

Intersezioni tra tecnologia, comunicazione grafica e rappresentazione del patrimonio culturale.

PRITCHARD, D.

2023

drawing disegno n. 66

idee immagini
ideas images

Rivista semestrale del Dipartimento di Storia, disegno
e restauro dell'architettura – Sapienza Università di Roma
*Biannual Journal of the Department of History, representation
and restoration of architecture – Sapienza Rome University*

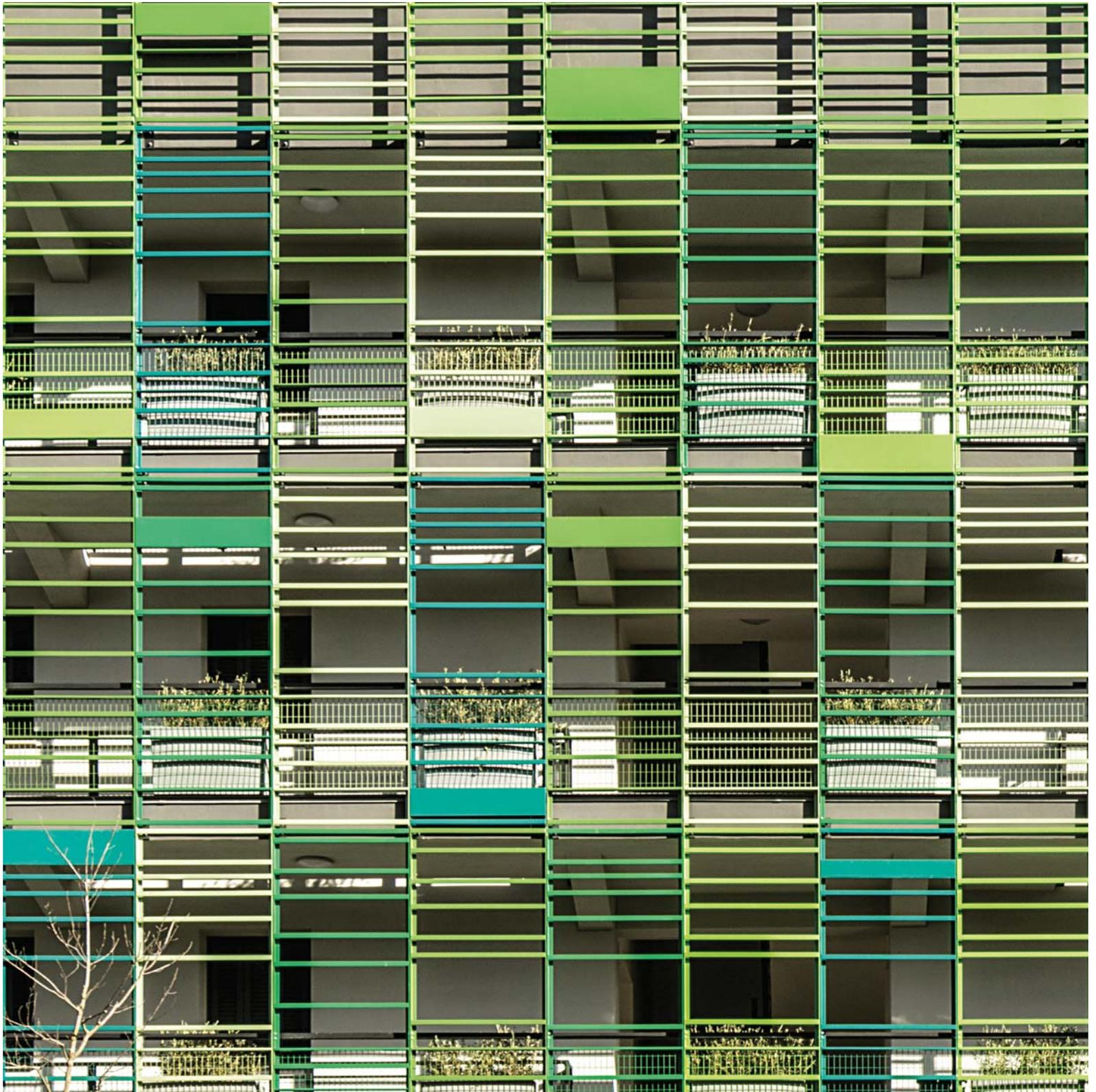
Worldwide distribution and digital version EBOOK
www.gangemeditore.it

Full english text



SAPIENZA
UNIVERSITÀ DI ROMA

Anno XXXIV, n. 66/2023
€ 15,00 - \$/£ 20.00





Rivista semestrale del Dipartimento di Storia, disegno e restauro dell'architettura, pubblicata con il contributo di Sapienza Università di Roma
Biannual Journal of the Department of History, representation and restoration of architecture, published with the contribution of Sapienza Rome University

Registrazione presso il Tribunale di Roma n. 00072 dell'11/02/1991

© proprietà letteraria riservata

GANGEMI EDITORE[®]
INTERNATIONAL

via Giulia 142, 00186 Roma
tel. 0039 06 6872774 fax 0039 06 68806189
e-mail info@gangemieditore.it

[catalogo on line www.gangemieditore.it](http://catalogo.online.www.gangemieditore.it)

Le nostre edizioni sono disponibili in Italia e all'estero anche in versione ebook.

Our publications, both as books and ebooks, are available in Italy and abroad.

Un numero € 15,00 – estero € 20,00 / \$/£ 24.00

Arretrati € 30,00 – estero € 40,00 / \$/£ 48.00

Abbonamento annuo € 30,00 –

estero € 35,00 / \$/£ 45.00

One issue € 15,00 – Overseas € 20,00 / \$/£ 24.00

Back issues € 30,00 – Overseas € 40,00 / \$/£ 48.00

Annual Subscription € 30,00 –

Overseas € 35,00 / \$/£ 45.00

Abbonamenti/Annual Subscription

Versamento sul c/c postale n. 15911001

intestato a Gangemi Editore SpA

IBAN: IT 71 M 076 0103 2000 0001 5911 001

Payable to: Gangemi Editore SpA

post office account n. 15911001

IBAN: IT 71 M 076 0103 2000 0001 5911 001

BIC SWIFT: BPPIITRRXXX

Distribuzione/Distribution

Librerie in Italia e all'estero/

Bookstores in Italy and overseas

Emme Promozione e Messaggerie Libri Spa – Milano

e-mail: segreteria@emmepromozione.it

www.messaggerielibri.it

Edicole in Italia e all'estero/

Newsstands in Italy and overseas

Bright Media Distribution Srl

e-mail: info@brightmediadistribution.it

Abbonamenti/Annual Subscription

EBSCO Information Services

www.ebscohost.com

ISBN 978-88-492-5068-8

ISSN IT 1123-9247

Finito di stampare nel mese di giugno 2023

Gangemi Editore Printing

Direttore scientifico/Editor-in-Chief

Mario Docci

Sapienza Università di Roma

piazza Borghese 9, 00186 Roma, Italia

mario.docci@uniroma1.it

Direttore responsabile/Managing editor

Carlo Bianchini

Sapienza Università di Roma

piazza Borghese 9, 00186 Roma, Italia

carlo.bianchini@uniroma1.it

Comitato Scientifico/Scientific Committee

Alonzo Addison, Berkeley, USA

Piero Albisinni, Roma, Italia

Carlo Bianchini, Roma, Italia

Eduardo Antonio Carazo Lefort, Valladolid, Spagna

Fabiana Carbonari, La Plata, Argentina

Laura Carnevali, Roma, Italia

Pilar Chías, Alcalá de Henares (Madrid), Spagna

Livio De Luca, Marsiglia, Francia

Francis D.K. Ching, Seattle, USA

Laura De Carlo, Roma, Italia

Mario Docci, Roma, Italia

Marco Gaiani, Bologna, Italia

Fernando Gandolfi, La Plata, Argentina

Angela García Codoñer, Valencia, Spagna

Natalia Jorquera Silva, La Serena, Cile

Joubert José Lancha, São Paulo, Brasile

Riccardo Migliari, Roma, Italia

Douglas Pritchard, Edinburgo, Scozia

Franco Purini, Roma, Italia

Mario Santana-Quintero, Ottawa, Canada

José A. Franco Taboada, La Coruña, Spagna

Comitato di Redazione/Editorial Staff

Laura Carlevaris (coordinatore)

Emanuela Chiavoni, Carlo Inglese,

Alfonso Ippolito, Luca Ribichini

Coordinamento editoriale

e segreteria/Editorial coordination

and secretarial services

Monica Filippa

Traduzioni/Translation

Erika G. Young

Redazione/Editorial office

piazza Borghese 9, 00186 Roma, Italia

tel. 0039 6 49918890

disegnare@uniroma1.it

In copertina/Cover

TStudio-Guendalina Salimei, Housing

sociale in via Bembo, Primavalle, Roma.

Alloggi bioclimatici e sostenibili, 2016-2020.

Dettaglio della facciata su strada

(fotografia di Luigi Filetici)

TStudio-Guendalina Salimei. Social housing

in Via Bembo, Primavalle, Rome. Sustainable

bioclimatic housing, 2016-2020. Detail of the

façade facing the street (photo by Luigi Filetici)

Anno XXXIV n. 66, giugno 2023

3 Editoriale di Mario Docci, Carlo Bianchini

Disegnare. Idee Immagini 3.0

Editorial by Mario Docci, Carlo Bianchini

Disegnare. Idee Immagini 3.0

9 Guendalina Salimei

Il segno e lo schizzo

The sign and the sketch

16 Livio De Luca

Un ecosistema digitale per lo studio

interdisciplinare di Notre-Dame de Paris

A digital ecosystem for the interdisciplinary

study of Notre-Dame de Paris

32 Fabrizio Ivan Apollonio, Marco Gaiani,

Simone Garagnani, Michela Martini, Carl

Brandon Strehlke

Misurare e restituire l'Annunciazione di

San Giovanni Valdarno del Beato Angelico

Measurement and restitution of the

Annunciation by Fra Angelico in San

Giovanni Valdarno

48 Douglas Pritchard

Intersezioni tra tecnologia, comunicazione

grafica e rappresentazione del patrimonio

culturale

The intersection of technology, graphic

communication, and cultural heritage

representation

64 Riccardo Migliari

Max Kleiber Perspektivikus

Max Kleiber Perspektivikus

78 Riccardo Migliari

Nostalgia ed emozione del disegno

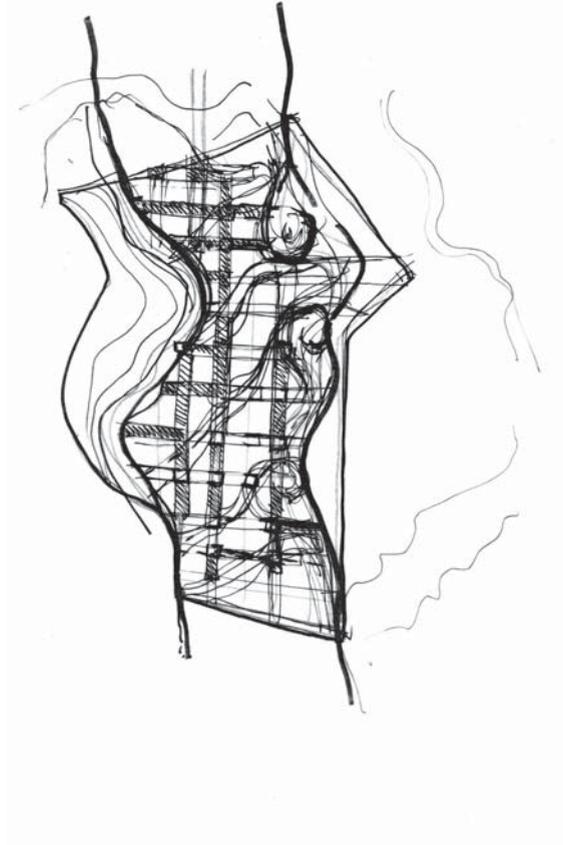
The nostalgia and emotion of drawing

80 Carlo Bianchini

Metamodellazione

Metamodelling

Guendalina Salimei, Campus dell'Università della Scienza e della Tecnologia (USTH) ad Hanoi in Vietnam. Schizzo della planimetria generale in marker e china su carta lucida.
Guendalina Salimei, Campus of the University of Science and Technology (USTH) in Hanoi (Vietnam). Sketch of the general plan using a marker and China ink on tracing paper.





