E, con uno strato di distruzione caratterizzato da uno spesso accumulo di argilla rossiccia, resti di grandi contenitori disposti in serie (se ne contano almeno 3), una grande lastra litica in posizione di scivo-

lamento, un corno fittile e un ricco corredo ceramico, oltre che da frammenti di ossa. La natura della struttura non è ancora ben chiara e la sua completa indagine costituirà l'obiettivo della campagna del 2014.

A.M.S.

3. PIANIFICAZIONE DELLA METODOLOGIA DI DOCUMENTAZIONE GRAFICA

L'eccezionale impatto paesistico del sito (Fig. 2) ha incoraggiato fin dall'inizio della ricerca obiettivi di comunicazione e divulgazione dei risultati scientifici. Ciò in accordo anche con le indicazioni della Direzione Generale per l'Innovazione Tecnologica e la Promozione del Ministero dei Beni e delle Attività Culturali «al fine di produrre benefici positivi sul sistema del patrimonio archeologico delle aree coinvolte» (CONTICELLO 2007, 6).

Anche dal punto di vista della metodologia della ricerca archeologica, è stato recentemente sottolineato come oggi essa debba essere progettata «tenendo conto, già in partenza, delle sue applicazioni finali, vale a dire la comunicazione e la narrazione degli oggetti, dei monumenti e dei luoghi ...» (CAMBI 2009, 356). Questi formano per l'archeologia «una triade inscindibile: quando l'unità viene spezzata insorgono sofferenza, stress e noia (nell'utente



Fig. 2 – Cava d'Ispica da Calicantone: veduta generale (foto S. Balistri).

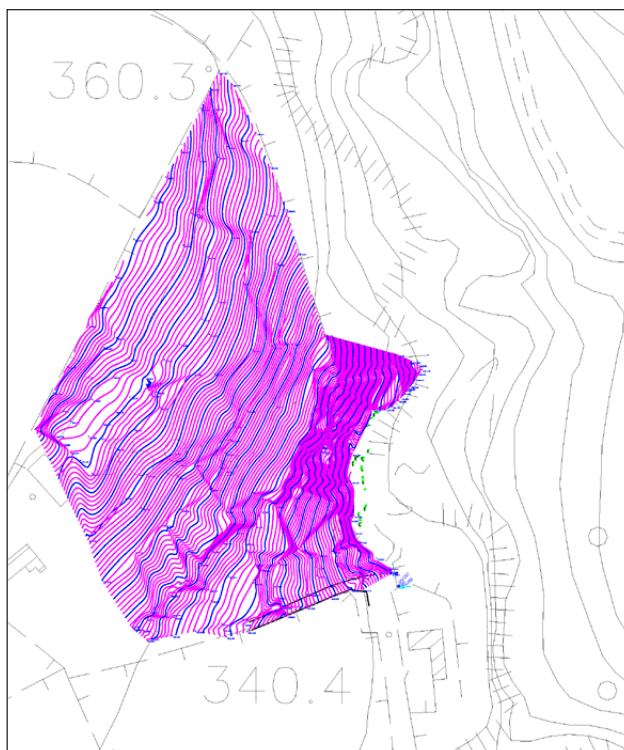


Fig. 3 – Appoggio topografico con curve a 1 m, su base CTR (elab. da rilievo di A. La Cognata).

e nel visitatore)» (FORTE 2006, 23-40). E ancora: «se la sintassi conoscenza/ricerca-comunicazione è frammentata o si va ad evolvere su percorsi paralleli, perdiamo inevitabilmente informazione per la strada e, soprattutto non abbiamo un rilevante impatto sociale della ricerca» (FORTE 2006, 23).

Sulla base di queste premesse, ma tenendo distinti il piano della narrazione da quello della documentazione archeologica, abbiamo voluto testare a Calicantone l'uso della fotomodellazione sia come strumento ricostruttivo, per la creazione di modelli 3D di alcune fra le sepolture indagate, sia come strumento d'indagine per la creazione di ortofotopiani della trincea di scavo e sezioni delle tombe stesse. Ciò ai fini non solo di confrontarci con un pregiudizio diffuso sul mondo tridimensionale (FORTE 2006, 24), ma, soprattutto, di esplorare le potenzialità di questa tecnica quale strumento di rilevamento basato sul *close range multi images* (GUERRA 2012, 18), nella direzione di quella che è stata riconosciuta quale sfida delle tecnologie digitali, cioè «l'integrazione

delle ontologie di dati in un unico processo: acquisizione digitale, elaborazione digitale, comunicazione digitale (on-line e off-line)» (FORTE 2006, 27).

Impostare la metodologia di documentazione grafica del sito ha, dunque, comportato una riflessione globale su un sistema coerente e complesso, formato da componenti diversificate: dal costruito all'architettura in negativo, dalla rappresentazione in piano della trincea di scavo a quella in alzato del fronte roccioso in cui si aprono le sepolture.

Sono state, perciò, utilizzate in maniera integrata diverse tecniche di rilevamento. Dal punto di vista metodologico e operativo, infatti, si sono prospettati tre livelli di intervento per la documentazione: quello di dettaglio delle singole tombe indagate e della trincea di scavo, quello topografico ai fini della messa in sistema delle informazioni, e quello della computer vision ai fini anche della disseminazione.

Nel caso delle tombe, per il livello di dettaglio, la documentazione sistematica è stata realizzata utilizzando un sistema di rilevamento diretto tradizionale, anche per via dell'estrema angustia degli spazi praticabili; i rilievi sono stati successivamente digitalizzati in ambiente CAD.

Il livello topografico ha presentato alcune difficoltà iniziali per via dell'assenza di cartografia di base a basso denominatore; ben nota lacuna che sovente affligge l'archeologo nelle ricerche in aree extraurbane, tanto più decisiva nel caso di architetture in negativo, intrinsecamente legate alla geomorfologia dei contesti. Poiché l'unica base disponibile era la Carta Tecnica Regionale (1:10.000) è stato, infatti, predisposto un appoggio topografico attraverso l'utilizzo di un GPS Topcon FC 200 in modalità statica rapida e cinematica (CAMPANA, FRANCOVICH 2006, 18). Le battute di aggancio delle singole sepolture al rilievo topografico sono state effettuate con una stazione integrata Topcon GPT 1004. A partire da questi dati e attraverso il software topografico Meridiana, è stata, così, realizzata una base cartografica con diversi passi, di cui il minore con curve a 1 m, nella prospettiva dell'elaborazione di un Modello Digitale del Terreno e di una carta archeologica del sito (Fig. 3).

Infine, è stato affrontato il terzo livello di documentazione di quest'ultimo, quello della computer vision che, come anticipato, ha previsto l'utilizzo di tecniche di fotomodellazione.

F.B.

4. IMAGE-BASED MODELING

La metodologia operativa ha riguardato due momenti fondamentali:

- L'acquisizione dei dati sul campo, che consiste nella ripresa fotografica, tramite tecnologia a sensori passivi;
- L'estrazione ed il filtraggio dei dati acquisiti ed il loro successivo post-processamento, attraverso l'utilizzo di più software dedicati liberi.

Si è ritenuto opportuno suddividere i momenti di acquisizione dati sul campo ed il successivo post-processamento in ulteriori fasi applicative di seguito riportate. Queste sono ad oggi in fase di standardizzazione per quanto riguarda l'acquisizione sul campo; lo stesso non si può ancora affermare per le fasi di post-processamento, in quanto non esistono ancora protocolli standardizzati e procedure univoche riguardanti l'intero processo.

Le fasi applicative seguite sono così sintetizzabili:

Acquisizione dati sul campo:

- Sopralluogo investigativo del sito;
- Scelta delle metodologie e tecnologie più appropriate;
- Pianificazione del progetto di ripresa;
- Acquisizione dei dati metrici e fotografici.

Post-processamento del dato acquisito:

- Filtraggio dei dati;
- Elaborazione;
- *Image-based modeling*, ovvero passaggio al modello poligonale texturizzato, attraverso l'utilizzo di immagini;
- Editing: restituzione di grafici bidimensionali tradizionali, quali piante, prospetti, sezioni, ricavati dal modello 3D; misurazione di grandezze dimensionali ed estrapolazione di viste prospettiche e/o assonometriche;
- Interpretazione e divulgazione dei dati;
- Possibile esportazione del modello in ambiente di modellazione 3D per la creazione di fotopiani, video ed animazioni virtuali realistiche, finalizzate, per esempio, alla visualizzazione su web (affrontando le problematiche della definizione dei diversi livelli di dettaglio).

