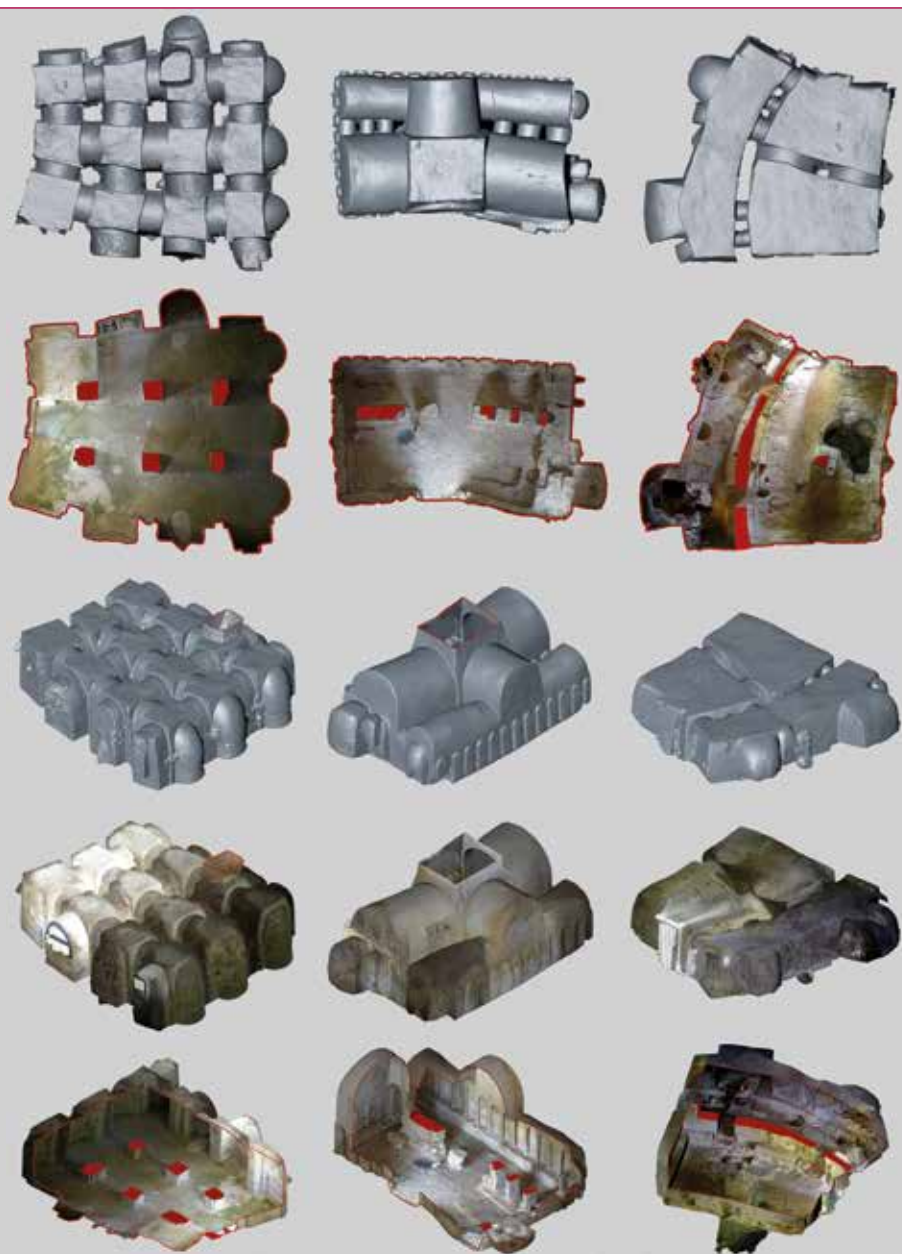


DAL RILIEVO IN CAMERA-SCANNER ALLA PIATTAFORMA DI FRUIZIONE QTVR-BASED STEREOSCOPICA

METODOLOGIE INTEGRATE PER IL MONITORAGGIO E LA VALORIZZAZIONE DELLE SUPERFICI PITTORICHE IN AMBIENTE RUPESTRE

di Massimo Limoncelli e Claudio Germinario



Il contributo illustra la recente attività di ricerca realizzata in collaborazione con le Cattedra di Storia dell'Arte Medievale dell'Università del Salento (Prof. Marina Falla Castelfranchi) e dell'Università di Bari (Prof. Gioia Bertelli).

