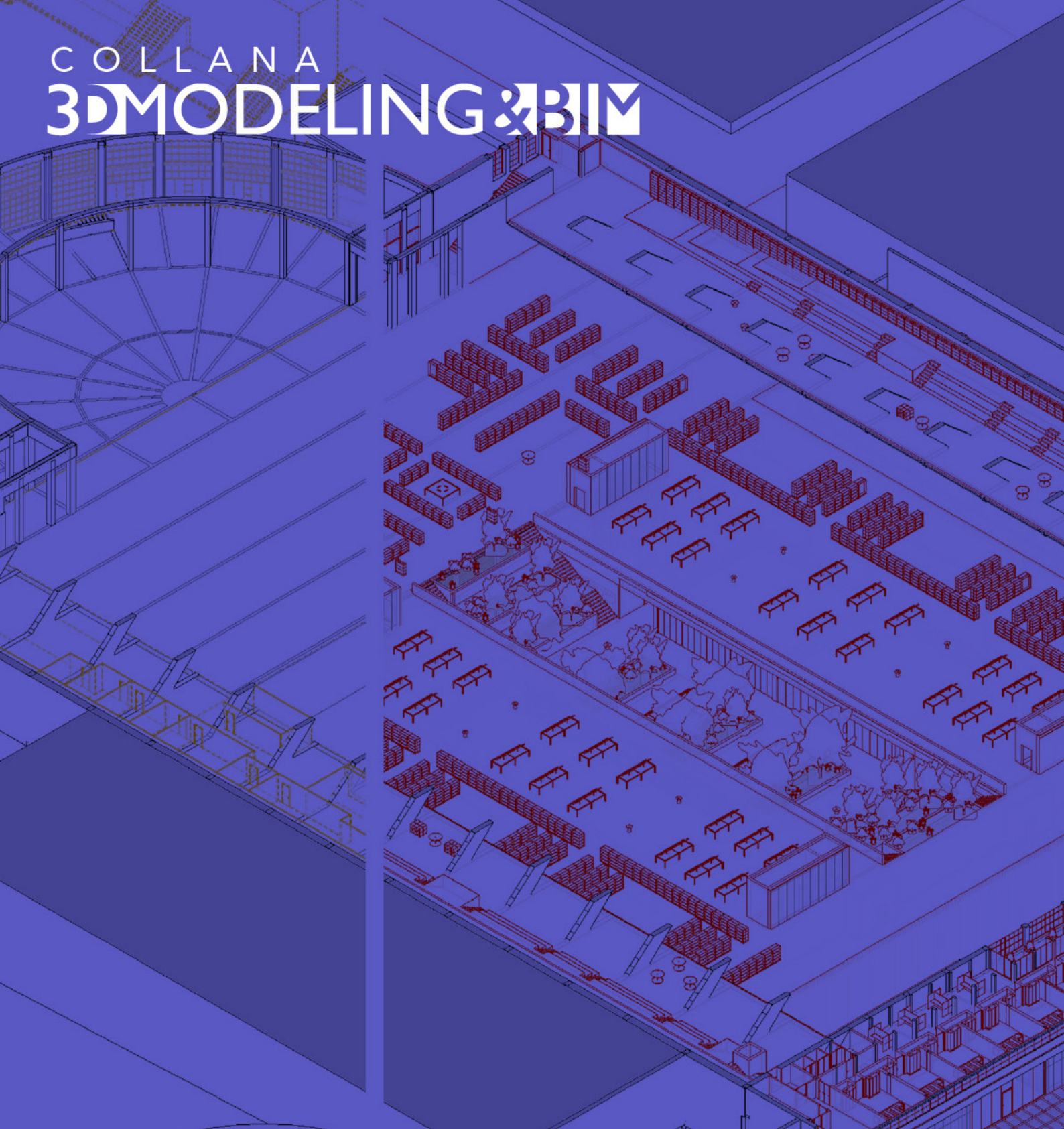


COLLANA
3D MODELING & BIM



SOLUZIONI PER IL CULTURAL HERITAGE

A CURA DI TOMMASO EMLER, ADRIANA CALDARONE,
ALEXANDRA FUSINETTI

DIPARTIMENTO DI STORIA
DISEGNO E RESTAURO
DELL'ARCHITETTURA



SAPIENZA
UNIVERSITÀ DI ROMA



TIPOGRAFIA DEL GENIO CIVILE

3D Modeling & BIM 2023 - Soluzioni per il Cultural Heritage

Curatori: Tommaso Empler, Adriana Caldarone, Alexandra Fusinetti

Collana: 3D Modeling & BIM

Publisher: DEI s.r.l. Tipografia del Genio Civile

© 2023 DEI s.r.l. TIPOGRAFIA DEL GENIO CIVILE* – Tutti i diritti riservati

ISBN 979-12-5505-129-9

I diritti di traduzione, di memorizzazione elettronica, di riproduzione e adattamento totale o parziale con qualsiasi mezzo (compresi i microfilm e le copie fotostatiche), sono riservati per tutti i Paesi. Le fotocopie per uso personale del lettore possono essere effettuate nei limiti del 15% di ciascun volume dietro pagamento alla SIAE del compenso previsto dall'art. 68, commi 4 e 5, della legge 22 aprile 1941 n. 633. Le fotocopie effettuate per finalità di carattere professionale, economico o commerciale o comunque per uso diverso da quello personale possono essere effettuate a seguito di specifica autorizzazione rilasciata da CLEARedi, Centro Licenze e Autorizzazioni per le Riproduzioni Editoriali, Corso di Porta Romana 108, 20122 Milano, e-mail autorizzazioni@clearedi.org e sito web www.clearedi.org.

DEI s.r.l. TIPOGRAFIA DEL GENIO CIVILE

Via Cavour 181/A - 00184 Roma

Tel. 06.441.63.71 (r.a.) Fax 06.440.33.07

dei@build.it

www.build.it

* DEI s.r.l. TIPOGRAFIA DEL GENIO CIVILE fa parte di LSWR GROUP

Credit immagine di copertina: Massimiliano Lo Turco, Andrea Tomalini, Jacopo Bono

A cura di Tommaso Emler,
Adriana Caldarone, Alexandra Fusinetti

3D MODELING & BIM

Soluzioni per il Cultural Heritage

Il volume raccoglie i contributi, dei relatori e degli studiosi, pervenuti in occasione del *Workshop 3DModeling&BIM. Soluzioni per il Cultural Heritage*, che si è svolto a Roma in il 12 aprile 2023. La valutazione dei contributi pubblicati è avvenuta con la modalità del double blind review.

