

## FOTOMODELLAZIONE 3D E RILIEVO SPEDITIVO DI SCAVO: L'ESPERIENZA DEL *PHILOSOPHIANA PROJECT*

### 1. INTRODUZIONE

In seno alle attività di scavo del *Philosophiana Project*<sup>1</sup>, a partire dal 2013, è sorta la necessità di documentare lo scavo con celerità ma senza rinunciare alla accuratezza delle misurazioni, mantenendo saldamente le attività all'interno di una ben consolidata metodologia di rilievo archeologico; si è tenuto sempre in debito conto, anche in fase di sperimentazione, che le tecnologie devono rappresentare per l'archeologo un mezzo che contribuisca a ricostruire il passato, e non la finalità stessa della ricerca. La pipeline di lavoro costituita da vettorializzazione su piattaforma GIS di ortofoto prodotte a partire da modelli 3D ha permesso di ottenere una documentazione ottimale rispetto alle nostre necessità.

### 2. IL SITO DI SOFIANA

La contrada Sofiana si trova nel territorio del comune di Mazzarino (CL), su una valle posta a ca. 500 m s.l.m., 6 km a S-E della ben nota Villa del Casale di Piazza Armerina (EN) (Fig. 1). Il toponimo Sofiana è riconducibile con molta probabilità alla *mansio Philosophiana* o *Filosofiana*, presente nell'*Itinerarium Antonini*, in posizione intermedia lungo la strada romana Catania-Agrigento. La *mansio* compare nell'*Itinerarium* al paragrafo 88, 2 ove è presente con la formula *Gela sive Filosofianis*, come attesta il codice *Escorialensis* RII,18, s. VII, o *Gelasium Filosofianis* secondo una lettura più tarda e meno attendibile riportata nel codice *Vindobonensis* 181 (LA TORRE 1994, 133). Un altro passo in cui è presente la stazione si trova al paragrafo 94, 2-7, un probabile aggiornamento del precedente aggiunto in seguito alla revisione subita dal testo in età costantiniana (CALDERONE 1984, 46-47); qui il sito è indicato semplicemente come *Filosofianis*, privo del toponimo alternativo *Gela*, ed inoltre sono presenti due nuove stazioni: *Callonianis* e *Casconianis*.

L'assonanza del toponimo di Sofiana con la *Philosophiana* dell'*Itinerarium Antonini* era stata colta già dallo storico locale G.P. Chiarandà (AMICO 1855, 494) che nel 1654 ricollegava Filosofiana ad un "Casale Sofiana" vissuto fino al 1470. Le prime conferme archeologiche si sono avute grazie agli interventi di scavo di Dinu Adamesteanu, il quale era anche interessato a chiarire

<sup>1</sup> Colgo l'occasione per rivolgere i miei più sentiti ringraziamenti ai Direttori della missione prof. G.F. La Torre ed E. Vaccaro e a tutta l'équipe del *Philosophiana Project*.



Fig. 1 – I siti di *Philosophiana* e della Villa del Casale (fonte: Esri, i-cubed, USDA, USGS, AEX, GeoEye, Getmapping, AeroGRID, IGN, IGP, UPR-EGP, and the GIS Community, modificata da M. Sfacteria).

le correlazioni tra i monumenti presenti nel sito di Sofiana e le varie fasi della Villa del Casale (ADAMESTEANU 1963). Gli scavi di Adamesteanu portarono alla luce un impianto termale – la cui cronologia iniziale si pone al IV sec. d.C. – la basilica tardo-antica con l'annessa necropoli sud, le necropoli nord (medio-imperiale) ed ovest (tardo-antica), e parte della più grande necropoli est, utilizzata dall'età primo imperiale alla tarda antichità (Fig. 2). Lo scavo di quest'ultima è stato ripreso, completato e pubblicato negli anni '90 del secolo scorso dalla Soprintendenza, insieme con lo studio dei materiali provenienti dalle altre necropoli (BONACASA CARRA, PANVINI 2002).

Le attività di ricerca sul sito di Sofiana riprendono nei primi anni '90 grazie alla attività del prof. G.F. La Torre (LA TORRE 1993-1994, 1994). Gli scavi di La Torre portano alla luce lacerti di una maglia stradale regolare oltre a parti cospicue di una *domus* a peristilio e i resti di quello che con ogni probabilità doveva costituire il muro pomeriale settentrionale dell'abitato imperiale (Fig. 2).

Secondo La Torre, il centro abitato scavato in C.da Sofiana sarebbe da identificare con la *Gela* dell'*Itinerarium Antonini*; il toponimo non starebbe infatti ad indicare una località nei pressi del fiume Nociara-Gelas (CALDERONE 1984, 46), bensì il nome dell'insediamento stesso, in memoria probabilmente della colonia rodio-cretese distrutta nel 282 a.C. da *Phintia*. La nostra *Gela* sarebbe quindi una città, sebbene di piccole dimensioni, sorta tra la fine del I

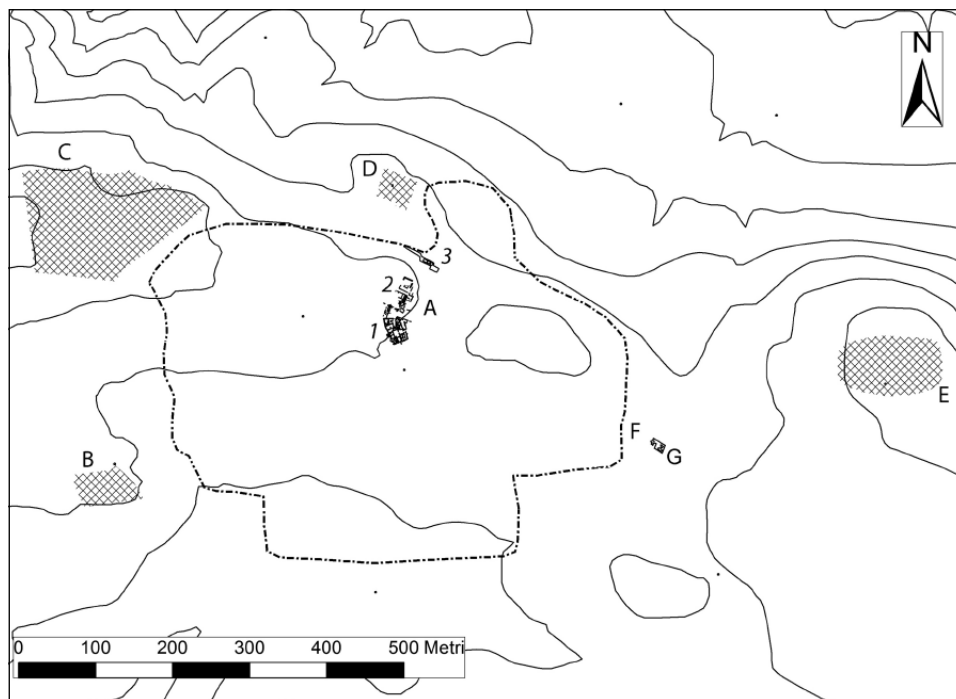


Fig. 2 – Carta archeologica di Sofiana. A: il sito di Sofiana; 1: le terme, 2: la *domus*, 3: il muro pomeriale. B: necropoli annessa alla basilica tardoantica. C: necropoli ovest. D: necropoli nord. E: necropoli est. F: estensione massima dell'abitato nel IV sec. d.C. G: impianto produttivo altomedievale.

sec. a.C. e l'inizio del I d.C. e vissuta quasi ininterrottamente, salvo una cesura alla metà circa del II sec. d.C., sino alla seconda metà del III sec. d.C.; agli abitanti di questa città si riferirebbe quindi Plinio, quando nomina i *Gelani* tra i *populi stipendiarii* (Plin. *N.H.*, III, 91), e potrebbe essere questa la *Gela* presente in Tolomeo (Ptol. III, 4, 15) in una posizione troppo interna rispetto alla costa per potersi identificare con la *Gela* greca (LA TORRE 1994, 135-136).

