

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





https://web.uniroma1.it/dsdra/dipartimento_/pubblicazioni/disegnare-idee-immagini

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^{spa}
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

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

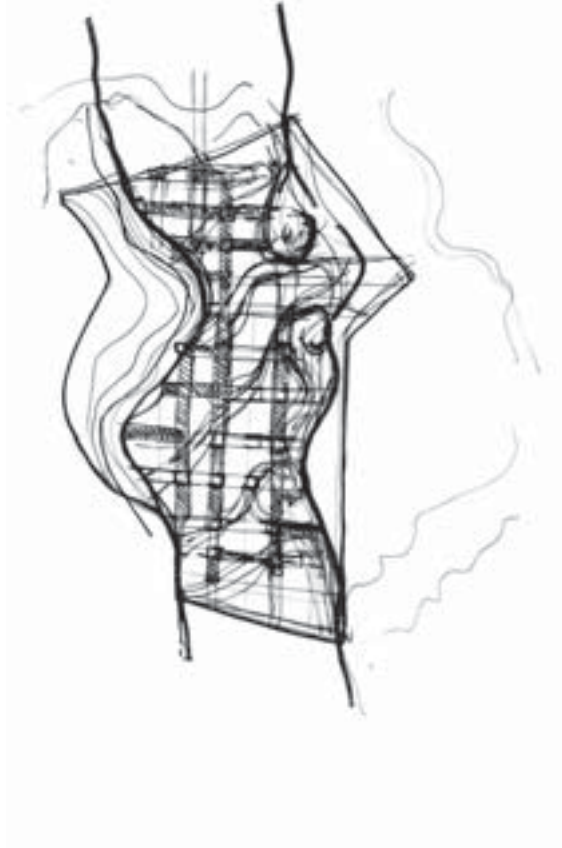
The nostalgia and emotion of drawing

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.



editoriale

<https://cdn.gangemieditore.com/DOI/10.61020/11239247-202366-01.pdf>

Disegnare. Idee Immagini 3.0

Come anticipato nell'editoriale del numero 65, questo numero 66 di *Disegnare. Idee Immagini* segna per la rivista un momento significativo di trasformazione o, per meglio dire, di evoluzione. Le ragioni di questo cambiamento possono essere sintetizzate con la necessità sia di migliorare la sostenibilità della rivista nel medio periodo, sia di meglio sintonizzarla con il mondo dell'editoria scientifica ormai quasi completamente virato verso il digitale.

Non si tratta evidentemente di una decisione estemporanea. Al contrario, essa deriva da un processo che, non senza sussulti, ci ha visto coinvolti per più di due anni in discussioni apparentemente tecniche ma che nascondevano in realtà un fondamento profondamente culturale direttamente connesso con il DNA stesso di *Disegnare*.

Da un lato la storia e la tradizione della rivista, solidamente intrecciate con quella del nostro settore disciplinare a partire da quella lontana primavera del 1989 allorché un piccolo gruppo di professori ordinari del Disegno – Gaspare De Fiore, Mario Docci, Carlo Mezzetti, Cesare Cundari e pochi altri – si sono riuniti presso il Dipartimento di Rappresentazione e Rilievo di Sapienza Università Roma, per dare vita a una rivista che, in sinergia con le attività dell'allora giovanissima Unione Italiana per il Disegno (UID), avrebbe dovuto raccogliere le ricerche scientifiche dei docenti e degli studiosi attivi nel settore del Disegno per diffonderle e promuoverle in ambito nazionale e internazionale. Al di là della *mission* della rivista, allora, come d'altronde anche ora, una delle preoccupazioni principali era quella del “*primum vivere*”, ovvero di riuscire a definire un quadro generale che assicurasse una sostenibilità dell'iniziativa almeno nel medio periodo.

Quella riunione dunque, non solo tenne a battesimo *Disegnare. Idee Immagini* come rivista scientifica, ma immaginò anche il suo status di periodico di proprietà di Sapienza Università di Roma incardinato nell'allora Dipartimento di Rappresentazione e Rilievo. A testimonianza dell'impegno collegiale di quella scelta va inoltre reso merito ai Dipartimenti dell'Università di Genova e dell'Università Politecnica delle Marche per il sostegno assicurato per alcuni anni con l'acquisto di un cospicuo numero di copie dalla Gangemi Editore di Roma, che ancora oggi ne cura la pubblicazione.

In quel momento nessuno tra coloro che avevano sostenuto la nascita della rivista si sarebbe sentito di scommettere che la sua durata sarebbe stata ultratrentennale. Tuttavia, i successi progressivamente riscossi in ambito nazionale e internazionale, al di là della comprensibile soddisfazione, hanno costituito lo stimolo più efficace per il miglioramento costante della qualità di tutte le componenti editoriali, dalla grafica, ai colori, dall'impaginato fino al tipo stesso di carta da utilizzare in fase di stampa. Questi aspetti sono nel tempo divenuti una delle cifre caratteristiche di *Disegnare. Idee Immagini*, così come lo è la doppia versione italiano/inglese e il suo caratteristico formato. Tra le rubriche che si sono alternate nelle pagine della rivista, quella dedicata al rapporto con il disegno di architetti, pittori, designer e artisti di fama nazionale e internazionale rappresenta per noi e i nostri lettori un appuntamento tra i più apprezzati e ormai fisso da molti anni.

A ben vedere, tuttavia, la rubrica *disegno* è nel tempo in qualche modo divenuta anch'essa uno degli elementi editoriali portanti, sia in quanto ormai tipica *ouverture* di ciascun numero sia in virtù del successo riscosso anche tra gli autori stessi, come dimostrano le figure di spicco che hanno deciso in questi anni di condividere le proprie traiettorie di ricerca attraverso la nostra rivista. Tra gli architetti ricordiamo Franco Purini, Marco Petreschi, Manfredi Nicoletti, Mario Botta, Robert Venturi, Paolo Portoghesi, Berardo Dujovne, Aldo Loris Rossi, Joao Ferreira Nunes, Lucio Passarelli, Manfred Wedorn, Alberto Campo Baeza e Mario Bellini; tra i pittori, Oscar Piattella, Massimo Scolari e Arduino Cantafora; come designer, Mario Trimarchi.

Da un lato la storia e la tradizione, come abbiamo detto in apertura; dall'altro tuttavia un mondo che, rispetto quello del 1989, appare oggi quasi irriconoscibile sia sul piano editoriale, sia su quello della comunicazione scientifica.

La transizione digitale ha infatti radicalmente cambiato i paradigmi con cui le informazioni vengono veicolate e scambiate in ambito scientifico, ma ha anche condotto a una dirompente

smaterializzazione dei supporti su cui tali informazioni sono fissate. In altre parole, gli articoli sono ancora articoli, i libri sono ancora libri ma sempre di meno si tratta di oggetti fatti di carta e, al di là di un certo struggimento nostalgico, questo processo è sostanzialmente inarrestabile e non negoziabile: si può solo prenderne atto.

Per effetto di questa rivoluzione, il *primum vivere* del 1989 appare oggi, nel 2023, declinato in maniera molto diversa. Ovviamente la sostenibilità passa ancora attraverso la disponibilità di sufficienti risorse ma, forse ancora di più, attraverso il mantenimento dell'autorevolezza che *Disegnare* si è guadagnata in questi quasi trentacinque anni. Ecco perché non possiamo fare finta che gli aspetti quantitativi legati alla reale consultazione e diffusione della rivista tra gli studiosi, gli indicatori bibliometrici e quelli relativi alle citazioni degli articoli non siano aspetti rilevanti. L'insieme di queste considerazioni ha portato al processo di gestazione che abbiamo ricordato in apertura e che oggi, per la prima volta, trova espressione concreta in questo numero 66.

È giunto il momento però di presentare in forma più articolata ciò che i lettori troveranno già da questo numero.

Sul piano strettamente editoriale abbiamo scelto di preservare il più possibile la consolidata veste grafica di una rivista di lungo corso. Stesso formato, dunque, stesso impaginato italiano/inglese, stessi caratteri, stesso numero di pagine. Doppia versione, a stampa e digitale, con inversione tuttavia dell'attuale prevalenza della prima rispetto alla seconda. In altre parole, mentre oggi la versione digitale è semplicemente il pdf di quella stampata, da questo numero essa è da considerarsi il vero prodotto editoriale, un prodotto che può essere fruito "anche" in forma cartacea. A marcare questa gerarchia, il lettore troverà sulla versione a stampa il *QR code* che consente di accedere in ogni momento all'originale digitale completo di tutti gli elementi aggiuntivi.

Sul piano scientifico e dei contenuti, la nostra ambizione è quella di portare *Disegnare. Idee Immagini*, con questa nuova veste, al raggiungimento di un nuovo livello soprattutto sul piano dell'accessibilità. La rivista, infatti, diviene totalmente *Open Access*. Questo significa che la sua versione digitale, nel quadro di una licenza *Creative Commons*, è immediatamente e integralmente a disposizione dei lettori senza costi sul sito dedicato alla rivista *Disegnare* (<https://web.uniroma1.it/dsdr/dipartimento_/pubblicazioni/disegnare-idee-immagini>).

I non pochi affezionati della versione cartacea potranno comunque continuare ad acquistarla attraverso i normali canali commerciali e a consultarla secondo i precedenti criteri di distribuzione. Il fatto che si intenda continuare a offrire questa opportunità di consultazione della versione cartacea, oggi divenuta forse e almeno apparentemente di nicchia, non deve tuttavia stupire poiché non possiamo ignorare quanto sia tuttora rilevante da un lato lo stabilire un rapporto che integri la percezione visiva attraverso un contatto multisensoriale con la rivista in quanto oggetto, dall'altro la possibilità di scorrere, accostare, confrontare i contenuti delle varie pagine secondo una modalità che il monitor ancora non consente.

D'altronde, se è vero che la transizione digitale riguarda oggi le immagini innanzi tutto, è altrettanto vero che resta fondamentale mantenere il forte legame esistente tra una pubblicazione che si occupa di rappresentazione e la delicata questione della qualità di stampa dei materiali grafici. Su questo punto *Disegnare* continuerà a porsi l'obiettivo non solo di mantenere l'attuale standard ma di continuare a migliorarlo come fatto finora.

Molto è stato fatto anche sul piano dei puri contenuti ovviamente, tanto che potremmo dire che da questo numero *Disegnare* acquista una dimensione "aumentata". Abbiamo infatti offerto la possibilità agli autori di superare i limiti dimensionali e tipologici imposti dalla stampa, consentendo di accompagnare i propri testi con immagini di dimensione e risoluzione arbitraria, animazioni, filmati, modelli 3D esplorabili *real-time* e qualunque altro contenuto digitale sia opportuno inserire al fine di meglio illustrare il proprio lavoro. Tutto questo mantenendo il formato pdf che ormai rappresenta lo standard più comune in campo editoriale.

Vediamo dunque cosa cambia per gli autori. Per quanto riguarda i materiali che devono essere consegnati alla redazione non cambia molto rispetto alla prassi precedente, a meno di una mag-

giore libertà nella selezione ciò che può essere condiviso per la versione digitale “aumentata”. Ovviamente, sarà possibile fornire tutti i link opportuni, quali collegamenti a siti Internet, accesso diretto a materiali bibliografici, iconografici o documentali offerti a disposizione sul web, etc. Non ci saranno cambiamenti per quanto riguarda l’iter editoriale in relazione alle fasi di valutazione (si mantiene inalterato il processo di *double blind peer review*), revisione redazionale dei testi e messa a punto editoriale. Cambia invece qualcosa per quanto attiene alla traduzione in inglese degli articoli. Come è noto questo servizio è stato assicurato finora dalla rivista stessa con alti e riconosciuti livelli di qualità della versione inglese grazie al lavoro professionale e appassionato di Erika Young che collabora con la redazione fin dai primissimi anni. Questo rapporto continuerà, evidentemente, ma coinvolgerà solo alcune limitate sezioni della rivista. A ciascun autore sarà dunque richiesto (a partire dal numero 68) di provvedere autonomamente alla traduzione del proprio articolo o continuando a utilizzare le capacità di chi si è fin qui occupato di questa attività, oppure servendosi in ogni caso di un servizio professionale. Per una rivista che deve mantenere il *ranking* internazionale acquisito e che ha l’ambizione di migliorarlo attraverso la transizione alla versione digitale aumentata, la qualità dell’inglese non può che essere un vincolo irrinunciabile.

Lasciateci, infine, commentare brevemente anche i contenuti di questo numero per noi davvero speciale. Come i lettori noteranno gli articoli non sono sette come di consueto ma cinque. Si è trattato più che di una scelta editoriale di una fortunata contingenza che abbiamo tuttavia deciso di sfruttare per questa occasione particolare. Tutti gli articoli che troverete all’interno di questo numero della rivista hanno un respiro che sarebbe stato un peccato comprimere nello stretto contenitore delle abituali 16.000-20.000 battute. Inoltre, tutti contano su un apparato illustrativo che bene si sposa con la nuova impostazione della rivista. Infine, affrontano argomenti diversificati ma tutti di grande, profondo impatto sul complesso della disciplina che chiamiamo Disegno: come non interpretare questa coincidenza come un segno benaugurale per questa nostra nuova avventura? Anche questa piccola ma sensibile anomalia concorre a segnare una nuova fase nella vita di *Disegnare. Idee Immagini*.

Mario Dozzi, Carlo Bianchini

editorial

Disegnare. Idee Immagini 3.0

As announced in the editorial published in issue 65 of Disegnare. Idee Immagini, issue 66 represents a milestone of transformation or, to be precise, of evolution.

In brief. There are two reasons behind these changes: the need to improve the medium-term sustainability of the journal and 'retune' it with the world of scientific publications that are now almost all digital.

Clearly this is not a spur-of-the-moment decision. On the contrary, it is the result of a process which, not without its hiccups, we have been working on together for the last two years; the discussions were ostensibly technical, but in actual fact rest on profoundly cultural bedrock directly linked to the DNA of Disegnare.

On the one hand, the history and tradition of the journal, firmly linked to that of our disciplinary sector since the remote Spring of 1989 when a small group of ordinary professors of Drawing – Gaspare De Fiore, Maio Docci, Carlo Mezzetti, Cesare Cundari and a few others – met together at the Department of Representation and Survey (Sapienza University of Rome) to found the journal which – in synergy with the activities of the then very young Italian Union of Drawing (UID) – was to gather together the scientific studies performed by the teachers and scholars active in the field of Drawing in order to promote and disseminate them in Italy and abroad. Apart from the journal's mission, one of its main concerns – at that time and indeed also today – was 'primum vivere', in other words to successfully establish an overall framework that would ensure the sustainability of the initiative, at least in the medium term.

The meeting not only 'christened' Disegnare. Idee Immagini as a scientific journal, but also envisioned its status as a periodical owned by Sapienza University of Rome, and more specifically what was then the Department of Representation and Survey. The choice was a collective commitment, and we would be amiss if we did not give credit to the Departments of the University of Genoa and the Polytechnic University of the Marche for the support they provided for several years by buying a significant number of copies from the publisher Gangemi Editore in Rome, which continues to be responsible for the editorial part of Disegnare.

At the time, none of those who were present at the 'birth' of the journal would have betted on it lasting over thirty years. Nevertheless, the fact it gradually became a successful publication both in Italy and abroad – quite apart from the satisfaction it has understandably provided – became the most potent stimulus to ensure steady improvement in the quality of its editorial elements, graphics, colours, layout, and even the type of paper for printing. Over the years, the latter have become the characteristic signature style of Disegnare. Idee Immagini, together with its double English/Italian version and typical format. Of all the columns published in the journal, both we and our readers consider the one dedicated to the relationship between drawing and national and international architects, painters, designers, and artists to be the most appreciated; in fact it has been a fixture for many years.

However, in hindsight, the column entitled drawing has, in time, somehow become one of the load-bearing editorial elements, not only because it is the typical overture in each issue, but also due to its success amongst the authors. This is thanks to the prominent figures who have, over the years, decided to share their research trajectories in our journal, including: Franco Purini, Marco Petreschi, Manfredi Nicoletti, Mario Botta, Robert Venturi, Paolo Portoghesi, Berardo Dujovne, Aldo Loris Rossi, Joao Ferreira Nunes, Lucio Passarelli, Manfred Wedorn, Alberto Campo Baeza and Mario Bellini; the painters, Oscar Piattella, Massimo Scolari and Arduino Cantafora; and the designer, Mario Trimarchi.

On the one hand, history and tradition, as mentioned in our opening comments; on the other, however, a world which, compared to 1989, now appears to be almost unrecognisable as regards not only publishing, but also scientific communications.

The digital transition has, in fact, radically changed the paradigms with which information is conveyed and exchanged in the scientific field, but it has also triggered a groundbreaking dematerialisation of the supports on which this information rests. In other words, the articles are still articles, books are still books, but they are increasingly not made of paper and, apart from a

certain nostalgic yearning, this process is basically unstoppable and not negotiable: all we can do is acknowledge it.

The outcome of this revolution is that in 2023, the primum vivere now appears to be very different to what it was in 1989. Sustainability obviously continues to depend on adequate resources but, perhaps even more so, on maintaining the authoritativeness that Disegnare has earned in these almost thirty-five years. This is why we cannot pretend that the quantitative aspects regarding the real consultation and diffusion of the journal by scholars, its bibliometric indicators, and the ones concerning the citation of the articles, are unimportant. All these considerations led to the gestation process we mentioned earlier, a process which, for the first time, is visible in a more detailed form in this issue.

However, the time has come to illustrate the contents that readers will find in this issue 66 more comprehensively.

From a strictly editorial point of view, we chose to preserve, as far as possible, the consolidated graphic design of this long-standing journal. Same format, same Italian/English layout, same fonts, same number of pages. Double version, digital and printed, with an inversion, however, of the predominance of the former over the latter. In other words, while the current digital version is simply the pdf of the printed version, starting with this issue it should be considered a real editorial product, a product that cannot be 'also' enjoyed in paper form. This hierarchy is visible in the printed version by QR codes which will allow the reader to access, at any time, the original digital version complete with all the additional elements.

From the point of view of science and contents, we aim to take this new version of Disegnare. Idee Immagini to new heights, especially as regards accessibility. In fact, the journal is now completely Open Access. This means that its digital version – within the framework of a Creative Commons licence – is immediately and freely available in its entirety to readers who access the site dedicated to the journal Disegnare:

(<https://web.uniroma1.it/dsdraldipartimento/_pubblicazioni/disegnare-idee-immagini>).

Many of you who are fond of the paper version can continue to purchase it, using the normal commercial channels, and consult it based on the previous distribution criteria. Readers should not be surprised by the fact we intend to continue to provide them with this opportunity to consult the paper version (which, perhaps, or at least ostensibly, is now an interesting option for just a few readers), because we cannot ignore just how important it is, on the one hand, to establish a relationship integrating visual perception thanks to a multisensory contact with the journal as an object and, on the other, the possibility to flip through, match and compare the contents on the pages using a method unavailable on a monitor.

Furthermore, while it's true that today's digital transition primarily involves images, it is also true that it is important to maintain the strong link that exists between a publication focusing on representation and the delicate issue of the print quality of graphic materials. In this regard, Disegnare will continue to pursue a goal: not only to maintain its current standard, but to continue to improve it as it has done so far in the past.

Obviously, we have also worked hard on the contents, so much so that we can say that from this issue on, Disegnare now has an 'augmented' dimension. In fact, we have offered the authors the possibility to move beyond the dimensional and typological limits imposed by printing and allowed them to accompany their articles with images that have an arbitrary dimension and resolution, animations, videos, real-time 3D models, and any other digital content they wish to insert in order to provide a better illustration of their work. This option has been offered while maintain the pdf format that now represents the most common standard in the field of publishing.

Let's see what changes for the authors. There are very few changes in the method they have to use to submit their material to the editorial office, apart from the fact they are freer in their choice of what they want to share in the 'augmented' digital version. It will obviously be possible to provide all the necessary links, i.e., links to Internet sites, direct access to bibliographical, iconographical

or documentary material provided on the web, etc. There are no changes as regards the editorial assessment process (the double blind peer review remains in place), the review of the texts by the editorial staff, and the final editorial revision. Instead there are changes regarding the translation of the articles. Up to now the English versions of the articles have maintained a high and acknowledged level of quality thanks to the professional and impassioned translations provided by Erika Young who has worked with the journal from its very early days. This working relationship will naturally continue, but will be limited to certain sections of the journal. Each author will therefore be asked (starting from issue 68) to either provide his/her own translation of his/her article, or continue to use the expertise of the person who has translated the journal so far, or provide a translation by a professional. For a journal that has to maintain its international ranking, and intends to improve it by transitioning to an augmented digital version, the quality of the English translation is absolutely fundamental and crucial.

Let me finally comment briefly on the contents of this issue, which is so special for us. Readers will notice that there are five articles and not the usual seven. Rather than an editorial choice, it was a happy contingency which we decided to exploit on this occasion. All the articles in this issue of the journal focus on a topic which we believe would have been a shame to compress within the usual 16,000-20,000 characters. In addition, they are all accompanied by illustrations that were perfect for the new approach adopted by the journal. Finally, the articles also tackle subjects that were very diverse, but all have a huge, profound impact on the discipline we call Drawing: how could we not interpret this as an auspicious omen for our new adventure? Even this small, but noticeable anomaly marks a new phase in the life of Disegnare. Idee Immagini.

Mario Docci, Carlo Bianchini

Guendalina Salimei

Il segno e lo schizzo
The sign and the sketch
<https://cdn.gangemieditore.com/DOI/10.61020/11239247-202366-02.pdf>

«Il progetto di architettura si radica in un luogo. Assume e conferisce senso a un luogo. Assume le condizioni del luogo in cui si colloca, che siano le regole della costruzione urbana o i caratteri del paesaggio naturale.

[...] I luoghi, urbani o naturali, sono i luoghi dell'abitazione, nella cui forma riconosciamo noi stessi»

Antonio Monestiroli

(*La metopa e il triglifo. Nove lezioni di architettura*)

L'atto del riconoscimento è fondamentale e fondativo.

Riconoscersi nel luogo in cui si è chiamati a intervenire, riconoscersi all'interno della storia, riconoscere i propri maestri e riconoscersi come individuo chiamato a rispondere a delle esigenze collettive fuori dal sé, rappresentano i nodi da sciogliere per progredire nel nostro meraviglioso, seppur difficile, mestiere dell'architetto.

Lo strumento principale con cui questo riconoscimento si attua è il disegno primario, lo schizzo, che parla un proprio linguaggio che non è un sistema di principi normalmente accettabili perché portatore di contenuti e valori comuni, ma è interprete, attraverso

molteplici livelli di significato, di tutte le incertezze e complessità del progetto e del suo progettista. Lo schizzo ha una forte componente narrativa, è come un racconto, lavora su una narrazione aperta, non consequenziale, dove l'esperienza progettuale è in continua crescita, è differenziata, ha molteplici punti di osservazione e dove, anche il tempo – oltre che lo spazio – ha una dimensione relativa.

Lo schizzo, dunque, come mezzo essenziale dell'espressività, ovvero della capacità di conoscere l'"esterno" e proiettarvi il proprio "interno".

Come atto conoscitivo, ridisegnare sulla carta da lucido le forme dello spazio su cui devo intervenire, mi permette di "vedere" in esse geometrie latenti, strutture complesse unite in maniera non convenzionale da reinterpretare secondo caratteri espressivi a volte molto forti, talvolta anche simbolici. Al contrario, in alcuni casi, linee sovrapposte su aree naturali iniziano a dialogare in una sorta di atteggiamento contemplativo per il quale l'esistente viene convertito in qualcosa di fortemente astratto sui cui diventa liberatorio intervenire: lavorare in maniera sapiente

“An architectural project is rooted in a place. It assumes and confers meaning to a place.

It assumes the conditions of the place where it stands, whether they be the rules of urban construction or the features of the natural landscape.

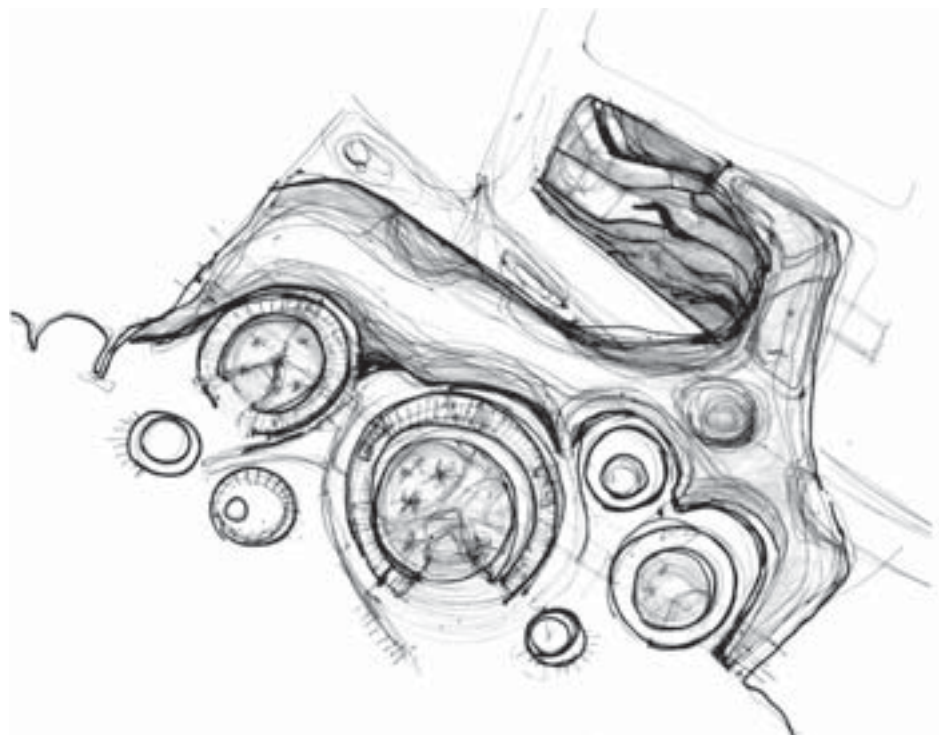
[...] Urban or natural places are places of dwelling, in whose form we recognise ourselves”.

Antonio Monestiroli

(*La metopa e il triglifo. Nove lezioni di architettura*)

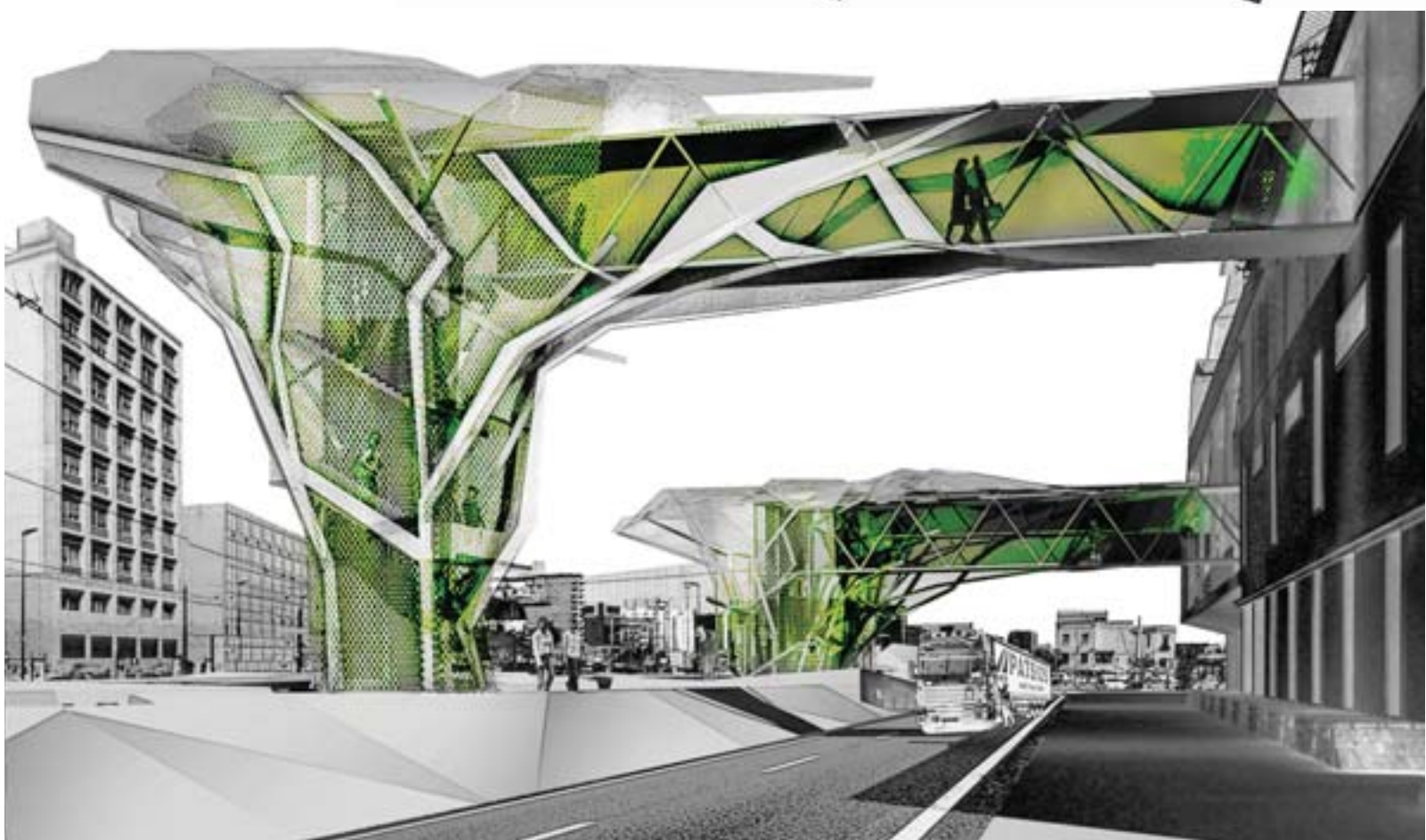
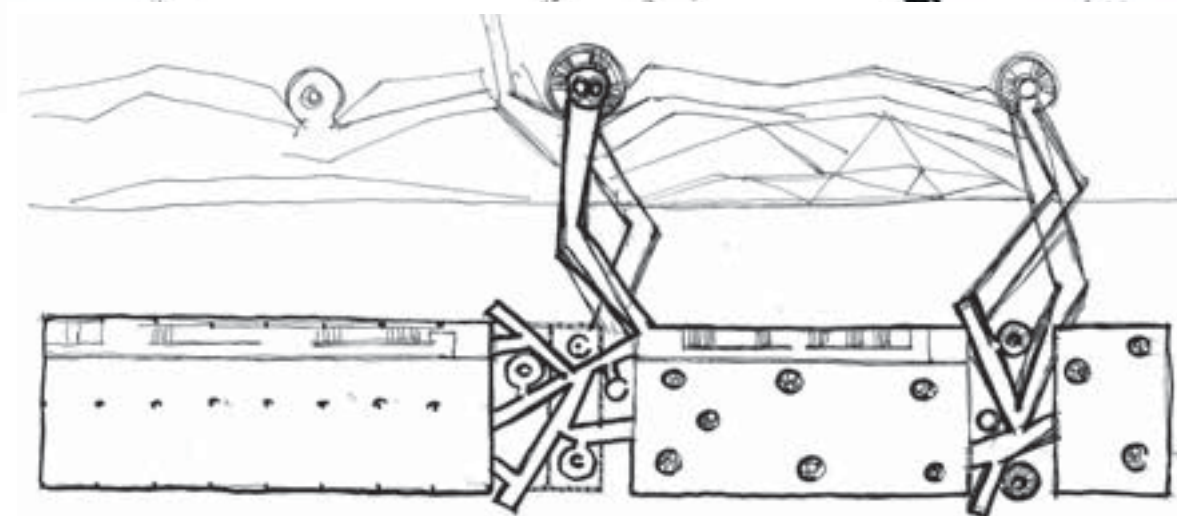
Recognition is a fundamental and foundational act.

If we are to progress in our wonderful, albeit difficult profession as architects we need to recognise ourselves in the place in which we are called to act, in its history, in our teachers, and in ourselves as individuals asked to respond to collective needs that are outside the self. The initial drawing – the sketch – is the main tool with which this recognition is implemented; a sketch speaks its own language; it is not a system of principles that are normally accepted because they bear common contents and values. By exploiting multiple levels of meaning a sketch is an interpretation of all the uncertainties and complexities of the design and its designer.



1/ *Pagina precedente.* Guendalina Salimei, complesso Multifunzionale a Jeddah in Arabia Saudita. Visualizzazioni tridimensionali; schizzo planimetrico, china su carta lucida.

Previous page. Guendalina Salimei, multifunctional complex in Jeddah (Saudi Arabia). Three-dimensional visualisations; planimetric sketch, China ink on tracing paper.



2/ Guendalina Salimei, riqualificazione del Waterfront Monumentale di Napoli. Dettaglio dell'Albero Tecnologico per l'area del Piliero; schizzi e pianta china su carta lucida; visualizzazione tridimensionale con grafica rieditata digitalmente.

Guendalina Salimei, requalification of the Monumental Waterfront in Naples. Detail of the Technological Tree for the Piliero area; sketches and plan, china ink on tracing paper; three-dimensional visualisation with digitally re-edited graphics.

3/ Guendalina Salimei, Campus dell'Università della Scienza e della Tecnologia (USTH) ad Hanoi in Vietnam. Visualizzazioni tridimensionali; schizzo planimetrico, pantoni e china su carta lucida.
Guendalina Salimei, Campus of the University of Science and Technology (USTH) in Hanoi (Vietnam). Three-dimensional visualisations; planimetric sketch, pantone colours and China ink on tracing paper.



con gli elementi naturali – bacini d’acqua, il bosco, la neve, gli alberi, la luce – significa usarli come materiali di progetto silenziosi e concisi, tesi a realizzare una sorta di “sacralità laica” con la quale bisogna equipaggiarsi prima di modificare qualsiasi luogo. A questi, si aggiungono le tracce del passato, le stratificazioni della storia, quelle scritte terrestri tracciate dal lavoro dell’uomo che compongono il nostro patrimonio culturale prima ancora che architettonico: il sedimento, il frammento, la rovina, l’impronta stessa di un’azione antropica diventano linee di forza e punti nodali intorno ai quali il progetto si costruisce, inglobando ogni elemento in un unico sistema che funziona come un organismo complesso e molteplice.

Attraverso la tracciatura di infinite linee sovrapposte, con lo schizzo si riesce a indagare la possibilità della modellazione del terreno portando alla diluizione, dissoluzione pure, della costruzione fino a identificarsi con esso, dando vita a un’architettura archetipica che si propone di svelare (o interpretare) un ordine esistente, una qualcosa che c’è già nel

codice genetico del luogo e che deve essere rivelato. Solo attraverso il disegno a mano libera si può praticare questo disvelamento, con un movimento continuo di andare e tornare come si farebbe per levigare una superficie scabra, un’azione artigiana, antica, ancestrale. Per questo motivo, in larga parte i miei disegni sono realizzati con i pennarelli: ciò che conta è la possibilità, in questo momento, di plasmare lo spazio e la forza della figuratività risiede nell’inesattezza, nell’errore, nell’idea che si manifesta nella sua corporeità imprecisa del pensiero senza la tecnica.

Negli schizzi, così come nei progetti, è impossibile prescindere dal colore verde, l’elemento naturale. Prendere in prestito forme naturali per interpretare nelle architetture forme complesse, spesso inedite, particolari e affascinanti si alterna alla possibilità dell’architettura di rinunciare alla propria impalcatura per identificarsi con frammenti di paesaggio in un continuo andirivieni fra dentro e fuori, sopra e sotto, naturale e artificiale. Alcuni colori sono reali, altri sono accesi e fluorescenti per

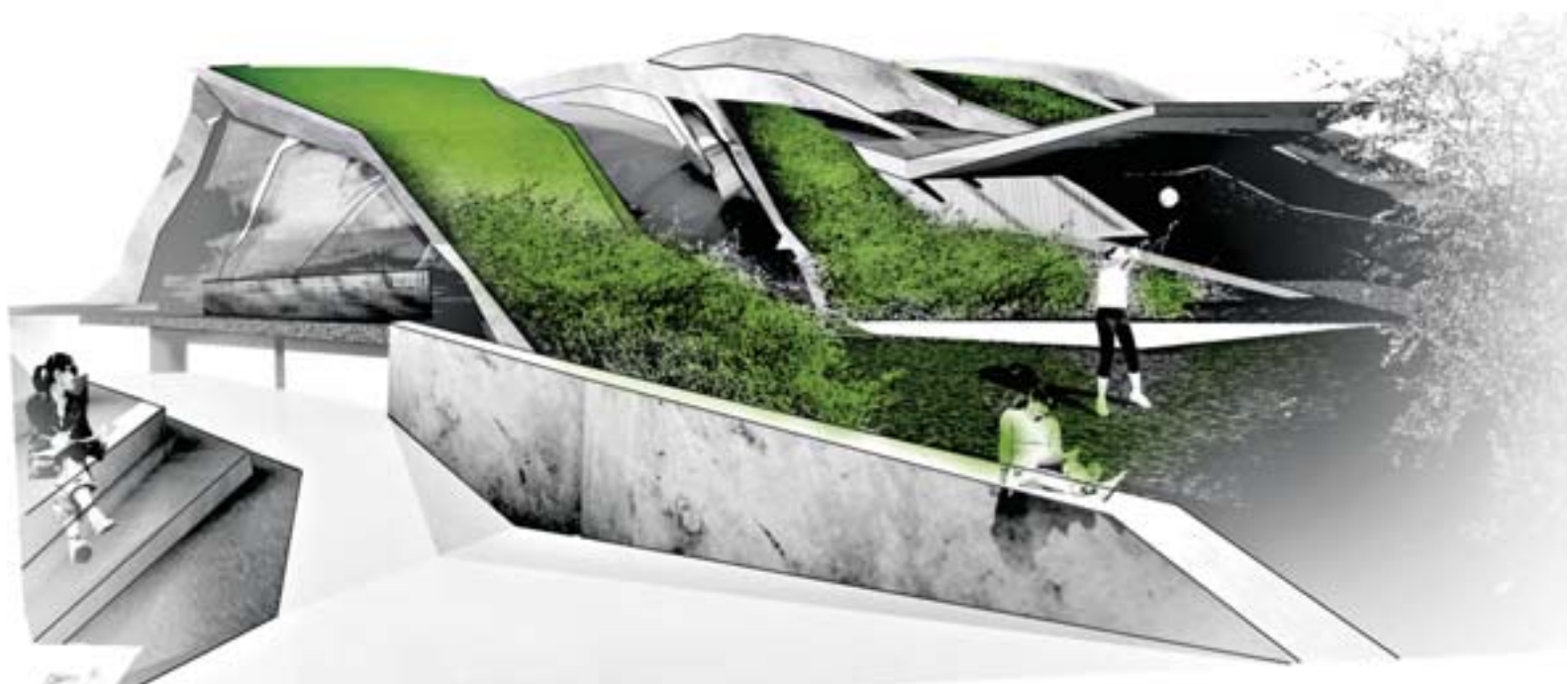
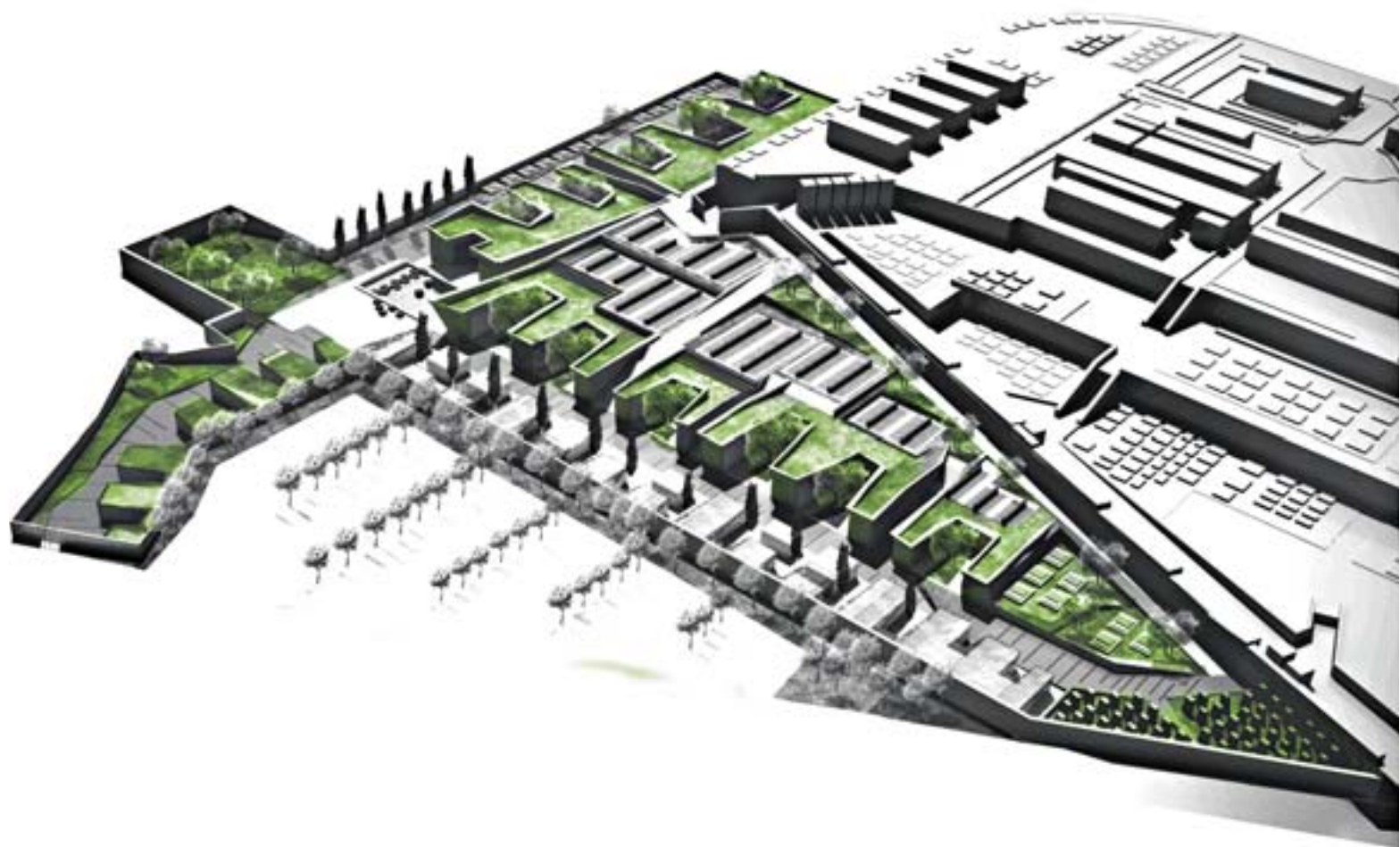
A sketch has a strong narrative component, like a novel; it works on an open and non-consequential narration in which the design experience steadily grows and evolves; this experience is differentiated and has multiple observation points; it is something where time and space have a relative dimension. A sketch is, therefore, a crucial expressive tool, capable of understanding the ‘exterior’ and projecting one’s ‘interior’ into it. Redrawing on tracing paper the forms of the space where I am to intervene is a cognitive act that allows me to ‘see’ latent geometries, complex and unconventionally united structures to be reinterpreted using expressive features that are sometimes very strong, and at others also symbolic. On the contrary, in other cases, lines superimposed on natural areas begin to dialogue in a sort of contemplative manner, converting what exists into something very abstract and turning intervention into an extremely liberating act. Working carefully and wisely with natural elements – a pool of water, a wood, the snow, trees, and light – means using them as silent, concise design materials; the aim is to achieve a sort of ‘secular sacredness’ which we need to gain before we

4/ Guendalina Salimei, ampliamento del Cimitero Storico di Frascati, vista generale tridimensionale con grafica rieditata digitalmente.

Guendalina Salimei, enlargement of the Old Cemetery in Frascati, three-dimensional general view with digitally re-edited graphics.

5/ Guendalina Salimei, nuovo palazzetto dello sport a Lamezia Terme, visualizzazione tridimensionale con grafica rieditata digitalmente.

Guendalina Salimei, new sports centre in Lamezia Terme, three-dimensional visualisation with digitally re-edited graphics.



6/ Guendalina Salimei, quadro panottico di alcuni progetti
rappresentati con grafica rieditata digitalmente.
*Guendalina Salimei, panoptic images of several projects
represented using digitally re-edited graphics.*



7/ Guendalina Salimei, Dao Viet Eco-City ad Ha Long Bay, particolare del centro città "Testa del Drago". Schizzo planimetrico, pastelli e china su carta lucida, planimetria e visualizzazioni tridimensionali.
 Guendalina Salimei, Dao Viet Eco-City in Ha Long Bay, detail of the city centre 'Dragon's Head'. Planimetric sketch, pastels and China ink on tracing paper, plan and three-dimensional visualisations.

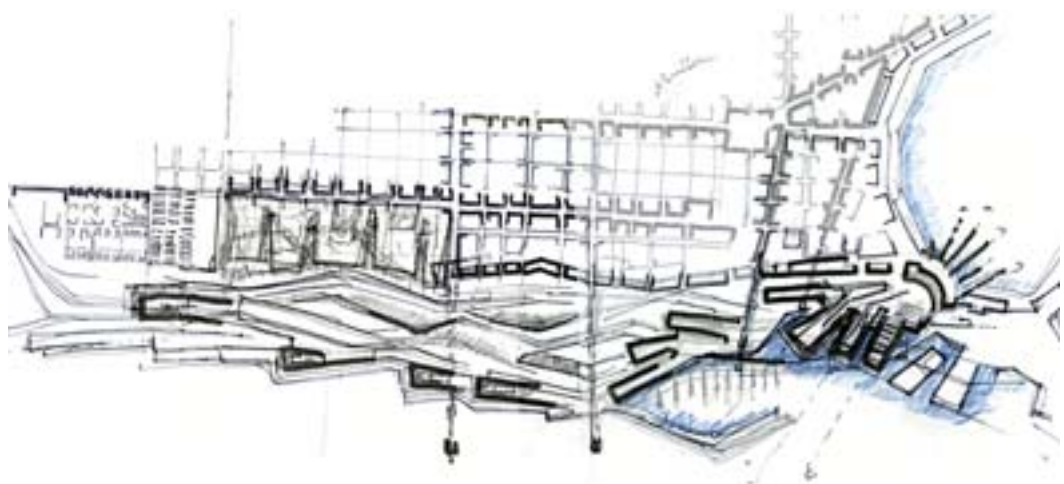


can modify a place. To these elements we must add the traces of the past, the stratifications of history, the terrestrial scripts made by the work of man's hands – traces that make up our cultural heritage and only afterwards our architectural heritage: the sediment, the fragment, the ruin, the footprint of an anthropic action, all elements that become lines of force and nodal points on which we can build the project, incorporating them into a single system that functions as a multiple, complex organism.

By drawing endless superimposed lines we can use the sketch to study the possibility of modelling the terrain; this leads to the dilution – pure dissolution – of the construction until we identify with it, thus creating an archetype architecture that aims to reveal (or interpret) an existing order, something that is already in the genetic code of the place and must be revealed. Only by using freehand drawing can we practice this revelation, with a continuous toing and froing, as if we wished to smooth and polish a rough surface by exploiting an ancient, ancestral artisanal action. This is why I use felt-tip pens for most of my drawings: what is important at that precise moment is to shape space; the force of the figurativeness lies in inaccuracy, in an error, in the idea that is revealed in the vague corporal nature of the thought, without exploiting a technique.

It is impossible not to use the colour green, the natural element, in sketches and designs. Borrowing natural forms to interpret the complex and often unusual, unique and fascinating forms present in architectures alternates with the possibility of architecture to relinquish its framework and identify with fragments of the landscape in a continuous back-and-forth between interior and exterior, above and below, natural and artificial. Some colours are real, others are brilliant and fluorescent in order to create a hierarchy. I use pantone colours: the thick line and dissonant tones allow me to draw attention to just one of the series of numerous 'linear reflections' that are superimposed on the sheet of paper. Pantones isolate and abstract one of the forms, making it predominant.

Sketches are crucial for the generative process of the design; thought becomes form through a series of sketches and, often, a sketch is enriched with information and measurements in order to draw closer to the design. This changes when we are



8/ *Pagina precedente, in basso.* Guendalina Salimei, Waterfront di Messina. Schizzo planimetrico pantoni e china su carta lucida, planimetria generale. Previous page, bottom. *Guendalina Salimei, the Messina Waterfront. Planimetric sketch, pantone colours and China ink on tracing paper, general plan.*

9/ Guendalina Salimei, Nuovo Centro Servizi al Molo San Cataldo di Taranto, visualizzazione tridimensionale con grafica rieditata digitalmente.

Guendalina Salimei, New Services Centre, San Cataldo Quay in Taranto, three-dimensional visualisation with digitally re-edited graphics.

determinare una gerarchia. Uso i pantoni: il tratto grosso e la tonalità dissonante mi permettono di focalizzare l'attenzione su una sola della serie di numerose "riflessioni lineari" che si sovrappongono sul foglio. Il pantone isola, astrae una tra le forme e la rende predominante.

Lo schizzo è fondamentale per il processo generativo del progetto; è attraverso una serie di schizzi che il pensiero si concretizza in forma e, spesso, lo schizzo si arricchisce di informazioni, di misure, per avvicinarsi al progetto. Questo si modifica quando ci si rapporta a un intervento di riuso, a un bene storico sul quale si deve agire: lo schizzo ha a che fare con una preesistenza dotata di una forza ed energia con cui è necessario relazionarsi per generare una nuova vita e nuovi significati.

La sovrapposizione di più strati racconta il processo generativo. Per questo lo schizzo per me è anche fondamentale per il progetto, è attraverso il movimento della mano che il pensiero si concretizza in forma e, sovente, i miei non sono schizzi pittorici, sono strumenti della ragione che sottomettono l'estetica alla loro funzione. Per questo, per un progetto ci sono vari schizzi che costituiscono un intero palinsesto di prove, soluzioni ma anche dubbi e alternative, un moto continuo del pensiero che non si compiace del segno, ma è alla costante ricerca della "verità".

Una volta effettuata questa serie arriva lo strumento tecnologico: gli schizzi sono scan-

sionati e diventano la base per quel processo di elaborazione del progetto con piante e sezioni che lo rende costruibile. In questo andare e venire della nascita del progetto tra schizzo e disegno tecnico, ha una grande importanza l'uso della sezione. La sezione è uno strumento chiave del progetto in grado di raccontare lo spazio e la relazione dello spazio con il paesaggio e con il territorio.

Dopo il disegno tecnico si passa alla modellazione tridimensionale, che "magicamente" rivela qualcosa che già era in nuce nello schizzo e rende l'idea di progetto costruibile e vera. Questo è il vantaggio di appartenere a una «generazione che ha vissuto con entusiasmo l'avvio del digitale vivendone le potenzialità non solo sul piano della semplice resa grafica», come afferma Vittoria Capitanucci [Maria Vittoria Capitanucci. I limiti come sfida progettuale. In *Confini sensibili/Sensitive limits*. Numero monografico di *Metamorfosi* 4, 2018, p. 16], ma anche rispetto alle infinite possibilità di lavoro sulla forma che permettono di interessare una fitta trama di intersezioni e sovrapposizioni semantiche e morfologiche.

«Sporcarsi le mani, entrare nel territorio, conoscere i luoghi nella loro complessità, nella loro bellezza, suggestione, difficoltà, realtà sistemi di relazioni e connessione» [ibid.] è il lavoro dell'architetto, il lavoro più bello e più difficile del mondo che ogni giorno si sceglie con fiducia nel futuro, nel progetto e nel suo disegno.

dealing with a reuse project, a historical asset on which we have to intervene: a sketch is imbued with a pre-existing situation whose force and energy we need to relate to if we wish to generate new life and new meanings.

The superimposition of multiple layers tells the story of the generative process. This is why I believe the sketch is crucial for the design; it is through the movement of the hand that thoughts materialise into forms; my sketches are often not pictorial sketches, but the tools of reason that subjugate aesthetics to their function. This is why the numerous sketches used for a design constitute an entire palimpsest not only of tests and solutions, but also doubts and alternatives, a continuous motion of thought that does not take delight in the sign, but constantly searches for the 'truth'.

Once the series has been created, the technological tool takes over: the sketches are scanned and become the basis of this process of elaboration of the design with plans and sections that make it buildable. The use of the section is extremely important in this to and fro of the birth of the design, from the sketch to the technical drawing. The section is the key tool of the design, capable of narrating not only space, but also the relationship of space with the landscape and territory.

*The technical drawing is followed by three-dimensional modelling; the latter 'magically' reveals what was already in nuce in the sketch, making the design idea real and buildable. This is the advantage of belonging to a "generation that enthusiastically lived through the start of the digital era, experiencing its potential, not only as regards simple graphic rendition" – as stated by Vittoria Capitanucci [Maria Vittoria Capitanucci. I limiti come sfida progettuale, in *Confini sensibili/Sensitive limits*. Monographic issue of *Metamorfosi* 4, 2018, p. 16] –, but also compared to the endless options of being able to work on form. These options make it possible to create a dense weave of intersections and semantic and morphological superimpositions.*

"The task of architects is to get their hands dirty, to enter into the territory, to understand the complexities of places, their beauty, charm, difficulties, realities, systems of relationships and connection" [ibid.]; it is the best and most difficult job in the world, a job we choose to do every day based on trust in the future, in the project, and in its design.





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*

<https://cdn.gangemeditore.com/DOI/10.61020/11239247-202366-03.pdf>

The fire that destroyed Notre-Dame de Paris in 2019 was a tragic moment in the history of the cathedral, and yet it also provided a unique opportunity to study the monument from several scientific perspectives. To achieve this goal the CNRS and the French Ministry of Culture set up a scientific worksite, mobilising 175 specialists in several disciplines; their objective was to perform a comprehensive analysis of the cathedral. Digitalisation was a key part of this project, chiefly in order to process multidimensional and interdisciplinary data, focusing primarily on traceability, the formalisation of knowledge models, and semantic annotation. The aim was to understand the nature of the scientific activities and the genesis of knowledge thanks to interaction between material objects and disciplinary analyses and the examination of the relationship between data and interpretation. The final objective was to create a digital ecosystem that would facilitate the collaborative construction of knowledge based on continually evolving scientific resources gravitating around a common denominator. This approach lies at the crossroads between scientific, methodological, and technological elements, combining recent progress achieved by humanistic digital sciences, heritage science, and computer science. This article illustrates the guiding principles behind this digital ecosystem and summarises the main initiatives undertaken to implement solutions for the collaborative management of resources. In addition, it highlights the production of crucial information relating to the multidisciplinary study of the cathedral based on a complex web of data collected before and after the fire. This ever-increasing, dynamic, digital archive lays the foundation for further studies on the cathedral and paves new methodological and technological paths for heritage science.

Keywords: heritage science, digital ecosystem, interdisciplinary approach, knowledge models.

In this age of digital transition, interaction between different disciplines is more important than ever before if our aim is to redefine the places and methods of collaboration and renew a shared understanding of the complexity of reality.¹ The term 'Heritage Science' encompasses a series of scientific studies, merging the academic world and cultural institutions. This field of research is characterised by its own nature which is fundamentally constructive from a social point of view [Pinch, Bijker 1984]; it covers a wide range of topics and is characterised by the increasingly predominant

L'incendio di Notre-Dame de Paris nel 2019 ha rappresentato un momento tragico nella storia della cattedrale, ma al contempo ha offerto un'opportunità unica di studio del monumento da diverse angolazioni scientifiche. A tal fine, il CNRS e il Ministero della Cultura francese hanno istituito un cantiere scientifico, mobilitando 175 specialisti di diverse discipline con l'intento di condurre un'analisi complessiva della cattedrale. Una componente chiave di questo progetto è la digitalizzazione, finalizzata principalmente all'elaborazione di dati multidimensionali e interdisciplinari, ponendo l'accento sulla tracciabilità, la formalizzazione dei modelli di conoscenza e l'annotazione semantica. Si mira a comprendere la natura delle attività scientifiche e la genesi della conoscenza attraverso l'interazione tra oggetti materiali e analisi disciplinari, esaminando la relazione tra dati e interpretazioni. L'obiettivo finale è creare un ecosistema digitale che favorisca la costruzione collaborativa di una conoscenza basata su risorse scientifiche in continua evoluzione che gravitano attorno a un denominatore comune. Questo approccio si colloca all'intersezione tra elementi scientifici, metodologici e tecnologici, intrecciando recenti progressi delle scienze digitali umanistiche, della scienza del patrimonio e dell'informatica. Questo articolo illustra i principi guida alla base dell'ecosistema digitale introdotto e riassume le principali iniziative intraprese per implementare soluzioni per la gestione collaborativa di risorse. Inoltre, evidenzia la produzione di informazioni essenziali relative allo studio pluridisciplinare della cattedrale, basandosi su un complesso intreccio di dati raccolti prima e dopo l'incendio. Questo archivio digitale, dinamico e in espansione, getta le fondamenta per ulteriori studi sulla cattedrale e apre nuove strade metodologiche e tecnologiche per la scienza del patrimonio.