This book collects contributions, of speakers and scholars, received during the Workshop 3Dmodeling & BIM. Cultural Heritage Solutions, which took place in Rome on April 12th 2023. Contributions are printed under double blind review mode.

Organizing Commitee

Director

- Tommaso Empler

Scientific Coordinator 3D Modeling

- Fabio Quici

Scientific Coordinator HBIM, Data and Semantics

- Graziano Mario Valenti

Coordinators

- Adriana Caldarone
- Alexandra Fusinetti

Carlo Bianchini

Adriana Caldarone

Michele Calvano

Andrea Casale

Emanuela Chiavoni

Elena D'Angelo

Carlo Inglese

Elena Ippoliti

Alfonso Ippolito

Marta Salvatore

Leonardo Baglioni

Scientific Committee

- Massimo Babudri, Ordine degli Ingegneri di Roma (Italy)
- Carlo Bianchini, Sapienza Università di Roma (Italy)
- Fabio Bianconi, Università di Perugia (Italy)
- Cecilia Maria Bolognesi, Politecnico di Milano (Italy)
- Stefano Brusaporci, Università dell'Aquila (Italy)
- Adriana Caldarone, Sapienza Università di Roma (Italy)
- Michele Calvano, Istituto di Scienze del Patrimonio Culturale CNR (Italy)
- Maria Grazia Cianci, Università Roma Tre (Italy)
- Roberto de Rubertis, XY Digitale (Italy)
- Tommaso Empler, Sapienza Università di Roma (Italy)
- Marco Filippucci, Università di Perugia (Italy)
- Donatella Fiorani, Sapienza Università di Roma (Italy)
- Alexandra Fusinetti, Università degli Studi di Sassari (Italy)
- Elena Gigliarelli, Istituto di Scienze del Patrimonio Culturale CNR (Italy)
- Elena Ippoliti, Sapienza Università di Roma (Italy)
- Massimiliano Lo Turco, Politecnico di Torino (Italy)
- Giovanna Massari, Università di Trento (Italy)
- Javier Nuñez, FADU - UBA (Argentina)
- Anna Osello, Politecnico di Torino (Italy)
- Ivan Paduano, Sapienza Università di Roma (Italy)
- Maria Victoria Pasini, FADU - UBA (Argentina)
- Leonardo Paris, Sapienza Università di Roma (Italy)
- Sandro Parrinello, Università di Pavia (Italy)
- Fabio Quici, Sapienza Università di Roma (Italy)
- Alberto Raimondi, Università Roma Tre (Italy)
- Manuel Ròdenas, UPCT Universidad Politécnica de Cartagena (Spain)
- Maria Laura Rossi, Sapienza Università di Roma (Italy)
- Michela Rossi, Politecnico di Milano (Italy)
- Francesco Ruperto, Sapienza Università di Roma (Italy)
- Livio Sacchi, Università degli Studi "G. d'Annunzio" di Chieti – Pescara (Italy)
- Mario Sacco, BIM Expert (Italy)
- Cettina Santagati, Università di Catania (Italy)
- Alberto Sdegno, Università degli studi di Udine (Italy)
- Graziano Mario Valenti, Sapienza Università di Roma (Italy)
- Valeria Zacchei, PhD BIM Expert (Italy)

Editorial Project

- Alexandra Fusinetti
- Elisa Manca

Indice

Summary

PRESENTAZIONE

Tommaso Empler

12

SOLUZIONI PER IL CULTURAL HERITAGE

Processi digitali integrati per la gestione e la conservazione di grandi siti culturali e complessi edilizi storici: l'Ex Stabilimento Florio della tonnara di Favignana

—
Integrated digital processes for the management and conservation of large cultural sites and historic building complexes: the former Florio plant of the Favignana tuna fishery

Letizia Bernabei, Lucia Calderoni, Michele Calvano,
Letizia Martinelli, Filippo Calcerano, Elena Gigliarelli

20

Ecosistema digitale per la gestione degli immobili e delle opere pubbliche della Provincia di Perugia

—
Digital ecosystem for the management of properties and public works of the Province of Perugia

Fabio Bianconi, Marco Filippucci, Filippo Cornacchini,
Stefano Torrini, Ferdinando Luciani

32

Chiesa di S. Giacomo: diverse strategie di modellazione per creare un HBIM finalizzato alle attività di conservazione

—
S. Giacomo Church in Como: different modelling strategies to create a HBIM for conservation activities

Manuel Garramone, Daniela Oreni, Marco Scaioni

46

Tra ricerca e professione: processi BIM-based per il recupero di Torino Esposizioni

—
Between research and profession: BIM-based processes for the renovation of Torino Esposizioni

Massimiliano Lo Turco, Andrea Tomalini, Jacopo Bono

58

Il ponte di Tor di Valle a Roma. Dal Rilievo integrato al Digital Twin

—
*Tor di Valle bridge in Rome.
From integrated survey to Digital twin*

Tommaso Empler, Carlo Inglese

72

Il rilievo digitale per un modello HBIM: il caso studio dell'area archeologica di Philosophiana (CL)

—
The digital survey for the HBIM model: the case study of the archaeological area of Philosophiana (CL)

Alessio Altadonna, Giuseppina Salvo

90

Dall'architettura al modello: metodologie e casi studio per la ricostruzione digitale del complesso di Santa Croce, Firenze

—
From architecture to model: methodologies and case studies for the digital reconstruction of the S. Croce complex, Florence

Matteo Bigongiari, Gianlorenzo Dellabartola

102

Dall'analisi storica ai modelli informatizzati HBIM: un processo critico sul Chiostro di S. Maria della Pace

—
From historical analysis to HBIM information models: a critical process on the Cloister of S. Maria della Pace

Alfonso Ippolito, Francesca Porfiri, Rawan Darwa, Michele Cipolletta

114

L'HBIM per la gestione e analisi dei dati di monitoraggio ambientale

—
HBIM for environmental monitoring data management and analysis

Adriana Marra

126

Stato dell'arte del gemello digitale: caso studio dell'area portuale di Rotterdam

—
State of the art of the digital twin: case study of the Rotterdam port area

Nicola Orlacchio

142

Heritage BIMper il patrimonio storico architettonico: la Chiesa di S. Stefano alle Trane sull'Isola d'Elba

—
Heritage BIM for historic architectural heritage: the Church of S. Stefano alle Trane on Elba Island

Sara Porcari, Lucia Giampetruzzi, Flavia Pesole

154

Marco Zanuso e la definizione costruttiva. Una sperimentazione BIM per le ragioni del progetto.