4.1 Progetto di ripresa ed acquisizione dati sul campo

L'acquisizione delle sequenze fotografiche sul campo è risultata talora difficoltosa e fortemente dipendente dall'orografia e dalle condizioni di illuminazione. Le sepolture indagate, infatti, si trovano su un fronte roccioso difficilmente accessibile, con aree frontali il più delle volte limitate, le quali riducono gli spazi di stazionamento. Analoghi impedimenti hanno riguardato le anguste camere di deposizione. L'esperienza di Calicantone ha costituito, pertanto, una delle prime applicazioni di fotomodellazione in ambienti interni di dimensioni molto ridotte, il cui esito, in questa prima fase di ricerca, può considerarsi soddisfacente, avendo consentito alcune ricostruzioni parziali. Ad esempio, la ricostruzione della superficie interna della tomba 69 (Fig. 4) ha permesso l'estrazione di profili orizzontali e verticali (Fig. 5).

Le attività di acquisizione fotografica hanno contemplato un preliminare progetto di ripresa che tenesse conto dei fattori operativi ed ambientali che

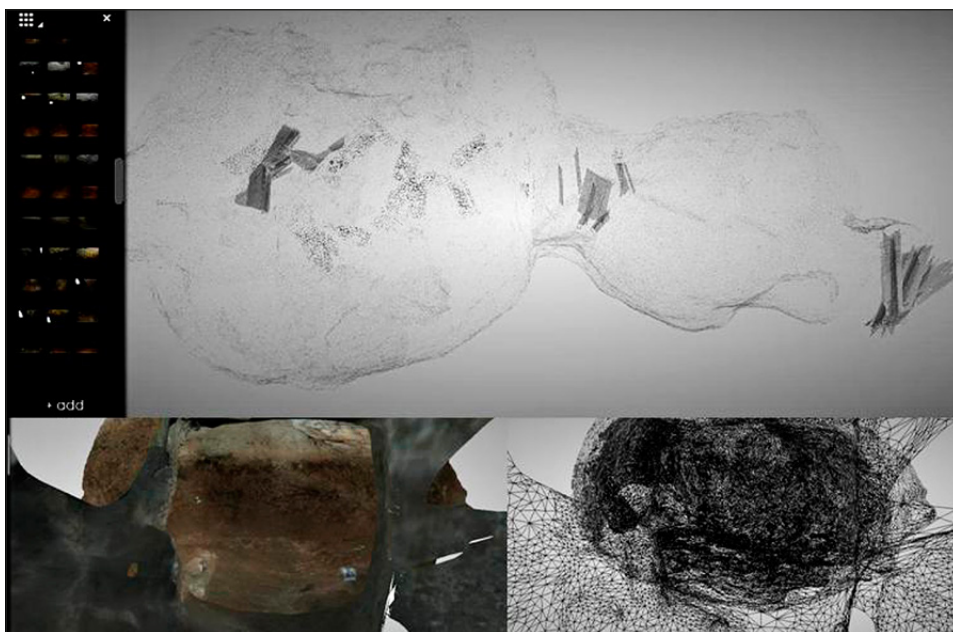


Fig. 4 – Calicantone, Tomba 69. Sequenza fotografica per l'acquisizione interna. Ricostruzione mesh in visualizzazione texture. Ricostruzione mesh in visualizzazione wireframe (ReCap Photo).

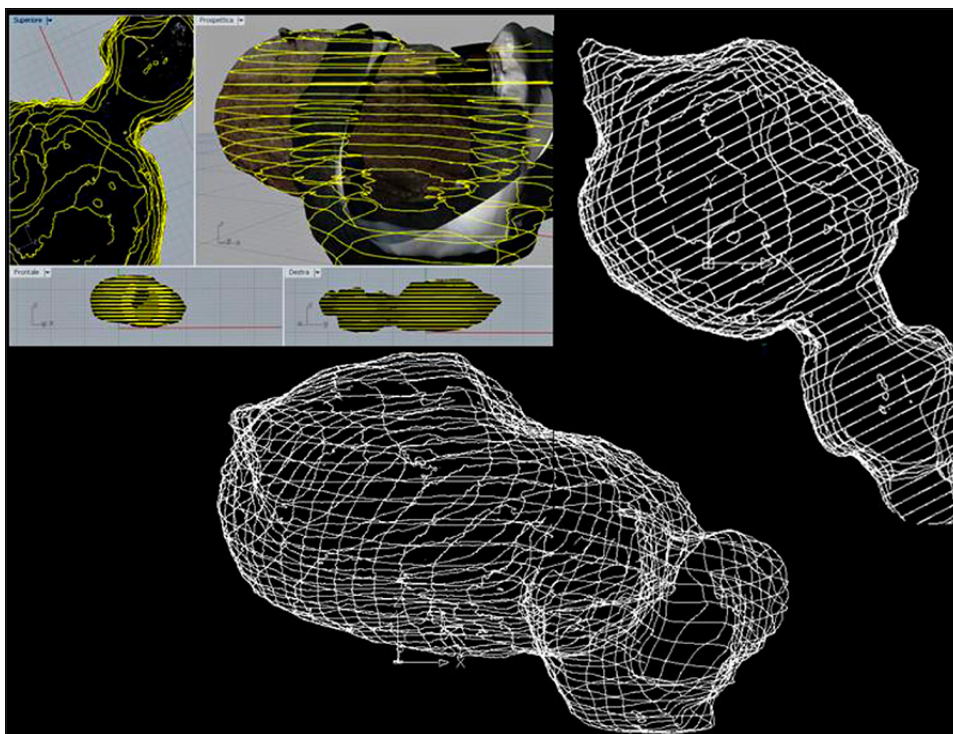


Fig. 5 – Calicantone, Tomba 69. Estrazione automatica di profili orizzontali e verticali (Rhinceros). Esportazione profili verticali ed orizzontali in ambiente CAD, vista dall'alto e vista prospettica.

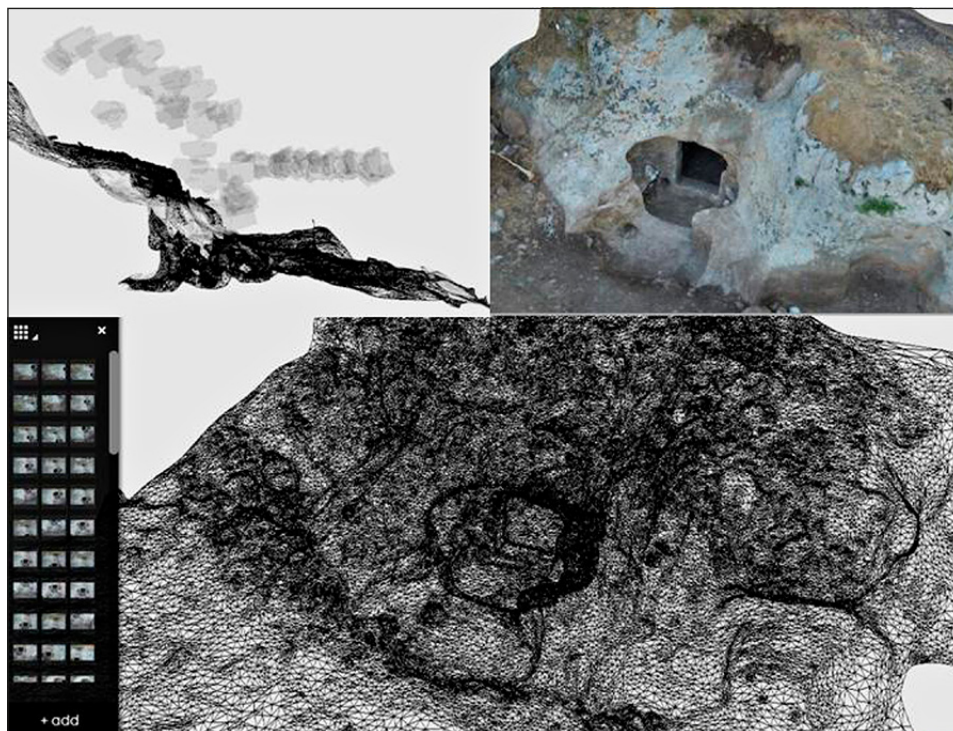


Fig. 6 – Calicantone, Tomba 86. Sequenza fotografica per l'acquisizione esterna. Ricostruzione mesh in visualizzazione texture. Ricostruzione mesh in visualizzazione wireframe (ReCap Photo).

