

IL LASER SCANNER PER LA VERIFICA DI IPOTESI GEOMETRICHE: APPLICAZIONE AD UN MONASTERO MUSULMANO A XANTHI

ADAMI (*), GUERRA (**), TSIUKAS (**), VERNIER (****)

(*) Politecnico di Milano, DIAR, Piazza Leonardo da Vinci, 26 Milano, adami_a@tin.it

(**) Università IUAV di Venezia, CIRCE, Santa Croce 191, Venezia, guerra2@iuav.it

(***) Democritus University of Thrace, Dept. of Architectural Engineering, vtsiouka@arch.duth.fr

(****) Politecnico di Milano, DIAR, Piazza Leonardo da Vinci, 26 Milano, vernier@iuav.it

Abstract

L'esperienza che viene presentata tratta il rilievo di un monastero musulmano sito nella prefettura di Xanthi nel nord-est della Grecia. Le operazioni di rilievo dovevano essere condotte in modo speditivo in quanto non vi era la possibilità di stazionare a lungo sul sito e neppure di ritornare. Per questo motivo si è scelto di utilizzare la tecnologia laser scanner così da acquisire grandi quantità di dati, sia geometrici che fotografici, in tempi contenuti. Contemporaneamente all'acquisizione delle nuvole di punti, si sono acquisiti anche i GCP per via topografica in modo da georeferenziare tutte le nuvole in un unico sistema di riferimento locale.

Nella fase di elaborazione dei dati, le nuvole di punti sono state utilizzate in due diversi modi. Il primo percorso, quello ormai tradizionale, ha visto innanzitutto il filtraggio dei dati e la successiva triangolazione dei punti per ottenere un modello 3d di superfici e le ortofoto dei prospetti laterali.

La particolare struttura del monastero ha però suggerito di utilizzare i dati laser scanner non solo nella creazione di un modello poligonale, costruito senza regole geometriche ben definite, ma anche per la realizzazione di un modello solido da realizzare come verifica delle ipotesi costruttive.

La genesi geometrica è infatti abbastanza chiara e soprattutto evidente. La forma interna del monastero può essere assimilata ad un ottagono di base, sormontato da una cupola emisferica su pennacchi ottagonali. Le operazioni di modellazione, condotte a partire dalle nuvole di punti, hanno utilizzato la tecnica del best fitting per calcolare di volta in volta la miglior sfera interpolante da utilizzare nell'ipotesi geometrica. È stato così costruito un modello solido tridimensionale di tipo ideale da confrontare con quello poligonale derivante direttamente dai dati acquisiti.

Il confronto ha messo in evidenza, come era prevedibile, la non perfetta aderenza del modello geometrico ipotetico con il modello reale. Attraverso l'utilizzo di software progettati per il reverse engineering sono state infine evidenziate sia le aree di maggior aderenza tra i due modelli (reale e geometrico) sia quelle in cui la differenza è maggiore.

Abstract in inglese

This paper talks about the survey of a Muslim monastery in the prefecture of Xanthi in the north-east of Greece. In this particular case there was neither the possibility of coming back or to stay for a long time in the same place. For these reasons the survey has been done using a laser scanner in such a way to acquire a big amount of geometrical and radiometric data. At the same time, we acquired also the position of reflective targets by the use of a total station, in order to georeference all data in only one reference system.

In the first step the pointclouds have been processed in a "traditional" way: internal and external data processing and realization of a 3d model by mesh. In the second step the particular shape of the

monastery suggested to use the pointclouds like an instrument to verify some geometrical hypothesis. The building in fact is clearly composed by simple geometrical solid blended in different ways.

In particular we started from a geometric hypothesis concerning the inner structure of the monastery and we verified it using a best fit geometry. In this way the noise of the instrument is computed in the 3d shape extracted from the pointcloud.

At the end we obtained two model to compare: the first model, made of mesh, is strictly connected with reality and the second model which has been constructed using geometric rules verified by the pointcloud

Introduzione

Le nuvole di punti ottenute mediante scansioni laser rappresentano oggi uno strumento molto diffuso nella descrizione di un'architettura. La numerosità dei punti acquisiti permette infatti una descrizione quasi continua delle superfici contrapposta alla rappresentazione discreta che ha sempre caratterizzato la disciplina del rilievo. I metadati che distinguono ogni singola nuvola (primo tra tutti il colore) aggiungono ulteriori possibilità che portano ad una descrizione non solo geometrica dell'oggetto scansionato, ma anche materica. E' quindi possibile caratterizzare i modelli creati a partire dalle nuvole di punti con indicazioni riguardanti i materiali, le tessiture, lo stato di conservazione e tutti gli altri temi evidenti dall'accostamento geometria immagine. Anche per quanto riguarda gli aspetti logistici l'utilizzo del laser scanner ha permesso un notevole passo avanti, consentendo l'acquisizione veloce di numerosissime informazioni e demandando ad una seconda fase, in studio, l'elaborazione delle stesse.

