



**LETTURE GEOMETRICHE DELLE ARCHITETTURE ECCLESIALI: FRUIZIONE
VIRTUALE ATTRAVERSO LA DOCUMENTAZIONE H-BIM**

TEMA: Investigación

SUBTEMA: El Futuro de la Expresión Gráfica

LANZARA, Emanuela; PULCRANO, Margherita; SCANDURRA, Simona

Department of Architecture – University Federico II of Napoli, Italy

(emanuela.lanzara; margherita.pulcrano; simona.scandurra) @unina.it

KEY WORDS:

Architectural Survey, H-BIM, Geometrical construction

ABSTRACT:

This contribution presents a research experience that deals with the geometric interpretation of the oval-shaped churches of the city of Naples starting from three-dimensional surveys, in order to implement projects of knowledge and communication with digital systems that favor the virtual fruition of the architectural heritage.

SINTESI:

Gli attuali strumenti dell'ICT (Information and Communication Technology) per la digitalizzazione del patrimonio costruito, offrono notevoli opportunità utili alla conoscenza e alla comunicazione dello stesso e delle sue specificità. La trasposizione della realtà in ambiente digitale, attraverso la costruzione di modelli mimetici, oltre che metricamente coerenti, consente di indagarla e rappresentarla secondo più punti di vista e con diversi livelli di approfondimento. L'ambiente digitale, infatti, permette di elaborare immagini con la possibilità di derivare informazioni che molto spesso vanno oltre la realtà, rendendo visibili aspetti non immediatamente percepibili nella fruizione diretta.

Il presente contributo fa riferimento alle metodologie ed alle procedure legate all'utilizzo di tecnologie di ultima generazione per l'acquisizione dei dati, al fine di realizzare sistemi di comunicazione digitale che, sfruttando l'immediatezza e la sintesi del dato visivo, siano in grado di fornire dati informativi di diversa natura sulla conoscenza del bene.

In particolare, si intende presentare un'esperienza di ricerca condotta sul patrimonio architettonico della città di Napoli finalizzata alla realizzazione di un progetto di conoscenza e di comunicazione delle chiese a pianta ovata con riferimento ad alcuni campioni esemplificativi.

Le operazioni di rilievo, basate su tecnologie no-contact, e di analisi della documentazione esistente, hanno consentito di rinvenire la configurazione spaziale dei temi di studio e di individuarne e verificarne le matrici geometriche. La nuvola di punti, ottenuta mediante rilievi image-based e range-based, è stata opportunamente processata ed elaborata per un'adeguata gestione dei file nelle fasi di restituzione del dato rilevato. Queste operazioni hanno consentito di visualizzare la nuvola secondo differenti layout, dando luogo a modelli informativi omologhi al reale. Nella reinterpretazione dei dati è stata operata una modellazione in ambiente BIM (Building Information Modeling), conformando un modello Heritage-BIM, al cui interno sono confluite tutte le informazioni inerenti il manufatto e predisponendo un sistema info-grafico fondamentale per la rappresentazione e la comunicazione del dato reale.

La versatilità del modello H-BIM ha consentito di rielaborare le informazioni rispetto agli obiettivi e alle finalità della comunicazione, oltre che al target di utenti. Sulla base di tale rielaborazione, integrata con rilievi fotografici ed opportuni approfondimenti, è possibile fruire ed esplorare virtualmente lo spazio, indagandone le specificità attraverso la consultazione di un archivio digitale interattivo.



1.- INTRODUZIONE

Lo sviluppo degli attuali strumenti tecnologici ha stimolato nuovi approcci alla lettura e rappresentazione dei manufatti architettonici: indagare il reale in spazi digitali tridimensionali, attraverso nuvole di punti che ne costituiscono il calco virtuale, consente di analizzare, con maggiore chiarezza, i rapporti e le relazioni tra gli elementi che lo connotano.

