

L'indagine e la documentazione dei beni culturali in Armenia: il caso studio della zona archeologica e monumentale di Aruch

Antonella Versaci (*), Alessio Cardaci (**)

(*) Università di Enna KORE, Facoltà di Ingegneria e Architettura, Cittadella universitaria – 94100 Enna
tel. + 39 0935.536441 - e-mail antonella.versaci@unikore.it

(**) Università degli Studi di Bergamo, Dipartimento di Ingegneria, viale Marconi 5 – 24044 Dalmine (BG)
tel. +39 035.2052300 - e-mail alessio.cardaci@unibg.it

Riassunto

Il crescente utilizzo delle tecniche digitali, quali il 3D *laser scanning*, ha radicalmente modificato le metodologie del rilievo per la comprensione e la conservazione del patrimonio architettonico. Al contempo, il notevole avanzamento nei sistemi di digitalizzazione/catalogazione e nelle tecnologie di connessione telematica di larga scala degli ultimi anni, ha permesso di rendere accessibili, per mezzo della rete, oltre alle informazioni tradizionali, anche i dati 3D, garantendo nuove possibilità di interazione e fruizione. Questo lavoro si propone di approfondire il tema dell'utilizzo delle nuove tecnologie per l'indagine e la documentazione dei beni culturali, attraverso un caso studio riguardante l'area archeologico-monumentale di Aruch, uno dei più importanti siti sacri in Armenia.

Abstract

The growing use of digital techniques, such as 3D laser scanner, has radically transformed the techniques for the survey, understanding and conservation of architectural heritage. At the same time, great efforts have been made in the improvement of cataloging and digitization systems and telematics networking. Specific sharing applications, integrated within websites specially created, allow today to make available through the network, in addition to traditional information, even 3D data. This paper focus on the usefulness of new technologies for investigation and documentation of cultural goods, showing a case study concerning the archaeological and monumental area of Aruch, one of the most significant sacred sites in Armenia.

Introduzione

La conservazione del patrimonio architettonico armeno è elemento di grande importanza per l'identità e la storia di questo travagliato popolo. Il governo nazionale della giovane Repubblica, la cui indipendenza è stata proclamata il 23 novembre del 1991, riconosce nei propri monumenti un punto di riferimento saldo nel quale rivendicare la propria identità culturale all'interno di un tormentato quadro storico e di un complesso schema geopolitico che vede oggi l'antica terra di Armenia, ridotta nelle sue originarie estensioni e con molte delle sue città appartenenti ad altre nazioni. I monumenti, in particolare, quelli religiosi, hanno contribuito nel corso della storia ad affermare e mantenere il carattere e la tradizione nazionale, permettendo alla popolazione di sopravvivere ai momenti più complessi della sua storia. Pur in condizioni difficili, gli architetti armeni hanno proficuamente animato una prestigiosa stagione artistica e architettonica che si è protratta per parecchi secoli, dando vita ad opere dotate di eccellenti qualità antisismiche, caratterizzate da forme originali e, allo stesso tempo, da una sorprendente omogeneità di stile.

Anche nel periodo di appartenenza all'Unione Sovietica fino alla sua dissoluzione, la tutela del patrimonio artistico architettonico è stata al centro degli interessi nazionali (Villa, 2003). In seguito, però, il terremoto distruttivo del 1988, la crisi energetica e i problemi connessi alla necessità di una riforma dell'intero sistema economico e, non in ultimo, il conflitto con l'Azerbaigian hanno causato

gravi difficoltà economiche che hanno avuto come conseguenza il blocco quasi totale delle attività di restauro dei monumenti e il loro successivo, inevitabile degrado.

Molti monumenti armeni, specialmente dal secondo dopoguerra sino alla metà degli '70, sono stati oggetto di interventi di restauro operati dal governo sovietico, durante i quali sono stati effettuati rilievi metrici. Quanto realizzato propone dei modelli geometrico-interpretativi: non sempre, quindi, fedeli esegesi del monumento reale, anche in ragione della strumentazione e delle metodologie di rilevamento dell'epoca. Le restituzioni grafiche semplificano le fabbriche architettoniche nelle loro geometrie; esse risultano regolarizzate nelle dimensioni, le curvature reali sono sostituite da archi circolari, gli allineamenti sono tra loro paralleli o ortogonali, impostati su esatte simmetrie. Il tutto, esaltando ed evidenziando forzatamente, una regolarità costruttiva e formale non pienamente corrispondente con quanto tuttora esiste ed è misurabile. D'altra parte, se sin dagli inizi del secolo, molto è stato fatto, dal punto di vista della catalogazione e della documentazione del patrimonio architettonico armeno, ad opera di studiosi polacchi, russi e francesi e, dalla fine degli anni '60 anche italiani, i *database* attualmente disponibili in rete, risultano fondamentalmente finalizzati all'implementazione dell'industria turistica ma sono di scarso interesse per lo studioso.

