

drawing disegno n. 66

idee immagini
ideas images

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

Worldwide distribution and digital version EBOOK
www.gangemeditore.it

Full english text



SAPIENZA
UNIVERSITÀ DI ROMA

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





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

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

© proprietà letteraria riservata

GANGEMI EDITORE[®]
INTERNATIONAL

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

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

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

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

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

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

Abbonamento annuo € 30,00 –

estero € 35,00 / \$/£ 45.00

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

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

Annual Subscription € 30,00 –

Overseas € 35,00 / \$/£ 45.00

Abbonamenti/Annual Subscription

Versamento sul c/c postale n. 15911001

intestato a Gangemi Editore SpA

IBAN: IT 71 M 076 0103 2000 0001 5911 001

Payable to: Gangemi Editore SpA

post office account n. 15911001

IBAN: IT 71 M 076 0103 2000 0001 5911 001

BIC SWIFT: BPPIITRRXXX

Distribuzione/Distribution

Librerie in Italia e all'estero/

Bookstores in Italy and overseas

Emme Promozione e Messaggerie Libri Spa – Milano

e-mail: segreteria@emmepromozione.it

www.messaggerielibri.it

Edicole in Italia e all'estero/

Newsstands in Italy and overseas

Bright Media Distribution Srl

e-mail: info@brightmediadistribution.it

Abbonamenti/Annual Subscription

EBSCO Information Services

www.ebscohost.com

ISBN 978-88-492-5068-8

ISSN IT 1123-9247

Finito di stampare nel mese di giugno 2023

Gangemi Editore Printing

Direttore scientifico/Editor-in-Chief

Mario Docci

Sapienza Università di Roma

piazza Borghese 9, 00186 Roma, Italia

mario.docci@uniroma1.it

Direttore responsabile/Managing editor

Carlo Bianchini

Sapienza Università di Roma

piazza Borghese 9, 00186 Roma, Italia

carlo.bianchini@uniroma1.it

Comitato Scientifico/Scientific Committee

Alonzo Addison, Berkeley, USA

Piero Albisinni, Roma, Italia

Carlo Bianchini, Roma, Italia

Eduardo Antonio Carazo Lefort, Valladolid, Spagna

Fabiana Carbonari, La Plata, Argentina

Laura Carnevali, Roma, Italia

Pilar Chías, Alcalá de Henares (Madrid), Spagna

Livio De Luca, Marsiglia, Francia

Francis D.K. Ching, Seattle, USA

Laura De Carlo, Roma, Italia

Mario Docci, Roma, Italia

Marco Gaiani, Bologna, Italia

Fernando Gandolfi, La Plata, Argentina

Angela García Codoñer, Valencia, Spagna

Natalia Jorquera Silva, La Serena, Cile

Joubert José Lancha, São Paulo, Brasile

Riccardo Migliari, Roma, Italia

Douglas Pritchard, Edinburgo, Scozia

Franco Purini, Roma, Italia

Mario Santana-Quintero, Ottawa, Canada

José A. Franco Taboada, La Coruña, Spagna

Comitato di Redazione/Editorial Staff

Laura Carlevaris (coordinatore)

Emanuela Chiavoni, Carlo Inglese,

Alfonso Ippolito, Luca Ribichini

Coordinamento editoriale

e segreteria/Editorial coordination

and secretarial services

Monica Filippa

Traduzioni/Translation

Erika G. Young

Redazione/Editorial office

piazza Borghese 9, 00186 Roma, Italia

tel. 0039 6 49918890

disegnare@uniroma1.it

In copertina/Cover

TStudio-Guendalina Salimei, Housing

sociale in via Bembo, Primavalle, Roma.

Alloggi bioclimatici e sostenibili, 2016-2020.

Dettaglio della facciata su strada

(fotografia di Luigi Filetici)

TStudio-Guendalina Salimei. Social housing

in Via Bembo, Primavalle, Rome. Sustainable

bioclimatic housing, 2016-2020. Detail of the

façade facing the street (photo by Luigi Filetici)

