

TECNICHE DI DOCUMENTAZIONE DEI TAPPETI MUSIVI  
DEL SITO ARCHEOLOGICO  
DI UMM AL-RASAS – KASTRON MEFAA (GIORDANIA)

1. IL SITO ARCHEOLOGICO DI UMM AL-RASAS

Il sito archeologico di Umm Al-Rasas si trova a ca. 30 km a SE della città di Madaba (Giordania): a N dello wadi Mujib, copre una decina di ettari sull'altopiano di Moab. I resti consistono in un'imponente area fortificata da un muraglione di 158 per 140 m (Fig. 1), con contrafforti e quattro torri angolari, occupata da numerosi edifici; all'esterno, nella parte settentrionale, si estende una fitta area di edifici, identificati sia come sacri sia come abitazioni (PICCIRILLO 2008).

Il toponimo arabo della località Umm Al-Rasas (madre del Piombo), dovuto alla presenza tra i grandi blocchi di pietra delle mura di un fine strato di piombo al posto della malta, fu registrato da Ulrich Seetzen (1767-1811), il primo esploratore europeo ad addentrarsi nel 1806 nel territorio transgiordano allora sotto il controllo esclusivo delle tribù beduine, anche se giuridicamente facente parte dell'impero ottomano. Nel 1896 vi giungono da Gerusalemme Siméon Vailhé e J. Germer-Durand del convento di Notre-Dame de France. I due padri riconoscono nei resti all'interno delle mura un possibile campo romano che, messo in relazione con un testo geografico dell'*Onomasticon* di Eusebio (Eus., *On.* 128, 21), poteva dare la chiave per l'identificazione storica dei resti archeologici. Principalmente fu padre Germer-Durand a soffermarsi per primo sulla possibile identificazione storica delle rovine del campo romano con la città biblica di *Mefaat* (PICCIRILLO, ALLIATA 1994).

L'identificazione certa di Umm Al-Rasas con l'antica *Kastron Mefaa*, già ipotizzata da Germer-Durand, è il risultato più importante delle indagini scientifiche realizzate sul campo dallo Studium Biblicum Franciscanum (PICCIRILLO 1991, 1994), che ha condotto le ricerche archeologiche a partire dal 1986 fino al 2004 con il sostegno del Dipartimento delle Antichità del Regno Hashemita di Giordania. Il rinvenimento delle iscrizioni dei mosaici delle due chiese, dal punto di vista storico, ha permesso di ottenere l'identificazione delle rovine di Umm Al-Rasas con *Kastron Mefaa*, almeno due importanti date per la cronologia assoluta del complesso ecclesiastico, e altre preziose notizie di primario interesse per la ricostruzione storica di diversi aspetti della vita della popolazione cristiana di *Kastron Mefaa*.

Le ricerche archeologiche dirette da padre Michele Piccirillo hanno fatto emergere una realtà complessa e inaspettata: un fortilizio romano e un gran numero di edifici sacri che alla fine dell'VIII secolo sotto la sovranità del califfato



Fig. 1 – Vista panoramica dell'area di Umm Al-Rasas in Giordania. È possibile vedere le rovine del castrum e il capannone che ospita le due chiese (Google maps).

arabo conservava ancora la sua identità cristiana pienamente organizzata e con grande vitalità artistica. Il complesso religioso più rilevante è quello di Santo Stefano, dal nome del protodiacono e protomartire al quale era dedicata la chiesa principale, sviluppatosi tra il VI e l'VIII secolo e costituito almeno da quattro edifici intercomunicanti: la chiesa dell'Edicola, la più antica, la chiesa del Vescovo Sergio, a cui appartengono il battistero e la cappella funeraria in facciata, la chiesa di Santo Stefano e la chiesa del Cortile, ricavata tra le tre chiese.

Dall'osservazione delle murature affioranti e dalle date conservate nelle iscrizioni dei pavimenti mosaicati, il gruppo di archeologi guidati da Piccirillo ha individuato due fasi principali del complesso. In periodo bizantino, nella seconda metà del VI secolo, fu costruita la chiesa del Vescovo Sergio mosaicata nel 587, la quale era affiancata a SE a un edificio preesistente che in epoca omayyade fu sostituito dalla chiesa di Santo Stefano. Nell'iscrizione del mosaico della chiesa di Santo Stefano ai lati dell'altare si legge che al tempo del Vescovo Giobbe nel 756 il mosaicista *Staurachius* e il suo collega *Euremius* mosaicarono il bema. Una équipe diversa di mosaicisti che restò anonima realizzò la decorazione del corpo della chiesa eseguita al tempo del Vescovo Sergio II. Le cifre restaurate della data dell'iscrizione dedicatoria nella navata

centrale lungo il gradino del presbiterio non permettono di precisare meglio l'anno, anche se lo stile del mosaico rinvia all'epoca omayyade. Il complesso di Santo Stefano si caratterizza come un insieme architettonico sviluppatosi tra il VI e l'VIII-IX secolo d.C., epoca dell'abbandono.

Il presente lavoro si è concentrato sulla prestigiosa decorazione musiva realizzata in momenti diversi nelle chiese del Vescovo Sergio e di Santo Stefano, entrambe a tre navate, monoabsidate con il presbiterio rialzato di due gradini. Il programma decorativo della chiesa del Vescovo Sergio prevede in primo luogo la rappresentazione della vendemmia, caratterizzata dalla presenza di tralci di vite e foglie di acanto utilizzate anche per frazionare la superficie della navata centrale. Notevole è la ricchezza compositiva con la quale si è voluto dare risalto all'altare mettendo in evidenza l'iscrizione dedicatoria con il nome del vescovo Sergio. Un altro tema che nel programma figurativo ha una notevole preponderanza è la ricca serie di benefattori raffigurati, impegnati in lavori di ogni genere. La chiesa di Santo Stefano è caratterizzata da due motivi fondamentali: sul pannello centrale, pensato come unico tappeto frazionato da girali e tralci di vite, vengono rappresentate scene di pastorizia, caccia e vendemmia racchiuse in un paesaggio nilotico. Per decorare gli stretti e lunghi spazi dell'intercolumnio, vignette delle principali città di Palestina (intercolumnio Nord) e Giordania (intercolumnio Sud) (PICCIRILLO 1986). Dal punto di vista iconografico e artistico, nonostante le asportazioni patite dai motivi figurativi durante la crisi iconofoba, i due programmi musivi risultano ancora due lavori eccellenti per tecnica di realizzazione e scelta dei motivi dei maestri mosaicisti attivi nella regione di Madaba in epoca bizantino-omayyade.