possono influire sulla restituzione e che fosse in grado di assicurare la massima copertura possibile degli oggetti da rilevare (Fig. 6). I fattori che maggiormente incidono sul progetto di ripresa, fortemente dipendenti anche dai software scelti per la creazione dei modelli 3D, sono legati alle condizioni di illuminazione del contesto (l'illuminazione deve esser costante in ambienti sia al chiuso che all'aperto; se possibile sono da evitare giornate soleggiate con conseguente formazione di zone d'ombra; preferibilmente è da evitare l'utilizzo di flash in ambienti chiusi), alle caratteristiche materiali dell'oggetto da rilevare (metodologia non applicabile su oggetti trasparenti, riflettenti o brillanti), alla corretta messa a fuoco del bene in tutte le riprese fotografiche, allo stato di moto (metodologia non applicabile su oggetti in movimento), alla corretta posizione di scatto dell'operatore e sovrapposizione delle immagini (bisogna acquisire la sequenza fotografica in modo che l'angolo tra una ripresa e l'altra sia di circa 5-10 gradi e la sovrapposizione sia di circa il 70%) ed, infine, alla scala di risoluzione richiesta per il rilievo (incremento del livello di dettaglio con l'avvicinarsi dell'obiettivo).

Tale metodologia è stata utilizzata per le seguenti emergenze:

- Saggio di scavo, circa 21 m²;
- Tomba 25, interno/esterno;
- Tomba 69, interno/esterno;
- Tomba 71-72, interno/esterno;
- Tomba 73, esterno;
- Tomba 86, esterno.

Le tabelle riportate di seguito (Tab. 1) forniscono le informazioni utili riguardanti il dataset degli oggetti sopra elencati: dimensione dell'oggetto (lunghezza ed altezza approssimata dei prospetti e profondità interna per le sepolture, mq per il saggio); numero di foto utilizzate; risoluzione delle immagini; risoluzione della mesh; numero di triangoli generati.

Oggetto:	Saggio di scavo - prima battuta
Dimensioni	circa 21 mq
Numero di immagini	77
Risoluzione delle immagini	3072×2304 pixels
Risoluzione mesh	7,5 MB
Numero triangoli mesh	4939307 (alta qualità)
Oggetto:	Saggio di scavo - quarta battuta
Dimensioni	circa 16 mq
Numero di immagini	20
Risoluzione delle immagini	1488×2240 pixels
Risoluzione mesh	6,5 MB
Numero triangoli mesh	280079 (standard)
NOTE	Ricostruzione parziale
Oggetto:	Tomba 25 - esterno/interno
Numero di immagini	27
Risoluzione delle immagini	3072×2304 pixels
Risoluzione mesh	6,1 MB
Numero triangoli mesh	1731104 (alta qualità)
Oggetto:	Tomba 69 - esterno
Numero di immagini	67
Risoluzione delle immagini	4000×3000 pixels
Risoluzione mesh	7,6 MB
Numero triangoli mesh	1758880 (standard)
Oggetto:	Tomba 69 - interno
Numero di immagini	135
Risoluzione delle immagini	4000×3000 pixels
Risoluzione mesh	8 MB
Numero triangoli mesh	2507605 (standard)
NOTE	Ricostruzione parziale

Tab. 1 (segue)

Oggetto:	Tomba 71-72-73 - esterno/ interno 71-72
Numero di immagini	136
Risoluzione delle immagini	3072×2304 pixels
Risoluzione mesh	8,9 MB-8,8 MB
Numero triangoli mesh	11039452 (alta qualità)
Oggetto:	Tomba 73 - interno
Numero di immagini	99
Risoluzione delle immagini	3072×2304 pixels
Risoluzione mesh	8,2 MB
Numero triangoli mesh	2454845 (standard)
NOTE	Ricostruzione parziale
Oggetto:	Tomba 86
Numero di immagini	98
Risoluzione delle immagini	3072×2304 pixels
Risoluzione mesh	8,2 MB-7,2 MB
Numero triangoli mesh	6477929 (alta qualità) 1511558 (standard)

Tab. 1

4.2 Post-processing del dato acquisito

La fase di lavoro in laboratorio può essere suddivisa in due momenti principali, quello di generazione del modello mesh fotorealistico e quello della sua gestione e digitalizzazione. Tra tutti i programmi web-based disponibili si è scelto, per questo lavoro di ricerca, di concentrarsi sull'utilizzo di due software per l'acquisizione dei dati geometrici e metrici tramite sistemi fotogrammetrici image-based, ovvero 123D Catch e ReCap Photo (Autodesk), liberamente scaricabili dal web previa registrazione. Sono entrambi stati scelti per la facilità di utilizzo, la qualità visiva della scena ricostruita e la possibilità di esportare i risultati su altri software di modellazione 3D. Il loro principio di funzionamento si basa sulla conversione di una serie di foto in un modello mesh 3D ad alta risoluzione (Fig. 7).

Per quanto concerne la strumentazione si è fatto uso di una macchina fotografica Nikon Coolpix S5100 v1.0. I software utilizzati per l'intera fase di rilievo e restituzione sono i seguenti:

- 123D Catch e ReCap Photo (Autodesk), software utilizzati per la creazione del modello triangolarizzato e texturizzato;
- MeshLab (Visual Computing Lab, ISTI - CNR), sistema utilizzato per alcune fasi di cleaning, filtering, editing e rendering del modello mesh ottenuto;
- Rhinoceros (McNeel), software proprietario utilizzato per le fasi di rendering, estrapolazione di ortofoto ad alta risoluzione e di profili verticali ed



Fig. 7 – Calicantone, Tomba 69. Sequenza fotografica per l'acquisizione esterna. Ricostruzione mesh in visualizzazione texture. Ricostruzione mesh in visualizzazione wireframe (123D Catch).

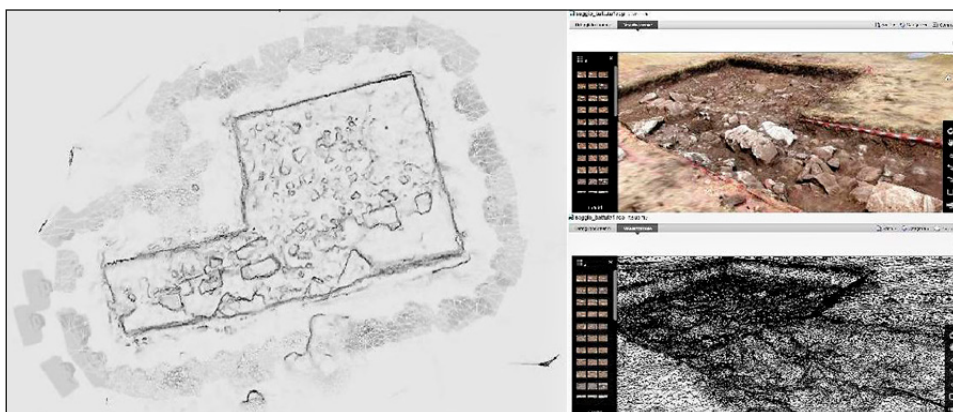


Fig. 8 – Calicantone, Saggio di scavo B, battuta 1. Sequenza fotografica necessaria per l'acquisizione. Ricostruzione mesh in visualizzazione texture. Ricostruzione mesh in visualizzazione wireframe (ReCap Photo).

orizzontali, creazione di render animato per la visualizzazione tridimensionale delle emergenze (free fino a 15 salvataggi);

– AutoCAD (Autodesk), per le elaborazioni in ambiente CAD e le verifiche dell'attendibilità geometrica e dimensionale tra il modello e i dati derivanti da rilievo diretto.

