

# 14 2015

DISEGNO PER IL RESTAURO:  
OLTRE IL RILIEVO

a cura di  
Giovanni Carbonara  
Mario Centofanti  
Roberto Mingucci

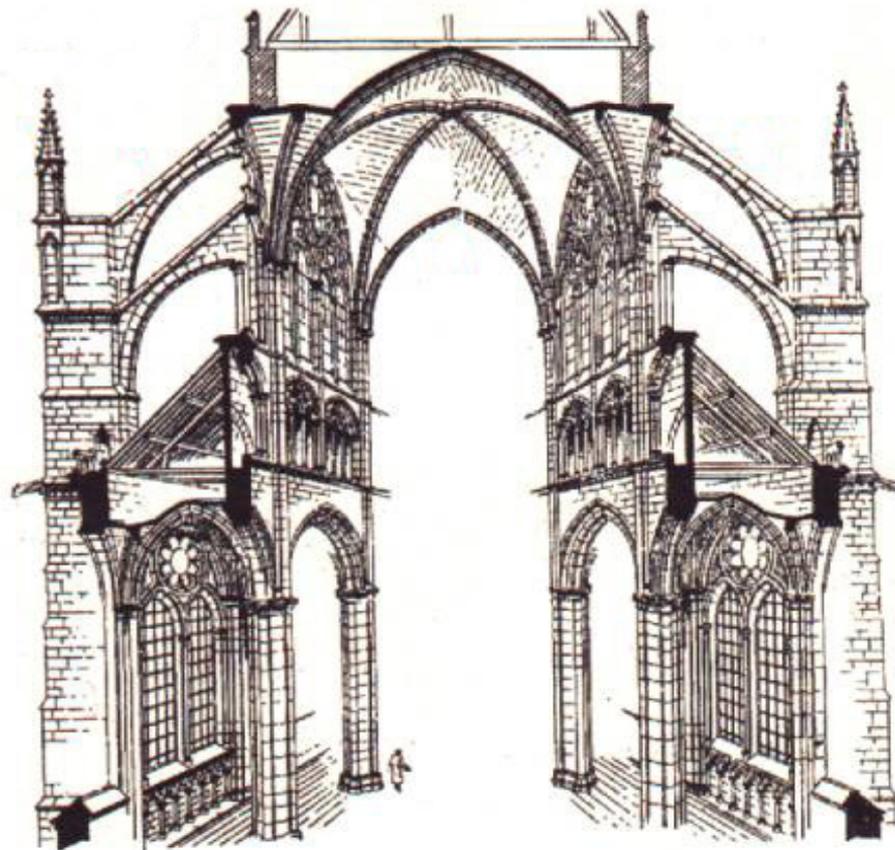
direttore responsabile: Mario Centofanti

Comitato scientifico:  
Italia: Mario Centofanti  
Michela Cigola  
Secondino Coppo  
Patrizia Falzone  
Francesca Fatta  
Roberto Mingucci  
Pablo R. Navarro  
Mauro Chiarella  
Altino B. Caldeira  
AnaClara M. Moura

Spagna:  
Argentina:  
Brasile:

journal manager: Stefano Brusaporci

# DISEGNARECON



DISEGNARECON

ISSN 1828-5961

DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE EDILE-ARCHITETTURA AMBIENTALE  
UNIVERSITA' DEGLI STUDI DELL'AQUILA

CC BY-NC

# Vol 8, N° 14 (2015)

## Disegno per il restauro: oltre il rilievo

La rapidissima evoluzione tecnologica della seconda metà del novecento ha influenzato tutte le discipline che concorrono alla progettazione ed all'analisi dell'Architettura. Queste rapide trasformazioni degli strumenti e delle conseguenti procedure operative connesse alle innovazioni tecnologiche, non hanno però alterato gli obiettivi di qualità culturale e prestazionale connessi ai vari settori del progetto. La verifica che compete agli esperti dei vari settori è quindi quella di documentare l'efficacia di tali innovazioni rispetto agli immutati obiettivi del progetto e di garantirne la continuità di indagine e di approfondimento di tutte le sue dimensioni.

## Sommario

### Editoriali

#### [Disegno per il restauro: oltre il rilievo](#)

Giovanni Carbonara, Mario Centofanti, Roberto Mingucci

[PDF](#)

E.1-E.3

### Articoli

#### [Dal rilievo alle rappresentazioni ad alta risoluzione dello spazio architettonico continuo. Il caso di studio del complesso dell'Abbazia di Pomposa](#)

Anna Maria Manferdini, Michele Russo

[PDF](#)

1.1-1.12

#### [Tra conoscenza e operatività: per un progetto di restauro di Palazzo Borsari](#)

Martina Baldini, Federico Fallavollita, Giulia Favaretto, Angelo Nanni, Jacopo Rossi

[PDF](#)

2.1-2.9

#### [Sviluppo e rappresentazione digitale di superfici architettoniche complesse per la documentazione e il restauro](#)

Mirco Cannella

[PDF](#)

3.1-3.8

#### [L'aspetto materico di una parete dipinta: ipotesi di colorazione con tecniche tradizionali e digitali integrate](#)

Francesca Porfiri

[PDF](#)

4.1-4.7

#### [Documentazione dell'intradosso della Cupola di Santa Maria del Fiore a Firenze tramite rilevamento fotogrammetrico Structure from Motion \(SfM\)](#)

Roberto Corazzi, Silvia Bertacchi

[PDF](#)

5.1-5.12

<a href="#"><u>Disegnare un'assenza: efficacia e potenzialità del modello digitale semantico. L'architettura di Sanmicheli e gli affreschi di Veronese, Zelotti e Canera in villa Soranzo a Treviso</u></a> GIOVANNI ASMUNDO, RITA EL ASMAR	<a href="#"><u>PDF</u></a> 6.1-6.7
<a href="#"><u>Rivestimenti graffiti a Roma nel XVI sec.: l'esempio della casa in vicolo del Governo Vecchio, 52</u></a> Francesca Romana Stabile, Giovanna Spadafora	<a href="#"><u>PDF</u></a> 7.1-7.16
<a href="#"><u>Sul ruolo del disegno nel progetto di conservazione: il caso studio del castello di Lombardia ad Enna</u></a> Alessio Cardaci, Mariangela Liuzzo Liuzzo, Antonella Versaci	<a href="#"><u>PDF</u></a> 8.1-8.13
<a href="#"><u>Alberti e Brunelleschi: la conservazione della memoria per il restauro della materia. La banca dati 3D per la documentazione e il progetto</u></a> Marcello Balzani, Federica Maietti	<a href="#"><u>PDF</u></a> 9.1-9.12
<a href="#"><u>Il rilievo e l'analisi come strumenti guida per il riuso del palazzo baronale di Pisignano (Le)</u></a> Giampiero Mele, Federica Rovo	<a href="#"><u>PDF</u></a> 10.1-10.15
<a href="#"><u>Il rilievo del colore per il restauro delle superfici architettoniche</u></a> Nicola Santuopoli	<a href="#"><u>PDF</u></a> 11.1-11.10
<a href="#"><u>Il restauro di Casa d'Annunzio nei disegni di Antonino Liberi (1921-1929)</u></a> Pasquale Tunzi	<a href="#"><u>PDF</u></a> 12.1-12.10
<a href="#"><u>Verso la costituzione di un patrimonio nazionale statunitense: la documentazione e il rilievo per la conoscenza e la tutela delle architetture di Frank Lloyd Wright</u></a> Mariella La Mantia	<a href="#"><u>PDF</u></a> 13.1-13.24
<a href="#"><u>Nel cuore della cupola del Brunelleschi</u></a> Roberto Corazzi	<a href="#"><u>PDF</u></a> 14.1-14.16
<a href="#"><u>Tecniche innovative per la produzione digitale delle costruzioni in pietra a faccia vista. Il caso del Trullo sovrano in Alberobello</u></a> Giovanni Mongiello, Riccardo Tavolare, Ornella Chimienti	<a href="#"><u>PDF</u></a> 15.1-15.5
<a href="#"><u>Miglioramento sismico e ragioni del rilievo critico</u></a> Claudio Galli	<a href="#"><u>PDF</u></a> 16.1-16.11