Il lavoro, realizzato nel corso del 2015, ha riguardato il rilievo e il monitoraggio di alcune pitture ad affresco presenti all'interno di tre chiese rupestri della Puglia meridionale: la cd. Lama d'Antico e la chiesa di San Lorenzo a Fasano (BR) e la cripta detta dei Santi Stefani a Vaste di Poggiardo (LE)¹, tutte caratterizzate da involucri con forme e dimensioni differenti tra loro. La prima chiesa presenta una pianta allungata a due navate diseguali, interrotte al centro, in corrispondenza dell'ingresso, da una cupola a cui si innestano tre bracci di croce con il soffitto realizzato a volte a botte. L'area presbiteriale è chiusa da due absidi e dalla nicchia del diaconico mentre le pareti sono scandite su tre lati da arcate cieche. La seconda chiesa, di San Lorenzo, è caratterizzata da un'aula pressoché quadrata con un unico pilastro al centro e separata da un'icona-

Fig. 1 - Rilievo fotogrammetrico 3D delle chiese rupestri dei Santi Stefani a Vaste (colonna a sinistra), della Lama d'Antico (colonna al centro) e di San Lorenzo a Fasano (colonna a destra).

stasi a due ingressi dall'area presbiteriale su cui si aprono due absidi, una semicircolare e l'altra rettangolare. Infine, la terza chiesa presenta un'aula suddivisa da sei pilastri in tre navate desinenti ad est in altrettante absidi semicircolari. Tutte e tre gli ambienti rupestri sono decorati da differenti cicli pittorici collocabili cronologicamente tra XII e XVI secolo². (C.G., M.L.)

IL MONITORAGGIO E LA CONOSCENZA: IL RILIEVO DIGITALE IN CAMERA-SCANNER

Per documentare in maniera corretta le superfici pittoriche presenti all'interno delle chiese rupestri è stato realizzato un rilievo digitale dello stato di fatto degli invasi. Per il rilievo è stata adottata la tecnica di *image based in camera scanner* (fotogrammetria 3D) che ha consentito una restituzione metrica tridimensionale degli ambienti rupestri molto fedele senza disporre di complesse attrezzature con costi di realizzazione più contenuti rispetto ad una scansione laser³. Il *Camera Scanner* è una tecnica che utilizza come *input* immagini da fotocamera digitale e come *output* modelli di superficie 3D metrici. Essa permette di ottenere un elevato numero di punti rilevati in maniera automatizzata con alta precisione e fedeltà al dato reale.

La campagna fotografica è stata realizzata con fotocamera digitale con sensore full frame da 36 megapixel Nikon D800; l'utilizzo di immagini ad alta risoluzione comporta da un lato un aumento dei tempi di calcolo, ma dall'altro i tempi più lunghi sono dovuti alla presenza di un maggior numero di informazioni e una maggiore accuratezza ottenibile nell'output. La scelta dell'ottica è ricaduta su una focale fissa 24 mm; l'obiettivo grandangolare ha permesso di mantenere un angolo di immagine abbastanza elevato senza significativi decadimenti di qualità ai bordi. La distorsione della lente utilizzata per catturare le immagini è stata misurata con il sistema di calibrazione integrato nel software fotogrammetrico sfruttando il monitor come target visualizzando il pattern di calibrazione. Ottenere tutti i coefficienti di distorsione della lente utilizzata ha permesso al software di utilizzare i parametri ottenuti per la correzione delle distorsioni e per una maggiore accuratezza del risultato finale.

I punti di ripresa sono stati pianificati per ridurre al minimo il numero di fotografie da utilizzare in quanto una ridondanza di informazioni non avrebbe avuto alcun beneficio in termini di qualità ma avrebbe inficiato negativamente sui tempi di elaborazione. L'utilizzo del treppiedi ha permesso sia di utilizzare bassi valori ISO e quindi contenere al minimo il rumore digitale che avrebbero compromesso la buona riuscita del calcolo dei punti rilevati, sia l'uso di tempi di esposizione lunghi dovuti alla ridotta illuminazione media presente.

In base all'altezza delle cripte è stato sufficiente effettuare le foto ad una sola quota costante nell'intero ambiente variando soltanto pan (rotazione panoramica) e tilt (inclinazione) e inquadrando ogni porzione delle superfici da rilevare per non creare delle lacune nei modelli ottenuti. L'utilizzo di una testa panoramica graduata ha permesso di mantenere costanti gli angoli di rotazione utilizzati in ogni punto di ripresa per ottimizzare al meglio le aree acquisite in ogni singolo scatto.