Infine, a partire dal 2004 il sito è stato iscritto nella Lista del Patrimonio Mondiale in occasione della 28<sup>a</sup> sessione del Comitato del Patrimonio Mondiale tenutasi dal 28 giugno al 7 luglio 2004 a Suzhou (Cina).

D.P.

## 2. METODOLOGIA, SVILUPPO E PROSPETTIVE DEL PROGETTO

### 2.1 *Le campagne di rilevamento 2013-2016*

A partire dal 2013 l'Istituto per le Tecnologie Applicate ai Beni Culturali (ITABC) del CNR ha iniziato una fase di investigazioni con il co-finanziamento del Ministero degli Affari Esteri e della Cooperazione Internazionale, DGSP VI, con un progetto di documentazione, musealizzazione e valorizzazione del sito di Umm Al-Rasas, nell'ambito di quanto stabilito dalle Commissioni dell'UNESCO nelle loro successive visite come priorità e misure di urgenza da effettuare. Si tratta di un progetto interdisciplinare che in futuro potrà portare a una completa fruizione dell'area archeologica.

Finora sono state condotte tre fruttuose campagne di lavoro sul campo seguite da un lungo periodo di elaborazione dei dati. Il lavoro si è focalizzato

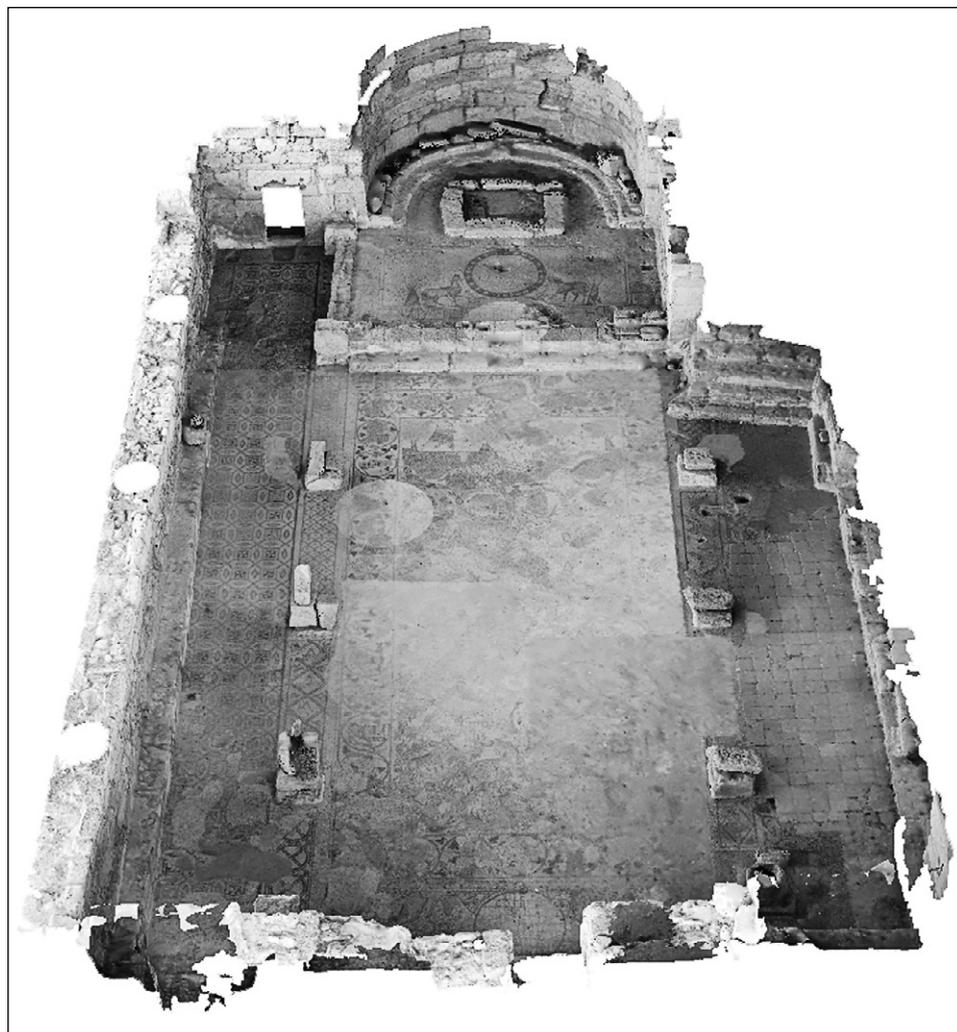


Fig. 2 – Vista prospettica del modello mesh triangolato con sistemi di ripresa laser scanner, chiesa del Vescovo Sergio.

principalmente sulla documentazione delle due chiese bizantine di Santo Stefano e del Vescovo Sergio, a cui appartengono magnifici pavimenti musivi, e della torre che sorge a N dell'insediamento fortificato, ancora integra nella sua altezza, ma con grandi problemi di statica.

