

MODELLAZIONE DIGITALE 3D DELLA GROTTA DEI CERVI

Virginia VALZANO (*), Adriana BANDIERA (*), J.-Angelo BERALDIN (**),
François BLAIS (**), Luc COURNOYER (**), Michel PICARD (**), Daniel GAMACHE (**),
Mariantonia GORGOGLIONE(***)

(*) Coordinamento SIBA – Università del Salento, Ed. "Studium 2000", Via Di Valesio, angolo V.le S. Nicola, 73100 LECCE (Italy), Tel. +39 0832 294261-2-3, Fax +39 0832 294261, e-mail: siba@siba2.unile.it

(**) IIT, National Research Council Canada, Ottawa, Ont, Canada, K1A 0R6

(***) Soprintendenza archeologica della Regione Puglia - Taranto

Abstract

La Grotta dei Cervi di Porto Badisco (Otranto - LE) è uno dei siti archeologici più significativi del territorio salentino per la presenza di uno straordinario repertorio di pittogrammi di epoca neolitica e di altre evidenze archeologiche che attestano una lunga frequentazione della grotta dal paleolitico superiore all'età dei metalli. Luogo di culto preistorico, unico nel suo genere in tutta Europa, la Grotta dei Cervi è difficilmente accessibile ed è chiusa non solo al grande pubblico ma anche agli studiosi per non alterare il delicato microclima che ha permesso sinora la conservazione delle pitture.

Il Coordinamento SIBA dell'Università degli Studi di Lecce, in collaborazione con il National Research Council of Canada e la Soprintendenza Archeologica della Puglia, ha avviato il Progetto "Grotta dei Cervi - Porto Badisco" che prevede la realizzazione di un modello 3D ad alta risoluzione, completo di colore, per lo studio approfondito e la fruizione a distanza, per il monitoraggio ambientale, la conservazione e la valorizzazione della Grotta.

E' stata già realizzata l'acquisizione digitale 2D e 3D delle pitture parietali e degli ambienti ipogei più significativi ed è in corso l'elaborazione dei dati.

Introduzione

I modelli 3D ad alta risoluzione di reperti e siti archeologici contengono una quantità di informazioni che possono essere esaminate ed analizzate per numerose applicazioni di conservazione, ricerca e visualizzazione (Godin et al., 2002). Per esempio, nel caso di un sito che deve essere chiuso o soggetto ad un accesso limitato per ragioni di conservazione, un teatro 3D virtuale immersivo può essere utilizzato per consentire di visitare quel sito "virtualmente". Gli studiosi possono effettuare zoom sul modello per esaminare, misurare e confrontare minuscoli dettagli della superficie, per rilevarne segni di deterioramento o per esaminare le caratteristiche di tracce lasciate dagli strumenti. A differenza della fotografia, un modello 3D fornisce l'effettiva posizione geometrica di ciascun punto sulla superficie. Con l'ausilio del computer è possibile effettuare operazioni di restauro virtuale con tecniche di analisi e miglioramenti visivi che non potrebbero essere applicati in maniera altrettanto agevole mediante le tradizionali tecniche di conservazione. Per esempio, sezioni di dipinti che sono state staccate da un sito ed esposte in un lontano museo possono essere digitalizzate, reintegrate digitalmente e ricontestualizzate nel modello 3D di quel sito. Miglioramenti visivi possono essere utilizzati anche per agevolare la lettura di immagini o iscrizioni sbiadite, oppure per rimuovere graffiti che hanno deturpato le immagini. Infine, modelli 3D acquisiti prima e dopo un effettivo trattamento di conservazione, possono costituire un archivio fondamentale sullo stato di un sito per monitorarne le condizioni e pianificare interventi di manutenzione.

Acquisizione 2D e 3D: un approccio generale

L'acquisizione accurata di siti rupestri, cripte e grotte è una sfida. Alcuni di questi siti si sono creati in maniera naturale, altri sono stati scavati nella roccia circostante; generalmente le pareti, i pavimenti e i soffitti hanno una superficie irregolare e i dipinti (pittogrammi) o le incisioni (petroglifi) seguono i contorni della superficie della roccia per ampie aree. Queste caratteristiche, in particolare la forma della superficie della roccia e gli speleotemi (concrezioni parietali, stalagmiti e stalattiti) sono difficili da acquisire con un alto livello di dettaglio, da misurare, da confrontare e visualizzare con tecniche di acquisizione tradizionali quali il rilievo topografico, il raddrizzamento fotografico, ecc. Non esiste un unico metodo di acquisizione di forma e geometria valido per tutti i tipi di ambiente, che sia allo stesso tempo completamente automatizzato e soddisfi i requisiti di ogni applicazione. Un approccio generale combina informazioni provenienti da materiale storico, immagini multiple, immagini singole, dati acquisiti con scanner laser, forme conosciute, disegni CAD, piante esistenti, dati di sopralluoghi, ecc. (El-Hakim et al., 2005). Gli obiettivi principali

sono: minimizzare l'impatto delle incertezze della misura, aumentare la quantità di informazione disponibile (risoluzione spaziale) e ridurre i costi e il tempo da dedicare a questi siti.