Parole chiave: scienza del patrimonio, ecosistema digitale, interdisciplinarietà, modelli di conoscenza.

Nei tempi della transizione digitale, l'interazione di discipline diverse assume un'importanza senza precedenti per ridefinire i luoghi e i metodi della collaborazione e rinnovare una comprensione condivisa della complessità della realtà¹. Il termine "Scienza del patrimonio" abbraccia una vasta gamma di ricerche scientifiche, integrando sia l'ambito accademico sia quello delle istituzioni culturali. Questa sfera di ricerca è caratterizzata dalla sua natura fondamentalmente costruttiva dal punto di vista sociale [Pinch, Bijker 1984], copre un ampio spettro di tematiche ed è caratterizzata da un ruolo sempre più predominante della tecnologia. Osservate dal prisma dell'interdisciplinarietà, le sfide scientifiche di questo campo non si limitano alla dimensione fisica degli oggetti di studio, ma si estendono all'analisi dei complessi meccanismi di produzione della conoscenza. E per comprendere la ricerca in profondità è essenziale osservare la scienza in azione [Latour 1987].

Il cantiere scientifico per lo studio di Notre-Dame de Paris: un crogiolo per la ricerca interdisciplinare

L'incendio che ha devastato Notre-Dame de Paris il 15 aprile 2019 ha segnato indelebilmente non solo la storia della cattedrale, ma anche il sentimento comune dell'intero pianeta. Pur essendo una tragedia, questo incidente ha offerto una rara occasione scientifica di esplorare un monumento attraverso varie prospettive

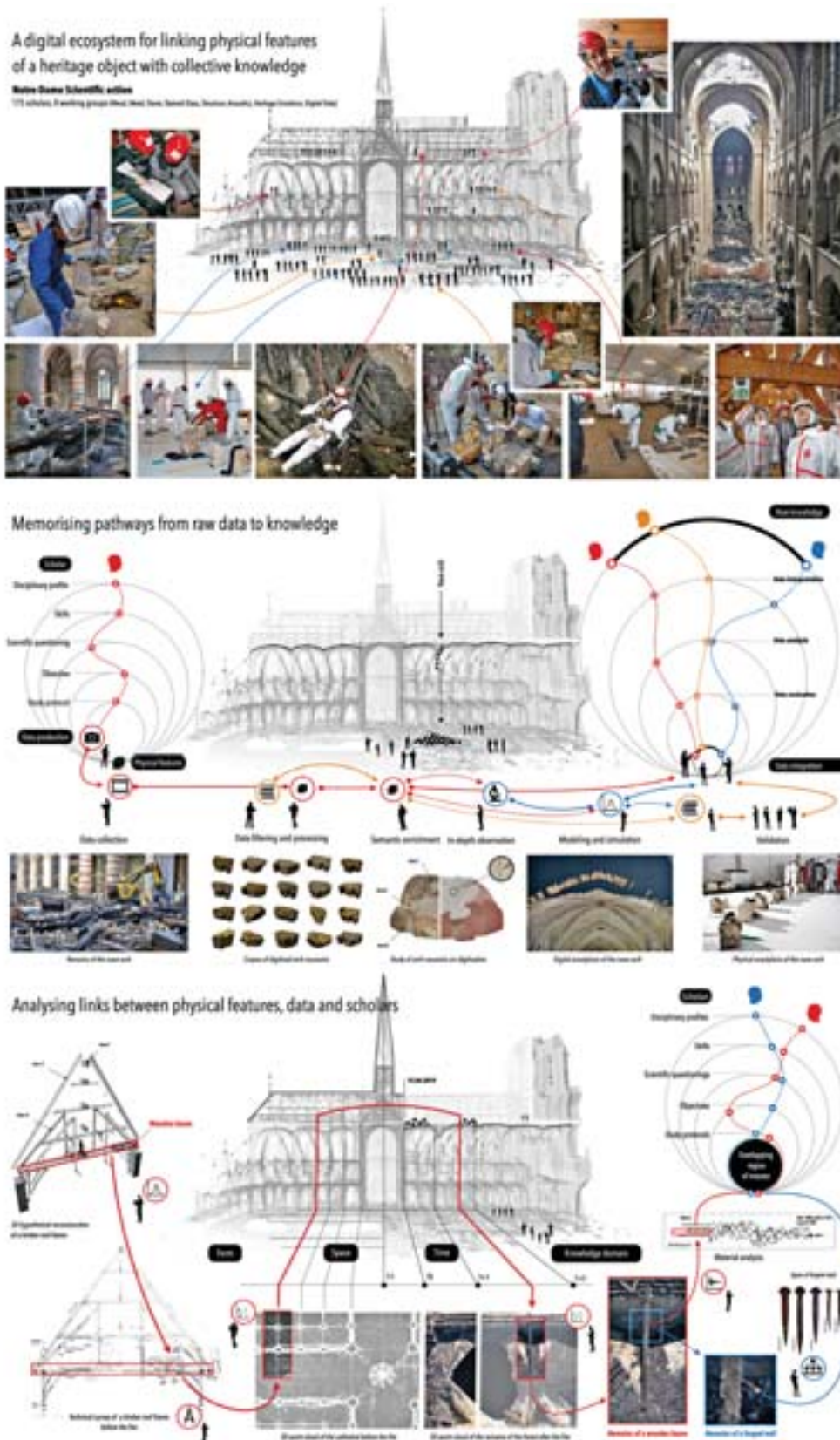
accademiche [Ball 2020]. Di fronte alle sfide poste dal restauro, è stato essenziale affrontare diversi ambiti di indagine. Innanzitutto era cruciale ristabilire le conoscenze sugli elementi architettonici e sui materiali esistenti prima dell'incendio. Poi, conservare e recuperare le informazioni scientifiche dagli elementi che avevano resistito alle fiamme. Tra gli altri aspetti vi era anche la sfida di integrare sistemi di modellazione per condurre indagini geometriche, strutturali e acustiche e, infine, studiare la reazione emotiva della società di fronte a una perdita patrimoniale così devastante.

Tutti questi obiettivi rappresentano le fondamenta del cantiere scientifico nazionale², una collaborazione che vede coinvolti 175 ricercatori di 50 unità, suddivisi in 9 gruppi tematici, dai materiali (pietra, legno, metallo, vetro) ai decori, dai comportamenti strutturali e acustici alle emozioni patrimoniali, fino alla digitalizzazione. Un interrogativo fondamentale modella il ruolo della dimensione digitale di questa iniziativa: come possono discipline diverse, ognuna dotata di una prospettiva e un linguaggio unici, unirsi per fornire un'analisi integrata di un unico oggetto?

Alla base della nostra ricerca vi sono tre pilastri chiave. Primo, la modellazione computazionale e la digitalizzazione possono rivelarsi strumenti essenziali nella costruzione di nuovi approcci interdisciplinari nella scienza del patrimonio. Secondo, i dati che si manipolano in questo campo sono multidimensionali,

1/ Schema generale dell'approccio scientifico e metodologico impiegato nella costruzione dell'ecosistema digitale.

General diagram showing the scientific and methodological approach used to create the digital ecosystem.



role of technology. If observed through an interdisciplinary lens, the scientific challenges in this field are not limited to the physical dimension of the study objects, but include the analysis of the complex mechanisms that produce knowledge. If we are to gain an in-depth understanding of research we must observe science in action [Latour 1987].

The scientific worksite for the study of Notre-Dame de Paris: a crucible for interdisciplinary research

The fire that destroyed Notre-Dame de Paris on 15 April 2019 has indelibly marked not only the history of the cathedral, but also the common sentiment of the whole world. Although it was a tragedy, the fire has provided us with a unique scientific opportunity to explore a monument from several academic perspectives [Ball 2020]. Faced with a challenging restoration, it was important we address several study areas. First we needed to re-establish our knowledge of the architectural elements and materials that existed before the fire. Then our task was to preserve and recover scientific data from the elements that had survived the flames. Other aspects included the challenge of integrating modelling systems in order to perform geometric, structural and acoustic studies. Finally, we had to study the emotional reaction of society faced with such a devastating loss of heritage.

All these objectives represent the fundamentals of the national scientific worksite,² a collaboration involving 175 researchers in 50 units, divided into 9 thematic groups focusing on materials (stone, wood, metal, glass), decorations, structural and acoustic behaviour, emotional heritage, and digitalisation. A key question shaped the role of the digital dimension of this initiative: how can we combine different disciplines, each with their own perspective and unique language, to provide an integrated analysis of a single object?

Our research rests on three key pillars: Firstly, computational modelling and digitalisation may reveal themselves to be crucial tools in the construction of new interdisciplinary approaches in heritage science. Secondly, the data processed in this field is multidimensional, highlighting

the complexity of the materials, forms and spaces, thus capable of generating unexpected synergies between the disciplines. Thirdly, when examining the data it may be possible to establish how knowledge is co-produced, differentiating it for each discipline, each research group, and even each individual, in the context of the collaboration project.

Digital transition in heritage science

In the last few years digital transformation has overwhelmingly permeated research methodologies. This evolution has not only provided new and vast data archives, but has also revolutionised the way we ask questions and perform research. However, while enthusiastically embracing this new era it is important we maintain a critical perspective. We need to ponder not only the incredible possibilities provided by digital data, but also understand and recognise the methodological limitations inherent in their generation in the scientific panorama. These considerations are at the heart of the debates that are ongoing in the field of digital humanities. As emphasised by David M. Berry, Anders Fagerjord [Berry, Fagerjord 2017], constructive criticism and the continuous revision of digital practices are essential in order to ensure that research is not simply focused on technological solutions, but also rooted in deep-seated humanistic comprehension.

Accelerated development in the digital field extends the contexts in which the analyses and interpretations are manifest, especially when we are confronted with a set of data produced by a collective effort. This intersection between humanism and technology creates a basis for careful, mindful research; bearing this in mind, Evgeny Morozov [Morozov 2013] emphasises the importance of producing 'common digital assets' in a sustainable and informed manner.

Data and knowledge to explore the complexity of reality

The main objective of our project was to create an innovative field of study, a domain steeped in multidisciplinary and multidimensional digital data specifically in order to decipher the mechanisms that generate knowledge

mettendo in luce la complessità dei materiali, delle forme e degli spazi, potendo anche generare sinergie inaspettate tra le discipline. Terzo, esaminando questi dati è probabilmente possibile delineare come viene co-prodotta la conoscenza, differenziando per disciplina, gruppo di ricerca e persino singolo individuo, nel contesto della collaborazione.

La transizione digitale nelle scienze del patrimonio

La trasformazione digitale ha permeato profondamente le metodologie di ricerca negli ultimi anni. Questa evoluzione ha non solo fornito nuovi e vasti archivi di dati, ma ha anche catalizzato una rivoluzione nelle interrogazioni e nelle modalità di indagine. Tuttavia, nell'abbraccio entusiastico di questa nuova era è imperativo mantenere una prospettiva critica. Bisogna ponderare non solo le enormi possibilità offerte dai dati digitali ma anche comprendere e riconoscere le limitazioni metodologiche insite nella loro generazione nel panorama scientifico. Tali riflessioni si ritrovano al cuore dei dibattiti nell'ambito delle *digital humanities*. Come sottolineato da David M. Berry, Anders Fagerjord [Berry, Fagerjord 2017], la critica costruttiva e la revisione continua delle pratiche digitali sono essenziali per garantire che la ricerca non sia semplicemente orientata alle soluzioni tecnologiche, ma sia anche radicata in una comprensione umanistica profonda.

Gli sviluppi accelerati nel campo digitale amplificano i contesti in cui le analisi e le interpretazioni si manifestano, specialmente quando ci confrontiamo con un corpus di dati che emerge da un'effort collettivo. Questa intersezione tra l'umanesimo e la tecnologia pone le basi per una pratica di ricerca consapevole e attenta, e in tale prospettiva Evgeny Morozov [Morozov 2013] enfatizza l'importanza di produrre "beni comuni digitali" in modo sostenibile e informato.

Dati e conoscenze per esplorare la complessità della realtà

L'obiettivo principale del nostro progetto è l'istituzione di un ambito di studio innovativo, un dominio intriso di dati digitali che sono sia multidisciplinari sia multidimensionali, rivolto specificamente verso la decifra-

zione dei meccanismi di generazione della conoscenza nelle scienze del patrimonio. Per ancorare quest'ambizione al panorama scientifico attuale, è essenziale amalgamare diversi *challenges* emersi negli ultimi anni.

Una delle sfide preponderanti riguarda la tracciabilità e l'interoperabilità dei dati digitali. In un contesto in cui questi dati sono modellati da determinate limitazioni strumentali e processi cognitivi, è vitale che ogni passaggio della loro produzione sia accessibile e comprensibile [Doerr et al. 2010; Meghini et al. 2017; Dudek, Blaise 2017]. Un ulteriore ostacolo è rappresentato dalla necessità di formalizzare modelli di conoscenza [Gruber 1995]. Questo obiettivo può essere raggiunto esclusivamente attraverso l'osservazione e l'analisi delle prassi adottate dai diversi ambiti disciplinari, in particolare nel campo del patrimonio culturale [Doerr 2005]. I recenti progressi hanno portato all'implementazione di database basati su grafi, che consentono una navigazione agevole e interrelata dei dati [Phillips et al. 2016; Oldman, Tanase 2018]. Invece di limitarsi a raffigurare i dati come semplici "entità digitali", una componente cruciale del nostro approccio è dedicata a enfatizzare le informazioni che trasmettono. Questo viene realizzato mediante tecniche di annotazione semantica, le quali consentono di incorporare e integrare frammenti di conoscenza nelle risorse digitali.

L'acquisizione 3D, specialmente la ricostruzione 3D basata sulla realtà [Manfredini, Remondino 2012; McCarthy 2014], ha guadagnato un ruolo centrale nelle moderne pratiche di digitalizzazione del patrimonio.

L'emergere di metodi capaci di produrre rappresentazioni 3D e 4D ha innescato una serie di questioni inedite relative alla gestione di enormi volumi di dati, al loro arricchimento semantico e alla loro categorizzazione automatica [Doulamis et al. 2018; Fiorucci et al. 2020]. Questi strumenti hanno dimostrato la loro efficacia non solo in termini di indici per oggetti multimediali [Tangelder, Veltkamp 2004], ma anche nel contesto del patrimonio culturale [Koller, Frischer, Humphreys 2009]. Il contributo in questo settore del laboratorio MAP del CNRS ha esplorato la congiunzione di questi temi, specialmente

attraverso tecniche per la strutturazione semantica di rappresentazioni 2D, 3D e 4D. Questo sforzo è culminato con la creazione della piattaforma Aïoli per l'annotazione semantica collaborativa [Abergel et al. 2023], che rappresenta una pietra miliare nell'ambito dell'ecosistema digitale costruito per lo studio di Notre-Dame de Paris.

Da un'analisi dello stato dell'arte scientifico e tecnologico, diverse sfide emergono con chiarezza. La produzione massiva di risorse digitali, pur impressionante, evidenzia una lacuna semantica: esiste un imperativo bisogno di metodi che imbevano questi dati di significato in una prospettiva multidisciplinare. L'applicazione dell'ingegneria della conoscenza, benché promettente, si scontra con una lacuna di memoria nel patrimonio culturale. L'ambiente è intrinsecamente complicato, ricolmo di decisioni soggettive, protocolli non uniformi e competenze ultra-specialistiche [Baca 2003; Dudek, Blaise, 2017]. Questa complessità è ulteriormente amplificata dalla necessità di correlare osservazioni multitematiche in rappresentazioni 3D/4D, una sfida che rimane irrisolta. Infine, nonostante disponiamo di strumenti avanzati come l'annotazione 3D [Ponchio et al. 2020] e l'analisi di immagini [Maiwald et al. 2017; Muehlberger et al. 2019], la vera sfida risiede nell'integrarli armoniosamente, cercando un equilibrio tra l'interpretazione umana e le capacità computazionali.

Un ecosistema digitale

La dimensione socio-tecnologica del nostro approccio, ispirata alla nozione di ecosistema [Briscoe, De Wilde 2006; Uden, Wangsa, Damiani 2007], trascende la digitalizzazione tradizionale, concentrandosi sulla comprensione dei processi di produzione dei dati anziché sulla loro mera rappresentazione. Ciò si concretizza unendo la rappresentazione digitale di un oggetto patrimoniale, come per la nozione di gemello digitale [Minerva, Lee, Crespi 2020; Juarez, Botti, Giret 2021], alla rappresentazione delle conoscenze accumulate intorno ad esso, ispirandosi agli approcci della geografia delle conoscenze scientifiche [Livingstone 2003].

Nel tentativo di esaminare come la conoscenza è costruita, il nostro approccio riformula il

potenziale di metodi come la mappatura profonda [Maher 2014; Bodenhamer, Corrigan, Harris 2021] per connettere i dati a interpretazioni e categorizzazioni poliedriche. Esplora inoltre la complessa interazione tra gli oggetti e le comunità di ricerca attraverso un metodo di arricchimento dei dati che non si limita ai metadati convenzionali, ma registra anche le attività e le evoluzioni dei ricercatori dalla fase iniziale di studio alla produzione di nuova conoscenza. Un altro aspetto chiave è l'introduzione e la sperimentazione di un motore di correlazione multidimensionale, un meccanismo capace di amplificare ed evidenziare innumerevoli intersezioni tra dati e annotazioni, rivelando le convergenze tra gli sguardi che si orientano su comuni zone di interesse di un determinato oggetto patrimoniale.

L'obiettivo finale è formare un ecosistema digitale che promuova una conoscenza collettiva [Gruber 2008], co-costruita su di nuova generazione di risorse scientifiche. Attraverso questo approccio sperimentale non soltanto sarà possibile studiare dei nodi tematici comuni tra le diverse discipline, ma verranno anche create nuove prospettive per l'analisi dei dati su materiali, oggetti e fenomeni.

L'approccio (fig. 1) si articola sull'intreccio di elementi scientifici, metodologici e tecnologici, al crocevia tra scienze digitali umanistiche, scienza del patrimonio e informatica.

Scientificamente, il progetto utilizza meccanismi di correlazione per gestire e analizzare vasti set di dati. Ciò avviene focalizzandosi su quattro pilastri: la spazializzazione delle risorse, l'annotazione e classificazione delle caratteristiche, il monitoraggio delle attività e l'analisi delle sovrapposizioni tematiche legate a diverse discipline.

Dal punto di vista metodologico, si analizzano e conservano le attività legate all'oggetto di studio, evidenziando le traiettorie seguite dai vari esperti nella gestione e interconnessione dei dati. Questo passo mira a comprendere la specificità della conoscenza mobilizzata da ogni disciplina (o gruppo di lavoro) e come questa interagisce con le caratteristiche degli oggetti in esame.

Tecnologicamente, il progetto punta allo sviluppo di una piattaforma digitale aperta. Questo comprende uno strumentario per la

regarding heritage science. To anchor this ambitious goal to the current scientific panorama, we must amalgamate several different challenges that have emerged in the last few years.

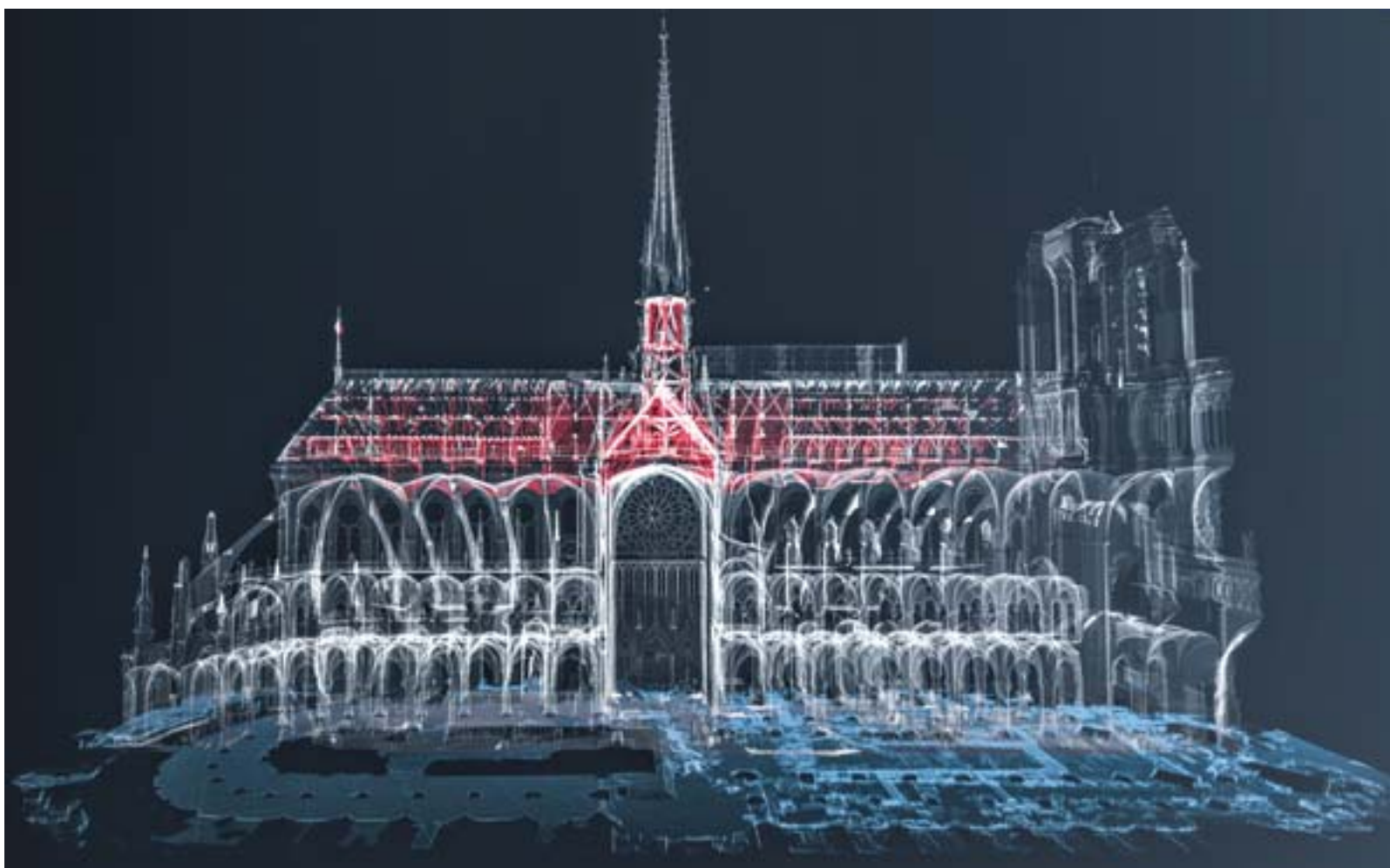
One of the major challenges involves the traceability and interoperability of digital data. In a context in which this data is modelled by certain instrumental limitations and cognitive processes, it is crucial that each step in their production be accessible and comprehensible [Doerr et al. 2010; Maghini et al. 2017; Dudek, Blaise 2017]. Another obstacle is the need to formalise knowledge models [Gruber 1995]. This can be achieved only by observing and analysing the procedures used by different disciplinary fields, especially in the field of cultural heritage [Doerr 2005]. Recent progress has led to the implementation of databases based on graphs that provide effortless and interrelated data navigation [Phillips et al. 2016; Oldman, Tanase 2018]. Instead of just depicting data as simple 'digital entities', a crucial component of our approach is dedicated to emphasising the information they convey. This is achieved by using semantic annotation techniques that make it possible to incorporate and integrate fragments of knowledge into digital resources.

Three-dimensional acquisition, especially 3D reconstruction based on reality [Manfredini, Remondino 2012; McCarthy 2014], now plays a key role in modern heritage digitalisation.

The creation of methods capable of producing 3D and 4D representations had raised a series of novel questions relating to the management of an enormous volume of data, its semantic enrichment, and automatic categorisation [Doulamis et al. 2018; Fiorucci et al. 2020]. These tools have shown themselves to be efficient not only in terms of indexes for multimedia objects [Tangelder, Veltkamp 2004], but also in the context of cultural heritage [Koller, Frischer, Humphreys 2009]. In this sector, the focus of the contribution by the MAP laboratory of the CNRS was to explore how to combine these topics, in particular by using techniques for the semantic structuring of 2D, 3D and 4D representations. The end result of this effort was the creation of the Aïoli platform for

2/ Esempio di risorse digitali tridimensionali ottenuto dall'integrazione di nuvole di punti (acquisite tramite lasergrammetria e fotogrammetria), che rappresenta lo stato della cattedrale prima e dopo l'incendio del 2019.

Example of three-dimensional digital resources obtained by integrating points clouds (acquired using lasergrammetry and photogrammetry); the image represents the state of the cathedral before and after the fire in 2019.



collaborative semantic annotation [Abergel et al. 2023], which represents a milestone in the field of the digital ecosystem created to study Notre-Dame de Paris.

An analysis of the scientific and technological state of the art clearly reveals several challenges. Although the massive production of digital resources is staggering, it also exposes a semantic weakness: there is an overriding need for methods that assign a meaning to this data based on a multidisciplinary perspective. The application of knowledge engineering is indeed promising, but it clashes with a memory gap in cultural heritage. The environment is intrinsically complicated, packed with subjective decisions, non-uniform protocols, and ultra-specialist skills [Baca 2003; Dudek, Blaise 2017].

gestione guidata di risorse digitali e un motore autonomo per il continuo arricchimento e correlazione del corpus di dati, che considera attributi come forma, spazio e tempo.

Interconnettere dati, tecnologie, metodologie e profili disciplinari

Dopo aver delineato gli obiettivi e la struttura del nostro progetto, è essenziale sottolineare come questi elementi teorici si siano tradotti in pratica. Nel corso di quattro anni intensi e stimolanti, il nostro team non si è solamente impegnato a integrare tecnologie e metodologie innovative, ma ha anche lavorato incessantemente per costruire e consolidare collaborazioni interdisciplinari. Questa sinergia tra tecnologia, metodologia e collaborazione ha rappresentato il cuore pulsante delle no-

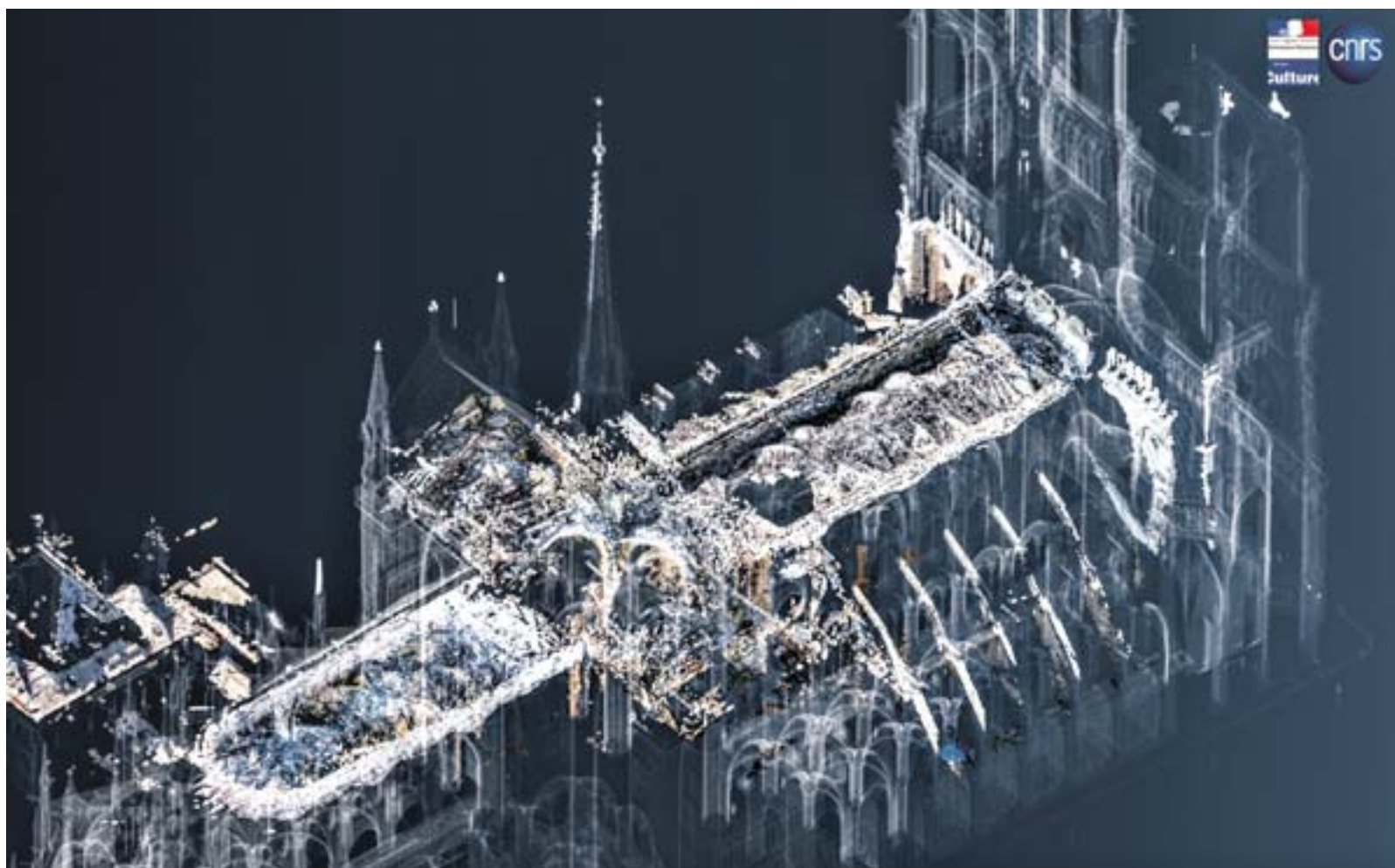
stre attività e l'interazione con l'EPRNDP³, gli ACMH⁴, la DRAC-SRA⁵, l'LRMH⁶ e il C2RMF⁷ ci ha offerto l'opportunità di progettare un quadro operativo specifico, garantendo che ogni iniziativa o sotto-azione fosse in sintonia con gli obiettivi generali dello studio scientifico collettivo e con alcune problematiche del cantiere di restauro.

Una piattaforma per la centralizzazione e l'uso collaborativo di dati

A fronte dell'ampiezza del team coinvolto nell'intero cantiere scientifico, l'esigenza di avere una piattaforma centrale per la gestione dei dati era palpabile sin da subito. La prima sfida è stata definire un piano che potesse adattarsi alle diverse necessità e metodologie di ricerca, ma anche strutturare il ciclo di vita

3/ Esempio di risorse digitali tridimensionali ottenuto dall'integrazione di nuvole di punti (acquisite tramite lasergrammetria e fotogrammetria), che rappresenta lo stato della cattedrale prima e dopo l'incendio del 2019.

Example of three-dimensional digital resources obtained by integrating points clouds (acquired using lasergrammetry and photogrammetry); the image represents the state of the cathedral before and after the fire in 2019.



dei dati e i protocolli di produzione. Questo ha significato considerare diversi aspetti. Abbiamo dovuto definire protocolli specifici per la produzione di dati, confrontare e chiarire le differenti procedure dei vari gruppi, identificare le fasi chiave nel ciclo di vita dei dati e, infine, adattare o sviluppare una strumentazione su misura. Unendo tecnologia ed esperienza umana, la piattaforma facilita la creazione, integrazione, condivisione e analisi di ampi dati scientifici sullo studio post-incendio multidisciplinare della cattedrale. Questo approccio stratificato include la costruzione di una comunità per lo studio collaborativo, strumenti digitali su misura per diversi profili, approcci di strutturazione dei dati per gestire caratteristiche multidimensionali degli oggetti materiali, e flussi di lavoro

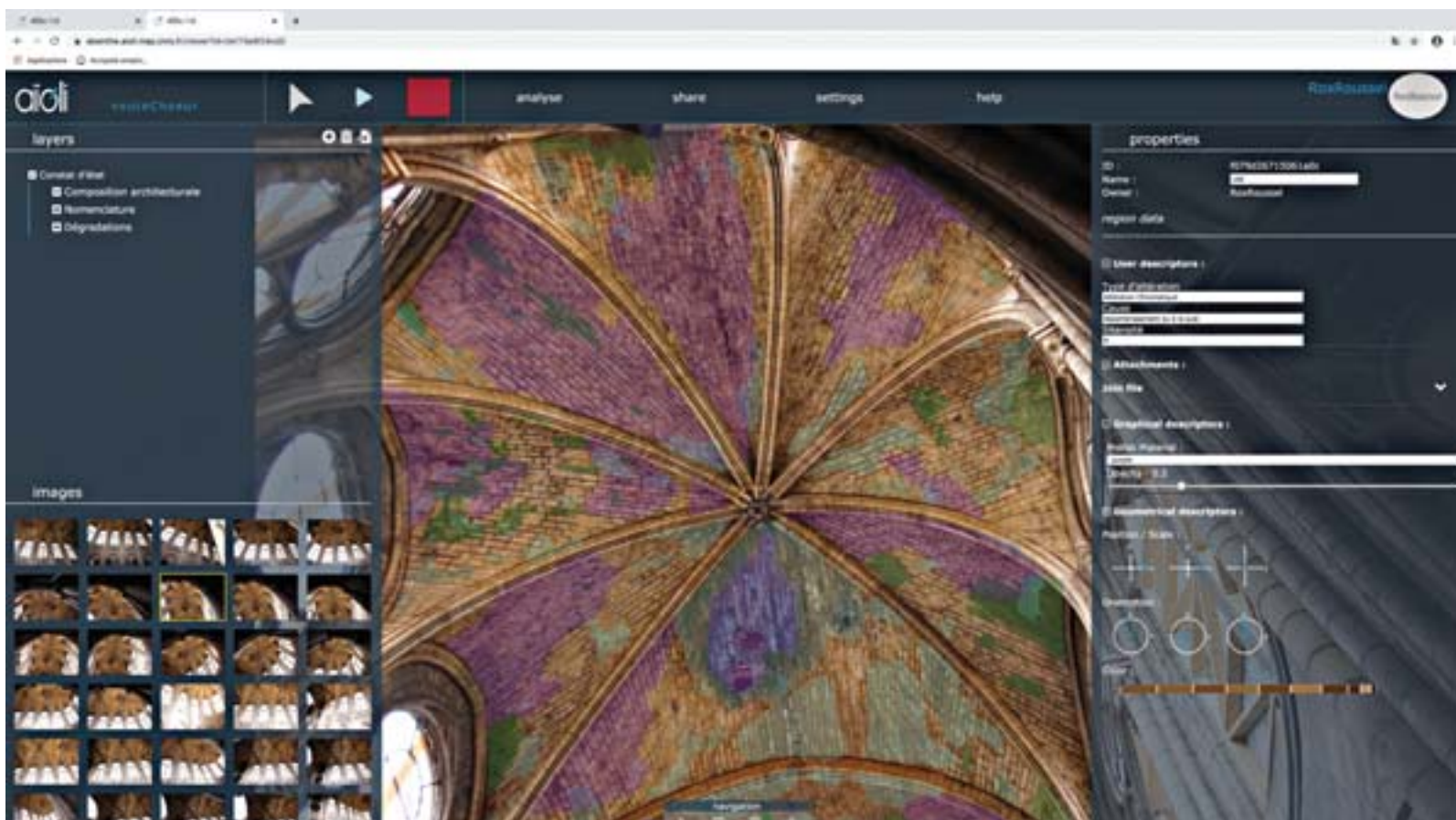
basati sull'esperienza per documentare, categorizzare e arricchire semanticamente i dati. La nostra piattaforma digitale include un insieme di strumenti progettati per (o adattati a) gli attori coinvolti nel progetto scientifico di Notre-Dame. Questo kit di strumenti supporta funzioni come l'ingestione dei dati (Esmeralda), l'indicizzazione dei contenuti (ArcheoGRID⁸), la strutturazione del thesaurus (Opentheso⁹), l'esplorazione interattiva 3D dei resti archeologici (3DHOP¹⁰), l'annotazione 3D basata su immagini di scene architettoniche (Aïoli¹¹) e l'esplorazione multimodale del corpus di dati su scala architettonica (NDP 3D Viewer). Già dal gennaio 2021, tutti gli strumenti e dati sono stati messi a disposizione dei membri dell'iniziativa scientifica, con un crescente numero di

This complexity is further amplified by the need to correlate multi-thematic observations in 3D/4D representations, a challenge that remains unsolved. Finally, despite the fact we have at our disposal advanced tools such as 3D annotation [Ponchio et al. 2020] and image analysis [Maiwald et al. 2017; Muehlberger et al. 2019], the real challenge lies in harmoniously integrating them, while searching for a balance between our human interpretation and computational skills.

A digital ecosystem

The socio-technological dimension of our approach, inspired by the ecosystem concept [Briscoe, De Wilde 2006; Uden, Wangsa, Damiani 2007], transcends traditional digitalisation and instead focuses on

4/ Annotazioni bidimensionali e tridimensionali delle alterazioni rilevate mediante la piattaforma Aioli. *Two-dimensional and three-dimensional annotations of the alterations identified using the Aioli platform.*



understanding data production processes rather than merely their representation. It is achieved by uniting the digital representation of a heritage object, as per the digital twin concept [Minerva, Lee, Crespi 2020; Juarez, Botti, Giret 2021], to the representation of knowledge accumulated around it; this was inspired by approaches to the geography of scientific knowledge [Livingstone 2003]. In an attempt to examine how knowledge is created, our approach reformulates the potential of methods such as deep mapping [Maher 2014; Bodenhamer, Corrigan, Harris 2021] in order to link data to multifaceted interpretations and categorisations. It also explores the complex interaction between objects and the research communities by enriching data which is not limited to conventional metadata, but also records the activities and evolutions of the researchers from the initial study phase to the production

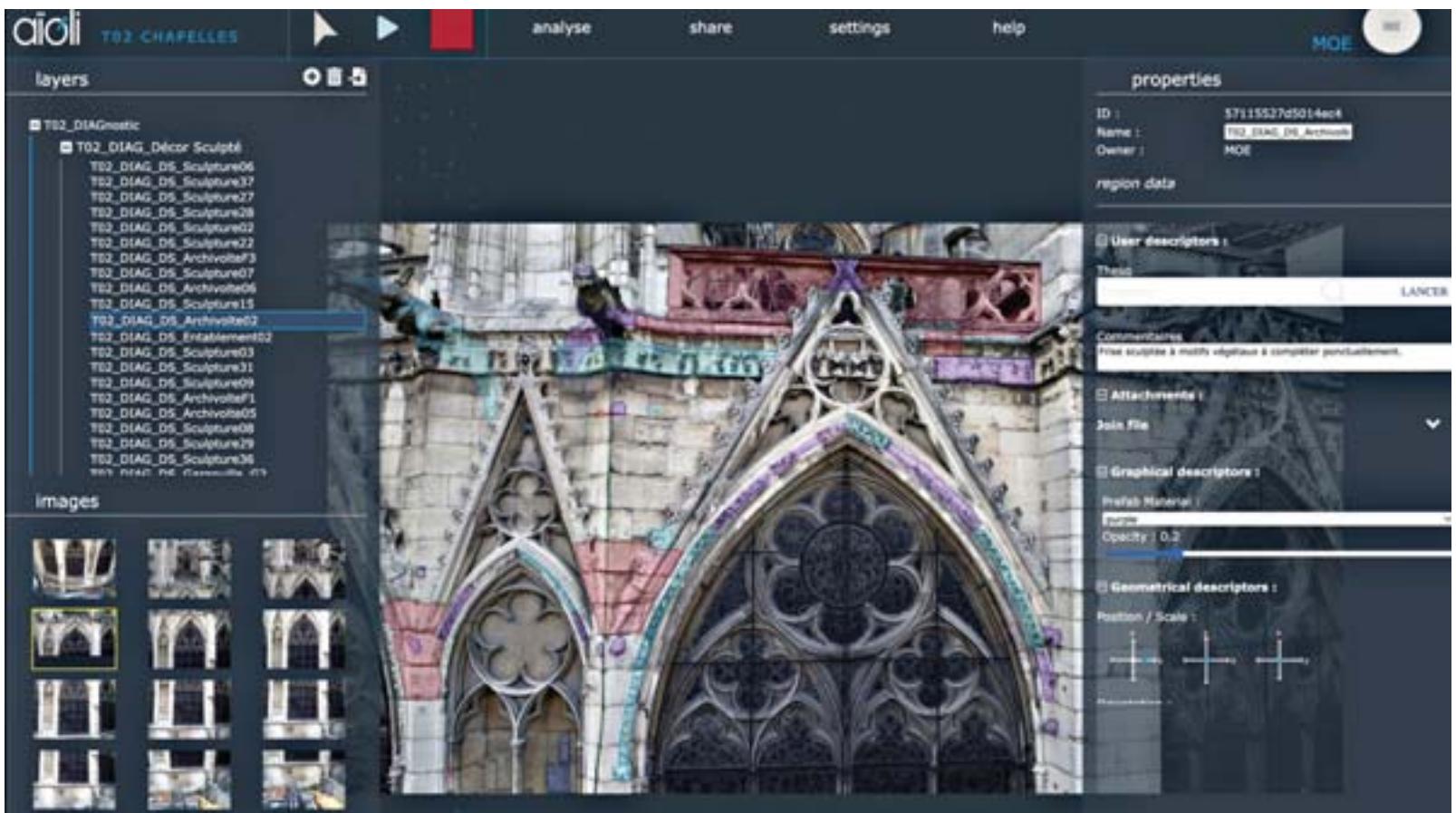
utenti che si sono registrati sulla piattaforma. Grazie al supporto del Ministero della Cultura e dell'EPRNDP, i primi dati sono stati raccolti pochi mesi dopo l'incendio e messi a disposizione dei ricercatori e dei professionisti coinvolti nel progetto di restauro (figg. 2, 3). Questa raccolta include una ricca selezione di immagini fotografiche, disegni architettonici, archivi iconografici, nuvole di punti lasergrammetrici 3D, film e registrazioni audio relative allo stato pre-incendio. I set di dati lasergrammetrici di Andrew Tallon dell'intera cattedrale, l'ampio portfolio fotografico di Didier Groux e le indagini architettoniche sulla foresta di Rémi Fromont e Cédric Trentesaux sono esempi di grande rilievo. Oltre alla documentazione storica, sin dall'inizio delle attività di ricerca coordinata si è aperto un nuovo capitolo di documentazione, caratterizzato dalla raccolta di nuove digitalizzazioni 3D, rilievi fotografici e dati tecnici sullo

stato di conservazione della cattedrale dopo l'incendio, prodotti da aziende private (come Art Graphique et Patrimoine, GEA, Life3D, ...) e dai molteplici laboratori di ricerca appartenenti all'azione scientifica. Dal 2020, questo mosaico digitale è progressivamente arricchito dai lavori continui dei vari settori del cantiere scientifico. Questa collezione dinamica ora include oltre 180.000 fotografie, 5.000 nuvole di punti 3D, centinaia di disegni tecnici e numerosi modelli 3D strutturati che offrono approfondimenti sulla cattedrale prima e dopo l'incendio. Inoltre, un archivio di circa 5.000 fonti documentarie, tra cui archivi, bibliografie e iconografia, offre una base documentaria sulla storia di Notre-Dame.

Analisi e documentazione digitale dello stato post-incendio

L'analisi dettagliata e rapida dello stato post-incendio delle strutture architettoniche

5/ Annotazioni bidimensionali e tridimensionali delle alterazioni rilevate mediante la piattaforma Aioli. *Two-dimensional and three-dimensional annotations of the alterations identified using the Aioli platform.*



è stata fondamentale per l'analisi strutturale. Per affrontare questa sfida è stata sviluppata una metodologia ad hoc basata sulla fusione di dati fotogrammetrici e lasergrammetrici [Mouaddib et al. 2023]. Quest'approccio ha fornito un supporto metrico e visuale preciso per l'analisi dei comportamenti strutturali e la mappatura dettagliata dei danni causati dall'incendio. Sfruttando questo supporto, si è aperto uno scenario di ricerca sperimentale in cui è stata esplorata l'applicazione della piattaforma Aioli per la generazione di una cartografia delle figure di alterazione (figg. 4, 5) mediante la spazializzazione 3D di migliaia di annotazioni semantiche [Roussel, De Luca, 2023]. Questi modelli 3D, insieme a report e analisi approfondite, hanno permesso l'annotazione precisa basata sulla spazializzazione di decine di migliaia di fotografie. Questo processo non solo ha offerto una rappresentazione visuale dettagliata, ma ha an-

che contribuito a una trascrizione digitale del lavoro degli ACMH sullo stato di conservazione. Dopo anni di lavoro, la documentazione digitale dello stato post-incendio contiene oltre 240 progetti, 280 gruppi, 635 livelli e 9.000 annotazioni distribuite su 7 account di annotazione. Queste annotazioni variano da poche unità a oltre 450 per progetto. L'analisi dei dati e delle annotazioni rappresenta una prospettiva di ricerca in evoluzione. Le query attuali consentono di estrarre dati numerici e analizzare la frequenza di specifici termini nei titoli delle annotazioni e delle schede di descrizione.

Prospettivamente, si possono considerare query più complesse che combinino dati analitici con informazioni spaziali, dimensionali o morfologiche. La relazione proiettiva in Aioli apre possibilità di interazione tra immagini e nuvole di punti 3D, consentendo ulteriori analisi dettagliate. Inoltre, con

of new knowledge. Another key feature is the introduction and experimentation of a multidimensional correlation engine, i.e. a mechanism that amplifies and highlights countless intersections between data and annotations, revealing the convergences between the focuses that concentrate on a common interest in a certain heritage object. Our objective was to create a digital ecosystem that would promote collective knowledge [Gruber 2008], co-built on a new generation of scientific resources. This experimental approach not only allows us to study thematic issues common to different disciplines, but will also lead to the creation of new perspectives for data analysis regarding materials, objects, and phenomena.

The approach (fig. 1) exploits a web of scientific, methodological, and technological elements, at the crossroads between humanistic digital sciences, heritage science, and computer science.

6/ Immagine che illustra una delle fasi principali del processo di restituzione tridimensionale della copertura distrutta dall'incendio, basato sull'analisi incrociata dei dati pre- e post-incendio.

Image showing one of the main phases of the three-dimensional restitution process regarding the roof destroyed by the fire, based on the cross analysis of the pre- and post-fire data.

Scientifically speaking, the project uses mechanisms of correlation to manage and analyse vast sets of data. This takes place by focusing on four pillars: the spatialisation of resources, the annotation and classification of characteristics, the monitoring of activities, and the analysis of the thematic superimpositions associated with different disciplines.

From a methodological point of view, the activities linked to the study object are analysed and preserved, highlighting the trajectories followed by the various experts in data management and interconnection. This step is intended to provide comprehension of the specifics of the knowledge mobilised by each discipline (or work group) and how this interacts with the characteristics of the object in question. Technologically speaking, the project aims to develop an open digital platform. This includes a toolkit for the guided management of digital resources and an independent engine for the continuous enrichment and correlation of the set of data, taking into consideration features such as form, space and time.

Interconnecting data, technologies, methodologies, and disciplinary profiles

After having outlined the objectives and structure of our project, it is important to emphasise how these theoretical elements are implemented in practice. After an intense and stimulating period of four years, our team was engaged not only in integrating innovative technologies and methodologies, but it also worked tirelessly to build and consolidate interdisciplinary collaborations. This synergy between technology, methodology, and collaboration has been the 'heart and soul' of our activities; interaction with the EPRNDP,³ the ACMH,⁴ the DRAC-SRA,⁵ the LRMH,⁶ and the C2RMF⁷ provided us with the opportunity to develop a specific operational framework so that every initiative or sub-action was in line with the general objectives of the collective scientific study and certain problems affecting the restoration worksite.

A platform for the centralisation and collaborative use of data

The fact the team involved in the scientific worksite was so big, it was obvious from the



un previsto aumento del numero di annotazioni (arricchite di continuo da nuove tematiche legate alle investigazioni scientifiche), queste rappresentano un database distintivo per esperimenti che utilizzano metodi di *deep learning* per identificare fenomeni di alterazione e comportamenti strutturali complessi.

Approcci digitali per la "reconstruction à l'identique"

Il ruolo del digitale nella ricostruzione dello stato della cattedrale prima dell'incendio è stato cruciale in due principali aree di sperimentazione: la "foresta" (le coperture) e le volte crollate.

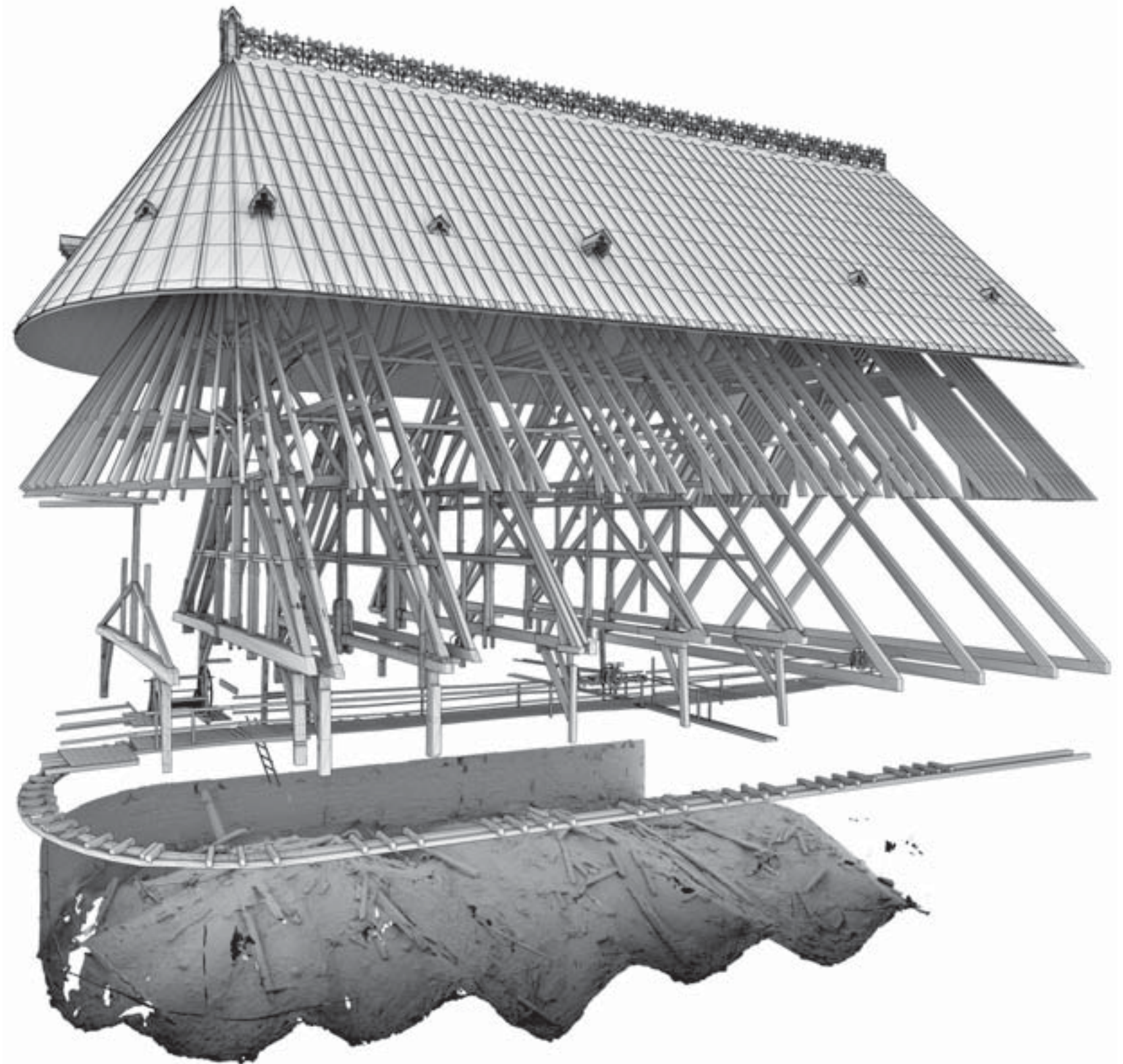
L'approccio metodologico per la ricostruzione digitale delle coperture è stato basato sull'integrazione di dati preesistenti e post-incendio (resti carbonizzati della struttura, stimati in circa 10.000 pezzi). Prima di analizzare dettagliatamente gli elementi lignei, è stato necessario effettuare un inventario e sviluppare metodi coerenti per la classificazione tipologica [Penagos et al. 2023]. Per affrontare il

problema della ricostruzione confrontando diversi stati temporali, è stato creato un modello digitale (figg. 6, 7, 8) basato sulla raccolta e sintesi di dati eterogenei riguardanti le strutture pre e post-incendio [Jacquot, Saleri 2023]. Il concetto di "gemello digitale" emerge come un elemento centrale per esplorare vari aspetti della ricostruzione, tra cui il tracciamento spazio-temporale per comprendere la cronologia e la posizione degli elementi al seno di rappresentazioni ipotetiche basate su risorse documentarie.

Per quanto riguarda le volte, il nostro gruppo di lavoro si è concentrato essenzialmente sulla ricostruzione digitale di un arco della navata centrale utilizzando un approccio originale [Gros et al. 2023] organizzato in quattro fasi interconnesse. La prima fase ha puntato a stabilire la corrispondenza tra le dimensioni di circa 90 conci dell'arco (digitalizzati tramite un dispositivo di acquisizione fotogrammetrica sviluppato per il progetto) e le posizioni delle nervature nell'arco. La seconda fase ha coinvolto l'ingegneria inversa, mirando a migliorare l'accuratezza delle

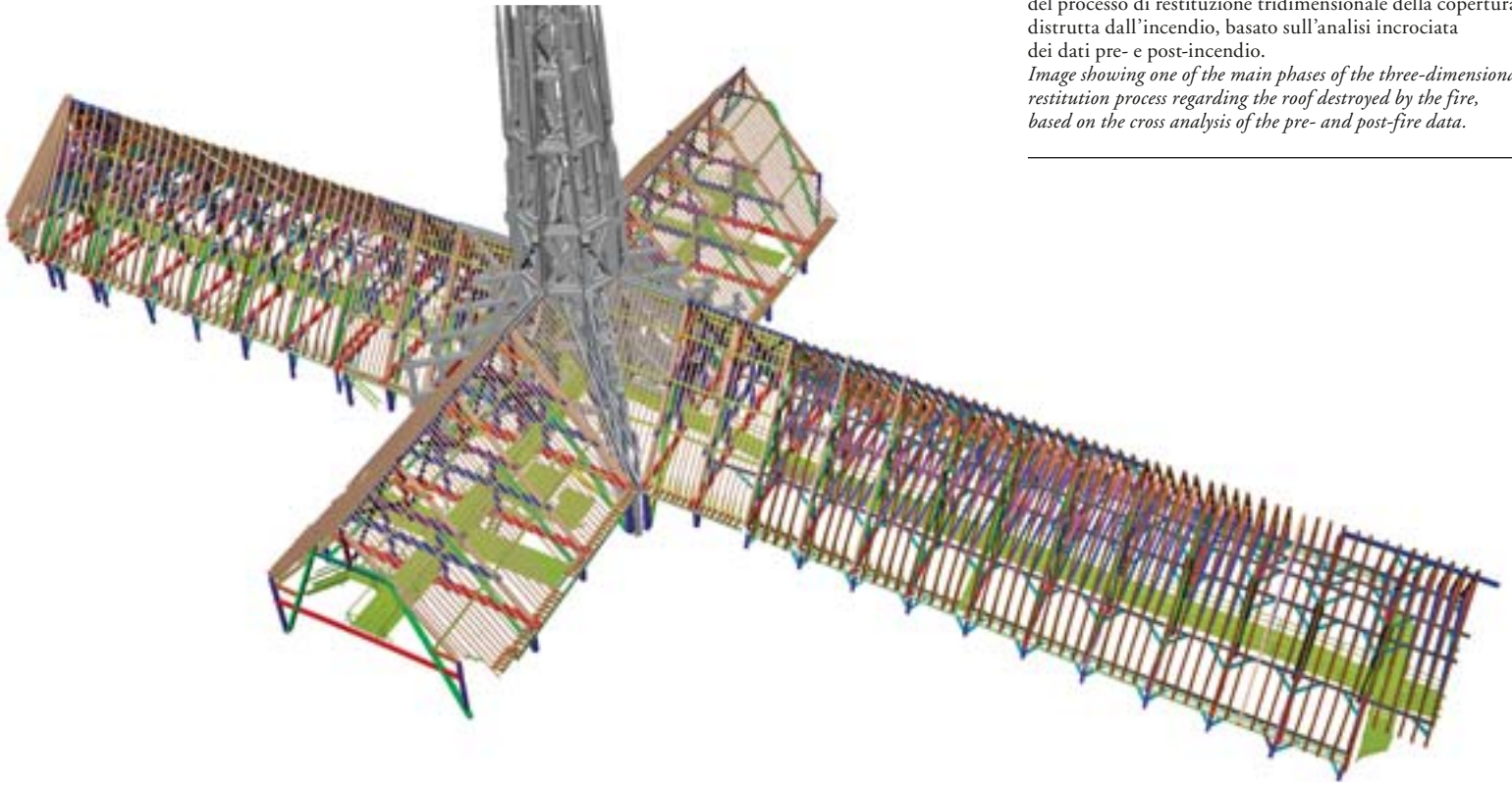
7/ Immagine che illustra una delle fasi principali del processo di restituzione tridimensionale della copertura distrutta dall'incendio, basato sull'analisi incrociata dei dati pre- e post-incendio.