In tale ottica, il lavoro che qui si riassume, ha inteso fornire, attraverso metodologie innovative e in tempi estremamente ridotti, quell'apporto in termini di conoscenza storica, geometrica, costruttiva e stratigrafica, che appare sostanziale per le successive operazioni di conservazione, catalogazione e valorizzazione. L'esperienza condotta sull'area archeologica e monumentale di Aruch, uno dei più importanti siti sacri in Armenia, ha permesso la realizzazione dei modelli tridimensionali completamente misurabili delle emergenze rilevate, altrimenti difficilmente ottenibili con le metodologie convenzionali. È stato, inoltre, possibile verificare in quali aspetti il rilievo effettuato con *laser scanner* possa produrre informazioni utili alla prassi conservativa e documentativa, senza omettere al contempo di evidenziarne le criticità.

Il caso studio: l'area archeologico-monumentale di Aruch

Il complesso di Aruch è situato a nord-ovest di Erevan, nella regione di Ashtarak. Esso è composto da numerose testimonianze del passato, tra cui si erge la chiesa palatina di S. Gregorio, l'unico esempio di tempio paleocristiano con cupola del Paese che possa essere datato con esattezza. Fonti storiche ed epigrafiche attestano, infatti, che l'avvio della sua costruzione risale al 671-72 d.C. e che sia la chiesa sia il palazzo adiacente sono state costruite per volere del principe Grigor Mamikonian, governatore dell'Armenia. Imponente e austera - a conferma del suo carattere principesco - Aruch è la più grande delle sale a cupola armene. Essa può essere considerata come il più compiuto risultato degli esperimenti compositivi del periodo paleocristiano e un eloquente esempio del connubio ormai raggiunto tra la spazialità longitudinale dell'aula voltata a botte e caratterizzata da arcate addossate alle pareti e la verticalità centralizzante della cupola impostata su base quadrata (Gandolfo et al., 1986). Analogamente alle altre chiese di tale tipologia (Ptghni e Dedmashen) e a parte delle chiese della prima metà del VII secolo (Bagavan, Mren, Agrak, T'alın, Akhtala, ecc.), presenta tre aperture sull'abside principale in una ricercata simbologia con il mistero della Trinità. Tre portali permettono l'ingresso all'interno della chiesa in cui sono conservati affreschi del VII secolo raffiguranti il tema dell'Ascensione. Fatta eccezione per il tamburo e la cupola (tuttora mancanti), la chiesa è stata restaurata tra il 1946 e il 1948; oggi, pressoché inutilizzata se non dai pochi devoti del piccolo villaggio limitrofo, presenta numerose problemi, soprattutto statici.

A sud-est della cattedrale, si situano le rovine del palazzo, composto da due costruzioni separate, una grande sala e una sala colonnata. Il vero palazzo è costituito dalla sala colonnata dove è ancora visibile la sala del trono, caratterizzata da due massicci capitelli decorati con sculture. La sala centrale è suddivisa in tre navate da imponenti colonne di pietra. Nella sala grande, alcuni elementi quali gli stilobati o le croci scolpite sulla parete nord, denunciano l'originaria funzione di cattedrale, più tardi trasformata in palazzo, come del resto appare dimostrato dagli scavi archeologici effettuati nel 2006-2007. Poco lontano, è possibile trovare i resti di una chiesa del IV secolo e di una piccola cappella. L'intera area è circondata da un antico cimitero. Gran parte del sito, attende di essere

riportato alla luce: l'esistenza di un'antica città attorno al palazzo sembra essere supportata dalle tracce di imponenti mura, ma ciò potrà essere appurato solo in seguito a nuove campagne di scavi. L'area riveste, comunque, l'interesse del Ministero della Cultura che su di essa intende intervenire in tempi brevi.

