

## **Tecniche avanzate per il rilevamento e la valorizzazione dei beni culturali. La chiesa rupestre di San Nicolò a Modica (RG)**

Giuseppe Anzalone, Salvatore D'Amelio, Benedetto Villa, Ilenia Maria Zisa

DICA - Dipartimento di Ingegneria Civile, Ambientale e Aerospaziale, Università degli Studi di Palermo  
Viale delle Scienze – Edificio 8, 90128 Palermo, Tel. 09123896223, Fax 091588853  
architettoanzalone@gmail.com; arch.damelio@gmail.com; benedetto.villa@unipa.it; archilienia@gmail.com

### **Riassunto**

La Geomatica mette oggi a disposizione degli operatori che a vario titolo si occupano di beni culturali (storici, tecnici delle Soprintendenze, specialisti del recupero e del restauro, o anche solo studiosi) tecniche e strumentazioni di rilevamento sempre più veloci, accurate, affidabili. Spesso, la complessità della geometria dei manufatti da rilevare richiede l'uso di metodologie differenti ma integrate fra loro. Questo è, ad esempio, il caso del rilevamento della chiesa rupestre di San Nicolò a Modica per il quale si è fatto ricorso all'impiego di tecniche laser-scanning e fotogrammetriche digitali integrate. Questa integrazione ha permesso di ottenere un modello 3D virtuale foto realistico ad alta risoluzione. Del modello è stata realizzata anche una versione nel formato VRML, particolarmente indicato per consentire la visualizzazione, la navigazione e l'interazione anche ad utenti privi di conoscenze e strumentazioni informatiche sofisticate. La disponibilità di un modello 3D completo e di precisione metrica adeguata ha fornito a storici ed archeologi uno strumento di grande utilità per la formulazione di ipotesi realistiche sulle varie fasi evolutive della grotta.

### **Abstract**

Today Geomatics places surveying techniques and instruments more and more fast, accurate and reliable at disposal of experts who attend to cultural heritage for various reasons (historians, Monuments and Fine Arts Officer, specialists in restoration, or only scholars too). The complexity of the architectural artefacts to survey often needs the use of different, but integrated among themselves, methodologies. This is, for instance, the case of the survey of the St. Nicolò's rupestrian church at Modica (RG) for which it had recourse to employment of laser-scanning and digital photogrammetric integrated techniques. This integration enabled to achieve a high resolution 3D virtual rendered model. From this model a version carried out into VRML format, particularly indicated to permit also users devoid of sophisticated knowledge and instruments of computer science the visualization, the navigation and interaction. The availability of a complete and suitable precision 3D model gave historians and archaeologists an instrument of great utility to advance realistic hypotheses about the various stages of growth of the cave.

### **Introduzione**

La chiesetta rupestre di San Nicolò Inferiore a Modica rappresenta un *unicum* nel panorama delle chiese rupestri dei monti Iblei, sia per le sue caratteristiche architettoniche sia per quelle pittoriche. Il rilievo di San Nicolò, nato dall'esigenza di documentare un patrimonio pittorico fortemente minacciato dal tempo e dall'umidità, ha fornito un'occasione per applicazioni di moderne metodologie integrate, quali quelle laser scanning e fotogrammetriche, finalizzate alla realizzazione di un modello tridimensionale della grotta, che tenesse conto degli aspetti geometrici e degli importanti affreschi correttamente posizionati, rispetto a tale modello.

La prima fase della ricerca è stata caratterizzata dal rilievo (topografico, laser scanner,

fotogrammetrico) distinto in tre momenti, in cui sono state utilizzate diverse strumentazioni. La seconda fase, invece, è stata caratterizzata dall'elaborazione dei dati del rilievo, finalizzata alla realizzazione di un modello 3D fotorealistico che è stato la base di partenza per la formulazione di ipotesi sulle fasi evolutive della grotta.

### **L'architettura rupestre**

L'architettura rupestre è un elemento distintivo del paesaggio mediterraneo. Testimonianze di siti rupestri sono ancora oggi presenti dagli altipiani anatolici ai deserti egiziani (Nubia), dall'Etiopia alla Tunisia, dai Balcani verso l'Italia, Francia e Spagna (Fig. 1).