Il Progetto Grotta dei Cervi

Il Progetto "Grotta dei Cervi - Porto Badisco" è stato avviato dal Coordinamento SIBA dell'Università degli Studi di Lecce nel febbraio 2004, in collaborazione con il National Research Council of Canada e la Soprintendenza Archeologica della Puglia. Esso prevede l'acquisizione della forma e dell'aspetto della grotta e la realizzazione di un modello 3D ad alta risoluzione, completo di colore, per lo studio approfondito e la fruizione a distanza, per il monitoraggio ambientale, la conservazione e la valorizzazione della stessa grotta. Il Progetto mira inoltre a portare la tecnologia 3D a livelli più alti, sia per la complessità del modello sia per l'uso che è possibile fare del modello stesso.

La Grotta dei Cervi di Porto Badisco (Otranto - LE) è uno dei siti archeologici più significativi del territorio salentino per la presenza di uno straordinario repertorio di pittogrammi di epoca neolitica e di altre evidenze archeologiche che attestano una lunga frequentazione della grotta dal paleolitico superiore all'età dei metalli. Il sito si estende lungo 3 corridoi principali, le cui pareti sono decorate con pittogrammi di epoca neolitica realizzati in ocre rosse e, in numero maggiore, con un impasto a base di guano di pipistrello (Fig. 2) (Graziosi, 2002). La grotta, scoperta nel 1970 da speleologi locali, è situata nel Sud-Est d'Italia, a Porto Badisco (40°04'47"N, 18°29'02"E), Otranto, LE. L'ingresso principale è situato a 26 m sul livello del mare e la sua profondità massima è di circa 26 m sotto il livello del mare. La temperatura è piuttosto costante, attorno ai 18°C, l'umidità relativa oscilla tra il 98% e il 100% (Laiz et al., 2000). Luogo di culto preistorico, unico nel suo genere in tutta Europa, la Grotta dei Cervi è difficilmente accessibile ed è chiusa non solo al grande pubblico ma anche agli studiosi per non alterare il delicato microclima che ha permesso sinora la conservazione delle pitture. Di conseguenza, un modello 3D ad alta risoluzione completo di colore consentirebbe la fruizione approfondita del sito attraverso studi dettagliati e visite virtuali che non avrebbero alcun impatto ambientale sul sito stesso.

Grotta dei Cervi: considerazioni pratiche

Una visita di ricognizione in grotta, nel 2004, ha consentito al team di pianificare le attività. È stato necessario seguire rigorose linee-guida prima di entrare in Grotta: determinare in anticipo le uscite di emergenza, l'attrezzatura e le stazioni di primo soccorso; procurare tessuti e teli di materiale resiliente per le attrezzature e per le persone; predisporre reti di elettricità e di comunicazione situate in posizioni fisse; monitorare costantemente la temperatura durante il lavoro; assicurare la presenza continua in grotta di due speleologi; non modificare assolutamente il sito per adattarlo all'attrezzatura o alle persone.

In pochi mesi, nel 2004, sono stati messi insieme finanziamenti, attrezzature e team.

Il lavoro in grotta, nel corridoio centrale che misura circa 300 m. di lunghezza, è iniziato nel 2005 ed è durato 10 giorni (Beraldin et al., 2006).

Il team del NRC era composto da cinque persone coinvolte direttamente nel progetto e da un programmatore rimasto on-line in Canada. Il team del SIBA dell'Università di Lecce era composto da cinque persone che hanno partecipato direttamente all'acquisizione in grotta e da un programmatore rimasto collegato on-line all'esterno. Due esperti speleologi e due archeologi sono stati presenti per tutta la durata dei lavori e hanno avuto un ruolo attivo durante le fasi di acquisizione. Il progetto si è svolto secondo i piani, con piccole modifiche rispetto a quanto pianificato, considerate anche la complessità e le difficoltà di un ambiente veramente impegnativo: polvere, umidità, dimensioni, ecc.