Con la versione di valutazione di ReCap Photo è possibile creare modelli 3D a partire da foto (.jpg) caricate nel cloud, salvare i modelli creati

	123D Catch	ReCap Photo
Elaborazione	Cloud computing	Cloud computing
File di input	Immagini .jpg	Immagini .jpg (max 200)
File di output	Mesh .obj, .dxf – Video .avi	Mesh .obj, .fbx, .rcs, .dxf
Risoluzione mesh	Standard, Maximum, Mobile	Standard, Maximum, Draft
Ricostruzione modello triangolarizzato	Collimazione pixel per pixel automatica o manuale	Collimazione pixel per pixel automatica o manuale
Visualizzazione mesh	Wireframe - Texture	Wireframe - Texture
Modalità scalatura modello	Reference distances	Reference distances – Survey points

Tab. 2

(.obj, .fbx) e, quindi, visualizzarli attraverso un browser web o un dispositivo mobile. 123D Catch e ReCap Photo, sfruttando gli algoritmi della computer vision, sono in grado di ricostruire i parametri della fotocamera digitale e di riconoscere automaticamente la corrispondenza pixel-pixel di punti omologhi tra fotografie consecutive (Fig. 8). Quando ciò non avviene, ovvero in casi di illuminazione discontinua o poca sovrapposizione tra immagini o semplicemente per ottenere una maggiore qualità, l'operatore può intervenire collimando manualmente almeno quattro punti omologhi tra immagini consecutive (*manual stitching*). Sono gli stessi programmi ad avvisare sulla quantità e nome delle foto *not stitched*. A ricostruzione avvenuta con successo i sistemi avvisano l'utente tramite e-mail. Caratteristiche importanti dei due software utilizzati sono la possibilità di scegliere se ottenere un modello geometrico texturizzato o meno (modulo: texture) e l'opportunità di poter scalare il modello (modulo: registration).

ReCap Photo all'interno del suo modulo registration permette di percorrere due strade: valersi di punti di rilievo battuti in campo tramite stazione totale (selezionando un punto noto nell'immagine ed immettendo le coordinate x,y,z) o utilizzare lunghezze di riferimento misurate in campo tramite rilievo diretto (ovvero identificando i due punti estremi presi come riferimento presenti in almeno due immagini della scena ed inserendo la lunghezza nell'unità di misura scelta dall'operatore). 123D Catch permette di scalare il modello esclusivamente attraverso la *reference distance*. Per quanto riguarda la qualità di output della mesh, entrambi i programmi consentono di effettuare tre scelte: Standard o Maximum sono mesh esportabili ad alta risoluzione, la prima a minor densità e più adatta a manipolazioni e visualizzazioni su desktop, la seconda ad elevata densità adatta maggiormente ad applicazioni esterne che richiedono massimo dettaglio; Mobile, presente solo su 123D Catch, esportabile a bassa risoluzione per la visualizzazione su dispositivi mobili; Draft, presente solo su ReCap Photo, è un modello non esportabile e maggiormente veloce da creare, atto alla semplice visua-

lizzazione del risultato di ricostruzione, utilizzabile come strumento per poter effettuare le successive scelte di risoluzione del modello che prevedono tempistiche maggiori. Sulla base di questa esperienza abbiamo sintetizzato nella Tab. 2 le caratteristiche tecniche e operative dei due software utilizzati per la fotomodellazione.

Come già accennato, questo lavoro mira ad inserirsi all'interno dell'attuale dibattito sull'utilizzo di tecniche di acquisizione 3D in ambito archeologico e a contribuire al superamento della scarsa comunicabilità tra le figure dell'archeologo e dell'ingegnere o architetto. Pur nella consapevolezza della fisiologica mancanza di una "figura" competente su entrambi i fronti, tale problema oggi tende a smorzarsi da una parte per la condivisione e il sempre più facilitato aggiornamento sulle tecniche del rilevamento, e dall'altra per l'esigenza di approfondimento circa le dimensioni storiche che hanno caratterizzato un bene archeologico da leggere, documentare e restituire graficamente allo studio.

Negli ultimi anni si è, infatti, riscontrato nella pratica di documentazione tridimensionale di siti antichi una rinnovata collaborazione tra le figure di studiosi interessate ai beni culturali archeologici. Pur tenendo, ancora in parte, separate le competenze, ci si interfaccia esponendo le esigenze di tutela e documentazione/archiviazione storica e trovando le soluzioni maggiormente utili che le nuove tecnologie possono offrire rispetto al passato. L'archeologo offre la propria formazione ed estende la pratica professionale alla collaborazione con i tecnici esperti nel rilievo digitale; questi a loro volta non restano dei meri esecutori nell'acquisizione ed elaborazione dei dati dimensionali, ma nel capire le motivazioni storiche dello stato esistente collaborano alla restituzione opportuna ed ottimale dei modelli grafici e delle tematiche architettoniche latenti.

G.D.

5. CALICANTONE E LE NUOVE TECNICHE DI DOCUMENTAZIONE

5.1 *Impatto e applicabilità del metodo*

L'impatto previsto nella fase iniziale della ricerca era quello di fornire metodi di riferimento nella documentazione grafica applicabili a successive o nuove fasi di studio, attraverso l'elenco di procedure operative già consolidate. Si è arrivati ad attuare un approccio multi-risoluzione che permette di analizzare i beni indagati e si suddivide in tre stadi fondamentali: modellazione, analisi e disseminazione. I modelli tridimensionali, continui e fotorealistici, ottenuti ad alta definizione, costituiscono un documento unico dello stato attuale dei singoli beni, caratterizzato da informazioni metriche, geometriche e materiche delle parti componenti il saggio di scavo, utili quindi alla ricostru-

zione e documentazione stratigrafica, nonché delle superfici caratterizzanti la geometria delle sepolture.

L'utilità scientifica dei nuovi metodi d'indagine rispetto ad un approccio puramente tradizionale riguarda la sperimentazione ed applicazione di una procedura standard, speditiva e a basso costo, allo scopo di rilevare tridimensionalmente le evidenze archeologiche presenti nel sito. Una rilevante innovazione nell'uso delle nuove tecniche di acquisizione digitale 3D risiede, quindi, nell'arricchire di una dimensione il sistema di documentazione bidimensionale tradizionale, anche in vista dell'uso del dato tridimensionale all'interno di un sistema georiferito, aperto, virtualmente fruibile ed interrogabile, nonché all'interno di una piattaforma GIS. Nella prospettiva del dialogo con le esigenze degli Enti di tutela e valorizzazione e ai fini sia della creazione di banche dati, sia della fruizione dei dati stessi, è apparsa particolarmente significativa la possibilità di avviare la costituzione di un modello interattivo, esplorabile dalla comunità scientifica e dal pubblico, senza la mediazione di professionisti specializzati, così da permettere un'ampia comunicabilità dei risultati della ricerca e la pubblicazione dei modelli ottenuti sul web.

Tali potenzialità nella divulgazione del patrimonio indagato prospettano ulteriori ambiti di applicabilità, riguardanti un impatto di tipo socio-economico e la programmazione di interventi di riqualificazione del sito.

G.D.

5.2 Risultati scientifici

Da un punto di vista strettamente limitato ai risultati scientifici, esclusi gli appena citati risvolti della comunicazione della ricerca, l'impatto dell'uso della fotomodellazione a Calicantone, in particolare rispetto all'uso di una metodologia tradizionale, va distinto in rapporto ai due diversi contesti in cui essa è stata utilizzata e ai rispettivi problemi e obiettivi di partenza: da una parte la trincea di scavo e l'esigenza di una rappresentazione in piano, dall'altra le tombe e la necessità di una rappresentazione spaziale dei volumi interni e in elevato per le fronti.

Nel caso della trincea, specifiche caratteristiche delle evidenze hanno trovato adeguata documentazione proprio grazie al 3D. L'area d'indagine, infatti, per quanto le evidenze siano ancora in corso di scavo, appare caratterizzata da un intenso utilizzo, il quale, unitamente alla peculiarità dei contesti preistorici, suggerisce di scomporre il deposito archeologico secondo una lettura micro-stratigrafica, con le relative esigenze di particolare accuratezza di scavo e documentazione.

Le evidenze finora messe in luce nel saggio sono riconducibili apparentemente sia ad un uso artigianale (piani di lavorazione, strumenti litici, pani di argilla) sia funerario (scheletri), tutti interessati da una fase di collasso finale e da

rimaneggiamenti di epoca tardo-antica e moderna, che hanno reso difficoltosa la lettura. L'esistenza di un unico orizzonte di "fine-vita" dell'insediamento non semplifica l'interpretazione della formazione degli strati di distruzione/crollo, non da ultimo per via della precarietà della struttura muraria rinvenuta e dell'uso della stessa matrice argillosa per la realizzazione dei rivestimenti parietali e pavimentali, delle strutture di copertura, dei manufatti in argilla cruda e delle ceramiche, spesso di pessima qualità, tendenti a sfaldarsi al contatto. Il processo interpretativo può essere spesso completato solo dopo la rimozione, e quindi la distruzione, delle unità stratigrafiche, con una ricostruzione a posteriori, per la quale il rilievo di tipo tradizionale in quanto bidimensionale e selettivo, appare insufficiente, mentre altre forme di rilievo digitale 3D, come la tecnica del micro rilievo o la scansione laser, pongono problemi a volte insuperabili di tempo e denaro (cfr. anche PUTZOLO, VINCENZUTTO 2013, 363-364). Il rilievo tramite fotomodellazione è sembrato, dunque, costituire, in questo caso, la risposta più adeguata alle specifiche esigenze dello scavo.