Anno XXXIV n. 66, giugno 2023

3 Editoriale di Mario Docci, Carlo Bianchini

Disegnare. Idee Immagini 3.0

Editorial by Mario Docci, Carlo Bianchini

Disegnare. Idee Immagini 3.0

9 Guendalina Salimei

Il segno e lo schizzo

The sign and the sketch

16 Livio De Luca

Un ecosistema digitale per lo studio

interdisciplinare di Notre-Dame de Paris

A digital ecosystem for the interdisciplinary

study of Notre-Dame de Paris

32 Fabrizio Ivan Apollonio, Marco Gaiani,

Simone Garagnani, Michela Martini, Carl

Brandon Strehlke

Misurare e restituire l'Annunciazione di

San Giovanni Valdarno del Beato Angelico

Measurement and restitution of the

Annunciation by Fra Angelico in San

Giovanni Valdarno

48 Douglas Pritchard

Intersezioni tra tecnologia, comunicazione

grafica e rappresentazione del patrimonio

culturale

The intersection of technology, graphic

communication, and cultural heritage

representation

64 Riccardo Migliari

Max Kleiber Perspektivikus

Max Kleiber Perspektivikus

78 Riccardo Migliari

Nostalgia ed emozione del disegno

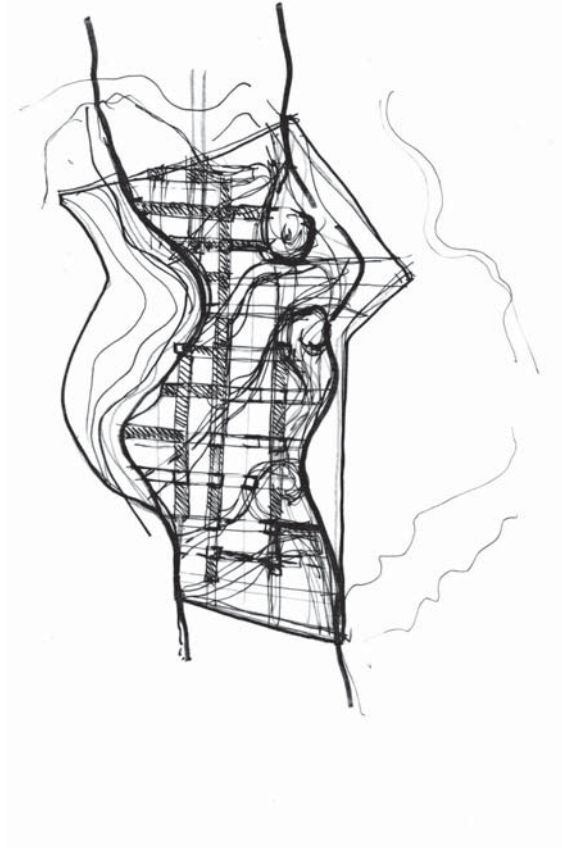
The nostalgia and emotion of drawing

80 Carlo Bianchini

Metamodellazione

Metamodelling

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





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

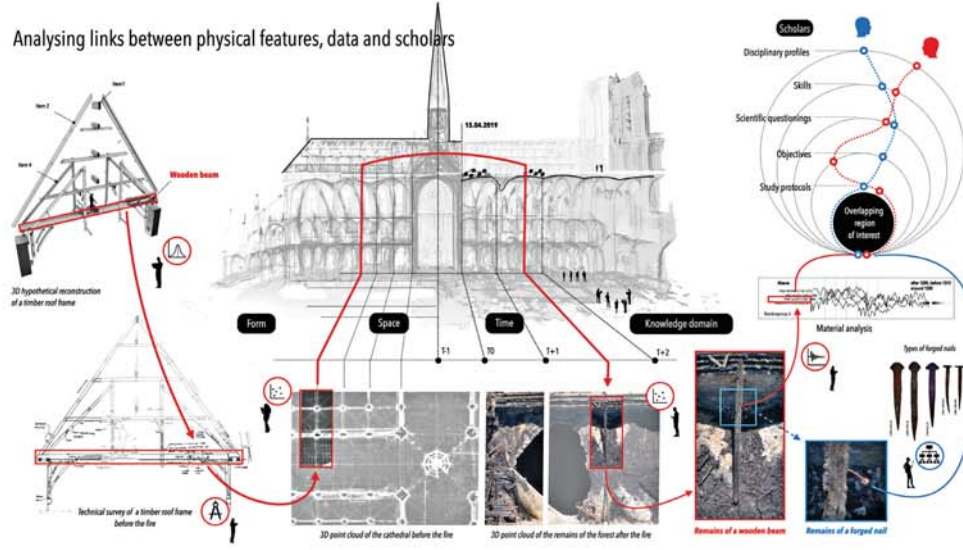
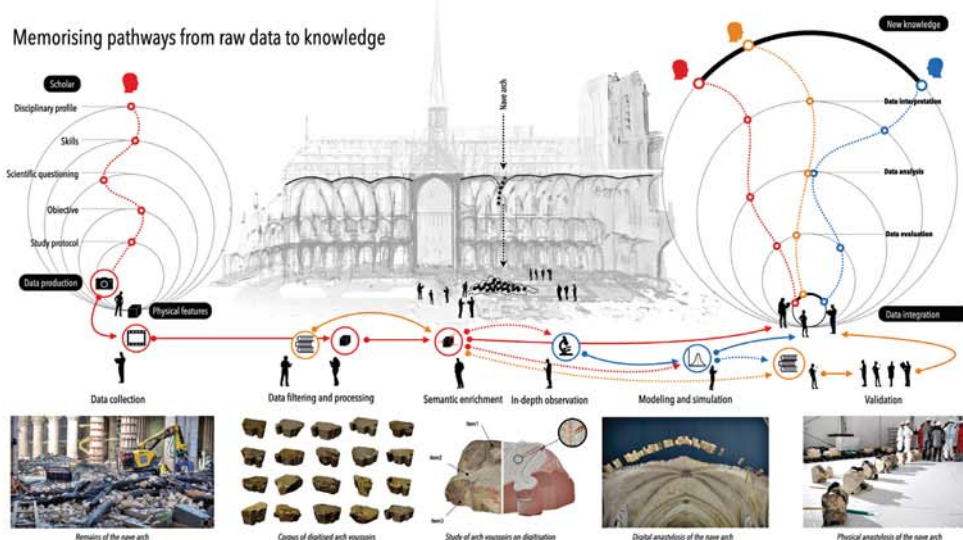
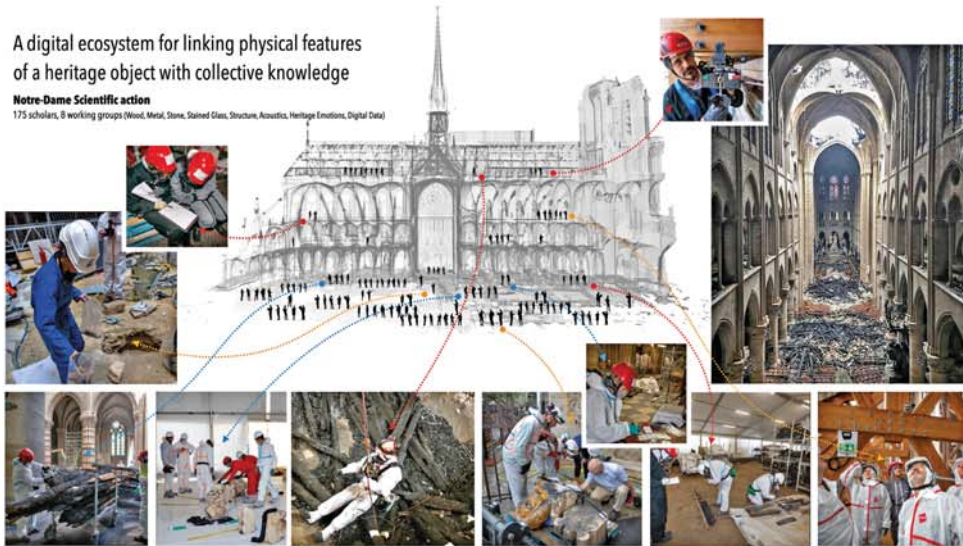
accademiche [Ball 2020]. Di fronte alle sfide poste dal restauro, è stato essenziale affrontare diversi ambiti di indagine. Innanzitutto era cruciale ristabilire le conoscenze sugli elementi architettonici e sui materiali esistenti prima dell'incendio. Poi, conservare e recuperare le informazioni scientifiche 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.