Douglas Pritchard

Intersezioni tra tecnologia, comunicazione grafica e rappresentazione del patrimonio culturale

The intersection of technology, graphic communication, and cultural heritage representation

<https://cdn.gangemeditore.com/DOI/10.61020/11239247-202366-05.pdf>

The relationship between technology and graphic communication is fundamental, profoundly influencing our interpretation of architecture and design, particularly within the cultural heritage sector. This synergy consistently drives innovation, shaping the evolution of tools, methods, and techniques for recording historical sites and structures. Advanced documentation technologies, including terrestrial laser scanning, digital photogrammetry, and UAV data capture, offer new capabilities for understanding and interpreting cultural heritage spaces and places. The outcomes of these advanced systems and methodologies can offer new insight and opportunities to generate new knowledge, even within structures that have endured for centuries. This paper explores the dynamic relationship between technology and graphic communication, highlighting their transformative impact on our understanding of built cultural heritage with the potential of generating new knowledge. To illustrate these concepts, the experiences from three project case studies are described, including the Cologne Cathedral UNESCO World Heritage Site in Germany, St. Peter's Seminary in Cardross, Scotland, and the Aachen Cathedral UNESCO World Heritage Site in Germany. These examples highlight the broader implications of technology and techniques in the cultural heritage sector.

Keywords: cultural heritage; digitisation, digital survey, 3D modelling, virtual representation.

The connection between technology and graphic communication has significantly impacted architecture, design and the cultural heritage sector, particularly in the analysis, visual representation and interpretation of cultural heritage sites. As we continue to develop and integrate complex digital technologies, how we document and engage with architecture and cultural heritage is fundamentally transformed. Documentation technologies such as the terrestrial laser scanner (TLS), structured light systems, digital photogrammetry, and representation methods through 3D renderings, Building Information Modelling (BIM), Augmented Reality (AR) and Virtual Reality (VR) have brought new capabilities for creating and understanding cultural heritage spaces. At the same time, understanding objective and subjective representation in graphic communication remains essential, providing a human element and a personal interpretation

Il rapporto tra tecnologia e comunicazione grafica è fondamentale e influenza profondamente la nostra interpretazione dell'architettura e del design, in particolare nel settore dei beni culturali. Questa sinergia guida costantemente l'innovazione e struttura l'evoluzione di strumenti, metodi e tecniche per la documentazione di siti e strutture storiche. Le tecnologie avanzate per la documentazione, tra le quali la scansione laser terrestre (Terrestrial Laser Scanning, TLS), la fotogrammetria digitale e l'acquisizione di dati tramite Unmanned Aerial Vehicle (UAV), offrono nuove capacità di comprensione e interpretazione degli spazi e dei siti del patrimonio culturale. Questi sistemi e queste metodologie avanzate offrono nuovi spunti e opportunità per generare nuova conoscenza, anche nel caso di strutture che hanno alle spalle secoli di storia. Questo contributo indaga lo scambio che esiste tra tecnologia e comunicazione grafica, evidenziandone l'impatto trasformativo sulla conoscenza del patrimonio culturale costruito e sottolineandone la notevole capacità di generare nuova conoscenza. Per illustrare questi concetti, vengono descritte le esperienze di tre progetti di studio, tra i quali la Cattedrale di Colonia, Patrimonio dell'Umanità dell'UNESCO, il St. Peter's Seminary a Cardross, in Scozia, e la Cattedrale di Aquisgrana, Patrimonio dell'Umanità dell'UNESCO. Si tratta di esempi che evidenziano le più ampie implicazioni di tecnologia e tecniche nel settore dei beni culturali.

Parole chiave: patrimonio culturale, digitalizzazione, rilievo digitale, 3D modelling, rappresentazione virtuale.

Lo stretto rapporto che intercorre tra tecnologia e comunicazione grafica ha avuto un impatto significativo sull'architettura, sul design e nell'ambito dei beni culturali, in particolare per quanto riguarda l'analisi, la *visual representation* e l'interpretazione dei siti. Con il continuo sviluppo e con l'integrazione di complesse tecnologie digitali il modo in cui documentiamo e ci confrontiamo con l'architettura e con il patrimonio culturale è cambiato in modo radicale. Le tecnologie per la documentazione come il Laser Scanner Terrestre (TLS), i sistemi basati sull'impiego di luce strutturata, la fotogrammetria digitale e i metodi di rappresentazione fondati su restituzioni tridimensionali, sul *Building Information Modelling* (BIM), sulla Realtà Aumentata (*Augmented Reality*, AR) e sulla Realtà Virtuale (*Virtual Reality*, VR) hanno dato vita a nuove modalità di creazione e di comprensione degli spazi del patrimonio culturale. Allo stesso tempo, riuscire a interpretare la rappresentazione oggettiva e quella soggettiva nella comunicazione grafica rimane un fattore essenziale in quanto garantisce la partecipazione nel processo dell'elemento umano e di un'interpretazione personale, fattori che spesso risultano assenti se si rimane all'interno di procedure puramente oggettive. La rappresentazione digitale di oggetti, strutture e ambienti del patrimonio culturale è fondamentale per l'analisi, la conservazione e l'interpretazione. Rispetto ai metodi tradizionali di acquisizione e rappresentazione, le nuove tecnologie e i metodi per l'acquisizione complessa dei dati offrono un supporto de-

terminante alla possibilità di ricavare informazioni inattese e non prevedibili.

Documentazione digitale

La tecnologia e la comunicazione grafica si sono influenzate notevolmente a vicenda e dal loro rapporto è nato uno scambio in termini di reciproca innovazione ed evoluzione. Questa interazione si estende all'architettura e al patrimonio culturale, ambiti nei quali la tecnologia guida continuamente l'innovazione e influenza la creazione di nuovi strumenti, metodi e tecniche. Utilizzando come casi studio recenti progetti di documentazione digitale – la Cattedrale di Colonia in Germania, Patrimonio dell'Umanità UNESCO, il St. Peter's Seminary a Cardross, in Scozia, e la Cattedrale di Aachen in Germania, Patrimonio dell'Umanità UNESCO – questo contributo indaga l'associazione tra tecnologia e comunicazione grafica, concentrandosi sul loro significativo impatto sulla documentazione e sull'interpretazione dei siti del patrimonio culturale. Esaminando questi tre siti distinti, questo contributo evidenzia le più ampie implicazioni della tecnologia e delle tecniche.

L'introduzione degli scanner terrestri nei primi anni Duemila ha dato il via a una nuova metodologia per l'acquisizione, la visualizzazione e lo studio del patrimonio culturale. I sistemi TLS e fotogrammetrici sono in grado di fornire restituzioni oggettivamente accurate, *as-built* di siti architettonici, culturali e naturali esistenti. I due principali vantaggi dell'hardware nella acquisizione di strutture

1/ Cattedrale di Colonia, sezione trasversale della nuvola di punti integrata (elaborazione dell'autore).
Cologne Cathedral, a rendered cross-section through the combined point cloud dataset (by the author).

esistenti constano nell'alto livello di accuratezza nelle misure e nella capacità di ottenere rapidamente grandi quantità di dati. I due metodi di acquisizione sono in grado di restituire perfettamente superfici complesse, compresi gli elementi architettonici più articolati. Tutto ciò li rende dunque estremamente utili nel caso di edifici con geometrie complesse o di edifici storici per i quali è necessaria una acquisizione oggettiva per il restauro, la gestione o la conservazione [Faltýnová et al. 2016]. L'uso di questi strumenti e di queste metodologie di acquisizione si è ben consolidato nell'ambito della documentazione, del monitoraggio e della conservazione del patrimonio culturale tangibile [Remondino 2011; Fassi et al. 2013; Stylianidis et al. 2022].

La documentazione digitale delle strutture che appartengono al patrimonio culturale può essere suddivisa in tre fasi: 1. raccolta dei dati e ricerca; 2. gestione dei dati e sintesi delle informazioni; 3. restituzione grafica, rappresentazione e divulgazione.

La prima fase comprende la ricerca storica, il rilievo architettonico e l'acquisizione dei dati ed è fondamentale per una compren-

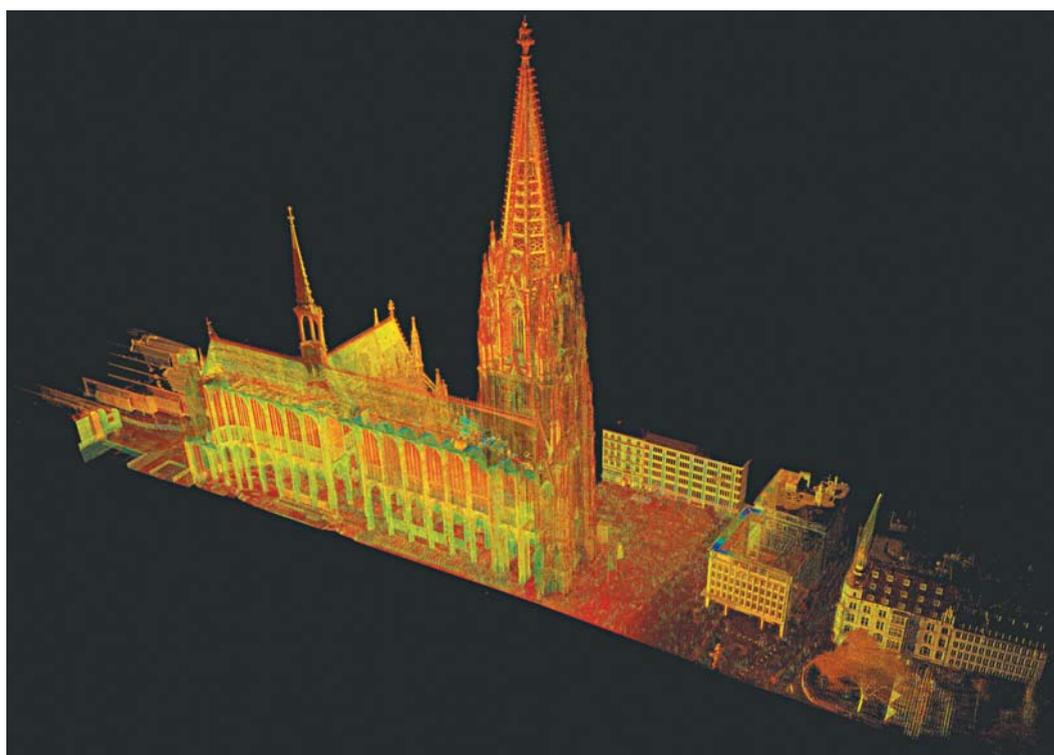
sione olistica del sito. La seconda fase riguarda l'organizzazione, l'acquisizione e la strutturazione dei dati raccolti e di quelli provenienti da altre fonti, con la registrazione e l'integrazione di dati di diversa natura, che vanno dalle scansioni LiDAR e dalle immagini digitali ad alta risoluzione alla ricerca storica e alle osservazioni dirette del sito. La terza fase implica l'interpretazione dei dati e delle informazioni acquisite e prevede la rappresentazione dell'architettura storica attraverso disegni tecnici e simulazioni grafiche o restituzioni visive delle superfici. Si tratta di un risultato tecnologicamente guidato e di un livello interpretativo che implica un'aggiunta di valore e permette la trasmissione degli aspetti storici, estetici e funzionali del patrimonio architettonico [Bianchini 2014; Maietti, Zattini 2019].

Se opportunamente pianificata, la metodologia basata sull'utilizzo della scansione laser è perfettamente in grado di integrare i dati relativi alle superfici esterne con quelli degli spazi interni, cosa che rappresenta un vantaggio significativo per l'interpretazione e la rappresentazione. Come già sperimentato in

often missed in purely objective terms. The digital representation of cultural heritage objects, structures and environments is crucial to analysis, conservation and interpretation. In comparison to traditional methods of recording and representation, the new technologies and comprehensive recording methods open a significant potential to foster intentional and accidental information discovery.

Digital Documentation

Technology and graphic communication have consistently influenced each other, and their relationship has been one of mutual innovation and evolution. This interaction extends to architecture and cultural heritage, where technology continually drives innovation and influences the creation of new tools, methods and techniques for representing sites and structures. Using recent digital documentation projects at the Cologne Cathedral UNESCO World Heritage Site (Germany), St Peter's Seminary in Cardross (Scotland), and the Aachen Cathedral UNESCO World Heritage Site (Germany), as case studies, this paper explores the association between technology and graphic communication, focusing on their significant impacts on the documentation, and interpretation of cultural heritage sites. By examining these three distinct sites, the paper highlights the broader implications of the technology and techniques. The introduction of terrestrial scanners in the early 2000s opened a new method to record, visualise, and uniquely examine cultural heritage. TLS and photogrammetric imaging systems can provide objectively precise, as-built records of existing architectural, cultural, and natural heritage sites. Two primary advantages of the hardware in recording existing structures are its high dimensional accuracy level and ability to quickly collect large amounts of data points. The two recording methods can perfectly capture complex surfaces, including intricate architectural features. It is beneficial for buildings with complicated geometries or historical buildings where objective recording is necessary for restoration, management or conservation purposes [Faltýnová et al. 2016]. These tools and recording methods are well-established in documenting, monitoring and conserving tangible cultural heritage [Remondino



2/ Cattedrale di Colonia, immagine panoramica 360° degli interni generata mediante scansioni laser (elaborazione dell'autore).
Cologne Cathedral, a 360-degree image panorama of the interior generated through laser scanning (by the author).