Per tutti questi motivi il laser scanner viene utilizzato anche nei casi di "rilievo speditivo" in cui non c'è la possibilità di procedere con le metodologie tradizionali ed esiste tuttavia la necessità di acquisire il maggior numero di informazioni. Un esempio di tutto ciò è il rilievo di un monastero musulmano sito vicino alla città di Xanthi in Tracia (Grecia) realizzato in collaborazione con il prof V. Tsioukas della Democritos University of Thrace all'interno del IINTERREG IIIA/PHARE CBC "co-operation networks for the transfer of know-how in 3D digitization applications. La particolare geometria del monastero, appena riportato alla luce, ha destato l'interesse oltre che per le proprie caratteristiche stilistico-costruttive, per la riconoscibilità delle geometrie elementari che la compongono.

Il rilievo e i diversi utilizzi della nuvola di punti

Il rilievo del monastero, che è avvenuto in un arco di tempo limitato (circa 4 ore), è stato realizzato da 5 punti di scansione all'esterno e da 3 all'interno, per un totale di circa 27 milioni di punti.



Figura 1: individuazione dei punti di scansione

Avendo utilizzato un Riegl LMS 390i sono stati acquisiti oltre ai punti anche i valori RGB per ogni singolo punto. L'appoggio topografico, di tipo tradizionale, è stato realizzato con lo scopo di georeferenziare le diverse nuvole utilizzando dei GCP.

La successiva elaborazione dei dati ha seguito, inizialmente, il classico percorso che prevede il trattamento esterno ed interno della nuvola di punti per arrivare poi ad un modello per superfici del monastero. Le scansioni, sia interne che esterne, sono state registrate nel sistema locale e successivamente sono state filtrate e decimate per costruire la mesh finale del monastero. Utilizzando la superficie costruita e le fotografie infine sono state realizzate le ortofoto degli esterni con le quali sono stati mappati i modelli.

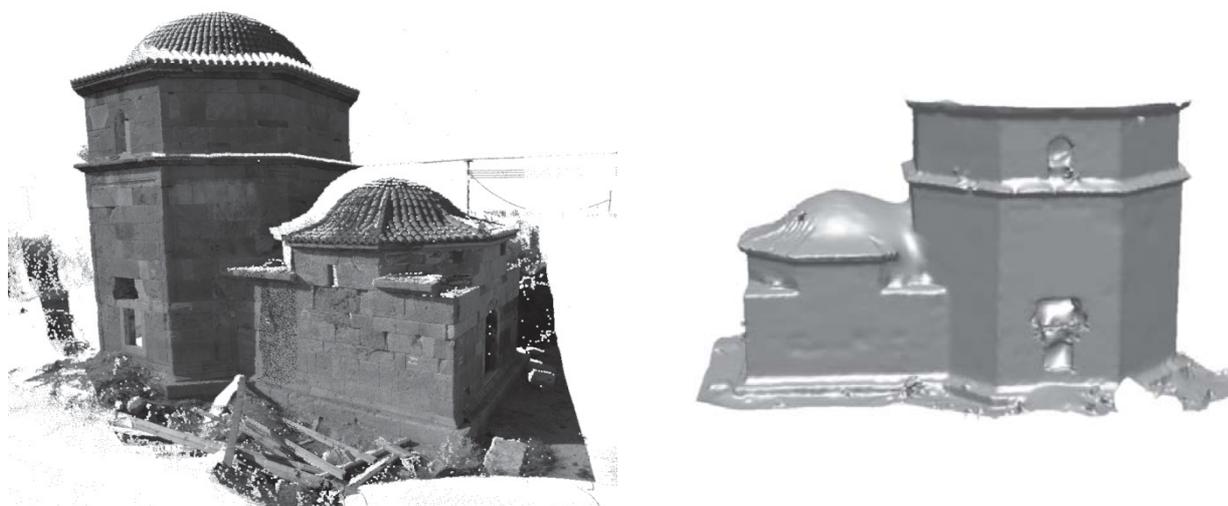


Figura 2: vista della nuvola iniziale (a) e del modello per superfici (b)

La particolare forma del monastero ha però suggerito un percorso diverso nell'utilizzo della nuvola di punti. Si è cercato infatti di utilizzare i punti acquisiti per verificare le ipotesi geometriche che sottintendono l'intero edificio.