Image showing one of the main phases of the three-dimensional restitution process regarding the roof destroyed by the fire, based on the cross analysis of the pre- and post-fire data.



8/ Immagine che illustra una delle fasi principali del processo di restituzione tridimensionale della copertura distrutta dall'incendio, basato sull'analisi incrociata dei dati pre- e post-incendio.

Image showing one of the main phases of the three-dimensional restitution process regarding the roof destroyed by the fire, based on the cross analysis of the pre- and post-fire data.



9/ *Pagina precedente.* Annotazioni spazio-temporali dei conci dell'arco crollato della navata, basate su fotografie scattate prima e dopo l'incendio. *Spatial-temporal annotations of the ashlar of the arch that collapsed in the nave, based on photographs taken before and after the fire.*

10/ Annotazioni spazio-temporali dei conci dell'arco crollato della navata, basate su fotografie scattate prima e dopo l'incendio.

Spatial-temporal annotations of the ashlar of the arch that collapsed in the nave, based on photographs taken before and after the fire.

11/ Ricostruzione digitale (tramite anastilosi dei resti) dell'arco crollato della navata centrale della cattedrale, effettuata utilizzando i risultati delle annotazioni spazio-temporali e la digitalizzazione tridimensionale dei conci.

Digital reconstruction (using the anastylosis of the remains) of the collapsed arch in the central nave of the cathedral, performed using the results of the spatial-temporal annotations and the three-dimensional digitalisation of the ashlar.



start that we needed a central platform to manage the data. Our first challenge was to not only draft a plan that could be adapted to the different research requirements and methodologies, but also structure the lifecycle of the data and production protocols. To do this we needed to consider several issues. We had to establish specific protocols for the production of data, confront and clarify the various procedures used by the different groups, identify the key phases in the lifecycle of the data and, finally, adapt or develop tailor-made tools. By merging technology and human experience, the platform facilitated the creation, integration, sharing, and analysis of a huge amount of scientific data regarding the multidisciplinary post-fire study of the cathedral. This stratified approach included: the creation of a community for the collaborative study; tailor-made digital tools for different profiles; data structuring approaches to manage the multidimensional characteristics of the material objects; and work flows based on experience in order to document, categorise, and semantically enrich the data.

Our digital platform included a set of tools designed for (or adapted to) the actors involved in the scientific Notre-Dame project. This toolkit supports functions such as data ingestion (Esmeralda), content indexing (ArchaeoGRID⁸), thesaurus structuring (OpenTheso⁹), the 3D interactive exploration of archaeological remains (3DHOP¹⁰), 3D annotation based on images of architectural scenes (Aioli¹¹), and the multimodal exploration of the set of data on an architectural scale (NDP 3D Viewer). In January 2021 all the tools and data were made available by members of the scientific initiative, together with an increasing number of users who registered on the platform. Thanks to the support of the Ministry of Culture and the EPRNDP, data began to be collected a few months after the fire and became readily available to the researchers and professionals involved in the restoration project (figs. 2, 3). The data includes an ample selection of photographs, architectural drawings, iconographic archives, 3D lasergrammetric points clouds, films and audio

misurazioni attraverso l'utilizzo di modelli fotogrammetrici e l'analisi di dati lasergrammetrici. Ciò ha permesso di ottenere dati più precisi sulle dimensioni dei conci e dei giunti. La terza fase è stata dedicata all'annotazione spazio-temporale dei conci (figg. 9, 10). Ciò è stato possibile grazie all'analisi delle posizioni di caduta delle pietre durante l'incendio e alla creazione di una mappa dettagliata delle loro posizioni nel tempo e nello spazio relativo alle operazioni di recupero dei reperti (tramite un approccio sperimentale di annotazione 4D di collezioni di fotografie). L'ultima fase ha comportato la formulazione del problema di ricostruzione come un modello di programmazione lineare. È stato necessario considerare tutti gli elementi riuniti dalle fasi precedenti, uniti a parametri legati alle caratteristiche morfologiche dei conci, identificate tramite studio archeologico. L'iterazione costante tra i dati empirici raccolti e i predicati formulati in ciascuna fase ha portato alla creazione di un'ipotesi di ricostruzione ibrida dimostrando l'efficacia di un approccio integrato che combina dati fisici e digitali (fig. 11).

Il patrimonio scientifico di Notre-Dame

Il nostro approccio svolge un ruolo significativo come registro digitale di un'azione collettiva monumentale acquisendo dati e informazioni cruciali, agevolando la collaborazione tra diversi attori, gruppi di ricerca e discipline, e soprattutto mettendo in luce la complessità di un oggetto patrimoniale trasversale a tanti oggetti di conoscenza. Inoltre, la creazione di un ampio corpus di dati presenta nuove prospettive per le scienze del patrimonio. Quest'archivio costituisce una risorsa unica che promuove la condivisione e la costruzione di conoscenze interdisciplinari. Il nostro approccio innovativo suggerisce che metodologie simili potrebbero essere adottate in futuro, favorendo e amplificando la collaborazione in vari campi scientifici.

Sotto il profilo dell'analisi dei dati, questa iniziativa apre la strada a ricerche approfondite sulle intricate relazioni tra gli studiosi e i loro oggetti di studio. Questo tipo di analisi potrebbe anche agevolare la creazione

di nuovi contesti per la formazione di comunità di ricerca, stimolando la creazione spontanea di reti interdisciplinari capaci di attraversare agevolmente frontiere geografiche e istituzionali.

Ringraziamenti

Il Gruppo di Lavoro sui Dati Digitali dell'Azione Scientifica Notre-Dame è supportato da diverse istituzioni e progetti. Questi includono il Centre National de la Recherche Scientifique (CNRS), il Ministère de la Culture, l'Établissement Public en charge de la Restauration de la cathédrale Notre-Dame de Paris (EPRNDP), la Fondation des Sciences du Patrimoine (FSP), e il progetto nDame_Heritage - ERC (European Research Council) Advanced Grant - finanziato dall'Unione Europea.

1. «È arrivato il tempo di introdurre quello che potremmo definire un umanesimo digitale in cui archeologi, antropologi, architetti, storici, filosofi, giuristi, neuroscienziati, psicologi, lavorino fianco a fianco con chimici, fisici, esperti informatici per arrivare alla definizione di una nuova semantica che ci permetta di capire ed elaborare la complessità della realtà». Estratto dell'intervento di Christian Greco nell'ambito della cerimonia di apertura della prima Ministeriale Cultura del G20, Roma, 29 luglio 2021.

2. <www.notre-dame.science> [giugno 2023].

3. EPRNDP: Établissement public chargé de la conservation et de la restauration de la cathédrale Notre-Dame de Paris.

4. ACMH: Architectes en Chef des Monuments Historiques chargés de la restauration (Philippe Villeneuve, Pascal Prunet, Rémi Fromont).

5. DRAC-SRA: Direction Régionale des Affaires Culturelles - Service Régional de l'Archéologie d'Île de France.

6. LRMH: Laboratoire de Recherche des Monuments Historiques, Ministère de la Culture.

7. C2RMF: Centre de Conservation et Restauration des Musées de France, Ministère de la Culture.

8. ArchéoGrid: <https://www.archeogrid.fr> [giugno 2023].

9. OpenTheso: <https://opentheso.hypotheses.org> [giugno 2023].

10. 3DHOP: <https://3dhop.net> [giugno 2023].

11. Aioli: <http://www.aioli.cloud> [giugno 2023].

recordings regarding the situation before the fire. Extremely important examples include: Andrew Tallon's lasergrammetric set of data of the whole cathedral, Didier Groux's extensive photographic portfolio, and the architectural surveys of the forest by Rémi Fromont and Cédric Trentesaux. Apart from the historical documentation, as soon as the coordinated research activities were underway we opened a new chapter of documentation that included the collection of new 3D digitalisations, photographic surveys and technical data regarding the state of conservation of the cathedral after the fire and products by private companies (e.g., Art Graphique et Patrimoine, GEA, Life3D, etc.) as well as by numerous research laboratories linked to the scientific operation. Since 2020, this digital mosaic has gradually been enriched by the continuous work performed by the various sectors of the scientific worksite. This dynamic collection now includes over 180,000 photographs, 5,000 3D points clouds, hundreds of technical drawings and numerous 3D structured models that provide in-depth information about the cathedral before and after the fire. In addition, an archive of roughly 5,000 documentary sources (including archives, bibliographies, and iconographies) provide documents regarding the history of Notre-Dame.

Analyses and digital documentation of the state of the cathedral after the fire. The rapid yet detailed analysis of the post-fire state of the architectural structures was crucial for the structural analysis. To tackle this challenge we developed an ad hoc methodology based on the merger of photogrammetric and lasergrammetric data [Mouaddib et al. 2023]. This approach provided an accurate metric and visual support for the analysis of the structural behaviour and detailed mapping of the damages caused by the fire. Exploiting this support led to an experimental research scenario in which we used the application of the Aioli platform to generate a map of the figures of alteration (figs. 4, 5) using the 3D spatialisation of thousands of semantic annotations [Roussel, De Luca 2023]. These 3D models, together with reports and in-depth analyses, led to an accurate annotation based on the spatialisation of tens of thousands

of photographs. This process not only provided a detailed visual representation, it also inputted into a digital transcription of the work of the ACMH regarding the building's state of conservation. After years of work, the digital documentation of the state of the cathedral after the fire contains over 240 projects, 280 groups, 635 levels, and 9,000 annotations present in 7 annotation accounts. These annotations vary from a few units to over 450 per project. The analysis of the data and annotations represent the perspective of an evolving research. The current queries allow us to extract numerical data and analyse the frequency of specific terms in the titles of the annotations and descriptive technical sheets.

In the future we will be able to consider more complex queries that combine analytical data and spatial, dimensional, or morphological information. The projective relationship in Aioli facilitates interaction between images and 3D points cloud, enabling further detailed analyses. Furthermore, the envisaged increase in the number of annotations (continuously enriched with new thematic subjects linked to the scientific investigations) will represent a unique database for experiments that use deep learning methods to identify phenomena of alteration and complex structural behaviour.

Digital approaches for the 'reconstruction à l'identique'

The role of the digital in the reconstruction of the state of the cathedral before the fire was crucial in two main areas of experimentation: the 'forest' (the roofs) and the collapsed vaults. The methodological approach for the digital reconstruction of the roofs was based on integrating the pre- and post-fire data (i.e., the charred remains of the structure, estimated to be roughly 10,000 pieces). Before analysing the wooden elements in-depth we had to make an inventory and develop coherent methods for the typological classification [Penagos et al. 2023]. In order to tackle the problem of the reconstruction by comparing different temporal states, we created a digital model (figs. 6, 7, 8) based on the collection and synthesis of heterogeneous data regarding the pre- and post-fire structures [Jacquot, Saleri 2023]. The 'digital twin' concept emerged as

a key element, allowing us to explore various aspects of the reconstruction, including spatial-temporal tracing, in order to understand the chronology and position of the elements within hypothetical representations based on documentary resources.

With regard to the vaults, our work group basically focused on the digital reconstruction of an arch of the central nave using an original approach [Gros et al. 2023], organised in four interconnected phases. Phase one involved establishing correspondence between the dimensions of roughly 90 ashlar of the arch (digitalised using a photogrammetric acquisition device developed for the project) and the positions of the arch's ribs. Phase two involved reverse engineering; our aim was to improve the accuracy of the measurements by using photogrammetric models and analysing the lasergrammetric data. This allowed us to obtain more precise data regarding the dimensions of the ashlar and joints. Phase three was dedicated to the spatial-temporal annotation of the ashlar (figs. 9, 10). This was possible thanks to an analysis of the place where the stones fell during the fire and the creation of a detailed map of their position in time and space relating to the operations undertaken to recover the remains (using an experimental approach involving the 4D annotation of photographs). The last phase involved formulating the problem of reconstruction as a model of linear programming. We had to consider all the reunited elements of the previous phases, together with parameters linked to the morphological characteristics of the ashlar; the latter were identified thanks to an archaeological study. The constant iteration between the empirical data collected and the predicates formulated during each phase led to the creation of a hypothetical hybrid reconstruction, demonstrating the effectiveness of an integrated approach combining physical and digital data (fig. 11).

The scientific heritage of Notre-Dame
Our approach plays a key role as the digital record of a monumental collective action, acquiring crucial data and information, and facilitating the collaboration between

different actors, research groups and disciplines; above all, it highlights the complexity of a heritage object transversal to many objects of knowledge. In addition, the creation of an extensive set of data presents new perspectives for heritage science. This archive is a unique resource promoting the sharing and creation of interdisciplinary knowledge. Our innovative approach suggests that similar methodologies could be adopted in the future, enhancing and extending collaboration in several scientific fields. As regards the analysis of the data, this initiative paves the way for in-depth studies in the intricate relationships between scholars and their study objects. This type of analysis could also facilitate the creation of new contexts for the formation of research communities, stimulating the spontaneous creation of interdisciplinary networks capable of easily crossing geographical and institutional frontiers.

Acknowledgements

The work group on Digital Data of the Scientific Action on Notre Dame is supported by several institutions and projects. They include: the Centre National de la Recherche Scientifique (CNRS), the Ministère de la Culture, the Etablissement Public en charge de la Restauration de la cathédrale Notre-Dame de Paris (EPRNDP), the Fondation des Sciences du Patrimoine (FSP), and the project entitled nDame_Heritage - ERC (European Research Council) Advanced Grant – financed by the European Union.

1. “The time has come to introduce what we could call a digital humanism in which archaeologists, anthropologists, architects, historians, philosophers, legal experts, and neuroscientists work side by side with chemists, physicists, and computer experts to define a new semantics that will allow us to understand and process the complexity of reality”. Extract of the speech by Christian Greco during the opening ceremony of the first G20 Culture Ministers’ Meeting held in Rome on 29 July 2021.

2. <www.notre-dame.science> [June 2023].

3. EPRNDP: Établissement public chargé de la conservation et de la restauration de la cathédrale Notre-Dame de Paris.

4. ACMH: Architectes en Chef des Monuments Historiques chargés de la restauration (Philippe Villeneuve, Pascal Prunet, Rémi Fromont).

5. DRAC-SRA: Direction Régionale des Affaires Culturelles - Service Régional de l’Archéologie d’Île de France.

6. LRMH: Laboratoire de Recherche des Monuments Historiques, Ministère de la Culture.

7. C2RMF: Centre de Conservation et Restauration des Musées de France, Ministère de la Culture.

8. ArchéoGrid: <<https://www.archeogrid.fr>> [June 2023].

9. Opendthésos: <<https://openthesis.hypotheses.org>> [June 2023].

10. 3DHOP: <<https://3dhop.net>> [June 2023].

11. Aioli: <<http://www.aioli.cloud>> [June 2023].

References

- Abergel et al. 2023 = Violette Abergel, Adeline Manuel, Anthony Pamart, Isabelle Cao, Livio De Luca. Aioli: A reality-based 3D annotation cloud platform for the collaborative documentation of cultural heritage artefacts. In *Digital Applications in Archaeology and Cultural Heritage*, Volume 30, 2023. Elsevier. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.daach.2023.e00285>.
- Baca 2003 = Murtha Baca. Practical Issues in Applying Metadata Schemas and Controlled Vocabularies to Cultural Heritage Information. *Cataloging & Classification Quarterly*, 36 (3-4), 2003, pp. 47-55. DOI: https://doi.org/10.1300/j104v36n03_05.
- Ball 2020 = Philip Ball. The huge scientific effort to study Notre-Dame’s ashes. *Nature*, 577 (7789), 2020, pp. 153-154. DOI: <https://doi.org/10.1038/d41586-020-00008-5>.
- Berry, Fagerjord, ProQuest 2017 = David M. Berry, Anders Fagerjord & ProQuest. *Digital humanities: knowledge and critique in a digital age*. Cambridge, UK; Malden, MA: Polity Press, 2020. ISBN: 9780745697666.
- Bodenhamer, Corrigan, Harris 2021 = David J. Bodenhamer, John Corrigan, Trevor M. Harris. *Making deep maps: foundations, approaches, and methods*. Routledge, 2021. ISBN: 9781000453300.
- Briscoe, De Wilde 2006 = Gerald Briscoe, Philippe De Wilde. Digital Ecosystems: Evolving Service-Orientated Architectures. In *1st Bio-Inspired Models of Network, Information and Computing Systems*, 2006. DOI: <https://doi.org/10.1109/bimnics.2006.361817>.
- Doerr 2005 = Martin Doerr. *The CIDOC CRM, an Ontological Approach to Schema Heterogeneity, Semantic Interoperability and Integration*. Dagstuhl, Germany: Internationales Begegnungs- und Forschungszentrum für Informatik (IBFI), Schloss Dagstuhl, Germany, 2005.
- Doerr et al. 2010 = Martin Doerr, Katerina Tzompanaki, Maria Theodoridou, Christos Georgis, Anastasia Axaridou, Sven Havemann. A Repository for 3D Model Production and Interpretation in Culture and Beyond. In *VAST: International Symposium on Virtual Reality*, 8 p. DOI: 10.2312/VAST/VAST10/097-104.
- Doulamis et al. 2018 = Anastasios Doulamis, Nikolaos Doulamis, Efychios Protopapadakis, Athanasios Voulodimos, Marinos Ioannides. 4D Modelling in Cultural Heritage. In *Lecture Notes in Computer Science*. Springer International Publishing, 2018, pp. 174-196. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-319-75789-6_13.
- Dudek, Blaise 2017 = Iwona Dudek, Jean-Yves Blaise. What Comes before a Digital Output? Eliciting and Documenting Cultural Heritage Research Processes. *International Journal of Culture and History* (EJournal), vol. 3, n. 1, 2017, p. 86-97. DOI: 10.18178/ijch.2017.3.1.083.
- Fiorucci et al. 2020 = Marco Fiorucci, Marina Khoroshiltseva, Massimiliano Pontil, Arianna Traviglia, Alessio Del Bue, Stuart James. Machine Learning for Cultural Heritage: A Survey. *Pattern Recognition Letters*, 133, 2020, pp. 102-108. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.patrec.2020.02.017>.
- Gros et al. 2023 = Antoine Gros, Anaïs Guillem, Livio De Luca, Élise Baillieu, Benoit Duvocelle, Olivier Malavergne, Lise Leroux, Thierry Zimmer. Faceting the post-disaster built heritage reconstruction process within the digital twin framework for Notre-Dame de Paris. *Scientific Reports*, 13, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-023-32504-9>.
- Gruber 1995 = Thomas R. Gruber. Toward principles for the design of ontologies used for knowledge sharing? *International Journal of Human-Computer Studies*, 43(5-6), 1995, pp. 907-928. DOI: <https://doi.org/10.1006/ijhc.1995.1081>.

-
- Gruber 2008 = Thomas Gruber. Collective knowledge systems: Where the Social Web meets the Semantic Web. *Journal of Web Semantics*, 6 (1), 2008, pp. 4-13. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.websem.2007.11.011>.
 - Jacquot, Saleri 2023 = Kévin Jacquot, Renato Saleri. Gathering, integration, and interpretation of heterogeneous data for the virtual reconstruction of the Notre Dame de Paris roof structure. *Journal of Cultural Heritage*. Special Issue “Notre-Dame de Paris”, Elsevier, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.culher.2023.06.010>.
 - Juarez, Botti, Giret 2021= Maria G. Juarez, Vicente J. Botti, Adriana S. Giret. Digital Twins: Review and Challenges. *Journal of Computing and Information Science in Engineering*, 21(3). DOI: <https://doi.org/10.1115/1.4050244>.
 - Koller, Frischer, Humphreys 2009 = David Koller, Bernard Frischer, Greg Humphreys. Research challenges for digital archives of 3D cultural heritage models. *Journal on Computing and Cultural Heritage*, 2 (3), 2009, pp. 1-17. DOI: <https://doi.org/10.1145/1658346.1658347>.
 - Latour 1987 = Bruno Latour. *Science in action: How to follow scientists and engineers through society*. Cambridge, Mass: Harvard Univ. Press, 1987. ISBN: 9780674792913.
 - Livingstone 2003 = David N. Livingstone. *Putting science in its place: geographies of scientific knowledge*. Chicago: University of Chicago Press, 2003. ISBN: 9780226102849.
 - Maher 2014 = Susan Naramore Maher. *Deep map country: literary cartography of the Great Plains*. Lincoln, London, University of Nebraska Press, 2014. ISBN: 9780803245020.
 - Maiwald et al. 2017 = Ferdinand Maiwald, Theresa Vietze, Danilo Schneider, Frank Henze, Sander Münster, Florian Niebling. Photogrammetric analysis of historical image repositories for virtual reconstruction in the field of digital humanities. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XLII-2/W3, 2017, pp. 447-452. DOI: <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-xlii-2-w3-447-2017>.
 - Manfredini, Remondino 2012 = Anna Maria Manferdini, Fabio Remondino. A Review of Reality-Based 3D Model Generation, Segmentation and Web-Based Visualization Methods. *International Journal of Heritage in the Digital Era*, 1 (1), 2012, pp. 103-123. DOI: <https://doi.org/10.1260/2047-4970.1.1.103>.
 - McCarthy 2014 = John Kennington McCarthy. Multi-image photogrammetry as a practical tool for cultural heritage survey and community engagement. *Journal of Archaeological Science*, 43, 2014, pp. 175-185. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jas.2014.01.010>.
 - Meghini et al. 2017 = Carlo Meghini, Roberto Scopigno, Julian Richards, Holly Wright, H., Guntram Geser, Sebastian Cuy, Johan Fihn, Bruno Fanini, Hella Hollander, Franco Nicolucci, Achille Felicetti, Paola Ronzino, Federico Nurra, Christos Papatheodorou, Dimitris Gavrilis, Maria Theodoridou, Martin Doerr, Douglas Tudhope, Ceri Binding, Andreas Vlachidis. ARIADNE; A Research Infrastructure for Archaeology. *Journal on Computing and Cultural Heritage*, 10 (3), 2017, pp. 1-27. DOI: <https://doi.org/10.1145/3064527>.
 - Minerva, Lee, Crespi 2020 = Roberto Minerva, Gyu Myoung Lee, Noël Crespi. Digital Twin in the IoT Context: A Survey on Technical Features, Scenarios, and Architectural Models. In *Proceedings of the IEEE*, 108 (10), 2020, pp. 1785-1824. DOI: <https://doi.org/10.1109/jproc.2020.2998530>.
 - Morozov 2013 = Evgeny Morozov. *To save everything, click here: The folly of technological solutionism*. Public Affairs, 2013. ISBN: 9781610391382.
 - Mouaddib et al. 2023 = El Mustafa Mouaddib, Anthony Pamart, Marc Pierrot-Deseilligny, Daniel Girardeau-Montaut. 2D/3D data fusion for the comparative analysis of the vaults of Notre-Dame de Paris before and after the fire. *Journal of Cultural Heritage*. Special Issue “Notre-Dame de Paris”, Elsevier, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.culher.2023.06.012>.
 - Muehlberger et al. 2019 = Guenter Muehlberger, Louise Seaward, Melissa Terras, Sofia Ares Oliveira, Vicente Bosch, Maximilian Bryan, Sebastian Colutto, Hervé Déjean, Markus Diem, Stefan Fiel, Basilis Gatos, Albert Greinoecker, Tobias Grüning, Guenter Hackl, Vili Haukkovaara, Gerhard Heyer, Lauri Hirvonen, Tobias Hodel, Matti Jokinen, Philip Kahle, Mario Kallio, Frederic Kaplan, Florian Kleber, Roger Labahn, Eva Maria Lang, Sören Laube, Gundram Leifert, Georgios Louloudis, Rory McNicholl, Jean-Luc Meunier, Johannes Michael, Elena Mühlbauer, Nathanael Philipp, Ioannis Pratikakis, Joan Puigcerver Pérez, Hannelore Putz, George Retsinas, Verónica Romero, Robert Sablatnig, Joan Andreu Sánchez, Philip Schofield, Giorgos Sfikas, Christian Sieber, Nikolaos Stamatopoulos, Tobias Strauß, Tamara Terbul, Alejandro Héctor Toselli, Berthold Ulreich, Mauricio Villegas, Enrique Vidal, Johanna Walcher, Max Weidemann, Herbert Wurster, Konstantinos Zagoris. Transforming scholarship in the archives through handwritten text recognition. *Journal of Documentation*, 75 (5), 2019, pp. 954-976. DOI: <https://doi.org/10.1108/jd-07-2018-0114>.
 - Oldman, Tanase 2018 = Dominic Oldman, Diana Tanase. Reshaping the Knowledge Graph by Connecting Researchers, Data and Practices in ResearchSpace. In *The Semantic Web - ISWC 2018*. Springer International Publishing, Lecture Notes in Computer Science, 2018, pp. 325-340. ISBN: 9783030006679.
 - Penagos et al. 2023 = Clara Penagos, Olivier Girardclos, Jean-Yves Hunot, Chloé Martin, Kévin Jacquot, Isabelle Cao, Michel Lemoine, Benoit Brossier, Catherine Lavier, Sylvie Coubray, Alexa Dufraisse. Naming, relocating and dating the woods of Notre-Dame “forest”, first results based on collated data and archaeological surveys of the remains. *Journal of Cultural Heritage*. Special Issue “Notre-Dame de Paris”, Elsevier, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.culher.2022.09.004>.
 - Phillips et al. 2016 = Stephen Phillips, Paul Walland, Stefano Modafferi, Leo Dorst, Michela Spagnuolo, Chiara Eva Catalano, Dominic Oldman, Ayellet Tal, Ilan Shimshoni, Sorin Hermon. GRAVITATE: Geometric and Semantic Matching for Cultural Heritage Artefacts. In *Eurographics Workshop on Graphics and Cultural Heritage*, 2016, 4 p. DOI: 10.2312/GCH.20161407.
 - Pinch, Bijker 1984 = Trevor J. Pinch, Wiebe E. Bijker. The Social Construction of Facts and Artefacts: or How the Sociology of Science and the Sociology of Technology might Benefit Each Other. *Social Studies of Science*, 14 (3), 1984, pp. 399- 441. DOI: <https://doi.org/10.1177/030631284014003004>.
 - Ponchio et al. 2020 = Federico Ponchio, Marco Callieri, Matteo Dellepiane, Roberto Scopigno, Effective Annotations Over 3D Models. *Computer Graphics Forum*, 39, 2020, pp. 89-105. DOI: 10.1111/cgf.13664.
 - Roussel, De Luca 2023 = Roxane Roussel, Livio De Luca. An approach to build a complete digital report of the Notre-Dame Cathedral after the fire, using Aioli platform. In *29th CIPA Symposium “Documenting, Understanding, Preserving Cultural Heritage: Humanities and Digital Technologies for Shaping the Future”*. Florence, Italy, Jun 2023. pp. 1359-1365. >10.5194/isprs-archives-XLVIII-M-2-2023-1359-2023>.
 - Tangelder, Veltkamp 2004 = Johan W. H. Tangelder, Remco C. Veltkamp. A survey of content based 3D shape retrieval methods. In *Proceedings Shape Modeling Applications, 2004. Proceedings Shape Modeling Applications*, 2004. DOI: <https://doi.org/10.1109/smi.2004.1314502>.
 - Uden, Wangsa, Damiani 2007 = Lorna Uden, Ince Wangsa, Ernesto Damiani. The future of E-learning: E-learning ecosystem. *2007 Inaugural IEEE-IES Digital EcoSystems and Technologies Conference*. DOI: <https://doi.org/10.1109/dest.2007.371955>.

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*



<https://cdn.gangemeditore.com/DOI/10.61020/11239247-202366-04.pdf>

The *Annunciation* by the Dominican friar Giovanni da Fiesole, known as Fra Angelico, is currently housed in the Museum of the Basilica of Santa Maria delle Grazie in San Giovanni Valdarno; it was painted during the period when the arts were transitioning from the Late Gothic to the Renaissance. The painting combines the Renaissance principles of perspective construction with the old medieval values of the didactic function of art and light. This contribution presents a solution developed to acquire the painting in such a way so that it can be used through a digital surrogate, perceptually indistinguishable from the original, thus making it possible to visualise and illustrate the work as if it were in our hands, digitally re-illuminating the model in order to emphasise the characteristics that can help us understand and preserve the graphic artefact.

Keywords: Fra Angelico, *Annunciation*, digitalisation of paintings, 3D modelling, real-time rendering, photometric stereo, colour correction, survey, image stitching, survey tools.

The Annunciation now housed in the Museum of the Basilica of Santa Maria delle Grazie in San Giovanni Valdarno was previously located in the nearby Convent of San Francesco a Montecarlo. It is one of the three panels depicting the same scene, narrated by St. Luke, painted in the early 1430s by the Dominican friar Giovanni da Fiesole, known as Fra Angelico.¹ The other two panels are displayed respectively in the Prado Museum in Madrid (originally in San Domenico in Fiesole),² probably the first to be painted, and in the diocesan Museum in Cortona (originally in the church of San Domenico), reliably considered to be the third.³

In the altarpiece in San Giovanni Valdarno (fig. 1), with scenes of the life of Mary in the predella,⁴ the centre panel depicts the announcement by the Archangel Gabriel to the Virgin Mary seated in a colonnaded loggia opening onto an enclosed garden (hortus conclusus). The introduction of elements of Brunelleschi's new architecture (the colonnaded loggia) bestows proportion and measurability on the painting, albeit in a natural setting; instead the very strong light that characterises the scene, eliminating the shadows and making the colours bright and unnatural, belongs to an earlier artistic

All'intersezione delle arti proprie del Tardogotico e del Rinascimento, l'Annunciazione oggi conservata al Museo della Basilica di Santa Maria delle Grazie a San Giovanni Valdarno e dipinta dal frate domenicano Giovanni da Fiesole, conosciuto come Beato Angelico, unisce i principi della costruzione prospettica rinascimentale con i vecchi valori medievali della funzione didattica dell'arte e della luce. Questo contributo illustra una soluzione sviluppata per acquisire il dipinto e consentirne la fruizione tramite un surrogato digitale, percettivamente indistinguibile dall'originale, capace di visualizzare e presentare l'opera come se fosse nelle nostre mani, re-illuminandola digitalmente per enfatizzarne caratteristiche utili alla comprensione e alla conservazione dell'artefatto grafico.

Parole chiave: Beato Angelico, Annunciazione, digitalizzazione di dipinti, modellazione 3D, rendering in tempo reale, stereo fotometrico, correzione del colore, rilievo, mosaicatura di immagini, strumenti per il rilievo.

L'Annunciazione conservata nel Museo della Basilica di Santa Maria delle Grazie di San Giovanni Valdarno e proveniente dal vicino Convento di San Francesco a Montecarlo, è una delle tre tavole con la stessa scena, narrata dall'evangelista Luca, dipinte nei primi anni Trenta del Quattrocento dal frate domenicano Giovanni da Fiesole, il Beato Angelico¹. Le altre due sono la tavola oggi esposta al Museo del Prado di Madrid (originariamente a San Domenico di Fiesole)², probabilmente la prima a essere realizzata, e la tavola del Museo diocesano di Cortona (in origine nella chiesa di San Domenico)³, attendibilmente la terza. La pala di San Giovanni Valdarno (fig. 1), che nella predella⁴ presenta scene della vita di Maria, mostra nel pannello centrale l'annuncio dell'arcangelo Gabriele alla Vergine seduta in una loggia colonnata aperta su un giardino recintato (*hortus conclusus*). L'introduzione di elementi della nuova architettura di Brunelleschi (la loggia colonnata) permette così di conferire al dipinto proporzione e misurabilità, pur entro un ambito naturale; la luminosità fortissima che caratterizza la scena, che annulla le ombre e rende i colori accesi e innaturali, è invece propria della tradizione artistica precedente. Lo stile preciso e raffinato della pittura a tempera d'uovo è inoltre arricchito dall'uso di materiali costosi, quali il pigmento azzurro di lapislazzuli e l'oro in foglia, dosati con estrema cura. Ne emerge un'opera che mostra come la sfida affrontata da Giovanni da Fiesole sia stata proprio quella di coniugare i nuovi principi rinascimentali, come la costruzione prospettica e l'attenzione alla figura umana, con elementi tardogotici e con i tradizionali valori medievali, quali la funzione didattica dell'arte e il valore mistico della luce [Strehlke 2005]. La ricchezza di questo dipinto non può però essere colta nella sua interezza e complessità

né mediante riproduzioni fotografiche, né attraverso la visione diretta. Le prime appiattiscono il contrasto tra l'ampia composizione cromatica dai toni vivaci del giardino, della veste dell'angelo e di Maria, e la scura stanza dietro la Vergine, in un'unica intensità luminosa incapace di mostrare ombre e particolari; la visione diretta, a causa della distanza dalla quale si osserva l'opera, impedisce al visitatore di cogliere i dettagli (figg. 2, 3) – i volti, il prezioso velo di Maria – o la qualità figurativa di Adamo ed Eva (fig. 3). Inoltre le condizioni di illuminazione della attuale collocazione museale, ben distanti da quelle dell'altare del Convento di San Francesco a Montecarlo nella prima metà del Quattrocento, non consentono di comprendere quale fosse la percezione dell'opera, uniformando toni chiari e scuri a causa della riflessione diffusa della tempera e quella speculare della foglia d'oro, sovrailluminando o appiattendendo, e con punti di vista assai diversi da quelli concepiti dal frate domenicano per l'originaria collocazione (fig. 4).

Il presente contributo illustra una soluzione sviluppata per la fruizione di un surrogato digitale del dipinto del Beato Angelico, percettivamente indistinguibile dall'originale, che ne consente la comprensione e l'analisi tramite quello che Leonardo da Vinci chiamava "il miglior senso", cioè la vista, osservandolo come se fosse nelle nostre mani e re-illuminandolo per poter enfatizzare caratteristiche specifiche utili alla comprensione e all'analisi dell'opera anche ai fini della sua conservazione.

Il sistema è rivolto non solo a visitatori di mostre e musei (l'occasione per il presente lavoro è stata infatti la mostra "Masaccio e Angelico. Dialogo sulla verità nella pittura"⁵), ma anche a studiosi e restauratori per una più completa e approfondita comprensione dell'uso dei ma-

1/ Beato Angelico, Annunciazione di San Giovanni Valdarno, rappresentazione ortografica frontale del modello tridimensionale ottenuto tramite AnnunciatiOnApp.
Fra Angelico, Annunciation in San Giovanni Valdarno, frontal orthographic representation of the three-dimensional model obtained using AnnunciatiOnApp.



teriali, della realizzazione delle singole parti e della loro consistenza effettiva, e infine della costruzione e dello stato del dipinto. Il sistema consente infatti osservazioni, sia alla macroscala che alla microscala, di un surrogato digitale ottenuto servendosi di tecniche di acquisizione, visualizzazione in tempo reale e interazione che mirano a riprodurre il modo in cui il dipinto è percepito dalla visione umana nella sua *total appearance* (fig. 5)⁶. Si tratta quindi di una soluzione che mira a ottenere una replica fotorealistica tridimensionale dell'opera in grado di oltrepassare i limiti delle consuete tecniche bidimensionali, come il *Gigapixel imaging*⁷ – accurato nella ri-

soluzione ma limitato a una semplice riproduzione del colore apparente da un solo punto di vista [Cabezos-Bernal, Rodriguez-Navarro, Gil-Piqueras 2021] – o anche delle tecniche, sempre 2D, basate sulla capacità di reilluminamento, come le *Reflectance Transformation Imaging* (RTI)⁸ efficaci nella riproduzione della microstruttura ma dalla limitata risoluzione e ancora dall'osservazione possibile da un solo punto di vista.

Il sistema, denominato AnnunciatiOnApp, trae origine dallo strumento digitale di acquisizione, visualizzazione e interazione ISLe (InSightLeonardo) [Gaiani, Apollonio, Clini 2015; Gaiani, Apollonio 2019; Apollonio et

tradition. The precise, elegant style of the egg tempera painting is also enriched by the use of expensive materials such as the blue lapis lazuli pigment and gold leaf, both applied very carefully. The work shows how the challenge tackled by Giovanni da Fiesole was in fact to couple the new principles of the Renaissance, for example perspective and attention to the human figure, with Late Gothic elements and traditional medieval values, such as the didactic role of art and the mystic value of light [Strehlke 2005].

Neither photographs nor direct observation can, however, fully convey the complexity and richness of this painting. The former flatten the contrast between the broad chromatic composition of the vivid tones of the garden, the clothes of the Angel and Mary, and the dark room behind the Virgin, into a single luminous intensity, incapable of revealing shadows and details. Due to the distance from which one views the painting, direct observation prevents the onlooker from grasping neither the details (figs. 2, 3) – the faces, Mary's precious veil – nor the figurative quality of Adam and Eve (fig. 3). Furthermore, the lighting in the room where the painting hangs is very different to the light that fell on the altar in the Convent of San Francesco in Montecarlo in the first half of the 15th century; the current lighting makes it impossible to understand how the work was perceived; it evens out light and dark tones due to the diffuse reflection of the tempera and the specular reflection of the gold leaf, either overlighting or flattening it; in addition, the viewpoints differ from the ones imagined by the Dominican friar for its original setting (fig. 4).

The solution presented in this contribution was developed in order to exploit a digital surrogate of the painting by Fra Angelico, one which is perceptively indistinguishable from the original; the surrogate makes it possible to understand and analyse the painting using what Leonardo da Vinci called 'the best sense', i.e., sight, observing it as if it were in our hands and re-lighting it in order to emphasise specific characteristics that can help us understand and analyse the work, including for conservation purposes.

2/ Beato Angelico, Annunciazione di San Giovanni Valdarno, dettagli ravvicinati del modello tridimensionale ottenuto tramite AnnunciatiOnApp: in alto il volto della Vergine, in basso da sinistra il libro delle preghiere e un dettaglio ingrandito dell'occhio della Vergine. *Fra Angelico, Annunciation in San Giovanni Valdarno, close-up details of the three-dimensional model obtained using AnnunciatiOnApp: top, the face of the Virgin; bottom left, the book of prayers; bottom right, an enlarged detail of the eye of the Virgin.*

The system is intended not only for visitors to exhibitions and museums (the opportunity to execute this project was in fact the exhibition entitled 'Masaccio e Angelico. Dialogo sulla verità della pittura'⁵), but also for scholars and restorers; the objective is to acquire a more comprehensive and in-depth understanding not only of the use of the materials, but also the execution of individual parts of the painting and their effective consistency, and finally the construction and current state of the painting. In fact the system makes it possible to observe, at both a macroscale and microscale, a digital surrogate obtained by using acquisition techniques and real time visualisation and interaction in order to reproduce the way in which the painting is perceived by the human eye in its total appearance (fig. 5).⁶

The three-dimensional photorealistic replica of the work obtained using this system goes beyond the limits of usual two-dimensional techniques: Gigapixel imaging⁷— accurate in its resolution but limited to a simple reproduction of the apparent colour from a single viewpoint [Cabezas-Bernal, Rodriguez-Navarro, Gil-Piqueras 2021]; 2D techniques based on the ability to relight, e.g., Reflectance Transformation Imaging (RTI),⁸ that successfully reproduce the microstructure but have a limited resolution; and finally possible observation from a single viewpoint.

The system, called AnnunciatiOnApp, was inspired by the digital acquisition, visualisation and interaction instrument ISLe (InSightLeonardo) [Gaiani, Apollonio, Clini 2015; Gaiani, Apollonio 2019; Apollonio et al. 2021] that began to be developed in 2010 by our team at the Alma Mater Studiorum University of Bologna to surrogate, study, describe and communicate ancient drawings. The instrument provides a completely three-dimensional restitution that also assesses the specular reflectance component and the sub-surface reflection phenomena that modify the perception of a graphic work, especially as regards the materials capable of overlighting certain angles of observation.

Like ISLe, from a technical point of view AnnunciatiOnApp is based on the digital reconstruction of form, colour and properties of reflectance of the surface, using only

al. 2021], sviluppato a partire dal 2010 dal nostro gruppo di lavoro dell'Alma Mater Studiorum Università di Bologna per surrogare, indagare, descrivere e comunicare i disegni antichi e permette una restituzione completamente tridimensionale, valutando anche la componente di riflettanza speculare e i fenomeni di riflessione sub-superficiali che modificano la percezione dell'opera grafica, soprattutto nei materiali capaci di sovrailluminare a determinati angoli di osservazione. Da un punto di vista tecnico AnnunciatiOnApp, come ISLe, è basata sulla ricostruzione digitale di forma, colore e proprietà di riflet-

tanza della superficie unicamente tramite tecniche fotografiche. Trattandosi però di un dipinto e non di un disegno, non è stato possibile applicare le stesse metodiche di ISLe, né nella valutazione delle differenze di colore (indagine colorimetrica), né nella valutazione dimensionale (dimensioni dell'artefatto, spessori e ordini di grandezza delle profondità, cioè indagine metrica), né nella valutazione delle proprietà ottiche di riflessione. Il sistema sviluppato rappresenta dunque un deciso passo in avanti rispetto alle recenti tecniche di costruzione di modelli 3D basate su fotogrammetria, accurate nella riproduzione di



3/ Beato Angelico, Annunciazione di San Giovanni Valdarno, dettaglio del modello tridimensionale ottenuto tramite AnnunciatiOnApp: la cacciata di Adamo ed Eva dal Paradiso terrestre.

Fra Angelico, Annunciation in San Giovanni Valdarno, detail of the three-dimensional model obtained using AnnunciatiOnApp: Adam and Eve cast out of the Garden of Eden.

caratteristiche metriche e talvolta nella replica del colore (principalmente se accoppiate con *imaging* multispettrale⁹), ma inadeguate a riprodurre risoluzioni al centesimo di millimetro e proprietà di riflettanza specifiche. Inoltre, AnnunciatiOnApp, sfruttando unicamente tecniche a base fotografica, si propone di fornire uno strumento meno complesso, ma altrettanto accurato, rispetto alla tecnica più utilizzata per la riproduzione digitale dei dipinti che prevede l'uso congiunto di fotografia multispettrale e laser scanner¹⁰.

Il dipinto: brevi note

Il capolavoro della collezione del Museo della basilica di Santa Maria delle Grazie è oggi concordemente attribuito al Beato Angelico per l'altissimo livello artistico emerso soprattutto dal restauro fine anni Settanta del Novecento.

La predella con le storie della Vergine (*Sposalizio, Visitazione, Adorazione dei Magi, Presentazione di Gesù al tempio e Dormitio Mariae*) rivela la sua autografia nella concezione generale e in alcune scene di più alta qualità stilistica ed esecutiva (*Sposalizio, Visitazione, Adorazione*), mentre nelle altre è probabile l'intervento del pittore e miniatore Zanobi Strozzi, uno dei principali collaboratori del Beato Angelico fin dall'inizio della sua carriera; Strozzi possedeva infatti una proprietà poco distante dal convento di Fiesole.

Lo schema compositivo – con un loggiato e, sullo sfondo, la camera di Maria che si aprono su un rigoglioso Eden dal quale vengono cacciati Adamo ed Eva – mostra una ricchezza di riferimenti simbolici e di particolari, oltre a una distinta impostazione prospettica che porta a escludere che si tratti di una copia di un modello iniziale. È ipotizzabile piuttosto che le tre tavole con l'*Annunciazione*, che raffigurano un tema particolarmente amato dall'artista, costituiscano soluzioni differenti realizzate in base alla destinazione del dipinto e agli orientamenti stilistici prevalenti¹¹. In particolare, la pala di San Giovanni mostra una concezione straordinariamente moderna e di grande coinvolgimento emotivo: dallo schema prospettico centrale del Prado a quello laterale di Cortona si arriva a un punto di vista centrale ma ravvicinato, nel



quale l'osservatore è come invitato a entrare nel loggiato e a partecipare alla scena, senza una separazione tra spazio reale e dipinto, tra “fuori” e “dentro”.

L'opera, nonostante la persistenza di elementi tardogotici – riconoscibili nella cura dettagliata della veste dell'angelo, ricca di dorature, e nelle aureole incise – riflette le novità rinascimentali di Masaccio, nell'impianto prospettico perfettamente centrale con l'austero cubicolo di Maria e la finestra ferrata che accentua il senso di profondità, oltre che nella dolce umanità della Vergine e nelle figure di Adamo ed Eva che ricordano quelle della cappella Brancacci.

Il motivo dell'Incarnazione, evento chiave e fondante della fede, rappresentato dall'Angelico anche su affresco e in miniatura, viene fissato in una forma per sempre legata al suo nome. Con grande originalità Beato Angelico inserisce l'annuncio a Maria nell'*Historia salutis*: la storia biblica della Salvezza, che inizia con la rottura dell'Alleanza tra l'uomo e Dio e la cacciata di Adamo ed Eva, raffigurati in alto a sinistra, prosegue con la profezia di Isaia che preannuncia la nascita dell'Emmanuele, e si compie con il sì di Maria che accetta di diventare Madre di Dio. La storia continua con il Giudizio Universale e la proclamazione dell'eternità di Dio, cui alludono le iscrizio-

photographic techniques. However, since we are dealing with a painting and not a drawing, we could not apply the same ISle methods to assess the differences in colour (colourimetric test), the dimensions of the painting (size of the artefact, thicknesses and scale of the depths, i.e., metric test), or the optical properties of reflection. The system we developed is a big step forward compared to the recent techniques used to create 3D models based on photogrammetry since the latter accurately reproduce metric characteristics and sometimes replicate colour (chiefly if coupled with multispectral imaging⁹), but are inadequate when it comes to reproducing specific reflectance properties and resolutions that are a hundredth of a millimetre. In addition, AnnunciatiOnApp only exploits photographic techniques in order to provide a less complex tool which is, however, just as accurate when compared to the most commonly used technique for the digital reproduction of paintings, i.e., that envisages the joint use of multispectral photography and laser scanner.¹⁰

The painting: brief notes

The masterpiece in the collection of the Museum of the Basilica of Santa Maria delle Grazie is currently and unanimously attributed to Fra Angelico due to the extremely excellent artistry discovered chiefly during its restoration in the late seventies.

The predella with the stories of the Virgin (Marriage, Visitation, Adoration of the Magi, Presentation of Jesus in the Temple and Dormitio Mariae) provides a general outline of her autobiography; several of the scenes (Marriage, Visitation, Adoration) are more high quality as regards style and execution while other scenes reveal the probably intervention of the painter and miniaturist Zanobi Strozzi, one of Fra Angelico's chief collaborators ever since the beginning of his career. In fact Strozzi owned property quite close to the convent in Fiesole. The compositional layout includes a loggia and Mary's bedroom in the background opening onto a luxuriant garden from which Adam and Eve are being cast out; it presents an array of symbolic references and details

4/ Beato Angelico, Annunciazione di San Giovanni Valdarno, dettaglio del modello tridimensionale ottenuto tramite AnnunciatiOnApp: il dettaglio della foglia d'oro nelle ali dell'Arcangelo Gabriele.

Fra Angelico, Annunciation in San Giovanni Valdarno, detail of the three-dimensional model obtained using AnnunciatiOnApp: detail of the gold leaf in the wings of the Archangel Gabriel.

as well as a distinctive perspective approach, excluding the possibility that it was a copy of an initial model. Instead we can theorise that the three panels with the Annunciation – a topic particularly dear to the artist – are different solutions that depend not only on where the painting was to hang, but also prevailing stylistic trends.¹¹ In particular, the design of the altarpiece in San Giovanni is extraordinarily modern, sparking an profound emotional involvement: from the central perspective pattern of the painting in the Prado and the lateral perspective of the painting in Cortona, in this case there is a shift to a central, close-up viewpoint, inviting the onlooker to enter the loggia and participate in the scene, without a separation between real and painted space, between 'outside' and 'inside'.

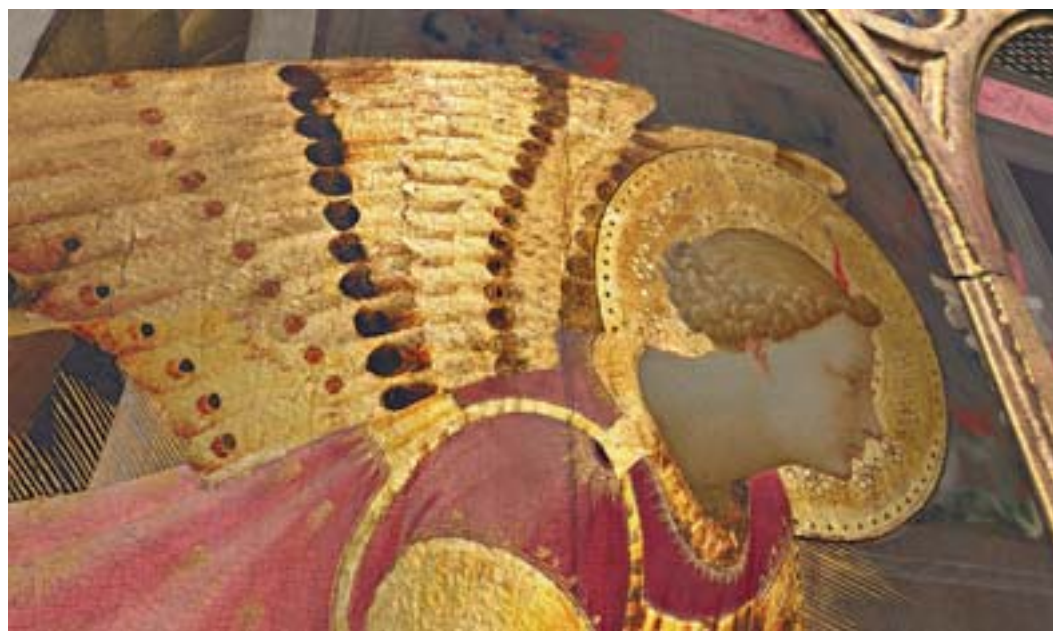
Despite the presence of Late Gothic elements – visible in the detailed execution of the Angel's very golden robes and the engraved halos – the painting reflects Masaccio's renaissance novelties: the perfectly central perspective with Mary's austere cubicle; the grille window accentuating the sense of depth; the gentle humanity of the Virgin; and the figures of Adam and Eve reminiscent of the ones in the Brancacci chapel.

The topic of the Incarnation – a fundamental, key event of the faith – which Fra Angelico also represents in a fresco and miniature, is established in a form that remains forever linked to his name. His very original approach is to insert the announcement to Maria in the *Historia salutis*: the biblical story of Salvation begins with the end of the Alliance between man and God and the eviction of Adam and Eve (depicted in the top left-hand corner) and continues with Isaiah's prophecy heralding the birth of Emmanuel, that takes place when Mary's accepts to become the Mother of God. The story continues with the Last Judgement and the proclamation of the eternity of God, alluded to by the inscriptions on the golden border of the Virgin's cloak, 'Donec veniat' and 'Est'. The work is full of Christological and Marian symbols: the Christic column¹² in the centre, symbol of the tree of the cross and of life; gold, emblem of divine light; and the palm, reminiscent of victory over sin and death, but also of the passion of Jesus Christ.

ni sul bordo dorato del manto della Vergine, "Donec veniat" e "Est". L'opera è ricca di simboli cristologici e mariani: dalla colonna cristica¹² al centro, simbolo dell'albero della croce e della vita, all'oro, emblema della luce divina, alla palma che ricorda la vittoria sul peccato e sulla morte, ma anche la passione di Cristo. Tipicamente mariani sono l'*hortus conclusus* delimitato dal recinto, che simboleggia la verginità di Maria e la varietà di fiori tra cui, oltre al classico giglio, le primule, che alludono alla nuova Primavera della vita (l'Annunciazione ricorre il 25 marzo, data del capodanno fiorentino); le stelle alpine, figura di Maria stella mattutina; il garofano rosso, simbolo di fidanzamento e per questo della sponsalità di Maria, l'amata del Cantico dei Cantici; e il melograno, allusione alla sua nuzialità feconda e all'unità della Chiesa. Meno immediati i simboli mariani della porta, della finestra ferrata e della cella; la prima si apre nella parete di fondo con una cornice in pietra dalla foggia rinascimentale ed è figura di Maria, *Ianua coeli*, porta tramite cui Dio incarnandosi è venuto al mondo; la piccola finestra ferrata, che nell'oscurità della notte fa passare un raggio di luce, allude alla verginità di Maria attraverso cui penetra solo la luce divina; infine la cella con la semplice panca, che ricorda l'essenzialità delle celle del con-

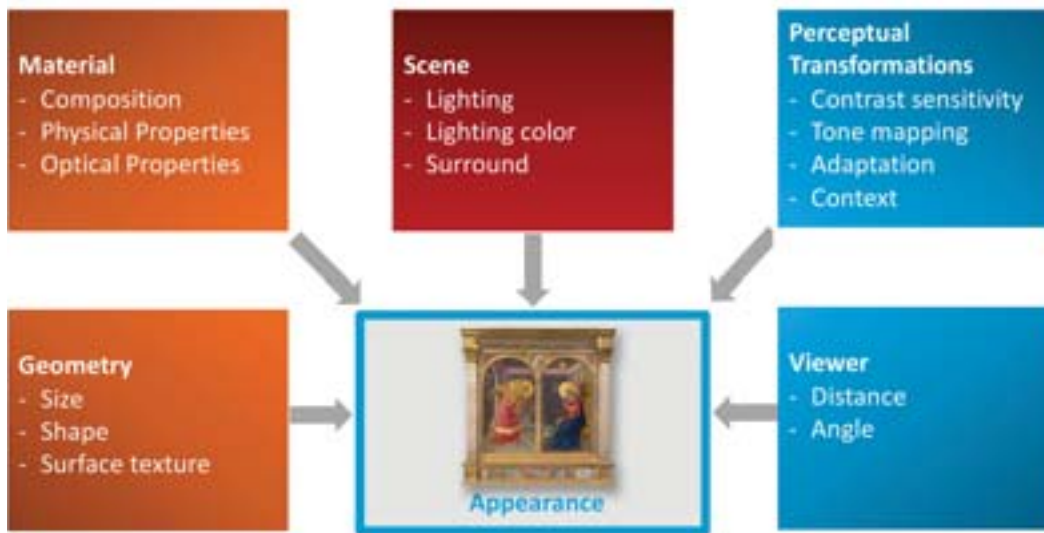
vento di Fiesole, è simbolo dell'umiltà della Vergine, scelta tra tutte le donne per diventare regina del cielo.

Le indagini riflettografiche hanno rivelato la grande padronanza del pittore nel disegno preparatorio, deciso e con pochi ripensamenti. Tuttavia è probabile che a una prima versione, più sobria e tradizionale con la tipica loggia aperta, abbia fatto seguito un adattamento al gusto rinascimentale, con la decorazione delle pareti con sfumati effetti marmorei che, oltre al fine decorativo, hanno un profondo senso simbolico, allusivo alla mutevolezza e peccaminosità del mondo, cangiante e multiforme rispetto alla simmetria del cielo stellato, emblema di perfezione divina¹³. Elemento di incredibile modernità, il pavimento nuvoloso e indefinito, come acquerellato, che l'angelo pare appena sfiorare quasi a non voler contaminare la sua natura divina, è in realtà simbolo di dispersione e peccato, da cui l'uomo grazie all'incarnazione è stato liberato. Tutto concorre a sottolineare come l'evento dell'Annunciazione si compia tra Tempo e Eternità, terra e cielo, finito e infinito. Il mistero del Verbo che si fa uomo, altrimenti non raffigurabile con i mezzi terreni, è espresso dall'indefinita mescolanza di colori, che si confondono creando quello che Georges Didi Huberman chiama "dissimi-



5/ Gli elementi principali per la definizione della total appearance dell'Annunciazione.

The main elements used to define the total appearance of the Annunciation.



le”, “dissomiglianza” e che Dante nel Paradiso esprime con “trasumanar”, l’andare oltre i limiti umani del linguaggio figurativo e verbale [Didi Huberman 2009].