Ciò appare ancor più determinante laddove la restituzione avviene in ambiente BIM: coi sistemi CAD, che difatti possono definirsi *tecnigrafì digitali*, gli oggetti virtuali sono generati applicando le tradizionali regole della rappresentazione grafica; col BIM, invece, si attua un processo di virtualizzazione degli elementi reali, in cui la forma è semanticamente correlata alle specifiche informazioni alfanumeriche che definiscono l'oggetto nella sua singolarità e nel contesto.

Si esegue allora una rappresentazione di tipo *intelligente*, basata su regole di associatività e coerenza, che, escludendo la presenza di dati ricorsivi, consentono una più ampia interrogazione e fruizione virtuale del bene. [S.S.]

2.- METODO

La metodologia di rilievo utilizzata, segue prassi ormai consolidate basate sull'integrazione di tecnologie no-contact, image-based e range-based. Il dato acquisito è stato rielaborato attraverso una restituzione tridimensionale, rappresentata da appositi BIM-Object opportunamente modellati in ambiente H-BIM [1]. A tal proposito si sottolinea quanto si sia rivelato fondamentale il ricorso alla geometria, sia per la fase iniziale di conoscenza e comprensione dello spazio architettonico, che nella successiva fase di restituzione, operando dunque secondo precise sequenze logiche. Su queste si è basata la modellazione dei BIM-Object, instaurando una relazione diretta tra la realtà costruita ed il BIM-model che ne costituisce la rappresentazione.

Va precisato, però, che tale relazione, è spesso affetta da incongruenze dovute al continuo evolversi del cantiere nel tempo, o alle approssimazioni esecutive delle maestranze, all'aggiunta di intonacature e stuccature o agli eventuali dissesti del fabbricato. E' stato necessario, quindi, verificare costantemente l'aderenza alla nuvola di punti ed effettuare calibrazioni puntuali delle forme virtuali. Infine, la ricerca storiografica ed archivistica ha accompagnato la fase di arricchimento

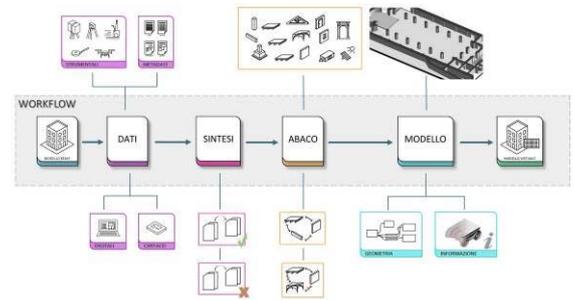


Fig. 1 – Workflow: dal dato al modello BIM.

semantico del modello, garantendo una fruizione virtuale del bene più esaustiva. [S.S.]

3.1- CASO STUDIO

Lo studio si è concentrato sulla Chiesa seicentesca di San Carlo all'Arena, costruita a Napoli tra il 1626 ed il 1680, come caso esemplificativo di una più ampia ricerca condotta presso il Dipartimento di Architettura della Federico II che, procedendo con la metodologia indicata, si è incentrata sulla lettura delle conformazioni geometriche delle chiese a pianta ovata presenti nella città di Napoli, al fine di costruire modelli H-BIM che, oltre a costituire una documentazione aggiornata, possano essere il presupposto per progetti di valorizzazione e fruizione virtuale.

La Chiesa, il cui apparato decorativo è stato oggetto di diverse trasformazioni negli anni, è costituita da un'unica navata centrale su base ovata [2], coperta da un'imponente volta estradossata impostata su tamburo ed illuminata da ampie finestrate. Lungo il perimetro dell'ovale, si distribuiscono sei cappelle ed il retro altare, tutte coperte da semi-volte a pianta poligonale.

La regolarità e la semplicità del prospetto principale non anticipano affatto la complessità spaziale interna, la cui ripetizione dei caratteri decorativi e formali in tutti gli ambienti, rafforza la composizione simmetrica ed il senso di centralità.