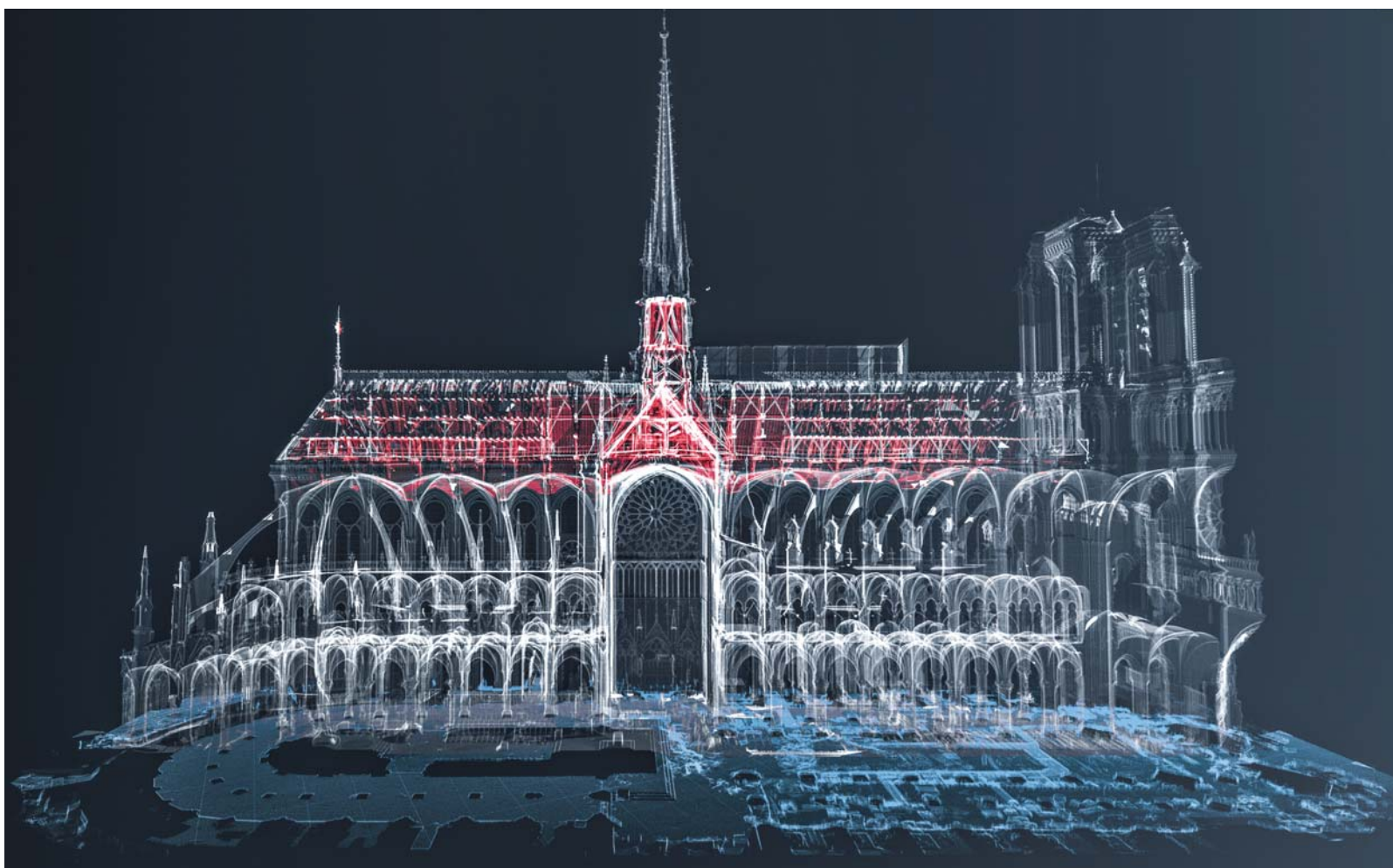
One of the major challenges involves the traceability and interoperability of digital data. In a context in which this data is modelled by certain instrumental limitations and cognitive processes, it is crucial that each step in their production be accessible and comprehensible [Doerr et al. 2010; Maghini 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