Dall’acquisizione alla restituzione: problemi e soluzioni

La percezione tridimensionale di una superficie può essere riconducibile a fenomeni appartenenti a categorie proprie di tre scale differenti: la scala microscopica, che gioca un ruolo significativo nei riflessi superficiali ma non può essere distinta a occhio nudo e che per un dipinto è riassumibile negli attributi percettivi di colore (albedo diffuso), brillantezza e trasparenza/traslucenza¹⁴; la mesoscala, che descrive la rugosità della superficie (quella che può essere chiamata tessitura 3D o topografia); la scala macroscopica, descrivibile come la forma dell’oggetto a cui la superficie appartiene [Anderson 2011]. Come già precisato il passaggio dal sistema *ISLe*, sviluppato per disegni e manoscritti, alla nuova *AnnunciatiOnApp* ha richiesto di trovare soluzioni in merito a quattro problematiche fondamentali per riuscire a ricostruire correttamente tutte queste tre scale:

a. la necessità di un sistema di acquisizione delle immagini capace di assorbire il passaggio da fogli dalle dimensioni variabili tra un formato A5 e un A3 a un artefatto dalle dimensioni di 2.170x2.240 mm, cioè una superficie più grande circa 60 volte;

b. l’individuazione di un efficiente sistema di replica delle proprietà ottiche del materiale alla microscala, non solo per le decorazioni a foglia d’oro, ma per la tempera e gli effetti di rugosità, le dispersioni della luce e le sovrailluminazioni;

c. la predisposizione di una tecnica di restituzione della mesostruttura del dipinto. La superficie di un dipinto è di rado completamente piana, con caratteristiche variabili tra 10 µm e qualche millimetro, mentre un disegno presenta spessori di segni di penna o matita di circa 5÷10 µm, e una rugosità della carta che raramente eccede il decimo di millimetro. Inoltre, la superficie di un dipinto è generalmente costituita da una complessa stratigrafia: un supporto – nel nostro caso un pannello ligneo – e uno o più strati di fondo o tempera, fissati da componenti semitrasparenti con finalità protettive;

d. lo sviluppo di un *workflow* di riproduzione colorimetrica capace di replicare non solo i colori saturi (tra i quali particolarmente problematica è la riproduzione degli azzurri dei lapislazzuli, praticamente sempre errata nelle odierne riproduzioni digitali a schermo e a stampa basate sullo spazio colore sRGB), ma anche le sfumature e i chiaroscuri che richiedono una gamma cromatica più ricca rispetto a quella dei disegni.

La soluzione di queste problematiche ha portato allo sviluppo di tecniche e metodi specifici così riassumibili:

a. la progettazione e realizzazione di un nuovo dispositivo di acquisizione (fig. 6) e di una

*Typical Marian symbols are the hortus conclusus surrounded by a fence, symbolising Mary’s virginity, and the many different flowers which, apart from the classical lily, include: primroses alluding to the new Spring of life (the Annunciation falls on March 25th, date of the Florentine New Year); edelweiss, figure of Mary star of the morning; red carnations, symbol of betrothal and for this reason of Mary as spouse, the loved one of the Cantic of Canticles; and the pomegranate, alluding to her fecund nuptiality and the unity of the Church. There are other less immediate Marian symbols: the door, the grated window and the cella. The door located in the back wall has a renaissance-style stone frame; it is the figure of Mary, *Ianua coeli*, the door through which God is incarnated and comes into the world; the small grated window, which in the obscurity of night allows a ray of light to pass, alludes to Mary’s virginity through which only divine light penetrates; the cella with a single bench, reminiscent of the essentiality of the cellae in the convent in Fiesole, is the symbol of the Virgin’s humility, chosen from amongst all women to become queen of heaven.*

Reflectographic tests have unveiled the painter’s exceptional mastery of the preparatory drawing, determined and with very few rethinks. Nevertheless, it is likely that a first more modest and traditional version, with the typical open loggia, was adapted by Fra Angelico to renaissance taste by decorating the walls with nuanced marble effects which, apart from acting as a decoration, have a profound symbolic meaning; they allude to the fickleness and sinfulness of the world, ever-changing and multiform compared to the symmetry of the starry sky, emblem of divine perfection.¹³

There is also a truly modern element: the undefined, cloudy floor painted almost like a watercolour that the Angel appears to only brush against, almost as if to avoid contaminating his divine nature; in actual fact it is a symbol of dispersion and sin from which man, thanks to the incarnation, has been freed. Everything helps to emphasise how the Annunciation takes place between Time and Eternity, heaven and earth, finite

6/ Progetto dello stativo costruito per le prese fotografiche. Il sistema può raggiungere quote di lavoro differenti mantenendo la perpendicolarità al piano del dipinto.

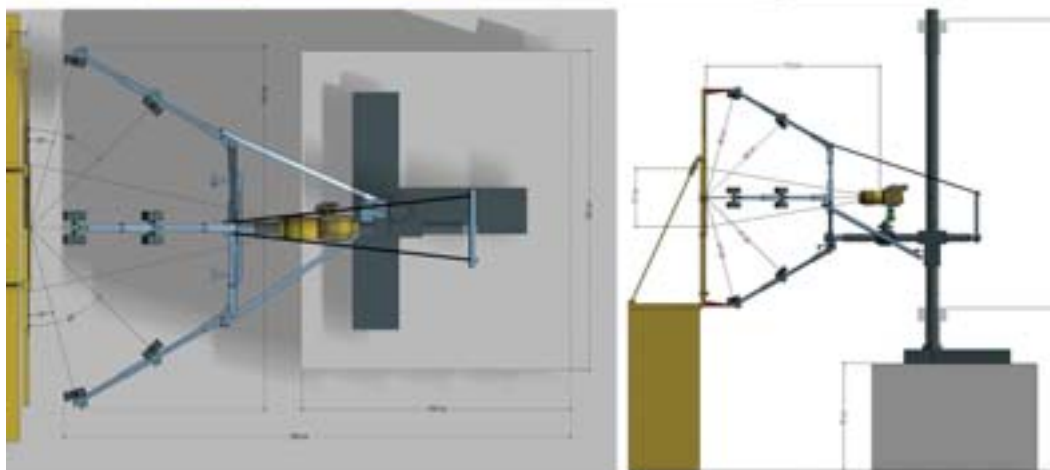
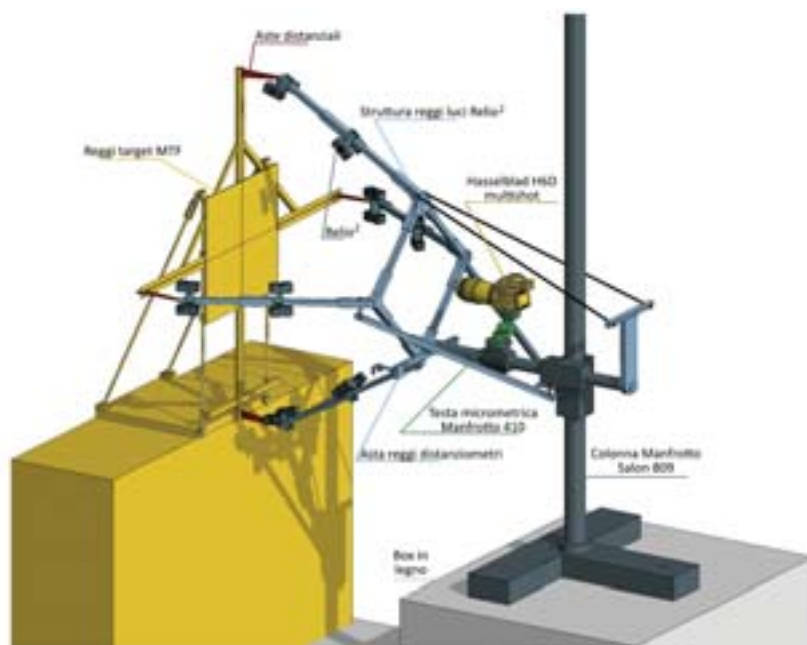
Design of the stand built for the photo shoot. The system can be set at different work heights while still remaining perpendicular to the plane of the painting.

and infinite. The mystery of the Word that becomes man, which otherwise could not be depicted using earthly tools, is expressed by the undefined mix of colours that are blurred to create what Georges Didi Huberman defines as 'dissimilar', 'dissimilarity' and Dante in Paradise expresses as 'transumanar', going beyond the human limits of figurative and verbal language [Didi Huberman 2009].

From acquisition to restitution: problems and solutions

The three-dimensional perception of a surface can be traced back to phenomena belonging to the categories of three different scales: the microscopic scale, that plays an important role in superficial reflections but cannot be seen by the naked eye and which, as concerns a painting, can be summarised in the perceptive attributes of colour (diffuse albedo), brightness and transparency/translucency¹⁴; the mesoscale, that describes the roughness of the surface (what could be called 3D texture or topography); and the macroscopic scale, describing the form of the object to which the surface belongs [Anderson 2011]. As mentioned earlier, the shift from the ISLe system, developed for drawings and manuscripts, to the new AnnunciatiOnApp, required finding solutions regarding four fundamental problems in order to correctly recreate all these three scales:

- a. the need to have an image acquisition system capable of absorbing the shift from sheets that varied in size between an A5 and an A3 format to an artefact measuring 2,170x2,240 mm, i.e., a surface 60 times bigger;*
- b. identification of an efficient system replicating the optical properties of the material on a microscale, not only for the gold leaf decorations, but also for the tempera and roughness effects, the dispersion of light and over-illumination;*
- c. preparation of a technique for the restitution of the mesostructure of the painting. The surface of a painting is rarely completely flat, with characteristics that vary between 10 μm and a few millimetres, while the thickness of a pen or pencil drawing is roughly 5-10 μm , and the roughness of*



tecnica di mosaicatura 2D/3D per campionare un'area 60 volte maggiore rispetto a quella per la quale era stato progettato ISLe;

b. lo sviluppo di un software di *photometric stereo*, una tecnica di *imaging* che misura la normale alla superficie in ogni suo punto campionato (cioè per pixel) [Woodham 1980], per restituire efficacemente la mesostruttura del dipinto;

c. una tecnica di replica delle proprietà ottiche alla microscala di ciascuno dei materiali con cui è stato realizzato il dipinto, descrivendole tramite la loro *Bidirectional Reflectance Distribution Function* (BRDF)¹⁵. Nel nostro caso è stata ritrovata una BRDF approssimata analiticamente capace di renderizzare in *Real-Time Rendering* (RTR) le componenti di riflettanza speculare e diffusa, a partire dal diffusissimo modello fisico di Cook-Torrance [Cook, Torrance 1982], implementato tramite uno *shader*;

d. una soluzione per la visualizzazione grafica ottenuta a partire dal motore grafico di RTR *High-Definition Render Pipeline* (HDRP) di Unity 3D [http://www.unity.com; giugno 2023]. Essa mira a soddisfare due requisiti divergenti: una soluzione di trasporto della luce

e di modellazione dei materiali su base fisica per una visualizzazione accurata; un sistema di *rendering* interattivo che consente a un *frame rate* di 60-100 Hz di interagire facilmente con la visualizzazione del dipinto;

e. l'utilizzo come input al sistema di immagini corrette colorimetricamente utilizzando le cinque regole dell'*imaging* colorimetrico [Berns 2015]: temperatura di colore correlata all'illuminazione (CCT) di circa 5.000°K (D50 *workflow*); esposizione ottimale; profilo basato sulla minimizzazione del ΔE , ottenendo eccezionale accuratezza nella luminosità; validazione indipendente dalla calibrazione; spazio di codifica capace di non ritagliare i colori della scena. In particolare, come soluzione di *color correction* si è adottata una tecnica completamente automatizzata, sviluppata dal nostro gruppo di lavoro: SHAFT (*SAT & HUE Adaptive Fine Tuning*) [Gaiani, Ballabeni 2018]. Le immagini finali sono renderizzate nello spazio colore DisplayP3 in grado di riprodurre correttamente anche i colori nell'area del blu cobalto, presenti nel dipinto e visualizzabile al 100% sui monitor odierni di qualità semiprofessionale.

Il sistema di acquisizione

La restituzione della forma e della *total appearance* di un dipinto è stata sempre realizzata servendosi di tecniche multimodali, cioè mediante l'uso incrociato di più sensori, attivi e/o passivi, o differenti modalità di acquisizione, ad esempio utilizzando illuminazione di diverso tipo, al fine di ottenere precisioni dimensionali comprese tra 0,01 e 1 mm e accuratezze di riproduzione del colore prossime a quelle minime visibili dall'occhio umano allenato. Nel nostro caso ci si è orientati su un sistema interamente fotografico riconducendo il problema della registrazione tra più immagini alla classica integrazione di dati omogenei acquisiti da più punti di vista e limitando le registrazioni 2D/3D, sempre foriere di errori rilevanti.

L'uso di tecniche fotografiche è sempre stato centrale per identificare e riprodurre il colore dei dipinti e fornire risultati colorimetrici accurati [cfr. ad es. Martinez, Cupitt, Saunders 1993; Maître et al. 1996; Berns 2001], ma è stato probabilmente Roy Berns che per primo le ha utilizzate per ricostruire le normali e la geometria del dipinto e separare l'albedo dagli effetti speculari in ogni punto della superficie misurata [Berns et al. 2012]. Le normali alla superficie possono essere infatti utilizzate per trasmettere informazioni sulla sua mesostruttura, che può essere simulata implicitamente in un processo di *rendering*. Nella formulazione stereo fotometrica originale [Horn 1975], le fonti di luce erano assunte all'infinito, la fotocamera era ortografica e la superficie dell'oggetto lambertiana e convessa (cioè senza ombre o inter-riflessioni ed effetti di specularità). La soluzione, come altre successive che costituiscono la base di sviluppo odierna [ad es. Okatani, Deguchi 2001], includeva un'unica immagine per catturare la riflessione diffusa, mentre altre tre consentivano di risolvere i problemi fotometrici.

Nel nostro caso è stata sviluppata una tecnica di *photometric stereo* chiamata nLights che fa uso di otto immagini con illuminazione costante proveniente da quattro direzioni differenti, circa ortogonali fra loro, e collocate a 45° e 15° di inclinazione rispetto al piano del dipinto, mantenendo fissa la po-

sizione della camera con l'asse perpendicolare alla sua superficie, oltre a una nona con il dipinto illuminato uniformemente. nLights deriva dal toolbox di Matlab PSBox [Ying 2023], e produce una serie di mappe scartando i valori più prossimi che consentono di ricostruire mesostruttura e microstruttura con tecniche *multitexture*: albedo, normali, profondità (una mappa che permette di ricostruire a partire dal campo vettoriale normale stimato la mesostruttura coarsa), riflessione speculare (fig. 7). Inoltre, nLights restituisce una rappresentazione geometrica 3D della forma della tavola del dipinto, sotto forma di file geometrico OBJ, ottenuta dalla mappa di profondità (fig. 8).

Operativamente, per utilizzare nLights è stato progettato e realizzato un nuovo stativo capace di supportare il sistema di illuminamento prescelto (trentadue luci Relio² [<http://www.relio.it>; giugno 2023], un illuminatore a singolo LED che emette luce a spettro continuo a una *Color Correlated Temperature* di 4.000°K e che presenta una *Spectral power distribution* con affidabilità cromatica a tutte le lunghezze d'onda) e connetterlo rigidamente alla macchina fotografica, consentendone traslazione verticale e orizzontale. In più lo stativo assicura la conservazione del parallelismo tra macchina fotografica e piano del dipinto mediante l'utilizzo di due distanziometri laser capaci di garantire una precisione di $\pm 1,5$ mm.

Come dispositivo di acquisizione si è utilizzata una macchina fotografica a medio formato Hasselblad H6D-400C Multi-Shot [<https://www.hasselblad.com/h-system/h6d-400c-multi-shot/>; giugno 2023], dotata di sensore CMOS composto da 11.600×8.700 pixel e capace di una profondità colore di 48 bit. La tecnologia Multi-Shot consente di ottenere colore effettivo a ogni locazione di pixel (GRGB) e risoluzione 4x (cioè 32.300×17.400 pixel) tramite sei acquisizioni ottenute dallo spostamento del sensore di mezzo pixel alla volta. Nel nostro caso è stata utilizzata questa modalità a sei scatti che equivale, sull'area fotografata da ogni immagine di 500×375 mm, a una risoluzione di campionamento di 15 mm e una risoluzione effettiva del sistema di 21 mm¹⁶ a una distanza della fotocamera dal dipinto di 1.120 mm circa¹⁷.

paper is very seldom more than a tenth of a millimetre. In addition, the surface of a painting generally has a complex stratigraphy: a support – in this case a wooden panel – and one or more strata of a base coat or tempera, secured using semitransparent components as a protective layer;

d. the development of a colourimetric reproduction workflow to replicate not only the saturated colours (the reproduction of the blues of the lapis lazuli is particularly problematic and is practically always incorrect in current digital reproductions either viewed on a monitor or printed based on the sRGB colour space), but also the nuances and chiaroscuro tones that require a much more extensive chromatic range compared to that of drawings.

Solving these problems led to the development of specific techniques and methods, summarised below:

- a. the design and creation of a new acquisition device (fig. 6) and a 2D/3D mosaic technique to sample an area 60 times bigger than the area for which the ISLe had been designed;*
- b. the development of a photometric stereo software, an imaging technique that measures the normal line at the surface in each sample point (i.e., each pixel [Woodham 1980], in order to successfully provide the restitution of the mesostructure of the painting;*
- c. a technique to replicate the optical properties on the microscale of each of the materials used in the painting, describing them using their Bidirectional Reflectance Distribution Function (BRDF).¹⁵ In this case we found an approximated BRDF that was analytically able to render, in Real-Time Rendering (RTR), the specular and diffuse reflectance components, starting with the very widespread Cook-Torrance physical model [Cook, Torrance 1982], implemented using a shader;*
- d. a solution for the graphic visualisation obtained based on the graphic engine of the RTR High Definition Render Pipeline (HDRP) of Unity 3D [<http://www.unity.com>; June 2023]. It satisfies two divergent requirements: a solution to transport light and physically model the materials to obtain an accurate visualisation; a system of interactive*

7/ Le mappe utilizzate per comporre lo shader in Unity3D col metodo multitexture.

The maps used to create the shader in Unity3D using the multitexture method.

8/ La mesh geometrica ottenuta da tecniche di photometric stereo (in basso) e la corrispondente mappa di albedo (in alto).

The geometric mesh obtained using stereo photometric techniques (bottom image) and the corresponding albedo map (top image).

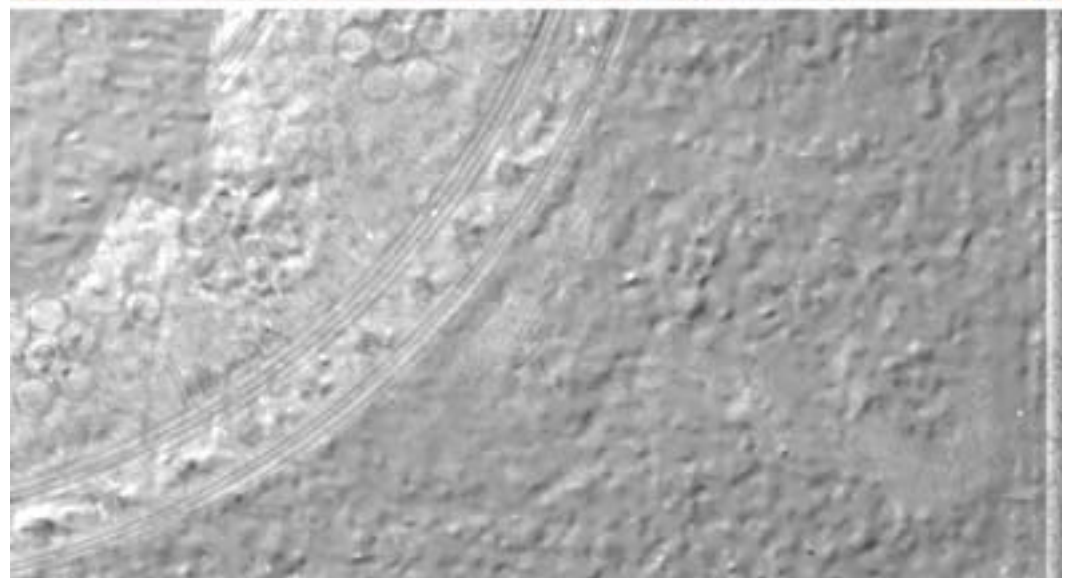
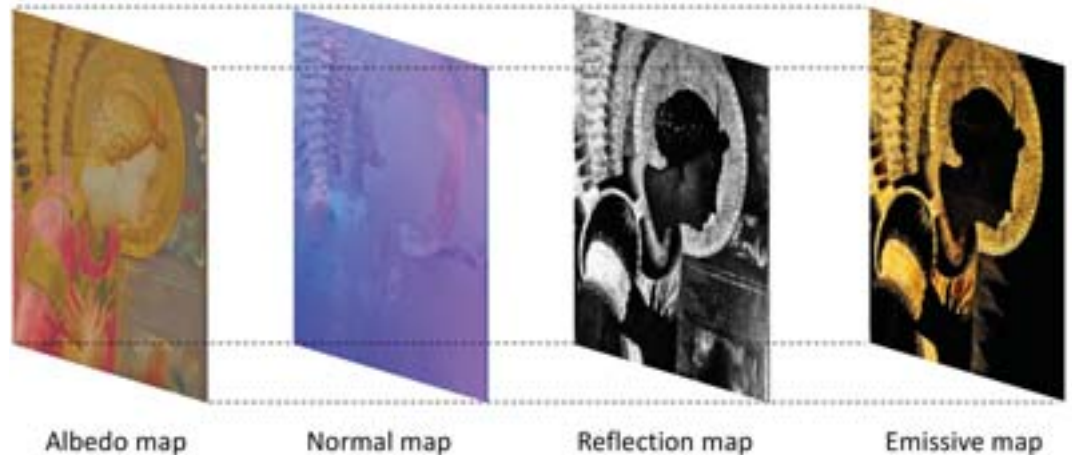
rendering that allows a frame rate of 60-100 Hz to easily interact with the visualisation of the painting;

e. its use as an input into the system of colourimetrically correct images using the five rules of colourimetric imaging [Berns 2015]: colour temperature linked to the lighting (CCT) of roughly 5,000°K (D50 workflow); optimal exposition; profile based on the minimisation of ΔE , thus obtaining exceptional accuracy regarding luminosity; validation separate from calibration; codification space that would not cut the colours in the scene. In particular, for the colour correction solution we used a completely automated technique, developed by our team: SHAFT (SAT & Hue Adaptive Fine Tuning) [Gaiani, Ballabeni 2018]. The final images are rendered in the DisplayP3 colour space capable of correctly reproducing the colours in the cobalt blue space, present in the painting and 100% viewable on current semi-professional monitors.

The acquisition system

The restitution of the form and total appearance of a painting has always been achieved by using multimodal techniques, in other words, the integrated use of multiple active and/or passive sensors or different acquisition methods, e.g., using different kinds of lighting in order to obtain a dimensional precision between 0.01 and 1 mm and accurate reproduction of the colour close to the minimal ones visible to the trained naked eye. In this case, we opted for a completely photographic system so that the problem of the registration of several images was solved by using the classical integration of homogeneous data acquired from several viewpoints and by limiting the 2D/3D registrations, which always lead to major errors.

The use of photographic techniques has always been crucial to identify and reproduce the colour of paintings and provide accurate colourimetric results [cfr. for example Martinez, Cupitt, Saunders 1993; Maitre et al. 1996; Berns 2001], but Roy Berns was probably the first to use them to recreate the normal lines and geometry of the painting and separate the albedo of the specular



Tab. 1/ Numero e dimensione delle prese fotografiche per tutte le parti restituite del dipinto: il numero di pixel acquisiti fa riferimento alla dimensione del singolo scatto per il numero di prese effettuate con luci provenienti da direzioni diverse.

Number and dimension of the shots for all the restored parts of the painting: the number of acquired pixels refers to the size of each shot per number of shots taken with light coming from different directions.

Tab. 2/ Numero e dimensione delle texture impiegate nella visualizzazione interattiva HDRP del modello. *Number and dimension of the textures used for the interactive HDRP visualisation of the model.*

Allineamento di immagini e mesh

La soluzione adottata per le immagini da mosaicare risulta in linea con quella proposta da Pedro M. Cabezos-Bernal et al. [Cabezos-Bernal, Rodriguez-Navarro, Gil-Piqueras 2021] che, come quella qui illustrata, mantiene la camera parallela al dipinto e il sistema di illuminazione solidale con essa. In questo modo la distanza tra sensore e punti sul dipinto rimane costante e la nitidezza delle immagini sempre ottimale e mai limitata dalla profondità di campo. Inoltre, la luce riflessa dall'opera non cambia tra gli scatti, così da evitare lievi differenze di esposizione e problemi di riflessi speculari.

Il mosaico di immagini pianificato degli spostamenti (orizzontali e verticali) della fotocamera (fig. 9) prevede una sovrapposizione minima circa del 25% tra inquadrature adiacenti per ottenere una qualità elevata delle cuciture.

Globalmente sono state acquisite 270 immagini per un totale di circa 106 gigapixel (tab. 1), corrispondenti a 26,8 gigapixel dopo la loro fusione (tab. 2).

Una volta acquisite le immagini, il loro allineamento e fusione tridimensionale è stato re-

alizzato tramite una sovrapposizione virtuale in tre passaggi:

- allineamento e fusione delle immagini tramite tecniche di *image stitching*, meglio espresse successivamente;

- allineamento e fusione delle *mesh* relative alla mesostruttura ricavata dal *photometric stereo* delle singole stazioni utilizzando l'algoritmo di Iterative Closest Point per l'allineamento [Bergström, Edlund 2017] e la tecnica volumetrica basata sul noto algoritmo Marching Cubes per la fusione [Curless, Levoy 1996];

- allineamento delle immagini alla *mesh* 3D, tipico problema di registrazione *image-to-geometry* [Pintus et al. 2017], eseguita sfruttando metodi di registrazione su base statistica basati sulle informazioni reciproche 2D/3D (*Mutual Information*) [Corsini et al. 2009] (fig. 10).

Il processo di mosaicatura delle immagini acquisite adottato ricalca quello tradizionale dello *stitching* in tre step principali: calibrazione, registrazione e fusione. La calibrazione dell'immagine produce una stima dei parametri intrinseci ed estrinseci della fotocamera; la registrazione delle immagini confronta

effects in every point of the measured surface [Berns et al. 2012]. It is in fact possible to use the normal lines to the surface to convey information about its mesostructure, which can be implicitly simulated in a rendering process. In the original stereo photometric formulation [Horn 1975], light sources were assumed ad infinitum, the camera was orthographic, and the surface of Lambert was convex (i.e., without shadows or specular inter-reflections). The solution, like other subsequent solutions that make up the basis of present-day development [e.g., Okatani, Deguchi 2001], included a single image to capture the diffuse reflection, while another three make it possible to solve photometric problems.

Instead we developed a photometric stereo technique called nLights that uses eight images with constant illumination from four, different, almost orthogonal directions inclined at 45° and 15° compared to the plane of the painting; the camera remained in a fixed position perpendicular to its surface; a ninth image was taken of the painting with uniform lighting. nLights comes from the Matlab PSBox toolbox [Ying 2023] and produces a series of maps, discarding the closest values that make it possible to reconstruct the mesostructure and microstructure using multitexture techniques: albedo, normal, depth (a map that makes it possible to reconstruct the coarse mesostructure based on the estimated normal vector field), and specular reflection (fig. 7). Furthermore, nLights provides a 3D geometric representation of the form of the panel of the painting as an OBJ geometric file, obtained from the depth map (fig. 8).

From an operational point of view, in order to use nLights we designed and built a new stand to support the chosen illumination system (thirty-two Relio lights² [http://www.relio.it; June 2023], a single LED illuminator that emits continuous spectrum light to a Colour Correlated Temperature of 4,000°K and presents a spectral power distribution with chromatic reliability in all wavelengths) and rigidly connect it to the camera, allowing for vertical and horizontal movement. In addition, the stand ensures conservation of the

Parti del dipinto	Prese fotografiche necessarie per la copertura	Scatti totali effettuati per la parte	Dimensione del singolo scatto (pixel)	Gigapixel totali acquisiti	Dimensione dell'immagine mosaicata per la parte (pixel)
Tondo superiore	1	9	23.200x17.400	3,6	23.200x17.400
Dipinto (pannello sinistro)	12	108	23.200x17.400	42,8	43.891x76.231
Dipinto (pannello destro)	12	108	23.200x17.400	42,8	44.137x76.448
Predella	5	45	23.200x17.400	16,1	23.200x17.400x5

Parti del dipinto	Numero di porzioni mosaicate	Numero di mappe sovrapposte	Dimensione della singola porzione di mappa (pixel)	Dimensione totale mappe (pixel)	Gigapixel riprodotti (comprensivo delle 4 mappe)
Tondo superiore	1	4	11.125x11.125	11.125x11.125	0,5
Dipinto (pannello sinistro)	8	4	20.180x17.980	40.360x71.920	11,6
Dipinto (pannello destro)	8	4	20.240x17.990	40.480x71.960	11,6
Predella	5	4	18.275x8.825	18.275x8.825x5	3,2

9/ Il progetto di ripresa con l'individuazione delle singole immagini: le dimensioni dell'Annunciazione hanno portato a considerare sovrapposizioni costanti di circa il 25% per agevolare la successiva mosaicatura delle immagini.
The shoot used to identify the individual images: the dimensions of the Annunciation led us to consider constant 25% overlapping between shots in order to facilitate the subsequent mosaicking of the images.

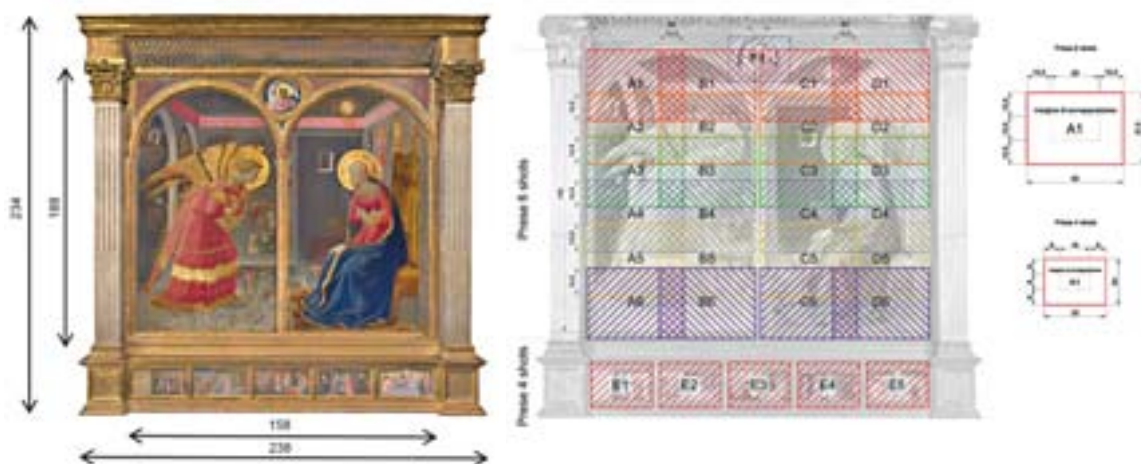
parallelism between the camera and the plane of the painting thanks to two laser distance meters that ensure ± 1.5 mm accuracy.

We used a medium format Hasselblad H6D-400C Multi-Shot as an acquisition device [https://www.hasselblad.com/h-system/h6d-400c-multi-shot/; June 2023]; it was equipped with a CMOS sensor with 11,600x8,700 pixel and had a colour depth of 48 bit. The Multi-Shot technology makes it possible to achieve real colour in every pixel location (GRGB) and a 4x resolution (i.e., 32,300x17,400 pixel) thanks to six acquisitions obtained each time by shifting the sensor by a half of a pixel. In this case we used the method six times which is equivalent, in the area photographed by every 500x375 image, to a sample resolution of 15 mm and a real resolution of the system of 21 mm¹⁶ when the camera was positioned at a distance of roughly 1,120 mm from the painting.¹⁷

Alignment of the images and mesh

The solution adopted for the images to be mosaicked is in line with the one proposed by Pedro M. Cabezas-Bernal et al. [Cabezas-Bernal, Rodriguez-Navarro, Gil-Piqueras 2021], which, like the one illustrated here, maintains the camera and the illumination system attached to it, parallel to the painting. This way the distance between the sensor and the points on the painting remains constant; the sharpness of the images always remains optimal and is never limited to the depth of field. Furthermore, the light reflected by the painting does not change from one shot to another, thus avoiding slight differences in exposure and specular reflection problems. The planned mosaic of the images involving the horizontal and vertical relocation of the camera (fig. 9) envisages a minimum superimposition of roughly 25% between adjacent frames in order to obtain good quality stitching.

Overall, 270 images were acquired for a total of 106 gigapixel (tab. 1), corresponding to 26.8 gigapixel after their fusion (tab. 2). Having acquired the images, their alignment and three-dimensional fusion was achieved thanks to virtual superimposition performed in three stages:



più immagini per trovare le traslazioni da utilizzare per il loro allineamento; la fusione unisce le varie immagini a formare un'unica immagine.

Per l'applicazione operativa di tale schema sono disponibili due approcci [Nag 2017]:

- il cosiddetto allineamento diretto (*pixel-based*), in cui la maggior parte dei pixel concorda nell'intensità (colore o luminosità) proponendosi di minimizzare la somma delle differenze assolute tra i pixel sovrapposti;
- il cosiddetto allineamento basato su *feature*, tramite corrispondenza tra le caratteristiche geometriche dell'immagine come punti, linee, e contorni.

La soluzione sviluppata (ImageMatcher.app) rientra nella seconda categoria, scelta effettuata per una maggiore affidabilità e velocità di realizzazione con minore onerosità computazionale, e capacità di scoprire automaticamente le relazioni di adiacenza (sovrapposizione) tra un insieme non ordinato di immagini [Szeliski 2022].

Principali caratteristiche dell'applicazione sono:

- a. utilizzo di un nuovo operatore di detezione-descrizione di punti caratteristici ottenuto reimplementando il detettore-descrittore ASIFT (affine SIFT) [Morel, Yu 2009], per il caso di immagini molto ruotate fra loro [Gaiani 2015];
- b. ricerca delle corrispondenze tra le immagini in forma approssimata tramite una organizzazione dei descrittori di un'immagine organizzati in un *KD-tree*, utilizzando l'im-

plementazione della ricerca dei punti omologhi FLANN [Muja, Lowe 2014] calibrata per ridurre l'approssimazione nel caso in oggetto; c. rimozione delle corrispondenze errate tramite la tecnica MSAC (*M-estimator Sample Consensus*) [Torr, Zisserman 1999] più accurata rispetto alla soluzione canonica *Random Sample Consensus* (RANSAC) [Fischler, Bolles 1981];

d. allineamento globale tramite tecniche iterative di *bundle adjustment* al fine di eliminare le mis-registrazioni tra tutte le coppie di immagini, mediante la minimizzazione ai minimi quadrati degli errori di riproiezione dei punti caratteristici [Triggs et al. 2020], garantendo un errore di riproiezione di 0,684 pixel;

e. *image blending* tramite la tecnica di livellamento proposta da Lempitsky e Ivanov e qui reimplementata per immagini *gigapixel* [Lempitsky, Ivanov 2007].

I parametri utilizzati per le mappe colore sono stati utilizzati anche per lo *stitching* delle altre mappe (normali, profondità e riflessione speculare). Il risultato ottenuto con ImageMatcher.app è illustrato in figura 11. Infine, la messa in scala è stata assicurata da una serie di misure realizzate servendosi di un laser scanner Faro Focus 3D X 130 capace di garantire una risoluzione laterale di 2 mm a 10 m e una incertezza di misura della profondità di 0,15 mm.

Le immagini mosaiccate, sia nei termini di albedo sia di normali e mappe di riflessione, sono infine confluite negli *shader multitexture* che modellizzano BRDF e mesostruttura (tab. 2).

Conclusioni

La costruzione del fac-simile digitale dell'*Annunciazione* di San Giovanni Valdarno del Beato Angelico si inserisce nel discorso sui caratteri della disciplina del rilevamento dell'architettura, pur riguardando un dipinto, innanzitutto per motivi intrinseci; in primo luogo la sua conformazione (assimilabile a una microarchitettura) e inoltre per l'ambiente culturale in cui fu realizzata, e con il quale fra Angelico ebbe profondi legami – Lorenzo Ghiberti, Filippo Brunelleschi, Leon Battista Alberti –, che produsse effetti anche nella nuova architettura all'antica che ne realizzava lo scenario e il contesto [Mozo 2019]. Ma il legame consta soprattutto nel metodo con il quale ci si è accostati a questa microarchitettura. La comprensione del dipinto richiede la conoscenza di innumerevoli elementi: misure, dettagli, colori, riflessioni delle superfici, testimonianze dei problemi emersi nel tempo e dello stato di conservazione. Si tratta di caratteri la cui conoscenza è oggi indispensabile anche nella documentazione di un manufatto architettonico ai fini della sua conservazione, ri-progettazione, pianificazione. Un rilievo costituito da un disegno 2D al contorno con poche misure ha una utilità conoscitiva e operativa assai marginale: non aiuta, infatti, a definire la forma, né la qualità dei materiali o delle incrostazioni sovrainposte dal tempo, prestandosi solo a un utilizzo come strumento di contabilizzazione e di visualizzazione di analisi tematiche [Gaiani 2012]. Come ha ben spiegato quasi un quarto di secolo fa Jean-Paul Saint Aubin, quando il digitale era una promessa più che una tecnica effettiva, il rilievo è «uno strumento che cerca di ottenere la figurazione della forma effettiva della costruzione con le mancanze, le irregolarità, le modificazioni, le aggiunte, le eliminazioni, i restauri sovrainposti nel tempo; uno strumento didattico, giacché vuole permettere la comprensione del funzionamento dell'opera nella complessità della sua storia e analizzare i modelli ai quali si riferisce e le innovazioni che introduce; infine uno strumento per conoscere lo stato di salute, la struttura e i suoi cedimenti e cercare la terapia a partire da un documento irrefutabile» [Saint-Aubin 1996, p. 230]. Il metodo proposto in questo scritto cerca di recuperare proprio questi caratteri, oggi spes-

so trascurati, in direzione di forme di conoscenza più complete e più vicine al modo in cui percepiamo ed elaboriamo logicamente gli artefatti che ci circondano.

1. Beato Angelico, *Annunciazione*, 1430-1432 circa, tempera e oro su tavola, 158x188 cm il pannello centrale, 238x234 cm compresa la predella, Museo della basilica di Santa Maria delle Grazie, San Giovanni Valdarno. Cfr. Martini, Pesci, Sacchetti 2019; Michela Martini, Filippo Boni. *Arte e storia: dalla bellezza divina incarnata all'atroce disumanità dell'uomo che si crede Dio*. In Carl Brandon Strehlke (a cura di). *Masaccio e Angelico: dialogo sulla verità nella pittura*. Arezzo: Magonza, 2022.

2. Beato Angelico, *Annunciazione*, 1430-1440 circa, tempera e oro su tavola, 194x154 cm il pannello centrale, 194x194 cm compresa la predella, Museo del Prado, Madrid. Cit. la scheda sul dipinto in Carl Brandon Strehlke (a cura di). *Fra Angelico and the Rise of the Florentine Renaissance*. Madrid: Museo Nacional del Prado, 2019, pp. 158-169.

3. Beato Angelico, *Annunciazione*, 1430-1440 circa, tempera e oro su tavola, 180x175 cm compresa la predella, Museo Diocesano, Cortona.

4. Beato Angelico, *Predella della Pala dell'Annunciazione*, 1430-1440 circa, tempera e oro su tavola, 30x184 cm (16x30 cm ciascuno scomparto), Museo della Basilica di Santa Maria delle Grazie, San Giovanni Valdarno. Cfr. Martini, Pesci, Sacchetti 2019; Martini, Boni, *Arte e storia*, cit.

5. Mostra a cura di Carl Brandon Strehlke, Michela Martini, Daniela Parenti, e Valentina Zucchi, San Giovanni Valdarno, Museo delle Terre Nuove e Museo della basilica di Santa Maria delle Grazie, 17 settembre 2022 - 15 gennaio 2023.

6. L'aspetto è definito quindi qui come la struttura ottica fisica e oggettiva a cui un materiale conduce sotto una certa illuminazione. Cfr. Happa et al. 2012.

7. Come in *Google Arts & Culture* (<<https://artsandculture.google.com/>>) o nel progetto "Operation Night Watch", del Rijksmuseum, incentrato sul dipinto *La ronda di notte* di Rembrandt (<<https://www.rijksmuseum.nl/en/whats-on/exhibitions/operation-night-watch>> [giugno 2023].

8. Sugli RTI cfr. Malzbender, Gelb, Wolters 2001; Castro et al. 2022; Duffy, Jones, Backhouse 2013.

9. Le immagini multispettrali sono una raccolta di immagini relative allo stesso oggetto o scene, acquisite in diverse bande spettrali, generalmente contigue, dello spettro visibile (o quasi visibile).

- *alignment and fusion of the images using an image stitching technique, more extensively illustrated below;*

- *alignment and fusion of the mesh of the mesostructure obtained from the photometric stereo of each station using the algorithm of Iterative Closest Point for the alignment [Bergström, Edlund 2017], and the volumetric technique based on the well-known algorithm Marching Cubes for the fusion [Curless, Levoy 1996];*

- *alignment of the images with the 3D mesh, a typical problem of image-to-geometry registration [Pintus et al. 2017] executed by exploiting registration methods on a statistical basis based on reciprocal 2D/3D information (Mutual Information) [Corsini et al. 2009] (fig. 10).*

The mosaicking process of the acquired images is similar to the traditional stitching process and involves three main steps: calibration of the image, registration of the image, and fusion of the images. Calibration of the image produces an estimate of the intrinsic and extrinsic parameters of the camera; registration of the images compares multiple images to find the transfers needed for their alignment; fusion unites the images to create a single image.

Two approaches can be used to operatively apply this process [Nag 2017]:

- *the so-called direct alignment (pixel-based) in which most of the pixels have the same intensity (colour or luminosity); the objective is to minimise the sum of the absolute differences between the superimposed pixels;*

- *the so-called alignment based on features, achieved through correspondence between the geometric characteristics of the image such as points, lines and outlines.*

The solution that was developed (ImageMatcher.app) falls into the second group; it was chosen so as to achieve greater reliability and speed of realisation with a less computational burden; it also has the ability to automatically pinpoint the adjacency relation (superimposition) between an unsorted ensemble of images [Szeliski 2022].

The main characteristics of the application are: a. use of a new operator of detection-description of the characteristic points obtained by

10/ Schema di registrazione image-to-geometry servendosi di tecniche su base statistica applicate alle informazioni reciproche 2D/3D tra superfici e immagini (Mutual Information).

Image-to-geometry registration scheme on a statistical basis performed on mutual 2D/3D information exchange between surfaces and images (Mutual Information).

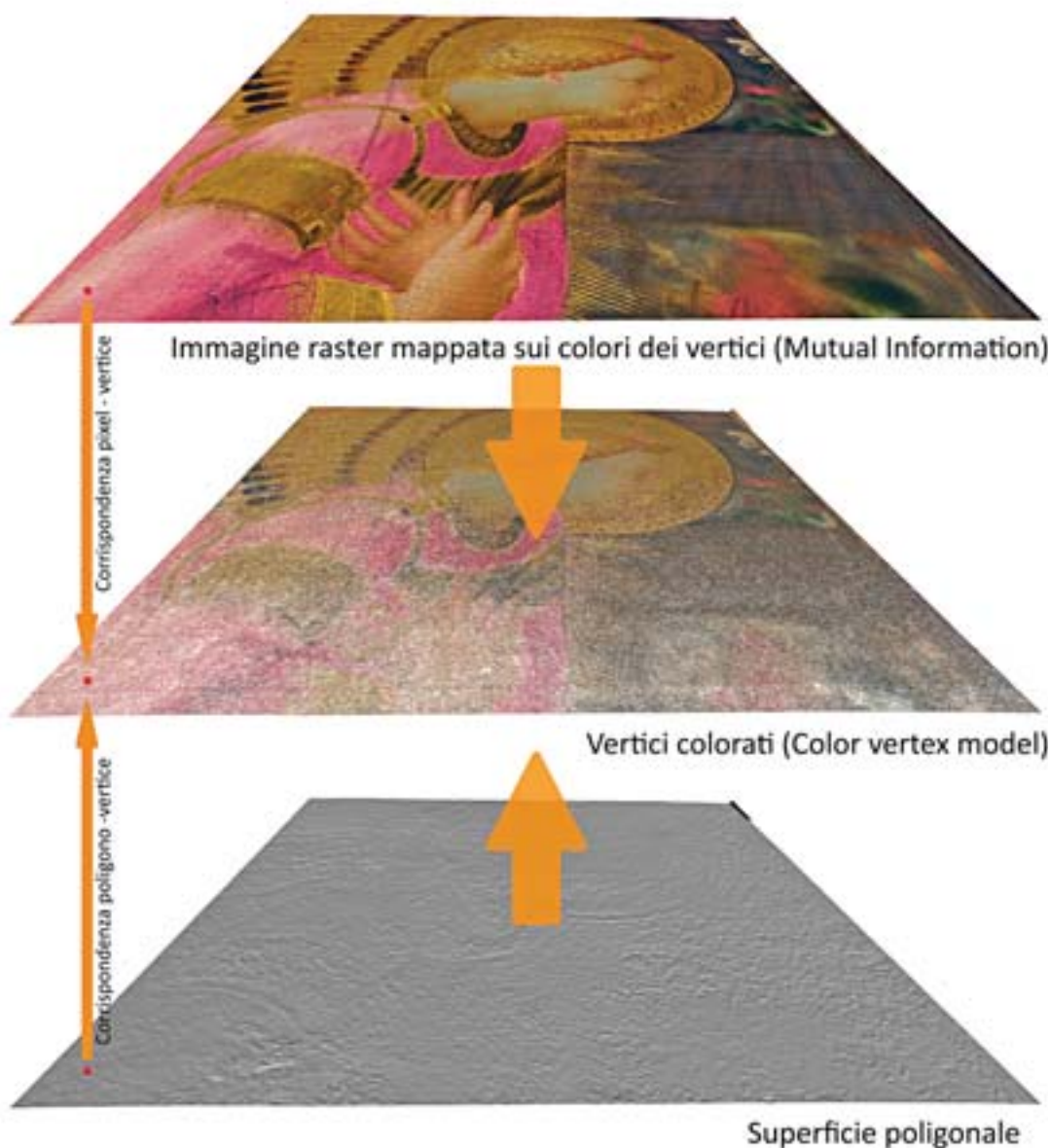
re-implementing the detector-descriptor ASIFT (affine SIFT) [Morel, Yu 2009], applied to images that are extremely rotated on themselves [Gaiani 2015];
b. search for the correspondences between images in an approximate form by organising the descriptors of an image arranged in a KD-tree, using the implementation of the search for the homologous points FLANN [Muja, Lowe 2014] calibrated to reduce their approximation in the case in question;
c. removal of the incorrect correspondences using the MSAC technique (M-estimator Sample Consensus) [Torr, Zisserman 1999] which is more accurate compared to the canonical Random Sample Consensus (RANSAC) solution [Fischler, Bolles 1981];
d. global alignment using iterative bundle adjustment techniques so as to eliminate the incorrect registrations between all the pairs of images; this is achieved by minimising to the minimum squares of the reprojection errors of the characteristic points [Triggs et al. 2020], ensuring a reprojection error of 0.684 pixel;
e. image blending using the levelling technique proposed by Lempitsky and Ivanov and re-implemented here for gigapixel images [Lempitsky, Ivanov 2007].

The parameters used for the colour maps were also used for the stitching of the other maps (normal, depth and specular reflection). The result obtained with the ImageMatcher.app is illustrated in figure 11. Finally, scale was guaranteed by a series of measurements taken using a Faro Focus 3D X 130 laser scanner that ensured a lateral resolution of 2 mm at 10 m and an uncertain measurement of the depth of 0.15 mm.

The mosaicked images, in terms of albedo, normal and reflection maps, were finally introduced into the multitexture shaders that model the BRDF and mesostructure (tab. 2).

Conclusions

The construction of the digital facsimile of the Annunciation by Fra Angelico in San Giovanni Valdarno is part of the debate on the features of the discipline of architectural survey, even though it involves a painting, primarily for intrinsic reasons. First and foremost, its conformation (similar



10. Sull'analisi multispettrale dei dipinti accoppiata con quella tridimensionale a base digitale cfr. Remondino et al. 2011.

11. Come ritiene Magnolia Scudieri [Martini, Pesci, Sacchetti 2019, pp. 40-47].

12. La colonna al centro ha anche lo scopo di separare la zona dell'angelo da quella della Vergine per ribadire che l'Incarnazione avviene per azione dello Spirito Santo, senza alcun contatto fisico.

13. Queste due fasi di esecuzione della tavola sarebbero testimoniate dalla presenza sulla parete destra di due archi ciechi e anche dagli archi nascosti, ma visibili a luce radente, sulla parete di fondo, poi non del tutto cancellati nella nuova più ricca versione dipinta a riquadri marmorei sfumati.

14. CIE (Commission Internationale de l'Eclairage) 175:2006 report. A framework for the measurement of visual appearance. Vienna 2006. Sull'aspetto dei materiali dei dipinti cfr. Van Zuijlen, Pont, Wijntjes 2020.

15. La BRDF [Nicodemus 1965] è una grandezza che misura la porzione di luce che la superficie riflette in

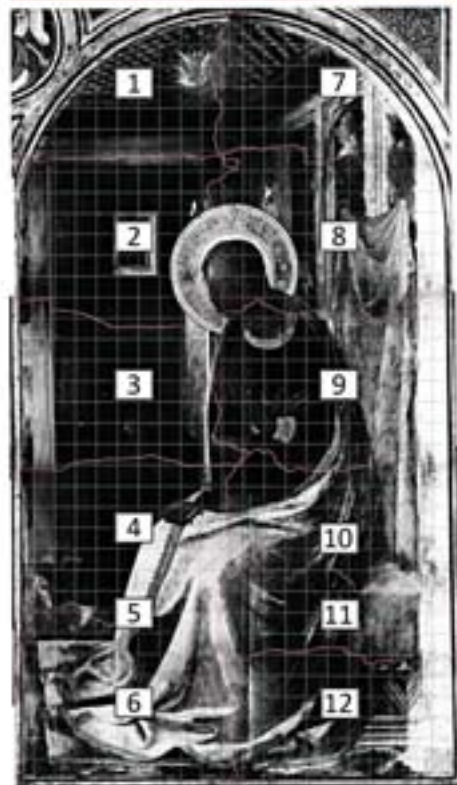
ogni direzione in funzione della luce ivi incidente. Sulla BRDF cfr. ad esempio: Dorsey, Rushmeier, Sillion 2008; Guarnera et al. 2016.

16. La risoluzione di campionamento è quella implicita dal campionamento del file immagine. Se espressa in pixel, l'intervallo di campionamento è di un pixel, e nell'intervallo di misura è misurabile in ppi (pixel per inch). La risoluzione effettiva è stata valutata tramite la *Modulation Transfer Function* (MTF) di sistema, una misura di quanto un dispositivo o sistema di *imaging* possa riprodurre accuratamente una scena, codificato dalla norma ISO 12233:2017 (<<https://www.iso.org/standard/71696.html>> [giugno 2023]). In particolare, si sono valutati l'MTF10, capace di valutare la risoluzione massima e MTF50, che indica la nitidezza dell'immagine. Sulla misurazione dell'MTF, cfr. Peter D. Burns. Slanted-Edge MTF for Digital Camera and Scanner Analysis. *Imaging Science and Technology's 2000 PICS Conference: Image Processing, Image Quality, Image Capture, Systems Conference*, 2000, pp. 135-138.

17. Questa distanza ha portato a una densità di campionamento di 1.371 pixel/inch, misurata secondo la classica formula con cui si misura anche la *Ground Sample Distance* fotogrammetrica.

11/ La mosaicatura delle immagini della porzione di destra dell'Annunciazione, per ottenere le mappe destinate allo shader finale.

The mosaicking of the images of the right portion of the Annunciation in order to obtain the maps for the final shader.



to a micro-architecture) and the cultural environment in which it was produced, an environment with which Fra Angelico had very close ties – Lorenzo Ghiberti, Filippo Brunelleschi, Leon Battista Alberti. This also produced effects in the new ancient-style architecture of the scenario and context [Mozo 2019].

However the link lies above all in the method with which we approached this micro-architecture. Countless elements have to be known in order to understand the painting: measurements, details, colours, reflections of the surfaces, evidence of the problems that have emerged over the years, and state of conservation. Being familiar with these features is currently crucial, especially when documenting an old architectural artefact for the purposes of its conservation, re-design and planning. A survey based on a 2D drawing of the outline with just a few measurements provides only marginal knowledge and operational data: it does not, in fact, help to define its form, the quality of the materials or the incrustations superimposed by time; it can only be used as an instrument to record and visualise thematic analyses [Gaiani 2012].

As explained so eloquently by Jean-Paul Saint Aubin twenty-five years ago, when digital technology was more of a promise than a real technique, survey is “a tool that tries to obtain the figuration of the real form of the construction with the missing parts, irregularities, alterations, additions, eliminations, and restorations superimposed over the years; a didactic tool, since it wishes to permit comprehension of the way the artefact functioned throughout its history and analyse the models to which it refers and the innovations it introduces; finally it is a tool to understand its state of health, its structure and where it has collapsed in order to try to find a therapy based on an irrefutable document” [Saint-Aubin 1996, p. 230].

The method proposed here attempts to recover these features, often neglected in this day and age, in order to gather more complete forms of knowledge, closer to the way in which we perceive and logically process the artefacts around us.

1. *Fra Angelico*, Annunciation, circa 1430-1432, tempera and gold on panel, 158x188 cm the central panel, 238x234 cm including the predella, Museum of the Basilica of Santa Maria delle Grazie, San Giovanni Valdarno. Cfr. Martini, Pesci, Sacchetti 2019; Michela Martini, Filippo Boni. *Arte e storia: dalla bellezza divina incarnata all'atroce disumanità dell'uomo che si crede Dio*. In Carl Brandon Strehlke (ed.). *Masaccio e Angelico: dialogo sulla verità nella pittura*. Arezzo: Magonza, 2022.
2. *Fra Angelico*, Annunciation, circa 1430-1440, tempera and gold on panel, 194x154 cm the central panel, 194x194 cm including the predella, Prado Museum, Madrid. Cit. technical sheets about the painting in Carl Brandon Strehlke (ed.). *Fra Angelico and the Rise of the Florentine Renaissance*. Madrid: Museo Nacional del Prado, 2019, pp. 158-169.
3. *Fra Angelico*, Annunciation, circa 1430-1440, tempera and gold on panel, 180x175 cm including the predella, Diocesan Museum, Cortona.
4. *Fra Angelico*, Predella of the Altarpiece of the Annunciation, circa 1430-1440, tempera and gold on panel, 30x184 cm (16x30 cm each division), Museum of the Basilica of Santa Maria delle Grazie, San Giovanni Valdarno. Cfr. Martini, Pesci, Sacchetti 2019; Martini, Boni, *Arte e storia*, cit.
5. Exhibition curated by Carl Brandon Strehlke, Michela Martini, Daniela Parenti, and Valentina Zucchi, San Giovanni Valdarno, Museum of the Terre Nuove and Museum of the Basilica di Santa Maria delle Grazie, 17 September 2022 - 15 January 2023.
6. The appearance is therefore defined here as the physical and objective optical structure produced by a material under certain light conditions. Cfr. Happa et al. 2012.
7. As in Google Arts & Culture (<<https://artsandculture.google.com/>>) or the project 'Operation Night Watch', by the Rijksmuseum, focusing on the painting entitled *The Night Watch by Rembrandt* (<<https://www.rijksmuseum.nl/en/whats-on/online-exhibitions/operation-night-watch>> [June 2023]).
8. Regarding the RTI, cfr. Malzbender, Gelb, Wolters 2001; Castro et al. 2022; Duffy, Jones, Backhouse 2013.
9. Multispectral images are a collection of images of the same object or scenes, acquired in different and generally adjacent spectral bands of the visible (or almost visible) spectrum.
10. Regarding the multispectral analysis of the paintings paired with the digital three-dimensional analysis, cfr. Remondino et al. 2011.
11. As proposed by Magnolia Scudieri (Martini, Pesci, Sacchetti 2019, pp. 40-47).
12. The column in the centre also separates the area occupied by the Angel from the area with the Virgin in order to stress that the Incarnation occurred thanks to the Holy Spirit, without any physical contact.
13. Evidence of the two execution phases comes from the presence on the right wall of two blind arches and also several hidden arches (visible using sidelight) on the rear wall, and not completely eliminated in the new, more embellished version painted with nuanced marble squares.
14. CIE (Commission Internationale de l'Eclairage) 175:2006 report. A framework for the measurement of visual appearance. Vienna 2006. Regarding the appearance of the materials of the paintings, cfr. Van Zuijlen, Pont, Wijntjes 2020.
15. The BRDF (Nicodemus 1965) measures the amount of light that the surface reflects in every direction depending on the incident light. Regarding BRDF cfr. for example: Dorsey, Rushmeier, Sillion 2008; Guarnera et al. 2016.
16. The resolution of the sample is implicit in the sample of the image file. If expressed in pixel, the sample interval is one pixel, and in the measurement interval is measurable in ppi (pixel per inch). The real resolution was assessed using the Modulation Transfer Function (MTF), a measurement of the degree to which a device or imaging system can accurately reproduce a scene, codified by ISO 12233:2017 (<<https://www.iso.org/standard/71696.html>> [June 2023]). In particular, we assessed MTF10, capable of evaluating the maximum resolution, and MTF50, indicating the sharpness of the image. Regarding the measurement of the MTF, cfr. Peter D. Burns. *Slanted-Edge MTF for Digital Camera and Scanner Analysis*. Imaging Science and Technology's 2000 PICS Conference: Image Processing, Image Quality, Image Capture, Systems Conference, 2000, pp. 135-138.
17. This led to a sample density of 1,371 pixel/inch, measured according to the classical formula with which one also measures the photogrammetric Ground Sample Distance.