Particolare attenzione in fase di scatto è stata posta anche nella scelta della coppia esposimetrica al fine di ottenere un valore medio di apertura di diaframma e tempo di espo-

sizione da utilizzare per l'acquisizione delle foto. La scelta di coppia esposimetrica fissa ha reso possibile effettuare una primaria analisi dei dati ottenuti per valutare il decadere della luce naturale all'interno degli ambienti man mano che ci si allontana dalle fonti di illuminazione provenienti dall'esterno degli invasi, lasciando così spazio a future considerazioni e studi su una eventuale correlazione tra quantità di luce che raggiunge la superficie e iconografia presente. Tutte le foto sono state acquisite in formato RAW che ha permesso di avere un maggior numero di informazioni utili nella successiva fase di post produzione delle immagini.

Le immagini, opportunamente ottimizzate, sono state quindi importate nel software di fotogrammetria digitale che ha proceduto mediante l'individuazione dei punti omologhi all'allineamento automatizzato ed alla generazione di una prima nuvola di punti nella quale è già possibile iniziare a osservare l'area acquisita in *camera scanner*.

Le successive operazioni di calcolo sono state processate in *cloud computing* su server remoto per ridurre ulteriormente i tempi di calcolo sfruttando configurazioni hardware estremamente performanti ed è stata così calcolata una nuvola densa di punti rilevati dalla quale è stato possibile passare al calcolo della superficie del modello tridimensionale prima e della *texture* ad essa collegata dopo. L'inserimento preliminare sul campo di target e il loro rilievo con l'ausilio della stazione totale ha reso possibile quindi in queste ultime fasi di orientare e scalare correttamente il modello ottenuto.



Fig. 2 - Particolare del rilievo in camera-scanner del presbiterio della chiesa di San Lorenzo a Fasano (BR).



Fig. 3 - Restauro virtuale delle pitture nelle arcate cieche della chiesa della Lama d'Antico a Fasano (BR).

Al fine di monitorare lo stato di conservazione delle pitture è stata prevista una ripetizione del rilievo ogni sei mesi (il primo eseguito a febbraio e il secondo a luglio 2015) con l'obiettivo di verificare il comportamento evolutivo macroscopico delle lacune, delle mancanze e degli eventuali distacchi che affliggono le superfici pittoriche. (M.L.)

LA VALORIZZAZIONE: IL RESTAURO VIRTUALE DELLE PITTURE

Uno degli obiettivi del progetto è stato anche restituzione dell'immagine delle chiese rupestri attraverso la ricostruzione degli apparati decorativi ad affresco mediante tecniche di restauro virtuale. Dal rilievo è stato ottenuto un modello metrico di ogni singola chiesa rupestre perfettamente texturizzato. Sulle texture sono state pertanto eseguite tutte le operazioni comunemente applicate al restauro virtuale delle pitture murarie⁴: rilievo, mappature dei degradi, reintegrazione delle lacune con colore neutro e in mimetico e analisi quantitative. Con le mappature dei degradi sono state individuate e localizzate le differenti forme di degrado sulle quali si è successivamente intervenuto col restauro in digitale. Dal rilievo 3D delle superfici è stato possibile eseguire anche le analisi quantitative finalizzate alla determinazione di dimensioni, forme, importanza estetica dei degradi (principalmente lacune e mancanze) presenti sui singoli manufatti, operazione necessaria ai fini della conoscenza sugli affreschi ancora conservati.

Considerando lo stato delle pitture e i dati a disposizione è stato deciso di restaurare integralmente in mimetico solamente alcune porzioni degli apparati decorativi (come ad esempio quelle presenti nelle nicchie della chiesa della Lama d'Antico), cercando al contempo di restituire la loro percezione originaria simulando il rapporto luci-ombre all'interno di spazi definiti da volumi. (M.L.)

LA COMUNICAZIONE: LA PIATTAFORMA DI FRUIZIONE

I dati della ricerca condotta sono stati convogliati in una piattaforma di fruizione sia *on-line* che *off-line* di prossima pubblicazione. Il web rappresenta oggi il principale strumento di comunicazione multimediale e canale di divulgazione con cui è possibile veicolare le informazioni non soltanto ad un'utenza specialistica ma anche ad un numero di fruitori maggiore, composto non necessariamente da un pubblico di "addetti ai lavori".