Sono stati studiati prevalentemente due aspetti della geometria: la forma e la misura. Il primo, la forma, per individuare le primitive geometriche e le relazioni che intercorrono tra di esse per arrivare all'edificio studiato, facendo riferimento alle operazioni classiche dell'algebra booleana. Il secondo aspetto considerato è quello della misura, necessario per passare da un modello ideale ad un modello fisico, reale.

La numerosità dei punti e la loro disposizione tridimensionale nello spazio hanno permesso di applicare le suddette analisi con un procedimento insolito rispetto alle applicazioni tridimensionali. Non è presente infatti la suddivisione classica che piante e alzati, ma ogni osservazione è condotta direttamente nello spazio 3d in cui le primitive geometriche non sono più cerchi, quadrati o triangoli, ma direttamente cubi, sfere e parallelepipedi.

Il monastero esternamente può essere suddiviso in due parti: la principale costituita da un parallelepipedo a 8 lati con copertura smussata, mentre la parte secondaria è costituita da un parallelepipedo a base quadrato sovrastato dalla medesima copertura. Lo spazio interno invece può essere schematizzato come un parallelepipedo sempre a base ottagonale sovrastato da una cupola semisferica su pennacchi.

La verifica delle ipotesi geometriche è condotta a partire dalla nuvola 3d in due diverse modalità: o attraverso l'estrazione di profili orizzontali e verticali da confrontare con le ipotesi fatte (ottagono di base del volume principale) oppure attraverso geometrie "best-fit" estratte direttamente dalle nuvole. Software di reverse engineering come RapidForm e Geomagic, permettono di estrarre le migliori geometrie interpolanti e danno anche indicazioni sull'aderenza della geometria virtuale con quella reale evidenziando la differenze tra le due geometrie.

La verifica delle ipotesi geometriche

La prima ipotesi geometrica da verificare è relativa alla forma ottagonale del volume principale. Per fare ciò sono state estratte numerose sezioni orizzontali del monastero a diverse altezze. Dopo aver individuato la sezione tipo, si è costruito il poligono regolare a otto lati che meglio interpola i dati estratti dalla nuvola. Dal confronto tra la geometria ideale e la geometria estratta dalle sezioni si notano alcune difformità che sono però abbastanza contenute (comunque entro 5 cm).