References

- Anderson 2011 = Barton L. Anderson. Visual perception of materials and surfaces. *Current Biology*, 21, 24, 2011, pp. R978-R983. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cub.2011.11.022>.
- Apollonio et al. 2021 = Fabrizio Ivan Apollonio, Riccardo Foschi, Marco Gaiani, Simone Garagnani. 2021. How to Analyze, Preserve, and Communicate Leonardo's Drawing? A Solution to Visualize in RTR Fine Art Graphics Established from "the Best Sense". *Journal on Computing and Cultural Heritage*, 14, 3, 2021, art: 36, pp. 1-30. <<https://doi.org/10.1145/3433606>>.
- Bergström, Edlund 2017 = Per Bergström, Ove Edlund. Robust registration of surfaces using a refined iterative closest point algorithm with a trust region approach. *Numerical Algorithms*, 74, 2017, pp. 755-779. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11075-016-0170-3>.
- Berns 2001 = Roy S. Berns. The Science of Digitizing Paintings for Color-Accurate Image Archives: A Review. *Journal of Imaging Science and Technology*, 45, 4, 2001, pp. 305-325.
- Berns 2015 = Roy S. Berns. *Scientific Imaging of Cultural Heritage: Minimizing visual editing and relighting* 2+3D Photography Practice and Prophecies, 2015.
- Berns et al. 2012 = Roy S. Berns, Tongbo Chen, David R. Wyble, Lin Chen. Update: Practical Total Appearance Imaging of Paintings. In *Proceedings IS&T Archiving (Copenhagen, Denmark, 2012)*. USA: Society of Imaging Science and Technology, vol. 9, art: 36, 2012, pp. 162-167. DOI: <https://doi.org/10.2352/issn>.
- Cabezos-Bernal, Rodriguez-Navarro, Gil-Piqueras 2021 = Pedro M. Cabezos-Bernal, Pablo Rodriguez-Navarro, Teresa Gil-Piqueras. Documenting paintings using Gigapixel SfM Photogrammetry. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 28th CIPA Symposium "Great Learning & Digital Emotion", 28 August-1 September 2021, Beijing, China, XLVI-M-1-2021, pp. 93-100. ISSN: 2194-9034. DOI: <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLVI-M-1-2021-93-2021>.
- Castro et al. 2022 = Yuly Castro, Amalia Siatou, Mattieu Rossé, Hermine Chatoux, Ramamoorthy Luxman, Gaëtan Le Goïc, Alamin Mansouri. Extended Framework for Multispectral RTI. *Archiving Conference*, 19, 2022, pp. 56-61. DOI: <https://doi.org/10.2352/issn.2168-3204.2022.19.1.12>.
- Cook, Torrance 1982 = Robert L. Cook, Kenneth E. Torrance. A reflectance model for computer graphics. *ACM Transactions on Graphics*, 1, 1, 1982, pp. 7-24. ISSN: 0730-0301. DOI: <https://doi.org/10.1145/357290.357293>.
- Corsini et al. 2009 = Corsini Massimiliano, Dellepiane Matteo, Ponchio Federico, Scopigno Roberto. 2009. Image-to-Geometry Registration: a Mutual Information Method exploiting Illumination-related Geometric Properties. *Computer Graphics Forum*, 28, 7, 2009, pp. 1755-1764.
- Curless, Levoy 1996 = Brian Curless, Marc Levoy. A volumetric method for building complex models from range images. In *Proceedings of the 23rd Annual Conference on Computer Graphics and Interactive Techniques (SIGGRAPH '96)*. New York: ACM Press, 1996, pp. 303-312. ISBN: 0897917464. DOI: <https://doi.org/10.1145/237170.237269>.
- Didi Huberman 2009 = Georges Didi Huberman. *Beato Angelico. Figure del dissimile*. Milano: Abscondita, 2009. ISBN: 8884161703.
- Dorsey, Rushmeier, Sillion 2008 = Julie Dorsey, Holly Rushmeier, François Sillion. *Digital Modeling of Material Appearance*. USA: Morgan Kaufmann Books - Elsevier, 2008. ISBN: 9780122211812. DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-221181-2.X5001-0>.

-
- Duffy, Jones, Backhouse 2013 = Sarah M. Duffy, David Jones, Paul Backhouse. *Multi-light imaging for heritage applications*. London UK: English Heritage, 2013 (seconda edizione: Duffy Sarah M. 2018. *Multi-light Imaging. Highlight-Reflectance Transformation Imaging (H-RTI) for Cultural Heritage*. Swindon: Historic England, 2018. <<https://historicengland.org.uk/images-books/publications/multi-light-imaging-heritage-applications/heag069-multi-light-imaging/>> [giugno 2023].
 - Fischler, Bolles 1981 = Martin A. Fischler, Robert C. Bolles. Random Sample Consensus: A Paradigm for Model Fitting with Applications to Image Analysis and Automated Cartography. *Communications of the ACM*, 24, 6, 1981, pp. 381-395. ISSN: 0001-0782. DOI: <https://doi.org/10.1145/358669.358692>.
 - Gaiani 2012 = Marco Gaiani. Per una revisione critica della teoria del rilievo dopo l'avvento dei mezzi digitali. In Laura Carlevaris, Monica Filippa. *Elogio della teoria. Identità delle discipline del disegno e del rilievo. 34. Convegno internazionale dei docenti della rappresentazione*. Roma: Gangemi Editore, 2012, pp. 375-382. ISBN: 9788849225198.
 - Gaiani 2015 = Marco Gaiani (a cura di). *I portici di Bologna Architettura, Modelli 3D e ricerche tecnologiche*. Bologna: Bononia University Press, 2015.
 - Gaiani, Apollonio 2019 = Marco Gaiani, Fabrizio Ivan Apollonio. Under the lens of ISLE: Leonardo da Vinci's "Landscape" drawing analysed by colourimetry. *Cultura e Scienza del Colore - Color Culture and Science*, 11, 2, 2019, pp. 73-81. DOI: <https://doi.org/10.23738/CCSJ.110208>.
 - Gaiani, Apollonio, Clini 2015 = Marco Gaiani, Fabrizio Ivan Apollonio, Paolo Clini. Innovative approach to the digital documentation and rendering of the total appearance of fine drawings and its validation on Leonardo's Vitruvian Man. *Journal of Cultural Heritage*, 16, 6, 2015, pp. 805-812. ISSN: 1296-2074. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.culher.2015.04.003>.
 - Gaiani, Ballabeni 2018 = Marco Gaiani, Andrea Ballabeni. SHAFT (SAT & HUE Adaptive Fine Tuning), a new automated solution for target-based color correction. In Veronica Marchiafava, Lia Luzzatto. *Colour and Colorimetry Multidisciplinary Contributions*. Milano: Gruppo del Colore - Associazione Italiana Colore, 2018, vol. XIVB, pp. 69-80. ISBN: 9788899513092.
 - Guarnera et al. 2016 = Darya Guarnera, Claudio Guarnera, Abhijeet Ghosh, Cornelia Denk, Mashhuda Glencross. BRDF Representation and Acquisition. *Computer Graphics Forum*, 35, 2, 2016, pp. 625-650. ISSN:1467-8659. DOI: <https://doi.org/10.1111/cgf.12867>.
 - Happa et al. 2012 = Jassim Happa, Tom Bashford-Rogers, Alexander Wilkie, Alessandro Artusi, Kurt Debattista, Alan Chalmers. Cultural Heritage Predictive Rendering. *Computer Graphics Forum*, 31, 6, 2012, pp. 1823-1836. ISSN:1467-8659. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1467-8659.2012.02098.x>.
 - Horn 1975 = Klaus Paul Berthold Horn. Obtaining shape from shading information. In Patrick Henry Winston (a cura di). *The Psychology of Computer Vision*, New York: McGraw-Hill, 1975, pp. 115-155. ISBN: 9780070710481.
 - Lempitsky, Ivanov 2007 = Victor Lempitsky, Denis Ivanov. Seamless Mosaicing of Image-Based Texture Maps. In *2007 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, 2007, pp. 1-6. DOI: <https://doi.org/10.1109/CVPR.2007.383078>.
 - Maitre et al. 1996 = Henri Maitre, Francis J.M. Schmitt, Jean-Pierre Crettez, Yifeng Wu, Jon Yngve Hardeberg. Spectrophotometric Image Analysis of Fine Art Paintings. In *International Conference on Communications in Computing (1996)*, The Fourth Color Imaging Conference: Color Science, Systems and Applications, 1996, pp. 50-53.
 - Malzbender, Gelb, Wolters 2001 = Thomas Malzbender, D. Gelb, H.J. Wolters. Polynomial texture maps. In *Proceedings of the ACM SIGGRAPH Conference on Computer Graphics*, 2001, pp. 519-528. DOI: <https://doi.org/10.1145/383259.383320>.
 - Martinez, Cupitt, Saunders 1993 = Kirk Martinez, John Cupitt, David R. Saunders. High-resolution colorimetric imaging of paintings. In Helen Marz, Robert L. Nielsen. *Proceedings of SPIE 1901, Cameras, Scanners, and Image Acquisition Systems*, 1, 1993, pp. 25-36. DOI: <https://doi.org/10.1117/12.144795>.
 - Martini, Pesci, Sacchetti 2019 = Michela Martini, Lorenzo Pesci, Lucia Sacchetti. *Museo della Basilica di Santa Maria delle Grazie a San Giovanni Valdarno: pittura e scultura, arredi sacri, paramenti liturgici*. Firenze: Polistampa, 2019. ISBN: 8859619688.
 - Morel, Yu 2009 = Jean-Michel Morel, Guoshen Yu. ASIFT: A new framework for fully affine invariant comparison. *SIAM Journal on Imaging Sciences*, 2, 2, 2009, pp. 438-469. DOI: <https://doi.org/10.1137/080732730>.
 - Mozo 2019 = Ana González Mozo. Strategies for Depicting Sacred Stories. In Carl Brandon Strehlke. *Fra Angelico and the Rise of the Florentine Renaissance*. Madrid: Museo Nacional del Prado, 2019, pp. 57-77. ISBN: 9788484805298.
 - Muja, Lowe 2014 = Marius Muja, David G. Lowe. Scalable Nearest Neighbor Algorithms for High Dimensional Data. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 36, 11, 2014, pp. 2227-2240. DOI: <https://doi.org/10.1109/TPAMI.2014.2321376>.
 - Nag 2017 = Sayan Nag. Image Registration Techniques: A Survey. *ArXiv abs/1712.07540*, 2017. DOI: <https://doi.org/10.48550/arXiv.1712.07540>.
 - Nicodemus 1965 = Fred E. Nicodemus. Directional Reflectance and Emissivity of an Opaque Surface. *Applied Optics*, 4, 7, 1965, pp. 767-775. DOI: <https://doi.org/10.1364/AO.4.000767>.
 - Okatani, Deguchi 2001 = Takayuki Okatani, Koichiro Deguchi. On Uniqueness of Solutions of the Three-Light-Source Photometric Stereo: Conditions on Illumination Configuration and Surface Reflectance. *Computer Vision and Image Understanding*, 81, 2, 2001, pp. 211-226. ISSN: 1077-3142. DOI: <https://doi.org/10.1006/cviu.2000.0887>.
 - Pintus et al. 2017 = Ruggero Pintus, Enrico Gobetti, Marco Callieri, Matteo Dellepiane. Techniques for Seamless Color Registration and Mapping on Dense 3D Models. In Nicola Masini, Francesco Soldovieri (a cura di). *Sensing the Past. Geotechnologies and the Environment*. Cham: Springer, 2017, vol. 16, pp. 355-376. ISBN: 9783319505183. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-319-50518-3_17.
 - Remondino et al. 2011 = Fabio Remondino, Alessandro Rizzi, Luigi Barazzetti, Marco Scaioni, Francesco Fassi, Raffaella Brumana, Anna Pelagotti. Review of Geometric and Radiometric Analyses of Paintings. *The Photogrammetric Record*, 26, 136, 2011, pp. 439-461. ISSN:1477-9730. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1477-9730.2011.00664.x>.
 - Saint-Aubin 1996 = Saint-Aubin Jean-Paul. Sur le relevé d'architecture: son héritage et ses métamorphoses actuelles. *TEMA*, 3/1996. Milano: Franco Angeli, 1996.
 - Strehlke 2005 = Carl Brandon Strehlke. Fra Angelico: a Florentine painter in "Roma Felix". In Laurence B. Kanter, Pia Palladino. *Fra Angelico*. New York Metropolitan Museum of Art, 2005, pp. 203-214. ISBN: 9780300111408.
 - Szeliski 2022 = Richard Szeliski. *Computer Vision: Algorithms and Applications*. New York: Springer, 2022, 2nd edition.
 - Torr, Zisserman 2000 = Philip H.S. Torr, Andrew P. Zisserman. MLESAC: A New Robust Estimator With Application to Estimating Image Geometry. *Computer Vision and Image Understanding*, 78, 1, 2000, pp. 138-156. ISSN: 1077-3142. DOI: <https://doi.org/10.1006/cviu.1999.0832>.
 - Triggs et al. 2000 = Bill Triggs, Philip F. McLauchlan, Richard I. Hartley, Andrew W. Fitzgibbon. Bundle Adjustment. A Modern Synthesis. In Bill Triggs, Andrew Zisserman, Richard Szeliski (a cura di). *Vision Algorithms: Theory and Practice. IWVA 1999. Lecture Notes in Computer Science vol. 1883*. Berlin: Springer, 2000, pp. 298-372. ISBN: 9783540-444800. DOI: https://doi.org/10.1007/3-540-44480-7_21.
 - Van Zuijlen, Pont, Wijntjes 2020 = Mitchell J. P. Van Zuijlen, Sylvia C. Pont, Maarten W.A. Wijntje. Painterly depiction of material properties. *Journal of Vision*, 20, 7, art: 7, pp. 1-17. DOI: <https://doi.org/10.1167/jov.20.7.7>.
 - Ying 2023 = Xiong Ying. PSBox <<https://www.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/45250-psbox>>, MATLAB Central File Exchange [giugno 2023].
 - Woodham 1980 = Robert J. Woodham. Photometric Method for determining surface orientation from multiple images. *Optical Engineering*, 19, 1, 1980, pp. 139-144.



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-

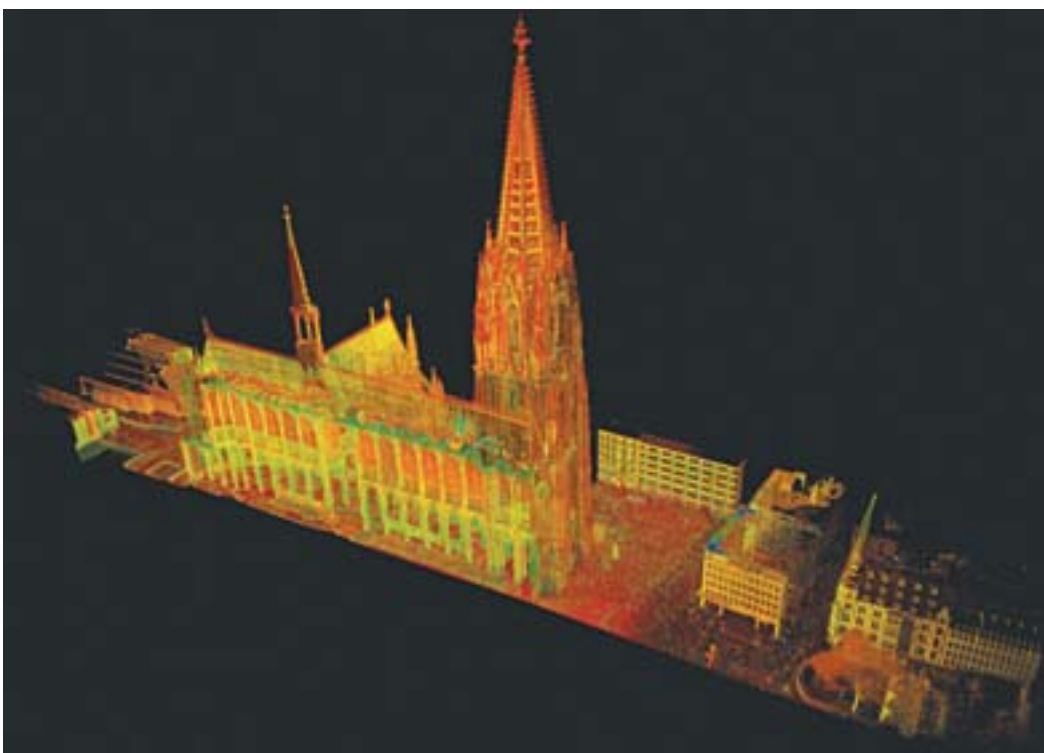
sione olistica del sito. La seconda fase riguarda l'organizzazione, l'acquisizione e la strutturazione dei dati raccolti e di quelli provenienti da altre fonti, con la registrazione e l'integrazione di dati di diversa natura, che vanno dalle scansioni LiDAR e dalle immagini digitali ad alta risoluzione 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

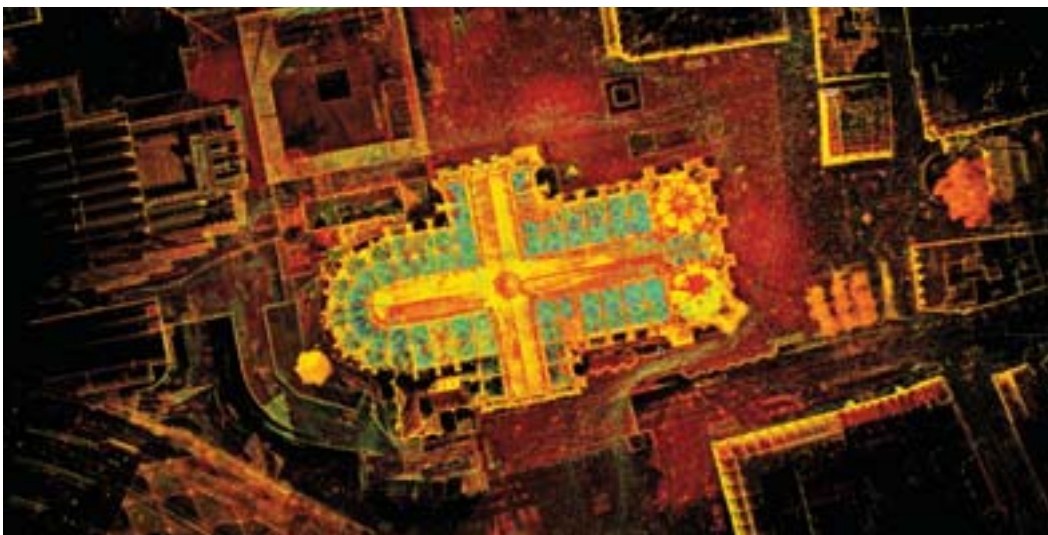
3/ Cattedrale di Colonia, visualizzazione dell'ingresso. Il processo fotogrammetrico genera automaticamente un "modello mesh" 3D fotorealistico senza ulteriore modellazione (elaborazione dell'autore).
Cologne Cathedral, a rendering of the entry.
The photogrammetric process automatically generated the 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 risoluzione-

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

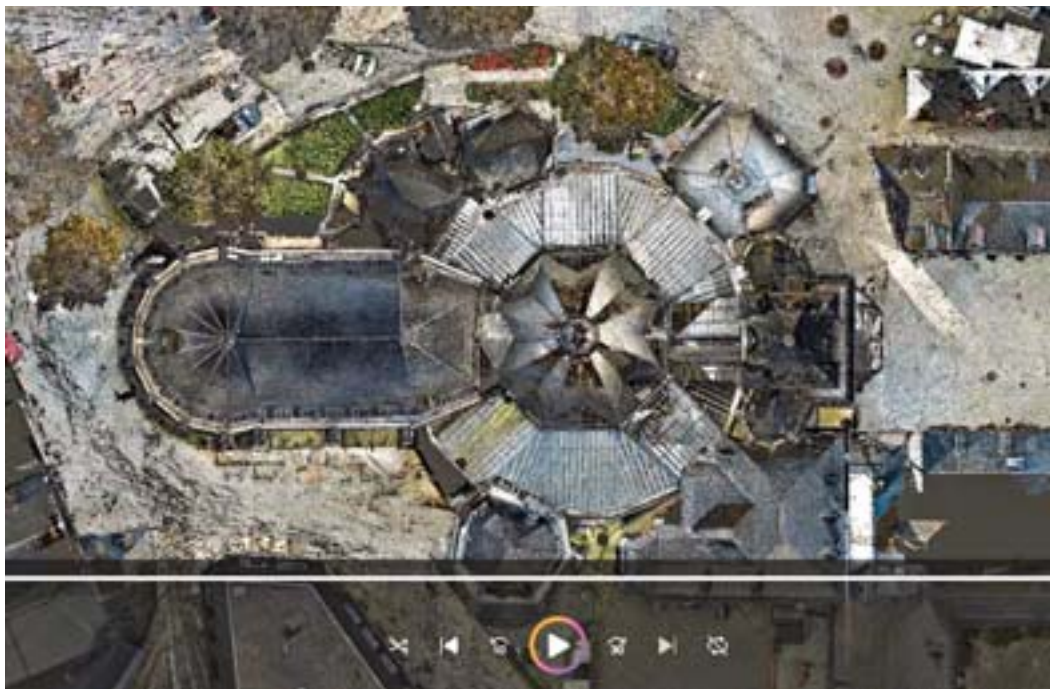
La Cattedrale di Aachen è stata inserita, nella seconda sessione del Comitato del Patrimonio Mondiale dell'UNESCO del luglio 1978, nella lista dei primi dodici siti del Patrimonio Mondiale, il primo dei siti censiti in Germania. L'eccezionale valore universale dell'edificio è dato dal suo grande significato 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

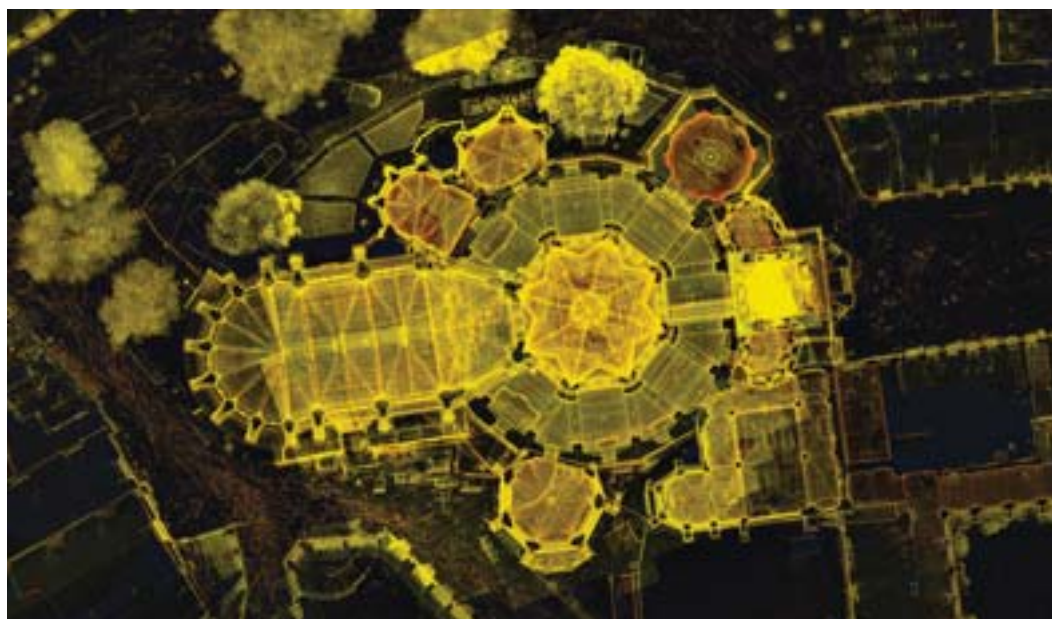
Sapienza Università di Roma, la Robert Gordon University di Aberdeen, in Scozia, e una partnership tra RWTH Aachen University and la Dombauhütte Aachen [Pritchard et al. 2023, Attenni et al. 2023]. Il progetto è basato su una metodologia di registrazione integrata che ha combinato TLS, Fotogram-

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].

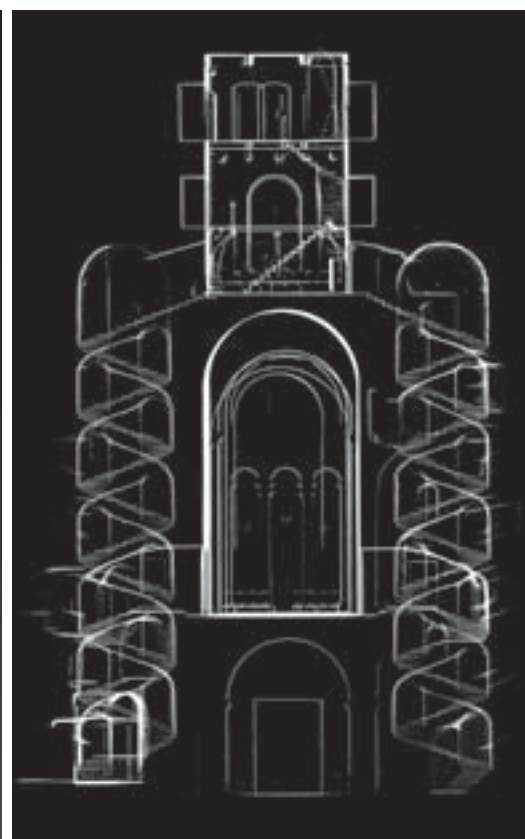
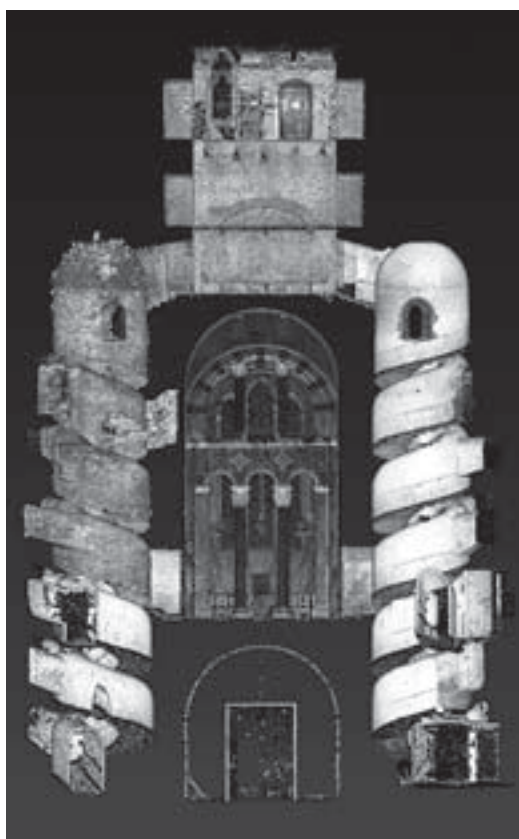
Of the three documentation projects, the Aachen Cathedral project extensively incorporated both TLS digital photogrammetry and SLAM as part of the data capture workflow throughout all areas within the site and interior spaces. Not only did this provide a photorealistic colourisation of the exterior and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



Riccardo Migliari

Max Kleiber *Perspektivikus* Max Kleiber *Perspektivikus*

<https://cdn.gangemeditore.com/DOI/10.61020/11239247-202366-06.pdf>

Max Philipp Kleiber (1848-1930), artist and professor at the School of Arts and Crafts and the Academy of Fine Arts in Munich, wrote a treatise on perspective entitled *Angewandte Perspektive* (Applied Perspective). The distinctive features of the treatise, published several times between 1892 and 1922, are not only its independence from orthogonal projections, in the tradition of Desargues, Lambert and von Peschka, but also the presence of several original procedures that make it possible to operate exclusively within the limits of the picture plane. More specifically, the simplicity and effectiveness of the measurement operation performed using *Diagonalpunktes* (Diagonal points) is remarkable and deserves to be remembered in the history of perspective.

Keywords: perspective, history of perspective, descriptive geometry, drawing, teaching.



There are two ways to create perspective. The first involves constructing figures in three dimensions directly in the perspective space evoked by a geometric structure made up of points, lines and planes; this is true 'perspective', while the result it produces is a coded perspective image, i.e., with information – such as the vanishing points and the circle of distance – that allow the plane image to be returned to the three dimensions of space. The second method creates three-dimensional figures in Euclidean space, in true form, using

*Max Philipp Kleiber (1848-1930), artista e professore nella Scuola d'Arte e Mestieri e nella Accademia di Belle Arti di Monaco, ha scritto un trattato di prospettiva, intitolato *Angewandte Perspektive* (Prospettiva applicata), che è stato pubblicato più volte tra il 1892 e il 1922. Le peculiarità di quest'opera sono l'indipendenza dalle proiezioni ortogonali, nella tradizione di Desargues, Lambert e von Peschka, e la presenza di alcuni procedimenti originali che permettono di operare esclusivamente all'interno dei limiti del quadro. In particolare, l'operazione di misura eseguita per mezzo dei *Diagonalpunktes* (punti diagonali) è notevole per semplicità ed efficacia e merita di essere ricordata nella storia della prospettiva.*

Parole chiave: prospettiva, storia della prospettiva, geometria descrittiva, disegno, insegnamento.

Ci sono due modi per fare la prospettiva. Il primo costruisce le figure a tre dimensioni direttamente nello spazio prospettico evocato da una struttura geometrica, fatta di punti, rette e piani, che è essa stessa la vera "prospettiva", mentre il risultato che produce è un'immagine prospettica codificata, cioè dotata di quelle informazioni, come sono i punti di fuga e il cerchio di distanza, che consentono di restituire l'immagine prospettica piana alle tre dimensioni dello spazio.

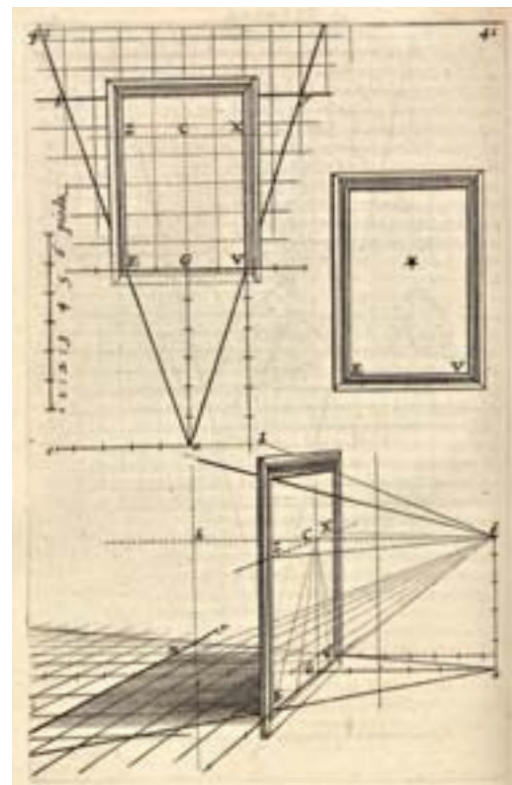
Il secondo modo costruisce le figure a tre dimensioni nello spazio euclideo, in vera forma, usando, per solito, la pianta e l'alzato, e in quello spazio produce un insieme di punti che, collegati tra loro, restituiscono la sola immagine prospettica, non codificata.

Questi due modi sono già presenti nel primo trattato illustrato di prospettiva: il *De prospectiva pingendi* di Piero della Francesca [Piero della Francesca 2017] e la storia che ne è seguita insegna che il primo modo si è evoluto sul piano teorico fino a generare la forma più astratta e nobile di prospettiva che è nota come geometria proiettiva; il secondo modo è rimasto invece tal quale dai tempi di Piero. E dunque non vi è dubbio che volendo stabilire un primato tra questi due modi si debba conferire la vittoria al primo.

Tuttavia questo primo modo soffre di un grave problema, almeno da quando, nel Seicento, ha cominciato a misurarsi con l'idea e con la pratica rappresentazione dell'infinito: il problema è costituito, evidentemente, dai limiti del quadro. In altre parole, se immaginiamo il quadro completo di una cornice, come faceva appunto Abraham Bosse nei suoi disegni [Bosse, Desargues 1648] (fig. 2), possiamo constatare che molto spesso i punti di fuga, che sono l'immagine prospettica di punti infinitamente lontani, cadono al di là di questa cornice. Si tratta del

noto "problema dei punti inaccessibili" che riguarda tanto la convergenza delle immagini di rette parallele, quanto le operazioni di misura che si realizzano, anch'esse, attraverso la rappresentazione di fasci di rette parallele.

Noi riteniamo che alcuni risultati di eccezionale importanza per la storia della prospettiva e della geometria proiettiva, come le idee del punto all'infinito (*but d'une ordonnance de droictes* [Desargues 1639, p. 1]) e della retta all'infinito (*but d'une ordonnance de plans* [Desargues 1639, *ibid.*]), e poi il concetto di piano all'infinito (*plan à l'infini*) [Poncelet 1822, *Supplément* 373] siano esiti di una ricerca stimolata dalla necessità di generalizza-



1/ *Pagina precedente*. Wilhelm Alfred Hildenbrandt, ritratto di Max Kleiber, 1922 (Archivio del Castello di Neubeuern).
Previous page. Wilhelm Alfred Hildenbrandt, portrait of Max Kleiber, 1922 (Neubeuern Castle Archive).
 2/ *Pagina precedente*. Tavola 41 della *Manière universelle...* di Abraham Bosse (1648) che riassume la problematica dei limiti del quadro in relazione ai corrispondenti limiti angolari dello spazio prospettico.
Previous page. Plate 41 of Abraham Bosse's *Manière universelle...* summarising the issue of the limits of the picture

plane in relation to the corresponding angular limits of the perspective space.
 3/ Tavole litografate, fuori testo, della *Angewandte Perspektive* (edizione 1912), esempi di applicazione della teoria che precede. In alto a sinistra: tavola II, applicazione del punto diagonale. In alto a destra: tavola III, rappresentazione del cerchio. In basso a sinistra: tavola V, riduzione delle figure in profondità e in quota. In basso a destra: tavola VI, teoria delle ombre.

*Several lithographed plates, not included in the text, of the *Angewandte Perspektive* (1912 edition); examples of the application of the above theory. Top left: plate II, application of the diagonal point. Top right: plate III, representation of the circle. Bottom left: plate V, reduction of the depth and height of the figures. Bottom right: plate IV, the theory of shadows.*



the plan and elevation; in that space it produces a set of points which, when connected, produce an uncoded perspective image.

*These two methods are already present in the first illustrated treatise on perspective: Piero della Francesca's *De prospectiva pingendi* [Piero della Francesca 2017]. History has subsequently taught us that the first method evolved theoretically to generate the most abstract and noble form of perspective, known as projective geometry; instead the second has remained unchanged ever since Piero invented it. Consequently, if one wants to establish primacy between these two methods, the first is undoubtedly the victor.*

Nevertheless, the first method has always been dogged by a serious problem, at least since the 17th century when it began to deal with the concept and practical representation of the infinite: the problem is obviously constituted by the limits of the picture plane. In other words, if we imagine the painting complete with a frame, like Abraham Bosse did in his drawings [Bosse, Desargues 1648] (fig. 2), we can see that very often the vanishing points, which are the perspective image of infinitely distant points, fall beyond this frame. This is the well-known 'problem of inaccessible points' that concerns both the convergence of the images of parallel lines and the measurements that are also performed through the representation of pencils of parallel lines.

We believe that some exceptionally important issues for the history of perspective and projective geometry – such as the ideas of the point at infinity (but d'une ordonnance de droictes [Desargues 1639, p. 1]), the line at infinity (but d'une ordonnance de plans [Desargues 1639, ibid.]), and later the concept of the plane at infinity (plan à l'infini [Poncelet 1822, Supplément 373]) – are the outcome of research inspired by the need to generalise the methods of perspective and free them from the aforementioned problems, although this opinion is not always agreed on by historians of mathematics [Andersen 2007]. And yet, two of the most famous theorems by Girard Desargues – the Proposition géométrique [Bosse, Desargues 1648, p. 340] and the Proposition fondamentale de la pratique de la Perspective [Bosse, Desargues 1648, p. 336] – are tools and theoretical

4 / L'uso di piani orizzontali in quota risolve il caso in cui la fondamentale non sia accessibile o troppo vicina all'orizzonte (Angewandte Perspektive, figg. 93-98).
The use of horizontal planes at altitude solves the case where the fundamental is not accessible or too close to the horizon (Angewandte Perspektive, figs. 93-98).

generalisations of the problem of inaccessible vanishing points: the first is applied in the perspective representation of parallel lines, the second in their measurement.

The scientific work by Max Phillip Kleiber fits into this framework, even though, perhaps with a bout of excessive modesty, he entitled his work Angewandte Perspektive, which means 'Applied Perspective'. We should however remember that even the aforementioned two theorems by Desargues are part of a practical piece of writing.

Regarding the issues I have summarised above, Kleiber's Angewandte Perspektive presents these basic characteristics:

- he deals with perspective as a method of representation, claiming that it is superior to the one that makes it a 'servant' of orthogonal projections, and in order to distinguish it, calls it freie Perspektive (free perspective) [Kleiber 1912, p. 5]²;

- he uses a new procedure when measuring depth, backed by faultless theoretical justification; we can consider this as being an original contribution³;

- when solving the problem of inaccessible vanishing points, he adds a new solution to the known solutions; this new solution integrates the previous one and constitutes a method for drawing perspective without leaving the limits of the frame [Kleiber 1912, p. 121];

- in an extensive series of illustrations he demonstrates how, by combining the above procedures, it is possible to construct the perspective image without resorting to points that are not within the frame, as Desargues had previously shown in his Manière universelle... [Bosse, Desargues 1648].

Max Kleiber's contributions to perspective
Let us now look more in detail at the abovementioned contributions by Kleiber.

Measurement

Two methods are usually used when measuring depth, the second being a generalisation of the first, namely:

- the method of measurement points: this involves representing in perspective a pencil of straight lines capable of cutting equal segments on the straight line to be measured and on the

re i metodi della prospettiva e affrancarla dai suddetti problemi, anche se questa opinione non è sempre condivisa dagli storici della matematica [Andersen 2007].

Eppure due dei più celebri teoremi di Girard Desargues: *La Proposition geometrique* [Bosse, Desargues 1648, p. 340] e la *Proposition fondamentale de la pratique de la Perspective* [Bosse, Desargues 1648, p. 336] sono strumenti e teoriche generalizzazioni del problema dei punti di fuga inaccessibili: il primo trova applicazione nella rappresentazione prospettica delle rette parallele, il secondo nella misura delle stesse.

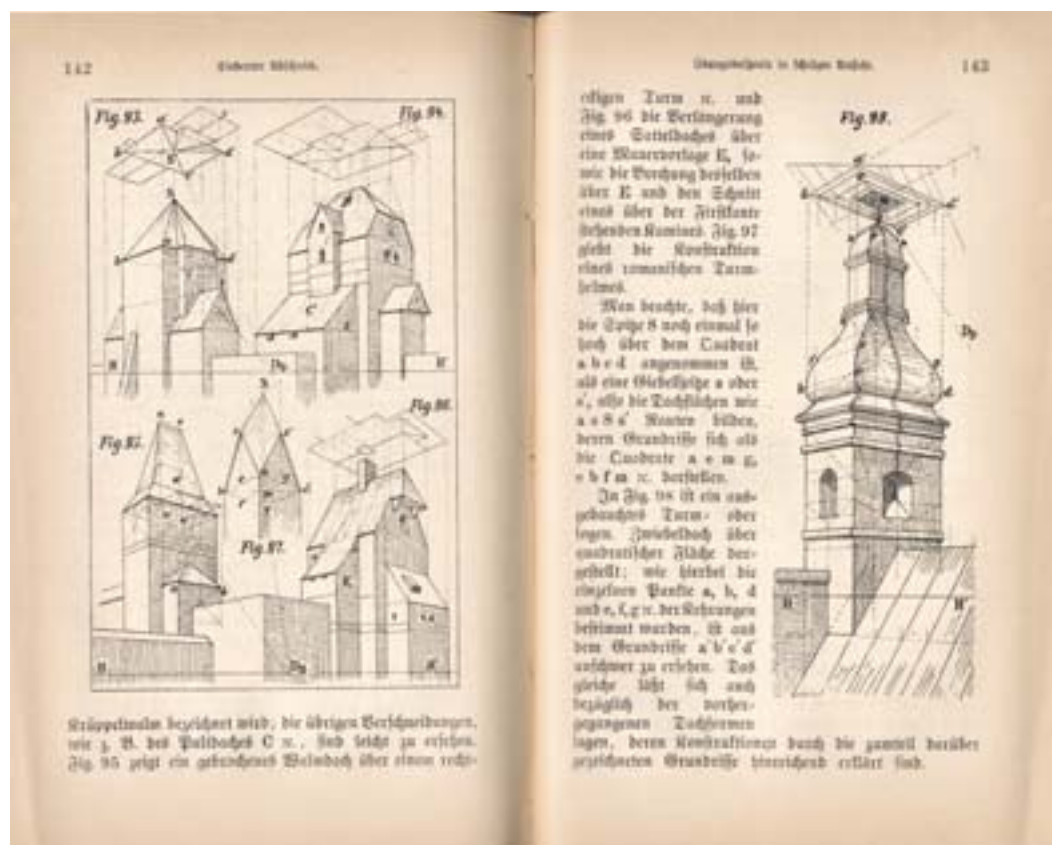
In questo quadro si colloca l'opera scientifica di Max Phillip Kleiber¹, anche se, forse con un eccesso di modestia, ha intitolato la sua opera *Angewandte Perspektive* cioè "Prospettiva applicata"; ma, occorre ricordarlo, anche i due teoremi di Desargues che abbiamo citato fanno parte di un'opera a carattere pratico. Nei riguardi della problematica che ho sopra riassunto, la Prospettiva applicata di Kleiber presenta queste caratteristiche essenziali:

- tratta la prospettiva come metodo di rappresentazione, rivendicando la superiorità di questo modo rispetto a quello che la rende serva delle proiezioni ortogonali e per distinguerla, appunto, la chiama *freie Perspektive* (prospettiva libera) [Kleiber 1912, p. 5]²;

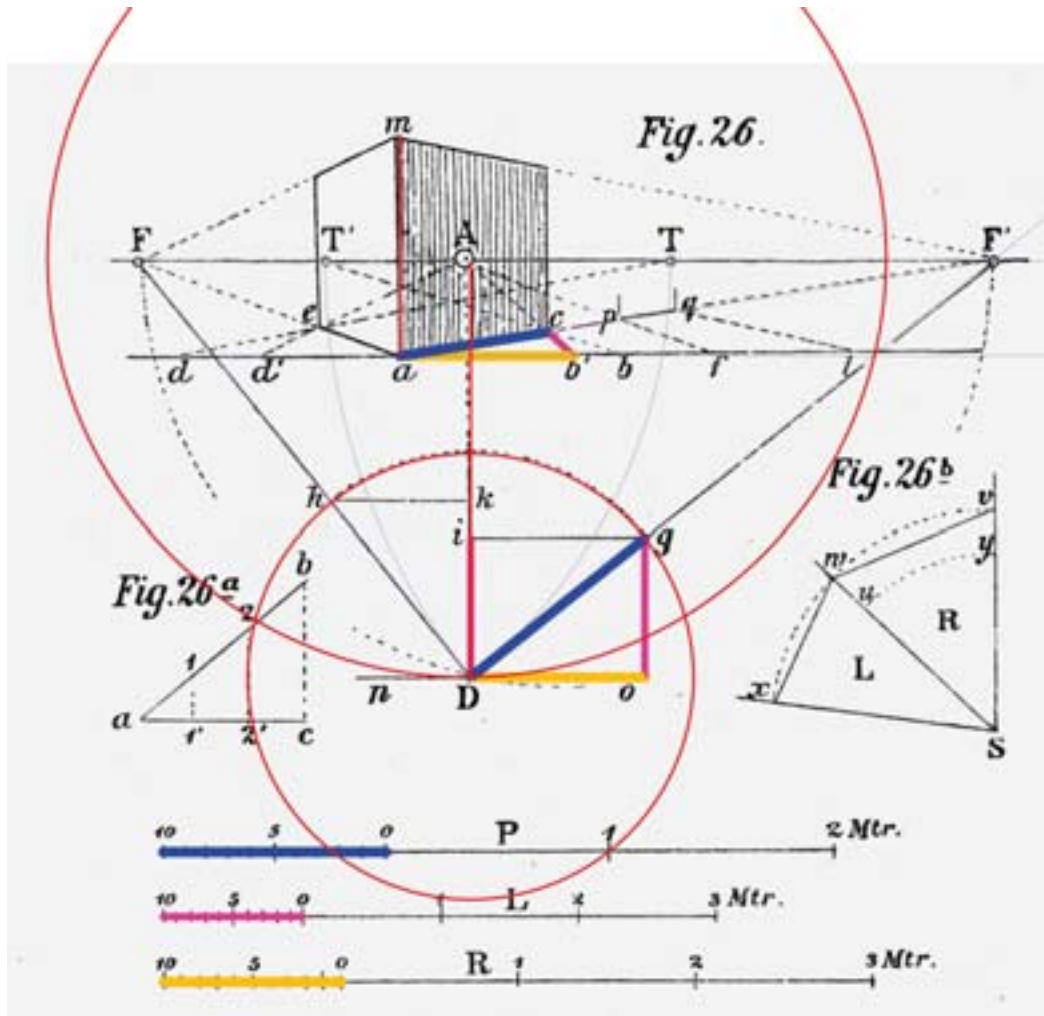
- nella misura della profondità impiega un procedimento, supportato da una ineccepibile giustificazione teorica, che può essere riconosciuto come contributo originale³;

- nella soluzione del problema dei punti di fuga inaccessibili aggiunge alle soluzioni note un'altra sua, nuova, che integra la precedente e con essa costituisce un metodo per disegnare la prospettiva senza uscire dai limiti del quadro [Kleiber 1912, p. 121];

- in una larga serie di illustrazioni mostra come, combinando i procedimenti suddetti, si possa costruire l'immagine prospettica senza fare ricorso a punti che non siano all'interno del quadro, come già Desargues nella sua *Manière universelle...* [Bosse, Desargues 1648] aveva fatto.



5/ La misura di due rette incidenti usando il punto principale (Angewandte Perspektive, fig. 26).
 Measuring two intersecting lines using the principal point (Angewandte Perspektive, fig. 26).



Contributi di Max Kleiber alla prospettiva
 Vedremo ora più in dettaglio in cosa consistono i contributi di Kleiber ai quali ho fatto cenno.

Sulla misura

Nella misura della profondità si utilizzano di norma due metodi, il secondo dei quali è una generalizzazione del primo e precisamente:

- il metodo dei punti di misura: consiste nel rappresentare in prospettiva un fascio di rette capaci di staccare sulla retta da misurare e sul quadro segmenti eguali e si chiama "punto di misura" il punto di fuga di questo fascio;
- il metodo dei punti di misura ridotti: è una generalizzazione del precedente e consiste nel rappresentare nella prospettiva un fascio di rette capaci di staccare sulla retta da misurare e sul quadro segmenti che stanno in un rap-

porto noto per esempio $1/2$, $1/3$, $1/4$, ... $1/n$ dell'unità di misura.

Dunque nei due metodi che ho descritto si sceglie prima un rapporto di riduzione e si costruisce poi la prospettiva delle rette capaci di operare la misura secondo quel rapporto.

Max Kleiber, invece, rovescia i termini del problema e non si chiede quale debba essere il rapporto di riduzione, ma quale possa essere la fuga del fascio di rette che servono l'operazione di misura. Il rapporto tra i segmenti che il fascio stacca nello spazio prospettico e quelli che stacca sul quadro è dunque una conseguenza della scelta del fascio utilizzato per la misura e non è dato a priori.

In questo il metodo di Kleiber non è dissimile da quello di Desargues, perché anche Desargues utilizza un rapporto di riduzione che è una conseguenza della scelta del fascio, ma

picture plane; the vanishing point of this pencil is called the 'measurement point';

- the method of reduced measurement points: this is a generalisation of the previous method and involves representing in perspective a pencil of lines capable of cutting segments on the line to be measured and on the frame that are in a known ratio, for example., $1/2$, $1/3$, $1/4$, ... $1/n$ of the measurement unit.

Therefore, in the two methods I have described, a reduction ratio is chosen first, followed by the construction of the perspective of the lines capable of performing the measurement according to that ratio.

Instead Max Kleiber reverses the terms of the problem and does not ask what the reduction ratio should be, but what could be the vanishing point of the pencil of straight lines that serve the measurement operation. The ratio between the segments cut by the pencil in the perspective space, and the ones it cuts on the picture plane, is thus a consequence of the choice of the pencil used for the measurement and is not given a priori.

Kleiber's method is not dissimilar to that of Desargues, because the latter also uses a reduction ratio that is a consequence of the choice of the pencil; however Kleiber introduces other novel elements. In fact, Desargues supports the vanishing point of the bundle that measures the line to the frame or, more generally, within it, whereas Kleiber suggests using two privileged vanishing points: the principal point and the 'diagonal point', which is the vanishing point of the bisector of any pair of incident lines. The principal point (Augenpunkte) has the advantage of always being inside the frame (except in special cases), but the diagonal points (Diagonalpunktes) are even more valuable because, as we will see, they make it possible to measure two lines with only one reduction ratio.

The legitimacy of the method is ensured by Desargues's Proposition fondamentale de la pratique de la Perspective, as well as other known procedures, but Kleiber is perhaps the only 20th-century treatise writer who has not only given Desargues the resonance his method deserves, but also further develops it.

Consider Figure 26 of the treatise [Kleiber 1912, p. 63] (fig. 5).

6/ L'uso del punto diagonale nella misura di una coppia di rette (Angewandte Perspektive, fig. 30).
The use of the diagonal point to measure a pair of lines
 (Angewandte Perspektive, fig. 30).

7/ Dimostrazione dell'uguaglianza dei segmenti $A'C$ e $B'C$
 (elaborazione dell'autore).
Proof of the equality of segments $A'C$ and $B'C$
 (by the author)

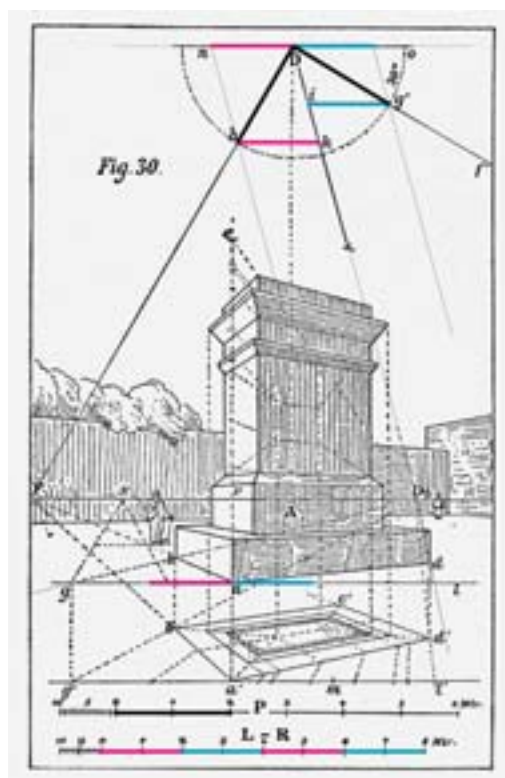
Point D represents the rabatment of the projection centre onto the horizon plane, with the horizon line FF' acting as a hinge. I have added the distance circle in red.

On rabatment DF' of the line aF' we carry over the unit of measurement Dg and, still working on the rabatment, project it perpendicularly to the picture plane onto the no projecting line parallel to the ground line. Thus, segment Do represents the foreshortening undergone by the unit of measurement Dg when projected onto the ground line perpendicularly to the picture plane; triangle Dgo is equal to triangle acb' seen in perspective, since A , the principal point, is the vanishing point of lines perpendicular to the picture plane. To make the procedure easier, Kleiber suggests drawing a line parallel to the ground line directly through point g : segment gi , which is clearly equal to Do , provides the foreshortening of the unit of measurement.

But what advantage is gained by this procedure? In addition to its undeniable brevity, there is another even more important element: it is unnecessary to measure the distance of the projection centre from the vanishing point of the line to be measured – something that is crucial in other methods! As a result, one operates exclusively in the short vicinity of point D . One objection could be that we still need access to vanishing point F' in order to draw the perspectives of lines that have the same direction. However, this is not the case, as we will see shortly when discussing Kleiber's solution to the problem of inaccessible vanishing points.

Measurements can be taken directly or using specially constructed 'rulers'. In this case, three rulers are required (shown at the bottom): the P ruler uses the whole unit of measurement (shown in blue in the figure) in order to measure heights; the R ruler measures line aF' ; the L ruler measures line aF .

Another not negligible advantage can be obtained by using the diagonal point for measurement. In figure 30 of the treatise (fig. 6), point D represents the projection centre tilted upward onto the picture plane together with lines DF and DF' , which in space project the directions of the horizontal edges of the pedestal. Line DDg is the bisector of angle FDf' , and Dg is the diagonal point. The dashed arc centred at D is used to measure off



Kleiber introduce altri elementi di novità. Infatti Desargues appoggia il punto di fuga del fascio che misura la retta alla cornice o genericamente al suo interno, mentre Kleiber suggerisce l'uso di due punti di fuga privilegiati: il punto principale e il "punto diagonale", che è il punto di fuga della bisettrice di una qualsiasi coppia di rette incidenti che si vuole misurare. Il punto principale (*Augenpunkte*) ha il pregio di trovarsi sempre all'interno della cornice (salvo casi particolari), ma i punti diagonali (*Diagonalpunktes*) sono ancora più preziosi perché, come vedremo, permettono di misurare due rette con un unico rapporto di riduzione.

La legittimità del metodo è assicurata dalla *Proposition fondamentale de la pratique de la Perspective* di Desargues, come peraltro gli altri procedimenti noti, ma Kleiber è forse l'unico trattatista del Novecento che abbia dato a Desargues l'eco che il suo metodo meritava e lo abbia ulteriormente sviluppato.

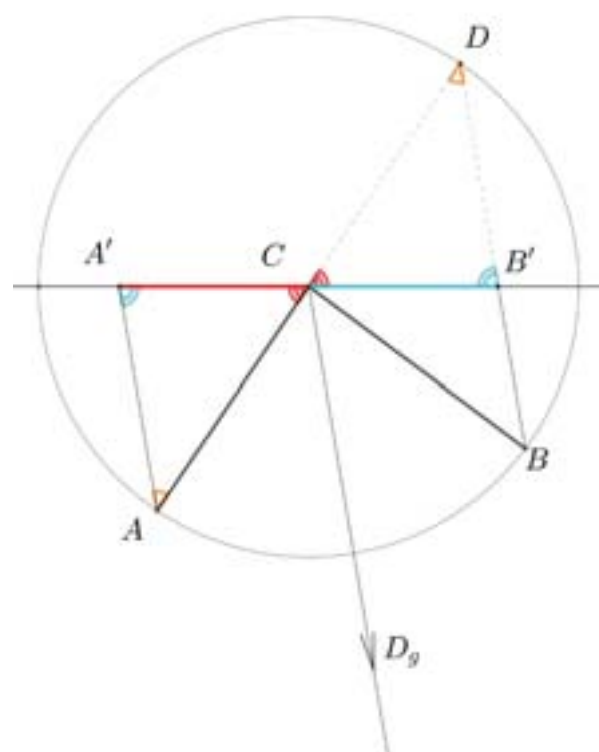
Consideriamo la figura 26 del trattato [Kleiber 1912, p. 63] (fig. 5).