2011; Fassi et al. 2013; Stylianidis et al. 2022]. The digital documentation of heritage structures can be categorised into three phases: 1) *Data Collection and Intellectual Inquiry*, 2) *Data Management and Information Synthesis*, and 3) *Graphic Development, Representation and Dissemination*. The initial phase involves historical research, architectural surveying and data acquisition and is crucial for a holistic understanding of the heritage site. The second phase addresses the organisation, registration and consolidation of the amassed datasets and other sources, involving the registration and integration of various forms of data, from LiDAR scans and high-resolution digital imagery to historical research and site-specific observations. The final stage is interpreting the acquired data and information, which concerns the representation of heritage architecture using technical drawings and graphic simulations or renderings. This is a technologically driven output and an interpretive layer that adds value by conveying the heritage structure's historical, aesthetic, and functional aspects [Bianchini 2014; Maietti, Zattini 2019]. Laser scanning can seamlessly integrate exterior surface data with interior spaces

precedenti progetti di documentazione del patrimonio culturale, i metodi di rilievo tradizionali richiedono generalmente processi separati e distinti per l'acquisizione di dettagli esterni e interni e ciò che risulta penalizzato è, in molti casi, la continuità spaziale delle informazioni acquisite.

Nei tre casi studio qui presentati, le aperture esterne di un edificio, come le porte e i parapetti, sono state studiate nel dettaglio, cosicché potessero fungere da elemento di transizione e di collegamento tra esterno e interno dell'edificio. Sebbene questa sia considerata una tecnica di rilievo consolidata, quando i due dataset vengono riuniti forniscono una lettura più completa e unitaria della struttura di un edificio.

Per gli edifici di Colonia, Cardross e Aachen questo approccio, basato sulla scansione delle superfici interne ed esterne e sull'allineamento e la registrazione di tutti i dati raccolti, ha portato alla formazione di grandi dataset 3D unificati. Questo modello completo è prezioso per comprendere a fondo gli elementi architettonici complessi che costituiscono un edificio e anche la loro organizzazione spaziale e la loro rilevanza nel contesto.

L'unione dei dati delle nuvole di punti provenienti dall'interno e dall'esterno ha consentito una rapida segmentazione dei dati, facilitando l'esame approfondito dei singoli elementi architettonici, in particolare per quanto riguarda le volte a costoloni quadripartite della Cattedrale di Colonia e i contrafforti e la complessa struttura della copertura della Cattedrale di Aachen. I dati relativi alle due cattedrali hanno generato una serie di immagini e animazioni che restituiscono visivamente i volumi interni e i sistemi strutturali delle due cattedrali.

Casi studio del progetto Cattedrale di Colonia

Iniziata nel 2017, la documentazione della Cattedrale di Colonia, Patrimonio dell'Umanità UNESCO, è stata al centro di un progetto di collaborazione con la Dombauhütte e con la Hochschule Fresenius University of Applied Sciences di Colonia [Pritchard et al. 2017].

Un elemento fondamentale dell'approccio innovativo adottato nell'ambito questo rilievo è stato il ruolo affidato alla tecnologia di comunicazione grafica, che ha trasformato i dati della scansione 3D in formati visivamente

3/ Cattedrale di Colonia, visualizzazione dell'ingresso. Il processo fotogrammetrico genera automaticamente un "modello mesh" 3D fotorealistico senza ulteriore modellazione (elaborazione dell'autore).

Cologne Cathedral, a rendering of the entry.

The photogrammetric process automatically generated the photorealistic 3D 'mesh model' without additional modelling (by the author).

4 / Cattedrale di Colonia, visualizzazione dall'alto in riflettanza (elaborazione dell'autore).

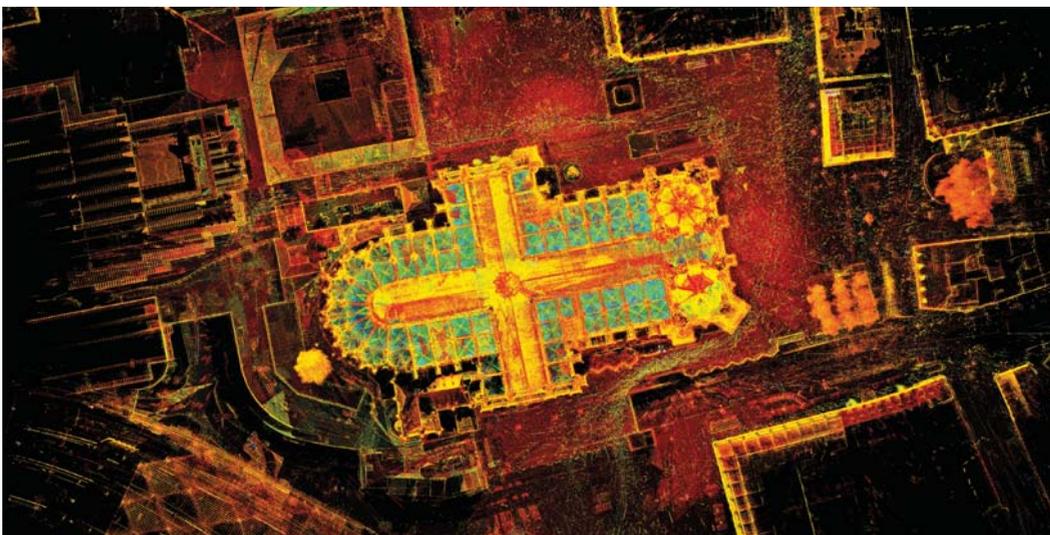
Cologne Cathedral, a top view reflectance visualisation (by the author).



comprensibili e interpretabili. Questa modalità di comunicazione ha reso i dati quantificabili e qualitativamente significativi, in modo che risultassero efficacemente utilizzabili in ambito di ricerca accademica e per un più ampio coinvolgimento del pubblico.

La cattedrale è una basilica gotica di grandi dimensioni, con i suoi 144,5 m di lunghezza, con un transetto largo 86,25 m e una facciata

che raggiunge i 157,22 m. La navata centrale è alta 43,58 m, mentre quelle laterali raggiungono i 19,80 m [UNESCO 1995]. Situata nel centro di Colonia, questa imponente struttura, la cui costruzione è iniziata nel 1248 e si è conclusa nel 1880, era considerata la più alta del mondo fino al 1884. Nel corso dei secoli, la cattedrale ha resistito alle guerre, al vandalismo e ai cambiamenti ambientali.



if appropriately planned, which is a significant advantage for interpretation and representation. As experienced in previous cultural heritage documentation projects, traditional survey methods generally require separate and distinct processes for capturing exterior and interior details, often leading to a need for more spatial continuity in the resulting data. In the three case study projects, the exterior openings of a building, such as doorways and parapets, were extensively scanned to bridge and bind the exterior of a building with its interior. Although considered a standard survey technique, when the two point-cloud datasets are combined, the data provides a more comprehensive and unified understanding of a building's structure. The approach, which involved scanning the interior and exterior surfaces of Cologne, Cardross and Aachen, then aligning or registering all the collected point data, culminated in the formation of large unified 3D datasets. This comprehensive model is invaluable for thoroughly understanding a building's complex architectural elements, including its spatial organisation and contextual relevance. The amalgamation of point cloud data from interior and exterior allowed for rapid data segmentation, facilitating a closer examination of distinct architectural elements, notably the Cologne Cathedral's quadripartite rib vaults, buttresses, and the Aachen Cathedral's complex roof structure. The data of the two cathedrals were transformed into a series of renderings and animations, visually representing the cathedral's interior volumes and structural systems.

Project Case Studies

Cologne Cathedral

Initiated in 2017, the Cologne Cathedral UNESCO World Heritage site documentation was a collaborative project with the Dombauhütte and the Hochschule Fresenius University of Applied Sciences in Köln [Pritchard et al. 2017]. The Cathedral is an expansive High Gothic basilica that stretches 144.5 meters in length with a transept of 86.25 meters wide, culminating in a façade that rises to 157.22 meters. The nave is 43.58 meters tall, while the side aisles reach 19.80 meters [UNESCO 1995].

5 / Seminario di Cardross, visualizzazione planimetrica della nuvola di punti registrata che mostra i diversi volumi dell'edificio (elaborazione dell'autore).

Cardross Seminary, a plan view of the registered point data demonstrating the various volumes of the building (by the author).

Located in the centre of Cologne, this massive structure, whose construction began in 1248 and concluded in 1880, was once considered the tallest in the world until 1884. The Cathedral has withstood the ravages of wars, vandalism, and environmental changes over centuries.

The two immediate challenges with the recording project were the apparent height and scale of the cathedral and the imposition of tourists within the public areas of the building. The Zoller + Frohlich (Z+F) Imager 5010C and 5010X terrestrial laser scanners were used in this project, primarily for their superior data acquisition performance and manoeuvrability. These scanners produce high-quality point data while minimising noise over limited ranges.

Throughout the project, the scanners were placed at every level within the building, usually at a distance of 10 meters, if physically possible. All scans were conducted at a high-resolution setting, optimising angle resolution and scan duration to minimise noise, with intentional overlaps ranging from 40-60% to ensure thorough coverage.

The scanner's positioning took full advantage of the Cathedral's wide parapets and accessible ledges, greatly enhancing the ability to capture surface data on the upper levels, especially around the south, east, and north elevations.

One significant advantage of this positioning was that it allowed the TLS position points to maintain a more direct angle to the surface instead of scanning obliquely from the ground – a considerable challenge when dealing with such a large, vertical structure. Furthermore, the scanner's wide 320° field of view, providing better downward coverage, proved particularly valuable when scanning along the 20-meter level triforium, the 27-meter level of the north and south towers, external parapets, and other upper-level areas.

At the end of each scan, the TLS system would initiate a 42-frame HDR image panorama. The imaging process not only enhances the visual fidelity of the final dataset but also simplifies the workflow by enabling automatic data-to-image alignment, thereby enhancing the overall efficiency and accuracy of the scanning process. Adding HDR-based colouration to point cloud data enriches visual representation and facilitates more refined object identification and classification. For



Le due sfide che il progetto si è trovato immediatamente a fronteggiare erano costituite, come è evidente, dall'altezza e dalle dimensioni della cattedrale e dalla continua presenza di turisti all'interno delle aree dell'edificio aperte al pubblico.

Per il progetto di rilievo sono stati utilizzati i laser scanner terrestri Zoller + Frohlich (Z+F) Imager 5010C e 5010X, selezionati in particolare per le loro elevate prestazioni in termini di acquisizione dati e maneggevolezza. Questi scanner producono dati di alta qualità, riducendo al minimo il rumore su distanze limitate. Nel corso del lavoro, gli scanner sono stati posizionati a ogni livello dell'edificio, a una distanza di 10 m circa quando fisicamente possibile. Tutte le scansioni sono state effettuate ad alta risoluzio-

ne, ottimizzando la risoluzione angolare e la durata della scansione per ridurre al minimo il rumore, con sovrapposizione compresa tra il 40% e il 60% per garantire una copertura completa.

Il posizionamento dello scanner ha sfruttato a pieno gli ampi parapetti e i cornicioni accessibili della Cattedrale, cosa che ha incrementato notevolmente la capacità di acquisire dati relativi alle superfici ai livelli superiori, in particolare per quanto riguarda i prospetti interni sud, est e nord. Un vantaggio significativo di questo posizionamento è stato quello di garantire un angolo migliore di incidenza con la superficie, evitando le scansioni fortemente angolate che si sarebbero ottenute dal livello di calpestio della chiesa, una sfida importante quando si ha a che fare con una struttura

così grande e dallo sviluppo verticale. Inoltre, l'ampio angolo verticale dello scanner (320°), che permette una migliore copertura verso il basso, si è rivelato particolarmente prezioso in occasione delle acquisizioni lungo il triforio a 20 m di altezza, per le torri nord e sud a 27 m, per i parapetti esterni e altre zone alte dell'edificio.

Al termine di ogni scansione, il sistema TLS ha avviato l'acquisizione di un'immagine panoramica HDR composta da 42 fotogrammi. Il processo di acquisizione di immagini non solo migliora la fedeltà visiva del *dataset* finale, ma semplifica anche il *workflow*, consentendo l'allineamento automatico *data-to-image* e migliorando così l'efficienza e l'accuratezza complessive del processo di scansione. L'attribuzione di colore basata sull'HDR ai dati delle nuvole di punti arricchisce la rappresentazione visiva e facilita una più raffinata identificazione e classificazione degli elementi. Ad esempio, è possibile distinguere più facilmente le variazioni di colore delle pietre. Inoltre, le nuvole di punti potenziate dal colore possono incrementare significativamente il livello di precisione nelle applicazioni di mappatura e modellazione 3D. In sostanza, integrando il colore ai dati delle nuvole di punti si ottengono modelli 3D che rappresentano più fedelmente l'ambiente reale.