### 3. IL PHILOSOPHIANA PROJECT

A partire dal 2009 il sito di Sofiana è stato di nuovo oggetto di indagini nell'ambito del *Philosophiana Project*, progetto di ricerca frutto della collaborazione tra le Università di Cornell, Cambridge e Messina. Obiettivo principale del progetto è quello di ricostruire, attraverso il contesto campione del sito di Sofiana, i cambiamenti e le persistenze nelle dinamiche insediative e nei sistemi di produzione della Sicilia tardo-antica e alto-medievale (BOWES *et al.* 2011; VACCARO 2012, 2013; VACCARO, LA TORRE 2015).

Caratteristica fondamentale del progetto, sin dall'inizio, è la multidisciplinarietà dell'approccio ed infatti il *Philosophiana Project* è il primo progetto di archeologia globale dei paesaggi in Sicilia in cui archeologia ambientale e tecnologie applicate si affiancano sistematicamente alle metodologie tradizionali di ricerca.

Durante la prima stagione del progetto, nel 2009, sono state effettuate una serie di ricognizioni intra-site e prospezioni geofisiche con metodo magnetometrico al fine di stabilire l'estensione massima dell'abitato di Sofiana (BOWES *et al.* 2011). Nelle stagioni 2010 e 2011 si è proceduto con la mappatura geofisica e con survey sistematici nell'area circostante il sito; sono stati inoltre effettuati una serie di "test pits" col fine di saggiare i risultati delle prospezioni geofisiche effettuate durante la prima stagione. Nel complesso sono stati scavati 32 "test pits" di 3×3 m che hanno confermato il dato geofisico, dal quale si era riconosciuta una serie di strutture con almeno due allineamenti diversi (BOWES *et al.* 2011, 435-438).

A partire dalla stagione 2012 la multidisciplinarietà del progetto si è arricchita grazie all'apporto della geoarcheologia, della bioarcheologia e dell'archeometria e contemporaneamente si è deciso di avviare lo scavo estensivo dell'area (denominata Area 1000) compresa tra il complesso termale tardo-romano e la zona di abitato primo e medio-imperiale poco più a N (VACCARO, LA TORRE 2015, 95). L'Area 1000, tuttora in corso di scavo, presenta una stratigrafia priva di soluzioni di continuità a partire dall'età augustea fino alla fine del XII sec. d.C.

Nel 2013 è stato condotto uno scavo estensivo anche in un'area extraurbana, distante ca. 40 m da quello che è stato riconosciuto come il limite E dell'abitato nella sua massima estensione (tra IV e V sec. d.C.). Grazie alle prospezioni magnetometriche effettuate l'anno precedente, era stato possibile riconoscere delle anomalie riconducibili alla presenza di almeno tre fornaci, suggerendo quindi la presenza di un impianto di produzione extraurbano. Gli scavi e le analisi successivi hanno effettivamente portato alla luce un grande impianto produttivo attivo da fine VII-VIII sec. d.C. fino al pieno IX d.C. (VACCARO, LA TORRE 2015, 96); tale impianto, a giudicare dalla scala di produzione desunta dai dati di scavo, non si limitava a soddisfare il fabbisogno interno ma doveva inserirsi all'interno di quel sistema di scambi che dovette caratterizzare la Sicilia interna soprattutto lungo la direttrice Catania-Agrigento da età romana imperiale fino all'altomedioevo.

Le fasi di vita del sito, alla luce dei dati raccolti, sono così riassumibili:  
– Il sito nasce in epoca augustea nell'ambito del riassetto politico-amministrativo ed economico della provincia promosso da Ottaviano Augusto. Questo primo insediamento – forse la *Gela* dell'*Itinerarium Antonini* (LA TORRE 1994, 134-138) – è caratterizzato da un impianto regolare costituito da una maglia di strade ortogonali ed edifici ad uso pubblico e privato.

- Verso la fine del III sec. d.C. l'area settentrionale dell'abitato viene abbandonata, forse a causa di un evento sismico catastrofico, sebbene tale abbandono non trovi riscontro nel resto del sito.
- Tra IV e V d.C. l'abitato si sviluppa su di un'area di ca. 21 ettari, estensione che segna il momento di massima espansione nella storia del sito; questo momento coincide con il periodo di massima fioritura commerciale dello stesso – come attestato dall'afflusso di merci dall'Oriente e dall'Africa settentrionale – che durerà sino a tutto il VII sec. d.C.
- A cavallo tra l'VIII ed il IX sec. d.C. l'abitato si sviluppa su un'area di ca. 10 ettari, ma sebbene si attesti una contrazione nell'estensione dell'abitato, i siti rurali che persistono sul territorio circostante confermano una continuità nell'intenso sfruttamento delle campagne attorno al sito. A questo periodo risale l'impianto produttivo in parte scavato nel 2013.
- L'ultima fase di vita dell'insediamento di Sofiana si protrae fino a circa il 1200 d.C., quando il sito viene abbandonato.

#### 4. LA DOCUMENTAZIONE GRAFICA DEL *PHILOSOPHIANA PROJECT*

Durante la prima stagione di scavo (2012) la documentazione grafica è stata effettuata con i metodi tradizionali del rilievo diretto ed indiretto; a partire dalla seconda stagione di scavo (2013) si è sentita però la necessità di utilizzare un metodo di documentazione che permettesse di risparmiare tempo sia sullo scavo che in laboratorio, in modo tale da ottimizzare le attività del gruppo di lavoro. Riguardo le attività sul campo, infatti, l'apertura di due aree di scavo distanti ca. 380 m l'una dall'altra avrebbe ad esempio comportato la necessità di spostare di volta in volta la stazione totale da un'area all'altra con dispendio di tempo e fatica da parte degli operatori. La decisione di effettuare il rilievo tramite photomodeling ha consentito ad un singolo operatore di spostarsi agevolmente da un saggio di scavo all'altro.