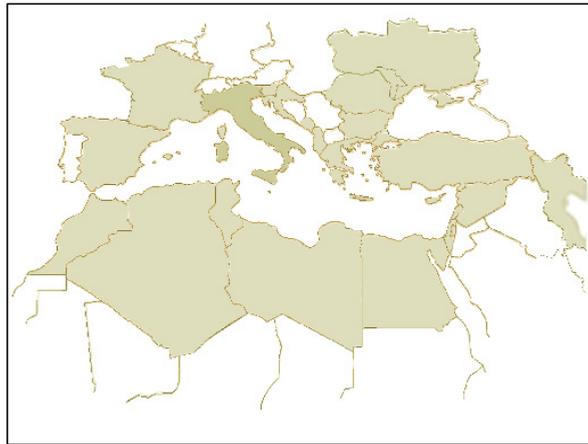


Figura 1 – Siti rupestri dell'area Mediterranea.

Le zone in Italia maggiormente coinvolte dal fenomeno rupestre sono quelle del meridione. Infatti, tale fenomeno si sviluppa nei territori in cui la stagione calda interessa la maggior parte dell'anno e l'abitare in grotta rappresentava la soluzione migliore per contrastare le temperature troppo alte. Gli esempi più ampi si trovano: nell'arco jonico della Murgia, in Puglia, in cui i primi ritrovamenti archeologici risalgono alle Età del Bronzo e del Ferro; in Basilicata, dove i Sassi di Matera rappresentano l'esempio più tangibile; in Calabria, soprattutto nel crotonese; e, ovviamente, in Sicilia, con particolare riguardo all'altipiano ibleo, nella zona orientale della regione, che per le sue caratteristiche offriva la possibilità di difendersi dagli assalti degli animali selvatici e da aggressioni nemiche.

Nel corso dei secoli gli ambienti rupestri, tra cui anche le chiese, furono riadattate secondo le necessità. Le chiese, ad esempio, furono spesso adibite a stalle oppure inglobate all'interno delle masserie per essere adibite a deposito di masserizie. In molti casi diventa difficile risalire alla datazione degli abitati rupestri poiché le grotte documentano solo la *facies* precedente l'abbandono. Le città trogloditiche di Modica e Scicli, scavate alla confluenza di profonde cave, mantengono ancor oggi l'originaria struttura rupestre.

Nel caso di Modica, il suo nucleo originario è facilmente riconoscibile nel massiccio sperone roccioso del Castello (Fig. 2). Lungo gli spalti dello sperone roccioso si addensano le abitazioni rupestri, mimetizzate dalle facciate in muratura.

Nel sito dell'attuale centro urbano di Modica sono state rintracciate diverse chiese rupestri antiche, che sono state nel tempo ristrutturate mediante l'introduzione di parti in muratura. Tra queste gli esempi più importanti sono le chiese di Santa Venera e San Nicolò Inferiore. La chiesa di San Nicolò, scoperta solo nel 1987 in una grotta adibita a locale di sgombero, è considerata la più antica

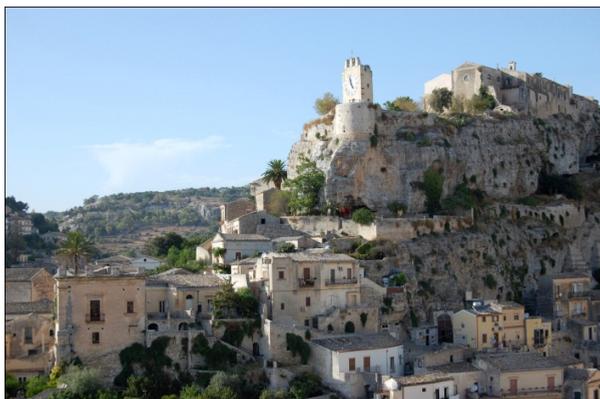


Figura 2 – Sperone roccioso del Castello.