—
Marco Zanuso and the construction definition. A BIM experiment for project reasons.

Cecilia Santacroce, Maria Pompeiana Iarossi

168

Modellazione parametrica e HBIM per la conoscenza del patrimonio architettonico: il caso di Villa Venier-Contarini

—
Parametric modelling and HBIM for the exploratory study of architectural heritage: the case of Villa Venier-Contarini

Luca Sbrogiò, Maria Rosa Valluzzi, Carlo Zanchetta, Ylenia Saretta, Matteo Salvaggio

182

Il rilievo e la modellazione per il restauro della statuaria antica

—
Survey and modeling for the restoration of ancient statuary

Luca J. Senatore

198

La conoscenza per l'interpretazione e la fruizione digitale del patrimonio culturale: l'acquedotto medievale di Perugia

—
Knowledge for interpretation and digital fruition of cultural heritage: the medieval aqueduct of Perugia

Katia Smaldone, Valeria Menchetelli, Nicola Cavalagli

214

Futuring Designing. Prospettive emozionali nel design per il patrimonio culturale

—
Futuring Designing. Emotional perspectives in design for cultural heritage

Alessandro Spennato

230

Preservare la storia con la tecnologia immersiva: Un workflow BIM in Unreal Engine 5 per il Museo della Civiltà Romana

—
Preserving History with Immersive Technology: A BIM Workflow in Unreal Engine 5 for the Museo della Civiltà Romana

Dario Francesco Bonomo

242

Workflow per la comunicazione del patrimonio: dal modello parametrico alla comunicazione in AR e VR

—
Workflow for heritage communication: from parametric model to AR and VR communication

Flavia Camagni, Francesca Guadagnoli

256

L'uso delle ICT per valorizzare il Borgo Di Sant'Ilario all'Isola d'Elba

—
ICT for the valorisation of Sant'Ilario village in Elba Island

Martina Empler

270

Cultural Games per la ricostruzione di un sito archeologico

—
Valorisation of an archaeological site through Cultural Games

Alexandra Fusinetti

292

Dall'architettura al modello: metodologie e casi studio per la ricostruzione digitale del complesso di Santa Croce, Firenze

*From architecture to
model: methodologies and
case studies for the digital
reconstruction of the S. Croce
complex, Florence*

AUTHOR

**Matteo Bigongiari¹,
Gianlorenzo Dellabartola²**

¹Università di Firenze, Dipartimento di Architettura

²Università di Padova, Dipartimento di Beni Culturali

EMAIL

matteo.bigongiari@unifi.it,
gianlorenzo.dellabartola@unipd.it

KEYWORDS

Modellazione, remote sensing, rilievo architettonico, reverse engineering, Santa Croce

Modeling, remote sensing, architectural survey, reverse engineering, Santa Croce

ABSTRACT

Il contributo approfondisce le metodologie di documentazione e di rappresentazione del Patrimonio architettonico attraverso i casi studio di alcune puntuali architetture di Santa Croce a Firenze. Dal rilievo *reality based* alla modellazione tridimensionale vengono trattate le tecniche di ricostruzione digitali delle architetture.

The contribution explores the methodologies of documentation and representation of architectural heritage through case studies of specific architectural structures in Santa Croce, Florence. From reality-based surveying to three-dimensional modeling, digital reconstruction techniques of the architectures are discussed.

Introduzione

Il contributo sviluppa le metodologie di documentazione *reality based* e i processi di *reverse engineering* che hanno interessato una parte del complesso monumentale della Basilica di Santa Croce in Firenze. Il caso studio approfondito comprende il Chiostro Grande della basilica e la Cappella Pazzi al suo interno. Il progetto mira a realizzare una base documentaria e analitica delle architetture che compongono il complesso di Santa Croce, attraverso elaborati grafici 2d e 3d; il processo di documentazione è stato progettato come parte di una ricerca più ambiziosa, il cui scopo era quello di condurre analisi sullo stato di conservazione materico e strutturale su cui basare considerazioni gestionali. Le informazioni acquisite, partendo dai dati morfologici di rilievo fino alle analisi materiche, saranno incluse in un modello tridimensionale che semplifichi la gestione del complesso architettonico attraverso la realizzazione di un piano di manutenzione impostato sul modello BIM¹. La documentazione tridimensionale degli oggetti architettonici di alto valore patrimoniale attraverso metodologie di rilievo *range based* e *image based* è ben consolidata.

Esperienze di documentazione in contesti italiani e internazionali dimostrano l'utilità di approcci metodologici qualitativamente elevati applicati alla scala architettonica o urbana [1] [2], e chiariscono le possibilità descrittive del rilievo digitale ai fini della conservazione: l'utilizzo di sistemi di documentazione integrata fornisce una grande quantità di dati materici e morfologici su cui impostare le analisi ai fini del restauro. Le metodologie di rappresentazione sono sempre più incentrate sulla modellazione tridimensionale, per la realizzazione di copie digitali delle architetture utili per differenti scopi e processi [3] (Fig.1).

¹ I primi risultati delle ricerche per la documentazione tridimensionale e la restituzione grafica del complesso di Santa Croce sono in corso di pubblicazione negli atti del convegno F-Atlas Conference - Franciscan Observance Landscape, con un articolo a nome Bertocci, Bigongiari, Della Bartola sul disegno e il rilievo architettonico, e un articolo scritto da D'Agostino, Antuono, Elefante sulla modellazione BIM per la manutenzione delle architetture.