La documentazione sistematica 3D in corso che procederà parallelamente allo scavo può, cioè, rispondere in modo ideale all'esigenza della ricostruzione del contesto deposizionale e post-deposizionale attraverso la verifica della collocazione stratigrafica dei reperti anche dopo la rimozione degli strati.

Citiamo, per esempio, il problema dell'interpretazione dell'accumulo di argilla sopra menzionato (US 13): uno strato di terra argillosa, ricca di ferro, priva di materiali ceramici, concentrata in un'area limitata presso il margine meridionale del saggio di scavo, la cui sommità sembra interessata da interventi di età medievale che coprono in parte il cranio di un individuo e in parte un grande dolio ribaltato in posizione orizzontale. Allo stato attuale, tale strato potrebbe essere riferibile sia a processi produttivi (deposito per la modellazione di vasi), sia a processi funerari (deposito per la preparazione dei defunti), sia all'elevato del muro intercettato dalla trincea di scavo (disfacimento di un rivestimento parietale o di uno zoccolo in argilla cruda). La corretta interpretazione di tale evidenza è possibile non solo a partire dall'analisi dell'argilla e dell'inquadramento dell'intero contesto (funerario o artigianale), ma anche e soprattutto in base ad un'accurata analisi della correlazione spaziale tra la US 13 e gli strati e i complessi di manufatti circostanti. Un contributo fondamentale all'analisi può provenire dal rilievo 3D, finalizzato alla verifica delle quote di giacitura dei record e quindi dell'eventuale posizione di caduta della US 13. Inoltre, fatto ancora più importante, la documentazione tridimensionale acquisita consentirà la verifica dei rapporti spaziali reciproci anche con gli strati e i manufatti rinvenuti nell'area adiacente, nel corso della campagna di scavo 2014.

Un ulteriore caso studio è rappresentato dalla formazione della stratigrafia archeologica all'interno dei due dolí rinvenuti in posizione orizzontale nello scavo, tra i quali quello già citato. Al momento della stesura di questo articolo, cioè al termine della prima campagna di scavi, i dolí, rimasti *in situ*,

lasciavano intravedere al loro interno argilla e minuti frammenti ossei. La fotomodellazione, con riprese effettuate prima e dopo l'asportazione della parete superiore conservata, sarà utilizzata per la ricostruzione della formazione di questo deposito (posizione del dolio originaria o dovuta a caduta, strati argillosi e/o frammenti ossei contenuti fin dall'inizio nel dolio o dovuti ad ingressione post-crollo del contenitore) consentendo, per esempio, la verifica della eventuale coincidenza tra posizione dei resti ossei e aree di frattura delle pareti.

Il contributo che, dunque, può provenire dalla documentazione 3D per il chiarimento delle dinamiche all'origine degli strati di crollo e dunque dei materiali oggi dislocati appare fondamentale ai fini della lettura funzionale dell'intero saggio. Altre esperienze simili in microcontesti preistorici in Veneto (PUTZOLU, VICENZUTTO 2013) hanno dimostrato l'importanza dell'impiego del rilievo delle superfici tramite fotogrammetria 3D.

Per quanto riguarda, invece, l'applicazione di questa tecnica alle tombe a grotticella della nostra necropoli, sempre al di là degli aspetti "emotivi" e narrativi connessi all'uso del tridimensionale, va sottolineata innanzitutto l'importanza di una documentazione sistematica di spazi altrimenti inaccessibili al pubblico. Dal punto di vista scientifico, il risultato finora più interessante è costituito dalla possibilità di restituzione completa del volume delle singole tombe, senza cioè quelle selezioni operate dal rilievo tradizionale che inevitabilmente individua piani di rappresentazione significativi, determinando una perdita di informazioni spesso importanti, in particolare per lo studio delle architetture in negativo. Ciò soprattutto in riferimento a periodi nei quali non è attestata una progettazione geometrica che consenta di individuare la matrice costruttiva della tombe, così come, in Sicilia, a partire dalla *facies* di Thapsos (XIV-XIII secolo a.C.) e Pantalica (XIII-XII secolo a.C.) (TOMASELLO 1997; MILITELLO 2004). La prassi costruttiva delle tombe a grotticella di Calicantone sembra, cioè, sfuggire a progettazioni rigorosamente geometriche e basarsi su procedimenti consolidati di sfruttamento dei punti di frattura degli strati geologici, frantumazione tramite shock termico o dilatazione a partire da pali lignei, asportazione del materiale, rifinitura tramite asce in basalto, adeguandosi per quanto possibile all'andamento delle venature più friabili del banco roccioso (OCCHIPINTI 2013).

Appare, dunque, di estrema importanza un rilievo integrale dei volumi delle tombe, il quale consenta sia la registrazione di quelle irregolarità che possono far luce sui processi di escavazione e sulle scelte di orientamento e andamento degli ambienti sepolcrali, sia l'avvio di una seriazione tipologica che, confrontata con i dati cronologici provenienti dai pochi elementi di corredo rimasti, è fondamentale per la lettura dell'intera necropoli e del vicino insediamento.

F.B.

6. FOTOMODELLAZIONE E RILIEVO ARCHEOLOGICO. VANTAGGI, LIMITI E PROSPETTIVE

Sebbene le potenzialità dell'*image-based modeling* non siano ancora del tutto ben note (GALIZIA, SANTAGATI c.s.), i suoi considerevoli vantaggi, sia economici (uso di sensori passivi come le comuni fotocamere compatte), sia ergonomici (abbattimento delle ore uomo durante il post-processing), non solo hanno imposto la fotomodellazione all'attenzione degli archeologi e degli Enti di tutela e valorizzazione dei beni culturali, generalmente alle prese con significativi limiti di budget, ma l'hanno posta anche al centro di una riflessione molto attuale sul libero accesso ai sorgenti informatici (CATERINO 2012) e quindi ai relativi software applicativi, fruibili sul web da parte di tutti e a costo zero.

Il dibattito scientifico attuale è, perciò, teso da un canto ad approfondire le opportunità dei software liberi rispetto a quelli proprietari, dall'altro a definire i livelli di accuratezza metrica delle varie tecnologie di acquisizione dati 3D, ponendo a confronto risultati derivanti da fotogrammetria (ARRIGHETTI 2012), laser scanner (GUERRA 2012, 28) e sistemi image-based (REMONDINO, EL-HAKIM 2006; FIORINI, ARCHETTI 2011; SANTAGATI, INZERILLO, DI PAOLA 2013).

In questa direzione ci siamo mossi a Calicantone. Per quanto riguarda il primo punto, abbiamo, infatti, utilizzato quasi esclusivamente programmi liberi (123D Catch, Autodesk 360, ReCap, MeshLab) più una versione di valutazione di Rhinoceros 5.0. Per quanto concerne, invece, il secondo problema, poiché ci eravamo posti l'obiettivo di ottenere proiezioni ortogonali misurabili, fin dall'inizio della pipeline abbiamo tenuto presente il fattore dell'affidabilità metrica e geometrica delle informazioni acquisite.

Nel caso della trincea di scavo, abbiamo misurato con rilevamento diretto il perimetro e alcuni elementi utili alle verifiche in fase di elaborazione dei fotopiani come, per esempio, l'allineamento murario all'interno del saggio. La ripresa fotografica, inoltre, è avvenuta con target a distanze note, non solo per facilitare l'automatismo della sovrapposizione dei fotogrammi, ma anche per disporre di ulteriori misure di riferimento (*Ground Control Points* = GCP).

Il modello 3D elaborato è stato, così, scalato (in 123D Catch o in MeshLab) ed esportato in Rhinoceros (Fig. 9), che consente di gestire proiezioni geometriche. Nessun raddrizzamento o deformazione interessa le immagini, come nel caso del processo fotogrammetrico, poiché viene impostata semplicemente una vista, in quanto il modello orbita secondo assi x,y,z. La vista può, infine, essere importata in ambiente CAD per le verifiche dimensionali e le interpolazioni grafiche (ricalco, quotatura, introduzione di tematismi, simbologie, legende, etc.) (Fig. 10).