Il rilievo integrato

La pratica del rilievo per lo studio, l'analisi e la valorizzazione del patrimonio architettonico ha beneficiato, in questi ultimi anni, di un notevole avanzamento nei sistemi integrati di acquisizione che permettono di combinare le prassi tradizionali con metodologie di *image-based modeling* per la creazione rapida di modelli 3D ad alto impatto realistico (Callieri et al., 2009; Verhoeven, 2011; Filippucci, 2010; De Luca, 2011). In più, nuove occasioni sono offerte dallo strumento del *virtual tour*, mezzo di conoscenza immersiva e interattiva ottenuta attraverso l'utilizzo di prassi di *photo stitching* su immagini sferiche collegate tra loro tramite *hotspot*, che meglio di altre forme di rappresentazione, avvicinano oggi l'utente finale alla visita reale di un luogo, sia come qualità visiva che come percezione emozionale, garantendo una maggiore comprensione e fruizione degli oggetti architettonici anche a distanza.

L'evoluzione di tali sistemi e la semplificazione nel loro utilizzo non deve trarre, però, in inganno. Lo studio della esatta geometria dei monumenti - elemento essenziale nell'ambito di un approccio che cerca di interpretarne il comportamento nel tempo a partire dalla comprensione del sistema strutturale antico - non può ancora, infatti, prescindere dai sistemi topografici consolidati (stazione totale, strumentazione GPS e 3D *laser scanner*) il cui utilizzo richiede l'intervento di operatori specializzati, un notevole impegno in termini di tempo per le restituzioni e di risorse economiche (sempre più ridotte ma nonostante tutto ancora consistenti) per l'acquisto delle attrezzature e dei *software* correlati.

Gli studi condotti ad Aruch, volti alla conoscenza accurata di preziose testimonianze dell'architettura armena - rilevate in tempi ormai lontani con strumentazioni e accuratèzze ridotte, e una tendenza alla regolarizzazione geometrica propria della prassi del tempo - (fig. 1) e finalizzati al progetto di restauro e consolidamento della cattedrale, nonché alle successive operazioni di scavo nella restante area archeologica, sono stati improntati proprio all'utilizzo delle più ampie tecnologie

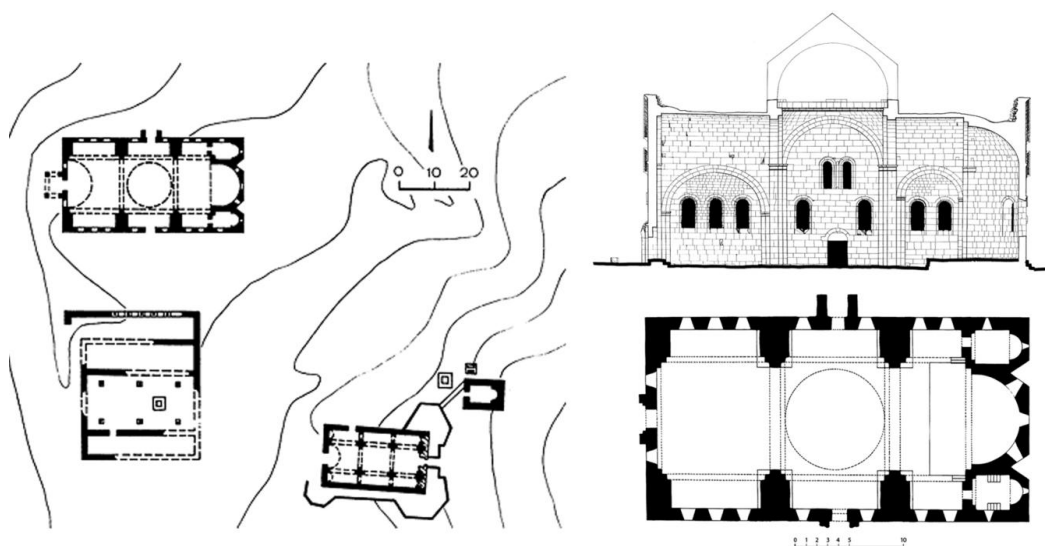


Figura 1. La Cattedrale di Aruch e l'area archeologica annessa nei rilievi provenienti dagli archivi storici.

di misura e indagine disponibili. Tali metodologie sono state selezionate in maniera cosciente e consapevole, tenendo conto dell'ottimizzazione del rapporto costi/benefici - ovvero in funzione dei beni oggetto di studio - e sono state applicate secondo una logica di forte integrazione.