<a href="#"><u>Fotogrammetria 2.0</u></a> Leonardo Paris	<a href="#"><u>PDF</u></a> 17.1-17.9
<a href="#"><u>Strategie robotizzate per operazioni di rilevamento e conservazione dei BBCC</u></a> Michela Cigola, Arturo Gallozzi	<a href="#"><u>PDF</u></a> 18.1-18.6
<a href="#"><u>Nuovi metodi per rilevare e rappresentare l'architettura classica: l'altare del Rosario della cappella della Beata Paola in Volta Mantovana</u></a> Massimo De Paoli, Alessio Capone	<a href="#"><u>PDF</u></a> 19.1-19.17
<a href="#"><u>La documentazione per il restauro dell'architettura complessa e stratificata. Lettura e interpretazione di segni sulle superfici murarie come tracce della storia trascorsa delle trasformazioni avvenute</u></a> Gaia Lisa Tacchi	<a href="#"><u>PDF</u></a> 20.1-20.11
<a href="#"><u>Un percorso diacronico: il restauro virtuale delle mura spagnole in Ortigia</u></a> Rita Valenti, Sebastiano Giuliano	<a href="#"><u>PDF</u></a> 21.1-21.12
<a href="#"><u>Rievocare un brano di storia: il disegno di restauro del nostro habitus</u></a> Giacinto Taibi, Rita Valenti, Mariangela Liuzzo, Sebastiano Giuliano	<a href="#"><u>PDF</u></a> 22.1-22.13
<a href="#"><u>L'immagine in movimento per conoscere e documentare l'architettura dei centri storici minori. Alcuni esempi nella valle dell'Amaseno</u></a> Maria Martone, Floriana Papa	<a href="#"><u>PDF</u></a> 23.1-23.11
<a href="#"><u>Dal rilievo del danno sismico al disegno per il progetto di restauro: un'applicazione di documentazione speditiva in condizioni di emergenza</u></a> Carla Bartolomucci, Ilaria Trizio	<a href="#"><u>PDF</u></a> 24.1-24.8
<a href="#"><u>Rilievo dell'Architettura: una condotta per l'analisi e l'interpretazione</u></a> Aldo De Sanctis	<a href="#"><u>PDF</u></a> 25.1-25.10
<a href="#"><u>Rilievo tridimensionale e analisi dei dissesti della Pieve di Romena</u></a> Stefano Bertocci, Giovanni Minutoli, Giovanni Pancani	<a href="#"><u>PDF</u></a> 26.1-26.20

Exempla

[In assenza di intervento. Rappresentazioni digitali di restauri virtuali](#)

Vincenza Garofalo Garofalo

[PDF](#)

27.1-27.9

[Uso di nuove tecnologie nella documentazione dell'origine e dello sviluppo urbano di São João Del Rei](#)

[Minas Gerais, Brasile.](#)

Altino Barbosa Caldeira, José Flávio Morais Castro

[PDF](#)

28.1-28.9

[Le diverse forme della rappresentazione e le sue implicazioni in architettura](#)

José Leonardo Prieto Fandiño

[PDF](#)

29.1-29.8

ISSN 1828 5961

Iscrizione presso il Tribunale dell'Aquila n.3/15 del 29/06/2015



### Marcello Balzani

Architetto, è Professore Associato ICAR17 presso il Dipartimento di Architettura dell'Università di Ferrara; Direttore del Centro dipartimentale DIAPReM e responsabile scientifico del TekneHub del Tecnopolo di Ferrara, afferente alla Rete Alta Tecnologia Emilia-Romagna. È vice-direttore di Dipartimento e membro ICOMOS Italia.



### Federica Maietti

Architetto, assegnista di ricerca ICAR17, Centro DIAPReM, Dipartimento di Architettura di Ferrara, è docente a contratto per il Modulo di Disegno dell'Architettura. Esperta di rilievo per la documentazione e la diagnosi delle superfici architettoniche; è Direttore della rivista Architetti.com - Progetto e immagine digitale ed è autrice di numerosi articoli e saggi su riviste del settore, in volumi e atti di convegni.

## Alberti e Brunelleschi: la conservazione della memoria per il restauro della materia. La banca dati 3D per la documentazione e il progetto

### *Alberti and Brunelleschi: the conservation of the memory toward the material's restoration. The 3D database for documentation and the design process*

La complessità delle sorgenti morfometriche stimola confronti e ricerche tra i dati di misura e i gradi di visualizzazione e di interrogazione diretta. La banca dati 3D, realizzata nel caso delle architetture albertiane per lo sviluppo critico-interpretativo degli storici dell'arte e dell'architettura, diviene anche strumento di simulazione di soluzioni spaziali e controllo per il cantiere.

Il restauro dell'Istituto degli Innocenti a Firenze è infatti l'occasione per comprendere come un dato di conoscenza morfometrica possa permettere di sviluppare soluzioni di progetto per la nuova accessibilità del Museo realizzato sulla "misura" di Brunelleschi.

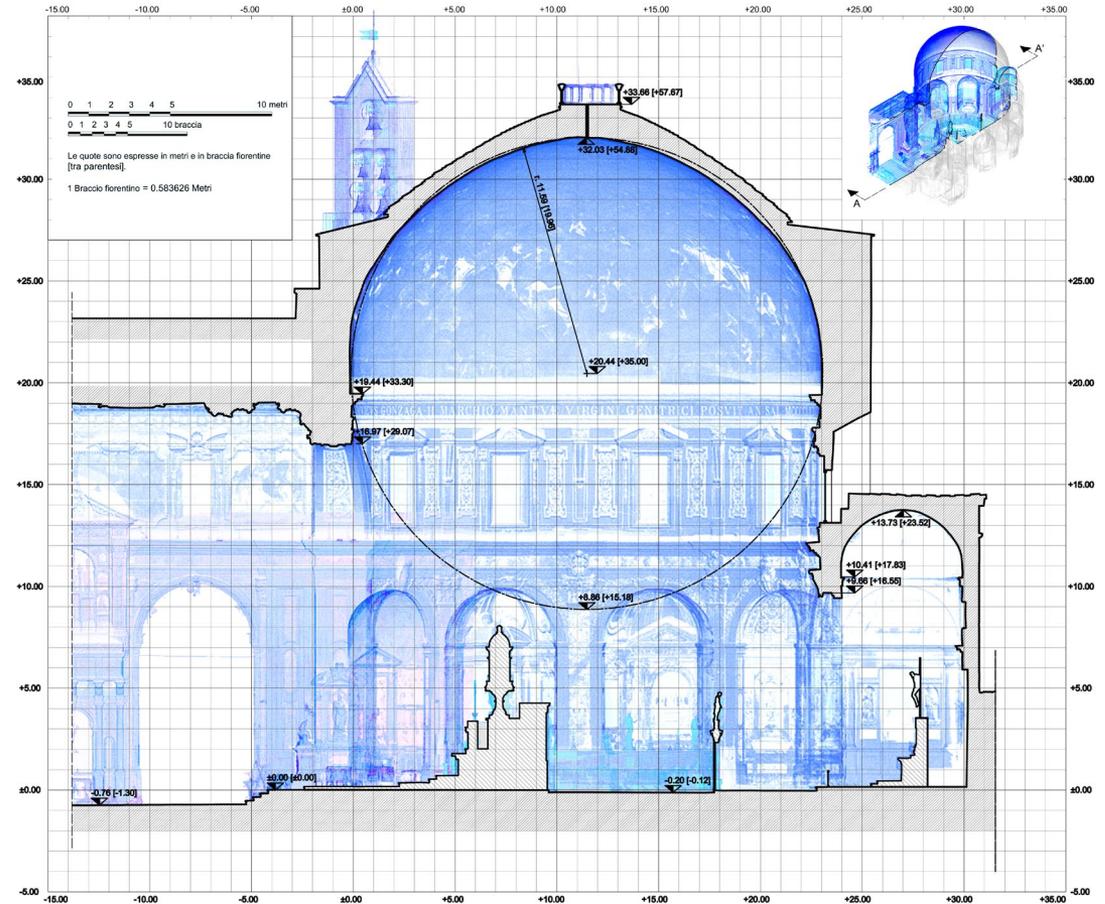
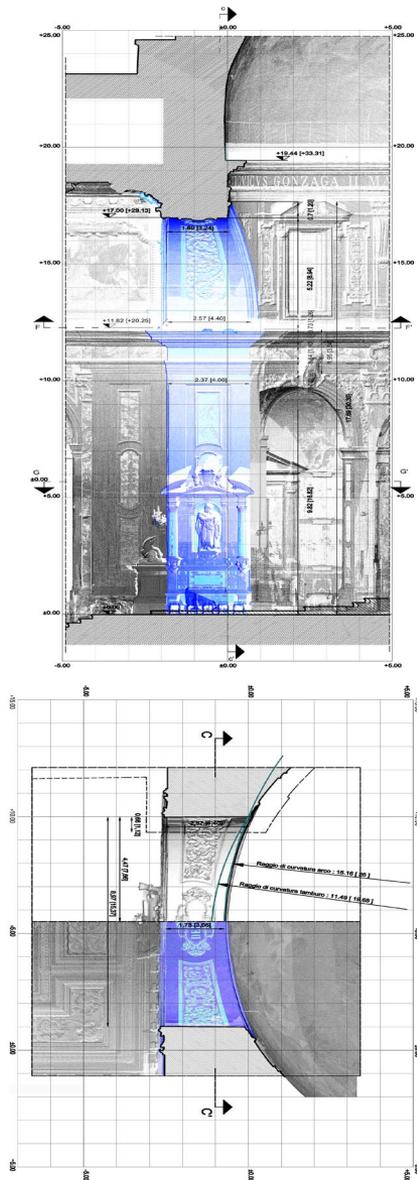
Attraverso questi due approcci viene sviluppato il tema della documentazione della memoria che si finalizza, con tecniche di interrogazione, navigazione e rappresentazione, al restauro della materia.