chiesa di Modica. Ciò è possibile affermarlo grazie agli studi effettuati da storici ed archeologi sui diversi strati dei meravigliosi affreschi presenti sulle pareti della conca absidale. A seguito di questi studi si è ipotizzato che la grotta, o comunque una sua parte, sia stata scavata sul finire dell'XI secolo con funzioni parrocchiali. In seguito a causa di un crollo la grotta fu in parte occlusa dalla costruzione di una chiesetta in muratura chiamata "Santa Nicoletta". Quando anche la chiesetta in muratura cambiò la sua destinazione d'uso, divenendo autorimessa e abitazione, la chiesa di San Nicolò attraversò un periodo di buio, non solo figurativo. L'apertura al pubblico è stata voluta dal Centro Studi sulla Contea di Modica che nel 1992 ha acquisito la grotta e ha operato sul territorio facendo crescere sempre più l'interesse nei confronti di essa da parte degli studiosi. In questi anni, infatti, diversi sono stati gli studi effettuati sugli affreschi da diversi archeologi, quasi mai supportati da tecnologie all'avanguardia. Per questo motivo, nel 2010, l'Università di Palermo, essendo in possesso delle strumentazioni adeguate, ha apportato il suo contributo con un rilievo approfondito, avente un indiscutibile valore documentale.

### **Le operazioni di rilevamento**

A causa della natura irregolare delle pareti della grotta, un rilievo topografico tradizionale non sarebbe stato sufficiente per ricostruire la sua complessa geometria ed è per questo motivo che, avendo come obiettivi principali, da una parte, la realizzazione di un modello tridimensionale della stessa, e, dall'altra, la documentazione degli importantissimi affreschi, ci si è avvalsi dell'utilizzo di tecniche fotogrammetriche *close range* e laser-scanning per il rilievo.

Preliminarmente è stata istituita una rete d'appoggio topografica, necessaria a fissare un sistema di riferimento locale opportunamente scelto, utile all'orientamento di tutti gli elaborati grafici, ottenuti dall'applicazione di tecniche fotogrammetriche e laser. Verificata la particolare morfologia del luogo si è deciso di realizzare una poligonale aperta formata da 4 vertici (Fig. 3), i quali sono stati materializzati mediante chiodi d'acciaio con calotta emisferica e di cui si è provveduto a stilare le monografie al fine di consentire in futuro la loro rintracciabilità. Sarebbe infatti possibile e auspicabile un eventuale ampliamento della poligonale grazie alla avvenuta materializzazione di un vertice esterno alla grotta. Ciò potrebbe consentire, con l'uso di un ricevitore GPS, di realizzare la georeferenziazione della poligonale e quindi di inquadrare la grotta nel sistema di riferimento globale. Per il rilievo topografico della rete di inquadramento ci si è serviti della *total station Leica TCR 1105* (Fig. 4) con precisione angolare di 5" e compensatore biassiale con campo operativo di  $\pm 10'$  e di un miniprisma munito di livella sferica.

Trattandosi di una poligonale aperta, quindi di una rete a misure strettamente necessarie, si è proceduto ad una ripetizione di tutte le serie di misure, al fine di evitare la presenza di errori grossolani.

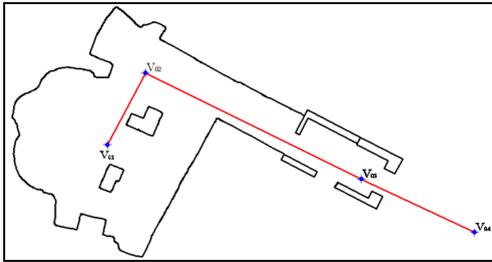


Figura 3 – Vertici della poligonale aperta.

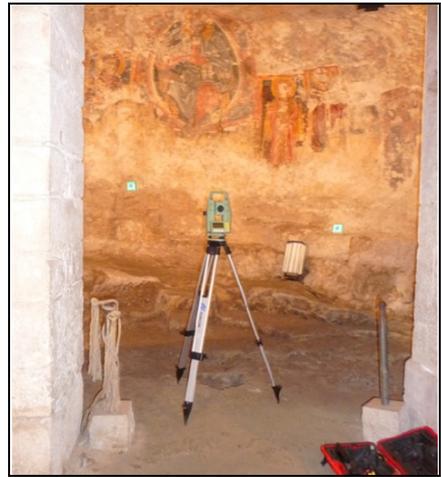


Figura 4 – Total Station Leica TCR 1105.