Per limitare la quantità di attrezzatura all'interno della grotta e per adattarsi velocemente all'irregolarità delle pareti, è stato utilizzato il prototipo di scanner 3D laser ad alta risoluzione del NRC, modificato *ad hoc* per il progetto. Per l'acquisizione della *texture* sono stati utilizzati una fotocamera digitale da 14 Megapixel con due lenti (24 mm e 14 mm) e quattro flash a 500 watt*sec. Sono stati utilizzati anche un generatore di corrente a basso rumore e un UPS, collocati all'esterno della grotta, e due linee elettriche parallele, ciascuna lunga 300 m: una per lo scanner 3D laser, l'altra per i flash. Un collegamento Ethernet ha assicurato la comunicazione continua tra grotta e superficie, il backup e il trasferimento dei dati tra i computer.

La tecnologia 3D del NRC

Lo scanner laser del NRC, modificato ed utilizzato per questo progetto, è il "Big Scan". Si tratta di un sistema prototipo di ricerca, in fase di sviluppo, per la digitalizzazione 3D ad alta risoluzione di grandi strutture. Il sistema consente acquisizioni ad una distanza camera-oggetto che può andare da 0.5 m a 10 m. Ad una distanza di 0.75 m acquisisce con una incertezza di 0.08 mm. Una versione di questo scanner adatta allo spazio è stata costruita da Neptec Design Group per scopi di ispezione durante le missioni dello Space Shuttle. Big Scan utilizza un laser verde per acquisire immagini 3D ad alta risoluzione. La risoluzione laterale (X, Y) varia secondo la distanza della misura e secondo la densità di punti delle immagini 3D:

- (X, Y) 0.2 mm @ 0.75 m in modalità altissima risoluzione (immagini di 2048 x 2048 pixel),
- (X, Y) 0.4 mm @ 0.75 m in modalità alta risoluzione (1024 x 1024 pixel),
- (X, Y) 0.75-1.0 mm @ 1.4-2.0 m in modalità media risoluzione,
- (X, Y) 2 mm @ 2 m in modalità bassa risoluzione (512 x 512 pixel).

Acquisizioni 3D e 2D: risultati preliminari

Il modello 3D è stato creato mediante acquisizione di un mosaico di immagini 3D e “cucitura” delle stesse immagini per mezzo di un software. Aree di sovrapposizione fra le immagini 3D sono necessarie per allineare correttamente le immagini. Una fotocamera da 8 Megapixel è stata montata sullo scanner laser per acquisire immagini di *texture* di alta qualità. I parametri intrinseci ed estrinseci della macchina fotografica sono stati tarati sul posto usando una griglia virtuale 3D generata dallo stesso scanner laser (Fig.3).

Fotografie di sezioni chiave della grotta sono state acquisite con una fotocamera digitale da 14 Megapixel da due posizioni predefinite e preterate: 2 m per i particolari e infinito per immagini globali. Queste immagini saranno usate per produrre una *texture mapping* a colori ad altissima risoluzione (4500 × 3000 pixel) per i modelli 3D di ciascuna sezione della Grotta.

Sono state acquisite 716 immagini 3D per un totale di 35 GBytes di dati e 1786 fotografie di *texture* ad alta risoluzione a colori per un totale di 65 GBytes (Tabella 1).

La quantità considerevole di dati 2D e 3D ad alta risoluzione consentirà la creazione di un modello 3D della grotta di risoluzione ineguagliabile, finora mai raggiunta per alcun modello 3D di un sito rupestre o di una grotta (Fig. 4). Ciò rappresenterà una pietra miliare per la modellazione di ambienti 3D grandi e complessi. La nostra sfida più grande è legata alle dimensioni e alla risoluzione delle immagini 3D che causano crash nei computer e richiedono un eccessivo tempo di elaborazione: gli strumenti hardware e software attualmente in commercio non consentono infatti di elaborare e visualizzare tale elevata quantità di dati.

Tabella 1: Il progetto “Grotta dei Cervi” in numeri

Numero di ambienti acquisiti	4
Risoluzione laterale migliore	0.2 mm per la geometria, 0.2 mm per il colore
Numero di immagini 3D acquisite	716 X-Y-Z
Numero di punti 3D acquisiti	630 milioni di punti
Numero di immagini 2D acquisite	3500
Quantità totale di dati acquisiti	100 gigabyte
Peso dello Scanner	3 kg
Lunghezza totale cavi elettrici	600 m
Lunghezza totale cavi rete	300 m
Passaggio più stretto	0.6 m x 0.6 m

Conclusioni

I modelli tridimensionali di antichi siti rupestri, di cripte e di grotte forniscono un nuovo importante livello di documentazione, che può essere usato per una varietà di applicazioni di conservazione, ricerca e visualizzazione. Una delle applicazioni più importanti è la visualizzazione, attraverso un teatro virtuale 3D, di modelli accurati di tali siti: essa può essere impiegata per consentire visite virtuali molto realistiche in luogo delle visite reali, che potrebbero mettere a rischio il sito stesso. Una seconda applicazione molto importante è costituita dall'uso dei dati per il monitoraggio attendibile dello stato e della stabilità di un sito.