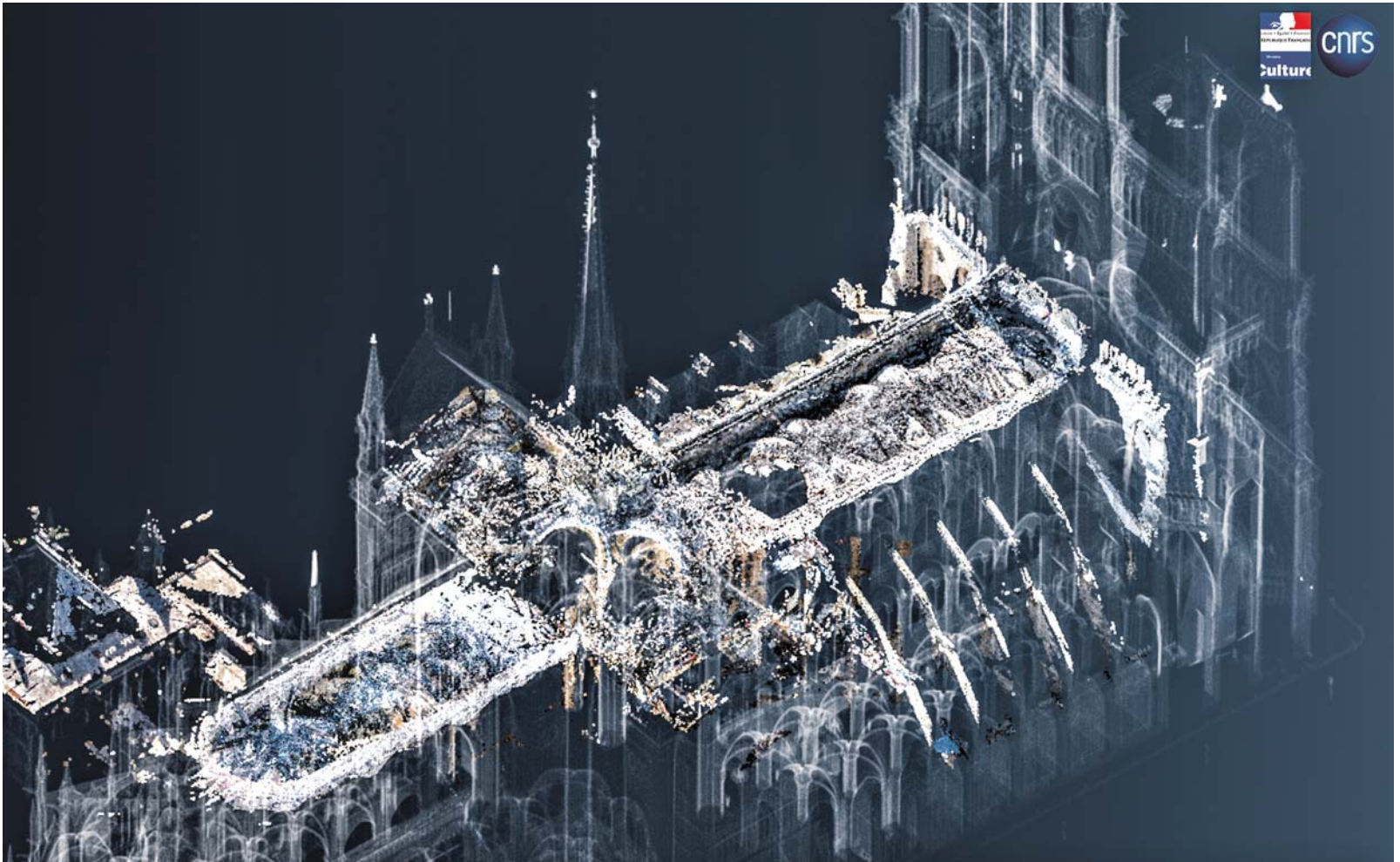
Dopo aver delineato gli obiettivi e la struttura del nostro progetto, è essenziale sottolineare come questi elementi teorici si siano tradotti in pratica. Nel corso di quattro anni intensi e stimolanti, il nostro team non si è solamente impegnato a integrare tecnologie e metodologie innovative, ma ha 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

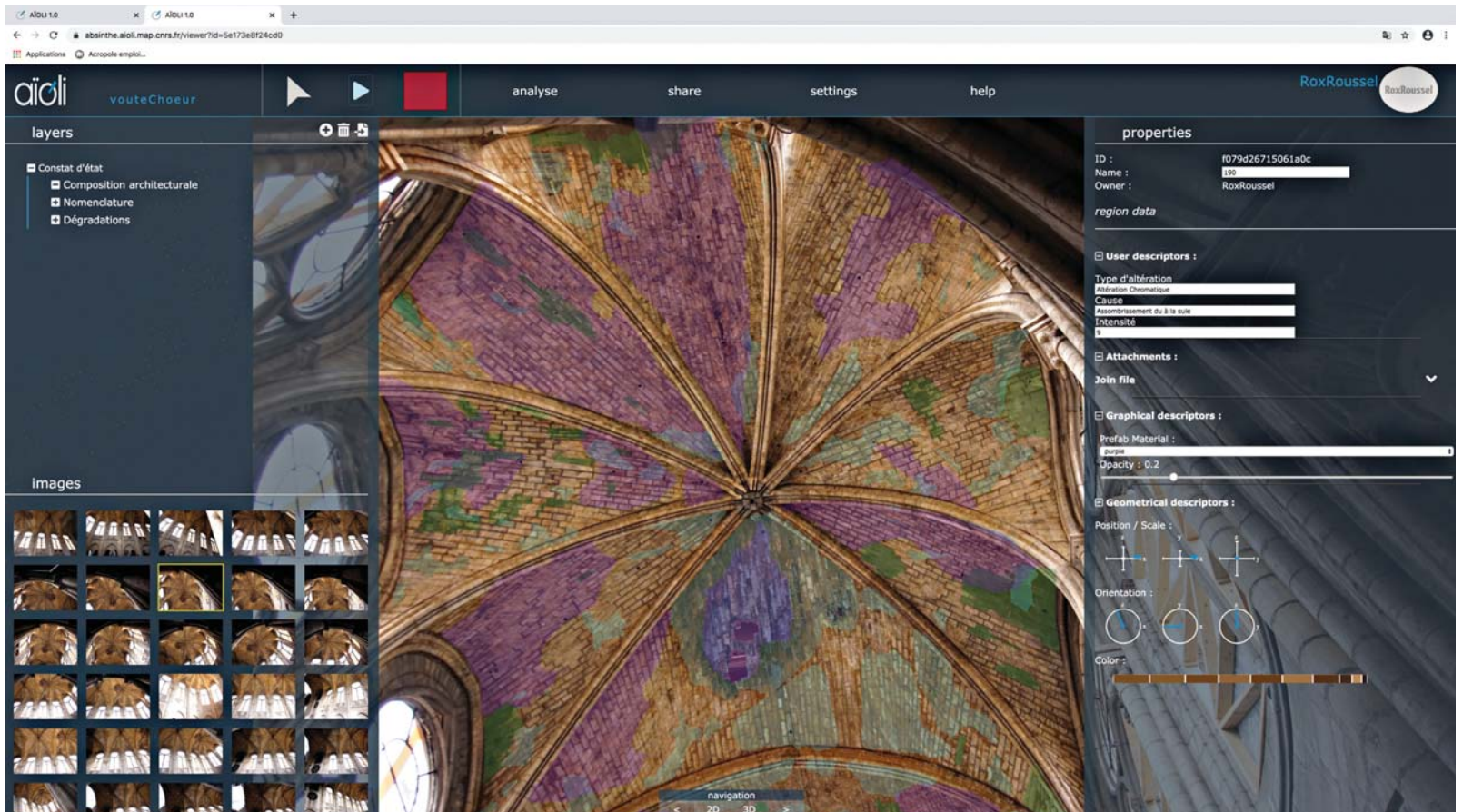
basati sull'esperienza per documentare, categorizzare e arricchire semanticamente i dati. La nostra piattaforma digitale include un insieme di strumenti progettati per (o adattati a) gli attori coinvolti nel progetto scientifico di Notre-Dame. Questo kit di strumenti supporta funzioni come l'ingestione 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