Mediante l'utilizzo del software *Leica win driver 3.0* sono stati elaborati i dati topografici dei vertici della suddetta rete ed i punti relativi, rispettivamente, ai target laser e ai punti di dettaglio rilevati in facciata e nel vano d'ingresso, e ai target fotogrammetrici, che sono stati correttamente orientati. Il rilievo laser è stato effettuato con un laser scanner Mensi GS200 *long range* (Fig. 5), basato sulla tecnologia a tempo di volo TOF (*time of flight*). A causa della presenza di due grossi pilastri, che impediscono la visione completa dell'ambiente, per il rilievo dell'intera grotta si è reso necessario realizzare 11 scansioni (Fig. 6), posizionando 13 target piani riflettenti rilevati topograficamente. Le acquisizioni sono state effettuate con il programma *Trimble® PointScape™3.2*.



Figura 5 – Laser scanner Mensi GS200.

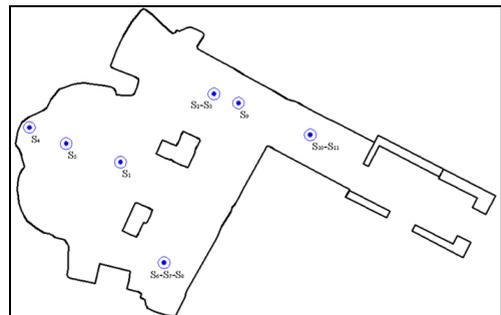


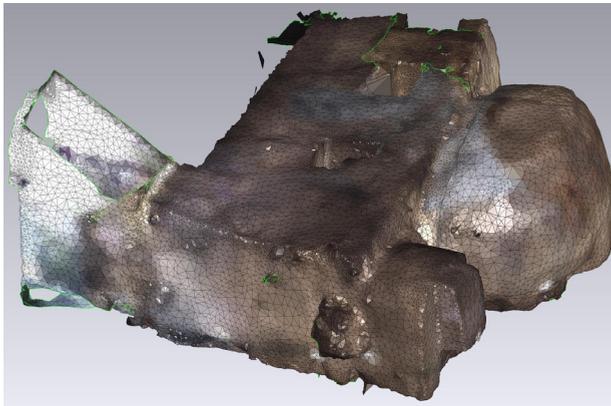
Figura 6 – Stazioni delle scansioni laser.

Dopo le operazioni di riduzione del rumore e di filtraggio, le nuvole di punti sono state mosaicate tramite omologia per tre punti individuati dai target ed orientate secondo il sistema di riferimento locale. Per queste tre operazioni ci si è avvalsi dell'ausilio del software *RealWorks*, che ha dato come risultato un'unica nuvola, contenente più di 8 milioni di punti (Fig. 7).

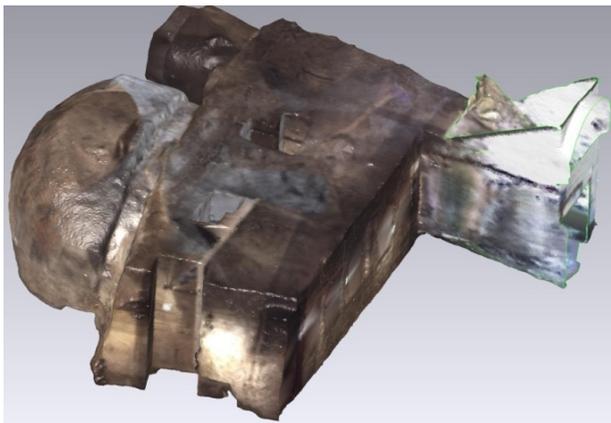
Il prodotto così ottenuto è stato salvato in formato *ascii* per essere importato all'interno di un altro



*Figura 7 – Nuvole mosaicate e orientate.*



*Figura 8 – Modello a mesh triangolari.*



*Figura 9 – Modello finale.*

Il prodotto così ottenuto è stato salvato in formato *ascii* per essere importato all'interno di un altro software, *GeomagicStudio10*®, con il quale si sono realizzate le successive fasi di post-elaborazione.

A partire dalla nuvola di punti completa è stato generato, tramite l'algoritmo di Delaunay, un modello per superfici (*mesh* triangolari), i cui vertici sono costituiti dai punti della nuvola (Fig. 8).