Nella campagna 2013, lo svolgimento del lavoro sul campo ha previsto in primo luogo il rilevamento topografico e il rilievo 3D delle strutture presenti

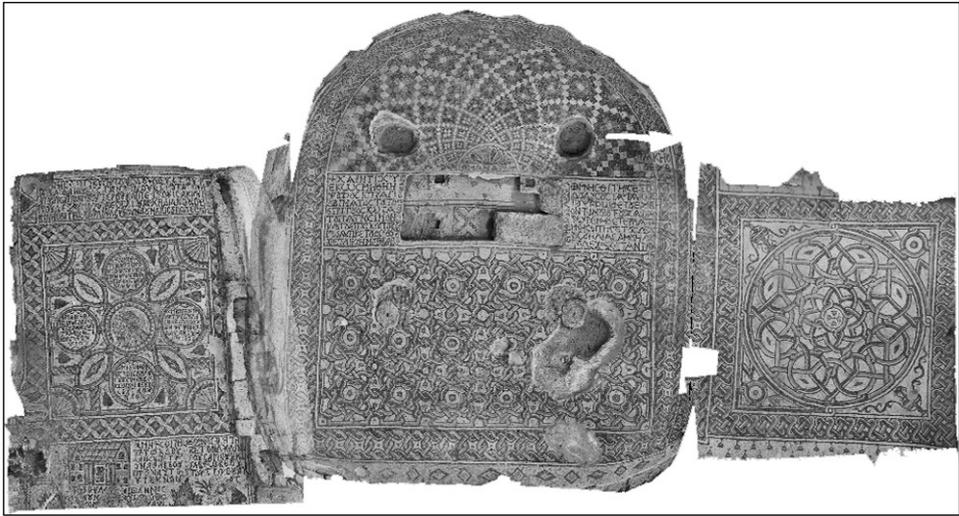


Fig. 3 – Sperimentazione sul tappeto musivo, anno 2013, inerente all’abside della chiesa di Santo Stefano, sovrapposizione del modello fotogrammetrico al modello laser scanner.

sul sito per mezzo di GPS, laser scanner e test di fotogrammetria terrestre sulle murature e su una porzione dei pavimenti musivi (Fig. 2).

Nell’ambito dello studio e della documentazione del famoso mosaico presente sul pavimento della principale costruzione del sito, la chiesa di Santo Stefano, si è optato per l’utilizzo di tecniche diagnostiche di tipo non distruttivo (laser scanner e fotogrammetria) combinate con tecnologie informatiche; è stata raccolta ed archiviata una notevole quantità di dati rilevanti ed attendibili relativi ai fenomeni di degrado dei tappeti musivi, nella prospettiva di poterne programmare la conservazione ma anche tenendo presente la possibilità di una rappresentazione dei mosaici a fini espositivi. Per il primo anno di lavoro la combinazione delle due tecniche ha riguardato solo una parte del mosaico del complesso di Santo Stefano, viste le notevoli dimensioni. Il test è stato effettuato sull’abside portando a una rappresentazione metrica di una qualità di immagine molto elevata, realizzata “spalmando” le fotografie sulle nuvole di punti ottenute con il laser scanner (Fig. 3).

Nella campagna 2014, si è deciso di mettere a punto un sistema che consentisse la completa documentazione del pavimento in alta risoluzione; in particolare sono state utilizzate tecniche di fotogrammetria (Structure from Motion) con una grande quantità di scatti al fine di ottenere una migliore definizione cromatica delle superfici e un migliore dettaglio fotografico. Una corretta descrizione delle deformazioni pavimentali è stata invece ottenuta tramite l’acquisizione laser scanner, con una trentina di scansioni per ognuna

delle due chiese, le quali hanno messo in evidenza significative anomalie sul pavimento musivo.

Nelle campagne 2015-2016, infine, è stata effettuata la ripresa di alcuni dati mancanti.

R.G., M.F.

## 2.2 *Prospettive future del progetto*

Il progetto prevede l'utilizzo di procedure di acquisizione ed elaborazione dati mediante indagini elettromagnetiche induttive, georadar e tomografie 3D per una ricostruzione fisica tridimensionale dei volumi investigati in collaborazione con l'Università del Molise.

In una prima fase verranno svolte indagini elettromagnetiche induttive multi-frequenza per una conoscenza a grande scala dell'intero territorio oggetto di indagini. Successivamente, per le zone di maggiore interesse, si procederà effettuando ulteriori analisi di dettaglio ad alta risoluzione con altri metodi di prospezione, quali la tomografia elettrica tridimensionale ed il georadar.

La ricognizione delle emergenze archeologiche e la schedatura delle murature utilizzeranno la metodologia della lettura stratigrafica degli alzati: attraverso l'utilizzo delle ortofoto delle murature sarà possibile riconoscere e isolare eventuali fasi, ristrutturazioni e stress delle strutture per costruire una griglia cronologica affidabile. Verranno individuate ed analizzate le strutture in elevato pertinenti ad edifici significativi, quali le chiese martiriali o le sedi di istituzioni pubbliche e religiose in grado di fornire una sufficiente casistica tipologica. Verrà utilizzata una scheda per la registrazione delle unità stratigrafiche murarie (USM) integrata da rilievi e campionature di materiali e leganti. Contestualmente si provvederà a uno studio meccanico sui crolli delle principali strutture degli edifici.

Infine, dietro sollecitazione delle autorità giordane, per il futuro, è stato programmato lo sviluppo di un sistema formativo per ricercatori e studenti locali, che proceda per stadi di avanzamento formativi, da realizzare sul territorio giordano mediante lezioni frontali eseguite direttamente sul sito ed aule didattiche collegate con l'Area della Ricerca del CNR di Montelibretti tramite sistema telematico. Un gruppo ristretto e selezionato di studenti dovrebbe essere quindi ospitato presso la struttura romana per perfezionare l'apprendimento.

In Giordania il team italiano che si occupa della formazione dovrà prendere visione delle infrastrutture tecnologiche informatiche presenti nel sito. Sulla base di questa analisi, insieme alle autorità giordane si dovrà predisporre un progetto per:

- potenziare la connettività alla rete Internet Italia-Giordania;
- realizzare un gruppo di postazioni Internet per la fruizione di corsi online per gli operatori turistici giordani;

- realizzare una rete Wi-Fi nei padiglioni del sito per fornire i servizi Internet ai visitatori, quali informazioni turistico-culturali del luogo, servizi di informazione turistica e logistica nelle città vicine (prenotazioni online alberghi, etc.);
- predisporre il piano di formazione degli operatori locali attraverso l'uso della piattaforma informatica del CNR;
- selezionare un gruppo di tecnici giordani, ed eventualmente formarli, per la gestione dell'infrastruttura tecnologica informatica.

R.G.