Sulla base della valutazione di alcune caratteristiche proprie delle tecniche di comunicazione, è stato adottato il sistema di rappresentazione basato sulla tecnologia QTVR (*Quick Time Virtual Reality*)⁵ in cui la navigazione dentro il *virtual tour* avviene attraverso immagini "panoramiche" di tipo cilindrico o sferico. La tecnologia QTVR risulta perfettamente compatibile con la fruizione *on-line* grazie alla notevole velocità di caricamento delle immagini che rendono da un lato la visita più scorrevole, soprattutto nel passaggio da un'immagine panoramica all'altra, e dall'altro offrono la massima efficacia nel coinvolgimento del fruitore grazie ai ridottissimi tempi di attesa. Alla struttura della piattaforma *on-line*, si ispira anche la versione *off-line* in DVD.

Le immagini panoramiche sono state ottenute direttamente all'interno dei modelli virtuali 3D dal software di modellazione e sono composte da un mosaico di fotografie digitali adiacenti che catturano un determinato spazio o ambiente da differenti angolazioni e punti di vista e sono caratterizzate da un ampio campo di visivo⁶. L'alta definizione iperrealistica dei modelli ottenuti in *camera scanner* ha permesso un'elevata definizione delle immagini virtuali che hanno consentito una qualità visiva ed estetica per la visualizzazione della visita con un conseguente migliore impatto visivo sulla presentazione e la valorizzazione del prodotto digitale. Infatti, utilizzando immagini digitali ad alta risoluzione è possibile adattare il *virtual tour* alla visualizzazione *full screen* senza perdita di qualità dei dettagli consentendo di massimizzare la sensazione di realismo e il coinvolgimento dell'utente grazie ad un impatto maggiormente immersivo. Il *virtual tour* ha inizio partendo da una mappa satellitare interattiva della Puglia meridionale con la localizzazione delle chiese rupestri. Ogni cripta è esplorabile con più immagini panoramiche collegate tra loro in modo da garantire la continuità della visita virtuale; gli spostamenti avvengono con l'ausilio di transizioni sfumate che permettono un passaggio più graduale e realistico. L'utente può interrogare ogni panorama mediante gli *hotspot* (punti di interesse) cliccabili che offrono informazioni su ciò che si sta visualizzando.

Per raccontare la complessità delle operazioni realizzate, per ogni singola chiesa sono stati previsti differenti livelli di visualizzazione individuabili all'interno dei panorami dagli *switch* indicati da icone colorate. Ad ogni icona corrisponde uno specifico stile di visualizzazione: in *wireframe*, per rappresentare la complessità del modello; in *shading*, per riprodurre le strutture dell'invaso a volume pieno ma senza texture; modello con texture per visualizzare lo stato di fatto della chiesa e dell'apparato decorativo; con restauro virtuale delle superfici pittoriche (mappature dei degradi e reintegrazioni in mimetico); infine visualizzazione in stereoscopia.

Quest'ultima visualizzazione rappresenta l'aspetto più innovativo della piattaforma di fruizione.

Il senso di maggiore profondità dato dalla visione tridimensionale ben si presta alla visualizzazione di *virtual tour QTVR-based* per via del maggior senso di immersività che l'osservatore percepisce in fase di fruizione delle immagini. Il principio alla base della visione 3d è nel mostrare all'occhio sinistro e all'occhio destro due immagini con una lieve differenza del punto di ripresa; questo permette la simulazione della visione binoculare e quindi di immagini tridimensionali.

Per la visualizzazione dei contenuti stereoscopici all'interno della piattaforma si è optato per la visione anaglifica: questa sebbene abbia di contro una maggiore alterazione cromatica è molto più semplice da visualizzare per l'utente non necessitando di particolari attrezzature, è infatti sufficiente un comune computer e i classici occhialini con lenti rosse e blu (o verde) di facile reperibilità.

Se si fosse optato per una visualizzazione con luce polarizzata sarebbe stato necessario per ogni utente l'uso di attrezzature *ad hoc* per la corretta visione dei contenuti. Nel caso del 3D passivo, infatti, è necessaria una preliminare proiezione delle immagini su appositi schermi *silver-screen* o monitor 3D passivi con filtro che polarizza ogni riga di pixel e scompone ogni frame in righe verticali per mostrare quelle dispari ad un occhio e quelle pari all'altro mediante l'uso di occhialini passivi con lenti polarizzate.

Se la scelta fosse stata per il 3D attivo per la fruizione sarebbero necessari monitor 3D che interagiscono con gli occhiali polarizzati, queste proiettano con una frequenza elevata in maniera alternata le immagini destinate all'occhio sinistro e quelle destinate all'occhio destro, il perfetto sincronismo con gli occhiali permette a questi ultimi di disattivare alternativamente la polarizzazione di una o l'altra lente permettendo a ciascun occhio di visualizzare le immagini ad esso destinate.