A partire dal 2013 quindi le attività di rilievo si svolgono seguendo una procedura che è rimasta pressoché invariata nel corso delle successive stagioni di scavo. La prima fase delle attività prevede la battitura con stazione totale e GPS centimetrico dei vertici del saggio di scavo. Nel caso dell'Area 1000, il cui scavo è ancora in corso, la presenza di strutture murarie all'interno del perimetro di scavo consente di impostare all'interno dell'area stessa una serie di GCP (Ground Control Points) fissi. La presenza di questi punti ha una duplice funzione: permette di tenere sotto controllo eventuali errori e deformazioni dei modelli ma consente anche di utilizzare i suddetti punti come vertici per acquisizioni ravvicinate, così da evitare di abbracciare tutta l'area per inquadrare i vertici di scavo – con le conseguenti ricadute o sulla Ground Sample Distance (cfr. *infra*) o sui tempi di acquisizione ed elaborazione – e senza la necessità di utilizzare mire mobili da battere topograficamente volta per volta.



Fig. 3 – Fase di acquisizione delle foto tramite asta telescopica e fotocamera digitale.

La fase successiva del rilievo si esplica con l'acquisizione fotografica delle unità stratigrafiche da documentare: *in primis* si effettua uno schizzo sommario dell'area con l'annotazione dei punti precedentemente acquisiti tramite stazione totale; subito dopo effettuiamo la battuta fotografica vera e propria, di solito tramite l'utilizzo di un'asta telescopica estendibile fino a raggiungere l'altezza massima di 4,5 m (esclusa l'altezza dell'operatore) (Fig. 3). La distanza tra la macchina fotografica e gli oggetti da rilevare viene di volta in volta modificata in funzione sia della scala che dell'abbracciamento. Preferiamo di solito mantenere un giusto equilibrio tra scala di risoluzione del

rilievo – calcolata in base alla Ground Sample Distance (cfr. *infra*) – e necessità di abbracciare aree di una certa ampiezza al fine di velocizzare le attività.

Nel corso delle stagioni di scavo sono state utilizzate varie macchine fotografiche compatte e reflex e sono state sperimentate diverse soluzioni relativamente ai modi di acquisizione delle fotografie. Per ogni macchina fotografica utilizzata è stata effettuata la calibrazione tramite software Agisoft lens; tale software permette di stimare lunghezza focale, coordinate del punto principale e coefficienti di distorsione radiale utilizzando come target una scacchiera visualizzabile direttamente su uno schermo LCD.

Abbiamo potuto stabilire, nel corso degli anni, una precisione che si attesta su un errore variabile, nella dimensione reale, tra 0,5 cm e 5 cm, calcolato sullo scarto tra gli stessi elementi presenti in ortofoto diverse e tra questi e GCP acquisiti tramite stazione totale. La media dell'errore non si discosta molto dall'errore calcolato in altri casi in cui è stato utilizzato lo stesso software (POSER 2012, 13-14). La precisione raggiunta è risultata bastevole in rapporto alle nostre necessità, considerando che di solito un rilievo manuale a livello di scavo si assesta entro gli stessi margini di precisione, ovvero tra l'errore di graficismo<sup>2</sup> e scostamenti maggiori ma comunque tollerabili entro i limiti del buon senso (BIANCHINI 2008, 65)<sup>3</sup>. Le variazioni di precisione vanno inoltre messe in relazione con la scala di acquisizione, la quale, nel corso delle attività di rilievo, è variata in relazione alle necessità della documentazione. Nella pianificazione delle attività di rilievo si è infatti sempre tenuto conto della Ground Sample Distance, ovvero della dimensione reale di una parte del soggetto rappresentata da un pixel in una immagine digitale (DRIGGERS 2003, 1391-1392; MATTHEWS 2008, 29-31; ANDREWS 2009; ARRIGHETTI, CAVALIERI 2012, 125-127). A titolo di esempio si riportano i dati relativi a due delle macchine fotografiche utilizzate nel corso degli anni per effettuare i rilievi: una compatta molto economica – Lumix DMC-FS3 – ed una Canon EOS40D con obiettivo EF-S 17-85 mm.

Con la Lumix DMC-FS3 si è calcolato un GSD di 5,6 mm ad una distanza di ca. 3,5 m; un GSD di 2,56 mm ad una distanza di ca. 1,60 m; un GSD di 1,6 mm ad una distanza di ca. 1 m. Per quanto riguarda la Canon EOS40D, si è calcolato un GSD di 1,2 mm ad una distanza di ca. 3,5 m; un GSD di 0,5 mm ad una distanza di ca. 1,60 m; un GSD di 0,3 mm ad una distanza di ca. 1 m. I valori riportati sono in linea con i GSD massimi tollerabili consigliati

<sup>2</sup> Espresso con la formula:  $\delta$  (errore di graficismo) =  $0,2 \text{ mm} \times n$  (scala della rappresentazione), quindi in scala 1/20 pari a 0,4 cm (MEDRI 2009, 23). Nell'*English Heritage Metric Survey Specifications* la tolleranza massima è invece di +/- 6 mm (ANDREWS 2009).

<sup>3</sup> Vorrei sottolineare come l'acquisizione vettoriale di unità stratigrafiche da ortofoto diverse limiti enormemente il problema della propagazione dell'errore consentendo anzi, entro certi limiti, un "aggiustamento" delle aree di ingombro e dei rapporti tra le stesse con il procedere dello scavo.

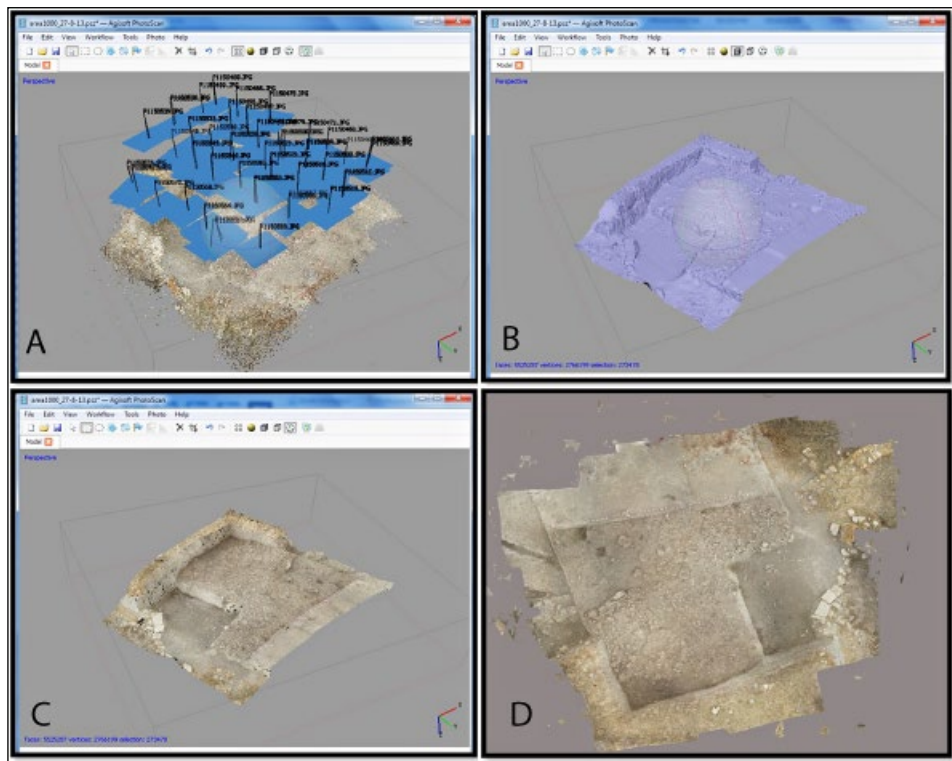


Fig. 4 – Le fasi dell’elaborazione. A: nuvola dei punti omologhi individuati. In blu la stima delle posizioni delle prese; B: modello poligonale; C: applicazione della texture; D: ortofoto (software Agisoft Photoscan v. 0.9.0).

dall’English Heritage in relazione alle scale architettoniche tipiche, ovvero 2 mm per la scala 1:50, 1 mm per la scala 1:20 e 0,5 mm per la scala 1:10.