Lavorando in funzione di un'acquisizione completa dei dati e poiché i sistemi TLS operano sulla base di una acquisizione "line-of-sight", in questo lavoro sono stati utilizzati due sistemi di posizionamento TLS non standard. Un apposito sistema in alluminio ha permesso di estendere la portata dello scanner orizzontalmente oltre il parapetto esterno e da posizioni elevate verso l'esterno delle torri. Una volta posizionato, lo scanner è stato traslato di circa 2 m oltre la parete esterna dell'edificio e azionato da remoto. A seconda del suo posizionamento, lo strumento è stato spostato verticalmente verso il basso e verso l'alto, soprattutto ai livelli più alti e nelle torri. Inoltre, è stato utilizzato un treppiede telescopico a due vie per abbassare lo scanner ruotato attraverso l'apertura della chiave di volta nel soffitto della Cattedrale. Ciò ha facilitato l'acquisizione di superfici che non sarebbe stato possibile rilevare per mezzo di

scansioni *ground-based* e ha consentito di raggiungere ampie aree delle superfici, cosa che ha permesso un'acquisizione completa (fig. 1). Questo approccio strategico si è rivelato eccezionalmente vantaggioso per garantire una documentazione completa della copertura della Cattedrale, che ha coinvolto aree spesso trascurate quando si fa uso di treppiedi standard. Inoltre, questo posizionamento di precisione permette di catturare accuratamente le superfici orizzontali soggette a fattori ambientali diretti come le intemperie, l'erosione e i danni causati dagli uccelli.

I sistemi di telecamere HDR integrate nei modelli 5010 e 5010X, posizionati in prossimità dei punti nodali dei sensori laser, hanno svolto un ruolo importante (fig. 2). Il posizionamento è fondamentale, in quanto garantisce che la sovrapposizione *image-to-data* durante la post-produzione presenti un errore di parallasse trascurabile, producendo un set di dati allineati in modo fotorealistico. Poiché la telecamera è incorporata allo scanner e può essere azionata da remoto, non è più necessario fissare una testa panoramica o regolare gli *offset* della telecamera, cosa che semplifica la fase di *post-processing*.

Grazie ai recenti progressi della tecnologia dei droni, oggi è possibile raggiungere obiettivi di acquisizione dati simili utilizzando *heavy-duty Uncrewed Aerial Vehicles* (UAV) muniti di telecamere ad alta risoluzione, termocamere e agganci LiDAR mobili. Anche se la fotogrammetria basata su UAV può fornire acquisizioni relativamente rapide, non invasive ed economiche, l'impiego di UAV comporta notevoli considerazioni di carattere logistico e di sicurezza. Sia all'epoca del progetto di Colonia che attualmente, l'utilizzo di un UAV in un luogo pubblico richiede la perimetrazione di un'area considerevole intorno all'edificio per evitare possibili potenziali rischi. Esiste anche una certa preoccupazione per la possibilità che un UAV subisca un guasto disastroso che potrebbe causare danni al bene storico.

Al termine della fase di raccolta dati del progetto, sono state effettuate 608 scansioni con immagini HDR a 360°, che hanno catturato gli elementi interni ed esterni della Cattedrale. Queste scansioni sono state combinate in

instance, variances in stone colours can be more readily discerned. Moreover, the colour-enhanced point clouds can significantly elevate the accuracy levels in 3D mapping and modelling applications. In essence, incorporating colour into point cloud data yields 3D models that more faithfully represent the real-world environment in which they exist.

Working with the principle of comprehensive data capture and given that TLS systems operate based on a 'line-of-sight' recording, two non-standard TLS positioning systems were used on this project.

A specialised aluminium extension system extended the scanner's reach horizontally beyond the external parapet and from elevated positions in the towers. Once positioned, the scanner was extended approximately two metres beyond the building's exterior facade and remotely operated. Depending on the location, the scanner was positioned vertically downward and upward, mainly at the higher levels and towers. Additionally, a two-way telescope tripod was used to lower the inverted scanner through the keystone opening in the cathedral ceiling. This facilitated the recording of surfaces that would be missed by ground-based scanning and provided access to substantial stretches of recordable surface area, which aided in the overall data registration (fig. 1).

This strategic approach proved exceptionally beneficial in ensuring comprehensive coverage of the Cathedral's roof, addressing areas often overlooked by standard tripod configurations. Moreover, this precise positioning enables the capture of horizontal surfaces susceptible to direct environmental factors like weather, erosion, and bird damage.

The integrated HDR camera systems on the 5010 and 5010X, located close to the laser sensors' nodal points, played an important role (fig. 2). The positioning is critical, as it ensures that the overlay of imagery on the point data during post-processing exhibits negligible parallax error, yielding a photorealistic aligned scan dataset. As the camera is built into the scanner and can be remotely operated, it eliminates the need for a panoramic head attachment or adjustments for camera offsets, streamlining the post-processing phase.

With recent advancements in drone technology, similar data capture objectives can now be met using heavy-duty unmanned aerial vehicles (UAVs) equipped with high-resolution cameras, thermal cameras and mobile LiDAR attachments. Even though UAV-based photogrammetry can provide relatively quick, non-invasive, and cost-effective recording, employing these systems involves significant logistical and safety considerations. Both during the Cologne project and in current times, deploying a UAV in a public vicinity requires cordoning off a substantial area around the building to address potential risks. There is also apprehension about the possibility of a UAV experiencing catastrophic failure, which could damage the historic property.

By the end of the project's data collection phase, a total of 608 individual scans were taken with full 360-degree HDR imagery, capturing both the interior and exterior features of the Cathedral. These scans were combined into one large dataset using cloud-to-cloud registration and established survey controls. One significant achievement of this process was creating a precisely measurable line that extends from the foundation level of the Cathedral to the peaks of its dual towers. The alignment of multiple scan data sets facilitated this accurate connection. Using Leica Cyclone for point data registration, Z+F LaserControl for image processing, and Autodesk ReCap for rendering and animation development, the unified 3D model is easily dissected to focus on individual, complex structural components. As a trial, selected areas within the cathedral were also systematically photographed for photogrammetric purposes (fig. 3). The digital images and 3D laser scans of the Cathedral's exterior entryways were combined in Reality Capture's Capturing Reality software. This process successfully generated missing geometry and photorealistic 3D mesh datasets and was more fully implemented in subsequent 3D recording projects.

Cardross Seminary

Situated in the scenic countryside between the villages of Cardross and Renton in Scotland, St. Peter's Seminary once served as a Roman Catholic clerical training facility. St. Peter's was a revolutionary Brutalist structure juxtaposed

un unico grande *dataset* utilizzando la registrazione *cloud-to-cloud* e i controlli di rilievo stabiliti. Un risultato significativo di questo processo è stata la creazione di una linea misurabile con precisione che si estende dal livello delle fondamenta della Cattedrale fino alla vetta delle sue due torri. L'allineamento di più *dataset* ha facilitato questo collegamento preciso. Utilizzando Leica Cyclone per la registrazione dei dati puntuali, Z+F LaserControl per l'elaborazione delle immagini e Autodesk ReCap per il *rendering* e la realizzazione di animazioni, il modello 3D unificato è facilmente sezionabile per concentrarsi su specifici componenti strutturali complessi.

A titolo di prova, alcune aree scelte della Cattedrale sono state fotografate sistematicamente per elaborazione fotogrammetrica (fig. 3). Le immagini digitali e le scansioni laser 3D degli ingressi esterni della cattedrale sono state combinate ricorrendo al software Capturing Reality di Reality Capture. Questo processo ha generato con successo geometrie mancanti e *mesh* 3D fotorealistiche ed è stato implementato in modo più completo nei successivi progetti di acquisizione 3D.

Seminario di Cardross

Situato nella scenografica campagna che si estende tra i villaggi di Cardross e Renton, in Scozia, il St. Peter's Seminary fungeva un tempo da centro per la formazione dei sacerdoti cattolici. L'edificio era una rivoluzionaria costruzione brutalista inserita in un contesto naturale isolato, progettata come struttura al contempo residenziale ed educativa [Archibald 2015]. Il complesso originario comprendeva due elementi distinti: una dimora baronale costruita nel 1868 e un nuovo, rivoluzionario edificio per la formazione di stampo modernista, progettata dagli architetti Andy MacMillan e Isi Metzstein dello studio di architettura Gillespie, Kidd & Coia di Glasgow. Al suo completamento, nel 1966, la struttura modernista ha rappresentato un nuovo modello per l'architettura religiosa e per il modernismo britannico. È stato riconosciuto il valore dell'ampio uso di cemento grezzo, della complessità geometrica dell'architettura ruotata e disposta ad angolo

e dell'esposizione degli elementi strutturali. Questa estetica brutalista e il sistema strutturale a vista stabilivano un dialogo diretto con l'approccio trasparente e moderno dell'epoca. Purtroppo, negli anni successivi il Seminario ha dovuto affrontare sfide difficili da superare. I profondi cambiamenti introdotti dal Concilio Vaticano II hanno portato alla revisione del ruolo dei seminari e a un calo delle vocazioni religiose. Questi cambiamenti all'interno del panorama religioso hanno reso il St. Peter's Seminary obsoleto ancor prima che le fasi finali della costruzione fossero completate.

In conseguenza di ciò, la Chiesa cattolica decise di chiudere l'edificio nel 1980. Dopo la chiusura, il sito è stato per breve tempo utilizzato come centro di riabilitazione per tossicodipendenti sotto la supervisione del Comune. Nel 1995, la villa che faceva originariamente parte del sito fu devastata da un incendio appiccato da piromani e dovette essere demolita. A causa degli atti vandalici e delle intemperie è rimasta, infine, solo la struttura in cemento armato.

Oggi il St. Peter's Seminary è considerato una reliquia dell'architettura modernista della metà del XX secolo; le sue strutture in rovina attirano gli appassionati di architettura e coloro che sono incuriositi dalla complessa storia dell'edificio, che è oggi considerato il migliore e nel contempo il peggiore edificio scozzese del XX secolo [Watters 2016]. Nonostante il degrado, l'edificio è stato incluso nell'elenco dei Beni Culturali e classificato in categoria A, fatto che ribadisce l'importanza sul piano storico e architettonico. Le precarie condizioni della struttura hanno portato alla sua inclusione nel registro degli edifici a rischio e nella *World Monuments Watch List* dei 100 siti più a rischio.

Su iniziativa di NVA, un'organizzazione artistica e di beneficenza con sede a Glasgow, insieme ad Avanti Architects di Londra e McGinlay Bell Architects, è stato realizzato un ampio progetto di documentazione incentrato sull'edificio e sul sito di Kilmahew.

In conseguenza dello stato di fragilità in cui versa l'edificio, la documentazione delle sue condizioni fisiche attuali è stata ottenuta mediante TLS e fotogrammetria digitale. Il re-

6/ Cattedrale di Aachen, fermo immagine del video
(elaborazione dell'autore).

Aachen Cathedral, screenshot of the video (by the author).

quisito iniziale del progetto era la generazione di una serie di piante e sezioni realizzate al CAD di tutte le aree e i livelli dell'edificio. Come per il progetto di Colonia, si è stabilito che la registrazione dei dati sarebbe stata effettuata mediante su un sistema *cloud-to-cloud* basato su software, anziché sull'uso estensivo di *target* di rilevamento. La prima fase del processo di post-elaborazione è stata quella di sviluppare le informazioni cromatiche associate utilizzando il software di registrazione Z+F LaserControl. Il software è stato utilizzato per creare le singole immagini panoramiche PNG (*Portable Network Graphics*), e poi modificato in Adobe Photoshop per risolvere eventuali problemi di bilanciamento colore, saturazione o altro (fig. 5).

Al termine della fase di registrazione del progetto, sono state effettuate circa 80 scansioni laser ad alta risoluzione e acquisite le immagini dell'esterno e dell'interno dell'edificio ad esse associate. Lo scanner è stato posizionato in tutto l'edificio a tutti i livelli ed è stato possibile usufruire anche delle tre passerelle esterne. Nonostante il terreno irregolare in un angolo dell'edificio e la fitta vegetazione, il collegamento dei due *dataset* è stato relativamente facile, poiché tutte le pareti diviso-

rie non in cemento e le finestre sono ormai scomparse.

L'insieme dei 3D *point data* dell'edificio ha permesso una comprensione approfondita delle dimensioni del Seminario e ne ha rivelando gli elementi costitutivi e le relazioni costruttive. Si tratta di approfondimenti preziosi per analizzare le proporzioni e i componenti architettonici dell'edificio [Maietti, Zattini 2019]. In particolare, le restituzioni che riuniscono i dati relativi all'esterno e all'interno del Seminario di Cardross permettono di rileggere il partito architettonico, il principio organizzativo o l'idea alla base del suo progetto.