### 3. STRUMENTI UTILIZZATI ED ELABORAZIONE DATI

Per realizzare questa documentazione si è proceduto utilizzando una serie di tecniche e metodologie investigative diverse allo scopo precipuo di sperimentare la loro rispettiva integrazione e per sfruttare al meglio la complementarità dei risultati.

La sperimentazione condotta su una piccola porzione di pavimento (abside della chiesa di Santo Stefano) nella missione 2013 aveva evidenziato la necessità di approntare un dispositivo che consentisse di realizzare una battuta di riprese fotogrammetriche in maniera agevole a una distanza costante dal pavimento. Il dispositivo fotogrammetrico, messo a punto nel tempo intercorso tra le due missioni, è costituito da una macchina da ripresa calibrata con sensore da 20 MP Full Frame e una ottica da 28 mm, montata su un'asta a spalla. La macchina da ripresa è stata tenuta costantemente a un'altezza di 170 cm, ottenendo in tal modo un ottimo compromesso nell'accuratezza delle prese fotogrammetriche e sufficiente dimensione dell'area ripresa (circa 2.0 m<sup>2</sup> per ogni ripresa). L'elaborazione delle prese fotografiche è stata eseguita con Agisoft Photoscan.

Si è preferito scegliere di operare con un dispositivo sperimentale più agevole negli spostamenti considerando che si andava ad agire su una superficie estremamente delicata e che lo scopo principale del lavoro era documentare il degrado ed evitare il danneggiamento del monumento. Inoltre la presenza di strutture metalliche (passerelle) *in situ* in molti casi ha creato delle difficoltà di ripresa e costretto il gruppo ad operare a quote decisamente minori (ciò ha comportato la necessità di scattare fotogrammi con maggiore frequenza). In particolare sono state utilizzate tecniche che, per il numero di scatti, possono essere definite di “micro-fotogrammetria”, necessarie per una migliore definizione cromatica delle superfici e un migliore dettaglio fotografico. In generale una buona qualità di scatti è la migliore garanzia di un risultato finale in cui la mappatura del modello sia di buon livello.

Per ognuno dei pavimenti sono stati campionati circa 2000 fotogrammi, con l'obiettivo di andare a coprire in modo esaustivo le superfici delle due chiese indagate (Santo Stefano 242,26 m<sup>2</sup>; Vescovo Sergio 226,12 m<sup>2</sup>).

L'utilizzo di un colorchecker ha permesso, inoltre, il bilanciamento del bianco fatto via software in un raw converter. Ad ogni spostamento l'operatore, prima di effettuare lo scatto, doveva assicurarsi che la macchina da ripresa fosse perfettamente stabile ed immobile, priva di oscillazioni, e che i relativi spostamenti consentissero un'adeguata sovrapposizione in modo da garantire in fase di elaborazione dei dati il montaggio dei fotogrammi. Va inoltre segnalato che ad ogni cambiamento delle condizioni di luce è stato ricalibrato il colore con l'ausilio del colorchecker, per evitare differenze cromatiche tra una strisciata di campionamento fotografico e l'altra.

L'applicazione del software, basato sulla tecnica nota come Structure from Motion (REMONDINO *et al.* 2014), non rende metrico il modello restituito, per cui è necessario stabilire un rapporto di scala sulla base dei dati topografici a disposizione; si è quindi abbinato al rilievo fotogrammetrico il rilievo laser scanner (CUNDARI 2012). Le scansioni sono state tutte eseguite con un laser scanner Focus120 3D, prodotto dalla Faro, che appartiene alla famiglia degli scanner a differenza di fase, con risultati di elevata accuratezza, a scapito delle tempistiche di scansione. All'interno dello strumento è stato settato un profilo "Outdoor oltre i 20 m" con risoluzione impostata ad 1/2 della massima e acquisizione della componente RGB attiva. In questa configurazione per ogni scansione sono stati necessari circa 30 minuti; considerando la durata complessiva di 8 ore delle due batterie a disposizione e le tempistiche di spostamento dell'asta pneumatica con lo strumento, sono state eseguite circa 10-12 scansioni al giorno.

La registrazione delle scansioni (software Faro Scene per un primo allineamento attraverso l'utilizzo dei target sferici e JRC Reconstruct per le successive elaborazioni) è stata eseguita utilizzando un doppio processo di allineamento, il primo basato sul riconoscimento automatico di opportuni target 3D (sfere), forniti da Faro Spa, con diametro di 20 cm, di colore bianco ad alta riflettanza e dotati di una calamita alla loro base, pensati quindi per essere attaccati a strutture metalliche<sup>1</sup>; il secondo tramite complessi algoritmi matematici che prevedono l'affinamento di questi allineamenti iniziali. Quando si esegue un rilievo con questa tecnica, se si vuole ottenere un buon allineamento automatico, bisogna tener conto di tre fattori: che tra due scansioni adiacenti siano visibili almeno tre sfere, che abbiano una distribuzione spaziale adeguata e che il laser trovi abbastanza punti per riconoscerle e calcolarne il centro con precisione. Una volta allineate le scansioni attraverso le sfere, il software procede in modo automatico al riconoscimento di almeno duemila punti comuni per affinare tale allineamento, ottenendo un errore medio nell'ordine del mm.

<sup>1</sup> Il gruppo di ricerca ha optato per un posizionamento su cavalletti mobili, in modo da rendere più agevole la rimozione e lo spostamento dei target.



Fig. 4 – L'uso dell'asta pneumatica che permette di elevare il laser scanner fino a 5 m di altezza, migliorandone il raggio d'incidenza.

#### 4. ANALISI DEI MODELLI OTTENUTI

Il modello numerico che ha richiesto tempi di elaborazione più rapidi è stato il modello a nuvola di punti proveniente dal laser scanner. Per questo lavoro ci si è concentrati, in sede di processamento, sull'analisi dei tappeti musivi, lasciando l'interpretazione dei cedimenti strutturali delle murature a lavori futuri.