Il punto D rappresenta il ribaltamento, verso il basso, del centro di proiezione nel piano

dell'orizzonte, con l'orizzonte stesso FF' che assume il ruolo di cerniera. Ho aggiunto in rosso il cerchio di distanza.

Sul ribaltamento DF' della retta aF' si riporta l'unità di misura Dg e, sempre operando sul ribaltamento, la si proietta secondo la direzione perpendicolare al quadro sulla retta proiettante no che è parallela alla fondamentale. Dunque il segmento Do rappresenta lo scorcio subito dall'unità di misura Dg quando viene proiettata sulla fondamentale secondo la direzione perpendicolare al quadro e il triangolo Dgo è uguale al triangolo acb' che si vede in prospettiva, essendo A , punto principale, la fuga delle rette perpendicolari al quadro. Per rendere più agile il procedimento Kleiber suggerisce di condurre per il punto g , direttamente, una parallela alla fondamentale: il segmento gi , che è palesemente eguale a Do , fornisce lo scorcio dell'unità di misura.

Ma qual è il vantaggio di questa procedura? Oltre alla innegabile brevità, c'è un guadagno ancora più importante: non è necessario misurare la distanza del centro di proiezione dalla fuga della retta da misurare, come inve-



8/ Date le rette xy e ab convergenti in un punto inaccessibile V , si conduce per c una retta che passa anch'essa per V (elaborazione dell'autore)

Given the converging lines xy and ab meeting at an inaccessible point V , draw a line passing through V and c (by the author).

ce è indispensabile negli altri metodi! E perciò si opera solo in un breve intorno del punto D . Si potrebbe obiettare che comunque si deve aver accesso al punto di fuga (F'), per disegnare le prospettive delle rette che hanno la medesima direzione, ma non è così, come vedremo tra poco trattando della soluzione che Kleiber propone al problema dei punti di fuga inaccessibili. Le misure possono essere eseguite direttamente o per mezzo di "righelli" costruiti ad hoc. In questo caso servirebbero tre righelli, che sono riportati in basso: il righello P utilizza l'unità di misura intera (in blu nella figura) e serve per misurare le altezze, il righello R misura la retta aF' , il righello L misura la retta aF . Un ulteriore, non trascurabile vantaggio, si può ottenere utilizzando per misurare il punto diagonale. Nella figura 30 del trattato (fig. 6) il punto D rappresenta il centro di proiezione ribaltato sul quadro verso l'alto insieme alle rette DF e Df' che, nello spazio, proiettano le direzioni degli spigoli orizzontali del piedistallo. La retta DDg è la bisettrice dell'angolo FDf' e Dg è il punto diagonale. L'arco tratteggiato che ha centro in D serve per staccare sulle rette

DF e Df' le due unità di misura Dh e Dg' . La retta no è il ribaltamento della retta proiettante parallela alla fondamentale gl . Immaginiamo ora, operando nello spazio, di proiettare le due unità di misura Dh e Dg' sulla retta no secondo la direzione della bisettrice DDg : avremo come risultato i due segmenti che ho evidenziato in rosso e in azzurro nella figura. Ebbene, i due segmenti sono uguali: lo si può dimostrare come si vede nella figura 7⁴.

Sui punti di fuga inaccessibili

Il problema di disegnare rette che concorrono in un punto inaccessibile, viene risolto da Kleiber in vari modi che possono ricondursi però a due procedimenti noti, mentre un terzo a me sembra originale. I procedimenti noti sono: - quelli accurati che applicano il teorema di Desargues sui triangoli omologici⁵, come nella figura 68 [Kleiber 1912, p. 122]; questi procedimenti costruiscono la retta che passa per un punto dato e converge nel punto inaccessibile determinato da altre due rette (fig. 8)⁶; - quelli approssimati che usano le guide prospettiche dove la retta che converge al punto

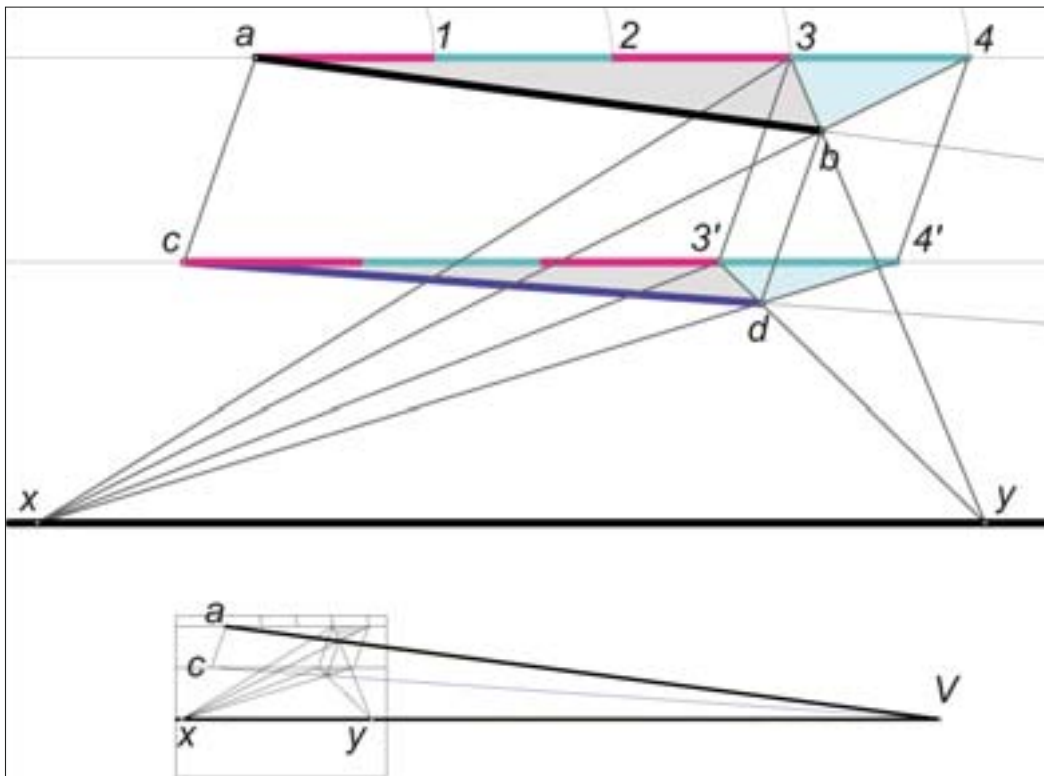
the two units of measurement Dh and Dg' on the lines DF and Df' . Line no is the rabatment of the projecting line parallel to ground line gl . Now imagine, operating in space, to project the two units of measurement Dh and Dg' on line no according to the direction of the bisector DDg : the result will be the two segments that I have highlighted in red and blue in the figure. As you can see, the two segments are equal: it can be demonstrated as shown in figure 7⁴.

Inaccessible vanishing points

Kleiber uses different methods to solve the problem of drawing lines that meet at an inaccessible point; they can be traced back to two known methods, while I believe the third to be novel.

The known methods are:

- *the accurate methods that apply Desargues' theorem regarding homologous triangles,⁵ as in figure 68 [Kleiber 1912, p. 122]; these methods construct the line that passes through a given point and converge in the inaccessible point determined by the two other lines (fig. 8)⁶;*
- *the approximate methods that use perspective guides, where the straight line converging at the inaccessible point must be drawn intuitively, respecting the trend suggested by the guides, for example, as in figures 70 and 71 of the treatise. The innovative method is, instead, the one that constructs a homothety between the perspectives that exceed the frame and the corresponding diminished perspectives that are fully contained within the frame.⁷ This method is simple and very flexible, so much so that Kleiber says he prefers it to all the others. The example in figure 74 is enlightening (fig. 9). Given line ab and principal distance $Ad/3$ reduced to one-third, Kleiber takes principal point A as the centre of homothety and constructs line $a'f$ parallel to ab . The rest follows easily, because thanks to the homothetic relation, every element or size constructed in the diminished perspective in relation to $a'f$, such as $a'c'$, can be brought back to the original scale. In the example, $a'c'$ corresponds to ac .⁸ Kleiber then applies this idea in various other methods that are faster or better suited to solving recurring problems, but always without accessing points outside the frame of the drawing.*



9/ L'omotetia di centro A che permette di controllare una prospettiva che eccede i limiti del quadro per mezzo di una sua riduzione (Angewandte Perspektive, fig. 74).
 The homothety with centre at A makes it possible to control a perspective that exceeds the limits of the picture plane by means of its reduction (Angewandte Perspektive, fig. 74).
 10/ Applicazione dell'omotetia alla costruzione della retta af' che concorre in un punto di fuga inaccessible.
 In basso la relazione tra i due triangoli omotetici B'C' (Angewandte Perspektive, fig. 76).

Application of homothety to the drawing of a line converging towards an inaccessible vanishing point.
 Bottom: the relationship between two homothetic triangles (Angewandte Perspektive, fig. 76).

For instance, in figure 76 of the treatise (fig. 10) Kleiber, given perspective ab , obtains the perspective of the orthogonal line ac by establishing a different homothety with its centre in point a .

The given elements are the horizon, principal point A , measuring point $D/3$ and the perspective of line ab (in blue in figure 10). Kleiber takes any point f on ab and draws the parallel to $AD/3$ through f .

He then draws the lines aA and $aD/3$ that intersect the abovesaid line (through f parallel to the horizon) in points a' and d' respectively. Segment $a'd'$ thus corresponds to segment $AD/3$ and, reproduced three times on line $a'd'$, allows us to find in d the rabatment of the viewpoint in homothetic perspective.

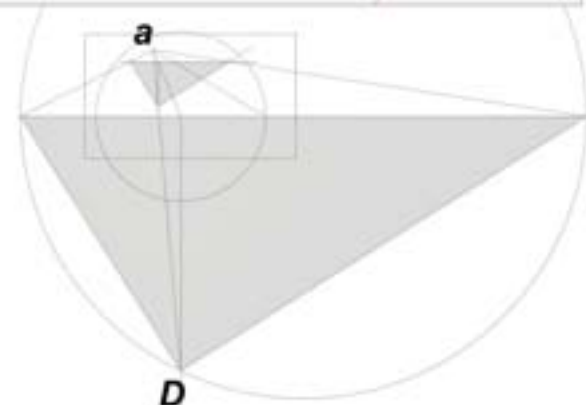
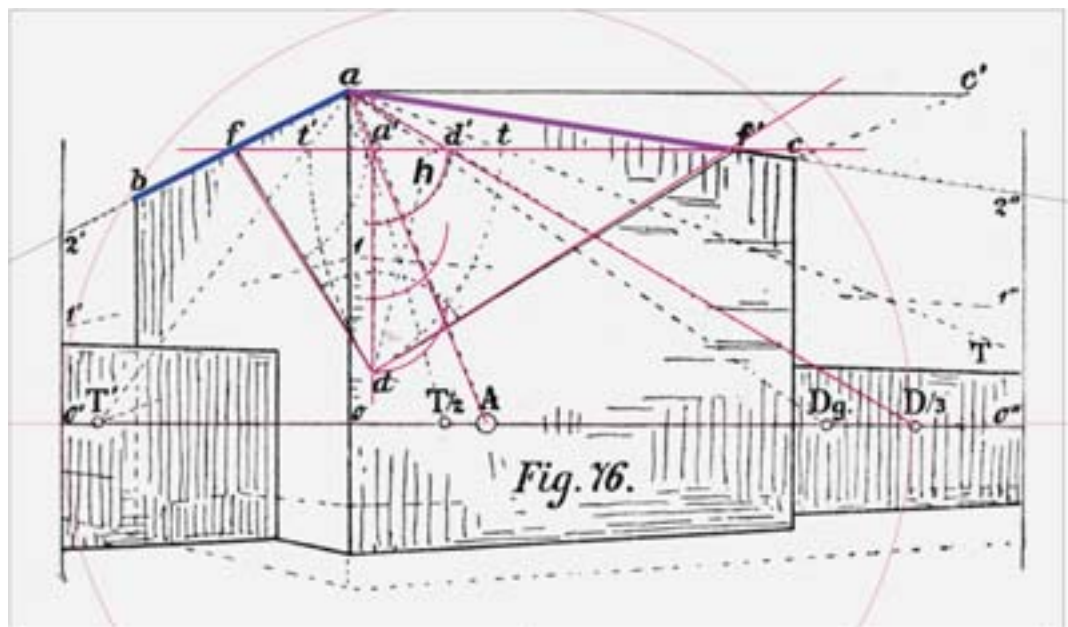
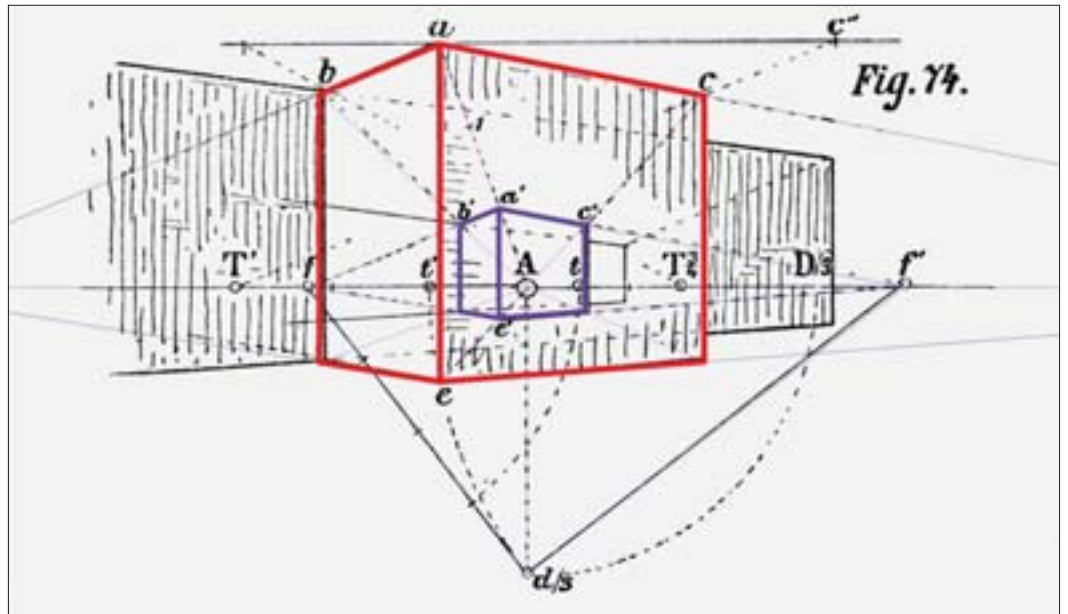
From here on, any necessary operations can be carried out within the picture plane, such as, for example, the construction of the orthogonal ac : it is enough to draw fd , then df' orthogonal to fd , to determine $af'c$.

The re-elaborated figure shows the two homothetic triangles in the detail at the bottom. This technique is extensively developed for a wide variety of problems.

Brief biographical notes

Several editions of Max Kleiber's treatise were published: at least three were entitled *Katechismus der angewandten Perspektive* [Kleiber 1892] while another three had *Angewandte Perspektive* [Kleiber 1912] as their title (all with the same publisher).⁹ Nevertheless, his work is little known in Italy¹⁰ and, consequently, his figure as a man and an artist is also unknown. There is, however, a lively and documented biography written by Christoph Donsbach Camargo in 2018 and published on the website of Neubeuern Castle.¹¹ Max Kleiber visited the castle for many years, staying there thirty-five times between 1888 and 1923. Each time he left traces of his presence in the guestbook, such as watercolours and poems; the latter were collected by Reinhard Käisinger and placed in the vast castle archive.

We can therefore say that Max Kleiber lived between the city of Munich, where he worked as a teacher, and Neubeuern Castle, where he freed his artistic soul in a cultural climate of great intensity.¹²



11/ Rudolf Wilke, tempera dal Libro degli Ospiti del Castello di Neubeuern (IV volume). A margine, in corsivo: 10 minuti dopo la seconda campana: "Dannazione, dov'è la mia cravatta?" (<<http://www.gaestebuecher-schloss-neubeuern.de/band-4/>>; per gentile concessione di Reinhard Käisinger. *Rudolf Wilke, tempera from the Guest Book of Neubeuern Castle (fourth volume). In the margin, in italics: 10 minutes after the second bell: "Damn, where's my tie?"* (<<http://www.gaestebuecher-schloss-neubeuern.de/band-4/>>; courtesy of Reinhard Käisinger).



inaccessibile deve essere tracciata intuitivamente, rispettando l'andamento suggerito dalle guide, come per esempio nella figura 70 e nella figura 71 del trattato.

Il procedimento innovativo è invece quello che costruisce una omotetia tra le prospettive che eccedono la cornice e le corrispondenti prospettive ridotte che invece sono compiutamente contenute nella cornice⁷. Questo procedimento è semplice e molto duttile tanto che Kleiber dice di preferirlo a tutti gli altri. L'esempio della figura 74 è illuminante (fig. 9). È data la retta ab e la distanza principale $Ad/3$ ridotta a un terzo. Kleiber assume il punto principale A come centro di omotetia e costruisce $a'f$ parallela ad ab . Il resto segue con facilità, perché grazie alla relazione omotetica ogni elemento o grandezza costruita nella prospettiva in relazione ad $a'f$, come per esempio ac' , può essere ricondotto alla prospettiva intera. Nell'esempio ac' corrisponde ad ac ⁸.

Questa idea viene poi declinata da Kleiber in vari altri procedimenti che sono più spediti o adatti a risolvere problemi ricorrenti, sempre senza accedere a punti esterni alla cornice del disegno. Per esempio, nella figura 76 del trattato (fig. 10) Kleiber, data la prospettiva ab ottiene la prospettiva della retta ortogonale ac , istituendo una diversa omotetia che ha centro nel punto a .

12/ Un disegno di Max Kleiber. "Sviluppo di un motivo architettonico non secondo Darwin, ma secondo la regola prospettica di un vecchio *Perspektivikus*. Castello di Neubeuern, giugno 1914". Con autoironia Kleiber si identifica con uno dei suoi temi prospettici (Archivio del Castello di Neubeuern). *A drawing by Max Kleiber. 'Development of an architectural motif not according to Darwin, but according to the perspective rule of an old Perspektivikus. Neubeuern Castle, June 1914'. With a touch of self-irony, Kleiber identifies*

himself with one of his perspective themes (Neubeuern Castle Archive).

13/ Disegno che raffigura il luogo fonte dello studio prospettico in fig. 19: "solo la felicità vaga su questi sentieri" (1895; Archivio del Castello di Neubeuern). *Drawing (1895) illustrating the place that inspired the perspective study in fig. 19: 'only happiness roams these paths' (1895; Neubeuern Castle Archive).*

Gli elementi dati sono l'orizzonte, il punto principale A , il punto di misura $D/3$ e la prospettiva della retta ab (in blu nella figura 10). Kleiber stacca su ab un punto f qualsiasi e traccia per f la parallela a $AD/3$.

Traccia poi le rette aA e $aD/3$ che intersecano la retta per f parallela all'orizzonte, rispettivamente, nei punti a' e d' . Il segmento $a'd'$ corrisponde così al segmento $AD/3$ e, riportato tre volte sulla retta $a'd$ permette di trovare in d il ribaltamento del punto di vista nella prospettiva omotetica.

Da qui in avanti ogni operazione necessaria può essere condotta all'interno del quadro, come, per esempio, la costruzione della ortogonale ac : basterà tracciare fd , poi df' ortogonale a fd , per determinare af' .

La figura, rielaborata, evidenzia nel dettaglio in basso i due triangoli omotetici.

Brevi note biografiche

Il trattato di Max Kleiber ha conosciuto varie edizioni, tre almeno come *Katechismus der angewandten Perspektive* [Kleiber 1892] e altre tre come *Angewandte Perspektive* [Kleiber 1912] per lo stesso editore⁹. Ciò nonostante la sua opera è poco nota in Italia¹⁰ e, di conseguenza, è altresì sconosciuta la sua figura d'uomo e di artista. Esiste però una vivace e documentata biografia scritta da Christoph Donsbach Camargo nel 2018 e pubblicata nel sito del Castello di Neubeuern¹¹.

Max Kleiber ha frequentato questo luogo per molti anni, soggiornandovi per trentacinque volte tra il 1888 e il 1923. Ogni volta ha lasciato nel libro degli ospiti vari attestati della sua presenza come acquerelli e poesie che sono stati raccolti da Reinhard Käisinger nel vasto archivio del castello.

Si può dire, perciò, che la vita di Max Kleiber sia trascorsa tra la città di Monaco di Baviera dove ha svolto la sua attività di insegnante e il Castello di Neubeuern, dove ha liberato la sua anima di artista, in un clima culturale di grande intensità¹².

Monaco e l'insegnamento

Un tratto originale dell'insegnamento di Kleiber è anche l'idea che la Prospettiva possa essere più facilmente appresa applicandone le leggi e i procedimenti in uno studio dal vero: «Lo stu-

The city of Munich and his teaching profession

An original feature of Kleiber's teachings is also the idea that perspective can be more easily learned by applying its laws and procedures to a real-life study: "The student should try to put the laws of perspective into practice on a simple architectural subject observed from life, after carefully studying



14/ Disegno su lavagna, prospettiva di un piedistallo (cfr. *Angewandte Perspektive*, fig. 86), foto 1893. Si notano gli strumenti utilizzati da Kleiber: il compasso di legno, nella mano sinistra, la grande squadra appoggiata sulla cattedra. La lastra fotografica, purtroppo, ha subito una rottura (©Bildarchiv, foto Marburg / Carl Teufel / Benno Filser). *Drawing on a blackboard, perspective of a pedestal* (cfr. *Angewandte Perspektive*, fig. 86), photo 1893. Note the tools used by Kleiber: the wooden compass, in his left hand, the big set square resting on the desk. The photographic plate

is, unfortunately, broken (©Bildarchiv, photo Marburg / Carl Teufel / Benno Filser).

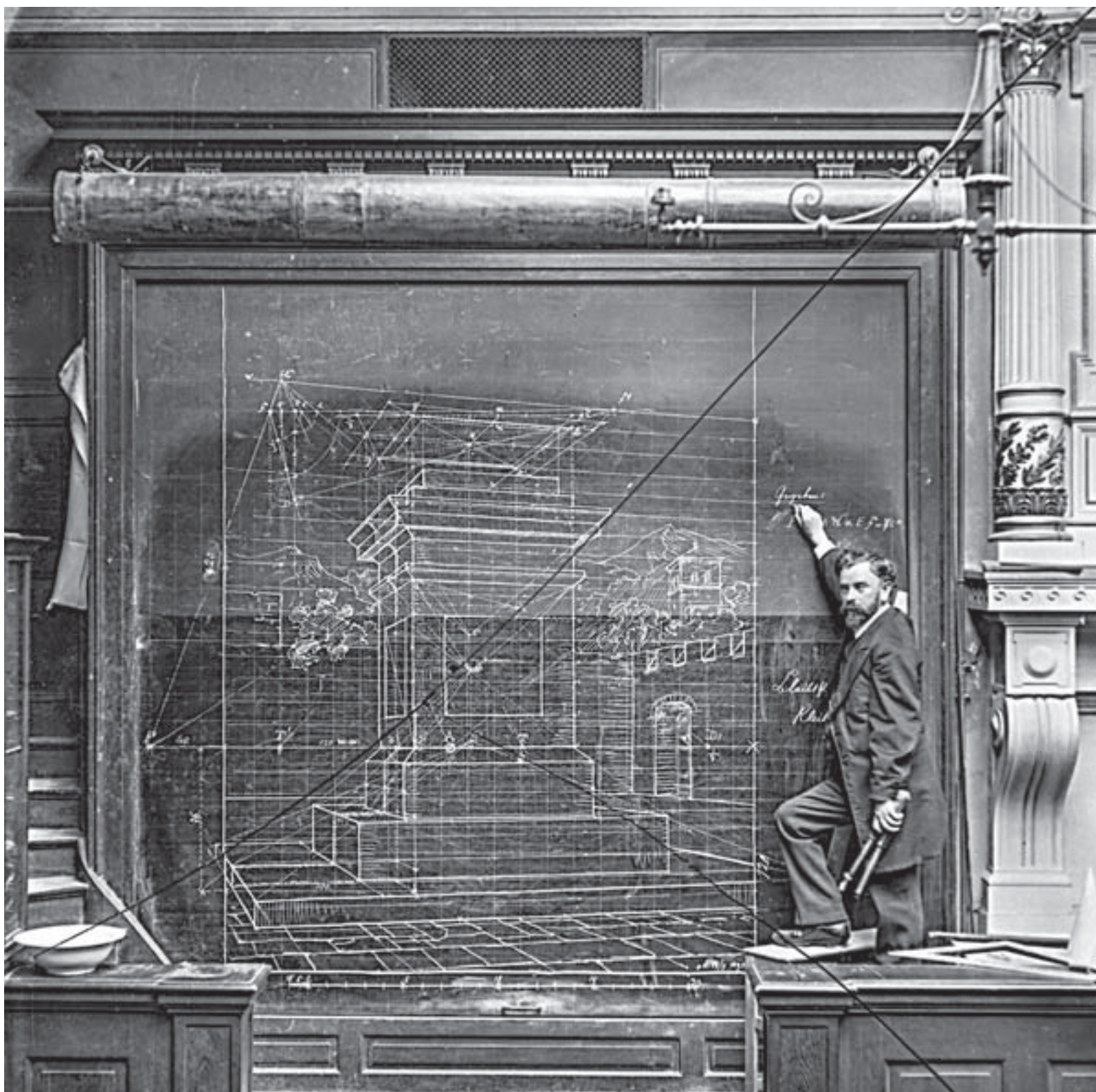
15/ *Pagina seguente*. Disegni su lavagna.

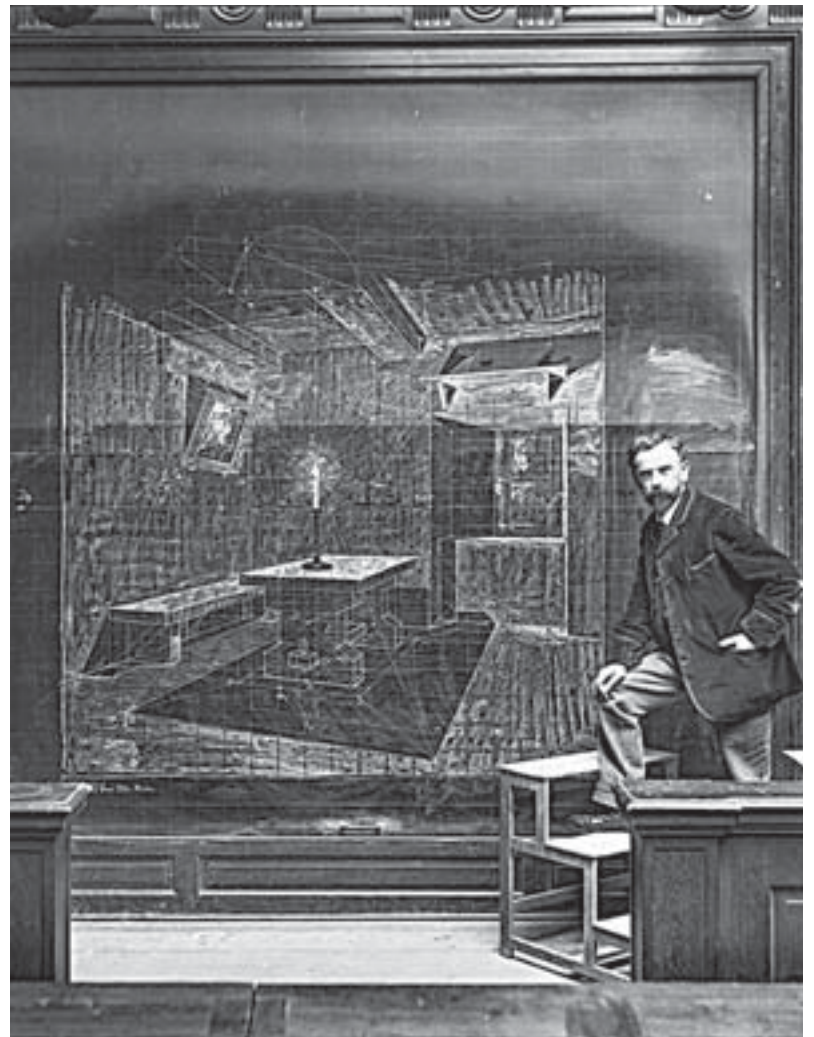
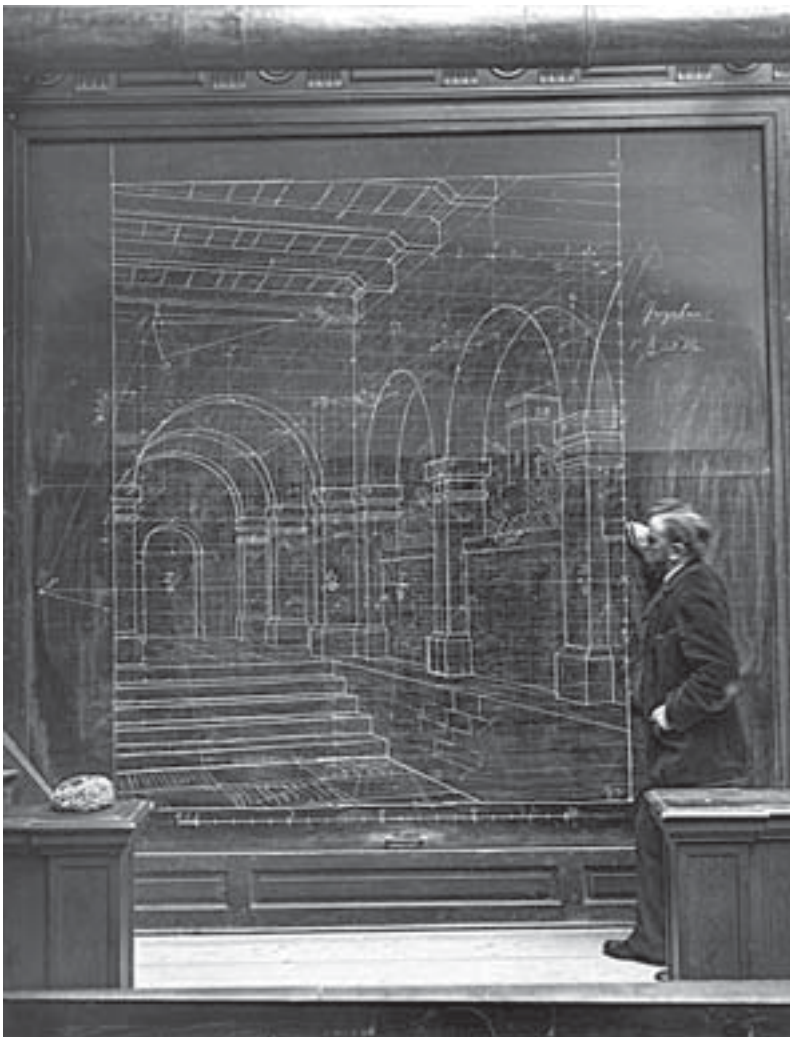
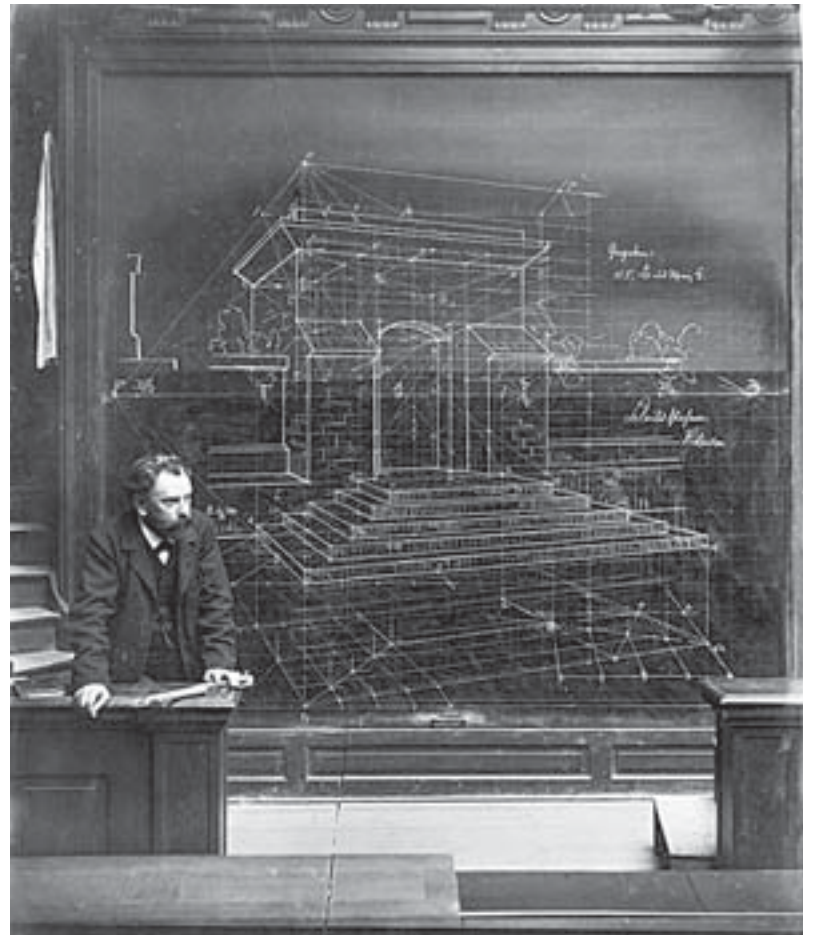
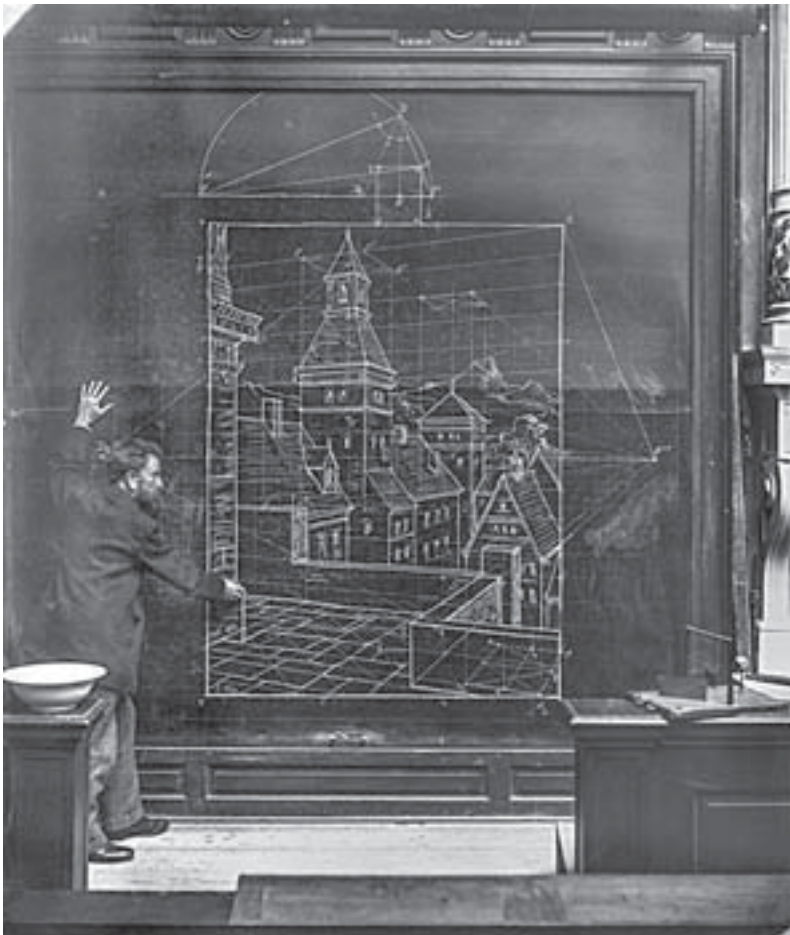
In alto a sinistra: paesaggio urbano, forse dal vero.

In alto a destra: un'applicazione di punti di misura ridotti a 1/3. In basso a sinistra: archi in prospettiva; le ellissi che rappresentano i profili degli archi in prospettiva sono costruite con cinque punti e le relative tangenti, segnate con un tratteggio sottile; due punti sono all'imposta dell'arco, due sulle diagonali del quadrato circoscritto al cerchio e uno

sulla chiave. In basso a destra: disegno su lavagna, ambiente di fantasia; Kleiber è particolarmente abile nella resa della luce sfruttando il gesso e dell'ombra nel fondo nero della lavagna; alcune di queste ombre, come quella della mensola sopra la nicchia della finestra, sembrano rinforzate pulendo la lavagna con una spugna bagnata (foto 1893; ©Bildarchiv, foto Marburg / Carl Teufel / Benno Filser).

Next page. *Drawings on a blackboard*. Top left: urban landscape, perhaps from real life. Top right: an application of measuring points reduced to 1/3. Bottom left: arches in perspective;





the ellipses representing the outlines of the arcs in perspective are constructed with five points and their tangents, marked with thin hatching; two points are at the impost of the arch, two on the diagonals of the square circumscribed by the circle, and one on the keystone. Bottom right: imaginary scene; Kleiber is particularly adept at rendering light using white chalk and shadow in the black background of the blackboard; some of these shadows, such as that of the shelf above the window niche, seem to be reinforced by wiping the blackboard with a wet sponge (photo 1893; ©Bildarchiv, photo Marburg / Carl Teufel / Benno Filser).

16/ Disegno su lavagna, finestra del Castello di Neubeuern. Disegni come questo, sfondano la superficie della lavagna e danno la misura delle suggestioni che potevano esercitare sugli studenti (foto 1893; ©Bildarchiv, foto Marburg / Carl Teufel / Benno Filser).

Drawing on a blackboard, Neubeuern Castle window. Drawings like this break through the surface of the blackboard and reveal the fascination they could exert on the students (photo 1893; ©Bildarchiv; photo Marburg / Carl Teufel / Benno Filser).

the text. This exercise can be carried out either at home or on site, and very soon the student will realise that this path, besides being of great interest in itself, will lead him more quickly to the desired mastery of perspective composition, to his independence and freedom” [Kleiber 1912, p. 6]. Figure 13 shows a simulation of this teaching technique, while figure 16 shows it in practice; the studied object is one of the windows of Neubeuern Castle.

Other eloquent examples of his method include drawings on a blackboard (figs. 14, 15, 16), made between 1893 and 1894 at the Academy of Munich where he taught architecture and perspective; they were photographed on plates and are now kept in the Marburg Photographic Archive.¹³ These big blackboards make it impossible to use points located outside their frames.

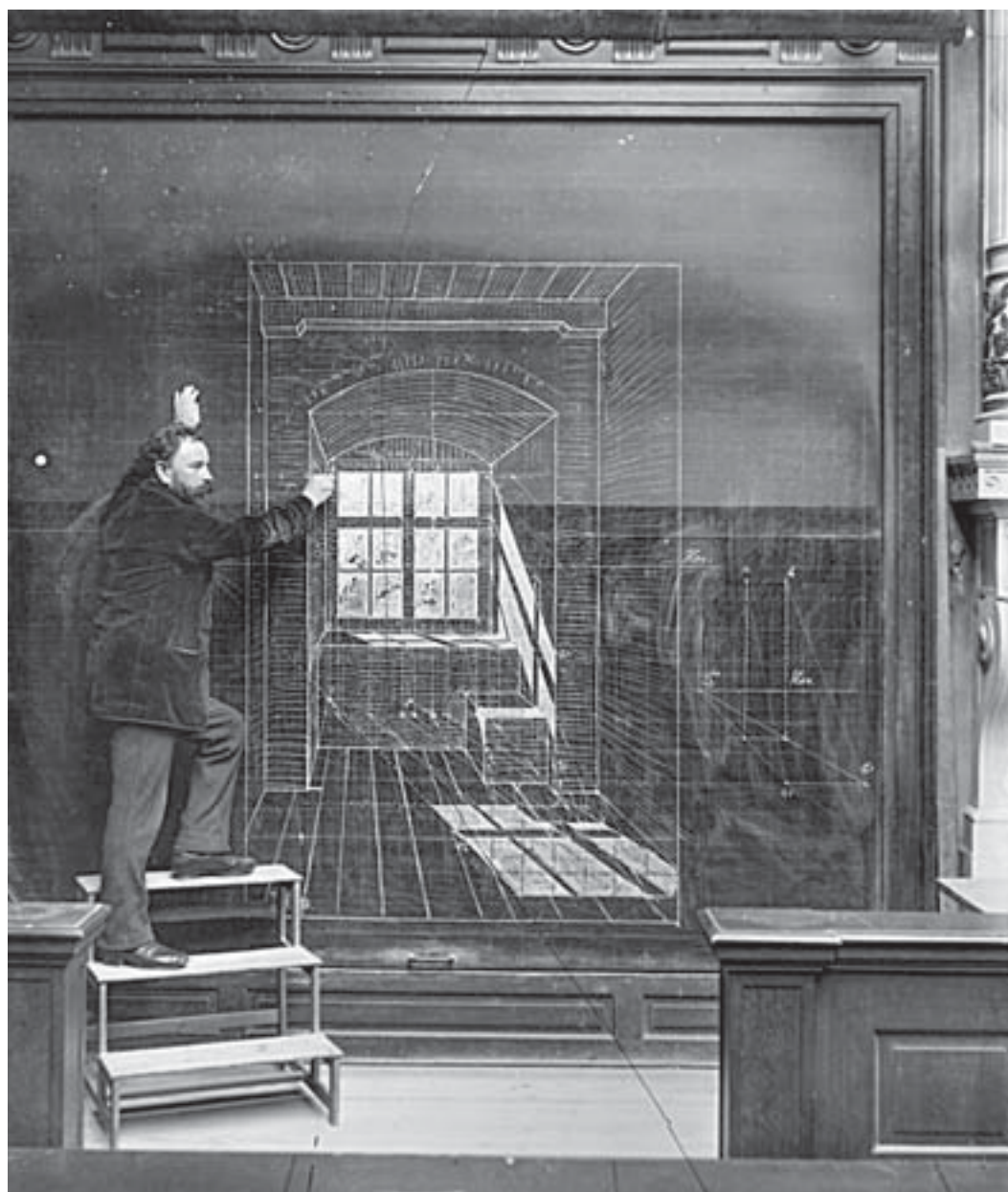
The drawings were made using a compass, which appears in figure 14 in the author’s hand (as well as in figure 15, top right), and a large set square, which can be seen on the desk in the same photograph. We cannot rule out that the long, perfectly regular straight lines may have been drawn freehand, perhaps with the help of the light grid of the blackboard.

The procedures described in the treatise, which we have only partly commented on, are all visible in these drawings.

Figure 15, top left also includes a small teaching model, lying on the desk; it represents the picture plane, the viewpoint, and an oblique rectangular plane projected onto the picture plane.

Neubeuern and Art

Kleiber was skilled in several painting techniques, particularly watercolour, which he used for many landscapes painted from real life (fig. 18). He was driven by a profound faith, which he expressed intensely in a poem written on a postcard in 1905 (fig. 17): “Seeking real knowledge [i.e., scientific knowledge] and pursuing earthly pleasure often leads to discomfort. On the contrary, pursuing a great purpose without hesitation is wisdom that comes from faith”.¹⁴ It is no coincidence that next to the text, in verse, there is one of the blackboards, perhaps



dente dovrebbe provare a mettere in pratica le leggi della prospettiva su un semplice motivo architettonico osservato dal vero, dopo aver studiato attentamente il testo. Questo esercizio può essere effettuato a casa o sul posto, e molto presto ci si renderà conto che questo percorso, oltre a essere di grande interesse in sé, lo condurrà più velocemente alla padronanza della composizione prospettica desiderata, alla sua indipendenza e libertà» [Kleiber 1912, p. 6]. La figura

13 mostra una simulazione di questa tecnica di insegnamento, mentre la figura 16 la mostra in pratica e il soggetto è una delle finestre del Castello di Neubeuern.

Esempi eloquenti del suo metodo sono anche alcuni disegni alla lavagna (figg. 14, 15, 16), eseguiti tra il 1893 e il 1894 alla Accademia di Monaco dove insegnava architettura e prospettiva, che furono fotografati su lastre oggi custodite presso l'Archivio fotografico di

17/ Cartolina del 1905 (Archivio del Castello di Neubeuern).
Postcard dated 1905 (Neubeuern Castle Archive).



Marburg¹³. Si tratta di grandi lavagne che non permettono in alcun modo l'uso di punti che siano situati al di fuori della loro superficie.

I disegni sono stati eseguiti con l'uso di un compasso, che è presente nella figura 14 in mano all'autore (come anche nella figura 15, in alto a destra) e di una grande squadra, che si vede appoggiata alla cattedra nella medesima fotografia. Non è escluso che le lunghe linee rette perfettamente regolari possano essere state tracciate a mano libera, magari con l'aiuto della leggera quadrettatura della lavagna.

In tutti questi disegni si riconoscono le procedure descritte nel trattato, che abbiamo solo in parte commentato.

Nella figura 15, in alto a sinistra, si nota anche un piccolo modello didattico, appoggiato sulla cattedra, che rappresenta il quadro, il punto di vista e un piano rettangolare obliquo proiettato sul quadro.

Neubeuern e l'arte

Kleiber padroneggiava varie tecniche pittoriche, in particolare l'acquerello che ha utiliz-

zato per molti paesaggi ritratti dal vero (fig. 18). Era animato da una fede profonda, che esprime intensamente in una sua poesia scritta in una cartolina del 1905 (fig. 17): «Cercare la conoscenza reale [cioè quella scientifica] e perseguire il piacere terreno spesso porta disagio. Al contrario, perseguire un grande obiettivo senza esitazione è saggezza che deriva dalla fede»¹⁴. E non è un caso che accanto al testo, in versi, figurino una delle lavagne, forse quella più amata, come testimonianza della conoscenza scientifica, mentre il grande obiettivo al quale Kleiber fa cenno potrebbe essere la realizzazione della piccola chiesa di Nostra Signora di Baviera, che egli volle edificare a 1.780 metri di altitudine sul monte Wendelstein ed è la più alta della Germania. Nel 1927 Erwin Panofsky pubblicò il suo saggio sulla Prospettiva come forma simbolica [Panofsky 1927]. Max Kleiber morì tre anni dopo, il 21 marzo 1930, ed è perciò probabile che lo abbia letto: ci chiediamo come abbia potuto accogliere le critiche di Panofsky alla prospettiva centrale e alla sua capacità di

his favourite, bearing witness to scientific knowledge, while the great objective to which Kleiber refers could be the construction of the small church of Our Lady of Bavaria which he wanted to build at 1780 meters above sea level on Mount Wendelstein; the church is the highest in Germany.

In 1927 Erwin Panofsky published his essay on Perspective as Symbolic Form [Panofsky 1927]. Max Kleiber died three years later, on 21st March 1930; it is therefore likely that he read it. We wonder how he could have accepted Panofsky's criticisms of central perspective and its ability to simulate the human vision of space. Subsequent studies have given perspective back its dignity and we believe it is time to acknowledge Max Kleiber's merits as a scholar, teacher, and artist.

1. Max Philipp Kleiber (1848-1930) taught perspective at the School of Arts & Crafts and the Academy of Fine Arts in Munich. He wrote a treatise on perspective entitled *Angewandte Perspektive*, which at the time garnered considerable editorial success; it was updated and republished several times.

2. The term reveals Kleiber's references, specifically Johann Heinrich Lambert's treatise *Die Freie Perspektive* [Lambert 1759] and the much more extensive treatise by Gustav von Peschka and Emil Koutny with the same title [Peschka e Koutny 1868]. Chapter VI of this treatise is dedicated to 'Auxiliary constructions useful when the dimensions of the drawing sheet are limited', while Chapter VII deals with 'Perspective scales'. Finally, the appendix deals with the 'Perspective representation of architectural subjects', including vaults and elements of the architectural order. The central part of this publication deals with geometric figures and their properties, as in a treatise on descriptive geometry, but using perspective representation instead of the canonical orthogonal projections. Overall, von Peschka's *Freie Perspektive* is very theoretical. He develops this vocation in a second treatise, published twenty years later only by von Peschka, entitled *Freie Perspektive [Centrale Projection]* [Peschka 1888] in this case the perspective theory is explicitly developed in projective geometry, although architectural references and application topics, such as perspective scales, still appear [Peschka 1889, pp. 571-579]. However, I believe that Wilhelm Fiedler's treatise [Fiedler 1871] is not unrelated to Kleiber's education and training, at the very least for the importance he attributes to *Freie Perspektive* as the source of all scientifically founded methods of representation.

18/ La chiesa di Nostra Signora della Baviera edificata per iniziativa di Kleiber sul monte Wendelstein a 1.780 metri di altitudine. L'acquerello (1921) è dello stesso Kleiber (Archivio del Castello di Neubeuern).
The Church of Our Lady of Bavaria on Mount Wendelstein, at an altitude of 1,780 meters, was built based on an idea by Kleiber. The watercolour (1921) was painted by Kleiber himself (Neubeuern Castle Archive).

19/ Il progetto per la chiesa di Nostra Signora della Baviera, disegnato da Max Kleiber: matita, penna e acquerello (Archivio del Castello di Neubeuern).
The design for the Church of Our Lady of Bavaria, drawn by Max Kleiber: pencil, pen and watercolour (Neubeuern Castle Archive).

3. In a note Kleiber claims authorship of the method: "This measurement method, which, to his knowledge, has only been described by the author [of this book], practically offers some advantages over the use of so-called measurement points" [Kleiber 1912, p. 59].

4. We extend the line BB' until we meet the circumference at point D . The AC and CD segments are equal because they are radii of the same circumference. The red angles are equal because they are opposite to the vertex. The blue angles, as well as the yellow angles, are equal because they alternate externally in the system in which the lines $A'B'$ and AD cut the parallel lines by construction AA' and $BB'D$. Therefore triangles $AA'C$ and $DB'C$ are equal and so are sides $A'C$ and $B'C$.

5. The name of this theorem is now widely accepted, even though it is inappropriate because it is not part of Desargues' language. It is the Proposition géométrique which appears in the last part of the work by Abraham Bosse and Girard Desargues *Manière universelle...* [Bosse, Desargues 1648, pp. 340-343].

6. Triangles $34b$ and $3'4'd$ are homologous because their corresponding sides meet at points aligned on line xy ; therefore, segments $33'$, $44'$, and bd are aligned at a point (at infinity). If we now consider triangles $a4b$ and $c4'd$, we see that they are also homologous because their corresponding vertices are aligned on parallel lines, and hence cd converges with ab and xy at the inaccessible point V on line xy .

7. Homothety is the homologous relation in which the centre is accessible and the axis is at infinity. As a result, corresponding points are aligned with the centre while corresponding lines are parallel. In general, given the centre and a pair of corresponding lines, the homothety is completely determined. Thus, given, for instance, a linear perspective image, another corresponding image can be deduced without resorting to other constructions. The topic is generally treated in works dedicated to projective geometry, such as the one by Luigi Cremona [Cremona 1893, p. 18].

8. More in detail, the following are given: the line ab , the principal point A (and consequently the horizon ff'), and the principal distance reduced to one-third $Ad/3$ in the rabatment of the horizon plane. Let's say that we want to construct the perspective of line ac , which in space is horizontal and orthogonal to ab . We draw the line Aa and on it we mark off point a' that is one-third of Aa away from A : the homothety with centre A is thus determined and will lead to work on a perspective image that is one-third of the final one. Then we draw the line $a'b'f$ parallel to ab , which meets the horizon at point f . We construct line $d/3f$ and its orthogonal $d/3f'$, which intersects the horizon at point f' . Finally, we draw line $a'c'f'$, which is parallel to the line ac we wanted to construct.



simulare la visione umana dello spazio. Gli studi successivi hanno poi restituito alla prospettiva la sua dignità e crediamo sia tempo ormai di riconoscere a Max Kleiber i suoi meriti di studioso, di insegnante, di artista.



1. Max Philipp Kleiber (1848-1930) ha insegnato la prospettiva nella Scuola d'Arte e Mestieri e nella Accademia di Belle Arti di Monaco. Nel 1892 ha pubblicato un trattato di prospettiva, intitolato *Angewandte Perspektive*, che ha avuto all'epoca una notevole fortuna editoriale, essendo stato aggiornato e ristampato più volte.

2. Il termine svela i riferimenti di Kleiber e precisamente il trattato *Die Freie Perspektive* di Johann Heinrich Lambert [Lambert 1759] e il trattato di Gustav von Peschka e Emil Koutny, ben più ampio, che porta lo stesso titolo [Peschka, Koutny 1868]. Il capitolo VI di questo trattato è dedicato alle "Costruzioni ausiliarie utili quando le dimensioni del foglio di disegno siano limitate", mentre il capitolo VII tratta delle "Scale prospettiche". Infine, nell'Appendice è trattata la "Rappresentazione prospettica di soggetti architettonici" tra i quali figurano le volte e gli elementi dell'ordine architettonico. La parte centrale di quest'opera tratta invece le figure geometriche e le loro proprietà, come in un trattato di geometria descrittiva, servendosi però della rappresentazione prospettica anziché di quella canonica in proiezioni ortogonali associate. Nel complesso, la *Freie Perspektive* di von Peschka ha una forte connotazione teorica. Questa vocazione si svilupperà in un secondo trattato, pubblicato vent'anni dopo dal solo von Peschka, che porta il titolo *Freie Perspektive [Centrale Projection]* [Peschka 1888]; qui la teoria prospettica si sviluppa esplicitamente nella geometria proiettiva anche se figurano ancora riferimenti architettonici e temi applicativi, come le scale prospettiche [Peschka 1889, pp. 571-579]. Credo, però, che non sia estraneo alla formazione di Kleiber anche il trattato di Wilhelm Fiedler [Fiedler 1874] se non altro per l'importanza che questo autore attribuisce alla *Freie Perspektive* come sorgente di tutti i metodi di rappresentazione che abbiano fondamento scientifico.

3. In una nota Kleiber rivendica la paternità del metodo: «Questo metodo di misurazione, che a sua conoscenza finora è stato descritto solo dall'autore [di questo libro], offre in pratica alcuni vantaggi rispetto all'uso dei cosiddetti punti di misura» [Kleiber 1912, p. 59].

4. Prolunghiamo la retta BB' fino a incontrare la circonferenza nel punto D . I segmenti AC e CD sono eguali perché sono raggi della medesima circonferenza. Gli angoli di colore rosso sono uguali perché opposti al vertice. Gli angoli azzurri, così come gli angoli gialli, sono uguali perché alterni esterni nel sistema in cui le rette $A'B'$ e AD tagliano le rette parallele per costruzione AA' e $BB'D$. Perciò i triangoli $AA'C$ e $DB'C$ sono uguali e così sono uguali i lati $A'C$ e $B'C$.

5. La denominazione di questo teorema è ormai ampiamente condivisa, pur non essendo appropriata, perché non appartiene al linguaggio di Desargues. Si tratta della *Proposition géométrique* che figura nell'ultima parte dell'opera di Abraham Bosse e Girard Desargues *Manière universelle...* [Bosse, Desargues 1648, pp. 340-343].

6. I triangoli $34b$ e $3'4'd$ sono omologici perché hanno i lati corrispondenti che si incontrano in punti allineati sulla retta xy ; dunque i segmenti $33'$ $44'$ e bd sono allineati con un punto (all'infinito). Se ora consideriamo i triangoli $a4b$ e $c4'd$ vediamo che sono pure omologici perché hanno i vertici corrispondenti allineati su rette parallele e dunque cd converge con ab e xy nel punto inaccessibile V sulla retta xy .

7. L'omotetia è la relazione omologica nella quale il centro è accessibile e l'asse all'infinito. Perciò i punti corrispondenti sono allineati con il centro mentre le rette corrispondenti sono parallele. In generale, dato il centro e una coppia di rette corrispondenti l'omotetia è completamente determinata, perciò data, per esempio, una immagine prospettica lineare se ne può dedurre un'altra corrispondente senza fare ricorso ad altre costruzioni. L'argomento è generalmente trattato nelle opere dedicate alla geometria proiettiva come, per esempio, quella di Luigi Cremona [Cremona 1893, p. 18].