Introduction

The contribution develops reality-based documentation methodologies and reverse engineering processes involving a part of the monumental complex of the Basilica of Santa Croce in Florence. The in-depth case study includes the Great Cloister of the basilica and the Pazzi Chapel inside it. The project aimed to create a documentary and analytical basis of the architecture that makes up the Santa Croce complex, through 2D and 3D graphic works; the documentation process was designed as part of a more ambitious research, whose purpose was to conduct analyses on the material and structural state of conservation on which to base management considerations. The information acquired, starting from the morphological survey data to the material analyses, will be included in a three-dimensional model that will simplify the management of the architectural complex through the realisation of a maintenance plan based on the BIM model¹.

The three-dimensional documentation of architectural objects of high heritage value through range-based and image-based survey methodolo-

¹ The first results of the research for the three-dimensional documentation and graphic restitution of the Santa Croce complex are being published in the proceedings of the F-Atlas Conference - Franciscan Observance Landscape, with an article by Bertocci, Bigongiari, Della Bartola on drawing and architectural survey, and an article by D'Agostino, Antuono, Elefante on BIM modelling for architectural maintenance.

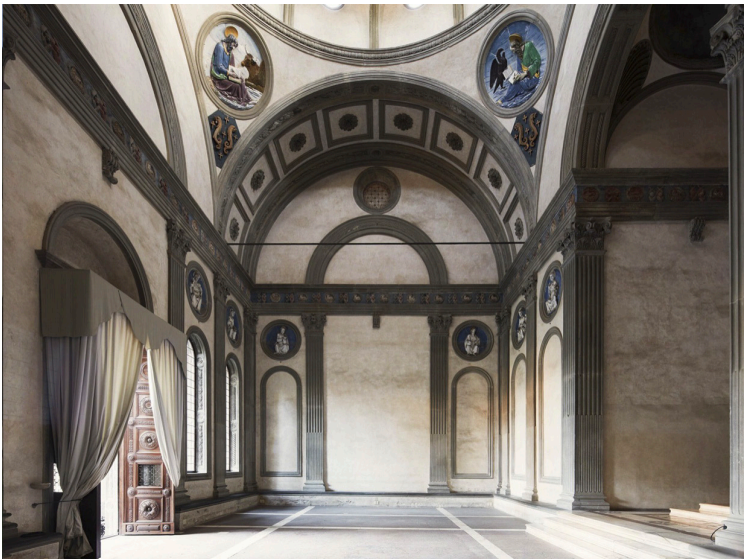


Fig. 1 Vista della Cappella Pazzi all'interno del complesso monumentale di Santa Croce

Fig. 1 View of the Pazzi Chapel within the monumental complex of Santa Croce

Il progetto mostra le metodologie di documentazione e modellazione tridimensionale per la rappresentazione dei casi studio proposti, analizzando da un lato le problematiche legate all'affidabilità dei dati in fase di acquisizione e nella loro successiva elaborazione, dall'altro i problemi legati alla restituzione e alla classificazione degli elementi architettonici. Il rilievo architettonico si configura all'interno del progetto come primo momento di conoscenza e come base grafica necessaria e propedeutica alla sistematizzazione delle indagini sul complesso (Fig.2). Le operazioni di rilievo architettonico sono state così organizzate:

1. Acquisizione dei dati; è svolta in situ e prevede l'utilizzo di strumenti di misurazione che utilizzano sistemi di ripresa *range based (laser scanner)*, *image based (fotogrammetria da terra e da drone)*, oltre che sistemi di misurazione satellitare (Gps). Ognuno di questi sistemi di acquisizione risponde all'esigenza di progetto di ottenere una base

gies is well established. Documentation experiences in Italian and international contexts demonstrate the usefulness of qualitative methodological approaches applied to the architectural or urban scale [1] [2], and clarify the descriptive possibilities of digital surveying for conservation purposes: the use of integrated documentation systems provides a wealth of material and morphological data on which to base analyses for restoration purposes.

Representation methodologies are increasingly focused on three-dimensional modelling, for the realisation of digital copies of architectures useful for different purposes and processes [3] (Fig.1). The project demonstrates the methodologies of documentation and three-dimensional modelling for the representation of the proposed case studies, analysing on the one hand the problems related to the reliability of the data in the acquisition phase and in their subsequent processing, and on the other hand the problems related to the restitution and classification of the architectural elements.

The architectural survey is configured within the project as the first moment of knowledge and as a necessary and preparatory graphic basis for the systematisation of the investigations on the complex (Fig.2).

Architectural survey operations were organised as follows:

Data acquisition; this is carried out in situ and involves the use of measurement tools using range based (*laser scanner*), *image based (ground and drone photogrammetry)* and satellite (GPS) measurement systems.

Each of these acquisition systems responds to the project need to obtain



grafica altamente affidabile, che riproduca *texture* materiche delle superfici ad alta risoluzione per approfondire le analisi tematiche multidisciplinari: i dati provenienti da *laser scanner* assicurano l'affidabilità del dato, i modelli fotogrammetrici permettono l'estrazione di *texture* altamente affidabili, le misurazioni di poligoni topografiche sono una verifica di affidabilità, i dati satellitari consentono di inserire i rilievi in coordinate geografiche [4] [5].

2. Elaborazione dei dati; prevede tutti quei processi volti alla ricostruzione di nuvole di punti e modelli tridimensionali digitali che riproducono fedelmente una copia digitale del complesso di Santa Croce; questa fase termina con la verifica dell'affidabilità delle misurazioni e dei modelli [6] [7] (Fig.3).