I QTVR per la visione stereoscopica del tour sono stati ottenuti mediante il software di modellazione tridimensionale effettuando due rendering per ogni punto di interesse spostando l'asse ripresa di circa 6,5 cm ossia una misura simile alla distanza interpupillare nell'essere umano.

La visualizzazione mediante anaglifi sebbene abbia origini abbastanza remote, oggi si rivela particolarmente utile oltre che per la sua semplicità ed economicità per restituire l'illusione di tridimensionalità in immagini bidimensionali, anche per la possibilità di trasferire le immagini su supporti cartacei.

Ogni singola immagine panoramica è caratterizzata da un alto grado di interattività ed è dotata di barra di controllo *standard* presente in ogni interfaccia grafica.

Gli strumenti adottati per l'interattività sono i cd. *hotspots* linkati, ovvero le "aree sensibili" contenenti informazioni di approfondimento e identificate con due tipi di icone sulle quali è possibile cliccare con il mouse per avere tutte le informazioni possibile sul monumento visibili mediante finestre di popup (o a scomparsa) contenenti informazioni di approfondimento. La prima icona, indicata da una forma circolare con una "i" bianca su campo azzurro, consente di visualizzare una scheda informativa su ogni singolo edificio. La seconda icona è rappresentata da un simbolo a forma di macchina fotografica che richiama immagini di dettaglio del monumento.

Infine, la possibilità di richiamare costantemente la pianta di ogni singola chiesa consente al fruitore di essere sem-



Fig. 4 - Immagini panoramiche della chiesa dei Santi Stefano a Vaste (LE): visualizzazione in shading e wireframe (sopra) e in stereoscopia (sotto).

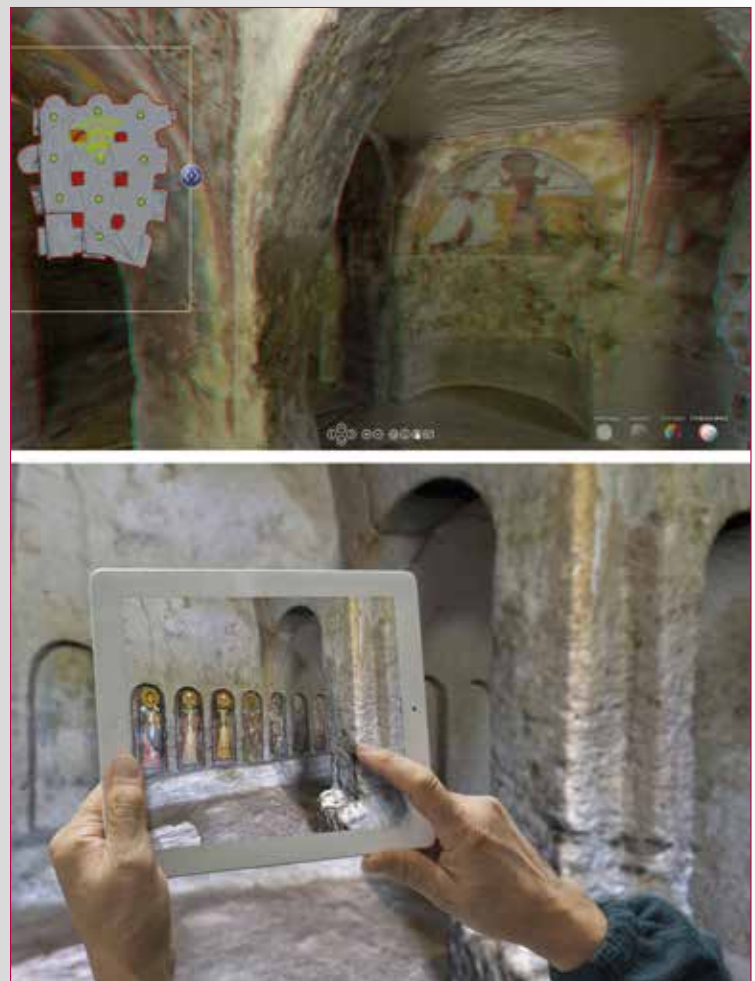


Fig. 5 - Interfaccia della piattaforma di navigazione e applicazione su device mobile.

pre orientato all'interno degli ambienti rupestri durante il *virtual tour*. Ogni interfaccia è arricchita dalla presenza di un radar in grado di orientarsi automaticamente al variare della rotazione del punto di vista dell'osservatore.