Infine, dopo un'ulteriore fase di elaborazione semi automatica, finalizzata a smussare gli spigoli troppo acuti ottenuti del modello a maglie *mesh* e a colmare i "buchi" che si presentavano a causa della natura discontinua della parete rocciosa, si è ottenuto il modello definitivo (Fig. 9).

Il vano d'ingresso alla grotta è stato rilevato mediante un rilievo topografico classico e i suoi punti di dettaglio elaborati con il software *Autocad 2007*. Il modello 3D ottenuto è stato importato in un formato *stl* in *GeomagicStudio10*® per poter essere integrato al modello della grotta (Fig. 10).

Da questo modello è possibile estrarre elaborati metrici bidimensionali e tridimensionali (piante, sezioni, viste assonometriche da diverse angolazioni) di grande interesse per lo studio e la documentazione della grotta (Fig. 11).

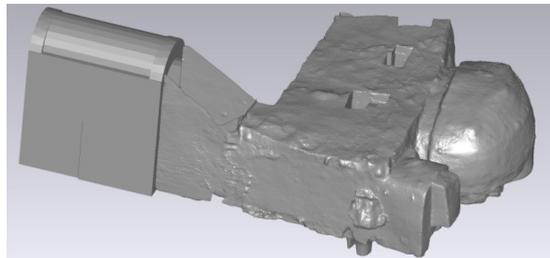


Figura 10 – Modello finale con il vano d'ingresso.

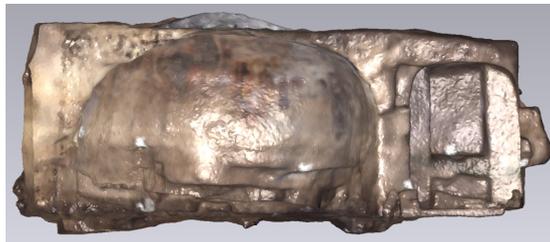


Figura 11 – Sezione con vista sulle absidi.

Il rilievo fotogrammetrico si è svolto in due diverse fasi, avvalendosi di approcci e strumentazioni differenti.

In particolare, la prima fase ha visto l'utilizzo del sistema ZScan, basato sull'approccio stereometrico. Il sistema, come è noto, è costituito da una camera digitale, nel nostro caso una *Nikon D80*, una slitta di precisione con carrello a ricircolo di sfere (lunghezza 900 mm) con testa tilt e un treppiede professionale (Fig. 12). Il software *ZScan*, corredato al sistema, ha permesso, attraverso l'elaborazione di singole triplette di fotogrammi, di generare un modello 3D texturizzato per ciascuna porzione dell'abside oggetto dei fotogrammi. Infine, i singoli modelli 3D sono stati importati in un unico file per consentire una visione complessiva fotorealistica dell'intera conca absidale (Fig. 13).



Figura 12 – Sistema Zscan.

Nella seconda fase si è fatto ricorso alla metodologia fotogrammetrica multi-immagine a prese convergenti, che ha portato alla ricostruzione della facciata di Santa Nicolella. In questo caso ci si è serviti di una fotocamera digitale *Canon IDS-MARK II*. Per la restituzione fotogrammetrica è stato utilizzato il software *PhotoModeler*. Anche in questo caso il risultato finale è stato un modello tridimensionale fotorealistico (Fig. 14).

Il modello per superfici così generato è stato importato nello stesso *file* di *GeomagicStudio10*® insieme al resto del modello e ciò ha permesso la ricostruzione, a partire dalla superficie della facciata, del volume della chiesa di Santa Nicolella.



*Figura 13 – Modello 3D fotorealistico dell'abside.*



*Figura 14 – Modello 3D fotorealistico della facciata.*

### **Ipotesi ricostruttive**

Attraverso la realizzazione del modello tridimensionale della grotta è stato possibile analizzare con maggiore dettaglio gli elementi architettonici originari che ne hanno caratterizzato il primo assetto. La disponibilità di un modello 3D completo e di precisione metrica adeguata ha consentito inoltre di individuare le possibili fasi evolutive della grotta, a partire dalle ipotesi di storici ed archeologi che negli ultimi venti anni hanno condotto studi sui tre cicli pittorici, risalenti a periodi diversi, che ricoprono le pareti interne e, in particolare, la conca absidale.