Il successivo step prevede l’elaborazione dei dati su piattaforma informatica; si utilizza nella fattispecie il software low cost Agisoft Photoscan. Il software in questione implementa l’algoritmo di Feature Matching in grado di estrarre informazioni invarianti rispetto a rotazioni, variazioni di scala e distorsioni radiometriche. Innanzitutto viene effettuata una selezione di entità distinte in tutti i fotogrammi (feature detection); il secondo passaggio consiste nella costruzione di una lista preliminare di coppie, corrispondenti sulla base di misure di similarità fra le entità, nella quale è presente una percentuale significativa di accoppiamenti errati; si giunge infine all’elaborazione di una lista definitiva delle coppie, selezionate in base alla loro coerenza con un modello dell’oggetto.



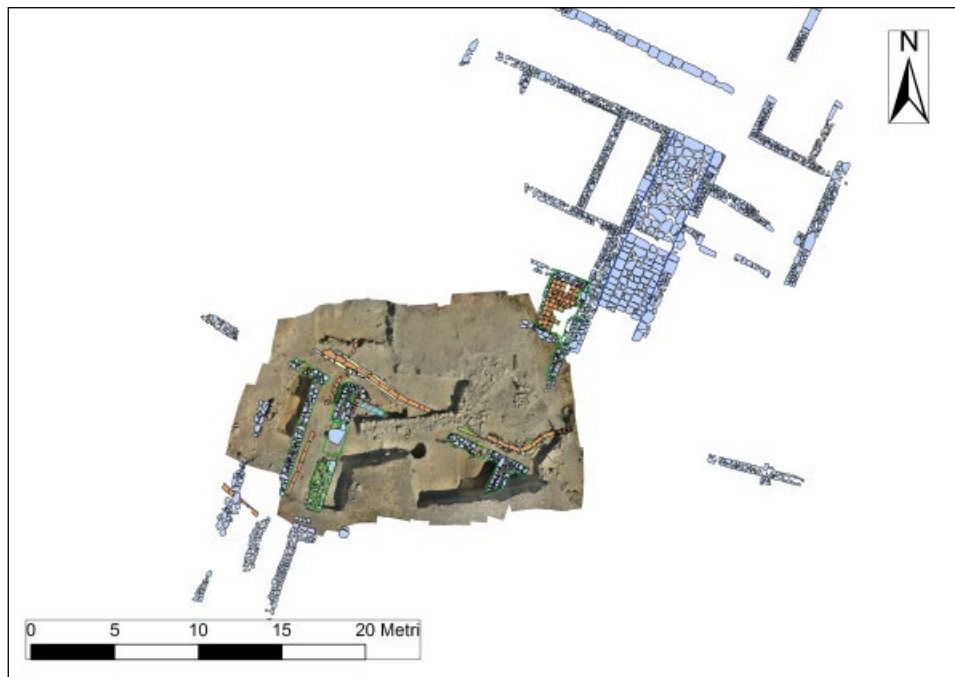


Fig. 5 – Esempio di layout dal GIS del progetto. Strutture della fase romano-imperiale del sito: l'ortofoto occupa l'area degli scavi del *Philosophiana Project* 2013 con i relativi shapefile vettorializzati a partire dalla stessa. Su sfondo neutro: le strutture rinvenute nei precedenti scavi, vettorializzate a partire dai rilievi originali.

L'ultima fase della elaborazione prevede l'utilizzo di un algoritmo di calcolo abbastanza robusto da evitare deviazioni nella soluzione dovute a false corrispondenze ed outlier (RONCELLA 2006); l'algoritmo utilizzato da Agisoft Photoscan è simile al SIFT (Scale-Invariant Feature Transform) (LOWE 1999), ma rispetto a questo permette di raggiungere un più accurato orientamento dei fotogrammi. La risoluzione dei parametri di orientamento, sia interno che esterno, viene gestita dal software con un algoritmo greedy<sup>4</sup> per definire spazialmente le varie prese fotografiche; l'operazione è poi affinata tramite l'utilizzo di un algoritmo di bundle adjustment. Il modello poligonale viene infine generato grazie a differenti algoritmi di processamento. Benché dotato di un elevato livello di automazione, il processo di modellazione tridimensionale è stato sempre monitorato nelle sue varie fasi: allineamento dei

<sup>4</sup> Si tratta di un algoritmo che cerca di ottenere una soluzione ottimale dal punto di vista globale, attraverso la scelta della soluzione più greedy (ingl. goloso, avido, bramoso) ad ogni passo locale.

fotogrammi, creazione del modello poligonale e texturing (Fig. 4). Il risultato ottenuto alla fine di questo processo in larga parte automatizzato consiste in un modello fotorealistico dal quale poi estrapoliamo ortofoto metricamente corrette di planimetrie e sezioni. Ulteriore passo è l'importazione di piani e sezioni su piattaforma GIS per consentire la vettorializzazione delle US e la compilazione dell'attribute table a queste associata (Fig. 5).

## 5. IL RILIEVO ARCHEOLOGICO: ALCUNE RIFLESSIONI

La documentazione grafica di uno scavo archeologico riveste un'importanza equivalente a quella dello scavo stesso. Di conseguenza, come si pretende oggi dallo scavatore l'utilizzo di una robusta metodologia e di una prassi ormai consolidata, altrettanto si dovrebbe pretendere dal rilevatore. Malgrado l'archeologia vanti una lunghissima tradizione legata al rilievo archeologico (per una breve ma esaustiva storia del rilievo in archeologia cfr. PAOLINI 2010) – ritenuto, almeno in teoria, fondamentale per la comprensione e lo studio successivo delle evidenze archeologiche – all'atto pratico lo stesso viene a volte visto più come un intralcio che non come uno degli strumenti principali della ricerca. Spesso questo avviene poiché gli archeologi che dirigono i lavori negli anni di studio non sempre sono stati formati al rilievo e dunque hanno difficoltà a comprenderne non solo i vantaggi, ma soprattutto i limiti e le difficoltà intrinseche. Ne consegue che spesso il rilievo è affidato a non specialisti. Inoltre, in molti scavi, soprattutto universitari, raramente le attività di rilievo sono effettuate, o almeno supervisionate, da un singolo professionista, il che comporta una mancanza di omogeneità del dato finale.