Cattedrale di Aachen

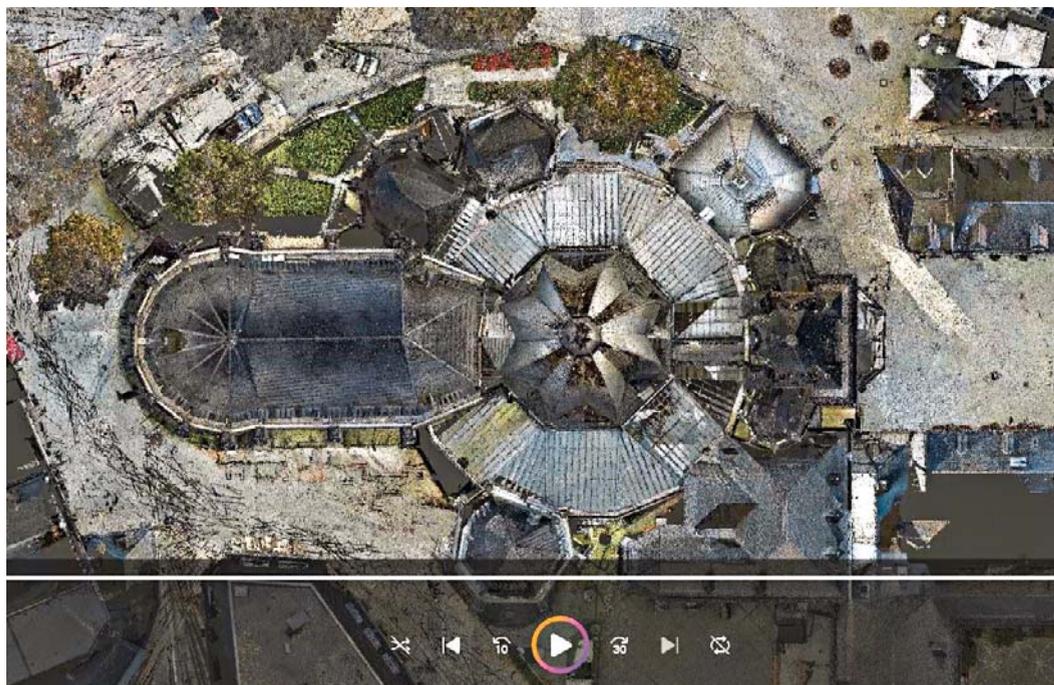
La Cattedrale di Aachen è stata inserita, nella seconda sessione del Comitato del Patrimonio Mondiale dell'UNESCO del luglio 1978, nella lista dei primi dodici siti del Patrimonio Mondiale, il primo dei siti censiti in Germania. L'eccezionale valore universale dell'edificio è dato dal suo grande significato storico come simbolo unificante dell'impero di Carlo Magno e dalle sue caratteristiche strutturali uniche (fig. 7).

La documentazione 3D della Cattedrale di Aachen è un progetto di collaborazione tra

with its secluded, natural surroundings, designed as both a residence and educational facility for priests [Archibald 2015]. The original complex comprised two distinct elements: a baronial mansion constructed in 1868 and a new, revolutionary, modernist training facility designed by architects Andy MacMillan and Isi Metzstein from the Glasgow architectural firm Gillespie, Kidd and Coia. At its completion in 1966, the modernist structure broke new ground in religious architecture and British modernism. It was recognised for its extensive utilisation of raw concrete, its intricate angular architectural geometry, and the exposure of its structural elements. This brutalist aesthetic and exposed structural system spoke to the openness and modernity of the era. Unfortunately, the Seminary faced insurmountable challenges and the Second Vatican Council (Vatican II) led to a reassessment of the role of seminaries and a decline in religious vocations. These shifts in the religious landscape rendered St. Peter's Seminary obsolete even before the final construction phases were completed. Consequently, the Catholic Church decided to close the building in 1980. Following its closure, the site was briefly used as a drug rehabilitation centre overseen by the local council. In 1995, the mansion that had originally been a part of the site was gutted by a fire set by arsonists and had to be demolished. Eventually, due to vandalism and the weather, only the cast-in-place concrete structure remains.

Today, St. Peter's Seminary is considered a relic of mid-20th-century modernist architecture, its decaying structures attracting architectural enthusiasts and those intrigued by its complex history. The seminary is considered Scotland's best and worst twentieth-century building [Watters 2016]. Despite the building's condition, it was granted a Category A heritage listing, indicating its architectural and historical importance. Its precarious condition has led to its inclusion on the Buildings at Risk Register and the World Monuments Watch List of 100 Most Endangered Sites.

Initiated through NVA, a Glasgow-based arts organisation and charity, with Avanti Architects in London and McGinlay Bell Architects, an extensive documentation project was carried out



7/ Cattedrale di Aachen, modello mesh 3D del prospetto d'ingresso generato mediante scansioni da laser scanner terrestre e software di imaging e fotogrammetrici (elaborazione dell'autore).

Aachen Cathedral, 3D mesh model of the front elevation generated through terrestrial laser scanning, digital imaging and photogrammetric software (by the author).

on the building and Kilmahew site. Given the building's fragile state, digital documentation through TLS and digital photogrammetry provided an as-built record of the current physical condition. The initial project requirement was the generation of a series of 2D CAD plans and section drawings of all the areas and levels of the building. Similar to the Cologne project, it was determined that the data registration would be based on a software-based, cloud-to-cloud system instead of the extensive use of survey targets. The first stage of the post-processing process was to develop the associated colour information using the Z+F LaserControl registration software. The software was used to create the individual 360-degree PNG images and then edited in Adobe Photoshop to address any image colour balance, saturation, or artefact issues (fig. 5). By the end of the recording stage of the project, approximately 80 high-resolution laser scans and associated imagery were taken of the exterior and interior of the building. The scanner was located throughout the structure at all levels and benefitted from the three exterior walkways. Despite the irregular terrain at one corner of the building and the dense vegetation, connecting the two datasets was relatively straight forward, as all the non-concrete partition walls and windows are now gone.

The combined 3D point data of the building enabled an in-depth dimensional understanding of the Seminary, revealing the constitutive elements and constructive relationships. These insights are valuable for analysing the building's dimensional proportions and architectural elements [Maietti, Zattini 2019]. Specifically, the renderings that merge the exterior and interior data of Cardross Seminary illuminate the architectural parti - the fundamental organising principle or core concept underlying its design. The plan view renderings vividly display the Seminary's key elements and inner architecture alongside the gradual intrusion of the surrounding natural environment.

Aachen Cathedral

At the second session of the UNESCO World Heritage Committee in July 1978, Aachen Cathedral was listed as one of the first twelve World Heritage Sites and the first

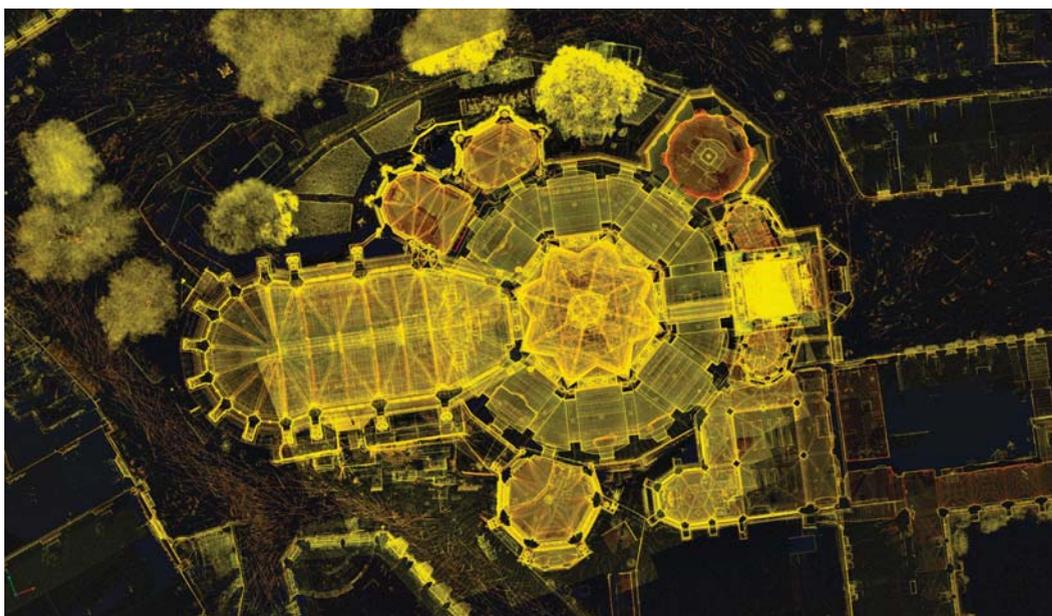
Sapienza Università di Roma, la Robert Gordon University di Aberdeen, in Scozia, e una partnership tra RWTH Aachen University and la Dombauhütte Aachen [Pritchard et al. 2023, Attenni et al. 2023]. Il progetto è basato su una metodologia di registrazione integrata che ha combinato TLS, Fotogram-

metria Digitale Terrestre (TDP) e Fotogrammetria Digitale Aerea (UAVDP) per accelerare la raccolta dei dati, fornire una copertura completa della superficie e semplificare la creazione di *texture* [Valenti, Parternò 2019]. Entrambe le tecniche di acquisizione possono generare modelli 3D accurati *full-colour*; la



8/ Cattedrale di Aachen, vista in pianta dalla nuvola di punti combinata degli interni e degli esterni (elaborazione dell'autore).

Aachen Cathedral, plan view through the combined interior and exterior point cloud (by the author).



loro integrazione consente di creare modelli 3D geometricamente esatti e realistici. Come è avvenuto per il TLS, anche la fotogrammetria digitale ha subito sostanziali miglioramenti nell'ultimo decennio, soprattutto grazie ai progressi dei sistemi di ripresa e dei software computazionali [Giuliano et al. 2014].

L'avvento delle fotocamere digitali ad alta risoluzione ha consentito un netto miglioramento della qualità delle immagini che ha portato a dati più dettagliati e accurati per la successiva elaborazione fotogrammetrica. Contemporaneamente, l'incremento della capacità di elaborazione computazionale ha consentito una più veloce e dettagliata generazione di dataset tradizionali. Le moderne piattaforme software fotogrammetriche, come Epic Games Reality Capture, hanno automatizzato molte attività ad alta intensità di lavoro, come la registrazione delle immagini e il *meshing*, accelerando così i tempi di elaborazione. Complessivamente, questi progressi facilitano e rendono più rapida la creazione di geometrie *mesh* 3D completamente texturizzate e "a tenuta stagna" (*watertight*) e garantiscono un flusso di lavoro più snello [Aicardi et al. 2018].

Dei tre progetti di documentazione qui trattati, quello relativo alla Cattedrale di Aachen

ha fatto ampio ricorso sia al TLS che alla fotogrammetria digitale nel processo di acquisizione dei dati in tutte le aree del sito e degli spazi interni. In questo modo non solo è stato possibile ottenere una resa fotorealistica dell'esterno e dell'interno della cattedrale, ma anche completare le aree in cui mancavano i dati delle nuvole di punti per mezzo dell'elaborazione fotogrammetrica tramite *Capturing Reality* e quindi restituire una *mesh* 3D completa. Alla fine del lavoro, erano state effettuate 420 scansioni TLS individuali con il 5010X e il 5016, tre *long SLAM segments* (per la zona del sottotetto e per le due scale a chiocciola interne) e circa 12.340 immagini con acquisite tramite TDP e UAV.

Come descritto nell'articolo *The Vaulting System of the Palatine Chapel: The Aachen Cathedral World Heritage Site Documentation Project* [Attenni et al. 2023], l'aspetto analitico del lavoro di Aachen si è articolato in tre fasi distinte. In primo luogo, il team ha intrapreso un esame planimetrico 2D dell'ambulacro del primo piano, che ha comportato l'elaborazione della nuvola di punti e degli *imaging data* acquisiti. La seconda fase si è concentrata sulla creazione di modelli 3D ad alta risoluzione delle volte coniche della cappella. Infine, questi modelli 3D sono stati riproiettati in piano, processo

German one. The outstanding universal value of the building is achieved by its great historical significance as a unifying symbol of Charlemagne's empire and its unique structural characteristics (fig. 7).

The 3D documentation of the Aachen Cathedral is an ongoing collaborative project between the Sapienza Università di Roma, Rome, Italy, Robert Gordon University, Aberdeen, Scotland, and in partnership with RWTH Aachen University, and the Dombauhütte Aachen [Pritchard et al. 2023, Attenni et al. 2023]. The project incorporated an integrated recording methodology that combined TLS, Terrestrial Digital Photogrammetry (TDP), and Aerial Digital Photogrammetry (UAVDP) to accelerate data collection, provide comprehensive surface coverage, and simplify texture creation [Valenti et al. 2019]. Both techniques can generate exact full-colour 3D models; merging these two methods of data capture makes it possible to create 3D models that are geometrically precise and visually realistic.

Similar to terrestrial scanning, digital photogrammetry has also undergone substantial improvements over the past decade, mainly due to advancements in camera systems and computational software [Giuliano et al. 2014]. The arrival of high-resolution digital cameras has resulted in marked improvements in image quality, supplying more detailed and accurate data for subsequent photogrammetric processing. Simultaneously, increased computational processing capabilities have enabled faster and more detailed 3D generation. Modern photogrammetric software platforms, such as Epic Games Reality Capture, have automated many labour-intensive tasks – like image registration and meshing – thus expediting the processing timeline. These advances collectively facilitate the quicker creation of fully textured, 'watertight' 3D-mesh geometries and offer a more streamlined workflow [Aicardi et al. 2018].