A differenza di analoghi lavori sulla documentazione dei mosaici (FREGO-NESE, MONTI 2012; AJIOKA, HORI 2014), nel nostro caso per eseguire il rilievo laser scanner delle strutture è stata utilizzata un'asta pneumatica con lo scopo di elevare lo strumento a circa 5 m di altezza: in tal modo è stato possibile misurare anche le creste delle murature più alte, altrimenti non facilmente rilevabili con lo strumento montato su un comune treppiede (Fig. 4). Questo accessorio, appositamente progettato e costruito, ha consentito di effettuare i rilievi 3D da punti di osservazione che attualmente vedono l'impiego di droni, rimanendo tuttavia inalterato il vantaggio della correttezza geometrica e metrica che solo l'impiego di strumenti di misura laser può offrire.

In generale, i laser scanner sono strumenti che nascono principalmente per eseguire scansioni in ambito architettonico e ingegneristico e quindi la loro applicazione ottimale è principalmente indirizzata a tutto ciò che è elevato dal piano di calpestio (murature, soffitti e arcate). Risulta invece poco efficiente per rilevare strutture che sono poste sul piano orizzontale (pavimenti, mosaici,

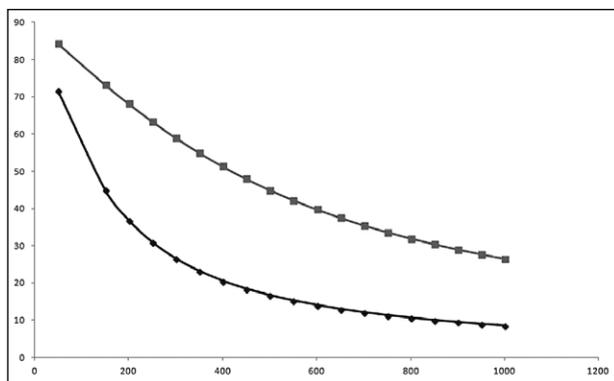


Fig. 5 – Grafico che mostra le variazioni sull'incidenza del raggio laser ponendo lo strumento a 5 e a 1,50 m (R. Gabrielli).

buche, avvallamenti e scavi). Con questo espediente è stato possibile cambiare l'angolo di incidenza del raggio laser sulla superficie piana pavimentale con il risultato di aver ottenuto misure geometriche di maggiore attendibilità. La qualità dei punti rilevati dal laser scanner è fortemente legata all'angolo con cui il raggio laser incide sulla superficie da rilevare. Se l'angolo di incidenza è prossimo ai 90° può verificarsi che il segnale di ritorno non sia esatto o perfino che non venga effettuata la misura. Una vista il più possibile perpendicolare migliora la qualità del modello (SGRENZAROLI, VASSENA 2007).

Si è dunque reso necessario effettuare dei calcoli sulla differenza di resa del laser scanner a diverse altezze, per quantificare al meglio i vantaggi che si sarebbero ottenuti ponendo il laser a una altezza di 5 m: come si può notare dal grafico (Fig. 5), ponendo il laser all'altezza di 5 m il raggio avrà un angolo di incidenza di ca 65° a 10 m di distanza dallo strumento; viceversa con il laser a una altezza di 1,50 m, a 10 m di distanza l'angolo di incidenza sarà circa di 80°, con un segnale di ritorno di attendibilità inferiore. Per questo motivo in fase di pulizia delle nuvole, sono stati eliminati i punti sul pavimento lontani più di 10 m dal centro di proiezione del laser.

Dopo l'allineamento e la pulizia delle nuvole di punti, è stato realizzato il DEM con un intervallo di valori sulla Z di  $\pm 0,10$  m, al fine di mettere meglio in evidenza le discontinuità sulle due superfici pavimentali (Figg. 6-7). Il risultato ottenuto evidenzia zone dei tappeti musivi caratterizzate da forti stress e di conseguenza significativi avvallamenti sul terreno che mettono a repentaglio la conservazione del mosaico stesso. Sarà in questi punti dove, nelle campagne future, bisognerà effettuare le indagini geofisiche.

Ottenuto il modello 3D di tutto il complesso, attraverso l'allineamento delle varie scansioni, e generate da questo le mesh, si è proceduto alla creazione

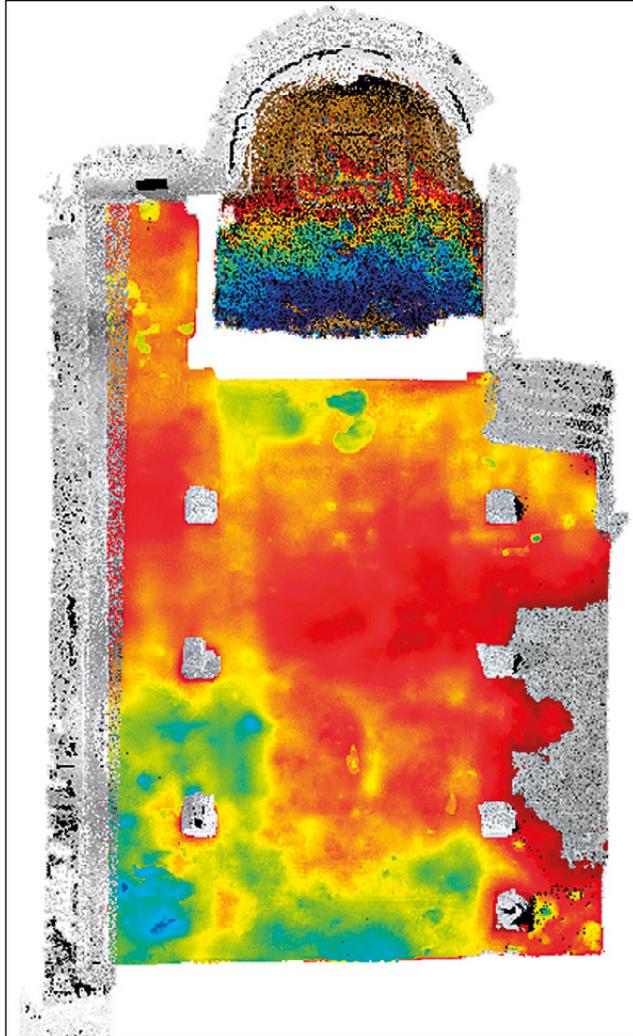


Fig. 6 – DEM sul pavimento musivo della chiesa di Vescovo Sergio: in rosso le zone sopraelevate, in blu le depressioni; il range di ispezione del modello è di  $\pm 0,10$  m.