Le attività hanno richiesto, innanzitutto, la creazione di una robusta rete poligonale i cui vertici (materializzati da chiodi topografici applicati su basi in calcestruzzo, anche in previsione di eventuali monitoraggi futuri) hanno costituito dei punti di coordinate note, compensate e georeferenziate tramite GPS. L'esecuzione di una rete poligonale (con incertezza sub-millimetrica in ogni suo nodo), costituita da una maglia curvilinea disposta lungo il perimetro dell'area e, inoltre, dotata di numerosi bracci interni di raffittimento e irrigidimento, è stata condotta in collaborazione con un *team* di dottorandi della *Yerevan State University of Architecture and Construction* (YSUAC), coinvolti nella ricerca.

Essa ha permesso - e lo permetterà anche in futuro - di restituire in un unico sistema di riferimento georeferenziato e con elevata precisione, i rilievi parziali eseguiti nei diversi periodi tramite tecnica *laser scanning* e/o di rilievo diretto con l'utilizzo di reticoli quadrettati, per quanto concerne le aree di scavo archeologico (Marino, 1990; Medri, 2003).

Nello specifico, data la sua estensione, le particolari condizioni climatiche (1200 metri sul livello del mare e esposto ai venti dominanti) e le relative difficoltà di raggiungimento, il sito di Aruch è stato rilevato nel corso di due campagne della durata di 4 giorni ciascuna, effettuate nel periodo primaverile degli anni 2012 e 2013 (fig. 2).

Le operazioni di rilievo *laser scanning* hanno, in una prima fase interessato la cattedrale (ad esclusione del prospetto nord, delle coperture e delle cappelle interne). La seconda missione ha, invece, avuto come oggetto il rilievo del palazzo, della basilica del IV secolo e della cappella ad essa vicina. Essa ha, inoltre, permesso la conclusione delle operazioni attraverso l'acquisizione del prospetto mancante, di una parte del cimitero e delle falde del tetto: acquisizioni possibili solo grazie all'utilizzo di una piattaforma elevatrice.

Le scansioni sono state interamente eseguite con la strumentazione Faro Focus^{3D} e allineate grazie a reti per la registrazione realizzate per mezzo di *checker* cartacei. La ridotta distanza tra le singole stazioni - sempre inferiore ai 15 metri per garantire un'ottimale lettura dei target - ha permesso di ottenere una nuvola finale molto fitta e con limitate zone occluse, sebbene sia stata utilizzata 1/4 della risoluzione massima dello strumento e una qualità 4x corrispondente a circa 43 milioni di punti acquisiti in tempi leggermente superiori ai 9 minuti primi e comprensivi del dato colore.

Le successive fasi operative hanno permesso di ottenere dei modelli 3D a punti testurizzati dai quali sono state ricavate ortofoto ad alta risoluzione (alla tolleranza nominale per le rappresentazioni vettoriali della scala 1:50), necessarie per la restituzione di planimetrie, piante, prospetti e sezioni. Le proiezioni ortografiche prodotte (figg. 3a e 3b) sono state successivamente "lavorate" secondo prassi consolidate di grafica 2D al fine di restituire delle immagini che permettessero una lettura più chiara e definita dei degradi e dello stato di fatto pur non alterando la veridicità cromatica, materica e geometrica.



Figura 2. Le attività di rilievo topografico e *laser scanning*.