Sulla base di tali ipotesi, e avendo come base il modello dello stato di fatto della grotta, si è proceduto a “manipolare” tale modello, adattandolo cioè alle possibili configurazioni delle diverse fasi evolutive della chiesetta di San Nicolò. Ciò al fine di rendere visive e graficamente verificabili le ipotesi avanzate.

Una prima ipotesi tenta la ricostruzione grafica a partire dalle ipotesi sostenute dagli studiosi. Consiste di cinque fasi architettoniche (Fig. 15), che vanno dal secolo XI al secolo scorso:

- nella prima fase (XI-XII secolo) si ha l’escavazione della prima porzione di grotta, comprendente la conca absidale e la navata, il cui ingresso si apriva in corrispondenza della facciata di quella che una volta era la chiesetta di Santo Nicolella;
- nella seconda fase (XVI secolo) viene scavata la navata laterale con abside laterale, adibita a fonte battesimale. Si attribuiscono a questa fase le cinque tombe terragne scavate in prossimità delle due absidi;
- nella terza fase, più distruttiva che costruttiva, avviene il crollo della navata.
- nella quarta fase (XVIII secolo) la navata crollata viene sostituita da una nuova chiesa integralmente in muratura, Santo Nicolella.
- Nella quinta ed ultima fase, che ha inizio tra l’800 e i primi del ‘900, si decide di edificare sopra la grotta, riducendo al minimo lo spessore della roccia ed introducendo inevitabilmente dei pilastri a sostegno, che vengono posti davanti la conca absidale. Per l’accesso a San Nicolò si realizza lateralmente uno stretto vano d’ingresso.



Figura 15 – Prima ipotesi ricostruttiva.

La seconda ipotesi (Fig. 16) si differenzia dalla prima per le tre fasi iniziali, mentre le ultime due coincidono. Questo approccio tenta, attraverso lo studio delle quote e delle relative curve di livello generate, di ricostruire la possibile pendenza della parete rocciosa al fine di stabilire con più probabilità la posizione dell’ingresso alla grotta, scavato originariamente. La conseguenza naturale di tale approccio è quella di ottenere una navata più corta ma più armonica nelle proporzioni. Proprio il confronto dimensionale con altre grotte rupestri di analoghe caratteristiche (Santa Venera, Santa Alessandra, San Giuseppe ”u Timpuni”) permette in definitiva di privilegiare questa seconda ipotesi.

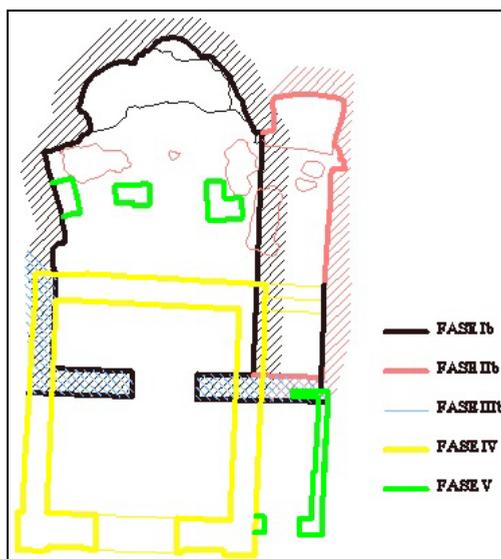


Figura 16 – Seconda ipotesi ricostruttiva.

## Conclusioni

Lo studio della chiesa rupestre di San Nicolò Inferiore ha permesso di analizzare alcune problematiche relative al rilevamento e alla fruizione virtuale di architetture complesse.

L'utilizzo di tecniche classiche di rilevamento topografico non avrebbe permesso, data l'irregolarità delle pareti scavate nella roccia, di ottenere un risultato apprezzabile, come nel caso di superfici più omogenee. Invece, con il ricorso a tecniche avanzate di rilevamento, fenomeno che si sta ampiamente sviluppando nel campo dell'architettura rupestre, si è ottenuto un elevato livello di precisione sia per quel che concerne la complessa geometria della grotta, per cui si sono utilizzate tecniche laser-scanning, sia per quel che riguarda la documentazione dei preziosi affreschi della conca absidale, per cui si è fatto uso di tecniche fotogrammetriche.