Sulla base di questa prima esperienza a Calicantone, abbiamo sintetizzato nella tabella seguente (Tab. 3) i punti di forza e le debolezze presentate

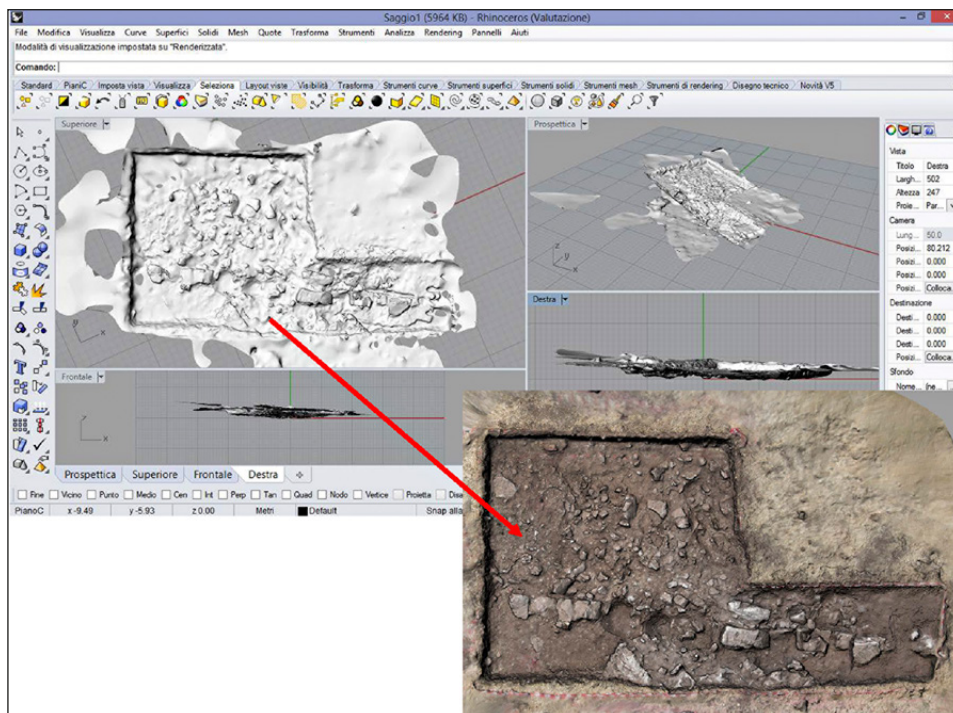


Fig. 9 – Calicantone, Saggio B. Impostazione delle viste in Rhinoceros e ortofoto scalata in AutoCAD.

dalla fotomodellazione open source realizzata con i software precedentemente citati (su 123D Catch, cfr. in particolare SANTAGATI, INZERILLO 2013).

In particolare, dei limiti evidenziati sottolineerei due problemi rilevanti per le applicazioni archeologiche e cioè la scarsa leggibilità degli strati terrosi e l'accuratezza, sulla quale in passato la computer vision ha posto minore enfasi rispetto, per esempio, alla fotogrammetria, con cui la fotomodellazione ha in comune alcune tecniche di orientamento di coppie, triplette o sequenze di immagini, come le equazioni di collinearità (GUERRA 2012, 18).

Per quanto riguarda il primo problema, abbiamo osservato un sensibile miglioramento nella nitidezza dei fotopiani ottenuti da modelli generati con Autodesk 360 piuttosto che con 123D Catch. Ciò grazie a mesh più dense che comportano, tuttavia, un notevole aggravio dei tempi di processamento e della pesantezza dei modelli. Anche se al momento manca una soluzione intermedia che consenta un migliore rapporto tempi di elaborazione/qualità delle immagini, la direzione dello sviluppo software è, tuttavia, chiaramente quella di prestazioni sempre più ottimizzate da questo punto di vista.

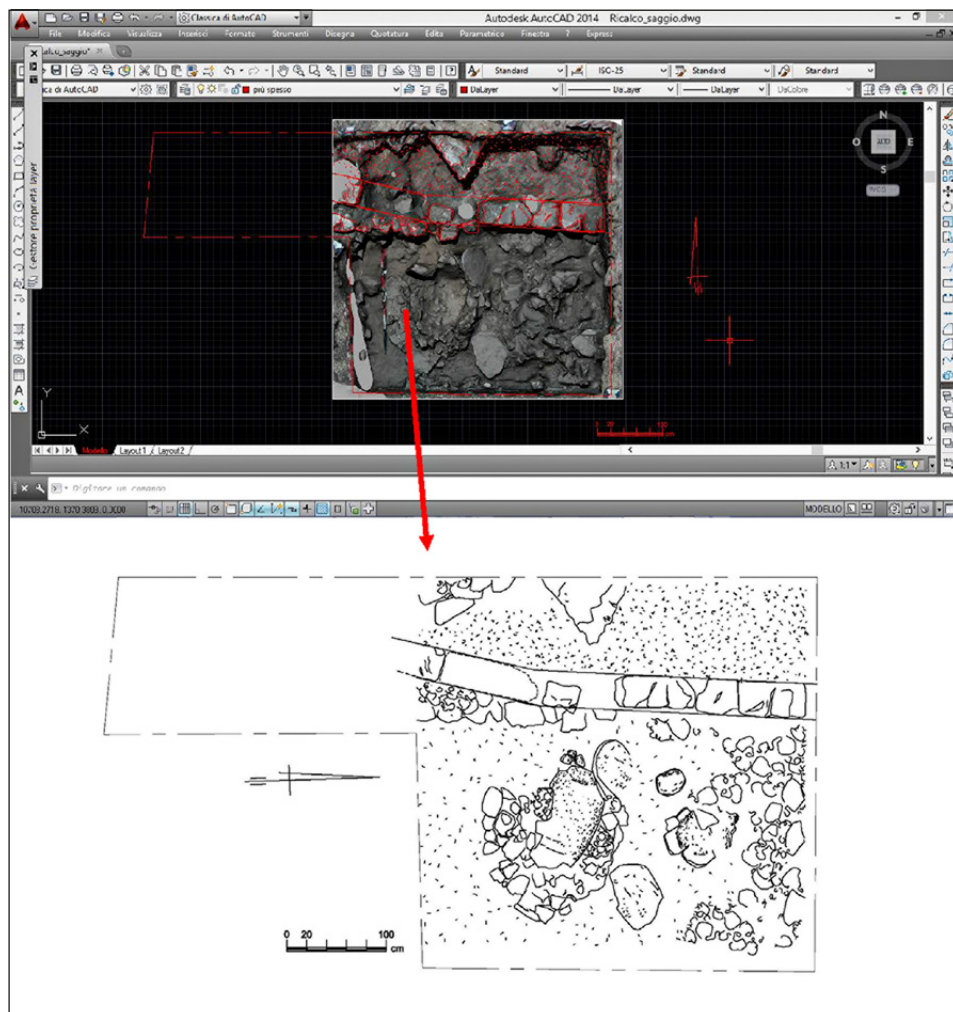


Fig. 10 – Calicantone, Saggio B. Vettorializzazione di ortofoto della trincea.

Riguardo, invece, al problema dell'accuratezza, studi recentissimi hanno presentato ottime valutazioni della precisione metrico-geometrica di sezioni ricavate da fotomodellazione con 123D Catch, anche rispetto a dati provenienti da laser scanning (SANTAGATI, INZERILLO, DI PAOLA 2013). Va, tuttavia, osservato come i risultati più soddisfacenti derivino da test di confronto relativi ad architetture in elevato e dalla valutazione della correttezza dei profili ottenuti con ciascuna delle due tecniche.