*The complexity of the morphometric data sources arouses comparisons and researches among measures and the ability to data display and direct query. The 3D database, developed in the case of Alberti's architectures with critical-interpretative purposes for historians of art and architecture, also becomes a tool to simulate spatial solutions and management and control of the construction site. The restoration of the Istituto degli Innocenti in Florence is effectively an opportunity to understand how morphometric data allow to develop design solutions for the new accessibility of the Museum based on the "measure" of Brunelleschi. By means of these two approaches, the topic of the documentation of the "memory" is developed and finalized, through query, browsing and representation techniques, to the restoration project.*

**Parole chiave:** documentazione, restauro, banche dati, rilievo, modelli 3D, memoria geometrica

**Key words:** documentation, restoration, databases, survey, 3D models, geometric memory

Fig.1. Rotonda della Santissima Annunziata, Firenze. Pianta e sezione longitudinale con studio dei rapporti dimensionali dell'arco di raccordo navata-rotonda, dove risulta visibile la problematica proporzionale dell'arco di connessione dell'intervento albertiano sulla preesistenza. Il database può essere aggiornato e implementato con studi e indagini, individuando nuove chiavi di lettura critica sul confronto dimensionale/proporzionale in relazione alle unità di misura.



## INTRODUZIONE

Il contributo propone un approccio critico al processo di conoscenza finalizzato alla documentazione delle architetture di due grandi maestri del Rinascimento, Leon Battista Alberti e Filippo Brunelleschi, attraverso un percorso di ricerca sviluppato per oltre dieci anni.

La banca dati 3D, realizzata nel caso delle architetture albertiane per lo sviluppo critico-interpretativo degli storici dell'arte e dell'architettura, diviene anche strumento di controllo per il cantiere e di simulazione di soluzioni spaziali. Il restauro dell'Istituto degli

Innocenti, nel cuore di Firenze, è infatti l'occasione per comprendere come un dato di conoscenza morfometrica possa permettere di sviluppare soluzioni di progetto per la nuova accessibilità del Museo degli Innocenti realizzato sulla "misura" di Brunelleschi.

Attraverso questi due articolati approcci di documentazione architettonica viene quindi sviluppato il tema della "memoria geometrica" (ma non solo), la cui funzione operativa si finalizza, con tecniche di interrogazione, navigazione e rappresentazione digitale al restauro della materia.

## IL RILIEVO MORFOMETRICO TRIDIMENSIONALE DELLE ARCHITETTURE ALBERTIANE

Il progetto di documentazione delle architetture albertiane, che ha avuto inizio nel 2005, nasce come collaborazione scientifica tra la Fondazione Centro Studi Leon Battista Alberti e il Centro DIAPReM dell'Università di Ferrara [1] e prevedeva l'uso di strumentazione laser scanner 3D per la costruzione di modelli tridimensionali di tutte le architetture albertiane: Sant'Andrea e San Sebastiano a Mantova, Santissima Annunziata a Firenze, San Martino a Gangalandi a Lastra Signa, campanile del Duomo di Ferrara,

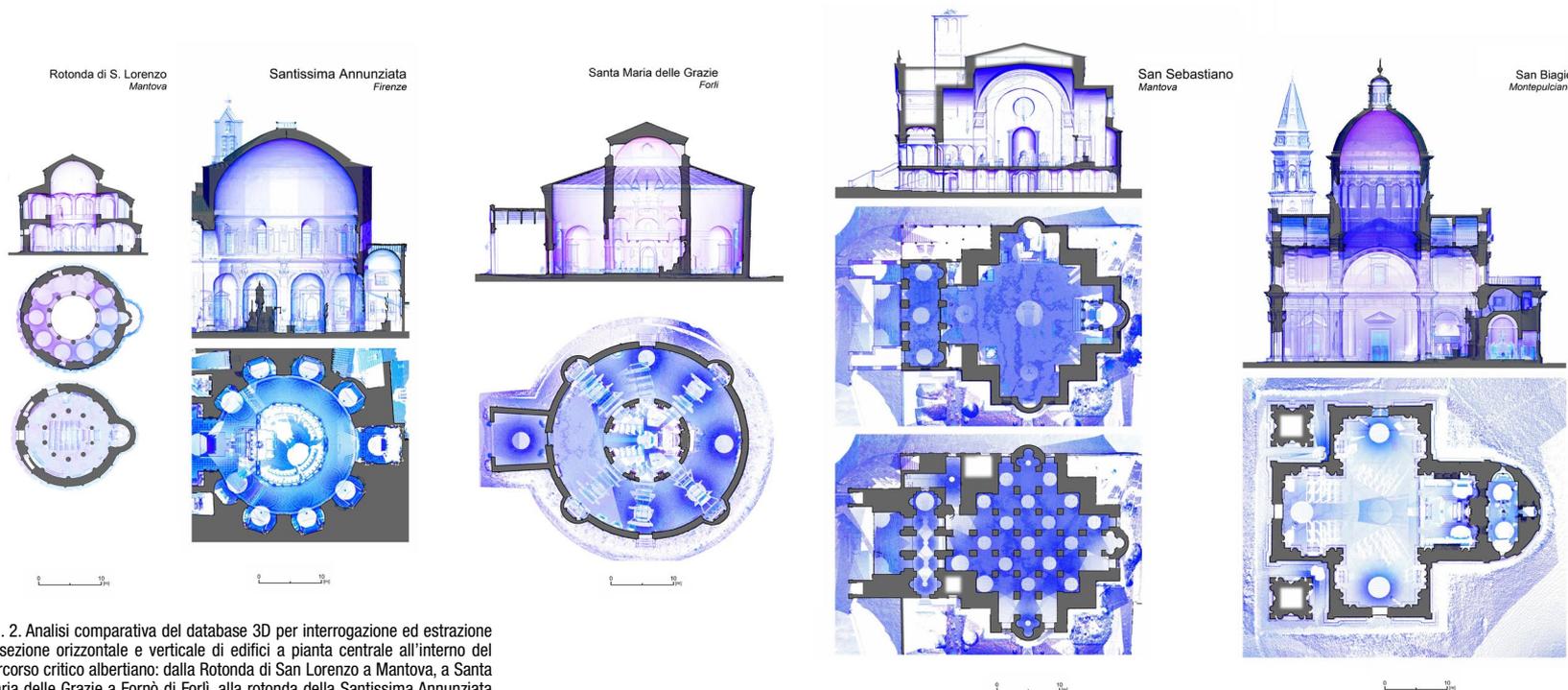
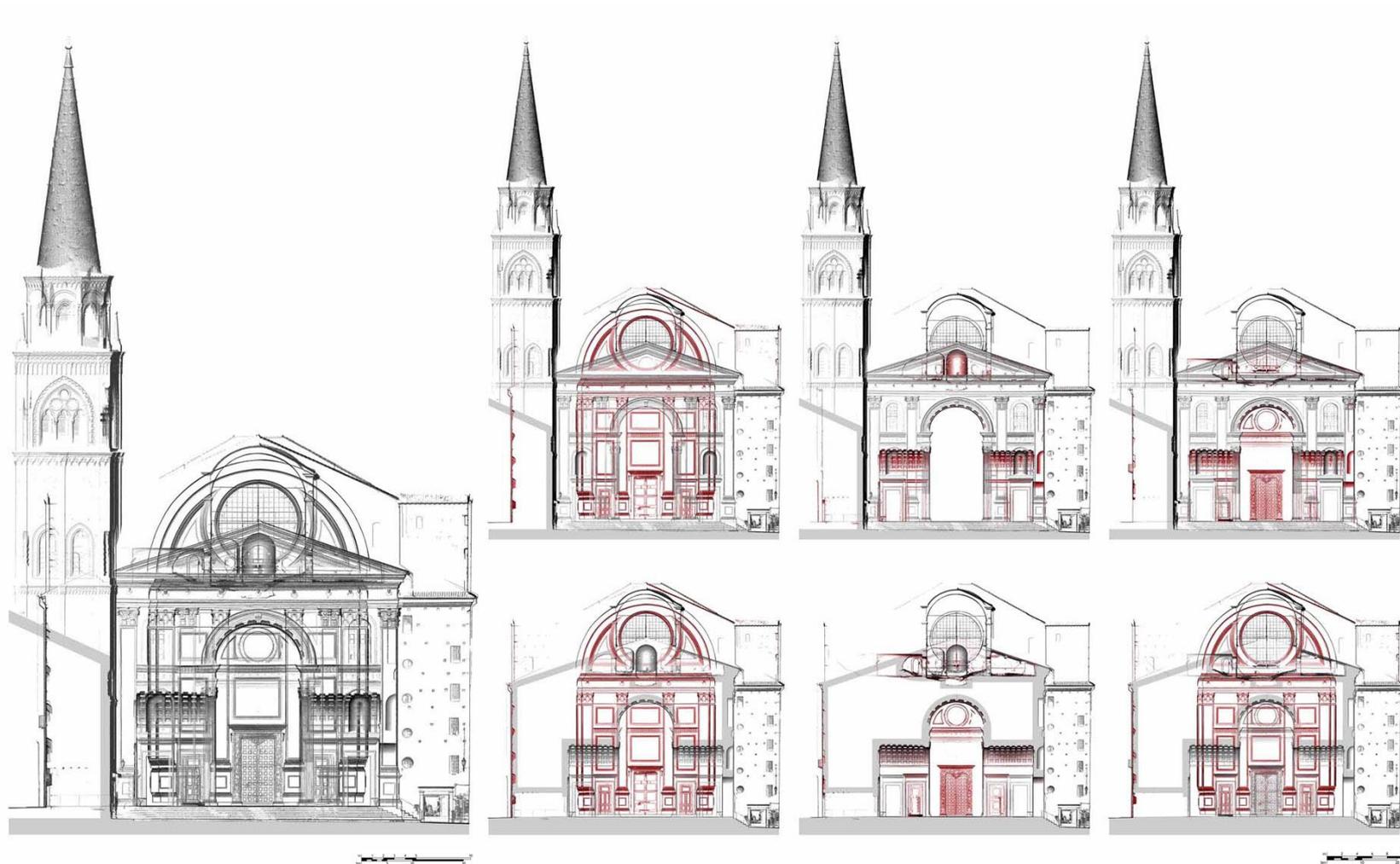


Fig. 2. Analisi comparativa del database 3D per interrogazione ed estrazione in sezione orizzontale e verticale di edifici a pianta centrale all'interno del percorso critico albertiano: dalla Rotonda di San Lorenzo a Mantova, a Santa Maria delle Grazie a Forlì, alla rotonda della Santissima Annunziata a Firenze, al San Sebastiano a Mantova, fino al San Biagio a Montepulciano.