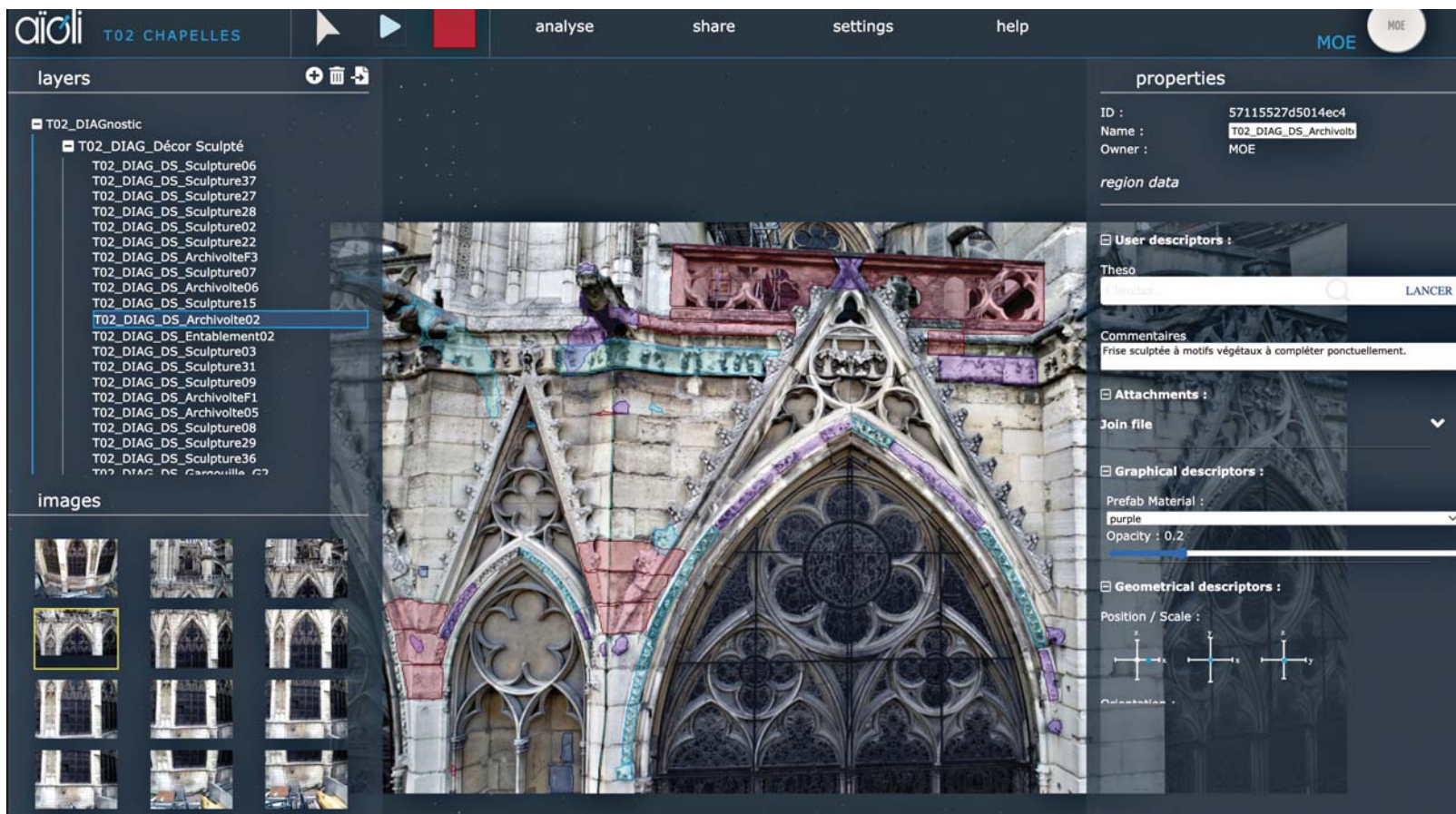
utenti che si sono registrati sulla piattaforma. Grazie al supporto del Ministero della Cultura e dell'EPRNDP, i primi dati sono stati raccolti pochi mesi dopo l'incendio e messi a disposizione dei ricercatori e dei professionisti coinvolti nel progetto di restauro (figg. 2, 3). Questa raccolta include 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.