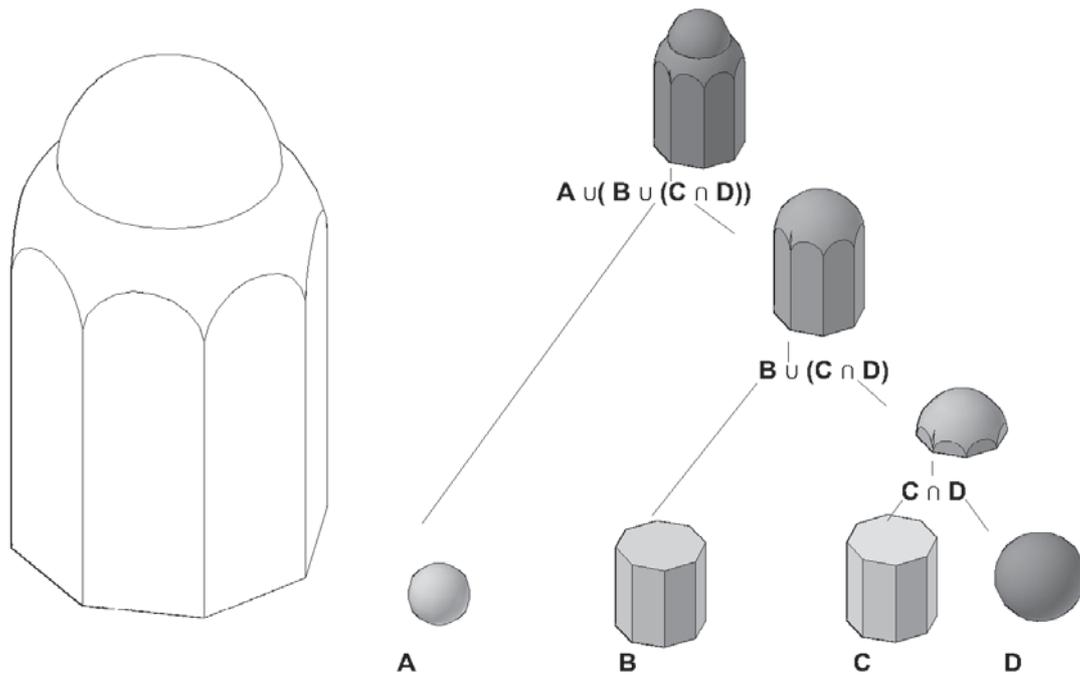


Figura 3: schema geometrico dello spazio interno (rappresentazione secondo un albero CSG)

Risulta sicuramente più interessante svolgere la verifica sugli spazi interni del Monastero. Come spesso avviene, l'interno viene considerato come un volume da sottrarre all'involucro generale. Così lo schema geometrico può essere ricondotto alla composizione di diverse primitive geometriche solide come sfere e parallelepipedi. La combinazione di due parallelepipedi a base ottagonale e di due sfere dà luogo alla forma della grande sala interna, e ciò risulta evidente quando si applica una rappresentazione tipica della computer grafica, ossia l'albero CSG, in cui si trovano alla radice (dell'albero rovesciato) la forma finale e in successione tutti le forme precedenti che lo compongono con indicazione delle operazioni dell'algebra booleana applicate.

Il passo successivo al riconoscimento delle forme geometriche che compongono lo "spazio" consiste nel passaggio dal caso ideale al caso reale, accostando ad ogni solido geometrico la misura e la posizione nello spazio derivante dalla nuvola di punti. Si possono così studiare le proporzioni della forma finale, ma soprattutto quali sono le relazioni precise tra i solidi.

Attraverso i software Rapidform e Geomagic è possibile calcolare a partire da una nuvola di punti o da una selezione parziale i migliori solidi interpolanti ottenendo anche un'indicazione della deviazione tra il solido calcolato e la scansione. Anche se non è particolarmente evidente l'operazione di best-fit risulta particolarmente efficace anche perché tiene in considerazione il rumore tipico di ogni laser scanner, andando a mediare lo spessore della nuvola di punti in una sola geometria. In questo modo si sono ottenuti tutti i solidi necessari a ricreare lo spazio interno e la loro posizione. Si è proceduto quindi alla composizione della forma finale attraverso le operazioni booleane di unione ed intersezione rappresentato nell'albero CSG.

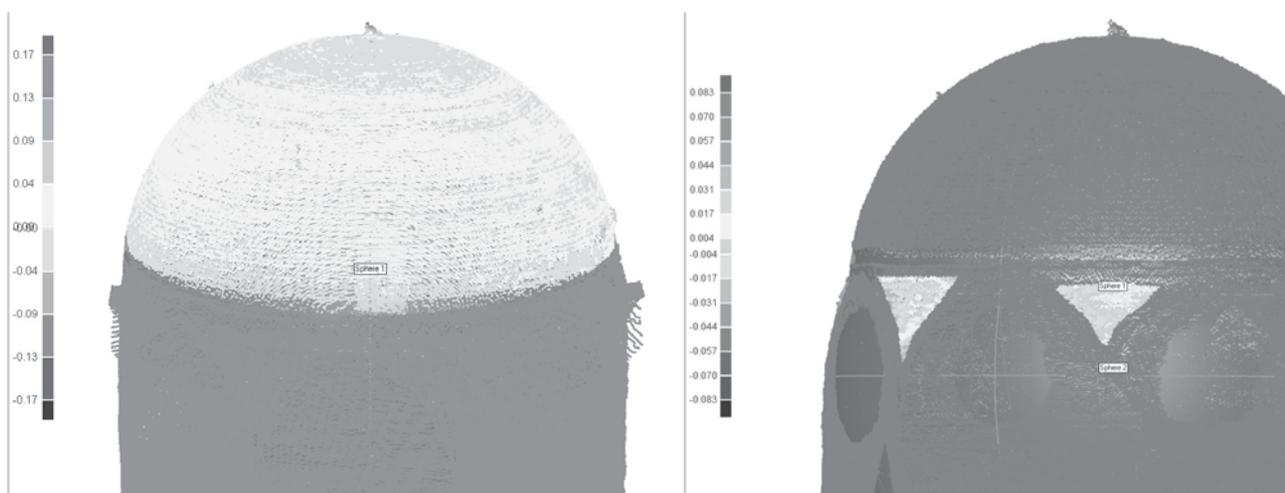


Figura 4 nuvola di punti interna e sfere interpolanti: cupola principale (a) e pennacchi sferici(b)

Attraverso gli stessi metodi di verifica applicati alle altre parti del solido sia interne che esterne si è costruito un modello solido basato però su regole geometriche e non derivante esclusivamente dalla triangolazione della nuvola iniziale.