Fig. 3. Mantova, Sant'Andrea, visualizzazione in trasparenza di facciata, sezione parziale dell'avancorpo e controfacciata: l'interrogazione del database (condotta dal DIAPReM per Massimo Bulgarelli della Fondazione Leon Battista Alberti) visualizza il rapporto volumetrico in proiezione ortogonale progressiva secondo un piano di sezione parallelo alla facciata, mostrando il quadro delle corrispondenze morfologiche tra i corpi di fabbrica, gli elementi architettonici e decorativi.



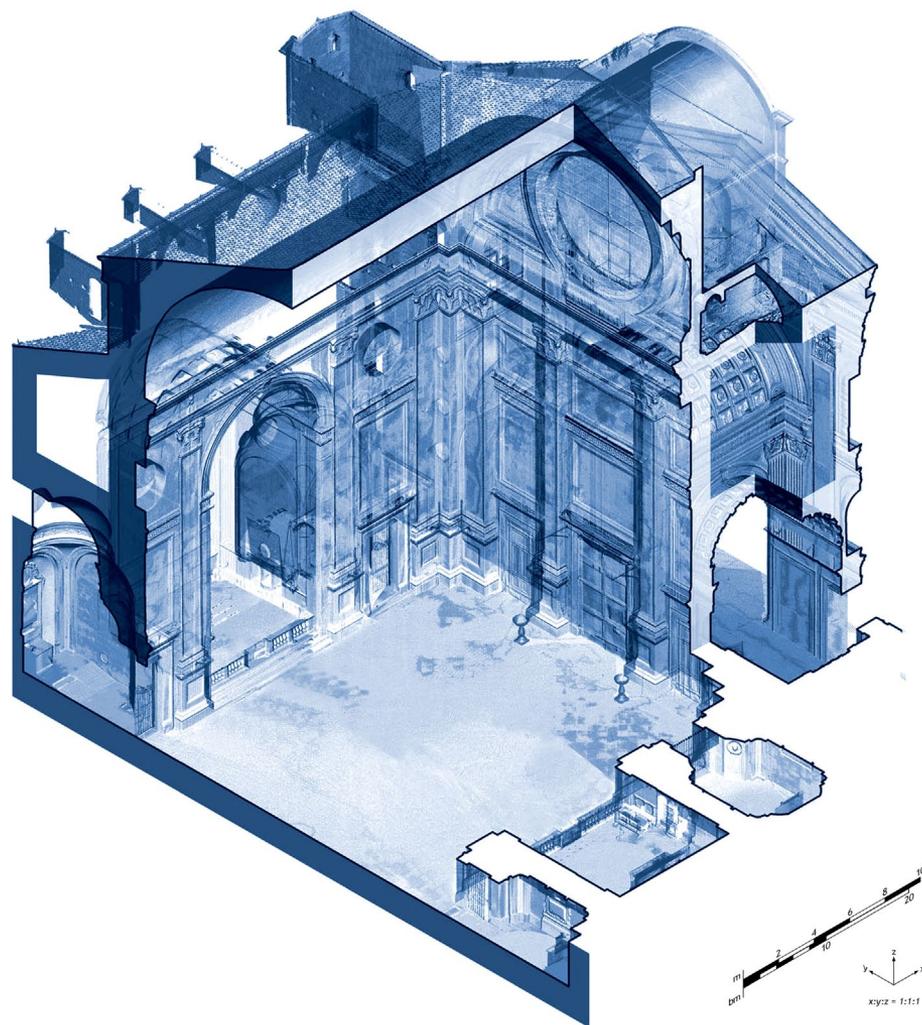


Fig. 4. Mantova, Sant'Andrea, spaccato assonometrico di avancorpo e navata; la visualizzazione in trasparenza (condotta dal DIAPReM per Massimo Bulgarelli della Fondazione Leon Battista Alberti) rivela il rapporto volumetrico tra l'avancorpo con il famoso "ombrellone" e la controfacciata progettata dall'Alberti per il culto periodico del sangue di Cristo, diversamente dal rapporto con la visione navatale verso l'altar maggiore per il culto quotidiano: l'ipotesi è che l'avancorpo sia una forma di reliquario, con una tribuna in facciata per l'esposizione del sangue all'interno di una zona absidale con altare rivolta verso la cripta e il centro del transetto.

Tempio Malatestiano a Rimini, Santa Maria Novella a Firenze. In alcuni anni, completati la parte principale dei rilievi, è stata strutturata presso il Centro Studi Leon Battista Alberti di Mantova e il DIAPReM di Ferrara una banca dati tridimensionale consultabile, aggiornabile e implementabile. L'obiettivo della ricerca è stato quello di creare una banca dati informatizzata opportunamente organizzata a vari livelli, pensati innanzitutto per la valorizzazione, per la fruizione da parte di ricercatori, restauratori, appassionati d'arte, fino agli studenti. La banca dati, che integra i modelli tridimensionali ottenuti con il laser scanner 3D ai dati topografici e fotografici ad essi correlati, permette inoltre la consultazione integrata di tutti i dati raccolti, punto di partenza per la valorizzazione e per la gestione manutentiva dei monumenti. Grazie alla collaborazione con gli enti proprietari dei beni, il materiale acquisito è a disposizione degli studiosi e degli enti pubblici presso il Centro Studi Leon Battista Alberti e andrà a integrare e incrementare il "Fondo albertiano". L'evoluzione della tecnologia per il rilievo automatico della

geometria ha rappresentato, fin dall'inizio della ricerca, l'elemento innovatore che ha consentito di introdurre il dato metrico-morfologico ad alta densità informativa come supporto essenziale per la costruzione di banche dati 3D capaci di costituire nel tempo un utile archivio della memoria geometrica dell'architettura, applicabile a fini di ricerca da parte di storici dell'arte e dell'architettura, ma anche per scopi di tutela e conservazione e di supporto per progetti di restauro.

### FUNZIONALITÀ ED ACCESSIBILITÀ DEL DATI

La complessità e l'articolazione volumetrica degli ambiti di rilievo definita dalla variata tipologia delle architetture albertiane, ha indirizzato la ricerca verso l'integrazione di diversi metodi di rilievo: il laser scanner 3D, utilizzato per ottenere un modello tridimensionale metrico; il metodo topografico, impiegato per la registrazione delle diverse scansioni e per la definizione di una rete di inquadramento complessiva; il metodo fotografico adottato come documentazione e per la realizzazione di un supporto di immagini per il controllo dello stato attuale e delle parti decorative; il metodo di rilievo diretto, applicato per zone non accessibili e per le verifiche di alcuni componenti.

L'obiettivo è stato quello di ottenere un "capitale metrico" democratico, ovvero accessibile e interrogabile da chiunque sia interessato, e utilizzabile nel tempo, anche in momenti successivi alla fase di acquisizione delle misure. Il database può inoltre essere aggiornato e implementato con futuri studi e indagini. In questi anni è stato possibile verificare (e le esperienze con Arturo Calzona e Alessandro Bulgarelli ne sono un esempio) come il database possa funzionare per individuare nuove chiavi di lettura critica: nel raccordo tra navata e rotonda alla Santissima Annunziata di Firenze, come nel rapporto tra avancorpo e controfacciata interna nel Sant'Andrea a Mantova. Le nuove possibilità procedurali che il processo consente riguardano fondamentalmente tre principali aspetti:

- il primo riversa il suo interesse sul confronto dei dati: un esempio riguarda il percorso

generato nell'analisi morfologica degli edifici a pianta centrale, una tematica che risulta essere dominante nel Rinascimento tra progetto e realizzazione (dalla Rotonda di San Lorenzo a Mantova, Santa Maria delle Grazie di Fornò a Forlì, fino al San Sebastiano a Mantova); oppure sulla possibilità di definire delle estrazioni morfologiche planimetriche e in sezione all'interno dei database albertiani;

- il secondo viene rivolto alla costituzione di nuovi percorsi investigativi che proprio la tipologia del dato 3D (quantitativo, non discreto e non preconstituito su una restituzione descrittiva) consente. Alcuni processi di indagine non sono mai stati considerati perché poteva essere molto oneroso o a volte impraticabile porsi nelle condizioni di acquisire metricamente strutture e volumi di copertura direttamente inaccessibili e ricollocare spazialmente tali morfologie in rapporto a tutta l'articolazione architettonica complessiva; questo ambito risulta maggiormente interfacciabile con le problematiche progettuali e conservative;

- il terzo si collega alla tematica, importante per le architetture albertiane, del confronto dimensionale/proporzionale, sia in merito alla definizione dei rapporti proporzionali in relazione alle unità di misura (braccio fiorentino, braccio mantovano), sia in rapporto alla possibilità di visualizzare volumetricamente i documenti storici [2], e il confronto con i rilievi già eseguiti [3].