Metodologie

A partire dalla raccolta dei dati mediante l'utilizzo di tecnologie *laser scanner* e fotogrammetriche, è stato possibile acquisire una nuvola di punti che rappresenta accuratamente, con un dettaglio non inferiore alla scala 1:50, l'architettura presa in esame. Il *database* morfologico costituisce un insieme di informazioni necessarie per la corretta elaborazione del disegno bidimensionale dell'architettura all'interno di un ambiente CAD, in modo da consentire l'archiviazione e la trasmissione delle caratteristiche degli elementi e delle componenti che compongono il manufatto. Il disegno CAD estratti dalla nuvola di punti attraverso consolidate metodologie di lavoro, permettono di trasformare le coordinate polari dei punti in disegni vettoriali che sono caratterizzati e semantizzati per *layer*, definendo in questo modo piani di profondità e

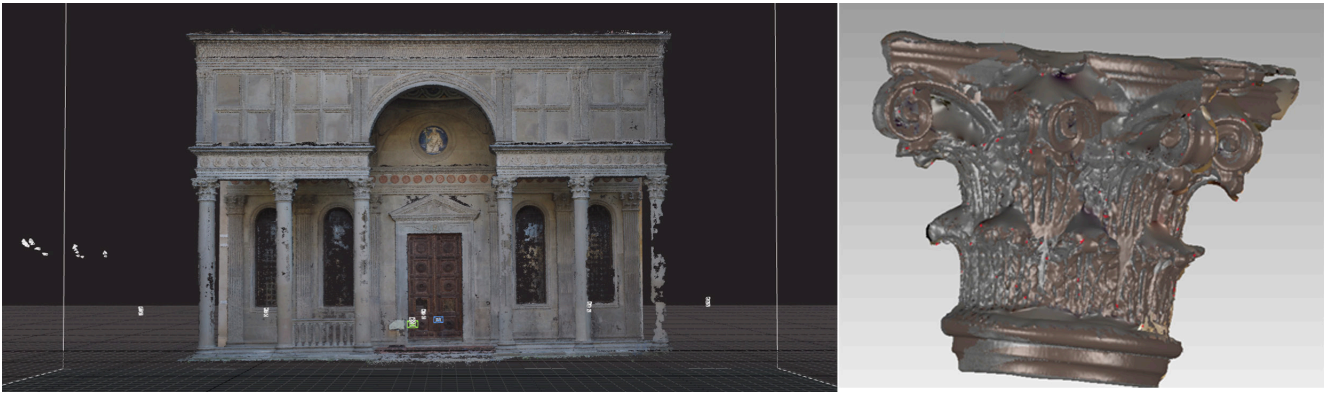
Fig. 2 Documentazione digitale: visualizzazione della nuvola di punti di Cappella Pazzi

Fig. 2 Digital documentation: visualisation of the point cloud of Cappella Pazzi

a highly reliable graphic base, which reproduces material textures of surfaces at high resolution for in-depth multidisciplinary thematic analysis: data from laser scanners ensure the reliability of the data, photogrammetric models allow the extraction of highly reliable textures, topographic polygon measurements are a reliability check, and satellite data allow the surveys to be inserted in geographical coordinates [4] [5]. Data processing; this involves all those processes aimed at reconstructing point clouds and digital three-dimensional models that faithfully reproduce a digital copy of the Santa Croce complex; this phase ends with the verification of the reliability of the measurements and models [6] [7] (Fig.3).

Methodologies

Starting from the collection of data by means of laser scanner and photo-



semantica degli oggetti rappresentati. Particolare attenzione nei processi di restituzione grafica viene posta nelle procedure con cui si trasmettono le informazioni dei database tridimensionali in disegni 2D [8].

Nel caso di architetture dall'elevato valore storico e patrimoniale è importante tuttavia, prima di procedere al disegno digitale da rilievo tridimensionale, acquisire familiarità con le forme degli elementi architettonici che compongono le superfici di Santa Croce ed in particolare approfondire puntualmente il lessico rinascimentale, come nel caso del Chiostro Grande e di Cappella Pazzi [9]

Dopo aver rilevato accuratamente *in situ* l'architettura possono essere approfonditi singolarmente i vari elementi che la compongono, in modo da poterli studiare nel dettaglio, capirne la composizione e, di conseguenza, acquisire abbastanza informazioni utili alla successiva modellazione.

A tal fine è stata applicata una rigorosa scomposizione semantica degli elementi; un'accurata classificazione ed una corretta nomenclatura sono aspetti fondamentali per il processo di modellazione soprattutto nelle architetture in cui la componente decorativa è estremamente caratterizzante, come nel caso di Cappella Pazzi: in questo caso è infatti importante conoscere ed individuare in tutte le fasi del processo ogni singolo componente e come esso venga a comporsi con il generale ordine architettonico, sia in modo da poterlo puntualmente isolare ed approfondire, senza intaccare la struttura generale del disegno, o del modello, senza però perdere la sua collocazione ed importanza alla scala più generale [10].

Per la realizzazione del modello tridimensionale sono state integrate due diverse metodologie di rappresentazione degli elementi: quelli più facilmente riconducibili a geometrie definite e quindi sintetizzabili in funzioni matematiche complesse sono stati rappresentati con superfici NURBS; tutti gli altri elementi, formati da oggetti organici o forme complesse che presentano curvature e dettagli intricati, sono stati modellati attraverso *superfici mesh*. Entrambe le soluzioni han-

Fig. 3 Digitalizzazione con tecniche SfM per la realizzazione di modelli con texture e di dettaglio degli elementi decorativi di Cappella Pazzi

Fig. 3 Digitisation with SfM techniques for the realisation of textured and detailed models of the decorative elements of the Pazzi Chapel

grammetric technologies, it was possible to acquire a point cloud that accurately represents, with a detail of no less than 1:50 scale, the architecture examined. The morphological database constitutes a set of information necessary for the correct processing of the two-dimensional drawing of the architecture within a CAD environment, so that the characteristics of the elements and components that make up the artefact can be stored and transmitted. The CAD drawing extracted from the point cloud through consolidated working methodologies [cite], allow for the transformation of the polar coordinates of the points into vector drawings that are characterised and semanticised by layers, thus defining depth planes and semantics of the objects represented. Particular attention in the processes of graphic restitution is placed on the procedures with which the information of the three-dimensional databases is transmitted in 2D drawings [8].

In the case of architecture with a high historical and patrimonial value, however, it is important to become familiar with the forms of the architec-



no previsto di utilizzare come fonte morfologica per le ricostruzioni l'archivio tridimensionale di punti del rilievo, ma se da un lato traducendolo in curve di sezione da estrarre, dall'altro triangolando direttamente i punti delle nuvole.