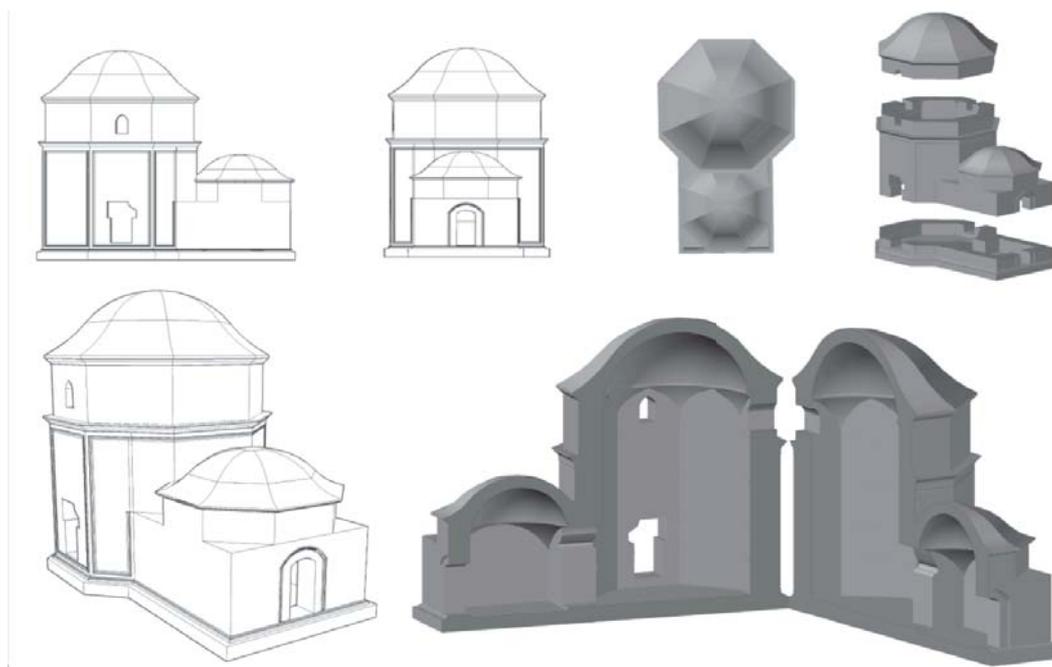


Figura 5 viste del modello solido derivante dalla costruzione geometrica

L'ultimo passo della verifica geometrica è il confronto tra i modelli realizzati per due strade differenti. I software già utilizzati per il calcolo delle superfici interpolanti permettono inoltre il confronto tra diversi modelli. È stata così effettuata una comparazione tra i due modelli evidenziando attraverso una scala colorimetrica le deviazioni tra il modello geometrico e la mesh triangolare. Dalle immagini risulta evidente come le deviazioni più significative siano presenti esclusivamente nelle zone di maggior dettaglio come ad esempio le modanature poste nelle zone più alte del monumento. È necessario però tenere in considerazione sia gli effetti della vegetazione infestante sul manufatto, sia la mancanza di dati in alcune zone (la parte tra le due modanature più alte) che provoca l'interpolazione nel modello per mesh. La scala colorimetrica allegata al modello oltre a porre in relazione il colore con la deviazione tra i due modelli evidenzia come la deviazione media tra i due modelli sia attorno ai 4 cm.