L'interesse per lo studio e la verifica dell'esatta conformazione planovolumetrica, ha spinto ad effettuare un rilievo tridimensionale mediante il laser scanner Faro Focus 3D s120 (14 scansioni a colori, impostate con un passo dai 6 ai 12 mm su distanze di 10 m) integrato da riprese fotografiche con camera Nikon Coolpix L330 da 20 Mp, utilizzata per la fotogrammetria digitale.

Le acquisizioni sono state valutate e calibrate in considerazione dei numerosi arredi – giustificati dalle funzioni liturgiche a cui la chiesa è tutt'oggi destinata – al fine di ottenere ugualmente nuvole di punti prive di eccessive



zone d'ombra. Il processamento dei dati è stato gestito attraverso i software Faro Scene ed Agisoft Photoscan, mentre Cloud Compere è stato utilizzato per relazionare la nuvola laser con quella ottenuta per fotogrammetria. [M.P.]

3.2- LETTURA GEOMETRICA

Il ricorso alla pianta centrale allungata, che caratterizza numerosi esempi di architettura religiosa italiana del XVI secolo, rappresenta un'importante innovazione nella grammatica della forma in grado di risolvere questioni non solo formali, ma anche stilistiche e funzionali. La letteratura specifica in materia, asserisce che già in epoca rinascimentale è possibile riscontrare costruzioni geometriche in cui le curve possono essere distinte in base alla matrice ellittica o ovale. [3]

Ben nota è la differenza tra le due curve, sia in riferimento alla loro costruzione geometrica, sia ai rapporti matematici che ne regolano lo sviluppo. In particolare, la costruzione di un ovale, curva policentrica continua, consiste nel congiungere quattro o più porzioni di archi aventi raggio e centro differenti, nei cui punti di intersezione presentano la stessa tangente. La lunghezza di ogni arco è proporzionale al suo angolo α e al suo raggio R secondo l'equazione:

$$A=2 \times \pi \times R \times \alpha / 360$$

Poiché i quattro archi di un ovale simmetrico sono uguali due a due, il calcolo riguarda solo due equazioni con quattro variabili: due raggi R1 e R2 e due angoli, α_1 e α_2 .

$$2 \times \pi \times R1 \times \alpha_1 / 360^\circ = 2 \times \pi \times R2 \times \alpha_2 / 360^\circ$$

con $\alpha_1 + \alpha_2 = 180^\circ$.

Quindi, semplificando:

$$R1/R2 = \alpha_2/\alpha_1.$$

Inoltre, la geometria della figura ovale *combina elegantemente il concetto teorico di centralità cosmica e le necessità pragmatiche della linearità liturgica*. [4]

Manipolando la nuvola di punti e sezionandola con piani orizzontali (a più livelli) e verticali (in entrambe le direzioni) si è indagata la matrice geometrica della chiesa di San Carlo all'Arena. La lettura delle geometrie che regolano l'impianto planimetrico, oltre che lo sviluppo in alzato, si è incentrata sull'individuazione dei profili che ne descrivono la forma reale, a partire da analisi di corrispondenza con le numerose curve

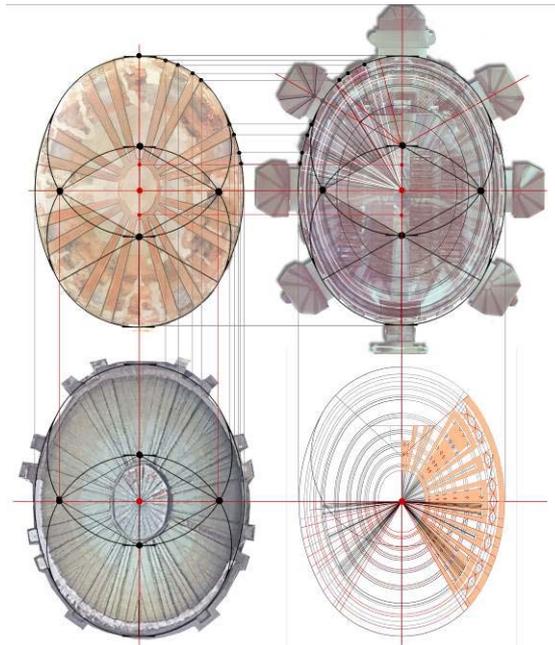


Fig. 3 – Individuazione della corrispondenza geometrica in pianta, ipografia e copertura.