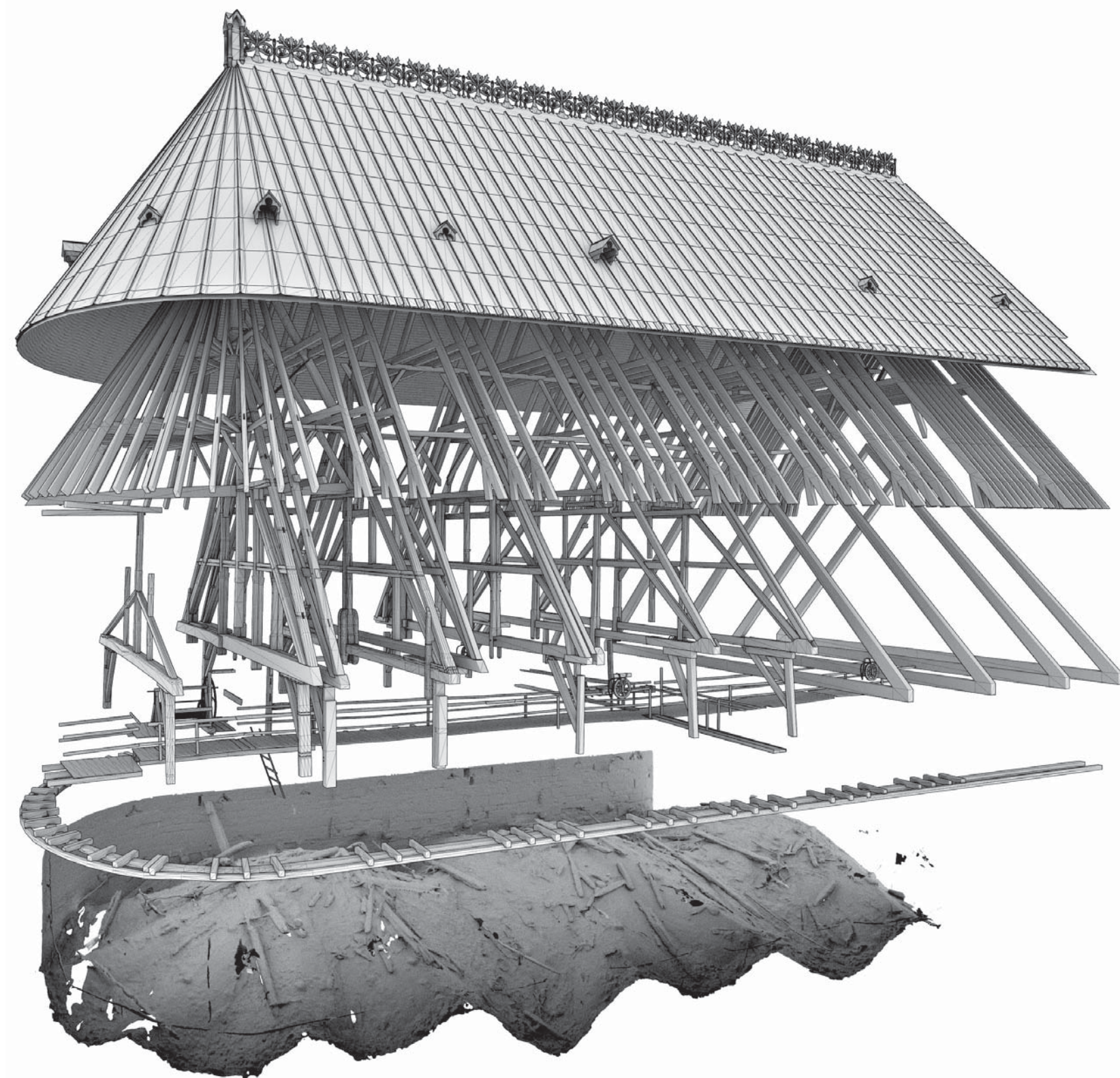
L'approccio metodologico per la ricostruzione digitale delle coperture è stato basato sull'integrazione di dati preesistenti e post-incendio (resti carbonizzati della struttura, stimati in circa 10.000 pezzi). Prima di analizzare dettagliatamente gli elementi lignei, è stato necessario effettuare un 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