### LA VISUALIZZAZIONE DEL RILIEVO

La consuetudine scientifica della disciplina pone l'obbligo di un diretto rapporto di finalizzazione tra fase di rilievo e fase di rappresentazione, che anticipa nel "progetto di rilievo", attraverso la produzione di eidotipi, il modello rappresentativo utile e necessario per la finalità dell'acquisizione metrica (scale, precisione, strumentazione, ecc.). Esiste nella fase rappresentativa una valenza motivazionale che fa del rilievo-disegno un'operazione progettuale vera e propria, con notevoli implicazioni di tipo critico-conoscitivo, mirato alla determinazione di uno scopo non solo di precisione geometrica, ma soprattutto in architettura, di visualizzazione e di

rappresentazione concettuale del reale. I limiti dei dati conoscitivi e i modelli di rappresentazione pongono i confini di ogni aspirazione possibile.

La ricerca sul rilievo delle architetture albertiane ha posto anche una nuova esigenza: costruire una metodologia per la comprensione dei dati di rilievo quantitativo prodotti che potesse permettere da un lato una simulazione della "canonica" rappresentazione dell'architettura ma dall'altro di attivare processi investigativi sulla struttura volumetrica dello spazio realizzato, in altre parole cercare di visualizzare il rilievo.

### LA MISURA DI BRUNELLESCHI

Le opportunità offerte dal rilievo morfometrico digitale come strumento di controllo per il cantiere sono invece state implementate nell'ambito del progetto di restauro per il nuovo Museo degli Innocenti a Firenze, integrando il processo di progettazione con le informazioni ad alta densità ottenute dai modelli digitali, essenziali per il controllo di forme e dimensioni durante le fasi di progettazione e realizzazione.

Nella sua prima opera civile, l'Ospedale degli Innocenti, Brunelleschi adotta regolarità, simmetria e proporzione, rigore del tracciato e facciata rettilinea come nuove "regole" di misurazione razionale dello spazio, dando il via a quella rivoluzione attraverso cui, applicando le leggi della visione prospettica all'architettura, sistemi modulari e rapporti misurabili creano proporzioni tali per cui ogni parte è in armonia col tutto. Nel celebre portico sulla piazza dell'Annunziata, Brunelleschi introduce per la prima volta i rapporti proporzionali e armonici tra colonne, archi e finestre, scandendo la facciata con aperture di uguale larghezza e regolarità ritmica; nell'impianto planimetrico adotta un accostamento di moduli regolati dalla simmetria che, nonostante le parziali modifiche subite dall'impianto originale nel corso dei secoli, consentono oggi lo studio del controllo dello spazio tridimensionale dell'architettura adottato dal Brunelleschi nella progettazione dell'edificio. Una ricerca della proporzione a cui Brunelleschi si dedica dal primo Quattrocento e che Alberti erediterà, sul finire del secolo, ricostruendo la

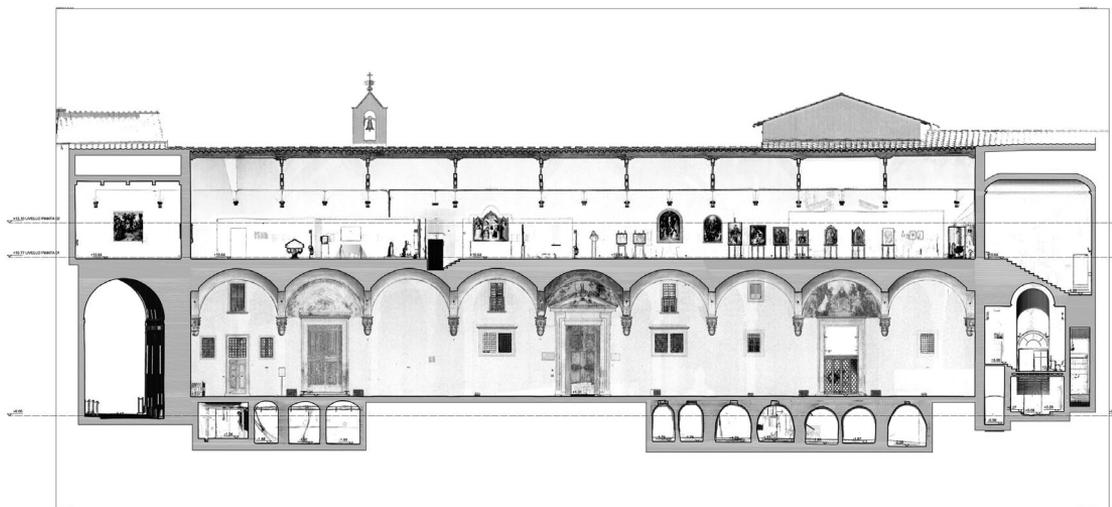


Fig. 5. Sezione longitudinale e visualizzazione in nuvola di punti del portico sulla piazza dell'Annunziata, in cui Brunelleschi introduce per la prima volta i rapporti proporzionali e armonici tra colonne, archi e finestre, scandendo la facciata con aperture di uguale larghezza e regolarità ritmica; nell'impianto planimetrico adotta un accostamento di moduli regolati dalla simmetria che, nonostante le parziali modifiche subite dall'impianto originale nel corso dei secoli, consentono oggi lo studio del controllo dello spazio tridimensionale dell'architettura. La sezione longitudinale mette in evidenza le problematiche distributive dell'impianto di collegamento verticale (a destra nella sezione) che è oggetto dell'intervento di restauro.



teoria delle proporzioni armoniche elaborate nell'antichità.

Dal 2009 al 2013, la dettagliata documentazione della "memoria geometrica" dell'architettura di Brunelleschi, in tutta la sua complessità e articolazione, ha consentito l'elaborazione di un processo integrato, fondamentale per la conoscenza di uno degli edifici che avviano al Rinascimento in architettura, la concretizzazione di un progetto attento e rispettoso e la gestione dei futuri processi manutentivi.

### IL PROCESSO DI CONOSCENZA

La possibilità di un'acquisizione morfometrica digitale ad alta accuratezza geometrica e dimensionale sta modificando lo sviluppo dei processi di indagine in molti settori, dai beni culturali al patrimonio storico-artistico fino alla progettazione architettonica.

Il rilievo dell'Ospedale degli Innocenti, finalizzato alla conoscenza degli spazi architettonici, alla definizione del progetto di intervento e allo sviluppo del progetto esecutivo, richiedeva di ottenere geometrie e misure con altissimi livelli di accuratezza, e un dettaglio descrittivo della rappresentazione e un'accuratezza nella modalità di interrogazione, estrazione ed elaborazione del dato sorgente in grado di accompagnare specifiche fasi dell'attività progettuale.

Il progetto MUDI [4], Museo degli Innocenti, nasce come ricerca multidisciplinare che unisce il rilievo tridimensionale e l'elaborazione dei dati acquisiti, la documentazione, il restauro e la valorizzazione di una delle più significative architetture rinascimentali a Firenze. Il progetto rappresenta uno degli esempi più avanzati delle opportunità offerte dall'accuratezza della tecnica di indagine morfometrica digitale per lo sviluppo dei processi di indagine, progetto e lavori di restauro, fino al monitoraggio volto alla conservazione, manutenzione e ripristino di edifici e strutture storiche. La digitalizzazione della "memoria geometrica" del palazzo rinascimentale del Brunelleschi offre nuovi approcci per studiare, documentare, conservare, gestire e comunicare l'architettura e il suo contenuto, non ultime le collezioni artistiche e l'archivio storico