policentriche presenti nei trattati dedicati al tema, con particolare riferimento al Primo Libro del Trattato di S. Serlio. [5]

Nel testo l'autore definisce con rigore teorico le regole morfo-geometriche della figura dell'ovale, nelle sue innumerevoli sfaccettature, a partire dallo studio degli antichi anfiteatri, esempi emblematici di tale forma. [4]

La lettura comparata del trattato e della nuvola di punti dimostra che l'ovale dell'impianto planimetrico, qualsiasi sia la quota di sezione di riferimento, corrisponde alla quarta regola edita da Serlio all'interno del Primo Libro del Trattato, ossia ad un ovale a quattro centri generato a partire da un triangolo equilatero, in cui il rapporto tra i diametri è prossimo a 3:4. È noto che per tale ovale si ha:

$$\alpha_1 = 1/2 \alpha_2; \\ R1 = 2 R2 [4]$$

Dal rilievo si evince che la Chiesa presenta l'asse minore pari a 21.21 m e l'asse maggiore di 27.24 m; i centri delle due semicirconferenze distano 9.08 m e sono raccordate da archi di raggio pari a 18,16 m. Il rapporto tra i diametri dell'ovale di pianta è pari a 0.77, valore numerico prossimo al rapporto 3:4 (0.75).

Partendo da tali diametri e procedendo con la costruzione del quarto ovale di Serlio, risultano verificate anche le equazioni sopra riportate; infatti, sia i raggi principali, che gli angoli di costruzione, risultano in rapporto 1:2 (R1 è pari a 18,16 m ed R2 è pari a 9,08 m,



mentre α_1 è 120° ed α_2 è 60°). Lo scarto minimo che si registra dipende, inevitabilmente, dal passaggio dal disegno di progetto ideale tracciato su carta, alla realizzazione della fabbrica in cantiere. È inoltre, possibile verificare che l'asse maggiore dell'ovale è pari a tre volte il lato del triangolo equilatero di base, la cui copia speculare determina la costruzione del rombo centrale [6].

Diversamente, le sezioni in corrispondenza dell'asse maggiore e minore sono rappresentate, rispettivamente, da un ovale di seconda minore, con rapporto 15:16, e di terza minore, con rapporto 5:6.

L'intera composizione spaziale della chiesa di San Carlo all'Arena è legata alla geometria dell'ovale di pianta; la lettura architettonica e decorativa dei vari elementi mostra infatti molteplici corrispondenze che rivelano la volontà di esaltazione della centralità e della simmetria dello spazio.

Congiungendo i centri dell'ovale con i punti di intersezione delle circonferenze interne di costruzione, si ottiene un quadrilatero i cui prolungamenti dei lati risultano essere gli assi di simmetria di quattro delle sei cappelle.

Le restanti due cappelle sono disposte lungo l'asse minore dell'ovale di pianta, mentre l'ingresso ed il presbiterio con altare sono allineati lungo il diametro maggiore. Al di sopra della trabeazione, lungo l'intradosso della volta di copertura, si aprono sette finestre, tutte in asse con le arcate sottostanti. Data l'intersezione di tali varchi con la superficie curva della copertura, le cornici perimetrali delle finestre sono inevitabilmente caratterizzate da curve gobbe; l'aula è infatti coperta da una volta ovoidale lunettata, al cui centro è posto uno specchio ovale.

La corrispondenza mongiana tra pianta, sezioni lungo gli assi ed ipografia, mette in evidenza il forte legame, armonico ed unitario, dell'intera composizione decorativa.