di piante e sezioni (Figg. 8-9). Data la mole di fotografie necessaria a coprire le superfici delle due chiese, i modelli numerici dei pavimenti delle chiese del Vescovo Sergio e di Santo Stefano, realizzati in fotogrammetria, hanno richiesto tempi di elaborazione molto lunghi, in alcuni casi anche 4 giorni. Dopo aver effettuato la corretta calibrazione dei colori di ciascuna presa fotografica,

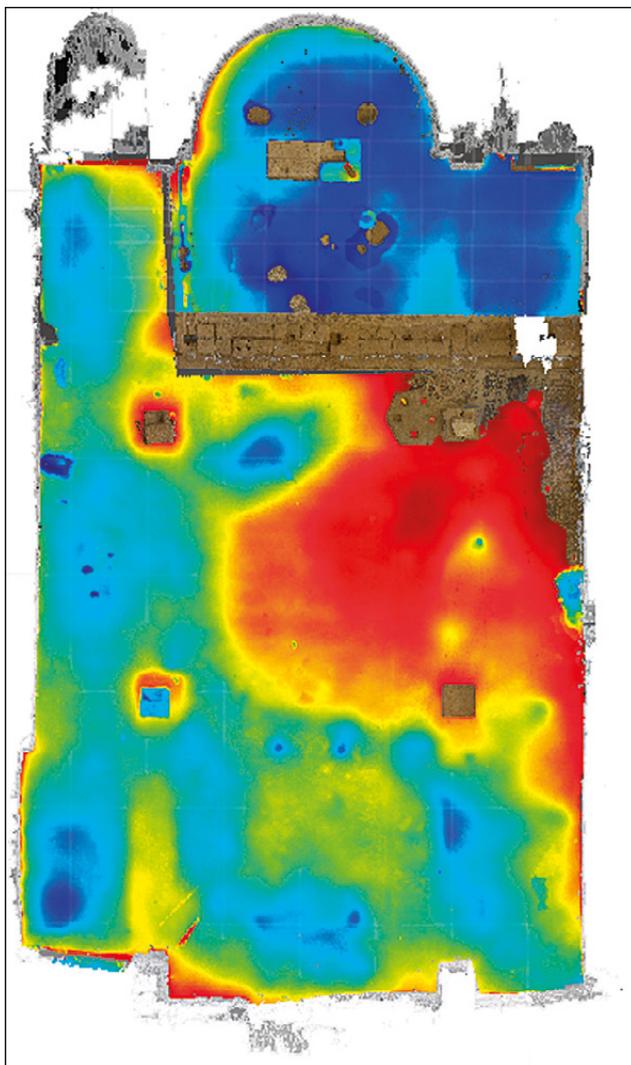


Fig. 7 – DEM sul pavimento musivo della chiesa di Santo Stefano: in rosso le zone sopraelevate, in blu le depressioni; il range di ispezione del modello è di  $\pm 0,10$  m.

queste sono state inserite nel software Agisoft Photoscan insieme al file di calibrazione della macchina, necessario a limitare le distorsioni dell'obiettivo. L'errore medio dei modelli, ottenuto in seguito all'inserimento delle coordinate x, y, z del laser scanner per punti omologhi, oscilla tra 0,01 e 0,02 m.



Fig. 8 – Planimetria con ortofoto integrata della chiesa di Santo Stefano.

Considerando la difficoltà di elaborazione dati per la loro quantità e che a ciò va sommato un possibile errore aggiuntivo nel posizionamento dei target sul modello, il risultato finale rientra all'incirca nei limiti d'errore calcolati sulla base della scala di rappresentazione architettonica. Il prodotto ottenuto risulta essere maggiormente affidabile nelle porzioni centrali dei pavimenti, dove insistono un maggior numero di acquisizioni; la ricostruzione laterale è meno attendibile, in particolar modo per le porzioni adiacenti alle strutture murarie e a quelle sottostanti le passerelle turistiche sopraelevate, dove gli scatti sono stati acquisiti in maniera non agevole.

I due modelli fotogrammetrici hanno permesso di ottenere le ortofoto dei due pavimenti a grandissima risoluzione di dimensioni 1:1. Il contenuto fotografico descrive in modo continuo, uniforme e dettagliato la superficie dell'oggetto. La dimensione del pixel nei fotogrammi scattati nelle condizioni descritte, rapportata alla scala dell'oggetto, risulta infatti inferiore al mezzo millimetro.

Accuratezza, velocità, ripetibilità in tempi rapidi, massima completezza dei particolari si sommano infine alla possibilità di impiegare le immagini

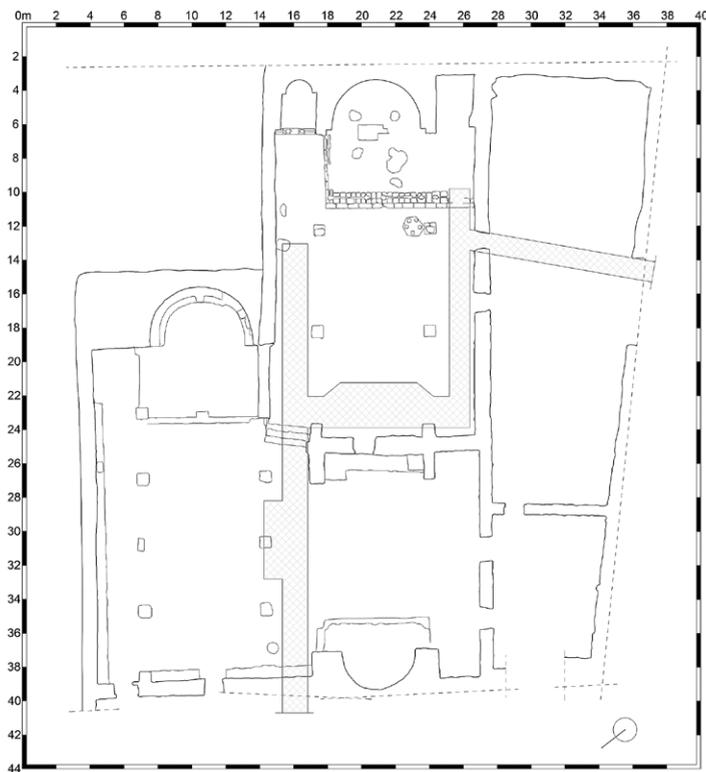


Fig. 9 – Planimetria dell'intero complesso rilevato.

ottenute quale texture del modello; da questo ne scaturiscono i benefici relativi ai rilievi fotografici nell'apprezzamento delle caratteristiche materiche e delle condizioni di conservazione dei mosaici.