La piattaforma di fruizione è strutturata sull'azione combinata di una serie di file che cooperano tra loro per la creazione di un unico progetto da inserire in ambiente Web o su supporto digitale DVD, composto da un file HTML, vari file in formato XML, un elevato numero di immagini JPEG e file audio mp3 e video mp4. I contenuti della piattaforma sono stati impostati per essere fruibili su tutti i dispositivi portatili come *Smatphone* e *Tablet* compatibili con flash e/o html5/css3, compresi i *device* di Apple (*iPad*, *iPhone*, ecc.). (C.G.)

BIBLIOGRAFIA

- BERTELLI G., TEDESCHI L., L'EPURE G. 2004. *La chiesa rupestre di Lama d'Antico e alcune proposte per una catalogazione degli insediamenti in rupe*, in Atti del I Convegno internazionale sulla civiltà rupestre, Spoleto, pp.159-188
- BERTELLI G. 2007, *Strutture e morfologie degli insediamenti rupestri. Alcune riflessioni su Lama d'Antico, S.Lorenzo, S. Giovanni, Lamalunga e la Lama di Seppannibale in agro di Fasano*, in Atti del II Convegno Internazionale sulla civiltà rupestre (Savelletri di Fasano BR, 24-26 novembre 2005), Spoleto, pp.93-117.
- CHIONNA A. 1975, *Insiadamenti rupestri nel territorio di Fasano (BR)*, Fasano, 48-63.
- DELL'AQUILA F., MESSINA A 1998, *Le chiese rupestri di Puglia e Basilicata*, Bari.
- DOUGLAS M., L. IN S., CHODORONEK M. 2015, *The applications of 3D Photogrammetry for in-field documentation archaeological features*, in *Journal of Society for American Archaeology*, 3, 136-152.
- FONSECA C.D. 1979, *Insiadamenti rupestri medievali del Basso Salento*, Galatina.
- FALLA CASTELFRANCHI M. 1991, *La Pittura Monumentale in Puglia e Basilicata*, Milano.
- REMONDINO F., HAKIM S. 2006, *Image based 3d Modelling. A review*. in *The Photogrammetric Record*, 21, 269-291.

NOTE

- 1 BERTELLI *et Alii* 2004, pp.159-188; BERTELLI 2007, pp.93-117; CHIONNA 1975, 48-63; DELL'AQUILA, MESSINA 1998, pp. 154-158 e p. 256; FONSECA 1979, 227-243;
- 2 FALLA CASTELFRANCHI 1991.
- 3 DOUGLASS, LIN, CHODORONEK 2015, 136-152; REMONDINO F., HAKIM S., 2006, 269-291
- 4 LIMONCELLI 2012, 51-106
- 5 <http://www.apple.com/quicktime>
- 6 Il campo visivo umano corrisponde alla porzione di spazio soggetto alla percezione di un occhio fisso in un determinato punto, ed è di circa 130° x 200° (verticale/orizzontale), enormemente superiore all'angolo visualizzabile da una qualunque macchina fotografica.

ABSTRACT

The contribution concerns the recent work carried out as part of a multidisciplinary research on some rocky churches in the southern Apulia, conducted in collaboration with the Chair of History of Medieval Art of the University of Salento (prof. Marina Falla Castelfranchi).

The work aims at the knowledge and the monitoring of the fresco painting inside three rocky environments, two of which are located in Lama d'Antico, in Fasano (BR), and the other one in Vaste di Poggiardo (LE).

The contribution illustrates methods and data acquired during the fieldwork, carried out through a multidisciplinary approach. From the image-based Techniques for the survey in camera-scanner to the restitution of 3D models of the surfaces; from the virtual survey of paintings to the realization of a stereoscopic platform of fruition QVTR-based aimed at the visualization and the enhancement of the Apulian rocky heritage. All data were obtained through low cost technologies and processed in relatively short times, about two months, divided between fieldwork and processing in laboratory.

PAROLE CHIAVE

VALORIZZAZIONE; FRUIZIONE; RESTAURO VIRTUALE; FOTOGRAMMETRIA;

AUTORE

MASSIMO LIMONCELLI, MAX.LIMONCELLI@LIBERO.IT
CLAUDIO GERMINARIO, CLAUDIO.GERMINARIO@GMAIL.COM

UNIVERSITÀ DEL SALENTO