Il metodo che abbiamo proposto in questo *paper* mira all'utilizzo efficace della modellazione 3D per aumentare la comprensione di un sito che deve essere salvaguardato e nello stesso tempo fruibile da un ampio pubblico, per accrescere la consapevolezza e la conoscenza di siti archeologici fragili, inaccessibili e/o situati in aree remote.

Il lavoro è tuttora in corso e la nostra attività di ricerca è attualmente concentrata sulla creazione di strumenti che consentano di gestire i modelli che saranno generati dai 100 GB di dati 2D e 3D acquisiti.

Ulteriore lavoro di ricerca è necessario per accelerare il processo di acquisizione e modellazione: queste operazioni infatti richiedono ancora una grande quantità di tempo.

E' necessario infine comprendere che l'impegno ed i costi investiti in progetti simili valgono la spesa rispetto al rischio di perdere per sempre siti storici così importanti a causa di atti di vandalismo, guerre o disastri naturali.

Ringraziamenti

L'acquisizione 3D della Grotta dei Cervi è stata realizzata nell'ambito dell'Iniziativa I18 del "Piano Coordinato delle Università di Catania e Lecce" cofinanziato dall'Unione Europea (FESR, PON Ricerca 2000-2006). Si ringraziano L.G. Dicaire, I. Cancelliere, M. Caputo, G. Ciccarese, A. Malcangi, S. Martiradonna, F. Melcarne, S. Nuccio, P. Pulli e A. Toma che con il loro supporto e impegno hanno contribuito a questo progetto. Hanno contribuito finanziariamente anche il Comune di Otranto (LE), il CEDAD e il Dipartimento di Beni Culturali dell'Università di Lecce, il Museo Provinciale di Lecce e il CASPUR di Roma.

Bibliografia

Beraldin J.-A. et al. (2006), “Multi-Resolution Digital 3D Imaging System Applied to the Recording of Grotto Sites: the Case of the Grotta dei Cervi”, in *Proc. of CIPA / VAST / EG / EuroMed 2006, Nicosia, Cyprus, October 30-November 4 2006*, pp. 45-52.

- El-Hakim S.F. et al. (2005), "A hierarchical 3D reconstruction approach for documenting complex heritage sites", in *Proc. CIPA '05*, 790-795.
- Godin G. et al. (2002), "Active Optical 3D Imaging for Heritage Applications", In *Proc. IEEE-CGA*, 2002, Vol. 22, No. 5, 24-36.
- Graziosi, P. (2002), *Le pitture preistoriche della grotta di Porto Badisco*, Rist. anast. Istituto Italiano di Preistoria e Protostoria.
- Laiz L. et al. (2000), "Microbiology of the stalactites from Grotta dei Cervi, Porto Badisco", *Intern. Microb.* 3: 25-30.



Figura 2: Grotta dei Cervi, epoca Neolitica, Italia (40°04'47"N, 18°29'02"E). Pittogrammi (guano e ocre) e speleotemi.

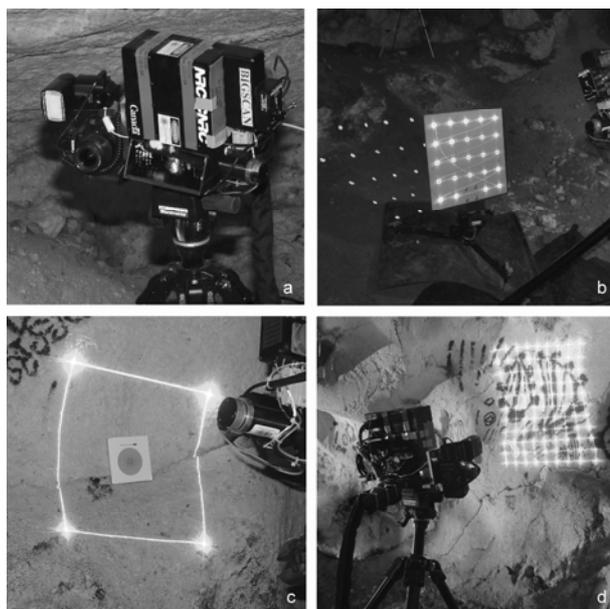


Figura 3: (a) Scanner 3D laser, (b, c) oggetti di taratura e target di risoluzione utilizzati per verificare e tracciare costantemente le prestazioni del sistema, (d) griglia di taratura virtuale per la camera 2D.



Figura 4: Risultato preliminare di una sessione di scansioni ad alta risoluzione costituita da una serie di immagini 3D (risoluzione X-Y: 0.5 mm).