R.G., D.P., M.F.

## 5. CONCLUSIONI

Ciascuno dei rilievi eseguiti ha portato a un incremento di conoscenza delle strutture investigate. Parimenti va anche riconosciuto che le tecnologie impiegate hanno prospettato nuove problematiche, a cui in futuro bisognerà dare risposte con ulteriori applicazioni.

A differenza di lavori analoghi su tappeti musivi (FREGONESE, MONTI 2012; MANFREDINI, CIPRIANI 2012; AJIOKA, HORI 2014; RIVOLA *et al.* 2016), sono stati utilizzati alcuni accorgimenti tecnici che hanno permesso di avere un migliore dato finale grazie in particolar modo all'utilizzo dell'asta pneumatica

che ha permesso di elevare lo strumento a 5 m di altezza e di ottenere un raggio maggiormente tangente alla superficie musiva.

Il lavoro condotto è stato un'utile sperimentazione di integrazione di rilievi ed elaborazioni fotogrammetriche con applicazioni laser scanner: in questo modo, come evidenziato in precedenza, il risultato degli elaborati garantisce da un lato la correttezza descrittiva nei cromatismi e nei dettagli delle superfici rilevate; dall'altro una grande precisione riconducibile ad alcuni millimetri sulle deformazioni geometriche dei tappeti musivi, ottenuta con il laser scanner. Il prodotto finale, che è stato possibile ricavare, è una ortofoto dell'intero pavimento con dimensioni di circa 1 gb equivalente a 8000×60.000 pixel, per ciascuna delle due chiese oggetto di studio.

Analizzando il pavimento della chiesa del Vescovo Sergio si evidenzia un sollevamento di circa 0,10 m nella navata centrale verso l'abside. Nella parte prospiciente alla porta d'ingresso si nota, invece, una depressione abbastanza rilevante, molto probabilmente riconducibile a una cisterna sotterranea presente sul lato NO dell'edificio, in cui sono visibili le tracce di una canaletta per la raccolta delle acque. Anche nella chiesa di Santo Stefano si notano dei rigonfiamenti nella navata centrale, sul lato destro, mentre sulla restante porzione del pavimento si possono notare leggere pendenze sulla parte del pavimento prospiciente la chiesa del Vescovo Sergio. Le cause di queste deformazioni sono al momento ignote; possono essere riconducibili sia a problemi di stabilità geologica dell'area sia a eventuali strutture antropiche sepolte (tombe, strutture murarie, cisterne).

Le indagini future mirano all'interpretazione certa di queste deformazioni. Una ripresa fotogrammetrica a una così alta risoluzione potrà comunque essere alla base di qualsiasi intervento conservativo e di restauro dei tappeti musivi. Il gruppo di ricerca ha tra gli obiettivi la creazione di un sistema informativo territoriale GIS, per la documentazione sistematica di tutti i danni e di tutte le informazioni storico-artistiche e fisiche inerenti lo stato attuale delle basi pavimentali. In questa struttura informatica le suddette ortofoto saranno la base cartografica su cui relazionare gli attributi del database associato.

R.G.

### *Ringraziamenti*

Si ringraziano i sigg. Pasquale Galatà e Andrea Zavagnini per la preziosa collaborazione prestata sia durante la messa a punto del dispositivo di ripresa sia per le successive elaborazioni delle prese fotografiche dei tappeti musivi. Inoltre il sig. Galatà ha partecipato alla campagna di rilievo e di riprese fotogrammetriche.

ROBERTO GABRIELLI, DAMIANO PORTARENA, MAURO FRANCESCHINIS

Istituto per le Tecnologie Applicate ai Beni Culturali

CNR – Roma

roberto.gabrielli@itabc.it, damianoportarena@gmail.com, franceschinis.mauro@gmail.com

## APPENDICE

### *Nota Tecnica: realizzazione di uno supporto fotogrammetrico e taratura ripresa fotografica*

Come evidenziato nell'articolo, il rilievo del complesso presentava alcune problematiche logistiche legate principalmente alle strutture dedicate alla fruizione del sito; oltre a questo è stato necessario approntare un dispositivo che tenesse conto di alcuni fattori quali: il mantenimento della stessa distanza e della perpendicolarità tra fotocamera e superficie da rilevare, la scarsa illuminazione degli ambienti, l'uniformità cromatica delle singole foto, la risoluzione idonea per visualizzare in dettaglio le singole tessere dei mosaici, la velocità di esecuzione degli scatti e la trasportabilità dell'attrezzatura. A tal proposito prima della missione sono stati effettuati alcuni test presso la sede dell'Istituto con l'ausilio di un supporto utilizzato generalmente per il sostegno di luci da studio (traliccio americano), una reflex digitale Canon Eos 5d Mark II e diverse ottiche (14 mm – 28 mm – 50 mm) per valutare quali tra queste rappresentasse un giusto compromesso tra risoluzione, distorsione dell'immagine e area di ripresa, utilizzando per tutte e tre le ottiche il più possibile lo stesso metodo di ripresa con una scala dei diaframmi compresa tra  $f/9$  ed  $f/11$ . Per ogni obiettivo sono state scattate una serie di fotografie della medesima area campione su cui sono state poste delle mire sia per rendere metrico il rilievo sia per i successivi controlli della bontà geometrica degli elaborati. Dalla comparazione tra i modelli fotogrammetrici e quelli della stessa area ottenuti dalle scansioni laser, è stato possibile trarre le seguenti conclusioni:

– Con l'ottica Canon EF 14mm  $f/2.8$  (apertura max) si riducono notevolmente i tempi di acquisizione per via del maggior angolo di ripresa dell'ottica, fattore che allo stesso tempo, però, comporta una notevole diminuzione della risoluzione fotografica e genera un elevato errore di distorsione ai margini delle singole foto.