Ovviamente non si può biasimare lo scavatore che voglia ottenere il massimo delle informazioni nel minor tempo possibile, anche e soprattutto perché l'archeologo dovrà in ogni caso fare i conti con tempi ristretti e frenetici legati di volta in volta a scadenze di permessi, fattori ambientali, limiti di budget e tutti gli altri problemi che ogni addetto ai lavori ben conosce. In definitiva accade di frequente che ci si trovi di fronte ad uno dei seguenti scenari:

a) Una situazione nella quale per effettuare il rilievo si sottrae tempo prezioso alle attività di scavo, il che spesso avviene o per eccesso di pignoleria da parte di un ottimo rilevatore oppure per scarsa preparazione ma forte senso del dovere di un rilevatore inesperto. In questo caso, alla fine del lavoro si avrà nella migliore delle ipotesi un ottimo rilievo o, nella peggiore, poco più di uno schizzo misurato, ma in ogni caso il rilievo avrà ostacolato e rallentato le attività di scavo.

b) Una situazione nella quale si fa pressione affinché le attività di rilievo siano il più possibile veloci, ma senza che ciò comporti l'utilizzo di metodi speditivi di acquisizione. In questo caso avremo con buone probabilità una documentazione piuttosto carente quando non addirittura viziata da errori

grossolani, sempre tenendo in debito conto le variabili legate alla preparazione dell'operatore. Tra l'altro il tempo impiegato sarà comunque perduto, in quanto l'attività di rilevamento non sarà un momento di studio e di conoscenza ma di registrazione di elementi sui quali non sarà possibile tornare successivamente perché probabilmente subiranno il processo distruttivo dello scavo archeologico.

Nel ragionamento appena esposto è stata volontariamente trascurata la distinzione tra rilievo diretto e rilievo indiretto; nella prassi delineare una separazione netta tra i due metodi è un'operazione prettamente astratta, in quanto sul cantiere i vari metodi di rilievo vengono utilizzati sinergicamente o in funzione di una situazione specifica. In ogni caso velocità e precisione sono inversamente proporzionali (così come la mancanza di un operatore esperto o la necessità, da parte dello stesso, di delegare parte delle attività a terzi), e creeranno una serie di problemi come ad esempio una disomogeneità dei dati legata alla differenza di preparazione degli operatori coinvolti e alla soggettività degli stessi in relazione agli elementi da rilevare.

Si consideri tra l'altro che la precisione maggiore idealmente associata alla stazione totale è una precisione prettamente metrica, ma la caratterizzazione delle evidenze e la selezione stessa dei punti da acquisire sono a discrezione di chi disegna nel primo caso e di chi tiene il prisma nel secondo, e spesso queste due figure non coincidono.

Una ulteriore precisazione andrebbe fatta circa la natura e le caratteristiche dell'oggetto da rilevare. Quando si parla di rilievo in archeologia, infatti, si tende ancora a considerare in primo luogo il rilievo architettonico, con tutte le sue regole e i suoi proponimenti, e solo secondariamente il rilievo di scavo propriamente detto. Ne consegue che si tende ad applicare non solo lo stesso *modus operandi*, ma finanche la stessa etica ai due tipi di rilievo. Ma se è vero com'è vero che nel rilievo architettonico l'attività stessa del rilevare è uno strumento di conoscenza e di analisi, soprattutto nel caso in cui il rilevatore è colui che sta conducendo lo studio del monumento in questione, è anche vero che in fase di scavo il momento di conoscenza e analisi sul campo consiste soprattutto nell'attività di scavo stratigrafico, mentre il rilievo ricoprirà un ruolo fondamentale solo quando si dovranno tirare le somme unendo tutti i risultati ottenuti. Così se applicassimo ad ogni US il principio di rilievo come momento analitico, ci troveremmo ad avere una conoscenza approfonditissima e possibilmente inutile (almeno in quel momento) di una infinitesima parte dello scavabile; viceversa, affrontando velocemente e senza criterio il rilievo di scavo, ci troveremo, allorquando bisognerà rimettere assieme tutti i tasselli, a non avere la base fondamentale sulla quale ordinarli. Infine, il rilievo rappresenterà con ogni probabilità l'unica testimonianza delle fasi di asportazione che sono alla base dell'attività di scavo, ovvero l'unica prova della bontà o meno del nostro operato e l'unico strumento che possa

in qualche modo avvicinare lo scavo archeologico ad un processo scientifico, in quanto, se non ripetibile, almeno “ricostruibile” a ritroso.

Nell’ambito del rilievo indiretto rientra a pieno titolo anche il metodo fotogrammetrico (BIANCHINI 2008, 147-158; RUSSO, REMONDINO, GUIDI 2011, 181-187). È ormai comune nei cantieri l’utilizzo della fotogrammetria monoscopica per la documentazione delle evidenze di scavo, mentre l’utilizzo della fotogrammetria stereoscopica è molto spesso stato relegato, almeno per quel che riguarda lo scavo archeologico, alla documentazione di elementi di particolare interesse, trovando invece maggiore fortuna nel rilievo architettonico. Il maggiore limite della fotogrammetria stereoscopica consiste nella complessità delle attività di acquisizione che richiedono la presenza di un operatore dotato di un know how approfondito, oltre al fatto che la strumentazione necessaria male si presta all’acquisizione di foto da posizione verticale, rendendo così molto difficile la produzione di planimetrie (BOGDANI *et al.* 2007, 41) che, come ben sappiamo, dovrebbero rappresentare la documentazione cardine per la ricostruzione della stratigrafia (HARRIS 1979).

## 6. LA FOTOMODELLAZIONE 3D

Il recentissimo sviluppo della fotomodellazione 3D, soprattutto image-based con algoritmi Structure from Motion, rappresenta una vera e propria rivoluzione nell’applicazione della fotogrammetria a livello di scavo (per una disamina sul significato di tale neologismo e sul rapporto tra fotomodellazione e fotogrammetria cfr. PARIS 2012). Tale tecnologia consente di ottenere con una semplice macchina fotografica dei modelli tridimensionali paragonabili a quelli ottenibili con un laser scanner o con la stereofotogrammetria tradizionale, ma molto più velocemente, ed offre perciò una serie di nuove opportunità nella documentazione speditiva di scavo. Negli ultimi anni si sono susseguiti numerosi contributi scientifici relativi all’applicazione della fotomodellazione 3D all’archeologia, con disamine, confronti e censimenti dei metodi e software a disposizione (cfr. ad es. ARRIGHETTI 2012; KERSTEN, LINDSTAEDT 2012; LO BRUTTO, MELI 2012) e casi studio di rilievi monumentali effettuati tramite fotomodellazione (cfr. FANGI *et al.* 2011, in cui è presentato un utilizzo integrato di più metodi per fini prevalentemente divulgativi; OLIVITO, TACCOLA 2014).