		Vantaggi	Svantaggi
		Hardware e software a costo zero	Necessità di connessione Internet
			Limiti di utilizzo (salvataggi o spazio disponibili) in alcuni software (Autodesk 360)
Sul campo	Fase di ripresa	Semplicità nell'acquisizione dei dati (addestramento minimo)	Elevata dipendenza dalla luce ambientale e da elementi in movimento (cordini, reti, nastri di delimitazione)
			Difficoltà nella campionatura di ambienti piccoli (per es. tombe)
Post-Processing	Fase di elaborazione modelli 3D	Automatismi	Triangolazione automatica che unisce tutti i punti della mesh, rendendo necessari interventi di correzione
			Necessità di utilizzare più software per intervenire manualmente sulle mesh; scarsa compatibilità dei formati tra un software e l'altro
			Scala/metricità da fornire
		Indipendenza da computer performanti grazie al cloud computing	Connessione Internet
		Generazione di modelli leggeri	
		Fotorealismo	Resa scadente degli elementi privi di spigoli (rocce, strati terrosi) con alcuni software (123D Catch)
	Fase di fotorestituzione	Buona affidabilità metrico-geometrica	Utilizzo di software apposito per le proiezioni ortogonali

Tab. 3

Diverso è il caso delle aree di scavo archeologico e cioè della documentazione di un'estensione in piano. L'elaborazione di restituzioni affidabili in questo senso, cioè la realizzazione di fotopiani all'interno dei quali ciascun elemento sia in una relazione geometrico-spaziale corretta rispetto al contesto, costituisce, a nostro avviso, uno dei più significativi contributi della fotomodellazione all'archeologia (FIORINI 2008). Ciò costituirebbe di fatto un superamento della fotogrammetria, vincolata all'esigenza di riprese dall'alto e, dunque, all'uso di vari tipi di ausili, dai più "artigianali" (scale, impalcature, aste telescopiche) ai più sofisticati e costosi (palloncini, droni) con l'aumentare dell'ampiezza del campo di ripresa.

Recentissimi studi mirati in campo archeologico hanno già posto la questione dell'affidabilità di questo tipo di restituzioni in confronto a quelle ricavate da laser scanning. Per esempio, nel sito di Adulis (Eritrea), in cui dal 2010 sono attive Missioni archeologiche italiane, è stata condotta su un saggio di scavo una comparazione di fotopiani derivanti rispettivamente dalle due tecniche, mediante la sovrapposizione di una nuvola di punti e di una mesh

(BIGLIARDI *et al.* c.s.). Dall'allineamento è emersa una deviazione standard di 3665 cm, con un aumento progressivo della divergenza dal centro (tra 0 e 5 cm) della trincea di scavo verso gli angoli (da 5 a 10; 10 agli spigoli), la quale è stata giudicata compatibile con le esigenze del rilievo archeologico nella realizzazione di piante di scavo a scala 1:20 e 1:50, seppure non di dettaglio.

Tali potenzialità, che possono ulteriormente essere accresciute, per esempio attraverso una più efficace pianificazione delle riprese e cioè attraverso una migliore copertura fotografica degli angoli del saggio di scavo, ci incoraggiano a proseguire questa sperimentazione. Contiamo, inoltre, di migliorare i risultati finora raggiunti, nel caso della trincea anche attraverso il fissaggio materiale di un'orizzontale di riferimento, per consentire un più preciso calcolo dell'ortogonalità del piano della rappresentazione e, nel caso delle tombe, attraverso uno shooting più accurato dalle celle verso le anticelle e i padiglioni, per agganciare i prospetti agli ambienti interni e ottenere modelli 3D completi.

F.B.

FRANCESCA BUSCEMI, PIETRO MILITELLO
Dipartimento di Scienze Umanistiche
Università di Catania

GRAZIANA D'AGOSTINO
Dipartimento di Ingegneria Civile e Architettura
Università di Catania

ANNA MARIA SAMMITO
Soprintendenza per Beni Culturali e Ambientali di Ragusa

Ringraziamenti

Rivolgiamo un vivo ringraziamento per avere consentito il nostro lavoro in un clima di entusiasmo e amicizia alla dott.ssa R. Panvini, Soprintendente di Ragusa, all'arch. G. Battaglia già Direttore del Parco Archeologico di Cava d'Ispica, e al geom. A. La Cognata, alla cui generosa collaborazione si deve l'appoggio topografico.

BIBLIOGRAFIA

- ARRIGHETTI A. 2012, *Tecnologie fotogrammetriche e registrazione 3D della struttura materiale: dal rilievo alla gestione dei dati*, in CURCI, FIORINI 2012, 283-296.
- ARRIGHETTI A., CAVALIERI M. 2012, *Il rilievo fotogrammetrico per nuvole di punti RGB della "sala triabsidata" del sito archeologico di Aiano-Torraccia di Chiusi (SI)*, «Archeologia e Calcolatori», 23, 121-133.
- BANDIERA A., BERARDIN J.A., GAIANI M. 2011, *Nascita ed utilizzo delle tecniche digitali di 3D imaging, modellazione e visualizzazione per l'architettura e i beni culturali*, «Ikhnos», 81-134.

- BIGLIARDI G., CAPPELLI S., COCCA E., EFREM D., WELDERUFIA N. 2013, *Il rilievo tradizionale in archeologia: computer vision e laser scanning a confronto. Il caso studio del settore 3 del sito archeologico di Adulis (Eritrea)*, poster in ARCHEOFLOSS, VIII WORKSHOP, *Open source free software e open format nei processi di ricerca archeologica* (Catania 18-13 giugno 2013), in corso di stampa.
- BONACINI E., D'AGOSTINO G., GALIZIA M., SANTAGATI C., SGARLATA M. 2012, *The Catacombs of San Giovanni in Syracuse: Surveying, digital enhancement and revitalization of an archaeological landmark*, in M. IOANNIDES, D. FRITSCH, J. LEISSNER, R. DAVIES, F. REMONDINO, R. CAFFO (eds.), *Euromed 2012, Progress in Cultural Heritage Preservation (Cyprus 2012)*, Lecture Notes in Computer Sciences 7616, Berlin-Eidelberg, Springer, 396-403.
- CAMBI F. 2009, *Archeologia (globale) dei paesaggi (antichi): metodologie, procedure, tecnologie*, in G. MACCHI JANICA (ed.), *Geografie del popolamento. Casi di studio, metodi e teorie. Atti della Giornata di Studio (Grosseto 2008)*, Siena, Edizioni dell'Università, 349-357.
- CAMPANA S. 2012, *Archeologia dei paesaggi e Remote sensing*, «Groma», 2, 123-138.
- CAMPANA S., BIANCHI G., FICHERA G.A., LAI L., SORDINI M. 2012, *3D recording and total archaeology: From landscapes to historical buildings*, «International Journal of Heritage in the Digital Era», 1, 3, 444-460.
- CAMPANA S., FORTE M. (eds.) 2003, *Remote Sensing in Archaeology*, XI Ciclo di lezioni sulla ricerca applicata all'archeologia (Certosa di Pontignano-Siena 1999), Firenze, All'insegna del Giglio.
- CAMPANA S., FRANCOVICH R. (eds.) 2006, *Laser scanner e GPS. Paesaggi Archeologici e Tecnologie digitali 1, I Workshop (Grosseto 2005)*, Firenze, All'Insegna del Giglio.
- CATERINO D. 2012, *Codice sorgente e tutela giuridica del software*, Seminario, Taranto (cfr. weblink).
- CONTICELLO A. 2007, *Nuove tecnologie per una migliore fruizione dei beni archeologici, in Il paesaggio "archeologico". Resti e contesti: prospettive di condivisione tra tutela e valorizzazione, X Borsa mediterranea del turismo archeologico (Paestum 2007)*, Roma, MP Mirabilia, 6-7.
- CULTRARO M. 1996, *Sicilia. La facies di Castelluccio: articolazione cronologica e definizione culturale*, in D. COCCHI GENICK (ed.), *L'antica età del Bronzo in Italia*, Firenze, Octavo, 163-174.
- CURCI A., FIORINI A. (eds.), *Documentare l'archeologia 2.0, Atti del Workshop (Bologna, Alma Mater Studiorum Università di Bologna, 2012)*, «Archeologia e Calcolatori», 23, 211-325.
- CURCI A., URCIA A. 2012, *Verso un system integrato di documentazione dell'arte rupestre. L'esperienza Akap (Egitto)*, in CURCI, FIORINI 2012, 247-260.
- DE LUCA L. 2011, *Verso la caratterizzazione semantica di rappresentazioni digitali di artefatti architettonici: linee programmatiche di ricerca*, «Disegnare con», 4, 8, 99-106.
- FIORINI A. 2008, *Esperienze di fotomodellazione e stereofotogrammetria archeologica*, in G. DE FELICE, M.G. SIBILANO, G. VOLPE (eds.), *L'informatica e il metodo della stratigrafia. Atti del Workshop (Foggia 2008)*, Bari, EdiPuglia, 175-186.
- FIORINI A., ARCHETTI V. 2011, *Fotomodellazione e stereofotogrammetria per la creazione di modelli stratigrafici in archeologia dell'architettura*, «Archeologia e Calcolatori», 22, 139-156.
- FORTE M. 2006, *Tra conoscenza e comunicazione in archeologia: considerazione in margine alla terza dimensione*, in CAMPANA, FRANCOVICH 2006, 23-40.
- FRANCOVICH R., VALENTI M. (eds.) 2006, *Atti del IV Congresso nazionale di Archeologia Medievale (Chiusdino, Siena 2006)*, Firenze, All'insegna del Giglio.
- GALIZIA M., SANTAGATI C. c.s., *Low-cost image-based modeling techniques for archaeological heritage digitalization: More than just a good tool for 3D visualization?*, in *Proceedings of ARQUEOLOGICA 2.0 (Seville 2012)*, in corso di stampa.