– Con l'ottica Canon EF 28mm  $f/1.8$  (apertura max) abbiamo ottenuto delle buone risoluzioni delle aree investigate con una notevole riduzione delle aberrazioni e deformazioni derivanti dalle lenti utilizzate. Inoltre con tale configurazione si ottiene un notevole alleggerimento del dispositivo di ripresa, implicando una minore deformazione e dimensione dei supporti utilizzati.

– Con l'ottica Canon EF 50mm  $f/1.8$  (apertura max) i risultati ottenuti in termini di risoluzione fotografica e distorsione dell'immagine sono stati molto soddisfacenti; tuttavia la notevole riduzione dell'angolo di ripresa dell'obiettivo e le elevate dimensioni dell'area da rilevare avrebbero causato un forte aumento dei tempi di acquisizione ed elaborazione, dato l'elevato numero di fotografie da effettuare.

Per questi motivi, pur riducendosi l'area di ripresa, l'obiettivo più adatto alle nostre esigenze si è rivelato il Canon EF 28mm  $f/1.8$  II, che ci ha permesso di coprire l'intera area di interesse con circa 2000 scatti complessivi per chiesa, mantenendo un'ottima risoluzione finale del modello e limitando al massimo i tempi di acquisizione. Un secondo scopo di questa sperimentazione era verificare la praticità di utilizzo e trasporto della struttura di sostegno. Per risolvere questo problema successivamente è stato ideato e realizzato un supporto utilizzando un treppiede fotografico, una palina topografica telescopica e due staffe di alluminio agganciate direttamente alla palina mediante supporti removibili. In questa configurazione il dispositivo ideato risulta

essere decisamente più pratico del traliccio utilizzato per i test. Questa attrezzatura ha permesso di mantenere stabilmente la fotocamera a una altezza prefissata, perpendicolare alla pavimentazione e, data la lunghezza variabile della palina, è stato possibile effettuare le fotografie anche nelle zone meno accessibili. La stabilità di questo strumento è stata determinante per gli scatti eseguiti a bassi iso e tempi di scatto più lunghi, viste le condizioni di luce non proprio ideali, in maniera da ottenere dettaglio e risoluzione massimi.

PASQUALE GALATÀ, ANDREA ZAVAGNINI  
Istituto per le Tecnologie Applicate ai Beni Culturali  
CNR – Roma

## BIBLIOGRAFIA

- AJIOKA O., HORI Y. 2014, *Application of SfM and laser scanning technology to the description of mosaics piece by piece*, «The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences», XL-5, ISPRS, Riva del Garda, Italy.
- ALLIATA E. 1991, *Ceramica dal complesso architettonico da Umm Al-Rasas*, «Liber Annuus», 41, 365-422.
- CUNDARI C. 2012, *Il rilievo architettonico. Ragioni. Fondamenti. Applicazioni*, Roma, Kappa.
- FREGONESE L., MONTI C. 2012, *L'ortofoto del pavimento tessulare di San Marco a Venezia*, in E. Vio (ed.), *Il manto di pietra della Basilica di San Marco a Venezia. Storia, restauri, geometrie del pavimento*, Venezia, Cicero Editore-Procuratoria di San Marco, 29-50.
- MANFREDINI A.M., CIPRIANI L. 2012, *Digitalizzazione tridimensionale di apparati musivi. 3D digitization of mosaics*, «Disegnarecon», numero speciale 2012.
- PICCIRILLO M. 1986, *I mosaici di Giordania*, Catalogo della Mostra, Roma, Quasar.
- PICCIRILLO M. 1991, *Il complesso di Santo Stefano a Umm Al-Rasas - Kastron Mefaa in Giordania (1986-1991)*, «Liber Annuus», 41, 327-364.
- PICCIRILLO M. 2008, *La Palestina cristiana I-VII secolo*, Bologna, Centro Editoriale Dehoniano (EDB).
- PICCIRILLO M., ALLIATA E. 1994, *Umm Al-Rasas, Mayfa' Ah. Gli scavi del complesso di Santo Stefano*, Jerusalem, Studium Biblicum Franciscanum.
- REMONDINO F., SPERA M.G., NOCERINO E., MENNA F., NEX F. 2014, *State of the art in high density image matching*, «The Photogrammetric Record», 29, 146, 144-166.
- RIVOLA R., CASTAGNETTI C., BERTACCINI E., CASAGRANDE F. 2016, *Digitalizzazione e stampa 3D di un mosaico a tecnica bizantina a scopo documentativo e conservativo*, «Archeomatica», 1, marzo, 34-37.
- SGRENZAROLI M., VASSENA G.P.M. 2007, *Tecniche di rilevamento tridimensionale tramite laser scanner, 1 – Introduzione generale*, Brescia, Starrylink.

## ABSTRACT

The research expedition of the CNR-ITABC in the archaeological site of Umm Al-Rasas, near Madaba (Jordan) was partially supported by the Italian Foreign Ministry. It started in 2013 and was mainly focused on the 3D documentation of two Byzantine churches with magnificent floor mosaics, dedicated to Saint Stephen and Bishop Sergius respectively. To improve the analysis of the archaeological structures, different investigation techniques were used and reciprocally integrated, in an effort to create geometric models enabling the interpretation of data related to the masonry and floor mosaics, as well as to the documentation of the archaeological area. In order to facilitate handling and mobility, lightweight tools were chosen and

Micro Photogrammetry and Close Range Photogrammetry methods were applied. A correct description of the floor warp was achieved thanks to laser scanner techniques and the resulting geometric data were integrated with the chromatic data coming from photogrammetry, obtaining a 3D restitution of the two adjacent structures and a metric and spatial analysis of their morphological features. New devices, specifically designed for the project, helped to solve some practical problems that the survey operations had to cope with during the fieldwork. This paper illustrates the results of the survey, which will be useful to develop restoration projects in order to make the whole archaeological site attractive to tourists.