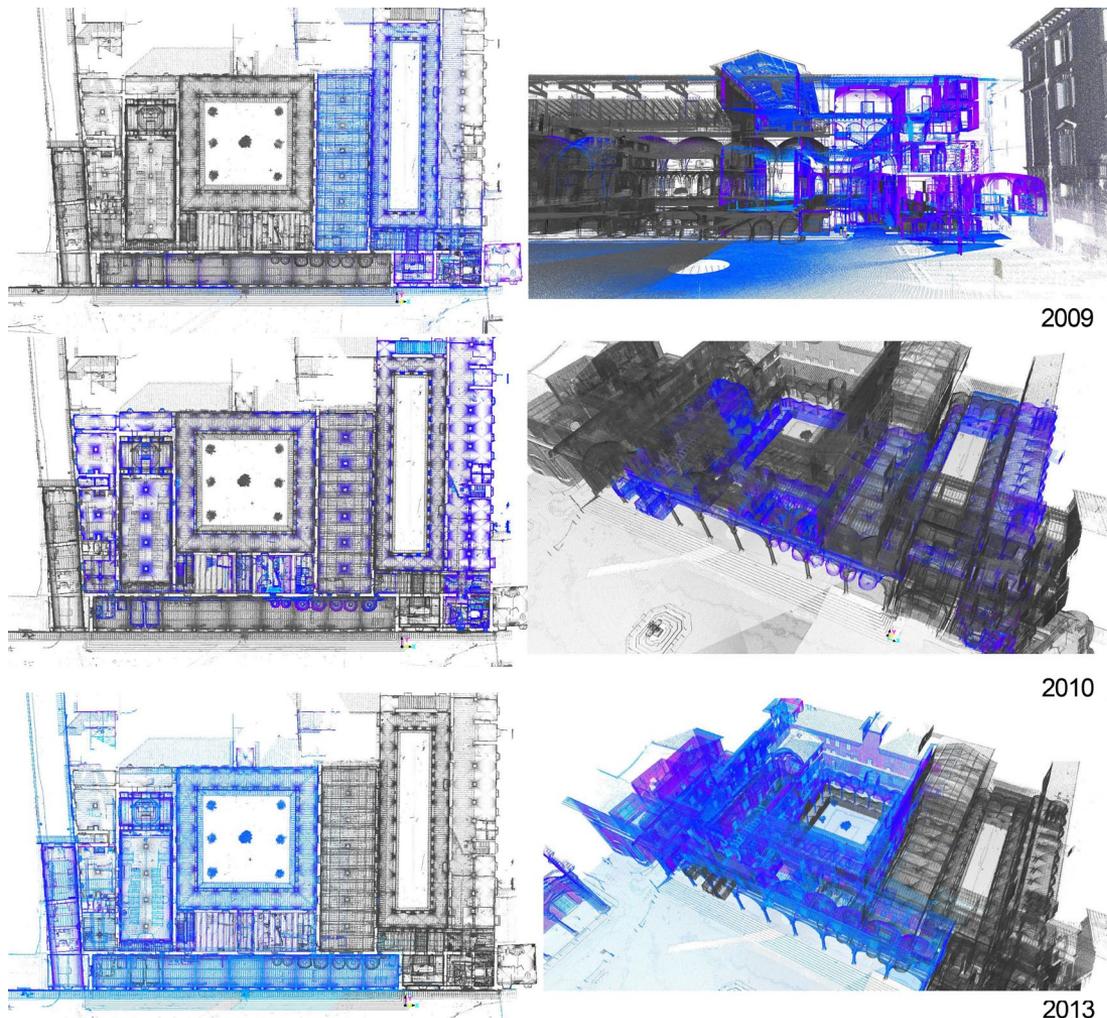


Fig. 6. Visualizzazione delle tre campagne di rilievo: dall'alto 2009, 2010 e 2013.

conservati nell'edificio. Iniziato nel 2009 grazie a un concorso internazionale di progettazione per i nuovi spazi museali, il progetto mira a rafforzare la dimensione culturale sia materiale che immateriale dell'Istituto, svelandone l'enorme patrimonio architettonico, artistico e archivistico, e le sue attività e iniziative incentrate sull'inclusione e l'accessibilità nell'accezione più ampia del termine.

### IL RILIEVO 3D COME PROCESSO DI PROGETTAZIONE

Nel caso dell'intervento sull'Ospedale degli Innocenti il rilievo è stato impiegato per una specifica fase dell'attività progettuale, lo sviluppo del progetto esecutivo, integrando il processo compositivo con modelli morfometrici ad alta densità informativa: il database è stato preimpostato in accordo con i progettisti, definendo il sistema di riferimento che determina l'orientamento del database stesso, in modo da rendere il materiale di rilievo coerente con le necessità progettuali. Dall'orientamento del sistema di riferimento sono derivate a loro volta le giaciture dei piani per identificare piante e sezioni.

Attraverso una breve formazione, i progettisti sono stati in grado di utilizzare direttamente il dato sorgente tridimensionale, gestendo il rilievo in modo diretto per estrarre di volta in volta le informazioni utili a risolvere specifici problemi, senza vincoli di piani di sezione predeterminati ed evitando l'estrazione a priori di elaborati CAD, riducendo in questo modo tempi di esecuzione e costi di gestione.

L'ipotesi di progetto ha mirato a ridurre al minimo le trasformazioni della fabbrica e consentire una migliore fruizione possibile dell'edificio, vista l'utenza diversificata a cui è rivolto. Le problematiche principali per le quali il rilievo tridimensionale ha costituito un fondamentale supporto per i progettisti hanno riguardato, in particolare:

- la demolizione parziale di una volta a crociera compromessa per l'inserimento di un vano ascensore;
- la necessità di conoscere esattamente lo

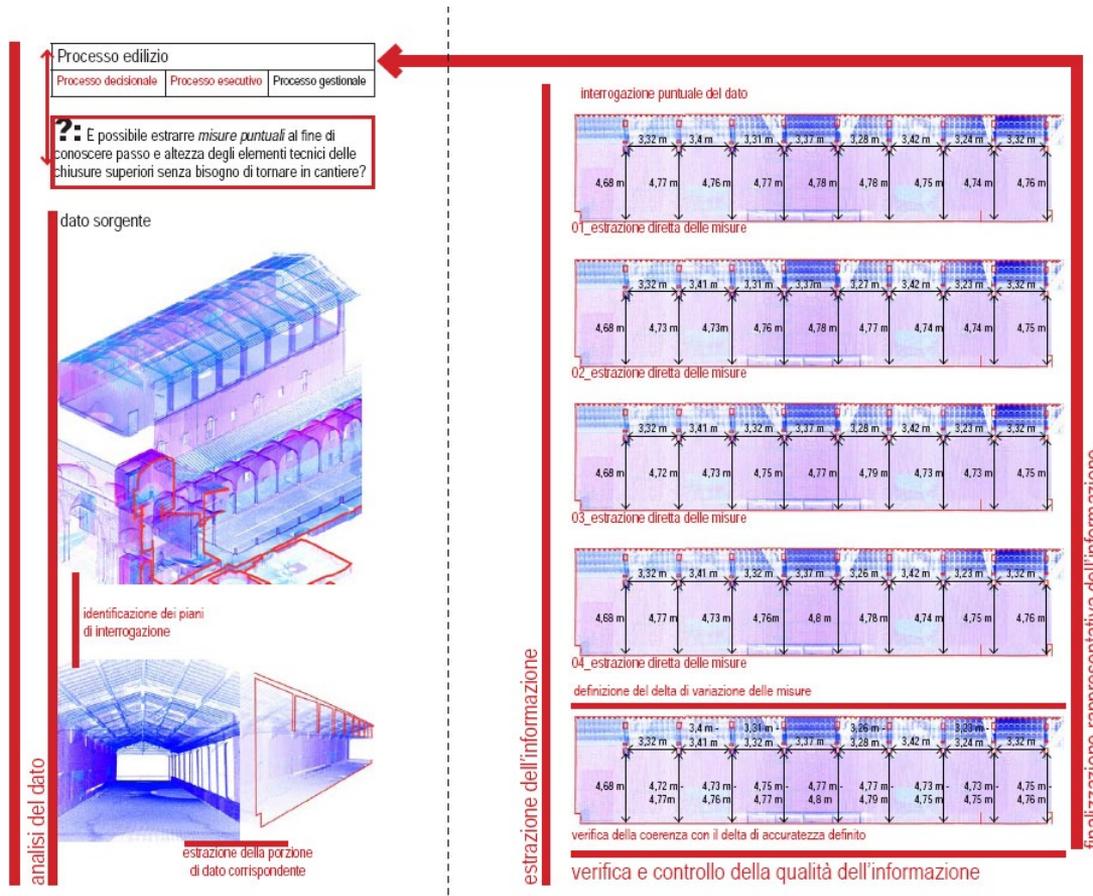


Fig. 7. Impostato un sistema di riferimento congruente con le finalità estrattive, vengono impostati una serie di piani corrispondenti ai punti per cui si vuole interrogare il database: si tratta in particolare dell'estrazione di una porzione di dato corrispondente alla sezione dello spazio del verone. È così possibile ricavare le misure puntuali inerenti a passo e altezza delle capriate che costituiscono la struttura della copertura.

spessore del solaio per tutto lo sviluppo della volta a crociera posta al livello interrato, che doveva essere parzialmente rimosso;

- la verifica dell'inserimento del nuovo vano scala e vano ascensore attraverso lo studio dello spianamento di alcuni setti murari;
- lo studio delle altezze interpiano al fine di commisurare in modo coerente il nuovo vano scala;

- studio della copertura del verone attraverso l'analisi delle altezze e dei passi delle capriate.