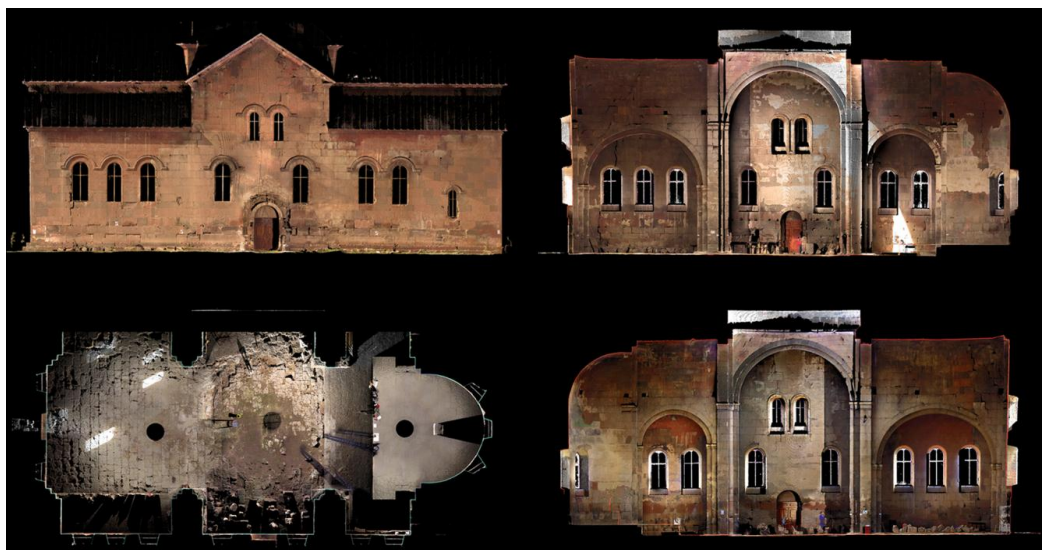


Figura 3°. Proiezioni ortografiche della Cattedrale ottenute tramite acquisizione laser scanning e registrazione effettuata con il software Faro Scene 5.1.

Modellazione 3D e prototipazione rapida per la conservazione e la valorizzazione

L'acquisizione dei dati 3D e la loro registrazione all'interno di un unico sistema di riferimento comune non esaurisce però il problema, ben più complesso, della condivisione *web* delle informazioni. Le nuvole di punti, in quanto elementi grezzi di elevatissimo peso (in termini di dimensione dei *file*), mal si prestano a una gestione remota su un server dedicato. E' necessaria, quindi, un'ulteriore elaborazione dei dati per trasformare il modello a punti in modello CAD. In generale, tale prassi, un tempo complessa, è oggi di facile attuazione per mezzo di applicativi dedicati che permettono l'importazione della nuvola in ambiente Autodesk AutoCAD.

La nuvola, campionata e importata come blocco, ha quindi fornito la base tridimensionale per una modellazione 3D per mezzo di primitive elementari, in parte semplificando gli elementi costruttivi e architettonici in famiglie tipologiche di geometria nota. Ciò ha come inevitabile conseguenza la restituzione di superfici regolari quali rappresentazione spaziale approssimata delle misure del sensore (Guidi et al., 2010). Tuttavia, tale manipolazione garantisce la migliore comprensione dell'edificio espresso nei suoi elementi costruttivi e consente la facile visualizzazione su qualunque pc, *tablet* o *smartphone* (anche attraverso *pdf* tridimensionali) e per tale ragione è stata qui adottata.

Il modello CAD, facilmente convertibile in formato *stl*, è stato utilizzato per supportare processi metodologici di *reverse engineering* e *rapid prototyping*. Prese in prestito dal mondo del disegno industriale, tali metodologie costituiscono oggi un valido supporto al progetto di conoscenza e all'analisi finalizzata allo studio degli edifici storici (e non solo). La possibilità di ottenere rapidamente modelli non esclusivamente virtuali ma anche fisici di architetture esistenti - o, ancora, modificate in fase esecutiva -, iniziando dalla digitalizzazione 3D per mezzo di tecniche fotogrammetriche o laser scanning e/o dalla lettura dei documenti di archivio, rappresenta un sicuro valore aggiunto sia per la loro corretta documentazione (incluso l'analisi delle fasi evolutive) sia per il loro restauro, conservazione e valorizzazione (fig. 4). La rappresentazione si arricchisce dei plastici realizzati grazie a stampanti 3D o macchine a controllo numerico che, affiancate alla produzione di modelli virtuali e disegni, consentono di comprendere più profondamente l'architettura e comunicarla con più semplicità. L'acquisizione costituisce la prima fase di un processo di trattamento delle informazioni cui segue la modellazione 3D per la creazione sia di