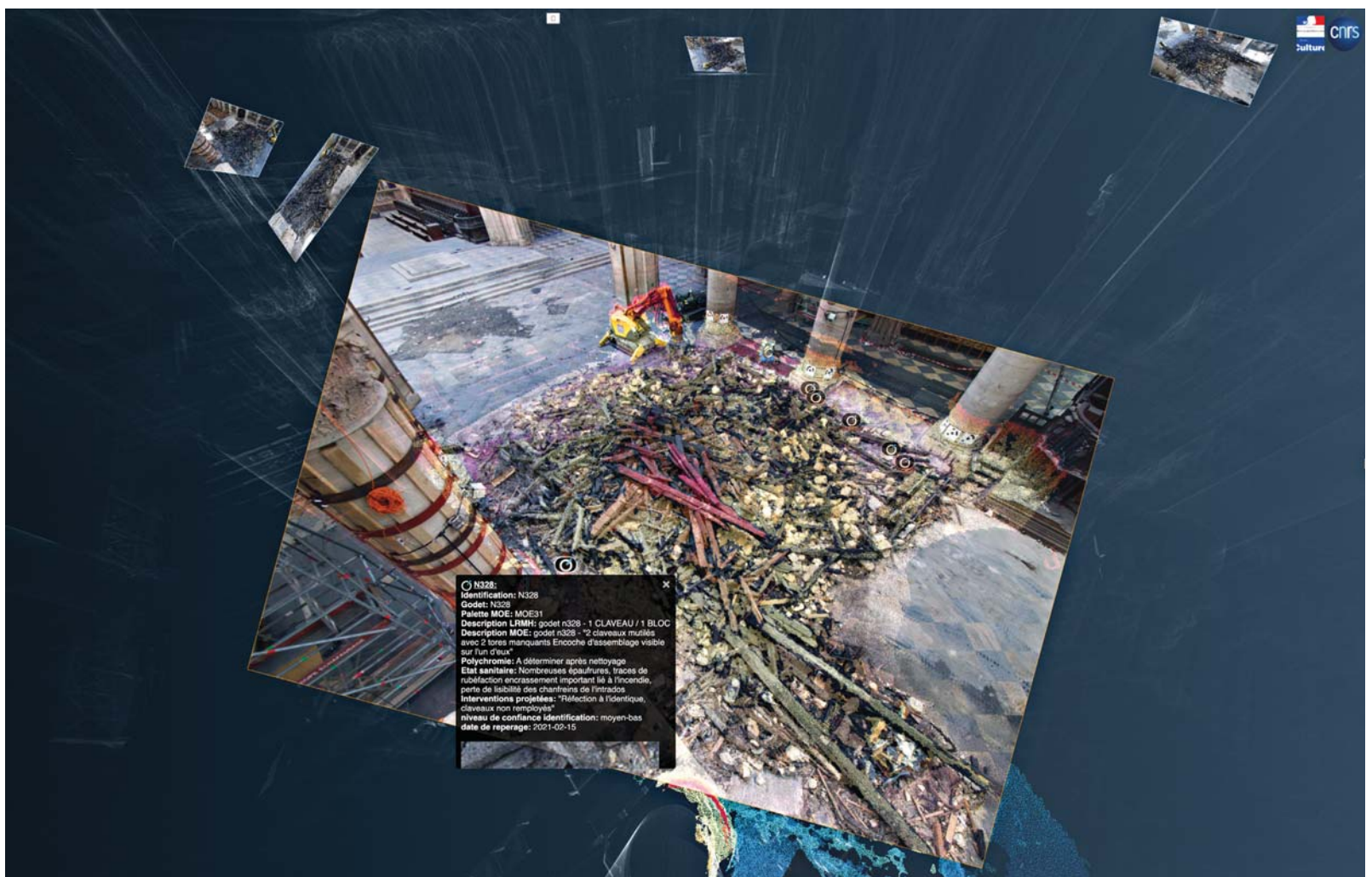
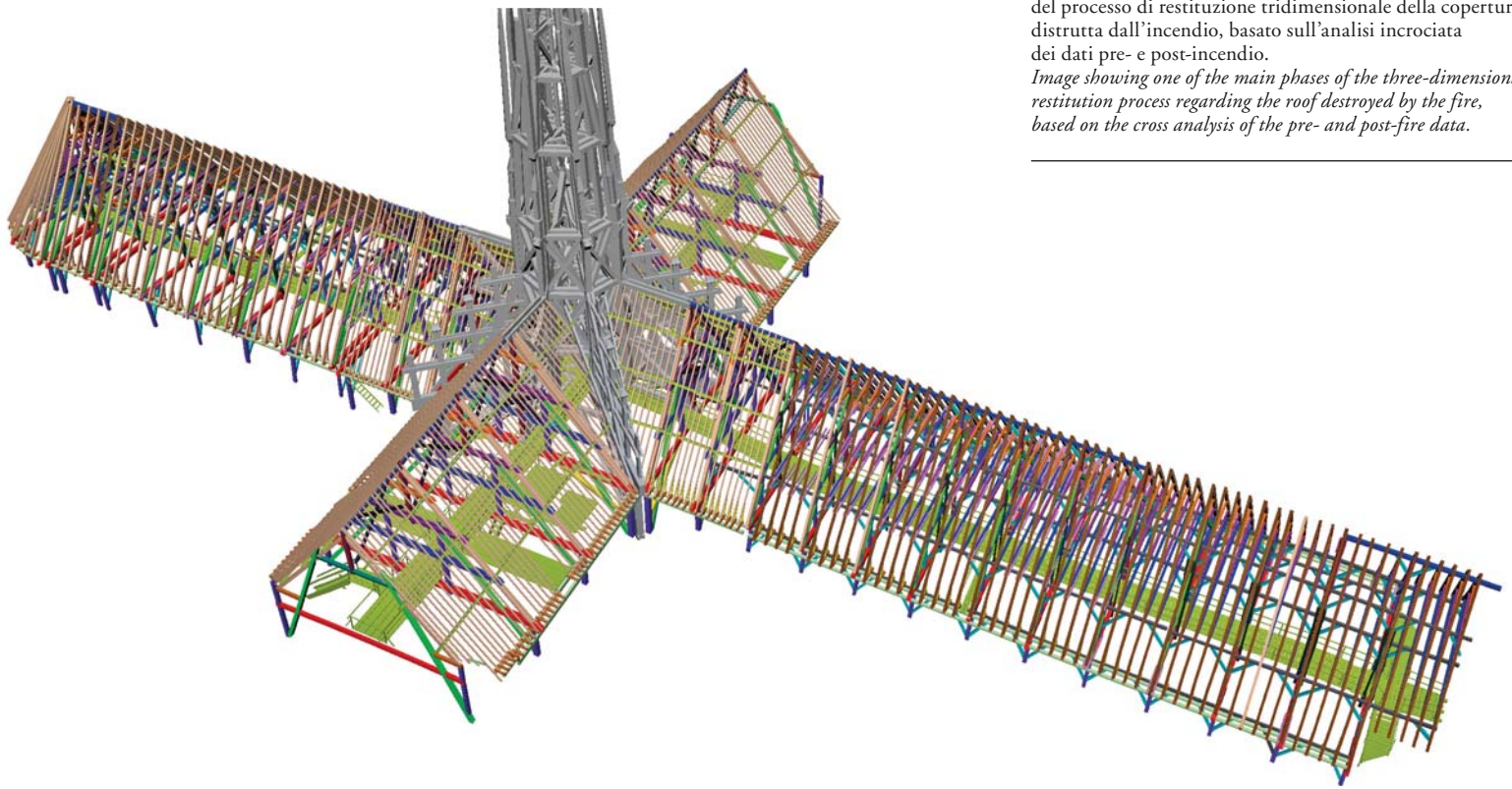
7/ Immagine che illustra una delle fasi principali del processo di restituzione tridimensionale della copertura distrutta dall'incendio, basato sull'analisi incrociata dei dati pre- e post-incendio.

