



# Sommario

# Contents

|  |     |   |
|--|-----|---|
| PREFAZIONE   | vii | PREFACE   |
| 1.<br>PAVIA <i>DIGITAL CITY</i><br>E L'ARCA DI SANT'AGOSTINO | 1   | 1.<br>PAVIA <i>DIGITAL CITY</i><br>AND THE ARK OF ST. AUGUSTINE |
| 2.<br>CENNI STORICI:<br>LA BASILICA E L'ARCA                 | 11  | 2.<br>BACKGROUND:<br>THE BASILICA AND THE ARK                   |
| 3.<br>ASPETTI TECNICI  | 21  | 3.<br>TECHNICAL ASPECTS   |
| 4.<br>MODELLI 3D DELL'ARCA<br>DI SANT'AGOSTINO               | 65  | 4.<br>3D MODELING OF THE ARK<br>OF ST. AUGUSTINE                |
| 5.<br>CONCLUSIONI  | 155 | 5.<br>CONCLUSIONS   |

# Prefazione

Il libro “L’Arca di Sant’Agostino. La tecnologia digitale per una fruizione innovativa dell’arte con il coinvolgimento degli studenti” è il terzo volume di una collana iniziata nel 2016 e dedicata alla conservazione del patrimonio storico artistico di Pavia attraverso le tecnologie digitali. Anche se l’oggetto della ricostruzione è uno solo – l’Arca di Sant’Agostino nella basilica di San Pietro in Ciel d’Oro a Pavia – è caratterizzato da un’elevata complessità; comprende 95 statue, 50 bassorilievi, elementi architettonici di varia natura e un totale di oltre 400 personaggi raffigurati. Un centinaio di studenti hanno partecipato alla creazione del modello digitale nel corso di tre anni accademici. Il libro contiene una varietà di informazioni: dai fatti storici, agli aspetti tecnici dell’applicazione della teoria della visione artificiale nella modellazione 3D, alla descrizione delle specifiche implementazioni. Cinque capitoli rivelano il complesso destino storico dei resti mortali di sant’Agostino e dell’Arca costruita in suo onore, i pacchetti software e i metodi matematici utilizzati per la modellazione 3D, i modelli 3D ottenuti di singoli frammenti e statue dell’Arca.

Questo contenuto diversificato rende il libro estremamente prezioso per diverse categorie di lettori. Per i lettori non esperti, i modelli 3D creati, dettagliatamente descritti e presentati nel libro, permettono di godere della grazia e della bellezza di ogni scultura, dei dettagli e delle decorazioni dell’Arca, che nelle sue dimensioni reali è difficile da osservare, posizionata ad un’altezza di circa 3 metri sopra l’altare. Gli storici hanno

# Preface

The book “The Ark of St. Augustine. Student participation in the use of digital technologies for innovative interpretations of art” is the third volume in the series of books started in 2016 and devoted to the preservation of the historical heritage of Pavia through digital technologies. Although only a single object is examined – the Ark of St. Augustine in the basilica of San Pietro in Ciel d’Oro in Pavia, it is highly complex with 95 statues, 50 bas-reliefs of varying complexity and a total of over 400 characters. A hundred students participated in the creation of the digital model over the course of three academic years. The book contains a variety of information consisting of historical facts, technical aspects of the application of computer vision theory in 3D modeling, and descriptions of how each item was assembled. The book includes several chapters that reveal the complex historical fate of the mortal remains of St. Augustine and the Ark built in his honor, the software packages and mathematical methods used for 3D modeling, the 3D modeling of individual items and statues in the Ark.

This diverse content makes the book extremely valuable for various categories of people at the same time. For the average person, the book and the digital models created allow one to enjoy the grace and beauty of each sculpture, the details and decorations in the Ark, which in its real size is difficult to be observed with a height of about 3m and a position above the altar. Historians can now get access to the details in the scenes

accesso ai dettagli delle scene rappresentate nei bassorilievi, che rivelano antiche tradizioni e, nel contempo, hanno l'opportunità di studiare i manufatti senza limitazioni di tempo. La comunità nel suo complesso riesce a preservare il proprio ricco patrimonio storico-architettonico in forma digitale, creando opportunità per riprodurlo in formato 3D e per essere distribuito.