Osservando il disegno radiale della pavimentazione, si nota che parte da un ovale centrale decorato al suo interno con una stella di David, e si compone di una serie ulteriore di ovali concentrici interrotti da fasce e spicchi decorativi, convergenti tutti verso il centro dell'ovale di pianta. Gli spicchi che compongono il motivo decorativo radiale della pavimentazione, sono posti in corrispondenza delle paraste distribuite lungo il perimetro dell'aula e dei varchi di accesso alle cappelle laterali, all'area presbiteriale e all'ingresso.

Inoltre, le sedici paraste perimetrali risultano allineate con le sedici fasce decorative

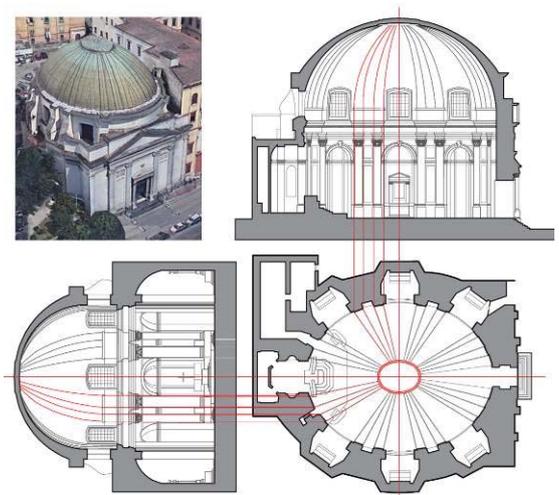


Fig. 4 – Corrispondenze geometriche tra pianta e sezioni.

presenti all'intradosso della volta e corrispondenti alle sedici costole che convergono nello specchio ovale e che sono visibili anche dall'estradosso.

Si sottolinea, quindi, la corrispondenza proiettiva tra lo specchio ovale e le fasce decorative della volta con l'ovale e gli spicchi del disegno di pavimentazione. [E.L.]

3.3- DOCUMENTAZIONE H-BIM

Per la conoscenza e comprensione dell'opera, si è scelto di reinterpretare i dati acquisiti dal laser o dalla fotocamera, integrandoli con le analisi geometrico-compositive e con le informazioni derivanti dalle ricerche d'archivio, di natura non necessariamente dimensionale.

Per lo specifico caso studio, si è sperimentata l'applicazione della metodologia BIM (Building Information Modeling) al patrimonio costruito, conformando, difatti, un modello Heritage-BIM.

Nei sistemi BIM, il modello geometrico costituisce solo una parte della modellazione [7], laddove l'associazione delle informazioni alfanumeriche ai singoli elementi garantisce la costituzione di una banca dati info-grafica di maggiore esaustività rispetto ai sistemi CAD. Ciononostante, quando l'architettura è storica, come nel caso della chiesa di San Carlo all'Arena, anche la sola definizione geometrica delle forme, è da affrontare in maniera puntuale e critica, perché spesso caratterizzata da irregolarità e specificità non congrue alla logica di standardizzazione e modellazione parametrica poste alla base dei sistemi BIM.

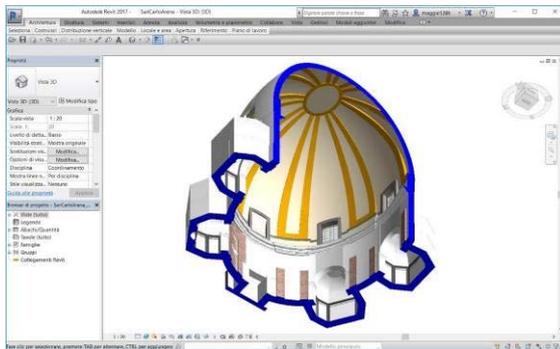


Fig. 5 – Porzione del modello H-BIM visto in 3D dal basso.

Per il lavoro ci si è avvalsi del software Autodesk Revit, che, com'è noto, consente di importare la nuvola di punti direttamente nel proprio ambiente di lavoro, affinché la modellazione possa avvenire in aderenza ad essa. La preliminare abacatura degli elementi che costituiscono la Chiesa, effettuata riconoscendone similitudini e differenze, se da un lato ha agevolato la scelta dei template da utilizzare per ogni specifico BIM-Object e l'organizzazione del progetto, dall'altro ha evidenziato, ancora una volta, le difficoltà di gestione del costruito storico, comportando, difatti, la necessità di piegare il software alle necessità del caso.