8. In dettaglio, sono dati: la retta ab , il punto principale A (di conseguenza l'orizzonte ff') e la distanza principale ridotta a un terzo $Ad/3$ nel ribaltamento del piano dell'orizzonte. Si vuole costruire la prospettiva della retta ac che, nello spazio, è orizzontale e ortogonale ad ab . Si traccia la retta Aa e su di essa si stacca il punto a' che dista da A un terzo di Aa : l'omotetia di centro A è così determinata e porterà a lavorare su una immagine prospettica che è un terzo di quella finale. Si traccia allora la retta $a'b'f'$ parallela ad ab , che incontra l'orizzonte nel punto f . Si costruisce la retta $d/3f'$ e l'ortogonale $d/3f'$ che

taglia l'orizzonte nel punto f' . Infine si disegna la retta $a'c'f'$ che è parallela alla retta ac che si voleva costruire.

9. Le prime due sono comparse nel 1892, 1896 e nel 1900, le altre negli anni 1904, 1912, 1922.

10. Il repertorio bibliografico di Luigi Vagnetti lo menziona, senza commenti [Vagnetti 1979, p. 480]. Kirsti Andersen [Andersen 2007], che pure ha studiato quel periodo della storia della prospettiva, lo ignora.

11. <<http://www.gaestebuecher-schloss-neubeuern.de/biografien/index.html>>.

12. Il film di Luchino Visconti *Ludwig* accenna appena l'argomento quando descrive la passione del re di Baviera per la musica di Wagner, ma va ricordato che questa è anche l'epoca di Johann Strauss (1825-1899), Johannes Brahms (1833-1897) e Gustav Mahler (1860-1911), di pittori come Gustav Klimt (1862-1918) ed Egon Schiele (1890-1918), di scrittori come Theodor Fontane (1819-1898) e Thomas Mann (1875-1955).

13. <<https://www.bildindex.de>>. Vorrei esprimere un sentito ringraziamento all'Archivio fotografico di Marburg e a Simone Schulz per avermi concesso di pubblicare questi preziosi documenti.

14. Ringrazio Reinhard Käisinger per la corretta interpretazione del testo.

9. *The first two were published in 1892, 1896, and 1900, while the others were published in 1904, 1912, and 1922.*

10. *Luigi Vagnetti's bibliographic repertoire mentions it, without comments [Vagnetti 1979, p. 480]. Kirsti Andersen [Andersen 2007], who also studied that period of perspective history, ignores it.*

11. <<http://www.gaestebuecher-schloss-neubeuern.de/biografien/index.html>>.

12. *Luchino Visconti's film, Ludwig, just touches on the subject when describing the Bavarian King's passion for Wagner's music; however we should not forget that this was also the era of musicians such as Johann Strauss (1825-1899), Johannes Brahms (1833-1897), and Gustav Mahler (1860-1911), of painters like Gustav Klimt (1862-1918) and Egon Schiele (1890-1918), and of writers like Theodor Fontane (1819-1898) and Thomas Mann (1875-1955).*

13. <<https://www.bildindex.de>>. *I would like to express my heartfelt thanks to the Marburg Photographic Archive and Mr. Simone Schulz for granting permission to publish these valuable documents.*

14. *I would like to thank Reinhard Käisinger for the correct interpretation of the text.*

References

- Andersen 2007 = Kirstie Andersen. *The Geometry of an Art - The History of the Mathematical Theory of Perspective from Alberti to Monge*. New York: Springer, 2007.
- Bosse, Desargues 1648 = Abraham Bosse, Girard Desargues. *Manière universelle de Mr. Desargues, pour pratiquer la perspective par petit-pied, comme le géométral*. Paris: De l'imprimerie de Pierre Des-Hayes, 1648.
- Cremona 1893 = Luigi Cremona. *Elements of Projective Geometry*. Oxford: Clarendon Press, 1893.
- Desargues 1639 = Girard Desargues. *Brouillon project d'une Atteinte aux evenemens des rencontres du cone avec un plan, par L, S, G, D, L*. Paris: pubblicato in proprio, 1639.
- Fiedler 1874 = Wilhelm Fiedler. *Trattato di Geometria Descrittiva del dr. Guglielmo Fiedler professore nella Scuola politecnica federale di Zurigo*. Firenze: Successori Le Monnier, 1874. Traduzione di Antonio Sayno e Ernesto Padova [Die Darstellende Geometrie, 1871]
- Kleiber 1892 = Max Phillip Kleiber. *Katechismus der Angewandte Perspektive, Nebst Erläuterungen über Schattenkonstruktion und Spiegelbilder*. Leipzig, I. I. Weber, 1892.
- Kleiber 1912 = Max Phillip Kleiber. *Angewandte Perspektive, Nebst Erläuterungen über Schattenkonstruktion und Spiegelbilder*. Leipzig, I. I. Weber, Illustrierte Zeitung, 1912.
- Lambert 1759 = Johann Heinrich Lambert. *Die freye Perspektive oder Anweisung, jeden perspektivischen Aufriss von freyen Stücken und ohne Grundriss zu verfertigen*. Zürich: Bey Heidegger und Compagnie, 1759.
- Panofsky 1961 = Erwin Panofsky. *La prospettiva come "forma simbolica" e altri scritti*. Milano: Feltrinelli, 1961. Traduzione di Enrico Filippini [Die Perspektive als "symbolische Form", 1924].
- Peschka 1888 = Gustav Adolf von Peschka. *Freie Perspektive [Centrale Projection]*. Vol. 1, Leipzig: Baumgärtner's Buchhandlung, 1888.
- Peschka 1889 = Gustav Adolf von Peschka. *Freie Perspektive [Centrale Projection]*. Vol. 2, Leipzig: Baumgärtner's Buchhandlung, 1889.
- Peschka, Koutny 1868 = Gustav Adolf von Peschka, Emil Koutny. *Freie Perspektive, in ihrer Begründung und Anwendung*. Hannover: Carl Rümpler, 1868.
- Piero della Francesca 2017 = Piero della Francesca. *De Prospectiva Pingendi*. Roma: Istituto Poligrafico dello Stato, 2017.
- Poncelet 1822 = Jean Victor Poncelet. *Traité des Propriétés Projectives des Figures; ouvrage utile a ceux qui s'occupent des application de la Géométrie Descrittive et d'operations géométriques sur le terrain; par J. V. Poncelet, Ancien Élève de l'école Polytechnique, Capitaine au corps royal du Génie, Membre de la Société des Sciences, Lettres et Arts de Metz*. Paris, Bachelier, 1822.
- Vagnetti 1979 = Luigi Vagnetti (mar.). *De naturali et artificiali perspectiva*. Firenze: Edizioni della Cattedra di Composizione Architettonica I A di Firenze e della L.E.F. (libreria Editrice Fiorentina), 1979.

Riccardo Migliari

Nostalgia ed emozione del disegno

Il mio contributo *Max Kleiber Perspektivikus* tratta di un professore di Prospettiva, Max Philipp Kleiber, e parla di geometria. Eppure io credo che l'attenzione del lettore cadrà prima di tutto su quelle grandi e austere lavagne che invitano a entrare in uno spazio virtuale creato con l'uso esclusivo di un gessetto bianco. E credo anche che molti di noi architetti proveranno un senso di nostalgia per quell'arte, che è solo e tipicamente nostra, di evocare l'architettura con mezzi semplici come carta e matita, acquerello o, per l'appunto, un pezzetto di gesso bianco.

Mi chiedo, perché? Non abbiamo forse strumenti capaci di generare immagini di un realismo fotografico? Che senso avrebbe oggi disegnare ancora in quel modo e insegnare quella teoria e quelle tecniche?

Vorrei, se è possibile, superare il senso di nostalgia di cui ho parlato per dare una giustificazione razionale all'interesse che suscitano in noi queste immagini. Ma questa non è una dimostrazione geometrica, perché i sentimenti, quali che siano, non sono teoremi. E dunque non resta altro da fare che istruire il problema con la speranza di suscitare almeno una discussione sul tema.

Per cominciare, io credo che sia bene distinguere la teoria e la tecnica del disegno dall'insegnamento del disegno di architettura¹.

Insegnare il disegno di architettura significa, prima di tutto, formare la capacità di immaginare lo spazio e cioè le forme a tre dimensioni nella loro realtà euclidea e nella impressione visiva che esse possono suscitare in chi osserva². Si deve dunque distinguere lo spettatore che esamina l'architettura come oggetto ancora privo di un riferimento scalare, dall'osservatore che quella architettura vive e misura con il metro del proprio corpo. Questi compiti sono svolti dalla geometria descrittiva e dalla prospettiva. La prospettiva è la palestra della immaginazione dello spazio, sin dal momento in cui porta lo studente ad assumere la veduta vincolata e perciò a vedere il foglio di carta, o la lavagna, come una finestra che si apre su un mondo a tre dimensioni nel quale egli, da progettista, innalzerà i volumi della sua architettura. La geometria descrittiva è la cassetta degli attrezzi che permettono di modellare e cioè di trasformare le visioni dell'osservatore nelle forme oggettive controllate dallo spettatore. Ma non si deve pensare che in quella cassetta di attrezzi ci siano solo le note regole della proiezione ortogonale, o i comandi e le procedure della modellazione digitale, perché quella cassetta è anche il deposito delle forme primitive che vanno dai poliedri alle superfici rigate, alle quadriche, alle forme libere che le NURBS rendono ripetibili: sono gli elementi della composizione architettonica dai tempi più antichi a tutt'oggi.

Supponiamo di avere formato la capacità di immaginare lo spazio. A questo punto, e non prima, si può pensare di disegnare l'architettura. Disegnare l'architettura significa comunicarla prima di tutto a sé stessi e poi agli altri, dalla semplice prima impressione alla realizzazione in cantiere³. Il mezzo più veloce di cui disponiamo per trasmettere le nostre idee è lo schizzo, su questo non credo ci siano dubbi. Un disegno a matita, eventualmente reso più esplicito da qualche campitura all'acquerello. Vi sono innumerevoli esempi da Le Corbusier a Michael Graves, per non parlare degli illustri italiani che hanno pubblicato i loro schizzi di architettura proprio su queste pagine.

A questo punto è d'obbligo chiedersi: che ruolo possono avere, oggi, nel disegno d'architettura ma soprattutto nella formazione, le tecnologie digitali? Esse non aiutano lo sviluppo della immaginazione spaziale, proprio perché si sostituiscono alla mente di chi le usa nel formare l'immagine, sia



Riccardo Migliari

The nostalgia and emotion of drawing

My contribution entitled Max Kleiber Perspektivikus focuses on a professor of perspective, Max Philipp Kleiber, and talks about geometry. However I believe that readers will be captivated primarily by the big, austere blackboards inviting them to enter a virtual space created using only white chalk. I also believe that many of us architects will experience a sense of nostalgia for an art – exclusively and typically ours – that conjures up architectures using simple tools, such as paper and pencil, watercolour or, indeed, a small piece of white chalk.

I ask myself, why? Don't we perhaps have tools that are capable of generating photographically realistic images? What's the point of continuing to draw like that in this day and age? and teach those theories and techniques?

If possible, I would like to overcome the aforementioned feeling of nostalgia and rationally justify the interest that those images arouse in us. But this is not a geometric demonstration, because feelings, all kinds of feelings, are not theorems. So, all that remains to be done is to illustrate the problem, in the hope that this will at least trigger a discussion about this topic. To begin with, I believe that we would do well to distinguish between the theory and technique of drawing and the way we teach people how to draw architecture.¹

Teaching people how to draw architecture means, first and foremost, teaching them how to imagine space, in other words

three-dimensional forms in their Euclidean reality and in the visual impression they can spark in an observer.² Therefore, one has to distinguish between the onlooker, who examines architecture as an object still lacking in a scalar reference, from the observer who lives and measures that architecture with the yardstick of his own body. These tasks are performed by descriptive geometry and perspective.

Perspective is the gymnasium of the imagination of space, from the moment it encourages students to employ restricted sight and, as a result, consider the piece of paper, or blackboard, as a window opening onto a three-dimensional world in which they, as designers, will create their architectural volumes.

Descriptive geometry is the toolbox that allows us to model, i.e., to transform what the observer sees into the objective forms controlled by the onlooker.

However, we mustn't think that the toolbox holds only the well-known rules of orthogonal projection, or the controls and procedures of digital modelling, because the toolbox also contains primitive forms ranging from polyhedrons to ruled surfaces, quadrics, and the free forms that NURBS allows us to repeat: they are the elements of architectural composition that have existed from antiquity to the present day.

Let's suppose we have developed the ability to imagine space. At this point, and not before, we can begin to think about drawing architecture. Drawing architecture means communicating it, first to ourselves, and then to others, from the simple first impression to its construction at the worksite.³

I believe we all agree that sketches are the quickest tools we can use to convey our ideas. A pencil drawing, possibly made clearer by a watercolour background. Numerous examples have been provided ranging from Le Corbusier to Michael Graves, not to mention the eminent Italians who have published their architectural sketches in the pages of this journal.

At this point, we have to ask ourselves: what role do digital technologies currently play in the drawing of architecture, but above all during training and education?

They do not help the development of spatial imagination, precisely because they replace the mind of those who use them to create an image, whether it be the Euclidean image of the onlooker or the perspective image of the observer.



essa quella euclidea dello spettatore come quella prospettica dell'osservatore. Sono però di valido aiuto nella creazione delle forme più complesse. E il *rendering*, cioè il chiaroscuro digitale? Gli algoritmi si sono evoluti nella direzione di un realismo fotografico, a volte indistinguibile dal vero. Qui sta la risposta, credo, alla domanda che ci siamo posti. Il ruolo del computer è semplicemente quello di uno strumento accessorio, come un compasso, una riga, un qualunque strumento di misura. Il disegno manuale è insostituibile semplicemente perché è selettivo, mentre il disegno digitale non lo è.

Chi disegna può porre un accento semplicemente calcando la mano. Chi disegna al computer non può farlo, a meno di intraprendere un processo assai laborioso⁴.

E, a proposito del *rendering*, questo limite del disegno digitale si fa evidente quando si tratta di distinguere le ombre proprie dalle ombre portate, tenendo conto dei riflessi. Il chiaroscuro digitale, proprio perché è fotografico, non distingue, si limita a calcolare gli effetti fisici della luce. Il disegno all'acquerello, invece, permette di separare nettamente i toni per dare al dettaglio una evidenza altrimenti impossibile. Esiste una possibile conciliazione dei due approcci, manuale e digitale? Che salvi il meglio dell'uno e dell'altro? Forse sì e penso che altri molto meglio di me la svilupperanno negli anni a venire, forse grazie anche agli apporti della intelligenza artificiale. Si tratta del disegno ibrido. Nella figura 1 l'ordine dorico di Vignola è stato prima modellato al computer. Il modello, elaborato in base ai parametri della assonometria cavaliera usata da Andrea Palladio nei suoi rilievi [Puppi 1989], ha generato i soli contorni del disegno che è stato poi trattato con l'acquerello per rendere la luce. Esiste un modo nuovo e più aderente alla evoluzione digitale per formare la capacità di controllare mentalmente lo spazio? Il problema, sul quale ancora troppo poco si è detto, è stato toccato da Edoardo Dotto [Dotto 2008, 2014, 2016], Fabrizio Gay [Gay 2008], Graziano Valenti [Valenti 2022] e pochi altri.

1. Sappiamo che spesso i colleghi che insegnano progettazione si lamentano di ricevere dai nostri corsi allievi che non sanno disegnare. Negli anni in cui io stesso studiavo architettura, questa capacità si formava in sette corsi annuali: i corsi di Geometria descrittiva, primo e secondo quelli di Disegno dal vero, primo e secondo quelli di Rilievo, primo e secondo, e quello di Plastica, che era l'unico opzionale. A queste discipline oggi si è aggiunta la Modellazione informatica e i corsi si sono ridotti a due soltanto. In un lasso di tempo così breve si può fare ben poco: è evidente.

2. Nella mia carriera di insegnante ho più volte verificato che questa capacità di immaginare lo spazio non è affatto innata e deve essere educata, con tempo e pazienza. Chiedevo ai miei studenti di immaginare un cubo, la più semplice tra le forme elementari, e poi chiedevo di contare gli spigoli. Nessuno tra loro aveva alle spalle una formazione nella geometria elementare che potesse dare una risposta immediata *par coeur*: dovevano contare nella loro mente. Ma per contare gli spigoli del cubo bisogna realmente immaginarlo come un architetto sa certamente fare e nessuno di loro era in grado di rispondere. Provare per credere.

3. In questo l'esperienza di Max Kleiber, pur nella sua semplicità, è esemplare: passa dalle fasi dello schizzo di invenzione a quelle della definizione della forma euclidea, fino alla realizzazione vissuta fisicamente in prima persona con il trasporto a milleottocento metri di altitudine del pesante fardello della croce.

4. Un problema simile si è posto nella redazione dell'edizione diplomatica dei disegni del De Prospettiva Pingendi Piero della Francesca del 2017, dove, per rendere questo aspetto abbiamo dovuto fare ricorso a una funzione di modulazione dello spessore della linea, segno dopo segno.

References

- Dotto 2008 = Edoardo Dotto. *Introduzione all'analisi grafica, Una nota didattica.* Siracusa: Università di Catania, 2008.
- Dotto 2014 = Edoardo Dotto. Una questione (poco) tecnica. In *Idee per la rappresentazione 7.* Visualità, atti del seminario (Aversa, Abazia di San Lorenzo, 9 maggio 2014), Artegrafica PLS s.r.l., Roma 2015, pp. 210-217. ISBN: 9788890458590.
- Dotto 2016 = Edoardo Dotto. Rendere visibile. Imparare dalle scienze e dalle arti. *XY digitale. Studi sulla rappresentazione dell'architettura e sull'uso dell'immagine nella scienza e nell'arte*, 1 (2), 2016, pp. 20-35. ISSN (paper): 2499-8338. ISSN (online): 2499-8346. DOI: <https://doi.org/10.15168/xy.v1i2.32>.
- Gay 2008 = Fabrizio Gay. *Modelli geometrici per le Arti prima e dopo la geometria descrittiva.* Firenze: AREA, 2008, pp. 335-338. ISBN: 9788896080009.
- Puppi 1989 = Puppi, Lionello (a cura di). *Palladio. Corpus dei disegni al museo civico di Vicenza.* Milano: Berenice, 1989.
- Valenti 2022 = Graziano Valenti. *Di segno e modello. Esplorazioni sulla forma libera fra disegno analogico e digitale.* Milano: Franco Angeli, 2022. ISBN: 9788835120797.

They are, however, a valid aid in the creation of more complex forms. And what about rendering, i.e., digital chiaroscuro? Algorithms have evolved towards photographic realism and are at times indistinguishable from the real thing.

I believe this is the answer to the question we asked ourselves. The role of the computer is merely that of an additional tool, like a compass, a ruler, or any other measuring tool. Drawing by hand is irreplaceable simply because it is selective, while digital drawing is not.

A drawer can emphasise something by simply pressing harder. This is impossible if you use a computer to draw, unless you decide to undertake a very painstaking process.⁴

Let's go back to the subject of rendering. The limits of digital drawing become obvious when we need to distinguish between shade and shadows, taking reflections into account. Since digital chiaroscuro is photographic, it does not distinguish between them. All it does is calculate the physical effects of light.

Instead a watercolour drawing allows you to clearly separate the tones in order to highlight a detail, something that would otherwise be impossible.

Is it possible to reconcile the two approaches, digital and manual? Saving the best of both? Perhaps it is, and I think that many others, better than myself, will develop this possibility in the years to come, maybe thanks to an input by artificial intelligence. I am talking about hybrid drawing. In figure 1, Vignola's Doric order was the first to be modelled using a computer.

The model, processed based on the parameters of cavalier axonometric projection used by Andrea Palladio in his surveys [Puppi 1989], only generated the outlines of the drawing that was then watercoloured to render the light. Is there a new method, more similar to digital evolution, which we can use to develop the ability to mentally control space? The problem – about which little has been said or written – was examined by Edoardo Dotto [Dotto 2008, 2014, 2016], Fabrizio Gay [Gay 2008], Graziano Valenti [Valenti 2022] and a few others.

1. *We know that our colleagues who teach design often complain that the students who have attended our classes don't know how to draw. When I was studying architecture, I learnt to draw during seven year-long courses: the first and second courses on Descriptive Geometry; the first and second courses on drawing from real life; the first and second courses on Survey, and the course on Plastic Art, which was the only optional course. Computer Modelling has been added to these disciplines, but now there are only two courses. Obviously very little can be achieved in such a short space of time.*

2. *During all the years I was a teacher, I was able to repeatedly verify that this ability to imagine space is anything but natural and must be taught, patiently and over a period of time. I used to ask my students to imagine a cube, the simplest of all elementary forms, and then asked them to count the corners. None of them had been taught elementary geometry, which instead would have allowed them to give me an immediate answer par coeur: they had to count in their heads. But to count the corners of a cube we have to really imagine it – something an architect certainly knows how to do – but none of them were able to give me an answer. Try it and see.*

3. *Max Kleiber's experience is important in this regard. Although very simple, it is exemplary. He passes from the inventive sketch, to the definition of Euclidean form, and then on to its realisation, physically experienced personally when he shouldered the heavy load of a cross up to the top of a mountain (1,800 metres a.s.l.).*

4. *A similar problem arose when drafting the diplomatic edition of the drawings in De Prospettiva Pingendi by Piero della Francesca in 2017. In order to render this process we had to use a function to modulate the thickness of the line, sign by sign.*



Carlo Bianchini

Metamodellazione Metamodelling

<https://cdn.gangemieditore.com/DOI/10.61020/11239247-202366-08.pdf>

The digital revolution in first twenty-five years of this century provided us with an extensive range of hardware and software tools, thus allowing us to achieve a significant interaction between the real world and the virtual world. The ‘heart’ of this process lies, as we all know, in the Model, in other words in the medium which, in some ways, represents both the goal and the means of this interaction. For a long time researchers, technicians and ordinary users focused on the Model; more recently, however, this interest has gradually shifted to Modelling, i.e., to the many activities straddling theory and practice that govern the process of construction and data enrichment of the individual digital elements which, when combined, create the Model. This is not exactly a novel topic for those who have performed research in this field. However, primarily owing to the impulse experienced by 3D modelling caused by the overpowering diffusion of Building Information Modelling (BIM), especially the Heritage (HBIM) version, it has shown itself to be increasing relevant not only in the realisation of coherent, reliable products, but also because its impact clarifies the conceptual reference framework governing the entire process. This article discusses the conceptual framework around this issue and also presents several relevant projects implemented over the past twenty years.

Keywords: metamodelling, HBIM, quality of the models, virtual artefact

The digital revolution that took place in the first quarter of this century has provided us with a wide range of hardware and software tools, thus allowing us to achieve significant interaction between the real world and the virtual world. The ‘heart’ of this process lies, as we all know, in the Model, in other words in the medium which, in some ways, represents both the goal and means of this interaction [Docci et al. 2001].

For a long time researchers, technicians and ordinary users focused on the Model; more recently, however, this interest has gradually shifted to Modelling, i.e., to the many activities, straddling theory and practice, that govern the process of construction and data enrichment of the individual digital elements which, when combined, create the Model [Attenni et al. 2022]. This is not exactly a novel topic for those who have performed research in this field [Addison, Gaiani 2000; Borghini, Carlani 2011; Borgogni, Ippolito 2011; Bianchini 2014]. However, primarily owing to the boost experienced by 3D

Il primo quarto di secolo di rivoluzione digitale ci ha consegnato un ampio ventaglio di strumenti hardware e software che consentono una significativa interazione tra il mondo reale e quello virtuale il cui cuore risiede, come noto, nel Modello, ovvero in quel medium che in qualche modo rappresenta sia il fine che il mezzo di questa interazione. Se per molto tempo è stato il Modello al centro dell’interesse di ricercatori, tecnici e semplici utenti, più recentemente l’attenzione si è andata via via spostando verso il Modellare, ossia verso quel complesso di attività a cavallo tra teorico e pratico che guidano il processo di costruzione e arricchimento informativo dei singoli elementi digitali che andranno insieme a comporre appunto il Modello. Questo tema non può definirsi esattamente nuovo per coloro che hanno sviluppato ricerche in questo ambito. Tuttavia, soprattutto a causa dell’impulso che la modellazione 3D sta ricevendo dalla prepotente diffusione del Building Information Modelling (BIM) specie nella sua versione Heritage (HBIM), esso si dimostra sempre più rilevante non solo per la realizzazione di prodotti coerenti e affidabili ma anche per il suo impatto nel chiarire il quadro concettuale di riferimento che governa l’intero processo. L’articolo discute il quadro concettuale in cui si inquadra la questione anche con il supporto di alcune esperienze sviluppate nell’ultimo ventennio.

Parole chiave: metamodellazione, HBIM, qualità dei modelli, manufatto virtuale.

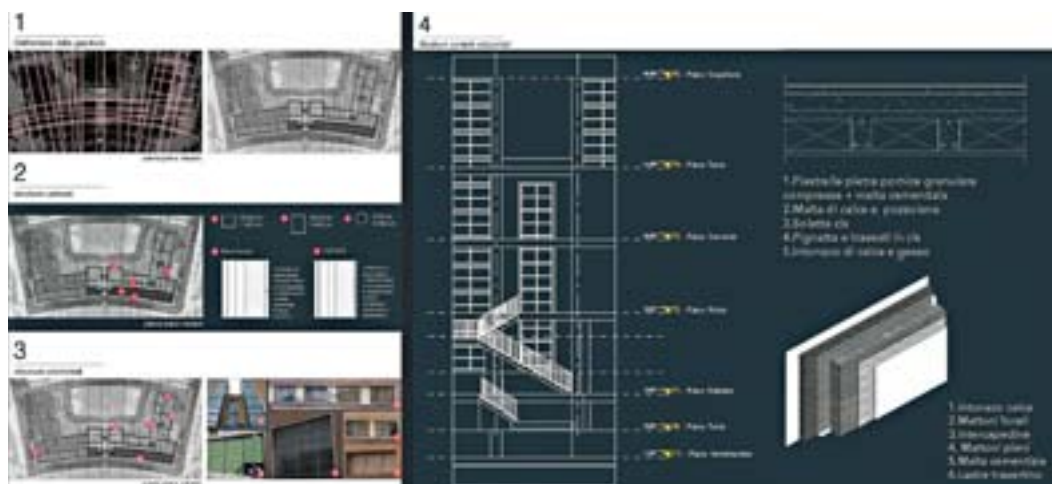
Il primo quarto di secolo di rivoluzione digitale ci ha consegnato un ampio ventaglio di strumenti hardware e software che consentono una significativa interazione tra il mondo reale e quello virtuale il cui cuore risiede, come noto, nel Modello, ovvero in quel *medium* che in qualche modo rappresenta sia il fine che il mezzo di questa interazione [Docci, Bianchini, Ippolito 2001].

Se per molto tempo è stato il Modello al centro dell’interesse di ricercatori, tecnici e semplici utenti, più recentemente l’attenzione si è andata via via spostando verso il Modellare, ovvero verso quel complesso di attività a cavallo tra teorico e pratico che guidano il processo di costruzione e arricchimento informativo dei singoli elementi digitali che andranno insieme a comporre appunto il Modello [Attenni et al. 2022]. Questo tema non può definirsi esattamente nuovo per coloro che hanno sviluppato ricerche in questo ambito [Addison, Gaiani 2000; Borghini, Carlani 2011; Borgogni, Ippo-

lito 2011; Bianchini 2014]. Tuttavia, soprattutto a causa dell’impulso che la modellazione 3D sta ricevendo dalla prepotente diffusione del *Building Information Modelling* (BIM) specie nella sua versione *Heritage* (HBIM), esso si dimostra sempre più rilevante non solo per la realizzazione di prodotti coerenti e affidabili ma anche per il suo impatto nel chiarire il quadro concettuale di riferimento che governa l’intero processo [Logothetis, Karachaliou, Stylianidis 2017; López et al. 2018; Yang et al. 2020].

Progetto, Modello e Manufatto

Mi sono più volte occupato del concetto di Modello con l’obiettivo di chiarirne i contorni sia teorici che operativi. Da un punto di vista epistemologico, il Modello è concordemente ritenuto il prodotto di un’interazione Soggetto/Oggetto (quest’ultimo indifferentemente reale o virtuale) in cui il primo costruisce attivamente dal secondo una selezione strutturata delle innumerevoli, possibili informazioni. Si



1/ *Pagina precedente*. Sapienza, Facoltà di Botanica nella Città Universitaria di Roma. Schemi descrittivi della Matrice Progettuale e della Matrice Costruttiva rielaborata (elaborazione di Martina Attenni).

Previous page. *Sapienza, Faculty of Botany in the Città Universitaria in Rome. Descriptive schema of the Design Matrix and re-elaborated Construction Matrix* (by Martina Attenni).
2/ Sapienza, Facoltà di Botanica nella Città Universitaria di Roma. La fase di modellazione sovrapposta ai dati di rilievo 3D (elaborazione di Martina Attenni).

Sapienza, Faculty of Botany in the Città Universitaria in Rome. The modelling phase superimposed on the 3D survey data (by Martina Attenni).

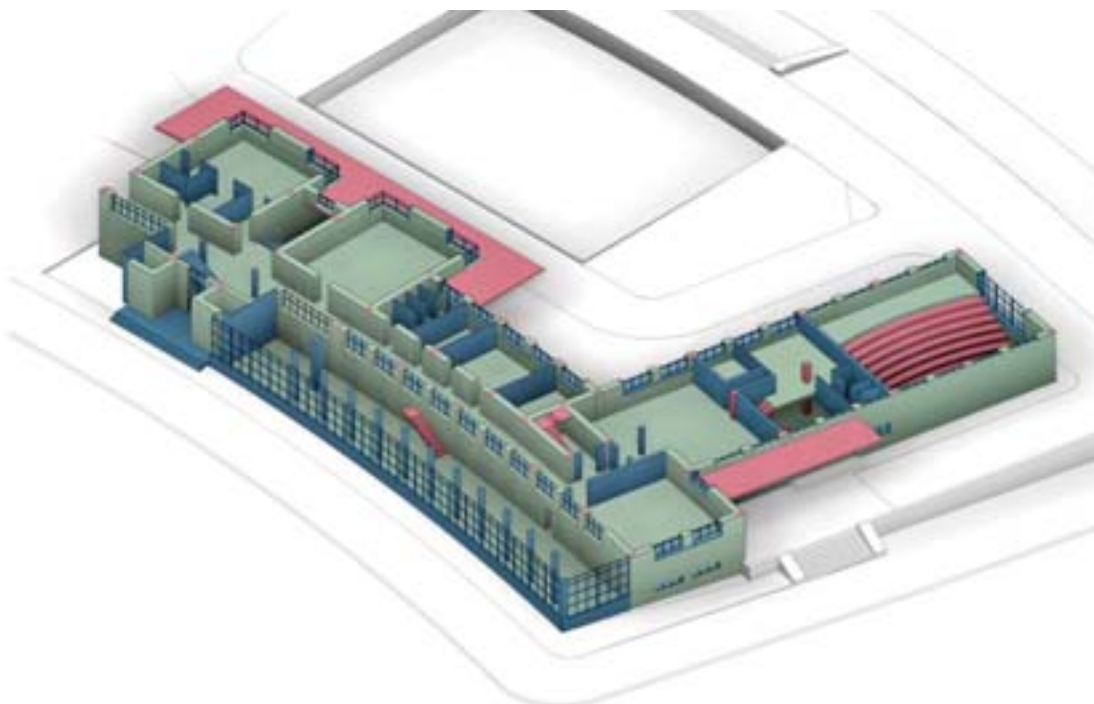
3/ Sapienza, Facoltà di Botanica nella Città Universitaria di Roma. Descrizione sintetica del Level of Reliability (LoR) del manufatto virtuale (elaborazione di Saverio Nicastro).
Sapienza, Faculty of Botany in the Città Universitaria in Rome. Concise description of the Level of Reliability (LoR) of the virtual artefact (by Saverio Nicastro).



tratta in altre parole di un'operazione di lettura in cui il Soggetto estrae significati dall'Oggetto in funzione del proprio quadro semantico e sintattico.

Sebbene a questo stadio il Modello (e le informazioni che lo costituiscono) assuma significato solo per il Soggetto, ciò nondimeno esso svolge un complesso ruolo di mediazione tra quest'ultimo e l'Oggetto stesso innescando, tra gli altri, quel circuito virtuoso di feedback alla base tanto del processo ideativo che di quello più propriamente progettuale [Quaroni 1997]. Inoltre, una successiva (ma non obbligatoria) codifica e rappresentazione delle informazioni consente la

comunicazione del Modello ad altri soggetti in grado di interpretarne il codice. Paradigmatico in questo quadro il ruolo dei Modelli Grafici 2D in relazione alla loro capacità di porsi come sostituto virtuale dell'Oggetto sul quale simulare le più svariate operazioni come se effettivamente fossero compiute nella realtà [Migliari 2004]. Possibilità che come noto si basa sulla corrispondenza biunivoca tra l'Oggetto e la sua rappresentazione grafica assicurata dalla Scienza della Rappresentazione ma anche sulla capacità di quest'ultima di porsi come linguaggio condiviso per una comunità di soggetti diversi dal creatore del Modello [Bianchini 2014].



modelling caused by the overpowering diffusion of Building Information Modelling (BIM), especially the Heritage (HBIM) version, it has shown itself to be increasing relevant not only in the realisation of coherent, reliable products, but also because its impact clarifies the conceptual reference framework governing the entire process [Logothetis, Karachaliou, Stylianidis 2017; López et al. 2018; Yang et al. 2020].

Project, Model and Artefact

I have repeatedly worked on the Model concept in order to clarify its theoretical and operational boundaries. From an epistemological point of view, a Model is unanimously believed to be the product of a Subject/Object interaction (whether real or virtual) in which the former actively uses the latter to create a structured selection of the countless possible pieces of information. In other words, it involves an interpretation during which the Subject extracts meanings from the Object depending on its own semantic and syntactic framework.

Although at this stage the Model (and the data it contains) is meaningful only for the Subject, it nevertheless plays a complex role as a mediator between the latter and the Object, triggering, amongst other things, a virtuous feedback that is behind the ideative process, but also, more specifically, the design process [Quaroni 1997]. Furthermore, a subsequent (but not obligatory) codification and representation of the data makes it possible to share the Model with other subjects capable of interpreting its code. In this framework the role of 2D Graphic Models is paradigmatic in relation to their ability to act as a virtual substitute of the Object on which to simulate several operations as if they had actually been performed on the Object itself [Migliari 2004]. As we all know, this possibility is based not only on the two-way correspondence between the Object and its graphic representation, ensured by the Science of Representation, but also on the latter's ability to act as a shared language for a community of subjects who differ from the creator of the Model [Bianchini 2014]. However, after the advent of BIM, this 'traditional' conceptual (but still completely coherent and shareable) framework has revealed certain important limits. Without going over the merits of this 'innovated process' in the

4/ Progetto di Antonio da Sangallo il Giovane
per il nuovo San Pietro. Nuvola di punti del modello ligneo
(elaborazione dell'autore)

*Design by Antonio da Sangallo the Younger for the new
St. Peter's. Points cloud of the wooden model (by the author).*

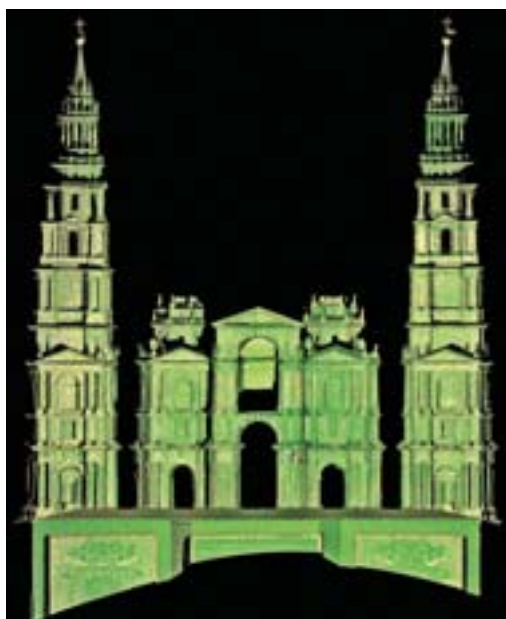
so-called AEC Industry,¹ it is however worth emphasising that one of the strong points of BIM is its ability to incorporate, into the same digital environment, not only the simulacra of the Object (Model), but also all the data and sequence of activities required to create it (Process) [Quattrini, Pierdicca, Morbidoni 2017; Brusaporci, Maiezza, Tata 2018]. In other words, it involves a complex virtual simulation integrating the metric and geometric characteristics of the space occupied by the Object, its constituent elements and, finally, the schema and phases of its assembly.

When considered from this point of view, the boundaries of the whole issue differ enormously from the ones we started with when we discussed the Subject/Object and Model, because if, on the one hand, the framework of the relationships and activities that trigger the process that goes from the Object to the Model continues to be valid, at one point the latter, in a virtual environment, acquires a new (and perhaps unexpected) status: it turns into an Artefact, i.e., into the product of a process of construction. In other words, a significant parallelism is created between the steps that materialise a project in the real world and the steps which, at this point in a similar manner, make it visible in the virtual world.

If, in the first case, after the Model has been created, we can use our consolidated experience to plan, guide and validate the implementation phase, we cannot say the same for virtual Artefacts, because in this latter case our considerations are still primarily technical and practical in nature, the conceptual background is scarce, and the shared reference protocols and benchmarks appear very remote.

Metamodelling, defined as a field focusing on the study of the methods and forms behind Modelling, can therefore play a crucial role in clarifying and identifying the relevance and nature of the operations characterising the 'worksites' of virtual Artefacts.

At this point it is important to briefly illustrate what, in my opinion, we mean by modelling. In line with the information provided, modelling in a virtual environment not only defines the simulacra of the Object, but to a certain extent also corresponds to building, i.e. to assembling the elements based on a pre-established schema. A term which, by broadening its traditional



Questo quadro concettuale “tradizionale” (ma ancora del tutto coerente e condivisibile) ha tuttavia dimostrato con l'avvento del BIM alcuni limiti importanti. Senza voler entrare nel merito di questa “innovazione di processo” nella cosiddetta AEC¹ Industry, è opportuno tuttavia sottolineare che il BIM vede tra i suoi punti di forza la capacità di incorporare nello stesso ambiente digitale sia il simulacro dell'Oggetto (Modello) sia tutte le informazioni e la sequenza di attività necessarie per la sua realizzazione (Processo) [Quattrini, Pierdicca, Morbidoni 2017; Brusaporci, Maiezza, Tata 2018]. Si tratta, in altre parole, di una complessa simulazione virtuale che integra le caratteristiche metriche e geometriche dello spazio occupato dall'Oggetto, gli elementi che lo costituiscono e, infine, lo schema e le fasi del suo assemblaggio.

Considerata da questo punto di vista, l'intera questione assume pertanto contorni molto differenti da quelli da cui siamo partiti discutendo di Soggetto/Oggetto e Modello, poiché se da un lato continua a essere valido il quadro delle relazioni e le attività che avviano il processo che procede dall'Oggetto verso il Modello, a un certo punto quest'ultimo, nell'ambiente virtuale, acquista uno status nuovo (e forse impreveduto) trasformandosi in un Manufatto, ovvero nel prodotto di un processo di costruzione. Si crea in altre parole un significativo parallelismo tra

le fasi che portano un progetto a concretizzarsi nel mondo reale e quelle che, a questo punto similmente, lo portano a manifestarsi in quello virtuale. Se nel primo caso, a valle del Modello, esiste una consolidata esperienza con cui impostare, guidare e validare la fase realizzativa, non altrettanto possiamo affermare a proposito dei Manufatti virtuali poiché in questo secondo caso prevalgono ancora riflessioni di natura prevalentemente tecnico-pratica, il background concettuale è scarso e ben lontani appaiono protocolli e benchmark condivisi di riferimento.

La Metamodellazione, definita come ambito che si occupa di indagare i modi e le forme alla base della Modellazione, può rivelarsi dunque cruciale nel chiarire e identificare il ruolo e la natura delle operazioni che caratterizzano il “cantiere” dei Manufatti virtuali.

È opportuno a questo punto illustrare brevemente cosa a mio avviso debba intendersi per modellare. Coerentemente con quanto fin qui esposto, modellare nell'ambiente virtuale, oltre a definire il simulacro dell'Oggetto, corrisponde in qualche misura anche a *costruire*, ovvero ad assemblare elementi secondo uno schema preordinato. Un termine, dunque, che estendendo la sua tradizionale accezione riferita ai soli manufatti reali, assume anche per quelli virtuali un significato analogo in relazione alla loro specifica fase realizzativa.

Tornando inoltre al rapporto Soggetto/Oggetto/Modello nel quale si inquadra il modellare, è utile ricordare come, prima dell'avvento dei sistemi digitali, il suo ambito si limitasse ai soli manufatti reali potendosi in ogni caso declinare nel verso del Progetto o in quello del Rilievo [Docci, Gaiani, Migliari 2001; Docci, Bianchini, Ippolito 2011; Bianchini 2014].

Nel primo caso, l'idea di un Progettista, olografa, unitaria ma soprattutto in buona misura priva di significato per altri soggetti, viene via via precisata rendendo manifesta dapprima la matrice progettuale (forma, geometria, aggregazione, linguaggio, etc.) e quindi la matrice esecutiva, ovvero l'insieme dei vari componenti necessari per la realizzazione vera e propria. Tipicamente, quest'ultima corrisponde ai vari materiali (grafici, testuali, tabellari) che compongono l'esecutivo. In ogni caso, sulla base della matrice esecutiva frutto di una scomposizione analitica, catalogazione degli elementi co-

5/ Replica virtuale del progetto di Antonio da Sangallo il Giovane per il Nuovo San Pietro. Schemi descrittivi della Matrice Progettuale e della Matrice Costruttiva rielaborata (elaborazione di Luca J. Senatore).
Virtual replica of the project by Antonio da Sangallo the Younger for the New St. Peter's. Descriptive schema of the Design Matrix and the re-elaborated Constructive Matrix (by Luca J. Senatore).

6/ Replica virtuale del progetto di Antonio da Sangallo il Giovane per il Nuovo San Pietro. Frame iniziale del filmato prodotto in occasione della mostra "Petros eni" celebrativa dei 500 anni dalla fondazione della nuova basilica (elaborazione di Luca J. Senatore).
Virtual replica of the project by Antonio da Sangallo the Younger for the New St. Peter's. Initial frame of the video produced for the 'Petros eni' exhibition celebrating the 500th anniversary of the foundation of the new basilica (by Luca J. Senatore).

struttivi e delle loro relazioni, vengono avviate le successive fasi realizzative che comprendono la sequenza e gerarchia delle lavorazioni, l'allestimento del cantiere, la fornitura dei materiali e così via. Da sottolineare come la fase realizzativa cancelli sull'Oggetto gran parte di entrambe le matrici e come essa degradi anche molte delle informazioni che permangono sui materiali che descrivevano il Modello (le matrici) a causa delle numerose varianti che il processo di costruzione naturalmente introduce. Sempre mediato dal Modello, il percorso funziona bene anche nel verso opposto, ovvero in quello del Rilievo. In questo caso si parte da un Oggetto evidentemente già esistente che però, a ben vedere, si configura anch'esso come un insieme olografo (nel senso dell'*intentio operis* proposta da Roca De Amicis)² [Roca De Amicis 2015], unitario e potenzialmente privo di significato stante l'appena ricordata obliterazione delle matrici progettuale ed esecutiva e la concomitante degradazione della loro versione originaria peraltro non sempre accessibile. Al



Soggetto, pertanto, non rimarrà altra opzione che tentare di mettere assieme una sua, nuova matrice esecutiva per poi passare a delineare una coerente matrice progettuale³ che insieme siano in grado di ricostruire l'idea complessiva del progetto soggiacente al manufatto. In quanto simulazione dell'intero processo costruttivo, il BIM ricalca, virtualizzandola, l'intera filiera che ho sinteticamente descritto a proposito dei manufatti reali [Scianna, Gaglio, La Guardia 2020, Attenni et al. 2022]. Nel verso del Progetto, questo approccio sembra non introdurre particolari novità quanto alle "classiche" matrici progettuale ed esecutiva. Tuttavia, se da un lato esse insieme costituiscono come detto il Modello, dall'altro non c'è dubbio che il prodotto a valle dell'operazione di costruzione in cui i vari elementi digitali vengono ordinatamente montati nello spazio virtuale dal modellista non possa più essere considerato Modello virtuale (anche se nel linguaggio corrente lo definiamo tale) ma più appropriatamente Manufatto virtuale in quanto risultato di un'attività non dissimile da quella che si svolgerà successivamente in cantiere e che darà luogo al Manufatto reale. Nella sequenza che conduce a quest'ultimo, il Manufatto virtuale si pone dunque come passaggio/prodotto intermedio. Sebbene questo ragionamento dimostri, auspicabilmente, una sua coerenza sul piano logico, ciò nondimeno esso può apparire quasi specioso nel momento in cui si tenti di dargli un seguito nella pratica. La distinzione netta che esiste nel mondo reale tra le matrici progettuale ed esecutiva e il manufatto che da esse discende è infatti quanto meno sfumata a proposito dei manufatti virtuali. In altre parole, nella modellazione BIM (o di altra natura) che precede la realizzazione vera e propria, dove termina il Modello e dove inizia il Manufatto virtuale? Rispondere a questa domanda appare molto complicato per diverse ragioni. Innanzi tutto,

meaning when referred only to real artefacts, also takes on a similar meaning for virtual artefacts when related to their specific realisation phase. Going back to the Subject/Object/Model relationship associated with modelling, it is worth recalling how, before the advent of digital systems, it was restricted only to real artefacts, but could, however, be applied in the sense of a Design or Survey [Docci, Gaiani, Migliari 2001; Docci, Bianchini, Ippolito 2011; Bianchini 2014]. In the first case, the idea of the Designer, holographic and unitary, but above all, to a large extent, meaningless for other subjects, is gradually clarified; it initially reveals the design matrix (form, geometry, aggregation, language, etc.) and then the construction matrix corresponding to the ensemble of the elements needed to make it. The latter usually refers to the materials (graphics, texts, tables) that make up the final plans. In any event, the subsequent realisation phases are based on the construction matrix resulting from the analytical disassembly and cataloguing of the building elements coupled with their reassembling schema. The realisation phases thus include the sequence and hierarchy of the processes, the setting-up of the worksite, the supply of materials, etc. Emphasis should be placed on the fact that the realisation phase erases most of both matrixes on the Object and, due to the numerous variants that the construction process naturally introduces, also degrades a lot of the data that remains on the materials used to describe the Model (the matrixes). Mediated again by the Model, the process works very well even in the opposite direction, in other words as regards Survey. In this case, the starting point is obviously an Object that already exists, but which, in hindsight, is also a holograph ensemble (in the sense of the intentio operis proposed by Roca De Amicis)² [Roca De Amicis 2015], i.e., unitary and potentially meaningless given the aforementioned obliteration of the design and construction matrixes and the concurrent degradation of their original version which is sometimes inaccessible. So the only option available to the Subject is to try and piece together his own, new construction matrix and then proceed to establish a coherent design matrix³ which, when combined with the former, leads to the reconstruction of the overall idea of the design behind the artefact.

	Prospetto	Planta	Sezione	File
Tribunazione				
Capitolo				
Ordine dorico (misura in mm)				
Fuochi				
Base				
Edicola				

7/ Ricostruzione della piazza e della Basilica di San Pietro al momento dello spostamento dell'Obelisco Vaticano da parete di Domenico Fontana (1586). Vista della Loggia delle Benedizioni e degli edifici annessi (modello di Alessandro Aglietti).
Reconstruction of St. Peter's Square and Basilica when the Vatican Obelisk was moved to the side by Domenico Fontana (1586). View of the Loggia of the Blessing and annexes (model by Alessandro Aglietti).

As a simulation of the whole construction process, the BIM approach follows the entire chain I have concisely described regarding real artefacts, actually virtualising it [Scianna, Gaglio, La Guardia 2020, Attenni et al. 2022]. As regards the Project, this “shift to virtual” does not appear to introduce any particular novelty compared to the ‘classical’ design and construction matrixes. However, if on the one hand their combination creates, as aforementioned, the Model, on the other, there’s no doubt that the product – after construction during which the modeller assembles the various digital elements in an orderly manner in virtual space – can no longer be considered a virtual Model (even if we commonly use this definition), but more appropriately a virtual Artefact, i.e., an outcome of activities similar to those that will take place later on site and lead to the construction of the real Artefact. In the sequence that leads to the latter, the virtual Artefact is thus an intermediate step/product. Although I hope this reasoning reveals its coherence from a logical point of view, nevertheless it could appear to be almost specious if we tried to practically implement it. The clear-cut difference that exists in the real world between the design and construction matrixes and the artefact they produce is, at best, nuanced with regard to virtual artefacts. In other words, during the BIM (or other types of) modelling preceding real construction, where does the Model end and where does the virtual Artefact begin? Answering this question appears very complicated for several reasons. First and foremost, the stage, the actors and, so to speak, the action are all virtual: in fact, a modeller works in space and can seamlessly pass (and in fact passes) from the design, to the final plans, and then to construction. Obviously this is impossible in the real world.

As all good modellers know, placing a certain pillar, wall, or stairs in the virtual world may be the last step in the design matrix/construction matrix/virtual artefact sequence; however, the same operation can, on the contrary, be part of a phase in which, working directly on the artefact, the matrixes themselves are defined. If in the real world I cannot take a real pillar, wall, or staircase and make several attempts to discover its role in the project I am working on, on the contrary in the virtual world this is not



la scena, gli attori e per così dire l'azione sono tutti virtuali: un modellista infatti opera nello spazio potendo passare (e di fatto passando) indifferentemente dal piano progettuale a quello esecutivo, a quello costruttivo; possibilità che è evidentemente preclusa nel mondo reale. Come ogni modellista ben sa, collocare nel mondo virtuale un certo pilastro, muro o scala può rappresentare l'ultimo passaggio della sequenza matrice progettuale/matrice esecutiva/manufatto virtuale; ma la medesima operazione può all'opposto far parte della fase in cui, lavorando direttamente sul manufatto, sono le matrici stesse a essere definite. Se nel mondo reale non posso prendere un vero pilastro, muro o scala e per tentativi trovare il suo ruolo nel progetto che sto sviluppando, al contrario nel mondo virtuale questo non solo è possibile ma anzi fa parte del processo iterativo con cui si affronta la progettazione le cui fasi sono pertanto talmente intrecciate da essere spesso indistinguibili. Tuttavia, un po' come nella fisica quantistica l'effettuazione di una misura cristallizza lo stato di un sistema, nel nostro caso la fine della fase di modellazione di fatto cristallizza tutto il processo facendo emergere nello spazio virtuale un Manufatto al posto del Modello.

Riconoscere questa mutazione da Modello a Manufatto è a mio avviso propedeutica alla soluzione di un problema che, malgrado alcuni apprezzabili tentativi [Inzerillo et al. 2016; Quattrini, Pierdicca, Morbidoni 2017; Bianchini, Nicastro 2018], appare tuttora ampiamente irrisolto: valutare la qualità dei prodotti del modellare. Infatti un Manufatto, diversamente da un Modello (che a questo punto potremmo immaginare come una sorta di DNA dell'Oggetto) può essere sottoposto a verifiche che ne stabiliscano sia la coerenza rispetto al Modello da cui deriva sia la bontà della realizzazione. Proprio questa possibilità, ugualmente rilevante sia nel verso del Progetto che in quello del Rilievo, apre di fatto le porte allo sviluppo di criteri e strumenti per il controllo della qualità. Diviene in altre parole applicabile anche ai manufatti virtuali (che oggi ancora chiamiamo modelli) sia il criterio di coerenza con il progetto sia quello del realizzato a regola d'arte, entrambi validati da secoli di pratica.

Modelli inconfutabili e Manufatti affidabili
 Il quadro concettuale fin qui discusso ripropone nel mondo virtuale la dualità Modello/Manufatto a cui siamo abituati nel mondo reale, com-

8/ Ricostruzione della piazza e della Basilica di San Pietro al momento dello spostamento dell'Obelisco Vaticano da parete di Domenico Fontana (1586). Modelli a confronto: Assassin's Creed Brotherhood (a sinistra) e ipotesi basta su dati storici e stilistici accertati (modello di Alessandro Aglietti). *Reconstruction of St. Peter's Square and Basilica when the Vatican Obelisk was moved to the side by Domenico Fontana (1586). Comparison of models: Assassin's Creed Brotherhood (left) and a hypothesis based on ascertained historical and stylistic data (model by Alessandro Aglietti).*

prese le non trascurabili differenze a seconda che si debba modellare nel verso del Progetto o in quello del Rilievo. Esso inoltre rende abbastanza chiaro il motivo per cui il BIM funziona meglio nel primo caso e peggio nel secondo.

Almeno in linea di principio, infatti, nel verso Modello/Manufatto virtuale/Manufatto Reale le informazioni sia sui vari elementi che sul loro assemblaggio sono largamente note in anticipo essendo quasi completamente ricomprese nel dominio di *authoring* del modellista [Attenni et al. 2022].

L'elevata corrispondenza tra il Manufatto virtuale e quello reale consente inoltre di risolvere incoerenze e interferenze direttamente sul primo riducendo significativamente l'impatto sul cantiere. Proprio questa riconosciuta proprietà produce per l'AEC Industry i vantaggi più evidenti in termini di efficienza e riduzione dei costi [Lopez et al. 2018; Yang et al. 2020]. A differenza di quelli nuovi, gli oggetti esistenti, data la sostanziale obliterazione delle matrici già discussa in precedenza, mantengono invece nascoste la maggior parte delle informazioni sulla loro natura interna, struttura e consistenza rendendo molto più difficile la lettura/ricostruzione del manufatto da parte del modellista.

Infatti, isolare un certo elemento dall'aggregato generale corrisponde da un lato a interpretarne la matrice esecutiva che ne ha guidato la costruzione e dall'altro, salendo per così dire di livello, anche a comprendere il suo ruolo nel quadro del progetto complessivo (matrice progettuale).

Quest'ultima considerazione pone un'ulteriore questione circa la matrice progettuale di oggetti esistenti: il modellista deve mirare a costruire un manufatto virtuale che davvero mostri la sua ipotesi interpretativa oppure limitarsi a riprodurre l'oggetto *as is*?

Sul piano teorico, dato che qualunque manufatto virtuale viene realizzato sulla base di scelte e letture soggettive del modellista, è semplicemente inconsistente pensare che questo assunto non valga, ad esempio, quando si ricostruiscono forme e geometrie interpolando i punti di una nuvola 3D.

Sul piano operativo, tuttavia, la situazione è molto più sfumata: se da un lato la seconda opzione è di gran lunga più agevole (e dunque prevalente specie in ambito professionale) in quanto consente al modellista di semplificare la matrice progettuale tanto da farla coincidere con la corrispondenza geometrica puntuale rispetto all'oggetto, dall'altro essa dimostra in ogni caso un'effettiva utilità in quanto fornisce una fotografia aderente allo stato di fatto [Scianna, Gaglio, La Guardia 2020, Attenni et al. 2022]. Ciò nondimeno, il contenuto informativo di una matrice progettuale così basilica non supporta nessuna visione "profonda" circa il DNA dell'oggetto come al contrario sono in grado di fare ipotesi di assi, griglie, fasi, etc. [Bianchini et al. 2020a]. Quale approccio è dunque quello corretto? Il primo che semplicemente non è interessato al processo che ha condotto alla realizzazione ma solo al suo esito (l'oggetto) che mira a riprodurre il più fedelmente possibile o

only possible, but is in fact part of the iterative process with which one tackles design; its phases are therefore so interwoven they often appear indistinguishable.

However, a little like quantum physics when taking a measurement crystallises the state of a system, in our case the end of the modelling phase effectively crystallises the whole process, letting an Artefact emerge in virtual space in lieu of the Model.

In my opinion, acknowledging this mutation from Model to Artefact paves the way for a solution to the problem which, despite several appreciable attempts [Inzerillo et al. 2016; Quattrini, Pierdicca, Morbidoni 2017; Bianchini, Nicastro 2018], still appears to be largely unsolved: the assessment of the quality of the products of modelling. In fact, unlike a Model (which at this point we could imagine as a sort of DNA of the Object), an Artefact can be subjected to tests that establish not only its coherence vis-à-vis the Model that led to its construction, but also how well it was built. This possibility, equally important as regards Design and Survey, effectively 'opens the door' to the drafting of criteria and tools to control its quality. In other words, the criteria of coherence with the project and the criteria of building to the rule of art – both validated by centuries of practice – can also be applied to virtual artefacts (which we still currently call models).

Incontrovertible Models and reliable Artefacts

The conceptual framework discussed so far again proposes, in the virtual world, the Model/Artefact duality we are accustomed to in the real world, including any non-negligible differences, depending on whether we have to model as regards Design or Survey. It also provides a fairly obvious reason why BIM functions better in the former case and worse in the latter.