L'integrazione di entrambe le tecniche ha rappresentato la giusta soluzione per ottenere un modello completo e un'elevata qualità del dettaglio. Il vantaggio maggiore nella realizzazione del modello tridimensionale è stato quello di poterlo visualizzare da tutti i punti di vista, cosa non sempre fattibile nella realtà.

Nella realizzazione del modello si è potuta fare un'attenta analisi degli elementi architettonici originari e delle varie fasi evolutive della grotta.

Dagli elaborati grafici ed informatici prodotti sarà possibile trarre dati e informazioni utili per un eventuale restauro della grotta.

Del modello 3D si è realizzata una versione navigabile (VRML), capace di offrire all'utente la sensazione di entrare nello spazio 3D, da poter pubblicare sul *web* in modo da consentire, agli studiosi e a tutti coloro i quali fossero interessati a conoscere meglio San Nicolò, l'interazione con il modello. Il *file* VRML, infatti, allo stesso modo di qualsiasi documento ipertestuale, prevede l'impiego di *link* a URL remoti, grazie ai quali sarà possibile interrogare il modello 3D per ottenere informazioni di carattere storico, dimensionale, ecc.

Sarà inoltre possibile, mediante la collocazione di una postazione in loco, utilizzare tale versione navigabile per la consultazione ed interrogazione del modello, che permetterebbe ai turisti, che non possono avvicinarsi troppo agli affreschi, di averne una completa e più ravvicinata visione. Tale sistema sarebbe, inoltre, consigliabile, qualora si volesse affrontare un restauro e la grotta dovesse rimanere chiusa, per potere garantire ai visitatori una fruizione virtuale.

## **Bibliografia**

- Parenti R., Gilento P., Ceccaroni F. (2011), "Three-dimensional data and the recording of material structure", *IASPRS*, Vol. 38/5.
- Villa B., Anzalone G., Casamento M., D'Amelio S., Sciortino R. (2009), "Rilevamento e fruizione virtuale della Gurfa con metodologie avanzate", *Atti della giornata di studio: La Gurfa di Alia e il suo territorio. Archeologia, problemi e prospettive*, Palermo, 10/07/2009, IBAM CNR (in corso di stampa).
- Tucci G., Bonora V., Crocetto N., Nobile A. (2009), "Misurare l'irregolare: applicazioni della geomatica alla tutela e al recupero di un habitat rupestre a Gravina in Puglia", *Atti della 13ª Conferenza Nazionale Asita, 1809-1814*.
- Tucci G., Bonora V. (2007), "Il laser scanner terrestre e il rilievo dei Beni Culturali", *Sistemi a scansione per l'architettura e il territorio*, Alinea Editrice, Firenze, 89-123.
- Girelli V.A. (2007), *Tecniche digitali per il rilievo, la modellazione tridimensionale e la rappresentazione nel campo dei beni culturali*, tesi di Dottorato di Ricerca in Scienze Geodetiche e Topografiche, Università di Bologna, ciclo XIX.
- Remondino F., Fraser C. (2006), "Digital camera calibration methods: considerations and comparisons", *IASPRS*, Vol. 35, Part B5: 266-272.
- Beinat A., Crosilla F. (2003), *Tecniche avanzate di allineamento di scansioni laser*, La tecnica del laser scanner: teoria e applicazioni, ed. CISM, Udine.
- Rinaudo F. (2003), *La tecnica del laser scanning: applicazioni architettoniche e urbanistiche*, La tecnica del laser scanning: teoria e applicazioni, ed. CISM, Udine.
- Rizzone V.G., Sammito A.M. (2003), "Chiese di epoca bizantina e chiese di rito bizantino a Cava Ispica e nel territorio di Modica", *Archivum Historicum Mothycense*, 9: 5-46.
- Grussenmeyr P., Hanke K., Streilein A. (2002), *Architectural Photogrammetry*, Digital Photogrammetry, Taylor & Francis, 300-339.
- Rizzone V.G., Sammito A.M. (1998), "Nuovi dati sulla tarda architettura rupestre di carattere sacro a Modica", *Archivum Historicum Mothycense*, 4: 65-78.
- Di Stefano G. (1996), *La chiesetta rupestre di San Nicolò Inferiore a Modica*, Modica.
- Messina A. (1994), *Le chiese rupestri del Val di Noto*, Istituto Siciliano di Studi Bizantini e Neoellenici: Monumenti; 4, Palermo.