Per quanto riguarda l'affidabilità metrica dei processi proposti entrambi si basano su procedure dall'elevato controllo dei dati morfologici. Fin dalle procedure di ricostruzione tridimensionale delle nuvole di *image based*, sono stati seguiti protocolli di certificazione dell'attendibilità dei dati digitali di rilievo architetture secondo procedure già sperimentate.[11] Allo stesso modo nei processi di realizzazione delle superfici Nurbs, sono stati ricostruiti i volumi degli edifici e dei componenti architettonici a partire dai dati estratti direttamente dalle costanti sezioni effettuate del modello. Gli stessi archivi tridimensionali sono stati ricostruiti con *superfici mesh* attraverso consolidate procedure che garantissero l'elevata corrispondenza tra la spazialità di punti e triangoli (Fig. 4-5).

Nella fase successiva sono stati, per l'appunto, individuati, gli elementi che meglio rispondevano ad una tipologia di modellazione piuttosto che ad un'altra. Per le componenti per cui è stata prevista la creazione di superfici NURBS dai disegni bidimensionali sono stati estratti gli elementi neces-

Fig. 4 Restituzione grafica bidimensionale di una sezione longitudinale e degli apparati decorativi di Cappella Pazzi

Fig. 4 Two-dimensional graphic restitution of a longitudinal section and of the decorative elements of the Pazzi Chapel

tural elements that make up the surfaces of Santa Croce before proceeding with the digital drawing from three-dimensional relief, and in particular to delve into the Renaissance vocabulary in detail, as in the case of the Chiostro Grande and Cappella Pazzi [9].

After accurately surveying the architecture in situ, the various elements that compose it can be examined individually, so as to be able to study them in detail, understand their composition and, consequently, acquire enough useful information for subsequent modelling. To this end, a rigorous semantic breakdown of the elements has

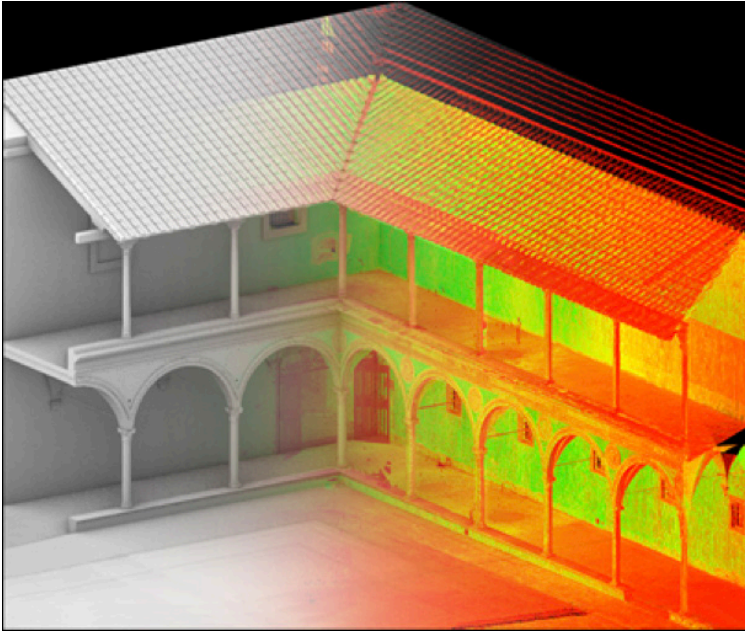


Fig. 5 Chiostro Grande Basilica di Santa Croce, da nuvola di punti a modello tridimensionale

Fig. 5 Chiostro Grande Basilica di Santa Croce, from point cloud to three-dimensional model

sari alla restituzione quali profili, sagome, piante e sezioni. In questo processo la fase di disegno di questi elementi risulta essere particolarmente importante: per generare superfici ricche di tutte le caratteristiche morfologiche sono necessarie basi estremamente accurate e dettagliate.

Una volta ottenute le informazioni bidimensionali e le curve che descrivono gli elementi, è possibile procedere alla ricostruzione tridimensionale utilizzando tecniche di modellazione che consentono di creare modelli 3D. Attraverso l'estrazione dei profili e delle curve dal disegno bidimensionale, è possibile generare superfici che riproducono fedelmente la forma e la struttura dell'architettura originale oltre che una successiva ed eventuale modifica istantanea, e che fornisca la possibilità di aumentare di mano in mano che il processo di composizione va avanti il livello di dettaglio generale (Fig.6).