Le strategie per l’orientamento automatico che sfruttano gli applicativi della computer vision, come già detto, sono denominate Structure from Motion o Structure and Motion; si tratta di algoritmi che consentono di calcolare in contemporanea i parametri di orientamento interno ed esterno e le coordinate dei punti oggetto. In pratica si procede innanzitutto con il selezionare sui fotogrammi una serie di elementi puntuali riscontrabili su tutte le sequenze di immagini prodotte. Una volta completata l’operazione di riconoscimento delle corrispondenze ed il concatenamento delle immagini, i parametri incogniti

vengono calcolati simultaneamente. Al fine di ottenere una ricostruzione ottimale della geometria dell'oggetto, è necessario effettuare una procedura di auto-calibrazione della camera utilizzata mediante un sistema risolvante ai minimi quadrati (bundle adjustment).

Nel corso degli ultimi anni sono andate sviluppandosi diverse procedure fotogrammetriche per l'orientamento dei blocchi terrestri che, sebbene implementino algoritmi differenti, si basano sostanzialmente su uno schema comune.

## 7. CONCLUSIONI

Uno dei limiti principali di una missione archeologica è il tempo. È ormai pienamente accettato come nell'archeologia "d'emergenza" sia spesso necessario utilizzare metodi di documentazione speditivi al costo di sacrificare la precisione (MEDRI 2006, 165-167); si sottovaluta però quanto questa esigenza di velocizzare il più possibile le attività in cantiere sia ormai una necessità sentita anche dalle missioni archeologiche con fini di ricerca. Per quanto riguarda l'Italia in particolare, la cronica carenza di fondi fa sì che sempre più spesso gli scavi scientifici richiedano ritmi serrati, ma al di là del seppure importantissimo fattore economico, vanno tenute in considerazione le scadenze di permessi, le condizioni metereologiche e via dicendo; spostandoci su scala per così dire "mondiale", è inutile negare come la situazione geopolitica attuale non permetta, soprattutto in certi territori, di impostare un progetto di lunga durata, ma costringa purtroppo a ragionare sulla singola stagione di ricerca.

Proprio in funzione della necessità di velocizzare e ottimizzare le attività sul campo, lo sviluppo di software Structure from Motion sempre più user friendly promette di avere un impatto sull'archeologia almeno pari all'introduzione del GIS. A tutt'oggi, la fotomodellazione 3D non viene applicata di frequente per la documentazione quotidiana dello scavo (per esempi in questa direzione cfr. DONEUS *et al.* 2011; FORTE *et al.* 2012; BUSCEMI *et al.* 2014; SORDINI 2014; SORDINI *et al.* 2016; per una recentissima disamina sulla documentazione 3D applicata alla ricerca archeologica cfr. CAMPANA, REMONDINO 2014), ma vengono impiegate molto più spesso nelle analisi tipiche dell'archeologia dell'architettura, in particolare per la lettura delle stratigrafie murarie, per il restauro archeologico e, qualora si tratti di scavo, per documentare una determinata fase dello stesso o un elemento di particolare interesse. Eppure, come precedentemente detto, oggi tali tecnologie sono alla portata di qualunque archeologo che abbia almeno una infarinatura di base rispetto al 3D ed alla fotogrammetria.

Nel caso del *Philosophiana Project* l'aver sistematicamente utilizzato la fotomodellazione 3D ha permesso di avere un modello 3D per ogni US scavata dal 2013 ad oggi (Fig. 6). La possibilità di lavorare su modelli 3D georeferenziati ha consentito di analizzare metricamente unità stratigrafiche



Fig. 6 – Il *Philosophiana Project* dal 2012 al 2015 attraverso le ortofoto dell'area di scavo (ortofoto del 2012 elaborata da foto di P. Nannini acquisite da kite).

ormai asportate, con la possibilità di apprezzarne la volumetria e i rapporti reciproci nelle tre dimensioni, con notevoli vantaggi sia in fase di interpretazione che di divulgazione.

Un altro vantaggio dell'utilizzare tale metodo di documentazione è consistito nella possibilità di preventivare il tempo necessario per le acquisizioni fotografiche: procedendo con scatti regolari da asta telescopica regolata ad una data altezza, eseguendo quindi delle vere e proprie strisciate in senso bustrofedico per ottenere un adeguato sidelap ed overlap tra fotografie ed una copertura totale dell'area (Fig. 7), abbiamo avuto la certezza che il tempo necessario all'acquisizione del trench di scavo prima dell'inizio delle attività sarebbe stato uguale al tempo necessario a documentare l'ultima fase dello scavo stesso, per il semplice motivo che l'acquisizione delle fotografie non è influenzata dal numero degli elementi da documentare, ma semplicemente dalle dimensioni dell'area oggetto di indagine e dalla qualità delle evidenze; riguardo quest'ultima caratteristica, stabilire in precedenza la scala desiderata in funzione delle evidenze attese permette di produrre specifici modelli operativi che tengano conto della distanza di presa e del tipo di macchina utilizzato.

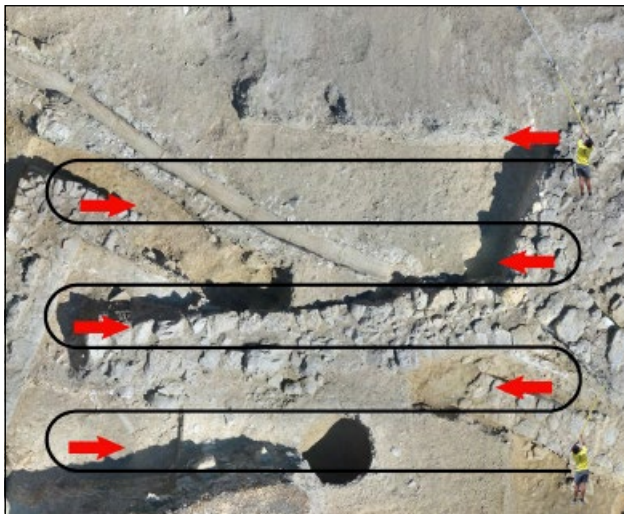


Fig. 7 – Rappresentazione schematica esemplificativa del metodo di acquisizione delle foto.

Questa possibilità di controllare e preventivare la tempistica delle attività di rilievo è in diretta controtendenza rispetto ad esempio al rilievo manuale, i tempi del quale non sono quantificabili se non nel momento in cui gli elementi da rilevare siano già stati esposti. Naturalmente i tempi della fase di digitalizzazione delle evidenze scavate sono uguali in entrambi i casi, ma non dimentichiamo che questa seconda fase, effettuandosi in laboratorio, non influenza direttamente la tempistica delle attività sul campo.