Of the three documentation projects, the Aachen Cathedral project extensively incorporated both TLS digital photogrammetry and SLAM as part of the data capture workflow throughout all areas within the site and interior spaces. Not only did this provide a photorealistic colourisation of the exterior and interior of the Cathedral, but the photogrammetric processing through

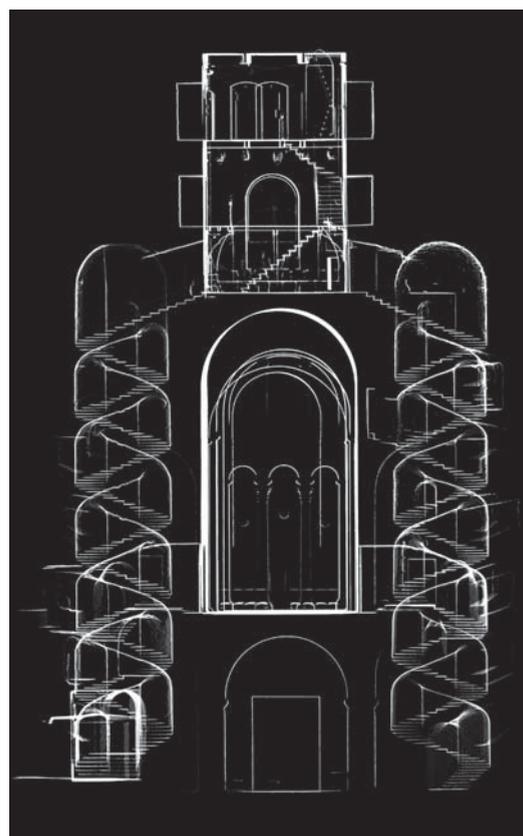
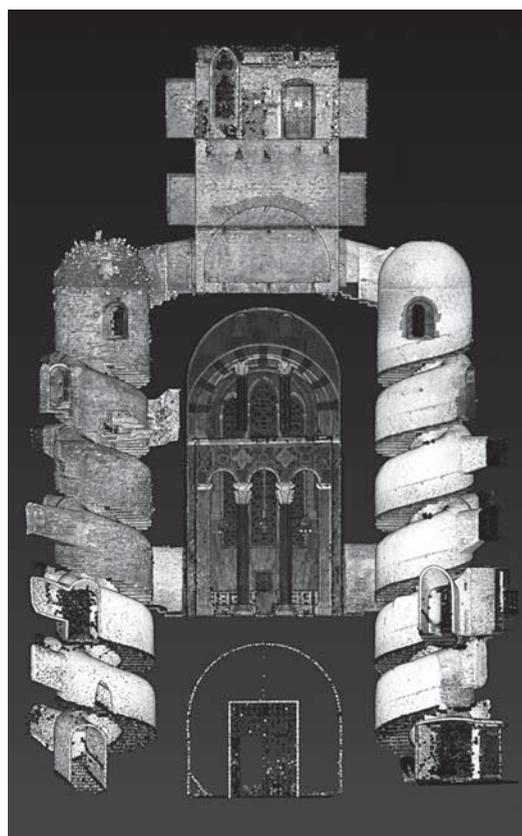
9/ Cattedrale di Aachen, visualizzazioni delle scale a spirale generate mediante scansioni SLAM (immagine fornita da Chris Held).

Aachen Cathedral, rendered images of the internal spiral staircases generated through SLAM scanning (images provided by Chris Held).

Capturing Reality filled in areas of missing point cloud data, providing a more comprehensive 3D mesh. By the end of the project, there were 420 individual TLS scans with the 5010X and 5016, three long SLAM segments (attic area and the two internal spiral stairways) and approximately 12,340 images with the TDP and UAV. As outlined in the paper The Vaulting System of the Palatine Chapel: The Aachen Cathedral World Heritage Site Documentation Project [Attenni et al. 2023], the analytical aspect of the Aachen project was composed of three distinct stages. Firstly, the team undertook a 2D planimetric examination of the first-floor ambulatory, which involved processing acquired point cloud and imaging data. The second stage focused on creating high-resolution 3D models of the Chapel's conic vaults. Lastly, these 3D models were re-projected onto a two-dimensional plane – a process pivotal for constructing high-resolution ortho-images. The developed ortho-images were instrumental for various investigative purposes. They have been used to evaluate surface conditions and conservation status and analyse intricate geometric decoration patterns [Emerson, Van Nice 1943; Bianchini 2020]. Moreover, accurately interpreting the vaults' geometric shapes can offer insights into the original design concept and the specific construction techniques employed to realise it [Priego et al. 2022].

Visual representation

As 3D data formats become more prevalent in CAD, rendering, animation, and game engine software, there are increased opportunities for visual representation. This rise is not isolated to digital documentation but is part of a broader trend of digital convergence. Once siloed, digital recording technologies and associated data formats have begun to merge and integrate in unprecedented ways. This convergence allows heritage and exhibition professionals to leverage tools from various fields, creating more immersive, interactive, and dynamic visualisations. This seamless integration of tools and platforms offers the potential for a more comprehensive and detailed representation and insight into cultural heritage. As demonstrated in all three case study projects, one of the primary representative advantages



fondamentale per la costruzione di ortofoto ad alta risoluzione.

Le ortofoto sviluppate sono state utili a diversi scopi nell'ambito della ricerca. Sono state utilizzate per valutare le condizioni della superficie e lo stato di conservazione e per analizzare gli intricati schemi geometrici della decorazione [Emerson, Van Nice 1943; Bianchini 2020]. Inoltre, un'accurata interpretazione delle forme geometriche delle volte può offrire spunti di riflessione sull'idea progettuale originale e sulle specifiche tecniche costruttive impiegate per realizzarla [Priego et al. 2022].

Visual representation

Con la crescente diffusione dei formati di dati 3D nei software CAD, di resa visiva, di animazione e nei motori di gioco, aumentano le opportunità offerte alla *visual representation*. L'incremento di questa potenzialità non è limitato alla documentazione digitale, ma fa parte di una tendenza più ampia di conver-

genza digitale. Un tempo distanti le une dagli altri, le tecnologie di acquisizione digitale e i formati di dati associati hanno iniziato a fondersi e integrarsi in modi mai visti prima. Questa convergenza consente ai professionisti che lavorano per il patrimonio e per la divulgazione di sfruttare strumenti provenienti da diversi settori, creando visualizzazioni sempre più coinvolgenti, interattive e dinamiche. Questa perfetta integrazione di strumenti e piattaforme offre il potenziale per una rappresentazione e una visualizzazione più complete e dettagliate del patrimonio culturale stesso.

Come dimostrato attraverso i tre i casi di studio presentati, uno dei principali vantaggi in fase di restituzione grafica della possibilità di integrazione tra dati relativi all'esterno e all'interno è la facilità con cui si possono sviluppare piante dettagliate e sezioni trasversali di un edificio. Questa integrazione consente la rappresentazione tramite CAD, immagini ortografiche, restituzioni visive su larga scala

10/ Cattedrale di Aachen, sezione trasversale del modello mesh 3D della Cappella Palatina, che illustra estensivamente il sistema strutturale della copertura (elaborazione dell'autore).

Aachen Cathedral, cross section through the Palatine Chapel 3D mesh model, presenting the extensive roof structural system (by the author).

11/ Cattedrale di Aachen, sezione trasversale del modello mesh 3D della Cappella Palatina (elaborazione dell'autore).
Aachen Cathedral, cross section through the Palatine Chapel 3D mesh model (by the author).



e animazioni dinamiche. Un esempio ci è offerto dalla complessa relazione tra il coro e le aree del sottotetto delle cattedrali di Colonia e Aachen, rappresentata unendo e restituendo visivamente i dati (fig. 8).

Anche la trasparenza di un *dataset* integrato delle nuvole di punti, intrinseca ai dati o in-

crementata per mezzo di una modalità di visualizzazione “a raggi X”, risulta vantaggiosa in quanto consente una comprensione intuitiva della struttura e delle relazioni spaziali di un edificio e può essere facilmente visualizzata e interpretata (fig. 9). Inoltre, facilita una comunicazione in termini semplici e ac-

of merging both external and internal data is the ease with which detailed plans and cross-sections of a building can be developed. This integration allows for representation through CAD, ortho imagery, large-scale renderings, and dynamic animations. For example, the complex relationship between the choir and the attic areas of the Cologne and Aachen cathedrals was depicted by combining and visually rendering this data (fig. 8).

The transparency of an integrated point cloud data set, inherent in the data or enhanced through an x-ray rendering mode, is also beneficial. It allows a more intuitive understanding of a building's structure and spatial relationships and can be more readily visualised and interpreted (fig. 9). It also facilitates more accessible communication of complex architectural or structural elements. The transparent nature of combined interior and exterior point cloud data makes it an excellent tool for documenting and interpreting buildings.

In addition to its role in graphic and architectural representation, the information obtained through documentation also serves as a foundational resource for condition assessment and examining the building's materials, structures, and environmental performance. This data is vital in various tasks, including formulating 3D reconstructive investigations, generating predictive simulations concerning materials and structures, and revealing underlying knowledge structures. These functions are essential for architectural and structural analysis and monitoring, a fundamental aspect of building pathology [Christenson 2023].

Interestingly, advancements in computing power, integrating multiple documentation systems for example TLS, SLAM, thermal imagery, photogrammetry, and software capabilities now allow for the algorithmic registration and generation of dimensionally and photographically precise 3D data sets. By merging the strengths of these systems, there is an opportunity to capture and represent environments with enhanced accuracy and detail. While a human modeller might unintentionally introduce biases or subjective interpretations, algorithms generate outputs based solely on the provided data, reducing

12/ Cattedrale di Aachen, visualizzazione renderizzata del modello mesh generato dalla combinazione della nuvola di punti laser scanner con le immagini fotogrammetriche (elaborazione dell'autore).

Aachen Cathedral, a rendered view of the mesh model generated by the combination of laser scanner point cloud and photogrammetric data (by the author).

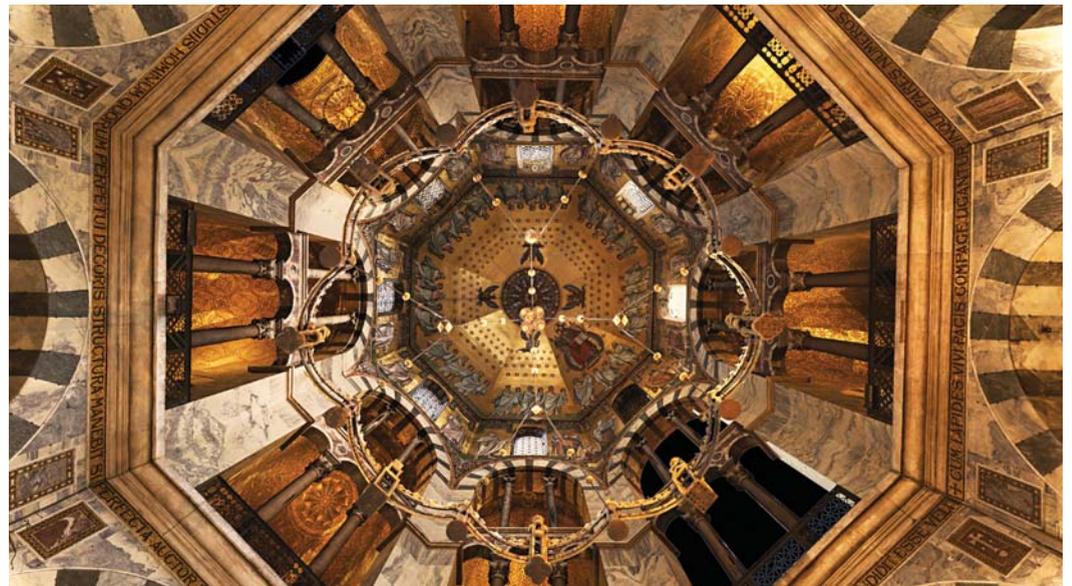
13/ Cattedrale di Aachen, "clay render" del modello mesh generato dalla combinazione della nuvola di punti laser scanner con le immagini fotogrammetriche (elaborazione dell'autore).

Aachen Cathedral, a clay render view of the mesh model generated by the combination of laser scanner point cloud and photogrammetric data (by the author).

(although not eliminating) room for personal alterations.