L'acquisizione digitale per mezzo della tecnologia laser scanner 3D è iniziata con l'obiettivo di documentare i principali spazi che caratterizzano il complesso monumentale, come efficace supporto alla progettazione esecutiva dei nuovi spazi museali. Infatti, mentre l'edificio di Brunelleschi conserva le caratteristiche generali dell'opera originale, è altrettanto vero che i cambiamenti nel tempo, dovuti al continuo adattamento alle esigenze dell'Istituto, hanno generato uno spazio interno che necessitava di essere nuovamente studiato e indagato.

Sono state sviluppate tre fasi principali: una prima fase di indagine incentrata sulla costruzione di un modello metrico 3D per analizzare gli attuali spazi e il relativo layout funzionale e l'accessibilità. Una seconda fase, elaborata nel 2010, ha riguardato l'indagine di tutto il piano interrato, sviluppato per tutta l'estensione del palazzo, e un'ulteriore campagna di rilievo, nel 2013, si è concentrata sulle aree museali, tutti gli accessi e le relative aree esterne.

È risultato evidente, dopo tre anni di studi e analisi, che l'edificio presentava alcune condizioni critiche, tipiche di molti edifici storici in uso: i cambiamenti, in alcuni casi significativi, che hanno avuto luogo nel corso del tempo, in assenza di un disegno generale, hanno reso l'edificio "sconosciuto" non solo per i visitatori, specialisti e studiosi, ma anche agli operatori che gestiscono e mantengono ogni giorno questo patrimonio. In questo contesto, l'indagine ha di volta in volta adattato i suoi obiettivi specifici in funzione delle condizioni e delle esigenze dell'Istituto, dalla raccolta di dati precisi alla conoscenza metrica

per la gestione ordinaria degli spazi in termini di risorse e costi.

Il rilievo è stato organizzato come un "processo di progettazione", elaborando una raccolta di dati gerarchica che può essere interrogata, aggiornata e integrata, a prescindere dal tipo di analisi (architettonica, strutturale, relativa alle superfici) e indipendentemente dalle successive fasi di elaborazione e di rappresentazione dei dati stessi.

La totale libertà di indagine e interrogazione nell'utilizzo del database 3D ha consentito ai progettisti, senza bisogno di estrarre sezioni CAD, di determinare autonomamente misurazioni essenziali per l'inserimento del progetto nella struttura storica, affinché si adattasse, rispettandola, all'architettura originaria. Se il progetto non avesse utilizzato i dati laser scanner 3D, le reali differenze di altezza tra i piani non sarebbero state chiaramente comprese a causa della difficoltà di accesso. Questo errore avrebbe completamente cambiato la soluzione progettuale e compromesso l'intero sistema di accessi, generando ritardi e perdite economiche connesse.

Per quanto riguarda il piano interrato, l'indagine sulle volte realizzate con tecniche tradizionali non avrebbe garantito, soprattutto a causa della frequenza di zone inaccessibili, un livello di precisione in grado di supportare le scelte tecniche di progettazione. È stato invece possibile ricavare le misure puntuali inerenti lo spessore del solaio, evitando una pratica molto più invasiva come quella del carotaggio.

### UN DATABASE PER LA CONSERVAZIONE, LA GESTIONE E LA VALORIZZAZIONE DEL PATRIMONIO CULTURALE

Grazie all'innovazione del metodo utilizzato per interrogare i dati metrici, i progettisti sono stati in grado di raggiungere l'autonomia nella gestione del database per ottenere informazioni metriche che rendono il rilievo geometrico 3D un buon supporto per tutte le decisioni prese durante lo sviluppo del progetto definitivo.

La gestione diretta del rilievo per l'estrazione

dell'informazione, riducendo le laboriose operazioni di restituzione grafica, ha permesso di trasformare il rilievo in un vero e proprio strumento progettuale, affidabile nell'accuratezza e facilmente accessibile. L'interrogazione critica del database ha influito direttamente sull'elaborazione del processo esecutivo grazie ad un'analisi puntuale del manufatto stesso.

L'utilizzo della banca dati tridimensionale per il progetto MUDI apre nuove strade e opportunità nell'utilizzo dell'elevata precisione del rilievo morfometrico digitale, determinando lo sviluppo dei processi di indagine, le procedure di monitoraggio e restauro e le strategie e i piani per la conservazione, la manutenzione e il recupero di edifici e strutture storiche.

Il progetto nel suo complesso è un esempio di progettazione integrata che sviluppa anche nuovi percorsi di integrazione tecnologica al fine di migliorare gli spazi architettonici e l'accessibilità. Complesso per articolazione distributiva, variazione volumetrica, capacità attrattiva e destinazioni d'uso con funzioni attive e flessibili, il Museo degli Innocenti si presenta oggi come un importante esempio di integrazione metodologica e valorizzazione del dato di acquisizione digitale. Una procedura fondamentale per la fase di documentazione dello stato ante operam e in grado di incrementare la qualità del progetto nei suoi contenuti culturali e realizzativi, fino alla quantificazione degli interventi previsti e al controllo dei progressi in fase di cantiere.

### CONCLUSIONI

Oggi uno degli aspetti cruciali della gestione delle opere di restauro è legata alla precisione della documentazione preliminare: la profonda conoscenza del patrimonio culturale porta a interventi più rispettosi della memoria storica e geometrica. Uno degli aspetti più innovativi dei progetti presentati sono collegati alla precisione e accuratezza del laser scanner 3D come supporto per la qualità delle fasi di progettazione, dando una nuova "dimensione" alla nuvola di punti: per la prima volta, in un cantiere di restauro così complesso e ambizioso come l'edificio di Brunelleschi offre, l'accuratezza e la precisione

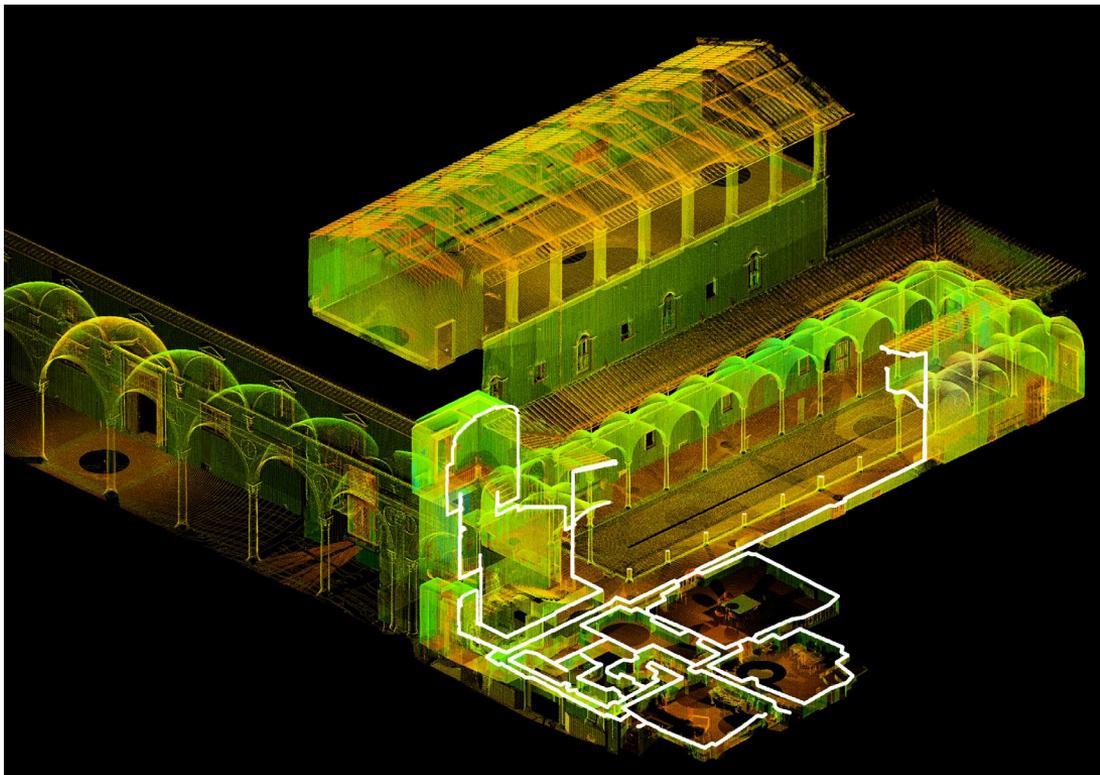


Fig. 8. A sinistra, estrazione del dato della prima campagna di rilievo, realizzata nel 2009, finalizzata alla realizzazione di un modello metrico 3D per analizzare gli spazi, il relativo layout funzionale e l'accessibilità; vista assometrica di estrazione di misure nella nuvola di punti. Sotto, sezione di progetto sul vano scala, una delle principali problematiche per le quali il rilievo tridimensionale ha costituito un fondamentale supporto nella verifica volumetrica e dimensionale.



del rilievo 3D hanno dimostrato che i dati acquisiti possono essere la base per la conservazione, il restauro, diagnostica e monitoraggio dell'edificio; mentre, il progetto di rilievo delle architetture albertiane dimostra come sia possibile utilizzare il capitale di misure per nuove interpretazioni critiche

Le procedure operative per la modellazione geometrica 3D e la rappresentazione raggiunte per la documentazione delle architetture di Leon Battista Alberti e per il restauro dell'Istituto degli Innocenti di Brunelleschi sono strumenti analitici utilizzati in un approccio interdisciplinare globale volto allo studio di complesse opere architettoniche, mediante navigazione

morfologica (filtraggio dei dati e posizionamento di piani di sezione ponendo l'osservatore in una condizione spaziale libera), operando in un contesto di centinaia di milioni di coordinate tridimensionali organizzate.