L'integrazione della computer vision e della fotogrammetria tradizionale – che come già detto ha visto soprattutto negli ultimi cinque anni una sempre maggiore applicazione nell'ambito dei beni culturali grazie allo sviluppo di software low cost o open source che utilizzano algoritmi di Structure from Motion – consente di coniugare rigorosi modelli geometrici con un processo dall'elevata automazione (LO BRUTTO, SPERA 2011); ma sebbene i processi di elaborazione di molti software siano in gran parte automatizzati e anche un operatore poco esperto possa ottenere dei buoni modelli fotorealistici, va però tenuto in debito conto come l'utilizzo di tale metodo al fine di ottenere una documentazione precisa, e non semplicemente bella da vedere, richieda comunque un know how legato ai modi dell'acquisizione e dell'elaborazione delle immagini, oltre ad una conoscenza della computer grafica 3D e dei principi della fotogrammetria; a ciò si aggiunga che un metodo di rilievo speditivo non può in nessun caso giustificare lacune, da parte del responsabile del rilievo, sulle teorie e tecniche del rilievo archeologico e architettonico.

A tale proposito, Giuliani in un recente contributo scrive che «una rilevazione non può essere altro che precisa o imprecisa, indipendentemente dai mezzi che si adoperano» (GIULIANI 2012, 21). Credo di non fraintendere le parole dello studioso affermando che ciò è legato non soltanto alla precisione delle misurazioni – la quale ammette diversi gradi di tolleranza in relazione all'oggetto del rilievo, ma anche e soprattutto alla comprensione di ciò che si sta rilevando – dalla quale conseguiranno la scelta della scala di rappresentazione, il livello di dettaglio, il tipo di caratterizzazione etc., tutti elementi che, per l'appunto, non dipendono dal metodo utilizzato quanto piuttosto dalla preparazione del rilevatore. D'altro canto non si può negare una verità che spesso continua ad essere fraintesa, ovvero che soprattutto nella pratica vi è una sostanziale differenza tra il rilievo di scavo ed il rilievo dei monumenti, ed anche in questo caso vanno tenute in considerazione una serie di sfumature legate al contesto stesso dello scavo e delle evidenze portate alla luce. Quanto appena detto è chiaro, lampante ed ampiamente accettato dal punto di vista teorico, ma sul campo si sente ancora parlare di rilievo diretto come momento di conoscenza ed analisi in contrapposizione al rilievo indiretto, anche quando lo scavo consta solo di strati di frequentazione privi di qualsivoglia evidenza monumentale ed il rilevatore ha alle spalle il bagaglio di una settimana di tirocinio.

L'esperienza della documentazione grafica relativa al *Philosophiana Project* dimostra l'utilità della presenza sul campo di un operatore con solide basi di teoria del rilievo e con le competenze necessarie per stabilire, di volta in volta, quale sia il metodo più utile per documentare una determinata evidenza. Questo può risolvere in parte un problema già esposto in questo articolo, ovvero il fatto che raramente in una missione archeologica i rilievi sono tutti effettuati dalla stessa persona, con relative conseguenze legate al diverso grado di competenza dei rilevatori, alla differente formazione, alle differenti priorità; la velocità di acquisizione sul campo rende possibile la gestione anche di differenti aree di scavo da parte di una sola persona, la quale potrà essere agevolmente la stessa che si occuperà della vettorializzazione dei rilievi con conseguente utilizzo di un linguaggio univoco e omogeneo. Ciò non è a detrimento di una concezione del rilievo come momento conoscitivo e analitico fondamentale: il fatto che sia una sola persona ad occuparsi del rilievo, sebbene non diretto, garantisce una continuità analitica ben superiore rispetto ad un rilievo diretto effettuato da più mani (e relative teste) diverse.

Mi preme sottolineare, ancora una volta, come quanto detto sia riferito essenzialmente alla documentazione di scavo archeologico. Ritengo infatti che se l'obiettivo di un progetto è quello dell'analisi critica di un monumento, il rilievo diretto rappresenti una attività analitica di prim'ordine per comprendere appieno l'oggetto dello studio senza limitarsi ad una semplice registrazione degli elementi costitutivi della stessa o ad una lettura superficiale delle sue caratteristiche. Anche in questo caso però, è giusto sottolineare come le



tecnologie consentano di ottenere una serie di dati che l'operatore esperto sarà capace di "far parlare" così da ottenere informazioni che andranno invariabilmente a sommarsi alle conoscenze ottenute grazie ai metodi "tradizionali", partendo naturalmente dal presupposto che chi rileva il monumento abbia gli strumenti teorici necessari per comprendere l'oggetto del suo studio.

MARCO SFACTERIA

Dipartimento di Civiltà Antiche e Moderne  
Università degli Studi di Messina  
marco.sfacteria@virgilio.it

## BIBLIOGRAFIA

- ADAMESTEANU D. 1963, *Nuovi documenti paleocristiani nella Sicilia centro-meridionale*, «Bollettino d'Arte», n.s. III, 259-274.
- AMICO V. 1855, *Dizionario topografico della Sicilia*, I, Palermo.
- ANDREWS D. (ed.) 2009, *Metric Survey Specification for Cultural Heritage*, Swindon, English Heritage.
- ARRIGHETTI A. 2012, *Tecnologie fotogrammetriche e registrazione 3D della struttura materiale: dal rilievo alla gestione dei dati*, «Archeologia e Calcolatori», 23, 283-298.
- 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, 121-134.
- BIANCHINI M. 2008, *Manuale di rilievo e di documentazione digitale in archeologia*, Roma, Aracne.
- BOGDANI J., FIORINI A., SILANI M., ZANFINI M. 2007, *Esperienze di stereofotogrammetria archeologica*, «Ocnus», 15, 27-44.
- BONACASA CARRA R.M., PANVINI R. 2002, *La Sicilia meridionale tra II e VI sec. d.C.*, Catalogo della mostra, Caltanissetta, S. Sciascia.
- BOWES K., GHISLENI M., LA TORRE G.F., VACCARO E. 2011, *Preliminary report on Sofianal Mansio Philosophiana in the hinterland of Piazza Armerina*, «Journal of Roman Archaeology», 24, 423-449.
- BUSCEMI F., MILITELLO P., D'AGOSTINO G., SAMMITO A.M. 2014, *Tecniche di fotomodellazione per la documentazione e la comunicazione in archeologia: il sito di Calicantone (RG)*, «Archeologia e Calcolatori», 25, 131-156.
- CALDERONE S. 1984, *Contesto storico, committenza e cronologia*, in *La villa romana del Casale di Piazza Armerina. Atti della IV riunione scientifica della scuola di Perfezionamento in Archeologia Classica dell'Università di Catania (Piazza Armerina 1983)*, «Critica d'Arte», 23, 13-57.
- CAMPANA S., REMONDINO F. 2014, *3D Recording and Modelling in Archaeology and Cultural Heritage. Theory and Best Practices*, BAR International Series 2598, Oxford.
- DONEUS M., VERHOEVEN G., FERA M., BRIESE C., KUCERA M., NEUBAUER W. 2011, *From deposit to point cloud. A study of low-cost computer vision approaches for the straightforward documentation of archaeological excavation*, in *23<sup>rd</sup> International CIPA Symposium*, Prague, 81-88 (<http://geoinformatics.fsv.cvut.cz/pdf/geoinformatics-fce-ctu-2011-06.pdf>).
- DRIGGERS R.G. (ed.) 2003, *Encyclopedia of Optical Engineering*, Dekker, Marcel Inc.
- FANGI G., MALINVERNI E.S., D'ANNIBALE E., TASSETTI A.N., BOZZI C.A. 2011, *Metodi innovativi per la documentazione e valorizzazione di siti archeologici*, in *Atti 15<sup>a</sup> Conferenza Nazionale ASITA (Reggia di Colorno 2011)*, 981-992 (<http://atti.asita.it/ASITA2011/Pdf/350.pdf>).