Project observations

Despite the coincidental religious aspect, the unifying feature of these three projects is the deliberate adherence to high-fidelity 3D modelling and extensive surface mapping. The objective behind this approach is to ensure that the scan data and associated imagery not only possess a high degree of accuracy, both in individual scans and when compiled, but also incorporate comprehensive interior and exterior surface coverage. As Mike Christenson argues, 3D models with proven high-level geometric accuracy or those originating from dense point clouds are deemed to possess a legitimacy lacking in less accurate computer models. A demonstrable geometric correspondence to the buildings they represent is more valuable to architectural and research knowledge than inaccurate ones. This legitimacy is not merely a reflection of precision but is also a testament to the scientific transparency of the methods employed [Huwila 2018, Christenson 2023]. The ergonomic design of recording hardware is also essential when working within a vast cultural heritage site. While a robust fixed handle might be considered a modest addition to a laser scanner, its value becomes critical when navigating a complex structure such as a cathedral. The practical experience gained from working within the Cologne Cathedral influenced the design specifications of the newer Imager 5016 model. Addressing the on-site challenges, the 5016 models have been outfitted with dual fixed handles and an additional security bolt-hole, significantly enhancing stability and safety during use. The lighting attachment on the 5010 and the built-in LED spotlight system on the 5016 proved helpful while recording areas with limited lighting conditions. The additional illumination provides better panoramic imagery and a more natural colouration of the point cloud. Furthermore, what is often overlooked in commercial endeavours due to time and budget constraints – an indifference to the surrounding architectural context – is given due importance in the Cologne and Aachen projects. The adjacent architecture plays a



cessibili di elementi architettonici o strutturali complessi. La natura trasparente dei dati riuniti delle nuvole di punti dell'interno e dell'esterno rende questa modalità di visualizzazione uno strumento eccellente per la documentazione e l'interpretazione degli edifici. Oltre al loro ruolo nella rappresentazione grafica e architettonica, le informazioni ottenute attraverso la documentazione servono anche come risorsa fondamentale per la valutazione delle condizioni e per l'esame dei materiali,

delle strutture e delle prestazioni ambientali dell'edificio. Questi dati sono fondamentali per diversi scopi: tra questi la formulazione di indagini ricostruttive in 3D, la generazione di simulazioni predittive sul comportamento di materiali e strutture e per comprendere a fondo le relazioni tra i livelli strutturali. Queste funzioni sono basilari per l'analisi architettonica e strutturale e per il monitoraggio, aspetti essenziali nelle indagini sulle sofferenze dell'edificio [Christenson 2023].

L'aspetto interessante è che i progressi nella potenza di calcolo, nell'integrazione di più sistemi di documentazione (quali TLS, SLAM, termografia, fotogrammetria) e le capacità dei software consentono ora la registrazione algoritmica e la generazione di *dataset* 3D dimensionalmente e fotograficamente esatti. Unendo i punti di forza di questi sistemi, si ha l'opportunità di catturare e rappresentare gli ambienti con maggiore precisione e dettaglio. Mentre un operatore umano potrebbe involontariamente introdurre pregiudizi o interpretazioni soggettive, gli algoritmi generano risultati basati esclusivamente sui dati forniti, riducendo (anche se non eliminando) lo spazio per interpretazioni soggettive.

Valutazione dei progetti

Nonostante la coincidenza della comune funzione religiosa degli edifici interessati, la caratteristica che accomuna i tre progetti qui presentati è il deliberato ricorso a una modellazione 3D ad alta fedeltà e a un'estesa mappatura delle superfici. L'obiettivo di questo approccio è quello di garantire che i dati delle scansioni e le immagini ad essi associate non solo possiedano un alto grado di accuratezza, sia nelle singole scansioni che nel loro allineamento, ma che prevedano anche una copertura completa delle superfici sia interne che esterne. Come sostiene Mike Christenson, i modelli 3D con una controllata ed elevata accuratezza geometrica o quelli che provengono da nuvole di punti dense sono considerati dotati di una legittimità che manca ai modelli digitali meno accurati. Una corrispondenza geometrica esatta e verificabile tra i dati acquisiti e gli edifici che essi rappresentano è più preziosa per la conoscenza dell'architettura e della ricerca rispetto a quella che può essere ottenuta da modelli con un livello di accuratezza inferiore. Questa legittimazione non è solo legata alla precisione, ma deriva anche dalla trasparenza scientifica dei metodi impiegati [Huvila 2018, Christenson 2023]. Anche l'ergonomia del design dell'hardware di acquisizione assume notevole importanza quando si lavora in un sito di grandi dimensioni. Una robusta maniglia fissa potrebbe essere considerata una relativamente piccola miglioria per uno scanner laser, ma assume

un'importanza fondamentale quando ci si deve muovere in una struttura complessa come una cattedrale. L'esperienza pratica acquisita durante il lavoro condotto all'interno della Cattedrale di Colonia ha pilotato le stesse scelte progettuali relative al nuovo modello Imager 5016. Per far fronte alle sfide che si sono presentate durante il lavoro, i modelli 5016 sono stati dotati di due maniglie fisse e di un foro di sicurezza aggiuntivo, migliorandone in modo significativo stabilità e sicurezza in fase di lavoro.

L'attacco per l'illuminazione sul modello 5010 e il sistema di faretto LED interni del modello 5016 si sono rivelati utili durante le riprese in situazioni di scarsa illuminazione. L'illuminazione aggiuntiva permette di ottenere immagini panoramiche migliori e una colorazione più realistica della nuvola di punti.

Inoltre, nei progetti di ricerca condotti a Colonia e ad Aachen è stata data la giusta attenzione a un fattore che spesso viene trascurato negli incarichi professionali a causa di limiti temporali e di *budget*, ovvero l'importanza del contesto architettonico circostante. L'architettura dell'intorno, anche quella del dopoguerra, assume un ruolo fondamentale nel valore culturale di questi siti, contribuendo alla lettura dello stato di conservazione e di una ampia ricostruzione storica. Nel caso del Seminario di Cardross, documentare il rapporto delle strutture con l'inadente presenza della vegetazione diventa parte integrante della ricostruzione della storia attuale del sito. Questo approccio raccolto alla totalità del sito richiede lunghe permanenze *in loco*, ma l'importanza a livello internazionale di questi edifici giustifica l'investimento.

Infine, mantenendo i dati in un formato *open-source* accessibile a tutti, come il formato E57, i dati acquisiti possono essere utilizzati per progetti 3D immediati (CAD, monitoraggio 3D ecc.) e per differenti applicazioni che esulano dalle previsioni. In questo modo, i dati 3D sono immediatamente applicabili e dotati di un valore duraturo. La qualità e la completezza della raccolta dei dati rendono possibili scoperte inattese e sorprendenti e offrono la possibilità di produrre nuova conoscenza su questi siti.

pivotal role in the cultural significance of these sites, even the surrounding post-war architecture, informing both conservation and the broader historical narrative. For Cardross, documenting the intrusive vegetation becomes part of narrating the site's current story. This exhaustive approach necessitates extended time on-site, but the international significance of these edifices justifies the endeavour.

Finally, by maintaining the data in a universally accessible open-source format, such as E57, the acquired data can address immediate 3D projects (CAD, 3D monitoring, etc.) and various unforeseen future applications. Thus, the 3D data is immediately applicable and endowed with enduring value. The quality and comprehensive nature of the data collection opens the door for unexpected, serendipitous discoveries and the potential to generate new knowledge about these sites.

Conclusion

Over the last twenty years, the convergence of technology and the representation of cultural heritage has been significant. The multilayered nature of this intersection allows us to approach architectural and heritage documentation through a lens that connects precision with the capacity for human interpretation and understanding. Digital techniques, such as laser scanning and digital photogrammetry, deliver a complex and comprehensive representation of cultural heritage. As TLS and point cloud data become increasingly employed in the AEC and heritage sectors, compatibility with various software platforms is also rising. Point cloud data formats are widely supported across multiple software applications, from 2D and 3D CAD/BIM programs to graphic design software and game engine technologies.

While new technologies' precision and vast data capabilities offer valuable tools for objectively representing cultural heritage structures, human interpretation remains critical in understanding these spaces' essence and narrative. As documentation technologies continue to evolve, they will not only provide more sophisticated tools for documenting and preserving cultural heritage. Still, they will also offer new methods for understanding, interpreting and engaging with cultural heritage sites. This

paper examined how technology and graphic communication complement cultural heritage documentation, analysis and interpretation through projects at the Cologne Cathedral, St Peter's Seminary in Cardross, Scotland, and the Aachen Cathedral. These projects highlight the significant advancements in contemporary recording systems' quality, speed, and efficacy. They also emphasise how these technologies can address challenges of spatial complexity and the need for detailed conservation records, serving as a digital representation and a form of digital preservation.

Acknowledgements

Cologne Cathedral - Prof. Chris Wickenden and students of Hochschule Fresenius Köln (Cologne, Germany), Jorg Sperner and the technical staff at the Cologne Cathedral and Dr Christoph Fröhlich, Christopher Held, and Philipp Kresser from Zoller + Fröhlich.

St. Peter's Seminary at Cardross - NVA (Glasgow, UK), Avanti Architects (London, UK) and McGinlay Bell Architects (Glasgow, UK).

Aachen Cathedral - Martina Attenni, Roberto Barni, Carlo Bianchini, M. Griffo, C. Inglese, and G. Villa from the Dipartimento di Storia, disegno e restauro dell'architettura, Sapienza Università di Roma (Italy), Yannick Ley from RWTH Aachen University, Lehrstuhl für Architekturgeschichte (Aachen, Germany). Generous assistance from Christopher Held, Zoller + Fröhlich.

* All three scanner models in the listed case studies operate on phase-based measurement systems and employ a Class 1 infrared laser. Each system incorporates an integrated camera system, where the Charge-Coupled Device (CCD) camera is strategically positioned at the nodal point of the scanning unit. In the case of the Zoller + Fröhlich (Z+F) 5010C and 5010X models, the camera is positioned slightly off-centre, leading to a minor parallax effect observable within the first few meters of the scan; however, the effect is minimal. The 5016 uses a nodal point CCD similar to the 5010X to generate images without parallax issues.

Cologne - The primary scanning technology was the Z+F 5010C, and a Nikon D810 digital camera (36.3 MP) with a 24mm prime lens.

Cardross - The remaining Cardross structure was extensively recorded using a Zoller+Fröhlich 5010C TLS and a Nikon D810 digital camera.

Aachen - The project used Z+F 5010X and a 5016 terrestrial scanners. The project also incorporated two digital cameras, a Nikon Z 7II (47.7 MP) mirrorless, full-frame digital camera with a 24mm prime lens and a Sony Alpha ILCE-A7 II (24.3 MP) full-frame with a 24mm prime lens.

Conclusion

Negli ultimi vent'anni la convergenza tra tecnologia e rappresentazione del patrimonio culturale è stata significativa. La natura multilivello di questa intersezione ci permette di affrontare la documentazione dell'architettura e del patrimonio culturale attraverso una lente che salda la precisione con la capacità di lettura e di interpretazione propria dell'essere umano.

Le tecnologie digitali, come la scansione laser e la fotogrammetria digitale, offrono una rappresentazione articolata e completa del patrimonio culturale. Con il crescente impiego dei dati TLS e delle nuvole di punti nei settori AEC e del patrimonio culturale, aumenta anche la compatibilità con le varie piattaforme software. I formati dei dati delle nuvole di punti sono ampiamente supportati da diverse applicazioni software, dai programmi CAD/BIM 2D e 3D ai software di progettazione grafica e alle tecnologie dei motori di gioco.

Sebbene la precisione delle nuove tecnologie e le ampie possibilità offerte dai dati offrono strumenti preziosi per rappresentare in maniera oggettiva gli edifici che costituiscono il patrimonio culturale, l'interpretazione umana rimane fondamentale per comprendere l'essenza e la restituzione di questi spazi. Con la loro continua evoluzione, le tecnologie per la documentazione non si limiteranno a fornire strumenti più sofisticati per documentare e conservare il patrimonio culturale, ma offriranno anche nuovi metodi per uno loro più efficace comprensione e interpretazione e per mettere in atto azioni di tutela efficaci. Attraverso la discussione di progetti di acquisizione che riguardano la Cattedrale di Colonia, il St. Peter's Seminary di Cardross, in Scozia, e la Cattedrale di Aachen, questo lavoro ha esaminato come la tecnologia e la comunicazione grafica possano integrare la documentazione, l'analisi e l'interpretazione del patrimonio culturale. Gli esempi qui presentati evidenziano i significativi progressi nella qualità, nella velocità e nell'efficacia degli attuali sistemi di acquisizione. Inoltre, mostrano come queste tecnologie sono in grado di affrontare le sfide della complessità spaziale e la necessità di

una dettagliata documentazione finalizzata alla conservazione, costituendo un valido supporto alla rappresentazione digitale e alla salvaguardia digitale.

Traduzione dall'inglese di Laura Carlevaris

Ringraziamenti

Cattedrale di Colonia: Chris Wickenden e studenti della Hochschule Fresenius Köln (Colonia, Germania), Jorg Sperner e lo staff tecnico della Cattedrale di Colonia, e il dott. Christoph Fröhlich, Christopher Held e di Philipp Kresser della Zoller + Fröhlich.