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.



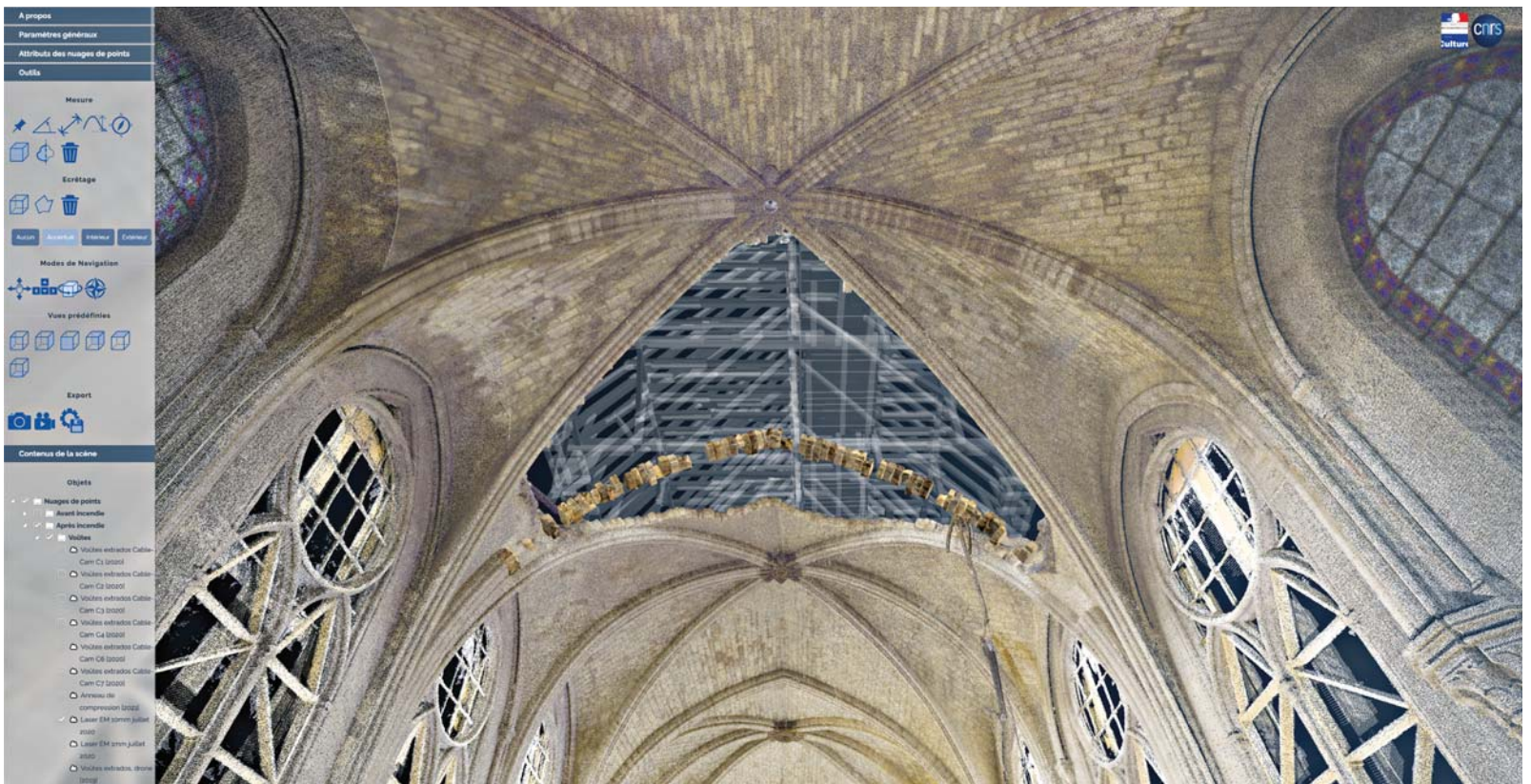
9/ *Pagina precedente.* Annotazioni spazio-temporali dei conci dell'arco crollato della navata, basate su fotografie scattate prima e dopo l'incendio. Previous page. *Spatial-temporal annotations of the ashlar of the arch that collapsed in the nave, based on photographs taken before and after the fire.*

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 (ArcheoGRID⁸), 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 Baillieux, 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 Gavrili, 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>.

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

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

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

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

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

Gli autori di questo numero
Authors published in this issue

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Carlo Bianchini
Metamodellazione
Metamodelling



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

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