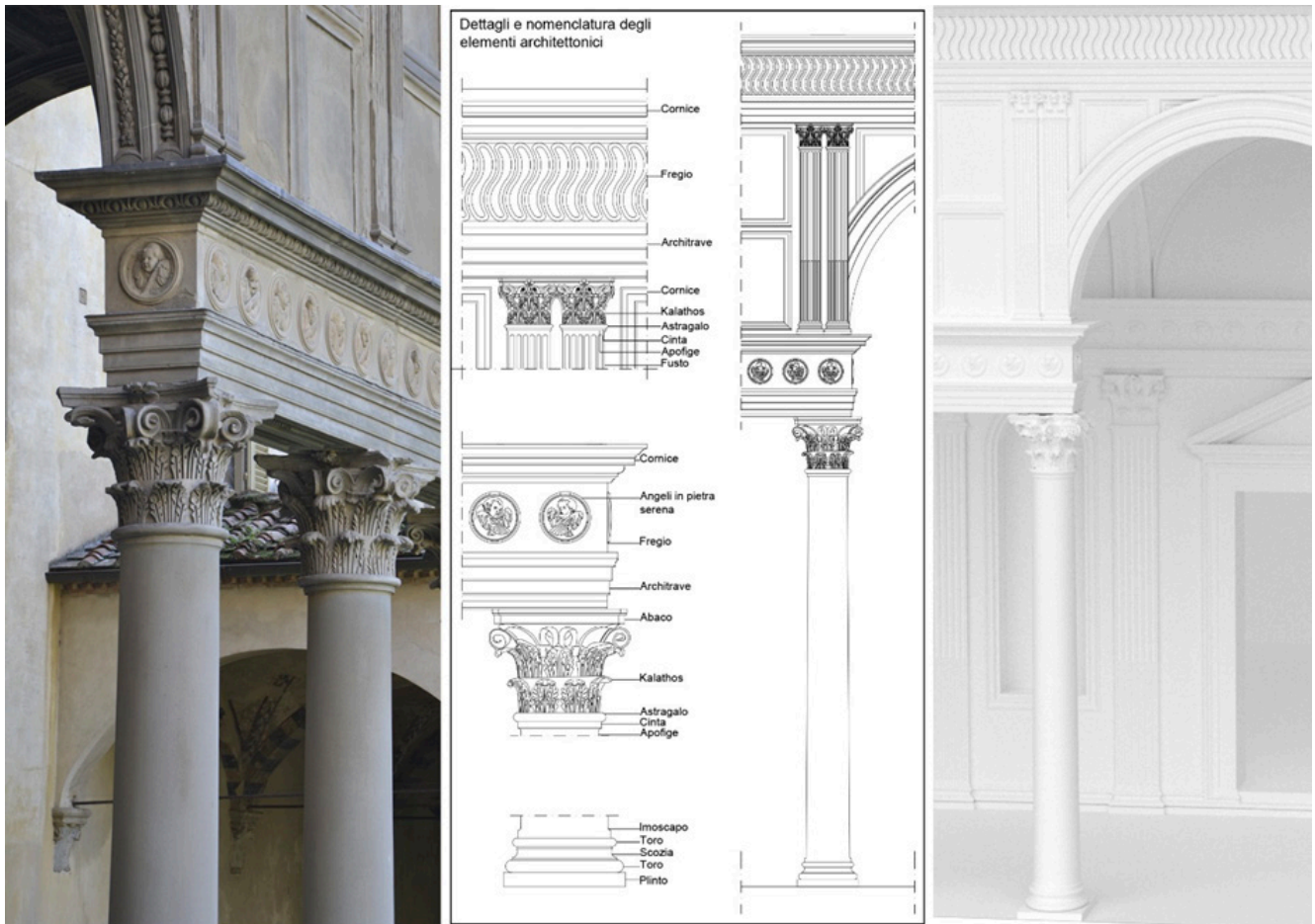
Contemporaneamente, per le componenti e dettagliate per cui è stata scelta una modellazione con *mesh*, è stata utilizzata ancora una volta la nuvola di punti: essa è stata suddivisa in porzioni più contenute che inquadrassero esclusivamente gli elementi soggetti alla modellazione; questi sono stati inseriti in *software* dedicati che hanno permesso la creazione delle *mesh*. Le *mesh* sono state realizzate discretizzando il dato grezzo proveniente dalle nuvole di punti secondo processi che hanno previsto la definizione di una adeguata spaziatura dei punti tale da descrivere accuratamente le architetture alla scala richiesta, una conseguente definizione della dimensione dei triangoli con cui viene costruita la *mesh* e una correzione degli inevitabili errori morfologici dovuti alla presenza principalmente di rumore digitale e coni d'ombra all'interno del modello di punti.[12] Una volta esportata,

been applied; accurate classification and correct nomenclature are fundamental aspects for the modelling process, especially in architecture where the decorative component is extremely characterising, as in the case of the Pazzi Chapel: in this case it is indeed important to know and identify each individual component at all stages of the process, and how it fits in with the general architectural order, both so that it can be precisely isolated and deepened, without affecting the general structure of the design, or the model, but without losing its place and importance on the more general scale.

For the realisation of the three-dimensional model, two different methods of representing the elements were integrated: those that were more easily attributable to defined geometries and could therefore be summarised in complex mathematical functions were represented with NURBS surfaces; all other elements, consisting of organic objects or complex shapes with intricate curvatures and details, were modelled using mesh surfaces.

Both solutions involved using the three-dimensional archive of survey points as a morphological source for the reconstructions, but on the one hand translating it into section curves to be extruded, and on the other hand directly triangulating the cloud points.

With regard to the metric reliability of the proposed processes, both are based on procedures with a high degree of morphological data control. Since the three-dimensional reconstruction procedures of the point clouds, both range based and image based, protocols have been followed to certify the reliability of the digital



quest'ultima è stata integrata al modello tridimensionale ed agli elementi NURBS già presenti.

Il processo di composizione del modello tridimensionale si configura come un'operazione di assemblaggio degli elementi modellati, che includono sia superfici NURBS che *mesh*. Questa fase cruciale del processo richiede l'integrazione di queste due tipologie di superfici, che differiscono nelle modalità con cui sono state generate, ma si combinano in modo armonioso nell'elaborazione finale.

Utilizzando la notevole capacità descrittiva dello spazio fornita dalle nuvole di punti, il modello delle architetture è stato inoltre inserito in uno sfondo architettonico costituito dall'intero *dataset* di rilievo (Fig.7).

Conclusioni

La restituzione dei dati ha previsto la realizzazione di elaborati CAD ad elevata affidabilità per estrarre le sezioni necessarie alla modellazione delle componenti e degli elementi architettonici. La modellazione delle architetture ha previsto il confronto tra differenti processi metodologici: dopo un'accurata rappresentazione bidimensionale sono state estratte dai profili e dalle curve superfici Nurbs; direttamente dalle

Fig. 6 Scomposizione semantica degli elementi e definizione della nomenclatura e dei codici di identificazione delle componenti di modello

Fig. 6 Semantic decomposition of elements and definition of nomenclature and identification codes for model components

architectural survey data according to procedures that have already been experimented.[11]

Similarly in the processes of realising the Nurbs surfaces, the volumes of the buildings and architectural components have been reconstructed starting from the data extracted directly from the constant sections made of the model. The same three-dimensional archives were reconstructed with mesh surfaces by means of consolidated procedures that guaranteed a high degree of correspondence between the spatiality of points and triangles (Fig.4-5). In the



nuvole di punti , dopo un'attenta elaborazione dei dati, sono stati triangolati i punti per la ricostruzione di un modello mesh ad alta attendibilità da cui sono stati ricostruiti attraverso processi di *reverse engineering* i volumi cad delle architetture; parallelamente sono stati modellati i volumi delle architetture per venire incontro alle esigenze del progetto [13].

I casi studio analizzati hanno permesso di approfondire le metodologie di rappresentazione tridimensionale e le caratteristiche degli elementi architettonici delle architetture di Santa Croce.