Il grado di flessibilità offerta da questo sistema permette ai ricercatori di trasferire il lavoro organizzativo e interpretativo nel laboratorio, separando il processo di acquisizione dei dati dal solo scopo di produrre una misurazione, e rendendo la raccolta dei dati di misura esportabile, aggiornabile e implementabile.

La gestione dei dati tridimensionali di acquisizione e la metodologia di utilizzo ai fini conservativi rappresentano un problema ancora aperto.

La complessità delle sorgenti morfometriche, soprattutto a contatto con le architetture dei grandi Maestri del Rinascimento, stimola il confronto e sono, ad oggi, un terreno di ricerca non banale di dati di misura che consentono gradi di visualizzazione e di interrogazione diretta per diversi tipi di indagine (degrado e diagnosi superficiale, problematiche strutturali, computazione metrica, ecc.). La costruzione di una metodologia processuale coerente permette di sfruttare pienamente la ricchezza dell'informazione a patto che rimangano intatti i presupposti critici di natura storica e culturale.

## NOTE

[1] Responsabile della ricerca: Marcello Balzani (Università degli Studi di Ferrara, Direttore del Centro DIAPReM), Fondazione Centro Studi Leon Battista Alberti di Mantova. Responsabili scientifici del progetto: Arturo Calzona, Francesco Paolo Fiore; collaboratrici: Federica Cerchiari, Veronica Ghizzi. Centro DIAPReM (Dipartimento di Architettura, Università degli Studi di Ferrara) e Consorzio Ferrara Ricerche. Responsabile scientifico: Marcello Balzani; rilievo 3D: Federico Uccelli, Guido Galvani, Marcello Guzzinati, Alessandro Grieco; collaboratori: Federico Ferrari; registrazione dei dati: Daniel Blersch, Federico Uccelli, Guido Galvani; rilievo topografico: Land Technology & Services S.r.l. di Treviso, Guido Galvani, Cecilia Traina; elaborazioni data base: Daniel Blersch; elaborazione video e supervisione contenuti scientifici per il catalogo: Guido Prearo, Daniel Blersch, Federico Ferrari, Benedetta Caglioti, Alessandra Gola, Stefano Manzo.

[2] Si veda l'importantissimo foglio di Antonio Labacco sulla pianta e prospetto laterale di San Sebastiano, che costituisce una fondamentale testimonianza del primo quarto del XVI sec. per lo studio della chiesa mantovana.

[3] Si veda il rilievo delle fondazioni di San Sebastiano condotto da Livio Volpi Ghirardini nel 1995.

[4] *Istituto degli Innocenti di Firenze*. Direttore Generale: Anna Maria Bertazzoni, Presidente: Alessandra Maggi. Coordinatore Museo: Stefano Filipponi. *Centro DIAPReM, Dipartimento di Architettura, Università di Ferrara. Consorzio Ferrara Ricerche*. Responsabile scientifico del progetto di rilievo: Marcello Balzani. Direttore Consorzio Ferrara Ricerche: Stefania Corsi. Responsabile rilievo 3D, rilievo topografico e restituzione grafica: Guido Galvani, Centro DIAPReM e Agave srl. Coordinamento alla realizzazione di supporti multimediali: Federico Ferrari. Realizzazione estrazione video da data base 3D: Marco Medici. Consulenza al rilievo 3D (fasi di rilievo 2009-10): Filippo Casarini, Marcello Guzzinati. Elaborazione grafiche (fasi di rilievo 2009-10): Cristina Vanucci, Alessandra Tursi. Nuovo Museo degli Innocenti, Firenze | Restauro e allestimento Commitente: Istituto degli Innocenti, Firenze. Coordinamento generale: Carlo Terpolilli, Ipostudio Architetti. Progetto architettonico: Lucia Celle, Roberto Di Giulio (per consulenza al progetto di concorso), Carlo Terpolilli, Elisabetta Zanasi Gabrielli, Panfilo Cionci, Beatrice Turillazzi (Ipostudio Architetti), Pietro Carlo Pellegrini, Eugenio Vassallo, Silvia Scarponi. Progetto Museografico: Cristiana Morigi Govi. Strutture: Maurizio Milan (Favero e Milan ingegneria). Impianti: Pietro Paolo Bresci, Leopoldo D'Inzeo (Consilium servizi di ingegneria). Direzione lavori: Carlo Terpolilli. Ufficio Direzione Lavori: Pietro Paolo Bresci, Leopoldo D'Inzeo (impianti), Niccolò De Robertis (strutture). Collaboratori: Jacopo Carli, Dania Marzo, Daniele Bitossi, Leonardo D'Inzeo.

## BIBLIOGRAFIA

Di Giulio R., Balzani M., Maietti F., Ferrari F., *Digital morphometric survey for documentation, conservation and restoration works: the MUDI project*. In Marinos Ioannides, Nadia Magnenat-Thalmann, Eleanor Fink, Roko Žarnic, Alex-Yianing Yen, Ewald Quak, "Digital Heritage. Progress in Cultural Heritage: Documentation, Preservation, and Protection" Proceeding of EuroMed 2014, 5th International Conference, Limassol, Cyprus, November 3-8, 2014.

Bianchini C., *Survey, modeling, interpretation as multidisciplinary components of a knowledge system*, in SCIENTIFIC RESEARCH and Information Technology, Vol. 4, Issue 1 (2014), pp. 15-24.

Vodopivec B., Eppich R., Žarnic R., *Cultural Heritage Information Systems State of the Art and Perspectives*, in Marinos Ioannides, Nadia Magnenat-Thalmann, Eleanor Fink, Roko Žarnic, Alex-Yianing Yen, Ewald Quak, "Digital Heritage. Progress in Cultural Heritage: Documentation, Preservation, and Protection" Proceeding of EuroMed 2014, 5th International Conference, Limassol, Cyprus, November 3-8, 2014.

Apollonio F. I., Gaiani M., Sun Z., *3D modeling and data enrichment in digital reconstruction of Architectural Heritage*, in XXIV International CIPA Symposium, ISPRS, "International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences", 2013, pp. 43 - 48 (atti del XXIV International CIPA Symposium, Strasbourg, France, 2-6 September 2013).

Scopigno R., Callieri M., Cignoni P., Corsini M., Dellepiane M., Ponchio F., Ranzuglia G., *3D models for Cultural Heritage: beyond plain visualization*, IEE Computer, Volume 44, Number 7, pp. 48-55, 2011.

Koller David, Frischer B., Humphreys G., *Research Challenges for Digital Archives of 3D Cultural Heritage Models*, in ACM Journal on Computing and Cultural Heritage, Vol. 2, No. 3, Article 7, 2009.

Balzani M., Blersch D., *Digital Survey as efficient tool for Leon Battista Alberti's geometric memory*, Proceedings of the "International Conference Heritage 2008 – World Heritage and Sustainable Development", edited by Rogerio Amoeda, Sergio Lira, Cristina Pinheiro, Filipe Pinheiro, Joao Pinheiro, Vila Nova de Foz Coa, Portugal, 7-9 may 2008, Volume II, pp. 543-548.

Bulgarelli M., *Leon Battista Alberti 1404-1472. Architettura e storia*. Electa 2008.

Docci M.,  *Virtuale, Rappresentazione*, in Enciclopedia Italiana Treccani, XXI secolo, settima appendice, volume terzo, (pp. 448-450), Istituto Enciclopedia Treccani 2007, Roma.

Scopigno R., Callieri M., Montani C., *Il rilievo digitale tridimensionale, un nuovo strumento di analisi e documentazione per il restauro*, in M. Matteini (a cura di), "Il CNR e le strategie di conservazione del Patrimonio Culturale", Atti del Convegno di Studio nel centenario della nascita di Cesare Brandi, Roma. CNR, pp. 133-138, 2007.

Docci M., *Metodi e tecniche integrate di rilevamento di modelli virtuali dell'architettura e della città*, Gangemi editore, Roma 2007.

Bulgarelli M., Calzona A., Ceriana M., Fiore F. P., *Leon Battista Alberti e l'architettura*, Silvana Editore, Milano 2006.

Balzani M., *Il rilievo morfometrico tridimensionale delle architetture*

*albertiane*. In "Leon Battista Alberti e l'architettura", Silvana Editoriale, Milano 2006, pp. 178-201.

Bruschi A., *Filippo Brunelleschi*, Electa, Milano, 2006.

Migliari R. (a cura di), *Disegno come modello*, Edizioni Kappa, Roma, 2004.

Jestaz B., *Il Rinascimento dell'architettura da Brunelleschi a Palladio*, Universale Electa/Gallimard, Milano, 1995.

Calzona A., Ghirardini Volpi L., *Il San Sebastiano di Leon Battista Alberti*, Olschki, Firenze, 1994.

Borsi F., *Leon Battista Alberti. Opera completa*, Electa, Milano 1986.