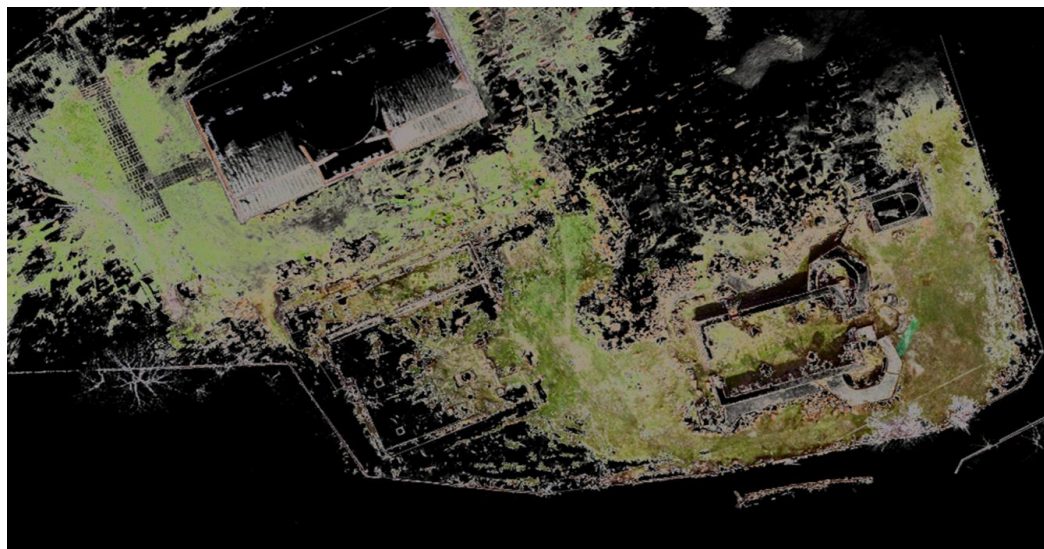


Figura 3b. Planimetria generale del sito ottenuto tramite laser scanning.

artefatti virtuali testurizzati e navigabili che di repliche fisiche: modelli in grado di fornire una descrizione realistica dell'oggetto e in più contenente informazioni metriche accurate, materiche e del degrado.

Infine, si è deciso di procedere anche alla documentazione degli elementi decorativi in pietra e, in particolare, dei numerosi *khatchkar* presenti nel sito e deposti in corrispondenza della zona cimiteriale. Per tali elementi, si è considerato che, quando il rilievo è finalizzato alla sola documentazione del patrimonio culturale, in più se limitata ad una fruizione *online*, non sempre necessita di una esatta ricostruzione metrica del modello. Sul mercato sono attualmente disponibili svariati *software* (quali *Agisoft Photoscan*) che da una serie di immagini opportunamente acquisite conducono alla realizzazione di modelli 3D (fig. 5). Tali applicazioni, grazie all'elevato grado di automazione riducono il controllo e l'intervento dell'operatore e sono caratterizzati da un'alta qualità finale tale da rendere spesso inutile un successivo *post-editing*. Inoltre i risultati possono essere arricchiti con l'inserimento di elementi multimediali (testi, audio, video, mappe) atti a rendere la rappresentazione dinamica ancor più comunicativa, senza la necessità di attrezzature complesse e costose da parte di operatori generici. Questa prassi di rilievo è stata impiegata per gli elementi sopra descritti.

Immagini frontali da sottoporre a semplice raddrizzamento fotografico hanno consentito il ridisegno in scala dei decori di ogni singolo elemento e l'utilizzo delle altre immagini fotografiche ha permesso la ricostruzione del modello 3D per comprenderne la dimensione spaziale. Tutto il materiale, frutto dei rilievi effettuati e di quelli che saranno continuati, trova già collocazione all'interno di un database liberamente accessibile in rete. Le pagine principali del sito, una per ogni monumento rilevato, contengono indicazioni storiche e bibliografiche, una scheda riassuntiva delle operazioni di rilievo e del processo di acquisizione e catalogazione digitale, una planimetria multimediale, slide e gallerie di immagini (recenti e storiche), animazioni e modelli 3D in formato *.pdf*. La sentita necessità di poter condividere con gli studiosi il materiale grezzo della nuvola di punti, ha suggerito di affiancare al database un link ad un servizio di hosting sul quale è possibile consultare il progetto *Web Share* (immagini 2.5D direttamente misurabili) ed effettuare il download (dopo successiva autorizzazione del webmaster) dei file di scansione in formato *fls*.