Anche i meriti scientifici del libro non possono essere trascurati. Gli autori hanno sviluppato un approccio globale alla conservazione della ricchezza storico-architettonica. Nel percorso educativo e nel processo di sviluppo del progetto sono riusciti a coinvolgere un gran numero di studenti che non solo hanno familiarizzato con i principi di base della teoria della visione artificiale, ma hanno anche realizzato in pratica la digitalizzazione di un'opera d'arte così superba come l'Arca di Sant'Agostino. In questo modo si è creato un piccolo esercito di esperti, pronti a lavorare per preservare il patrimonio culturale e storico di Pavia e dell'Italia.

Con i loro esempi illustrativi, le descrizioni dettagliate del processo di digitalizzazione e le documentate notizie storiche e architettoniche, gli autori ci convincono dell'enorme potenziale della ricostruzione visiva e della modellazione 3D per la conservazione dei manufatti storici.

**Kiril Alexiev**

*Professore, Head of Information Technologies for  
Sensor Data Processing Department in IICT -  
Bulgarian Academy of Sciences (BAS)*

revealing ancient traditions. They can work on the artifacts for a long time. The rich architectural and historical heritage is preserved in digital form, creating opportunities for it to be reproduced in 3D format and to be widely distributed.

The scientific merits of the book cannot be overlooked either. The authors have developed a comprehensive approach to the preservation of the architectural and historical wealth. In the training process, they managed to involve a large number of students, who acquired the basic principles of computer vision theory, and succeeded in creating a virtual reconstruction of the Ark of St. Augustine. In this way, they created a small army of followers, ready to work to preserve the cultural and historical heritage of Pavia and Italy.

With their illustrative examples, detailed descriptions of the reconstruction process and very solid historical and architectural knowledge, the authors convince us of the enormous potential of 3D visual reconstruction and modeling for the preservation of historical artifacts.

**Kiril Alexiev**

*Professor, Head of Information Technologies for  
Sensor Data Processing Department in IICT -  
Bulgarian Academy of Sciences (BAS)*

Sono onorata ed entusiasta di poter contribuire alla prefazione del terzo di una serie di volumi di cui attendevo con ansia un nuovo gioiello, come credo molti lettori che abbiano avuto il piacere di sfogliare e ammirare i lavori precedenti e di trarne informazioni non solo tecniche ma anche

I am honored and enthusiastic about contributing to the preface of the third of a series of volumes, as I believe many readers who have had the pleasure of leafing through and admiring the previous works acquiring technical as well as historical and artistic information. The object of the work this time is

storiche ed artistiche. L'oggetto del lavoro questa volta è la ricostruzione tridimensionale, interattiva ed accessibile dell'Arca di Sant'Agostino della chiesa di San Pietro in Ciel d'Oro a Pavia. Come i precedenti, il progetto è stato svolto presso il Computer Vision and Multimedia Lab (CVML) dell'Università di Pavia, animato dal Professore Emerito Virginio Cantoni e dagli altri membri dello staff. Il risultato è illustrato con ampia iconografia ed una gran quantità di informazioni. Il libro dunque è piacevole come un libro d'arte, interessante come un libro di storia, ed inoltre rigoroso ma al tempo stesso ampiamente accessibile nella presentazione delle tecnologie all'avanguardia che sono state utilizzate.

È interessante considerare tre aspetti caratterizzanti dell'esperienza descritta. Come primo aspetto, essa fornisce un esempio illuminante di come la tecnologia possa fornire strumenti innovativi a supporto della conservazione e valorizzazione della nostra storia, del nostro patrimonio artistico e della nostra cultura. Con i due volumi precedenti, "Pavia, la Battaglia, il Futuro. 1525-2015 Niente fu come prima"<sup>1</sup> e "Ricostruzione Virtuale di Pavia nel XVI Secolo"<sup>2</sup>, il CVML ha dimostrato di essere all'avanguardia in questa affascinante missione.