St. Peter's Seminary di Cardross: NVA (Glasgow), Avanti Architects (Londra) e McGinlay Bell Architects (Glasgow).

Cattedrale di Aachen: Martina Attenni, Roberto Barni, Carlo Bianchini, Marika Griffo, Carlo Inglese, Guglielmo Villa, Dipartimento di Storia, disegno e restauro dell'architettura, Sapienza Università di Roma e Yannick Ley, RWTH Aachen University, Lehrstuhl für Architekturgeschichte (Aachen, Germania). Generosa assistenza da parte di Christopher Held, Zoller + Fröhlich.

*Tutti e tre i modelli di scanner utilizzati nei tre casi studio presentati lavorano sulla base di sistemi di misurazione *phase-based* e utilizzano un laser a infrarossi di Classe 1. Questi strumenti di scansione sono dotati di un sistema di telecamere integrato, in cui la telecamera *Charge-Coupled Device* (CCD) è posizionata strategicamente nel punto nodale dell'unità di scansione. Nel caso dei modelli Zoller + Fröhlich (Z+F) 5010C e 5010X, la telecamera è collocata in posizione leggermente decentrata, il che comporta un lieve effetto di parallasse osservabile nei primi metri della scansione; tuttavia, l'effetto è minimo. Il 5016 utilizza un *nodal point CCD* come il 5010X per generare immagini senza problemi di parallasse.

Colonia: la tecnologia di scansione principale è stata la Z+F 5010C e una fotocamera digitale Nikon D810.

Cardross: la parte ancora presente dell'edificio di Cardross è stata acquisita in modo estensivo utilizzando un TLS Zoller+Fröhlich 5010C e una fotocamera digitale Nikon D810 (36.3 MP) con obiettivo da 24 mm.

Aachen: il progetto ha fatto uso di uno scanner terrestre Z+F 5010X e un 5016. Il progetto ha impiegato anche due fotocamere digitali, una Nikon Z 7II (47,7 MP) *mirrorless* e *full-frame* con un obiettivo primario da 24 mm e una Sony Alpha ILCE-A7 II (24,3 MP) *full-frame* con obiettivo da 24 mm.

References

- Aicardi et al. 2018 = Irene Aicardi, Filiberto Chiabrando, Andrea Lingua, Francesco Noardo. Recent trends in cultural heritage 3D survey: The photogrammetric computer vision approach. *Journal of Cultural Heritage*, 32, 2018, pp. 257-266. ISSN: 1296-2074. DOI: 10.1016/j.culher.2017.11.006.
- Archibald 2015 = David Archibald, Johnny Rodger. St Peter's Seminary, Cardross: The ruin of modernism. *Performance Research* 20, 2015, pp. 103-111. ISSN: 2616-8421. DOI: <https://doi.org/10.1080/13528165.2015.1049043>.
- Attenni et al. 2023 = Martina Attenni, Roberto Barni, Carlo Bianchini, Marika Griffò, Carlo Inglese, Douglas Kenneth Pritchard, Guglielmo Villa. The Vaulting System of the Palatine Chapel: the Aachen Cathedral World Heritage Site Documentation Project. In *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Science*, XLVIII-M-2, 2023, pp. 119-128. DOI: 10.5194/isprs-archives-XLVIII-M-2-2023-119-2023.
- Bianchini 2014 = Carlo Bianchini. Survey, Modelling, Interpretation as Multidisciplinary Components of a Knowledge System. *SCIRES-IT-Scientific Research and Information Technology*, vol. 4, Issue 1, 2014, pp. 15-24. DOI: <http://dx.doi.org/10.2423/i22394303v4n1p15>.
- Bianchini 2020 = Carlo Bianchini. A methodological approach for the study of domes. *Nexus Network Journal*, 22, 2020, pp. 983-1013. ISSN: 1590-5896. <<https://link.springer.com/article/10.1007/s00004-020-00526-9>> [giugno 2023].
- Christenson 2023 = Mike Christenson. Problematizing the model-building duality: Examining the New Sacristy at S. Lorenzo, Florence, Italy. *Frontiers of Architectural Research*, Volume 12, Issue 4, August 2023, pp. 651-663. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foar.2023.05.008>.
- Emerson, Van Nice 1943 = William Emerson, Robert L. Van Nice. Hagia Sophia, Istanbul: Preliminary Report of a Recent Examination of the Structure. *American Journal of Archaeology*, 47 (4), 1943, pp. 403-436. ISSN: 0002-9114. DOI: <https://doi.org/10.2307/499830>. <<https://www.jstor.org/stable/499830>> [giugno 2023].
- Faltýnová et al. 2016 = M. Faltýnová, E. Matoušková, J. Šedina, K. Pavelka. Building façade documentation using laser scanning and photogrammetry and data implementation into BIM. In *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XLI-B3, 2016, pp. 215-220. DOI: 10.5194/isprs-archives-XLI-B3-215-2016.
- Fassi et al. 2013 = Francesco Fassi, Luigi Fregonese, Sebastiano Ackermann, Vincenzo De Troia. Comparison between laser scanning and automated 3d modelling techniques to reconstruct complex and extensive cultural heritage areas. In *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XL-5/W1, 2013, pp. 73-80. DOI: 10.5194/isprsarchives-XL-5-W1-73-2013.
- Giuliano 2014 = Maria Grazia Giuliano. Cultural Heritage: An example of graphical documentation with automated photogrammetric systems. In *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XL-5, 2014, pp. 251-255. DOI: <https://doi.org/10.5194/isprsarchives-XL-5-251-2014>.
- Huvila 2018 = Isto Huvila. The subtle difference between knowledge and 3D knowledge. *Hamburger Journal für Kulturanthropologie*, 7, 99-111, 2018. ISSN: 2365-1016. <<https://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:gbv:18-8-11966>> [giugno 2023].
- Maietti, Zattini 2019 = Federica Maietti, Andrea Zattini. A documentation, analysis and representation of modernist heritage through building information modeling. In *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XLII-2/W15, 2019, pp. 727-734 (2019). DOI: 10.5194/isprs-archives-XLII-2-W15-727-2019.
- Priego et al. 2022 = Enrique Priego, José Herráez, Luís José Denia, Pablo Navarro. Technical study for restoration of mural paintings through the transfer of a photographic image to the vault of a church. *Journal of Cultural Heritage*, 58, 2022, pp. 112-121. ISSN: 1296-2074. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.culher.2022.09.023>. <<https://riunet.upv.es/handle/10251/191973>> [giugno 2023].
- Pritchard et al. 2017 = Douglas Pritchard, Joerg Sperner, Sophie Hoepner, Ruth Tenschert. Terrestrial laser scanning for heritage conservation: the Cologne Cathedral documentation project. In *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, IV-2/W2, 2017, pp. 213-220. DOI: <https://doi.org/10.5194/isprs-annals-IV-2-W2-213-2017>.
- Pritchard et al. 2023 = Douglas Pritchard, Marika Griffò, Martina Attenni, Roberto Barni, Carlo Bianchini, Carlo Inglese, Yannick Ley. Evolution of recording methods: the Aachen Cathedral World Heritage Site documentation project. In *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XLVIII-M-2-2023, pp. 1241-1249. DOI: 10.5194/isprs-archives-XLVIII-M-2-2023-1241-2023.
- Remondino 2011 = Fabio Remondino. Heritage recording and 3D modelling with photogrammetry and 3D scanning. *Remote Sensing*, 3 (6), 2011, pp. 1104-1138. ISSN: 2072-4292. DOI: 10.3390/rs3061104.
- Stylianidis et al. 2022 = Efstratios Stylianidis, Konstantinos Evangelidis, Rebeka Vital, Panagiotis Dafiotis, Stella Sylaiou, S. 3D Documentation and Visualization of Cultural Heritage Buildings through the Application of Geospatial Technologies. *Heritage* 5, 2022, pp. 2818-2832. ISSN: 2571-9408. DOI: <https://doi.org/10.3390/heritage5040146>.
- UNESCO 1995 = UNESCO World Heritage List, Cologne Cathedral No. 292 rev. August 1995. <<http://whc.unesco.org/en/list/292/documents/23ABevaluation>> [giugno 2023].
- Valenti, Paternò 2019 = Rita Valenti, Emanuela Paternò. A Comparison between TLS and UAV technologies for historical investigation. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XLII-2/W9, 2019, pp. 739-745 (2019). DOI: <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLII-2-W9-739-2019>.
- Watters 2016 = Diane Watters. *St Peter's, Cardross: Birth, Death and Renewal*. Historic Environment Scotland, 2016. ISBN: 1849172234.

La rivista è inclusa nella Web of Science Core Collection (Clarivate Analytics), dove è indicizzata nell'Arts & Humanities Citation Index e nel database di Scopus dove sono presenti gli abstract dei contributi.

La selezione degli articoli per *Disegnare. Idee Immagini* prevede la procedura di revisione e valutazione da parte di un comitato di referee (*blind peer review*); ogni contributo viene sottoposto all'attenzione di almeno due revisori, scelti in base alle loro specifiche competenze. I nomi dei revisori sono resi noti ogni anno nel numero di dicembre.

The journal has been selected for coverage in the Web of Science Core Collection (Clarivate Analytics); it is indexed in the Arts & Humanities Citation Index and abstracted in the Scopus database.

The articles published in Disegnare. Idee Immagini are examined and assessed by a blind peer review; each article is examined by at least two referees, chosen according to their specific field of competence.

The names of the referees are published every year in the December issue of the journal.

Gli autori di questo numero
Authors published in this issue

Fabrizio Ivan Apollonio
 Dipartimento di Architettura
 Alma Mater Studiorum - Università di Bologna
 via Risorgimento, 2
 40136 Bologna, Italia
 fabrizio.apollonio@unibo.it

Carlo Bianchini
 Dipartimento di Storia, disegno e restauro dell'architettura
 Sapienza Università di Roma
 piazza Borghese, 9
 00186 Roma, Italia
 carlo.bianchini@uniroma1.it

Livio De Luca
 UMR CNRS/MCC MAP (Modèles et simulations
 pour l'Architecture et le Patrimoine)
 Campus du CNRS (Batiment US)
 31, chemin Joseph Aiguier
 13402 Marseille cedex 20, Francia
 livio.deluca@map.cnrs.fr

Marco Gaiani
 Dipartimento di Architettura
 Alma Mater Studiorum - Università di Bologna
 via Risorgimento, 2
 40136 Bologna, Italia
 marco.gaiani@unibo.it

Simone Garagnani
 Dipartimento di Studi Umanistici
 Università degli Studi di Urbino Carlo Bo
 via Bramante, 17
 61029 Urbino, Italia
 simone.garagnani@uniurb.it

Michela Martini
 Museo Basilica di Santa Maria delle Grazie
 piazza Masaccio, 8
 52027 San Giovanni Valdarno (AR), Italia
 michelamartini29@gmail.com

Riccardo Migliari
 Dipartimento di Storia, disegno e restauro dell'architettura
 Sapienza Università di Roma
 piazza Borghese, 9
 00186 Roma, Italia
 riccardo.migliari@uniroma1.it

Douglas Pritchard
 Scott Sutherland School of Architecture
 Robert Gordon University
 Garthdee House, Garthdee Road
 Aberdeen, AB10 7QB, Scozia
 d.pritchard1@rgu.ac.uk

Guendalina Salimei
 Dipartimento Architettura e Progetto
 Sapienza Università di Roma
 via Flaminia, 359
 00196 Roma, Italia
 guendalina.salimei@uniroma1.it

Carl Brandon Strehlke
 Philadelphia Museum of Art
 2600 Benjamin Franklin Parkway
 Philadelphia, PA 19130, Stati Uniti
 sherbornmass@gmail.com

Guendalina Salimei
Il segno e lo schizzo
The sign and the sketch

Livio De Luca
Un ecosistema digitale per lo studio
interdisciplinare di Notre-Dame de Paris
*A digital ecosystem for the interdisciplinary study
of Notre-Dame de Paris*

Fabrizio Ivan Apollonio, Marco Gaiani,
Simone Garagnani, Michela Martini,
Carl Brandon Strehlke
Misurare e restituire l'Annunciazione
di San Giovanni Valdarno del Beato Angelico
*Measurement and restitution of the Annunciation
by Fra Angelico in San Giovanni Valdarno*

Douglas Pritchard
Intersezioni tra tecnologia, comunicazione
grafica e rappresentazione del patrimonio
culturale
*The intersection of technology, graphic
communication, and cultural heritage
representation*

Riccardo Migliari
Max Kleiber *Perspektivikus*
Max Kleiber *Perspektivikus*

Riccardo Migliari
Nostalgia ed emozione del disegno
The nostalgia and emotion of drawing

Carlo Bianchini
Metamodellazione
Metamodelling



WORLDWIDE DISTRIBUTION
AND DIGITAL VERSION
EBOOK
AMAZON, APPLE, ANDROID
WWW.GANGEMEDITORE.IT

ISSN 1123-9247
30066
ISBN 978-884925068-6
9 771123 924009
9 788849 250688