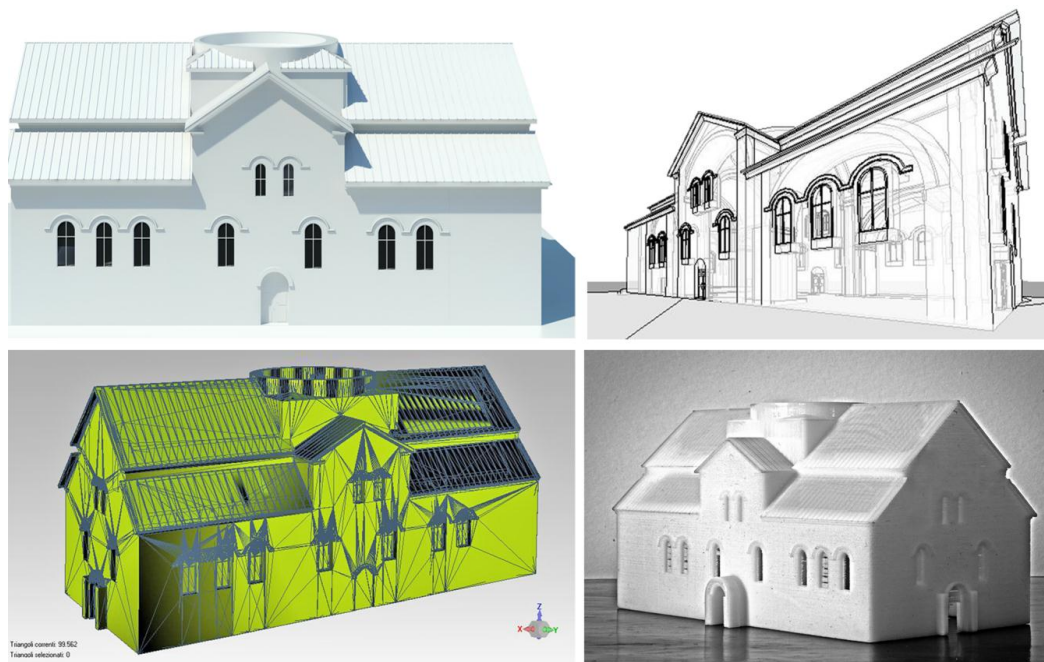


Figura 4. Modelli CAD e prototipazione rapida.

Conclusioni

L'utilizzo di nuove tecnologie a supporto della documentazione del patrimonio culturale non è sostitutivo dei metodi di studio e catalogazione sino ad oggi applicati, ma integrativo ad essi. La nuvola di punti, i modelli geometrici 3D, sono un bagaglio di informazioni che si vanno ad aggiungere alle conoscenze già possedute sul monumento al fine di una sua migliore comprensione. La problematica maggiore è legata alla frammentarietà di queste informazioni e alla difficoltà di accesso agli archivi, anche telematici. I numerosi progetti esistenti per la valorizzazione del patrimonio armeno mancano di un coordinamento tra le vari componenti e, troppo spesso, confondono la documentazione per la conoscenza con la documentazione per la comunicazione.

La cultura armena ha prodotto nei secoli un paesaggio culturale dominato dagli elementi tangibili della religiosità cristiana; su queste basi si è avviata una politica di promozione per la conoscenza dell'Armenia orientata anche verso il turismo culturale (Cappucci et al., 2009). Si sono moltiplicati i progetti di banche date e siti che catalogano (attraverso foto, schede, modelli animati) il patrimonio culturale dell'Armenia ma con la finalità di permetterne una rapida divulgazione e un forte impatto; per creare curiosità su tali misteriose e suggestive terre. È questa la finalità della documentazione per la comunicazione proposta, ad esempio, da www.armenica.org, www.virtualani.org, www.cilicia.com o ancora www.armenianmonuments.org che forniscono informazioni di base necessarie per il visitatore ma troppo approssimate per lo studioso. Il lavoro che qui si riassume è ancora un progetto pilota in fase iniziale che prevede uno sviluppo e una continuazione, attraverso la condivisione e la collaborazione con archivi digitali e altre analoghe strutture quali CyArk (<http://archive.cyark.org/>), ad esempio, la cui missione è la documentazione di siti di inestimabile bellezza e ricchezza culturale; una risposta alle crescenti minacce di distruzione e degrado, umane e naturali, al fine di garantire e mantenere viva la "memoria collettiva dell'umanità".