In secondo luogo, il progetto mostra come le basi teoriche e pratiche delle tecnologie utilizzate possano fornire uno spunto formidabile per coinvolgere anche i giovani in un tipo di attività che richiede sia amore per la storia e per l'arte che rigore metodologico, progettuale e realizzativo. Il volume raccoglie i risultati di un progetto poderoso, vista la ricchezza e complessità dell'opera virtualizzata, che raffigura più di 400 personaggi tra statue e bassorilievi. La riproduzione fedele dell'Arca ha richiesto l'impegno di più di un centinaio di studenti del Corso Magistrale in Computer Vision durante ben tre anni accademici: 2017/18, 2018/19 e 2019/2020.

the three-dimensional, interactive and accessible reconstruction of the Ark of St. Augustine in the church of San Pietro in Ciel d'Oro in Pavia. Like the previous ones, the project was carried out at the Computer Vision and Multimedia Lab (CVML) in the University of Pavia, led by Emeritus Professor Virginio Cantoni and other staff members. The result is illustrated with extensive iconography and a large amount of information, making it an enjoyable artbook, besides being a historical account and remarkable but widely accessible presentation of the cutting-edge technologies used.

Three aspects stand out. First, it provides an enlightening example of how technology can provide innovative tools to support the conservation and enhancement of our history, our artistic heritage and our culture. With the two previous volumes, "Pavia, the Battle, the Future. 1525- 2015 Nothing was the same again"<sup>1</sup> and "Virtual Reconstruction of Pavia in the 16<sup>th</sup> Century"<sup>2</sup>, the CVML has proven to be at the forefront of this fascinating mission.

Secondly, the project shows how the theoretical and practical foundations of the technologies used can provide a formidable boost for involving young people in a type of activity that requires both a love of history and art and methodological, design and implementation rigour. The volume collects the results of a hefty project, given the richness and complexity of the 3D reconstruction, which depicts more than 400 characters including statues and bas-reliefs. The faithful reproduction of the Ark required the commitment of more than a hundred students of the Master's Course in Computer Vision during three academic years: 2017/18, 2018/19 and 2019/2020.

Last but certainly not least, the result achieved is an exercise in style and technology and an effective response to the need for concrete information. The Ark, conceived as a monument

In ultimo, ma sicuramente non per importanza, il risultato realizzato non rappresenta solo un esercizio di stile e tecnologia ma una risposta efficace ad un bisogno informativo concreto. L'Arca, concepita come un monumento visitabile sui quattro lati, è completamente ricoperta di bassorilievi e figure che rappresentano episodi e personaggi della vita di sant'Agostino. Tuttavia, la posizione sopra l'altare a circa 3 metri di altezza a cui è attualmente collocata, e la sua stessa altezza e struttura architettonica, rendono difficile osservare tutti i suoi dettagli ed apprezzarne appieno la bellezza. Il desiderio di superare questa limitazione e consentire al grande pubblico di ammirare l'opera in ogni suo aspetto hanno ispirato lo staff del CVML ad intraprendere il cammino lungo e complesso della riproduzione tridimensionale interattiva.

Non mi rimane che augurare buona lettura a chi si avvicinerà al volume, e sperare che l'attività del CVML dell'Università di Pavia ci regali ancora in futuro l'occasione di apprezzare risultati importantissimi per la divulgazione della nostra inestimabile eredità culturale.