Nello specifico, definiti i *piani di riferimento* orizzontali e verticali direttamente sulla nuvola di punti, su ognuna delle *viste*, attraverso l'utilizzo di *assi di riferimento*, sono state riprodotte le costruzioni geometriche desunte dalle analisi. Definito l'ovale di pianta, si è costruita la parete che definisce l'aula ed il solaio. Sempre in riferimento allo studio geometrico, si è riproposto il disegno della pavimentazione, realizzata in marmo ma con differenti colorazioni: individuato il tipo di solaio rappresentativo dell'aula – con strato di finitura in marmo –, si è scelto di non avere duplicati del *tipo*, ma differenziare solo la resa materica texturizzata utilizzando i comandi *dividi* e *dipingi*. In questo modo, da un lato si è conservata l'informazione geometrica complessiva, dall'altro, attraverso opportune etichette, la diversa informazione superficiale.

Estremamente particolare è stata invece la modellazione della volta estradossata che copre l'aula. Nel ricercare un elemento digitale coerente con la realtà ed in grado di relazionarsi con il resto del modello, si è scelto di ricorrere all'utilizzo del software di programmazione visuale Dynamo, collegato direttamente a Revit. Con Dynamo è stato possibile produrre una *superficie di supporto* aderente all'intradosso della volta di San Carlo,

su cui applicare, in Revit, l'oggetto *intelligente muro da superficie*: un giusto compromesso per ottenere la forma desiderata mantenendo, al contempo, le proprietà parametriche e relazionali che caratterizzano un modello BIM – anche se lontani dalla logica reale dell'elemento in quanto *muro* e non *volta* - [8].

Infine, procedendo dal generale al particolare, si sono affrontate le modellazioni degli arredi fissi come altari e confessionali. Seppur appartenenti ad una stessa macro-categoria funzionale, la specifica relazione che nella realtà istaurano con gli elementi del modello, ha comportato nuovamente scelte puntuali. Infatti, mentre gli altari sono stati modellati come *arredi metrici* – opportunamente nidificati con *modelli generici metrici* e *profili metrici* –, i confessionali si presentano incassati nel muro e questo li rende, a livello comportamentale, simili a nicchie e finestre. Per non cadere in processi di overmodeling, pur senza rinunciare ad un comportamento *intelligente* dell'oggetto, si è allora preferito utilizzare il template *finestre metriche*. Nonostante l'evidente vantaggio di bucatura automatica del muro, lo svantaggio del caso specifico riguarda le abacature automatiche, in quanto l'oggetto non verrà conteggiato tra gli arredi fissi ma risulterà appunto tra le finestre: tale questione si è affrontata con l'apposizione di etichette e commenti alla specifica *istanza*.

Per quanto riguarda il livello di sviluppo (LOD) scelto per la realizzazione del modello, esso è dipeso dalla volontà di produrre una documentazione storico-architettonica tridimensionale, ordinata ed aggiornabile, utile supporto per studi futuri o per progetti di fruizione virtuale. In particolare si è dimostrato necessariamente frutto di una lettura oggettiva a ritroso della vita dell'opera. Tale analisi regressiva, ha portato ovviamente ad ambiguità nel sistema di caratterizzazione del LOD finale [9], in quanto vi è la convivenza di oggetti dai dati noti ed oggetti dai dati incerti. Inoltre il tipo di rilievo effettuato ed il relativo grado di dettaglio nella riproduzione delle forme nei BIM-Object, non è corrisposta sempre con la conoscenza alfanumerica dell'oggetto: ciò ha reso indispensabile lavorare su una preliminare differenziazione dei LOG dai LOI, al fine di fornire un dato il più possibile trasparente. In effetti l'aderenza alla nuvola di punti ha garantito un risultato grafico notevolmente affidabile; viceversa le poche informazioni tecniche hanno abbassato il livello informativo degli oggetti. In particolare, riferendoci alla