In fact, at least in principle, as regards the Model/Virtual Artefact/Real Artefact workflow, the information about the various elements and their assembly are well known beforehand since they are fully included in the modeller's authoring domain [Attenni et al. 2022]. The elevated correspondence between the virtual Artefact and the real Artefact allows us to solve incoherencies and interferences directly



9/ Ricostruzione della piazza e della Basilica di San Pietro al momento dello spostamento dell'Obelisco Vaticano da parete di Domenico Fontana (1586). Schede informative relative a porzioni del complesso: a sinistra, la basilica in costruzione; al centro: la piazza e gli edifici esistenti; a destra: le opere finalizzate al collocamento dell'Obelisco (elaborazione di Alessandro Aglietti).

Reconstruction of St. Peter's Square and Basilica when the Vatican Obelisk was moved to the side by Domenico Fontana (1586). Technical data sheets of parts of the complex: left,

the basilica under construction; centre, the square and existing buildings; right, the works finalised for the placing of the Obelisk (by Alessandro Aglietti).



on the former, thus significantly reducing its impact when applied on the worksite. This acknowledged property is visibly advantageous for the AEC Industry in terms of efficiency and cost reduction [Lopez et al. 2018; Yang et al. 2020]. Unlike new objects, existing ones – given the significant obliteration of the aforementioned matrixes – conceal most of the data regarding their internal nature, structure and substance, making it much more difficult for the modeller to interpret/reconstruct the artefact. In fact, isolating a certain element from the general aggregate corresponds, on the one hand, to interpreting the construction matrix governing its making and, on the other, moving up a level, so to speak, understanding its role in the framework of the overall project (design matrix). This consideration raises another question regarding the design matrix of existing objects: must the modeller either try to create

il secondo che, al contrario, si concentra principalmente sul processo e meno sul risultato con l'obiettivo di illuminare il senso, le regole e la sequenza della costruzione?

Dal momento che entrambi gli approcci sono allo stesso tempo giusti e sbagliati si tratta evidentemente di un'aporìa che può in qualche modo essere superata solo prendendone atto; mutuando termini conati in ambito informatico [Steggmans et al. 2004], abbiamo pertanto chiamato *Black Box* il caso in cui sia l'esito a contare e non il processo, *White Box* il caso contrario e infine, visto che come detto la matrice progettuale per gli oggetti esistenti di fatto abbraccia entrambi, *Grey Box* la mediazione che ogni modellista si trova comunque a dover definire [Attenni et al. 2022]⁴.

In ogni caso, credo non sfugga a nessuno quanto stabilire la valenza contemporaneamente semantica e sintattica dei vari elementi sia preliminare

e propedeutico rispetto alla fase di modellazione vera e propria, e quanto questo dipenda dalla capacità di lettura, interpretazione e riscrittura del modellista che spesso si trova a dover ricreare piuttosto che ricostruire. In questo quadro, il modellista assume a tutti gli effetti il ruolo di autore ovvero di soggetto che autonomamente crea il suo Modello con cui poi costruisce il suo Manufatto virtuale [Fallavolita et al. 2015].

Visto sotto questa angolazione, l'intero processo risulta, in quanto soggettivo, a tutti gli effetti inconfutabile nei termini enunciati da Karl Popper [Popper 1963] sottraendolo di fatto a quel controllo di qualità che sarebbe se non necessario almeno auspicabile. Tuttavia, se come proposto nelle righe precedenti il Modello viene considerato distinto rispetto al Manufatto, per quest'ultimo appare possibile definire criteri che aiutino a valutarne la qualità.

In forma forse meno organica di quanto faccia

10/ Ricostruzione della piazza e della Basilica di San Pietro al momento dello spostamento dell'Obelisco Vaticano da parete di Domenico Fontana (1586).
Mappa sintetica delle affidabilità del modello (elaborazione di Alessandro Aglietti).
Reconstruction of St. Peter's Square and Basilica when the Vatican Obelisk was moved to the side by Domenico Fontana (1586). Concise map of the reliability levels of the models (by Alessandro Aglietti).

ora, ho comunque affrontato (insieme ad altri) questo tema in diverse occasioni sia a proposito dei modelli HBIM sia in relazione alla modellazione finalizzata all'anastilosi, facendo leva in entrambe le situazioni sul concetto di affidabilità dei modelli. Pur mantenendo quell'impostazione concettuale, mi sembra oggi necessario aggiornare la notazione di allora sostituendo modelli con manufatti virtuali e tentare di applicare a essi i criteri di qualità già individuati: coerenza rispetto al progetto e realizzazione secondo la regola dell'arte. Entrambi questi parametri ricadono nell'ambito della metamodellazione poiché non immediatamente emergenti semplicemente visualizzando il manufatto. Il primo implica non solo l'esistenza del Modello (costituito dalle soggiacenti matrici esecutiva e progettuale) ma anche che esso diventi una *Grey Box* il più possibile tendente al bianco, ovvero sia stato reso manifesto e accessibile dal modellista assieme all'insieme dei dati e delle informazioni da cui esso deriva, funzione che purtroppo è quasi sempre indisponibile. A titolo esemplificativo, sempre ragionando di un oggetto esistente, possono appartenere al dataset informativo sia rilievi, analisi metriche e geometriche, documentazioni fotografiche, rapporti, studi storici ma anche appunti di viaggio, vedute, incisioni, affreschi e addirittura suggestioni o impressioni ricavate nel corso di un sopralluogo. È dunque attingendo a questo variegato database che il modellista opererà la sua sintesi con-

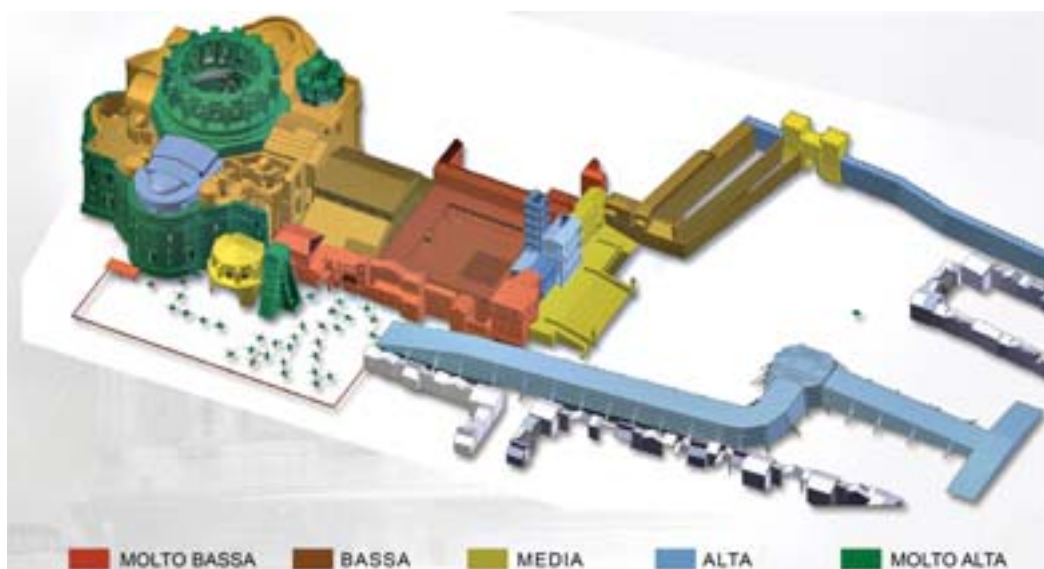
cettuale generando, infine, i vari oggetti digitali 3D che comporranno l'ipotesi ricostruttiva. Coesisteranno nel manufatto virtuale elementi evidentemente caratterizzati da livelli diversi di "affidabilità": da quelli più sicuri in quanto magari misurati e riccamente documentati ad altri invece del tutto ipotetici poiché ricreati sulla base di considerazioni interamente soggettive. Una possibile strategia per sottrarre questo problema alla sfera dell'arbitrio contempla due azioni principali: da un lato mettere analiticamente a punto una griglia condivisa che standardizzi la tipologia e possibilmente il numero dei parametri fondamentali di valutazione [Inzerillo et al. 2016; Brusaporci, Maiezza, Tata 2018; Bianchini, Nicastro 2018]; dall'altro, invece, stabilire un sistema che tenendo conto dei vari parametri in forma aggregata produca una descrizione sintetica dell'affidabilità del manufatto.

Sperimentazioni

Va in questa direzione la proposta dell'adozione del *Level of Reliability* (LOR) per i modelli HBIM [Bianchini, Nicastro 2018; Bianchini, Potestà 2018]. Questo parametro intende in qualche modo complementare il LOD, il LoD e il LOF esprimendo il livello di coerenza globale del processo che definisce ogni oggetto digitale utilizzato nel manufatto virtuale. Per ragioni di praticità, esso assume al momento la forma di un punteggio numerico (da 1 a 10 nella nostra versione) deri-

a virtual artefact that truly demonstrates his interpretative hypothesis or else should he reproduce the object as is?

Theoretically, given that any virtual artefact is created based on the modeller's subjective choices and interpretations, it is simply unfounded to think that this assumption is invalid, for example, when forms and geometries are reconstructed by interpolating the points of a 3D cloud. Operationally speaking, however, the situation is much more nuanced: if, on the one hand, the second option is by far easier (and therefore prevalent, especially amongst professionals) insofar as it allows the modeller to simplify the design matrix, so much so that he simply pursues the accurate geometric correspondence between the captured data and the virtual artefact, on the other it nonetheless demonstrates its importance as it provides a snapshot of the status quo [Scianna, Gaglio, La Guardia 2020, Attenni et al. 2022]. Nevertheless, the informative content of such a basic design matrix does not support a 'profound' vision of the DNA of the object, something which, on the contrary, can be provided by hypotheses of axes, grids, phases, etc. [Bianchini et al. 2020a]. So, which is the right approach? The former, which is simply not interested in the realisation process but only in its outcome, the object, which it aims to reproduce as faithfully as possible – or the latter approach which, on the contrary, focuses chiefly on the process and less on the result, given that its goal is to shed light on the meaning, rules, and sequence of the construction? Since these approaches are both correct and incorrect, we are obviously talking about an aporia that can somehow be overcome by acknowledging it. Borrowing terms from the world of computers [Steegmans et al. 2004], we have given the name Black Box to the case when the result is important and not the process, and White Box to the other case. Finally, given that, as mentioned earlier, the design matrix for existing objects effectively embraces both, we have used the term Grey Box for the mediation every modeller has to nevertheless apply [Attenni et al. 2022].⁴ In any event, I believe that everyone understands to what extent establishing the simultaneously semantic and syntactic importance of the various elements is a preliminary and preparatory act compared to the real modelling phases, and just



11/ Ricostruzione dell'antica città di Ninfa. Vista zenitale texturizzata (elaborazione di Andrea Gallo e Stefano Giubilei).

Reconstruction of the ancient city of Ninfa. Texturised zenithal view (by Andrea Gallo and Stefano Giubilei).



how much this depends on the modeller's ability to read, interpret and rewrite, since he often finds himself recreating rather than rebuilding. With this in mind, the modeller assumes, to all intents and purposes, the role of an author, in other words of a subject who independently creates his Model with which he then fashions his virtual Artefact [Fallavolita et al. 2015].

When considered in this light, the whole process – which is subjective – appears in practice to be incontrovertible according to the terms set out by Karl Popper [Popper 1963], de facto removing it from a quality control that would be, if not necessary, desirable. However, if the Model is considered separately from the Artefact (as proposed earlier), it would appear possible to define criteria that help to assess the latter's quality.

In a manner perhaps less organised than in the past, I have (together with others) tackled this issue on several occasions, both as regards HBIM models, and in relation to modelling performed to achieve anastylosis; in both situations I leveraged the concept of the reliability of models. Albeit maintaining the same conceptual approach, I feel that it is now necessary to update the notation I adopted at that time, replacing models with virtual artefacts and trying to apply the already identified criteria of quality: coherence compared to the design and realisation according to the book.

Both these parameters are part of metamodelling since they are not immediately visible by simply

vante da una griglia che prende in esame diversi fattori ponderati in base alla loro influenza specifica e in relazione al manufatto di cui fanno parte. Pertanto, il LOR si presta per valutare il singolo elemento, un'aggregazione di oggetti e anche un intero modello HBIM.

La codifica del LOR tiene conto dell'affidabilità geometrica degli oggetti digitali tanto quanto la loro corrispondenza ontologica con l'elemento reale che intendono descrivere.

In questa versione assolutamente preliminare, ma che è stata sperimentata ad esempio sull'Edificio di Botanica della Città Universitaria di Roma di Capponi (figg. 1, 2, 3), la misura dell'affidabilità del manufatto virtuale è stata quantificata sulla base di fattori quali:

- l'approssimazione della forma geometrica degli elementi in funzione della loro parametrizzazione;
 - l'identificazione di regole geometriche e compositive;
 - la disponibilità, qualità e affidabilità delle fonti di archivio;
 - dati riferiti alle fasi evolutive dell'oggetto;
 - tecniche di costruzione e materiali utilizzati;
 - indagini aggiuntive (ad esempio stratigrafie, conformazione di elementi architettonici o strutturali, etc.);
 - identificazione, per analogia con edifici coevi o simili, di tecnologie o materiali di costruzione;
 - valutazione dello stato di conservazione dei materiali, a livello superficiale e strutturale.
- Come è possibile notare, i parametri insistono sia sulla matrice progettuale che su quella esecutiva.

In questo quadro, è abbastanza evidente come la mappa dei livelli di affidabilità possa essere diretta espressione sintetica del LOR in ambiente HBIM e nella figura 3 è possibile apprezzare il risultato ottenuto a proposito dell'Edificio di Botanica dove sono stati indicati con colori diversi i singoli elementi raggruppati per punteggio in tre categorie Bassa, Media e Alta Affidabilità. Nel quadro di una valutazione di qualità, come detto, oltre a esprimere in qualche modo l'affidabilità del manufatto bisogna anche corredarlo della matrice esecutiva e di quella progettuale. In ambiente BIM la prima si presenta direttamente tra i metadati in quanto automaticamente incorporata nel file come elenco, organizzazione e gerarchia dei vari oggetti digitali.

La matrice progettuale, appartenente invece al dominio autorale del Modellista, ha bisogno al contrario di essere specificamente esplicitata ad esempio aggiungendo al file stesso informazioni circa la geometria di base (griglie, assi, linee di riferimento, costruzioni, etc.; fig. 1) e corredando il manufatto virtuale rilasciato con qualcosa che assomigli a una "relazione tecnico-descrittiva" che illustri le specifiche adottate.

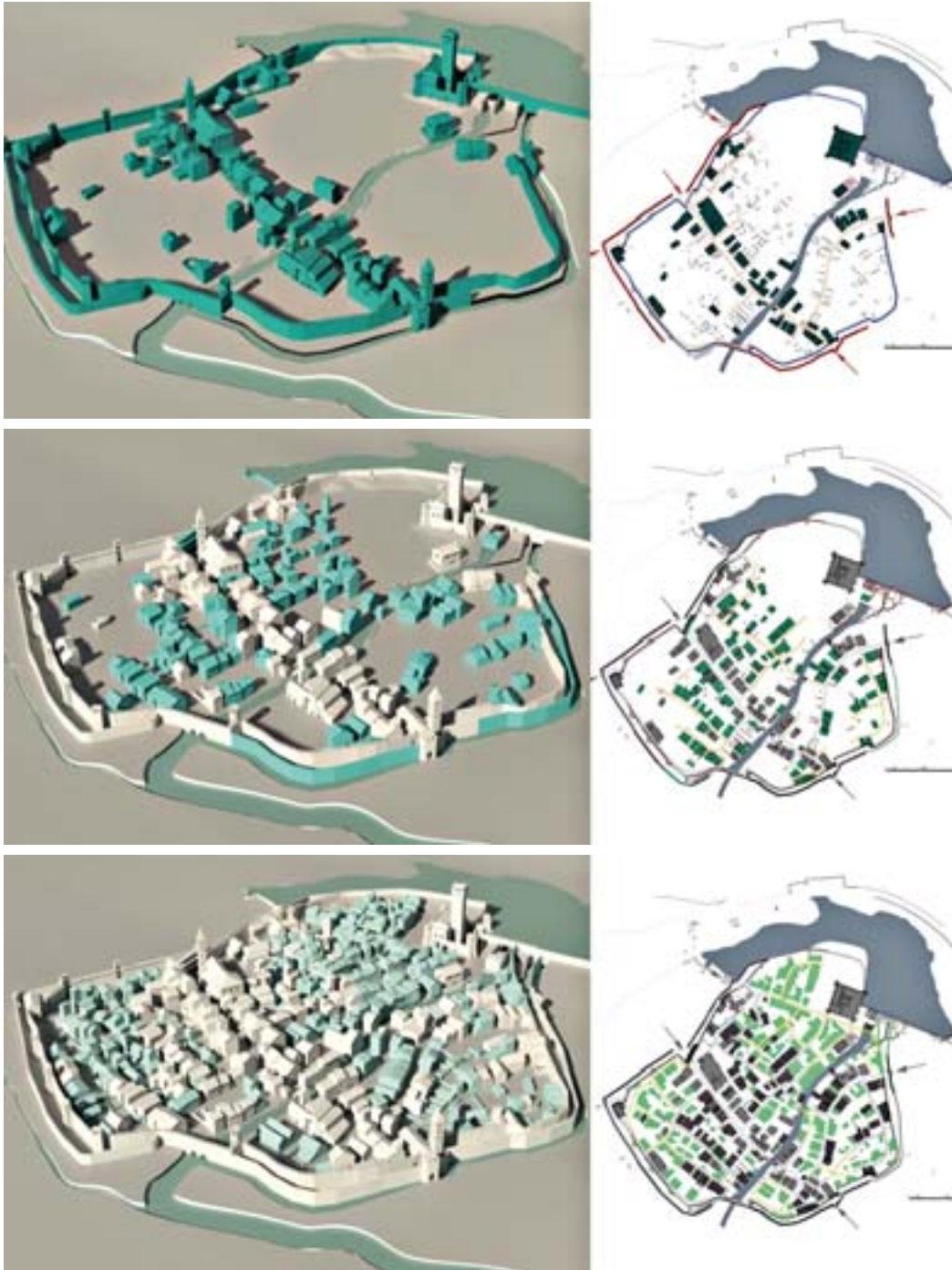
Inoltre il manufatto unitamente a questa documentazione aggiuntiva che di fatto qualifica il lavoro del modellista dovrebbe essere sottoposta alla valutazione di un collaudatore che ne verifichi la corrispondenza rispetto alla regola dell'arte.

Se si accetta il parallelismo tra manufatti reali e virtuali, queste considerazioni non dovrebbero stupire: non si capisce perché, infatti, le consolidate procedure di valutazione ex-ante ed ex-post dei primi non dovrebbero essere valide anche per i secondi, seppure con i dovuti aggiustamenti. In altre parole, ogni manufatto virtuale dovrebbe poter essere collaudato sulla base del manufatto vs. le matrici esecutiva e progettuale rilasciate dal Modellista. Alcune prime, estensive sperimentazioni stanno dimostrando da un lato la validità dell'approccio, dall'altra la distanza ancora esistente tra questi obiettivi di qualità e le realtà professionali del settore e della committenza pubblica e privata⁶.

I manufatti virtuali non appartengono al solo mondo BIM. Essi pervadono molti campi diversi [Cantrell, Michaels 2010; Glaessgen, Stargel 2012] che a volte non hanno diretta relazione con l'AEC Industry ma piuttosto con le Industrie Culturali e Creative (ICC) per fini di comunicazione o divulgazione. Spiccano a mio avviso in questo ambito i numerosissimi progetti di anastilosi virtuale sviluppati nell'ambito generale del Patrimonio Culturale per finalità prettamente scientifiche come pure di *gaming, edutainment*, divulgazione [Borghini, Carlini 2011; Viscogliosi 2015].

In questo ambito vorrei qui proporre tre casi che mi hanno visto direttamente coinvolto nell'ultimo ventennio e che, senza dimostrare interamente il rigore richiesto dai parametri di qualità discussi nel paragrafo precedente, ciò nondimeno sono con essi coerenti e hanno svolto il ruolo di precursori rispetto al quadro concettuale qui presentato.

12/ Ricostruzione dell'antica città di Ninfa.
 Mappe dei livelli di affidabilità; le diverse gradazioni
 di verde, dal più scuro al più chiaro, indicano le zone
 ad alta, media, bassa affidabilità
 (elaborazione di Andrea Gallo e Stefano Giubilei).
*Reconstruction of the ancient city of Ninfa. Maps of the levels
 of reliability; the different shades of green, from the darker
 to the lighter, indicate the areas of high, medium and low
 reliability (by Andrea Gallo and Stefano Giubilei).*



visualising the artefact. The former implies not only the existence of the Model (made up of the underlying construction and design matrixes), but also the fact it is a Grey Box, possibly veering robustly 'towards white'. In other words, the Model must be made manifest and accessible by the modeller together with the set of data and information that created it – a function which unfortunately is nearly always unavailable. I will give you an example. Let's take an existing object; the informative dataset can include surveys, metric and geometric analyses, photographic documentation, reports, historical studies, but also travel notes, views, etchings, frescoes, and even suggestions or impressions jotted down during a visit. By exploiting this varied database the modeller can achieve his conceptual synthesis and, finally, generate the 3D objects that will make up his reconstructive hypothesis. Elements characterised by different levels of 'reliability' will coexist in the virtual artefact: from the more reliable, insofar as they have perhaps been measured and extensively documented, and others that are completely hypothetical because they have been recreated based on completely subjective considerations.

One possible strategy to stop this problem from being arbitrary involves two main actions: on the one hand, the analytical development of a shared grid that standardises the typology and, possibly, the number of fundamental assessment parameters [Inzerillo et al. 2016; Brusaporci, Maiezza, Tata 2018; Bianchini, Nicastro 2018]; on the other, instead, the establishment of a system which, by taking into consideration the parameters in an aggregated form, produces a concise description of the reliability of the artefact.

Experiments

The proposal to adopt the Level of Reliability (LOR) for HBIM models [Bianchini, Nicastro 2018; Bianchini, Potestà 2018] goes in this direction.

This parameter is intended to somehow complement the LOD, the LoD, and the LOI,⁵ expressing the level of global coherence of the process that defines every digital object used in the virtual artefact. For practical reasons, it currently takes the form of a numerical score (from 1 to 10 in our version) generated by a grid that considers several factors weighted according to their specific

Il primo progetto riguarda la replica virtuale del progetto di Antonio da Sangallo il Giovane per il nuovo San Pietro⁷ (figg. 4, 5, 6). Guardando a quell'esperienza con gli occhi di oggi è possibile rintracciarvi la presenza sia della

matrice progettuale che di quella esecutiva. Non tuttavia in un documento specifico allegato al manufatto virtuale, quanto piuttosto negli articoli scientifici che hanno descritto, anche su questa stessa rivista, i contorni teorici

13/ Ricostruzione dell'antica città di Ninfa.
 Mappa sintetica dei livelli di affidabilità; le diverse gradazioni di verde, dal più scuro al più chiaro, indicano le zone ad alta, media, bassa affidabilità (elaborazione di Andrea Gallo e Stefano Giubilei).
Reconstruction of the ancient city of Ninfa. Concise map of the levels of reliability; the different shades of green, from the darker to the lighter, indicate the areas of high, medium and low reliability (by Andrea Gallo and Stefano Giubilei).

14/ Ricostruzione dell'antica città di Ninfa.
 Vista a volo d'uccello texturizzata (elaborazione di Andrea Gallo e Stefano Giubilei).
Reconstruction of the ancient city of Ninfa. Texturised bird's-eye view (by Andrea Gallo and Stefano Giubilei).

influence and in relation to the artefact they are part of. Therefore, the LOR can be used to assess a single element, an aggregation of objects, but also an entire HBIM model.

Codification of the LOR takes into account the geometric reliability of the digital objects as well as their ontological correspondence with the real element they intend to describe.

In this absolutely preliminary version which, however, has been tested, for example, on the Faculty of Botany of Sapienza, located in the Città Universitaria in Rome and designed by Capponi (figs. 1, 2, 3), the degree of reliability of the virtual artefact was quantified based on the following factors:

- approximation of the geometric form of the elements based on their parameterisation;
- identification of the geometric and compositional rules;
- availability, quality, and reliability of the archival sources;
- data regarding the evolutionary phases of the object;
- building techniques and materials used;
- additional research (e.g., stratigraphies, conformation of the architectural or structural elements, etc.);
- identification of technologies or building materials due to similarity with contemporary or similar buildings;
- assessment of the state of conservation of the materials, at superficial and structural level.

As you can see, the parameters focus on the design matrix and the construction matrix. Given the above, it is fairly obvious that the map of the levels of reliability can be a direct, concise expression of the LOR in a HBIM environment. The result obtained for the Faculty of Botany is visible in figure 3 where we have used different colours to indicate the individual elements that have been grouped, according to their score, into three categories, Low, Medium and High Reliability.

As mentioned earlier, when assessing quality we must somehow express the reliability of the artefact, but also accompany it with the construction and design matrixes. In a BIM environment the former is directly present as part of the metadata since it is automatically incorporated in the file as a list, organisation, and hierarchy of the digital objects. On the contrary,



dell'operazione e i procedimenti con si è proceduto nella realizzazione della replica digitale [Bianchini 2007; Docci et al. 2007; Benedetti 2009; Bianchini, Ippolito, Senatore 2019]. Tra i primi vale la pena ricordare la dichiarata intenzione di fornire la nostra ricostruzione del progetto di Sangallo piuttosto che del suo modello ligneo il quale, in ogni caso, è stato identificato come sorgente primaria per la modellazione. Scelte esplicite che, evidentemente, andavano già nella direzione di rendere trasparente la matrice progettuale adottata. Quanto ai contorni della matrice esecutiva, funzionale alla costruzione degli elementi digitali, essa appare quasi perfettamente coerente con il quadro concettuale proposto come dimostrano gli schemi bidimensionali che, come un vero e proprio esecutivo, mostrano sia la lista dei vari elementi, sia le loro qualità

metriche e geometriche sia, infine, lo schema con cui dovranno essere assemblati.

I due esempi più recenti hanno invece indagato più a fondo casi in cui, diversamente da quello del Sangallo, la sorgente dei dati fosse non univoca e soprattutto disomogenea quanto ai livelli d'informazione.

Il secondo progetto ha riguardato la ricostruzione del complesso comprendente la Basilica di San Pietro e la piazza antistante alla vigilia dello spostamento dell'Obelisco Vaticano da parte di Domenico Fontana⁸ (figg. 7, 8, 9, 10) [Bianchini, Viscogliosi, Aglietti 2017]. In questo caso il problema più rilevante è consistito nella definizione della matrice progettuale. Una sfida particolarmente complessa che ha richiesto la raccolta, classificazione e interpretazione di una notevole quantità di dati eterogenei nonché la soluzione "creativa"

15/ Ricostruzione dell'antica città di Ninfa. Vista del lago e del castello (elaborazione di Andrea Gallo e Stefano Giubilei).

Reconstruction of the ancient city of Ninfa. View of the lake and castle (by Andrea Gallo and Stefano Giubilei).

di numerose questioni, spesso quasi in assenza di tracce documentarie. Nel corso del lavoro, tuttavia, è emersa l'inaspettata esigenza (scientifica) di presentare in una qualche forma "oggettiva" la qualità del manufatto virtuale che si stava costruendo. Stimolo per questa ulteriore riflessione è stato il confronto con una ricostruzione, ben più di successo, del medesimo luogo nel medesimo tempo: quella di *Assassins' Creed Brotherhood*, fortunatissimo videogame prodotto dalla Ubisoft. La domanda era tutto sommato semplice: come si poteva stabilire quale delle due ricostruzioni fosse la migliore? La questione, impossibile da risolvere se non nel campo della metamodellazione, ci ha portato a delineare una prima idea di affidabilità correlata alla trasparenza delle sorgenti di dati utilizzate e ai criteri ricostruttivi adottati. Il condensato di questi parametri è infine stato presentato in una mappa in cui le varie parti sono identificate per mezzo di colori a seconda del loro minore o maggiore punteggio.

L'ultimo progetto riguarda l'antica città di Ninfa⁹ (figg. 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17) [Bianchini et al. 2020b]. Sebbene oggi faccia solo da sfondo al famosissimo Giardino, l'insediamento medievale originario rappresentava uno dei centri urbani più importanti della zona pontina e per questo meritevole di indagine nel quadro della storia dell'architettura e della città.

Mentre limitate porzioni dell'abitato sono risultate più facilmente ricostruibili grazie alla consistente presenza di fonti storiche e resti ben visibili delle strutture murarie (le chiese, il castello, la cinta muraria esterna e interna, le numerose case lungo il corso), la maggior parte dell'abitato versava in cattivo stato di conservazione quando non addirittura del tutto obliterato.

Nonostante gli sforzi, quindi, molte sono rimaste le porzioni dell'impianto urbano non sufficientemente definite anche perché le strutture vegetali del giardino spesso celavano una non trascurabile quantità di resti murari affioranti dal terreno. Completare l'antico tessuto urbano ha dunque comportato prendere atto di tutti questi limiti oggettivi e conseguentemente l'accettazione del principio che all'aumentare della soggettività delle ipotesi ricostruttive diminuisce la loro affidabilità generale.

Secondo questo approccio si sono individuati i nodi irrisolti più significativi dell'organismo (la piazza del mercato, la piazza d'armi, la diga e le strutture necessarie allo sfruttamento delle acque) e colmati i relativi vuoti comparandoli con impianti urbani analoghi.

Tali operazioni hanno consentito di completare i percorsi di collegamento e di restituire una densità urbana credibile e coerente con le analisi svolte e i dati disponibili.

Messa così a punto l'intera volumetria dell'abitato, il passo successivo è consistito nel ri-

the design matrix, which instead belongs to the Modeller's authorial domain, has to be specifically made explicit, for example by adding information about the basic geometry to the file (grids, axes, reference lines, buildings, etc.; fig. 1) and equipping the virtual artefact with something that looks like a 'technical-descriptive report' illustrating the specifics that have been adopted. Furthermore, the artefact, together with this additional documentation that effectively qualifies the modeller's work, should be subjected to the assessment of a tester/inspector who will verify correspondence vis-à-vis the rule of art.

If we accept the parallelism between the real and virtual artefacts, these considerations should not surprise us: in fact, why shouldn't the consolidated procedures of assessment ex ante and ex post of the former not be also valid for the latter, albeit with the necessary adjustments? In other words, we should be able to test every virtual artefact based on the real artefact against the construction and design matrixes provided by the Modeller. Several initial extensive experiments are currently demonstrating, on the one hand, the validity of the approach and, on the other, the distance that still exists between these quality objectives and the professional realities of the sector and public and private clientele.⁶

Virtual artefacts do not belong only to the BIM world. They are present in many different fields [Cantrell, Michaels 2010; Glaessgen, Stargel 2012] which are sometimes not directly related to the AEC Industry, but more to Cultural and Creative Industries (CCI) that use them for communication or dissemination purposes. I refer, in particular, to the many virtual anastylosis projects developed in the general field of Cultural Heritage for strictly scientific purposes, but also for gaming, edutainment and dissemination [Borghini, Cariani 2011; Viscogliosi 2015]. I would like to propose three cases in which I was directly involved in the last twenty years, cases which, without completely demonstrating the strictness required by the quality parameters discussed in the previous paragraph, are nevertheless in line with them and have played a pioneering role compared to the conceptual framework presented here. The first project involved the virtual replica of the design by Antonio da Sangallo the



16/ Ricostruzione dell'antica città di Ninfa.
 Vista della chiesa di Santa Maria Maggiore e delle mura
 (elaborazione di Andrea Gallo e Stefano Giubilei).
Reconstruction of the ancient city of Ninfa.
View of the Church of St. Mary Major and the walls.
 (by Andrea Gallo and Stefano Giubilei).

Younger for the new Saint Peter's⁷ (figs. 4, 5, 6). Reviewing that experience in hindsight it is possible to pinpoint the presence of both the design matrix and the construction matrix which were not present in a specific document attached to the virtual artefact, but instead in scientific articles (including in this journal) that have described the theoretical boundaries of the operation and the procedures used to create the digital replica [Bianchini 2007; Docci et al. 2007; Benedetti 2009; Bianchini, Ippolito, Senatore 2019]. Amongst the first boundaries, it's worth mentioning the stated intent to provide our reconstruction of Sangallo's design rather than replicating his wooden model which, in any event, was identified as the primary source for the modelling. An explicit choice that obviously already went in the direction of revealing the design matrix that was adopted. As regards the contours of the construction matrix, functional to the actual making of the digital elements, said matrix appears to be almost perfectly in line with the proposed conceptual framework; this is demonstrated by the two-dimensional diagrams which, like a real construction matrix, reveal both the list of the various elements, their metric and geometric quality, and the schema with which they have to be assembled.

Instead the two more recent examples involved in-depth studies of cases in which, unlike Sangallo's project, the source of the data was not univocal and, above all, was inhomogeneous as concerns the levels of information.

The second project involved the reconstruction of the St. Peter's Basilica and the square in front, just as it was 'the day before' the erection of the Vatican Obelisk by Domenico Fontana⁸ (figs. 7, 8, 9, 10) [Bianchini, Viscogliosi, Aglietti 2017]. In this case, the most important problem was the definition of the design matrix. It was a particularly complex challenge that required not only collecting, classifying, and interpreting a huge amount of heterogeneous data, but also finding a 'creative' solution to numerous issues, often with almost no documentary data. During the study we were faced with an unexpected (scientific) need to present, in some 'objective' form, the quality of the virtual artefact we were creating. We were stimulated in our considerations by a comparison with a much more fortunate reconstruction in the same place

costituire il volto degli antichi edifici di Ninfa, ovvero nell'ipotizzare quale potesse essere l'immagine dei singoli manufatti e della città nel suo complesso. Essenziale è stato da questo punto di vista lo studio delle murature e degli intonaci condotto sui resti visibili direttamente sul posto. Dai numerosi sopralluoghi sono infatti emersi diversi elementi circa il trattamento superficiale degli edifici: nell'antica Ninfa, di fatto, l'uso dell'intonaco non era limitato alla sola protezione del paramento murario ma aveva anche un'importante funzione decorativa, enfatizzata da tinte vivaci e ricercate. Contrariamente alla comune idea che si ha delle città medievali, che vede gli edifici spogliati degli intonaci e privi degli apparati decorativi, le piazze, gli edifici e i luoghi di culto si presentavano con caratteri cromatici molto vari e distintivi come attestato da varie fonti storiografiche e dai numerosi studi sull'iconografia medievale che, concordemente, ci restituiscono una città variamente ed eterogeneamente "colorata". Paradigma tra i numerosi esempi nell'arte pittorica medievale a sostegno di quest'affermazione è certamente *L'allegoria degli effetti del buon governo* di Ambrogio Lorenzetti in cui vediamo ritratto un brano ampiamente policromo di città medievale. Ebbene, per quegli edifici per i quali non è stato possibile rinvenire tracce delle finiture

originali, abbiamo pertanto scelto di rifarci alle cromie proprio di questo affresco attribuendo in forma del tutto soggettiva i vari colori e tipi di finitura agli edifici della nostra nuova antica città di Ninfa.

Anche questo manufatto virtuale è stato corredato di elementi finalizzati a rendere trasparente il modello ricostruttivo: da un lato il processo è stato descritto in pubblicazioni scientifiche, dall'altro ancora una volta sono stati proposti grafici di sintesi che mostrassero i diversi livelli di affidabilità.

In conclusione, se dunque possiamo trovare nel campo delle metamodellazione utili strumenti teorici e operativi per rendere i processi di modellazione più trasparenti e affidabili, ciò nondimeno essi appaiono ancora piuttosto lontani dall'assumere quel carattere di elevata espressione intellettuale che ne costituisce l'ingrediente fondamentale. Troppo spesso infatti molti progetti, magari anche ben impostati, naufragano perché il manufatto virtuale viene realizzato da maestranze non adeguate allo scopo. Anche il tentativo che sta avvenendo per il BIM mediante la definizione di operatori con diversi livelli di specializzazione e responsabilità, appare troppo spesso inadeguata in quanto troppo concentrata sugli aspetti tecnici e poco o nulla su quelli concettuali.



17/ Ricostruzione dell'antica città di Ninfa.
Vista della chiesa di Santa Maria Maggiore e delle mura
(elaborazione di Andrea Gallo e Stefano Giubilei).
Reconstruction of the ancient city of Ninfa.
View of the Church of St. Mary Major and the walls.
(by Andrea Gallo and Stefano Giubilei).



Ecco dunque un obiettivo di medio periodo: mettere insieme anche per i manufatti virtuali una filiera produttiva competente ed efficace quanto quella dei manufatti reali.

1. *Architecture, Engineering and Construction.*

2. Nel volume omonimo, Augusto Roca De Amicis analizza alcuni episodi problematici e controversi per la Storia dell'Architettura proponendo linee di metodo e strumenti critici alternativi a quelli oggi più in voga ma forse maggiormente capaci di spiegare singolarità che un uso eccessivo della contestualizzazione tende ad appiattire. Questo si fonda sulla creazione di nuove connessioni interpretative che spostino il baricentro ermeneutico dall'*intentio auctoris* all'*intentio operis* intesa come espressione del fare collettivo che innerva qualunque realizzazione.

3. È utile a questo punto precisare che con il termine manufatto (virtuale o reale) ho inteso indicare esclusivamente il prodotto della costruzione, ovvero quanto generato a valle della matrice esecutiva. Questa distinzione mi consente di utilizzare il termine Modello o Oggetto in un'accezione più rigorosa come sintesi della matrice progettuale ed esecutiva.

4. In ambito informatico, il termine *Black Box* si riferisce a un software di cui siano noti solo input e output ma non il workflow intermedio. Al contrario, il termine *White Box* indica un processo in cui tutti i passaggi siano trasparenti rispetto all'utente.

5. *Level Of Development, Level of Detail, Level of Information.*

6. Rientra in questo ambito un vasto progetto che Sapienza ha avviato da qualche anno con l'obiettivo di documentare e modellare in ambiente BIM il proprio patrimonio architettonico. Cuore del progetto è la validazione trasparente dei modelli/manufatti.

7. Il Progetto di Ricerca per la costruzione di un modello 3D virtuale del plastico della Basilica Vaticana di Antonio da Sangallo il Giovane è stato interamente sviluppato nel 2006 dal Dipartimento di Rilievo, Analisi, Disegno dell'Ambiente e del Costruito (oggi DSDRA) di Sapienza Università di Roma diretto al tempo dal prof. Mario Docci. Oltre al Direttore, del gruppo di ricerca hanno fatto parte: il prof. Luca Ribichini (responsabile scientifico), il prof. Carlo Bianchini (responsabile tecnico), gli architetti Alfonso Ippolito e Luca J. Senatore e il geom. Marco Di Giovanni. Al buon esito della Ricerca, commissionata dalla Veneranda Fabbrica di S. Pietro e sponsorizzata dalla Microsoft, ha inoltre concorso in maniera significativa il convinto supporto assicurato in ogni fase dalle autorità vaticane e in particolare dall'Ufficio della Fabbrica che era diretto dalla dott.ssa M. Cristina Carlo-Stella, coordinatrice tra l'altro della mostra stessa.

8. La ricerca ha preso le mosse dalla Tesi di Laurea di Alessandro Aglietti "29 Aprile 1586: Cronache del giorno prima. Lo spostamento dell'obelisco vaticano: ricostruzione virtuale 3D di piazza San Pietro" (2015; relatore prof. Carlo Bianchini, correlatore prof. Alessandro Viscogliosi).

9. La ricerca ha preso le mosse dalla Tesi di Laurea di Andrea Gallo e Stefano Giubilei dal titolo "Studi storici del tessuto urbano e ricostruzione virtuale della città medievale di Ninfa" (2018; relatore prof. A. Viscogliosi, correlatore prof. Carlo Bianchini).

and same age: the one in Assassins' Creed Brotherhood, the highly successful videogame produced by Ubisoft. The question was, all things considered, very simple: how could we establish which reconstruction was the best? The only way to solve this problem was in the field of metamodelling; this led us to delineate an initial idea of reliability correlated to the transparency of our data source and reconstructive criteria. Finally, a summary of these parameters was presented in a map in which the various parts were coloured according to their higher or lower score.

The last project involved the ancient city of Ninfa⁹ (figs. 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17) [Bianchini et al. 2020b]. Although the original medieval settlement now only acts as a backdrop to the very famous Garden, it represents one of the most important urban centres in the Pontine area, and for this reason deserves to be studied as part of the history of architecture and the city.

While limited portions of the city were easy to reconstruct thanks to substantial historical sources and the very visible remains of the wall structures (the churches, castle, inner and outer walls, and numerous houses along the main street), most of the built-up area was in a bad state of repair, and sometimes completely obliterated.

Despite our best efforts, many parts of the urban layout were insufficiently defined, not least because the vegetal structures of the garden often concealed a non-negligible part of the walls above ground. In order to complete the ancient urban fabric we had to take stock of these objective limits and, as a result, accept the principle that an increase in the subjectivity of the reconstructive hypotheses corresponded to a reduction in their overall reliability.

Based on this approach, we identified the most important unresolved features of the settlement (the market square, parade ground, dam, and structures required to exploit water sources) and then we filled in the empty 'boxes' by comparing them with similar urban layouts. This allowed us to complete the road network and create an urban density that was credible and in line with the analyses performed and data available.

Having established the entire layout of the built-up area, the next step was to reconstruct

the façades of the ancient buildings in Ninfa, i.e., hypothesise what the individual buildings and city look liked. To achieve this the study performed on the visible walls and plasters that remained in situ was crucial. After numerous inspections we found several elements revealing how the surfaces of the buildings had been treated: in ancient Ninfa, plaster was not only used to protect the walls, it also played a decorative role, emphasised by the brilliant and sophisticated colours. Unlike the idea most people have of medieval cities when they see buildings without plaster and decorative features, the squares, buildings and places of worship in Ninfa had very varied and distinctive chromatic hues; this was confirmed by historiographical sources and numerous studies of medieval iconography that unanimously provided the image of a variously and heterogeneously 'coloured' city. The Allegory and Effects of Good and Bad Government by Ambrogio Lorenzetti, portraying a polychrome expanse of a medieval city, is just one paradigmatic example from amongst all the numerous medieval pictorial artworks supporting this statement. When it was not possible to find traces of the original finishings on these buildings we decided to use the colours of this fresco, subjectively assigning the colours and types of finishings to the buildings in our new, ancient city of Ninfa. The elements added to this virtual artefact were used to render the reconstructive model transparent: on the one hand, the process was described in scientific publications and, on the other, concise graphics were once again proposed to show the different levels of reliability.

In conclusion, while the field of metamodelling contains useful theoretical and operational tools to render the modelling processes more transparent and reliable, nevertheless these tools appear to be far from assuming the status of a high intellectual expression, which is its fundamental ingredient. In fact, all too often many projects, even those well-planned, are derailed because the virtual artefact is created by individuals who are not up to the task, and even in the BIM sector the attempt to establish operators with different levels of specialisation and responsibility, all too often appears inadequate insofar as it is too focused on technical aspects and little, or not at all, on concepts. However, a medium-term objective exists: to create a production chain, even for virtual artefacts, that is as competent and effective as it is for real buildings.

1. Architecture, Engineering and Construction.

2. In the book with the same title, Augusto Roca De Amicis analyses several problematic and controversial episodes in the History of Architecture, proposing alternative methods and critical tools compared to the ones fashionable today, i.e., with a greater capacity to explain uniqueness than an excessive use of contextualisation tends to flatten. It is based on the creation of new interpretative links that shift the hermeneutic barycentre from *intentio auctoris* to *intentio operis* considered as the expression of the collective work behind any realisation.

3. At this point it is useful to specify that I have used the term artefact (whether virtual or real) exclusively to indicate the product of construction, i.e., what is generated after the construction matrix. This differentiation allows me to use the term Model or Object in a stricter manner, as the synthesis of the design and construction matrixes.

4. In computer science, the term Black Box refers to a software where only the input and output are known, but not the intermediate workflow. On the contrary, the term White Box indicates a process in which all the steps are transparent for the user.

5. Level of Development, Level of Detail, Level of Information.

6. An important project launched by Sapienza a few years ago falls into this field; the objective was to document and model its architectural heritage in a BIM environment. The 'heart and soul' of the project is the transparent validation of the models/artefacts.

7. The Research Project for the construction of a virtual 3D model of the maquette of the Vatican Basilica by Antonio da Sangallo the Younger was developed in 2006 by the Department of Survey, Analysis and Drawing of the Environment and the Built (now DSDRA) of Sapienza University of Rome, at the time headed by Prof. Mario Docci. Apart from the Director, the research group included: Prof. Luca Ribichini (scientific director), Prof. Carlo Bianchini (technical director), the architects Alfonso Ippolito and Luca J. Senatore, and the surveyor Marco Di Giovanni. Besides the good results of the Research, commissioned by the Veneranda Fabbrica di S. Pietro and sponsored by Microsoft, a significant input was provided by the unwavering support, throughout the project, of the Vatican authorities, in particular the Offices of the Fabbrica at the time headed by M. Cristina Carlo-Stella, coordinator of the exhibition.

8. The research was inspired by the Graduate Thesis by Alessandro Aglietti entitled '29 Aprile 1586: Cronache del giorno prima. Lo spostamento dell'obelisco vaticano: ricostruzione virtuale 3D di piazza San Pietro' (2015; rapporteur, Prof. Carlo Bianchini, co-rapporteur, Prof. Alessandro Viscogliosi).

9. The research was inspired by the Graduate Thesis by Andrea Gallo and Stefano Giubilei entitled 'Studi storici del tessuto urbano e ricostruzione virtuale della città medievale di Ninfa' (2018; rapporteur, Prof. A. Viscogliosi, co-rapporteur, Prof. Carlo Bianchini).

References

- Addison, Gaiani 2000 = Alonzo C. Addison, Marco Gaiani. Virtualized Architectural Heritage: New Tools and Techniques. *IEEE MultiMedia journal*, vol. 7 (2), 2000, pp. 26-31. ISSN: 2169-3536 (Online). DOI: 10.1109/93.848422. <<https://www.computer.org/csdl/magazine/mul/2000/02/u2026/13rRUxly9ay>> [giugno 2023].
- Attenni et al. 2022 = Martina Attenni, Carlo Bianchini, Marika Griffio, Luca James Senatore. HBIM Meta-Modelling: 50 (and More) Shades of Grey. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 11(9), 468, 2022. DOI: <https://doi.org/10.3390/ijgi11090468>.
- Benedetti 2009 = Sandro Benedetti. *Il grande modello per il San Pietro in Vaticano. Antonio da Sangallo il Giovane*. Roma: Gangemi editore, 2009. ISBN: 9788849217735.
- Bianchini 2007 = Carlo Bianchini. Dal Reale al Virtuale (e ritorno): il modello ligneo di Antonio da Sangallo per il Nuovo San Pietro in Vaticano. From reality to virtuality (and back): the wooden model by Antonio da Sangallo for the new St. Peter's in Vatican. *Disegnare. Idee Immagini*, 34, 2007, pp. 36-49. ISSN: 11239247.
- Bianchini 2014 = Carlo Bianchini. Survey, modeling, interpretation as multidisciplinary components of a Knowledge System. *SCIRES-IT-SCIENTIFIC RESEARCH AND INFORMATION Technology*, 4 (1), 2014, pp. 15-24. e-ISSN: 2239-430. DOI: 10.2423/i22394303v4n1p15.

-
- Bianchini et al. 2020a = Carlo Bianchini, Carlo Inglese, Alfonso Ippolito, Martina Attenni, Saverio Nicastro. HBIM e (la) Sapienza. *Palladio*, III, 63-64, 2020, pp. 107-113. ISSN: 0031-0379.
 - Bianchini et al. 2020b = Carlo Bianchini, Alessandro Viscogliosi, Francesca Cicinelli, Andrea Gallo. La costruzione scientifica della memoria: il caso della nuova antica città di Ninfa | The Scientific Construction of Memory: the Case of the New Ancient City of Ninfa. In *CONNETTERE-Un disegno per annodare e tessere. CONNECTING-Drawing for weaving relationships*. Milano: Franco Angeli, 2020, pp. 1760-1777. ISBN: 9788835104490.
 - Bianchini, Nicastro 2018 = Carlo Bianchini, Saverio Nicastro. The definition of the Level of Reliability: a contribution to the transparency of Historical-BIM processes. *Dn. Building information modeling, data & semantics*, 2, 2018, pp. 46-59. ISSN: 2610-8755. <<https://www.dienne.org/en/2018/10/13/bianchini-eng/>> [giugno 2023].
 - Bianchini, Potestà 2018 = Carlo Bianchini, Giorgia Potestà. The critical reconstruction of the Temple - Theatre complex in the Italic Sanctuary of Pietrabbondante. In *3rd Digital Heritage International Congress (DigitalHERITAGE)* held jointly with 2018 24th International Conference on Virtual Systems & Multimedia (VSMM 2018), San Francisco, CA, USA, 2018, pp. 1-4. DOI: 10.1109/DigitalHeritage.2018.8810124.
 - Bianchini, Ippolito, Senatore 2019 = Carlo Bianchini, Alfonso Ippolito, Luca J. Senatore. The wooden models of the Vatican Basilica by Antonio da Sangallo and Michelangelo: survey, modelling and interpretation. In *Digital Wood Design: Innovative Techniques of Representation in Architectural Design*, 2019, pp. 321-342. ISBN: 9783030036751.
 - Bianchini, Viscogliosi, Aglietti 2017 = Carlo Bianchini, Alessandro Viscogliosi, Alessandro Aglietti. Innovative Digital Heuristic Approaches in Architectural Historical Research. In *21st International Conference Information Visualisation (IV)*. London, 2017, pp. 444-449. ISBN: 9781538608326. DOI: 10.1109/iV.2017.47.
 - Borghini, Carlanì 2011 = Stefano Borghini, Raffaele Carlanì. La restituzione virtuale dell'architettura antica come strumento di ricerca e comunicazione dei beni culturali: ricerca estetica e gestione delle fonti. *DisegnareCon*, 4, 8, 2011, pp. 72-79. ISSN: 1828-5961/2571. DOI: <http://doi.org/10.1080/02614340.2022.22.23858>.
 - Borgogni, Ippolito 2011 = Francesco Borgogni, Alfonso Ippolito. I modelli 3D nei rilievi di architettura. In *Metodologie integrate per il rilievo, il disegno, la modellazione dell'architettura e della città*. A cura di Emanuela Chiavoni, Monica Filippa. Ricerca Prin 2007. Roma: Gangemi Editore, 2011, pp. 71-78. ISBN: 9788849222081.
 - Brusaporci, Maiezza, Tata 2018 = Stefano Brusaporci, Pamela Maiezza, Alessandra Tata. A framework for architectural heritage HBIM semantization and development. In *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*. Volume XLII-2, 2018, pp. 179-184. ISSN: 2194-9034. DOI: <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLII-2-179-2018>.
 - Cantrell, Michaels 2010 = Bradley Cantrell, Wes Michaels. *Digital Drawing for Landscape Architecture: Contemporary Techniques and Tools for Digital Representation in Site Design*. Hoboken. New Jersey: John Wiley & Sons, 2010. ISBN: 9780470403976.
 - Docci et al. 2007 = Mario Docci, Luca Ribichini, Carlo Bianchini, Alfonso Ippolito. From plans to model: the unbuilt Vatican Basilica. In *From survey to the project: heritage & historical town centres*. Firenze: Edifin 2007, pp. 150-155. ISBN: 9788879703505.
 - Docci, Bianchini, Ippolito 2011 = Mario Docci, Carlo Bianchini, Alfonso Ippolito. Contributi per una teoria del rilevamento architettonico. *Disegnare. Idee Immagini*, 42, 2011, pp. 34-41. ISSN: 11239247.
 - Docci, Gaiani, Migliari 2001 = Mario Docci, Marco Gaiani, Riccardo Migliari. Una nuova cultura per il rilevamento *Disegnare. Idee Immagini*, 23, 2001, pp. 37-46. ISBN: ISSN: 11239247.
 - Fallavollita et al. 2015 = Federico Fallavollita, Massimo Ballabeni, Riccardo Foschi, Giacomo Perugini. Semantic description of the three-dimensional models of Bologna porches. *SCIRES.IT SCientific REsearch and Information Technology Ricerca Scientifica e Tecnologie dell'Informazione*. Vol. 5, Issue 1, 2015, pp. 31-40. e-ISSN: 2239-4303. DOI: <http://dx.doi.org/10.2423/i22394303v5n1p31>.
 - Glaessgen, Stargel 2012 = Edward Glaessgen, David Stargel. The digital twin paradigm for future NASA and U.S. Air force vehicles. In *Collection of Technical Papers - AIAA/ASME/ASCE/AHS/ASC Structures, Structural Dynamics and Materials Conference*, 2012. ISBN: 9781600869372. DOI: 10.2514/6.2012-1818.
 - Inzerillo et al. 2016 = Laura Inzerillo, Massimiliano Lo Turco, Sandro Parriniello, Cettina Santagati, Graziano Mario. BIM e beni architettonici: verso una metodologia operativa per la conoscenza e la gestione del patrimonio culturale / BIM and architectural heritage: towards an operational methodology for the knowledge and the management of Cultural Heritage. *DisegnareCon*, volume 9, 16, 2016, pp. 16.1-16.9. ISSN: 1828-5961. <<https://disegnarecon.univaq.it/ojs/index.php/disegnarecon/article/viewFile/153/124>> [giugno 2023].
 - Logothetis, Karachaliou, Stylianidis 2017 = S. Logothetis, E. Karachaliou, E. Stylianidis. From OSS CAD to BIM for cultural heritage digital representation. In *The international archives of the photogrammetry, remote sensing and spatial information sciences, 3d virtual reconstruction and visualization of complex architectures*, 1-3, 2017, pp. 439-445. ISSN: 2194-9034. DOI: <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLII-2-W3-439-2017>.
 - López et al. 2018 = Facundo José López, Pedro M. Lerones, José Llamas, Jaime Gómez-García-Bermejo, Eduardo Zalama. Review of Heritage Building Information Modeling (H-BIM). *Multimodal Technologies and Interaction*, 2 (2), 21, 2018. ISSN: 2414-4088. DOI: <https://doi.org/10.3390/mti2020021>.
 - Migliari 2004 = Riccardo Migliari. *Disegno come modello*. Roma: Edizioni Kappa, 2004. ISBN: 9788878906051.
 - Popper 1963 = Karl Popper. *Conjectures and Refutations: The Growth of Scientific Knowledge*. London: Routledge, 1963.
 - Quaroni 1977 = Ludovico Quaroni. *Progettare un edificio. Otto lezioni di architettura*. Mazzotta, 1977.
 - Quattrini, Pierdicca, Morbidoni 2017 = Ramona Quattrini, Roberto Pierdicca, Christian Morbidoni. Knowledge-based data enrichment for HBIM: Exploring high quality models using the semantic-web. *Journal of cultural heritage*, 28, 2017, pp. 129-139. ISSN: 12962074.
 - Roca De Amicis 2015 = Augusto Roca De Amicis. *Intentio operis. Studi di storia nell'architettura*. Roma: Campisano editore, 2015. ISBN: 9788898229536.
 - Scianna, Gaglio, La Guardia 2020 = Andrea Scianna, Giuseppe Fulvio Gaglio, Marcello La Guardia. HBIM data management in historical and archaeological buildings. *Archeologia e Calcolatori*, 31.1, 2020, pp. 231-252. ISSN: 1120-6861. DOI: 10.19282/ac.31.1.2020.11.
 - Steegmans et al. 2004 = Eric Steegmans, Pieter Bekaert, Frank Devos, Geert Delanote, Nele Smeets, Marko van Dooren, Jeroen Boydens. Black & White Testing: Bridging Black Box Testing and White Box Testing. In *Software Testing: Bebeers Optimaal De Risico's Van It In Uw Business*, 2004, pp. 1-12.
 - Viscogliosi 2015 = Alessandro Viscogliosi. Lo studio della Storia dell'Architettura fra tradizione e high-tech. *Disegnare. Idee Immagini*, 51, 2015, pp. 80-90. ISSN: 11239247.
 - Yang et al. 2020 = Xiucheng Yang, Pierre Grussenmeyer, Mathieu Koehl, Hélène Macher, Arnadi Murtiyoso, Tania Landes. Review of Built Heritage Modelling: Integration of HBIM and Other Information Techniques. *Journal of Cultural Heritage*, Volume 46, 2020, pp. 350-360. ISSN: 1296-2074. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.culher.2020.05.008>.

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
ISSN 978-88492506-6
9 771123 924007
9 788849 250688