- FORTE M., DELL'UNTO N., ISSAVIA J., ONSUREZA L., LERCARIA N. 2012, *3D Archaeology at Çatalhöyük*, «International Journal of Heritage in the Digital Era», 1, 3, 352-378.
- GIULIANI C.F. 2012, *Archeologia oggi, la fantasia al potere*, «Quaderni di Archeologia e di Cultura classica», 2, 5-48.
- HARRIS E.C. 1979, *Principi di stratigrafia archeologica* (con introduzione di D. Manacorda), Roma, Nuova Italia Scientifica.
- KERSTEN T.P., LINDSTAEDT M. 2012, *Image-based low-cost systems for automatic 3D recording and modelling of archaeological finds and objects*, in M. IOANNIDES, D. FRITSCH, J. LEISSNER, R. DAVIES, F. REMONDINO, R. CAFFO (eds.), *Progress in Cultural Heritage Preservation, Proceedings of the 4<sup>th</sup> International Conference, EuroMed (Limassol, Cyprus 2012)*, New York, Springer-Verlag, 1-10.
- LA TORRE G.F. 1993-1994, *Mazzarino (CL) – Contrada Sofiana. Scavi 1988-1990*, «Kokalos», 39-40, II, 1, 765-770.
- LA TORRE G.F. 1994, *Gela sive Philosophianis (It. Antonini, 88,2): Contributo per la storia di un centro interno della Sicilia romana*, «Quaderni dell'Istituto di Archeologia dell'Università di Messina», 9, 9-139.
- LO BRUTTO M., MELI P. 2012, *Computer vision tools for 3D modelling in archaeology*, «International Journal of Heritage in the Digital Era», 1, Suppl. 1, 1-6.
- LO BRUTTO M., SPERA M.G. 2011, *Sperimentazione di procedure automatiche in fotogrammetria close-range per il rilievo di Beni Culturali*, in *Atti 15<sup>a</sup> Conferenza Nazionale ASITA (Reggia di Colorno 2011)*, 1427-1428.
- LOWE D.G. 1999, *Object recognition from local scale-invariant features*, in *Proceedings of the Seventh IEEE International Conference on Computer Vision (Kerkyra 1999)*, 2, IEEE, 1150-1157.
- MATTHEWS N.A. 2008, *Aerial and Close-Range Photogrammetric Technology: Providing Resource Documentation, Interpretation, and Preservation. Technical Note 428*, U.S. Department of the Interior, Bureau of Land Management, National Operations Center, Denver, Colorado.
- MEDRI M. 2006, *Manuale di rilievo archeologico*, Bari-Roma, Laterza.
- OLIVITO R., TACCOLA E. 2014, *3D modelling in the agora of Segesta: Techniques and data interpretation*, «Archeologia e Calcolatori», 25, 175-188.
- PAOLINI P. 2010, *Per un storia del disegno di rilievo architettonico*, «Ikhnos. Annale di Analisi grafica e Storia della Rappresentazione», 69-92.
- PARIS L. 2012, *Fotogrammetria e/o fotomodellazione*, in A. CASALE (ed.), *Geometria descrittiva e rappresentazione digitale. Memoria e innovazione*, II, Roma, Edizioni Kappa, 55-62.
- POSER J. 2012, *Comparative imagery analysis of non-metric cameras from unmanned aerial survey aircraft*, «Papers in Resource Analysis», 14, Winona, MN, Saint Mary's University of Minnesota Central Services Press (<http://www.gis.smumn.edu/GradProjects/PoserJ.pdf>).
- RONCELLA R. 2006, *Sviluppo e applicazioni di tecniche di automazione in fotogrammetria dei vicini*, Tesi di Dottorato in Ingegneria Civile, dell'Ambiente e del Territorio e Architettura, Università degli Studi di Parma.
- RUSSO M., REMONDINO F., GUIDI G. 2011, *Principali tecniche e strumenti per il rilievo tridimensionale in ambito archeologico*, «Archeologia e Calcolatori», 22, 169-198.
- SORDINI M. 2014, *Località Castiglioncello: Metodologie e tecniche di rilievo 3D*, «Notiziario della Soprintendenza per i Beni Archeologici della Toscana», 10, 300-302.
- SORDINI M., BROGI F., CAMPANA S. 2016, *3D recording of archaeological excavation: The case study of Santa Marta*, in S. CAMPANA, R. SCOPIGNO, G. CARPENTIERO, M. CIRILLO (eds.), *CAA 2015, Proceedings of the 43<sup>rd</sup> Annual Conference on Computer Applications and Quantitative Methods in Archaeology*, I, Oxford, Archaeopress, 383-392.
- VACCARO E. 2012, *Re-evaluating a forgotten town using intra-site surveys and the GIS analysis of surface ceramics: Philosophiana-Sofiana (Sicily) in the longue durée*, in P. JOHNSON, M. MILLETT (eds.), *Archaeological Survey and the City*, Oxford, Oxbow Books, 107-145.

- VACCARO E. 2013, *Sicily in the Eighth and Ninth centuries AD: A case of persisting economic complexity?*, «Al-Masaq: Islam and the Medieval Mediterranean», 25, 1, 34-69.
- VACCARO E., LA TORRE G.F. 2015, con contributi di C. Capelli, M. Ghisleni, A.M. Mercuri, G. Lazzeri, M. MacKinnon, A. Pecci, E. Rattighieri, S. Ricchi, E. Rizzo, M. Sfacteria, *La produzione di ceramica a Philosophiana (Sicilia centrale) nella tarda età bizantina: metodi di indagine ed implicazioni economiche*, «Archeologia Medievale», 42, 55-93.

## ABSTRACT

The author illustrates the graphic documentation process that has been developed during the excavations at Sofiana in the Municipality of Mazzarino (CL, Sicily), as part of the *Philosophiana Project*. The project started in 2012 thanks to the cooperation between the Universities of Cornell, Cambridge and Messina and since the beginning it was necessary to document the excavations speedily, but without the loss of measurement accuracy featuring a well-established methodology of archaeological survey. The pipeline of the work has consisted in digitising archaeological contexts in a GIS platform from an orthophoto produced with 3D photomodeling. This process resulted in an optimal documentation according to the project requirements. The author also focuses on the importance of graphic documentation, which should be as important as the excavation process itself. Despite archaeology having a long tradition in the field of archaeological survey, this process is often perceived as a necessity rather than a key research tool. For this reason surveys are not always carried out by a professional figure, causing a lack of homogeneity in the final data.