- GUERRA F. 2012, *Studi sulle caratteristiche metriche e operative dei sistemi di scansione 3D e dei sistemi fotogrammetrici*, in *Progetto IUAV_Lab Laboratori di innovazione per l'architettura*, Venezia, 1-28.
- GUIDI G., REMONDINO F., RUSSO M., MENNA F., RIZZI A., ERCOLI S. 2009, *A multi-resolution methodology for the 3D modeling of large and complex archaeological areas*, «International Journal of Architectural Computing», 7, 1, 39-55.
- HARTLEY R.I., ZISSERMAN A. 2004, *Multiple View Geometry in Computer Vision*, Cambridge, Cambridge University Press.
- MANFERDINI A.M., REMONDINO F., BALDISSINI S., GAIANI M., BENEDETTI B. 2008, *3D modeling and semantic classification of archaeological finds for management and visualization in 3D archaeological databases*, in *Digital Heritage. Proceedings of the 14th International Conference on Virtual Systems and Multimedia - Project Papers*, Budapest, Archaeolingua, 221- 228.
- MARTÍN CIVANTOS J.M. 2006, *Il territorio stratificato: proposte dall'archeologia del paesaggio*, in FRANCOVICH, VALENTI 2006, 12-16.
- MILITELLO P. 2004, *Due nuove tholoi dal Medio Irminio*, in V. LA ROSA (ed.), *Le presenze micenee nel Siracusano. Atti del Convegno (Siracusa 2003)*, Padova, Aldo Ausilio Editore/Bottega d'Erasmo, 269-294.
- OCCHIPINTI G. 2013, *Per un database delle architetture in negativo: il caso di Calicantone*, (Tesi Scuola di Specializzazione in Archeologia), Catania.
- PICONE E.G. 1975, *Ispica (contrada Calicantoni)*, «Rivista di Studi Preistorici», XXX (Notiziario), 397.
- PICONE E.G. 2006, *Stanziamenti preistorici nel territorio dell'alta Cava d'Ispica*, Siracusa, Lombardi.
- PIERROT-DESEILLIGNY M., DE LUCA L., REMONDINO F. (eds.) 2011, *Automated image-based procedures for accurate artifacts 3D modeling and orthoimage generation*, in *Proceedings of the 23th International CIPA Symposium (Prague 2011)*, Prague, CIPA Heritage Documentation, 291-299.
- PINGI P., FASANO A., CIGNONI P., MONTANI C., SCOPIGNO R. 2005, *Exploiting the scanning sequence for automatic registration of large sets of range maps*, «Computer Graphics Forum», 24, 3, 517-526.
- PUTZOLU C., VICENZUTTO D. 2013, *Il rilievo delle superfici tramite fotogrammetria 3D: dal microscavo dei complessi tombali agli scavi open area*, in A. CURCI, A. FIORINI (eds.), *Documentare l'archeologia 3.0, Atti del Workshop (Bologna 2013)*, «Archeologia e Calcolatori», 24, 355-370.
- REMONDINO F., EL-HAKIM S. 2006, *Image-based 3D modelling: A review*, «The Photogrammetric Record», 21, 115, 269-291.
- RIZZONE V.G., SAMMITO A.M. 1999, *Censimento dei siti dell'antica età del Bronzo nel territorio modicano*, «Archivum Historicum Mothycense», 5, 37-56.
- RIZZONE V.G., SAMMITO A.M. 2002, *Tombe dell'antica età del Bronzo con prospetto decorato nel territorio modicano: nuovi dati*, «Sicilia Archeologica», 35, 137-144.
- RIZZONE V.G., SAMMITO A.M. 2010, *Indagine topografica dei siti dell'Antica Età del Bronzo nel territorio modicano*, «Aitna. Quaderni di Topografia Antica», 4, 49-64.
- RUSSO M., GUIDI G., REMONDINO F. 2011, *Principali tecniche e strumenti per il rilievo tridimensionale in ambito archeologico*, «Archeologia e Calcolatori», 22, 169-198.
- RUSSO M., REMONDINO F. 2011, *Laser scanning e fotogrammetria: strumenti e metodi di rilievo tridimensionale per l'archeologia*, in G.P. BROGIOLO, D.E. ANGELUCCI, A. COLECCHIA, F. REMONDINO (eds.), *Teoria e metodi della ricerca sul paesaggio d'altura*, Mantova, SAP press, 141-170.
- SANTAGATI C., INZERILLO L. 2013, *123D-Catch: Efficiency, accuracy, constraints and limitations in architectural heritage field*, «International Journal of Heritage in the Digital Era», 2.2, 263-290.

- SANTAGATI C., INZERILLO L., DI PAOLA F. 2013, *Image-based modeling techniques for architectural heritage 3D digitalization: Limits and potentialities*, in XXIV International CIPA Symposium (Strasbourg 2013), *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XL-5/W2, Strasbourg, 555-560.
- SANTAGATI C., D'AGOSTINO G., GALIZIA M. 2013, *Digital reconstruction of archaeological sites and monuments: Some experiences in south eastern Sicily*, in E. CH'NG, H. CHAPMAN, V. GAFFNEY (eds.), *Visual Heritage in the Digital Age*, Cultural Computing Series, London, Springer, 205-232.
- SCOPIGNO R. 2006, *Gestione efficiente dei dati prodotti dai sistemi di scansione tridimensionale*, in CAMPANA, FRANCOVICH 2006, 41-68.
- SIRUGO S. c.s., *Paleonutrizione, economia e territorio: primi dati dalla necropoli di Calicantone a Cava Ispica*, in PANVINI R. (ed.), *Il Paesaggio tra archeologia e architettura. Atti Convegno (Catania, Ragusa, Donnafugata 2013)*, in corso di stampa.
- TOMASELLO F. 1997, *Le tombe a tholos della Sicilia centro meridionale*, in *Cronache di Archeologia 1995-1996*, Palermo, 24-25.
- VOLPE G. 2007, *L'archeologia "globale" per ascoltare la "storia totale" del paesaggio*, «SudEst», 20, gennaio-febbraio, 20-32.

WEB LINKS

- http://www.beniculturali.it/mibac/multimedia/MiBAC/documents/1257347181815_Opuscolo_Paestum_internet.pdf.
- http://www.academia.edu/1627870/Codice_sorgente_e_tutela_giuridica_del_software_-_seminario_Taranto_2012.
- <http://iuavlab.iuav.it/download/WP5-Deliverable1.pdf>.
- <http://www.arqueologiavirtual.com/carta/>.

ABSTRACT

This paper illustrates the experiment of image-based modelling conducted on the site of Calicantone (RG) by the international course in Archaeology of the Dipartimento di Scienze Umanistiche of the University of Catania, in collaboration with the Dept. of Engineering and Architecture of the same University and the Soprintendenza of Ragusa. The aim of the research was to experiment and verify a single process of digital acquisition, elaboration and communication, and to investigate the potential of shifting from 3D to 2D for the creation of metrically and geometrically reliable orthophotos (so called new photogrammetry). In particular, this kind of application has not been widely used by the archaeological teams working in Sicily, especially when the Computer Vision is not aimed at the reconstruction or the dissemination of the results. The site of Calicantone represented an ideal context for a multiple experimentation of image-based modelling. Indeed, the construction of a methodology of survey of the site involved a global understanding of a complex context, made by different kinds of evidence: built architecture (walls), negative architecture (rock cut tombs), horizontal restitution of the trenches vs vertical restitution of the slopes of the hill hosting the tombs. From the point of view of the "archaeological narrative", the exceptional impact of the landscape, the necessity of an enhancement and the limited visibility of some of the archaeological evidence encouraged the acquisition of the data through passive detectors, in order to support the traditional 3D reconstruction of the landscape.