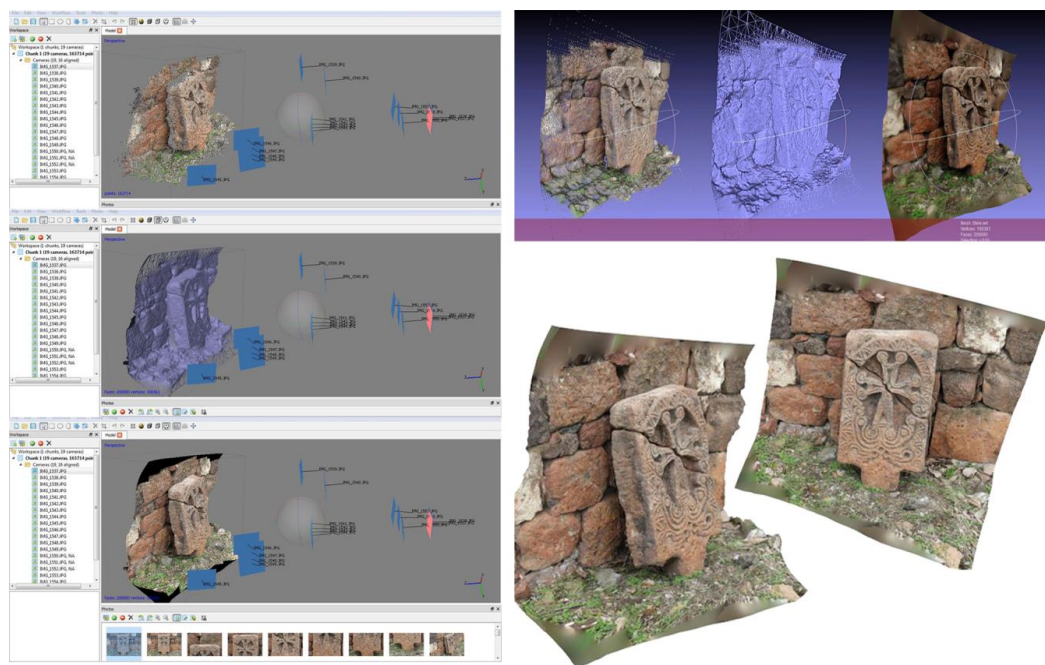


Figura 5. Ricostruzione 3D image-based di elementi decorativi in pietra.

Riferimenti bibliografici

- Callieri M., Corsini M., Ranzuglia G., Cignoni P. (2009), "Scanner 3D con hardware low cost e strumenti free/open source", *Archeologia e Calcolatori*, 2: 175-182
- Cappucci M., Zarrilli L. (2009), "Il paesaggio culturale armeno: retaggio storico, fattore identitario o risorsa turistica?", in Persi P. (a cura di), *Territori Contesi. Campi del sapere, identità locali, istituzioni, progettualità paesaggistica*, Istituto di Geografia – Università di Urbino, Fano
- De Luca L. (2011), *La fotomodellazione architettonica. Rilievo, modellazione, rappresentazione di edifici a partire da fotografie*, Dario Flaccovio Editore, Palermo
- Filippucci M. (2010), "Nuvole di pixel. La fotomodellazione con software liberi per il rilievo d'architettura", *DISEGNARECON*, 6: 44-49
- Gandolfo F., Zaryan A. (1986), *Documenti di architettura armena: Ptghni-Arudch*, OEMME edizioni, Milano
- Guidi G., Russo M., Beraldin J. (2010), *Acquisizione 3D e modellazione poligonale*, McGraw-Hill Education, Milano
- Marino L. (1990), *Il rilievo per il restauro*, Hoepli, Milano
- Medri M. (2003), *Manuale di rilievo archeologico*, Laterza, Roma
- Verhoeven G. (2011), "Taking ComputerVision Aloft Archaeological Three-dimensional Reconstructions from Aerial Photographs with PhotoScan", *Archaeological Prospection*, 18: 67–73
- Villa F. (2003), *Quattro secoli di architettura armena*, Civis, Napoli