Fig. 7 Spaccato assonometrico del risultato di integrazione tra il dato pointcloud e il modello tridimensionale

Fig. 7 Axonometric cross-section of the integration result between the pointcloud data and the three-dimensional model

next phase, the elements that best suited one type of modelling rather than another were identified.

For components for which the creation of NURBS surfaces was envisaged, the elements necessary for restitution such as profiles, contours, plans and sections were extracted from the two-dimensional drawings. In this process, the drawing phase of these elements is particularly important: in order to generate surfaces rich in all morphological characteristics, extremely accurate and detailed bases are required. Once the two-dimensional information and the curves describ-

ing the elements have been obtained, it is possible to proceed to three-dimensional reconstruction using modelling techniques to create 3D models.

Through the extraction of profiles and curves from the two-dimensional drawing, it is possible to generate surfaces that faithfully reproduce the shape and structure of the original architecture as well as a subsequent and eventual instantaneous modification, providing the possibility of increasing the overall level of detail as the composition process goes on (Fig.6). At the same time, for the components and details for which modelling with meshes was chosen, the point cloud was once again used: it was subdivided into smaller portions that exclusively framed the elements subject to modelling; these were inserted into dedicated software that allowed the creation of the meshes.

The meshes were realised by discretizing the raw data coming from the point clouds according to processes that provided for the definition of an adequate spacing of the points such as to accurately describe the architectures at the required scale, a consequent definition of the size of the triangles with which the mesh is constructed and a correction of the inevitable morphological errors due to the presence mainly of digital noise and shadow cones within the point model [10]. Once exported, the latter was integrated with the three-dimensional model and the NURBS elements already present. The process of composing the three-dimensional model takes the form of assembling the modelled elements, which include both NURBS surfaces and meshes. This crucial step in the process requires the integration of these two types of surfaces, which differ in the way they are generated, but combine harmoniously in the final processing.

Utilising the remarkable spatial descriptive capability provided by point clouds, the architecture model was also inserted into an architectural background consisting of the internal survey dataset (Fig.7).

Conclusions

The restitution of the data involved the creation of highly reliable CAD drawings to extract the sections necessary for modelling the architectural components and elements.

The modelling of the architectures involved the comparison of different methodological processes: after an accurate two-dimensional representation, Nurbs surfaces were extracted from the profiles and curves; directly from the point clouds, after careful processing of the data, the points were triangulated for the reconstruction of a highly reliable mesh model from which the CAD volumes of the architectures were reconstructed through reverse engineering

processes [11]. The case studies analysed allowed for an in-depth study of the three-dimensional representation methodologies and the characteristics of the architectural elements of the architecture of Santa Croce.



Bibliografia / References

[1] BERTOCCI, Stefano, BIGONGIARI, Matteo, ESPERANZA, Reynaldo, (2020) *Il tessuto urbano storico di Città del Messico. Metodologie di rilievo architettonico e diagnostico per un isolato della zona patrimoniale UNESCO*, Didapress, Firenze.

[2] DE LUCA, Livio, (2011), *La fotomodellazione architettonica. Rilievo, modellazione, rappresentazione di edifici a partire da fotografie*, Dario Flaccovio Editore, Palermo.

[3] PARRINELLO Sandro, DELL'AMICO, Anna, (2021), *From Survey to Parametric Models: HBIM Systems for Enrichment of Cultural Heritage Management*, in *From Building Information Modelling to Mixed Reality*, pp.89-107, BOLOGNESI C., VILLA D., Springer, Milano.

[4] CENTAURO, Giuseppe Alberto, FRANCINI, Carlo, (2017), *Progetto HECO (Heritage Colors)*, Metodologie, Analisi Sintesi, Apparati, Valutazione d'impatto sul sito UNESCO Centro Storico di Firenze, Didapress, Firenze.

[5] PARRINELLO, Sandro, PICCHIO, Francesca, (2013), *Dalla fotografia digitale al modello 3D dell'architettura storica*, DISEGNARECON vol. 6, p. 1-14.

[6] CIUFFREDA, Anna Livia, COLI, Massimo, MELI, Francesca, TANGANELLI, Marco, (2021), *Palazzo Vecchio a Firenze. Un database per la conoscenza dell'edilizia storica*, IX Convegno Internazionale ReUSO 2021, Roma.

[7] PARRINELLO, Sandro, (2012), *I database e i sistemi di gestione dati georeferenziati GIS, applicazioni per il rilievo e il progetto*, in Bertocci Stefano, Bini Marco. *Manuale di rilievo architettonico e urbano*, vol.1, p.418-424, BERTOCCI S., BINI M., Città Studi Edizioni, De Agostini Scuola, Torino.

[8] BIGONGIARI, Matteo, (2020), *La cattedrale di Sasamòn Rilievo digitale e strutturale per la conservazione del Patrimonio*, Didapress, Firenze.

[9] BALZANI, Marcello, MAIETTI, Federica, (2015), *Alberti e Brunelleschi: la conservazione della memoria per il restauro della materia. La banca dati 3D per la documentazione e il progetto*, DISEGNARECON, vol. 8, NO 14, pp. 1-12.

[10] A Nanetti, D Benvenuti, M Bigongiari, Z Radzi, S Bertocci, (2020) *Animation for the study of Renaissance treatises on architecture. Francesco di Giorgio Martini's Corinthian capital as a showcase*, SCIRES-IT-SCientific RE-Search and Information Technology 10 (2), 19-36

[11] G Pancani, M Bigongiari, (2020) *The Integrated Survey of the Pergamum by Nicola Pisano in the Cathedral of Pisa*, in H. Kremer, *Digital Cultural Heritage 2017*, Springer

[12] FANTINI, Filippo, (2013), *The use of reality based models for the interpretation of ancient architecture: experiences of reverse modeling at Masada*, in MASADA NOTEBOOKS REPORT OF THE RESEARCH PROJECT 2013, BERTOCCI, Stefano, PARRINELLO, Sandro, VITAL, Rebeka, Edifir, Firenze.

[13] CECCHI, Roberto, GASPAROLI, Paolo, (2012), *Preventive and Planned Maintenance of Protected Buildings. Methodological Tools for the development of Inspection Activities and Maintenance Plans*, Alinea, Firenze.