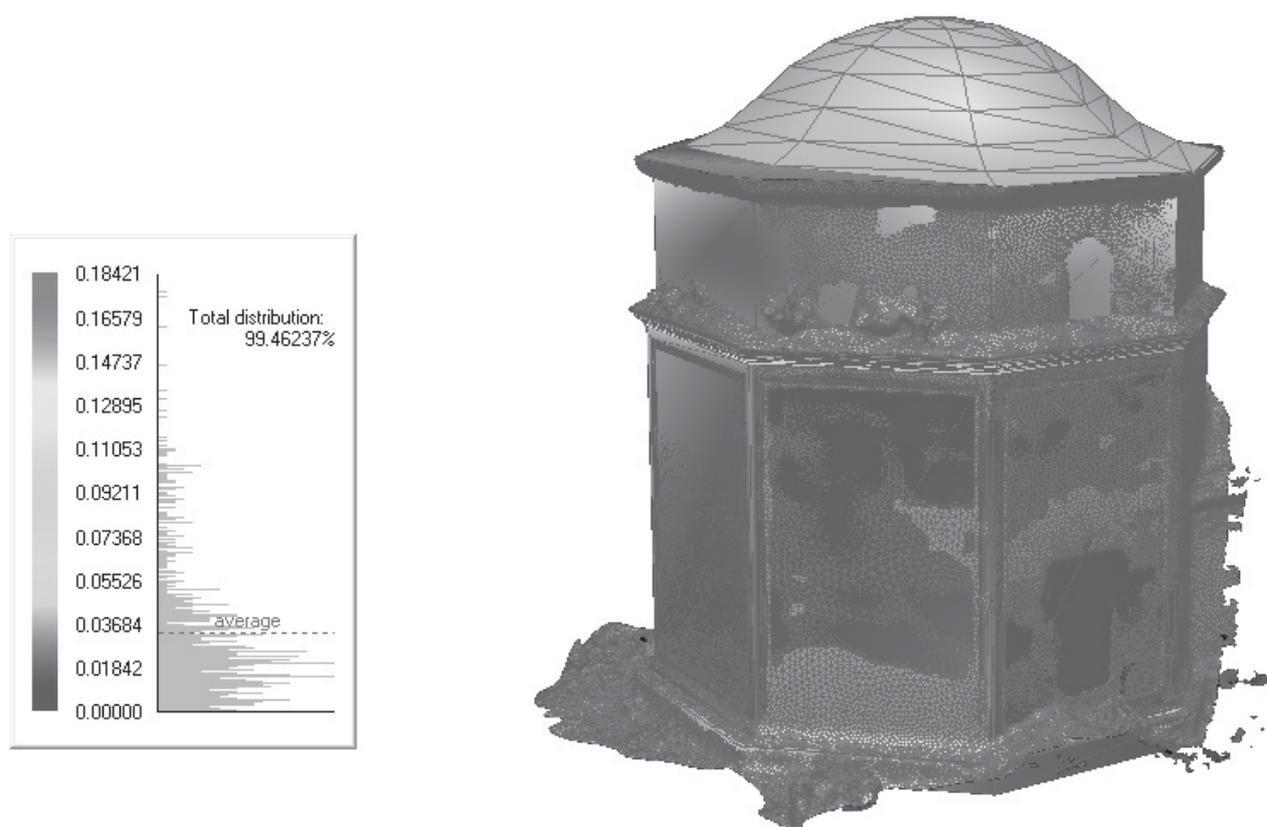


Figura 6: confronto tra il modello per mesh e il modello geometrico

Conclusioni

In questa applicazione si è cercato di dimostrare un ulteriore utilizzo della nuvola di punti non solo per la rappresentazione di un'architettura, ma soprattutto per una migliore comprensione dei manufatti. Questa ricerca ha messo in evidenza, ancora una volta, come non sia presente sul mercato un software di gestione dati laser, pensato per l'architettura in cui oltre alle tradizionali geometrie, sia possibile calcolare elementi più complessi sempre con il principio del best fitting.

Bibliografia

- Adami A., Guerra F., Vernier P.,(2007) “*Laser scanner and architectural accuracy text*” in Proceeding of CIPA 2007 XXI International Symposium "Anticipating the future of the cultural past" Atene;
- Balletti C., Guerra F., Pillon M., Sartorelli L.,(2007) “*The Grumentum's Arena: measure, geometry and shape*” in Proceeding of CIPA 2007 XXI International Symposium "Anticipating the future of the cultural past" Atene;
- Bitelli G., (2002)“*Rilievo di beni architettonici*”, in Atti della 6° Conferenza Nazionale ASITA Geomatica per l'ambiente, il territorio e il patrimonio culturale, Perugia;
- Bonora V., Spanò A.,(2004) “*Strutture voltate: rilievo laser scanning e modellazione delle geometrie*” in Atti del Workshop E-ArCom “Tecnologie per comunicare l'architettura” CLUA edizioni Ancona, Ancona;
- Giordano A. (1999) “*Cupole, volte e altre superfici. La genesi e la forma*”. UTET, Torino;