Fig. 6 – Modelo H-BIM, viste interne.

normativa italiana UNI 11337, i LOD F e G riguardano rispettivamente un oggetto *eseguito* e *aggiornato* ma, non trattandosi di un'opera realizzata già con processi digitali, non possiamo considerare il risultato grafico tridimensionale e le informazioni reperibili come paragonabili ad un *as-built* digitale completo. Piuttosto, i singoli elementi possono ritenersi vicini ai LOD B e C di progetto. [S.S, M.P.]

4.- CONCLUSIONI

La versatilità del modello H-BIM nell'adattare veste grafica e contenuti a diverse esigenze, permette di rielaborare ed implementare le informazioni anche rispetto agli obiettivi e alle finalità della comunicazione, oltre che al target di utenti. Si è scelto allora di documentare ed inserire all'interno del modello BIM i dipinti e le sculture di interesse storico-artistico presenti all'interno della Chiesa, associandovi informazioni circa la datazione, l'autore, la descrizione, la localizzazione passata, la storia, lo stato di conservazione, gli interventi di restauro documentati, ognuna con i riferimenti alla fonte del dato e specifiche schede fotografiche. Il tutto è stato pensato nell'ottica di un progetto di comunicazione virtuale che consentisse l'accesso a tutti quei dati *invisibili*, ma indispensabili alla comprensione, unitamente ai dati reali tecnico-dimensionali.

Pertanto, i punti di osservazione interna simulano una visita interattiva ed immersiva, aumentata dalle possibilità di interrogazione degli elementi osservati.

In conclusione, la ricerca vuole generare un database interattivo capace di offrire informazioni a diverse scale, ognuna supportata da studi e ricerche approfondite sul tema; il confronto tra diverse metodologie e tecniche ha favorito la definizione di un sistema di dati eterogeneo ma ordinato, caratterizzato da un alto grado di accuratezza ed utile a supportare diverse tipologie di analisi future. [E.L., M.P., S.S.]

BIBLIOGRAFIA

[1] LO TURCO M., SANTAGATI C. (2017). *Tra ricerca e didattica: dalla nuvola di punti all'H-BIM*. 39° Convegno Internazionale dei Docenti delle Discipline della Rappresentazione, 14° Convegno UID, 1195-1202.

[2] ZERLENGA O. (1997). *La forma ovata in architettura. Rappresentazione geometrica*. Napoli, Cuen.

[3] MIGLIARI R., (1995). *Ellissi e ovali. Epilogo di un conflitto*, in PALLADIO Rivista di Storia dell'Architettura e Restauro, vol. 16, pp.93-102, p.101, Istituto Poligrafico e Zecca dello Stato Libreria Dello Stato, Roma.

[4] DUVERNOY S. (2015). *Baroque Oval Churches: Innovative Geometrical Patterns in Early Modern Sacred Architecture*, Nexus Network Journal, July 2015, Volume 17, Issue2, 425–456.

[5] SERLIO BOLOGNESE S., *Tutte le opere di Architettura et Prospettiva*, Venezia, 1600, 13-14.

[6] DOTTO E. (2002). *Il disegno degli ovali armonici*, Università degli Studi di Catania, Siracusa, Le nove muse editrice, 28.

[7] LO TURCO M. (2015). *Il BIM e la rappresentazione infografica nel processo edilizio*, Aracne editore.

[8] DI LUGGO A., SCANDURRA S., PULCRANO P., SICONOLFI M., MONACO S. (2018). *Sistemi voltati nei processi cloud to Bim*, in 3DmodelingBIM Nuove Frontiere, Roma, Tipografia del Genio Civile.

[9] PAVAN A., MIRARCHI C., GIANI M. (2017). *BIM: metodi e strumenti*, Tecniche nuove.