**Maria De Marsico**

*Professore, Sapienza Università di Roma -  
Editor-in-Chief, Pattern Recognition Letters*

Il presente libro nasce nell'ambito di un interessante e innovativo progetto didattico e di ricerca che ha visto coinvolti direttamente gli studenti di ben tre differenti anni accademici dal 2017 al 2020 del corso magistrale di Computer Vision dell'Università degli studi di Pavia. Il progetto, in continuità con progetti precedenti nell'ambito della tematica *Pavia digital city*, è focalizzato sull'applicazione delle nuove tecnologie interattive quali modelli 3D, realtà virtuale e aumentata, strumenti immersivi, alla ricostruzione 3D di un importante monumento della città, l'Arca di

to be visited on all four sides, is completely covered with bas-reliefs and figures representing episodes and characters from the life of St. Augustine. However, the position above the altar at about 3 meters above the ground, and its very height and architectural structure, make it difficult to observe all its details and fully appreciate its beauty. The desire to overcome this limitation and allow the general public to admire the work in all its aspects inspired the CVML staff to undertake the long and complex journey of interactive 3D reconstruction.

All that remains is to wish readers to enjoy the volume, and hope that the activity of the CVML of the University of Pavia will give us further opportunities to appreciate results that are very important for the dissemination of our invaluable cultural heritage.

**Maria De Marsico**

*Professor, Sapienza Università di Roma -  
Editor-in-Chief, Pattern Recognition Letters*

This book is part of an interesting and innovative educational and research project that directly involved students from the Computer Vision Master's course at the University of Pavia over three different academic years, from 2017 to 2020. The project, following the previous ones about Pavia as a digital city, is focused on the application of new interactive technologies such as 3D models, virtual and augmented reality, immersive tools, to the 3D reconstruction of an important monument in the city, the Ark of St. Augustine, built in the second half of the

Sant'Agostino, realizzato nella seconda metà del XIV secolo e attualmente custodito nella chiesa di San Pietro in Ciel d'Oro.

L'Arca di Sant'Agostino è un monumento molto complesso ed articolato, composto da ben 95 statue e 50 bassorilievi disposti su 4 lati, per un totale di oltre 400 personaggi. La sua posizione sopra l'altare ad un'altezza di oltre 3 metri limita la fruizione visiva dell'osservatore rendendo parziale soprattutto la visione dei bassorilievi e delle decorazioni. Per rendere accessibile al pubblico l'Arca di Sant'Agostino nella sua completezza architettonica facilitandone l'osservazione nel suo complesso e nel contempo esaltandone la bellezza delle singole decorazioni e dei dettagli dei bassorilievi, è nata l'idea di proporre una ricostruzione 3D del monumento, progetto che per la sua complessità ha richiesto il coinvolgimento di oltre 100 studenti, sapientemente coordinati dai docenti del Computer Vision and Multimedia Lab (CVML) a testimonianza della loro elevata competenza didattica e scientifica.

Il libro, dopo una breve introduzione su alcuni cenni storici relativi alla basilica di San Pietro in Ciel d'Oro e sull'Arca di Sant'Agostino e aver descritto in dettaglio la struttura del monumento, dei bassorilievi, delle scene e dei personaggi presenti, affronta da un punto di vista scientifico il tema della modellazione 3D, evidenziandone i principali elementi tecnici legati alla determinazione di una rappresentazione matematica delle superfici di un oggetto in modo tale che l'oggetto possa essere visualizzato sia attraverso immagini 2D sia attraverso rappresentazioni 4D nello spazio e nel tempo. Particolare enfasi è data alle tecniche di modellazione e riproduzione fedele dei personaggi e dei loro vestiti, evidenziandone le differenti *texture* e materiali. Il libro si conclude con la presentazione dei principali risultati scientifici raggiunti dal progetto triennale

fourteenth century and located in the basilica of San Pietro in Ciel d'Oro.

The Ark of St. Augustine is a very complex and articulated monument, made up of 95 statues and 50 bas-reliefs on four sides, for a total of over 400 characters. Its location above the altar at a height of more than 3 meters limits observation, giving only a partial view of the bas-reliefs and decorations. To make the Ark of St. Augustine more accessible to the public, facilitate its observation, and enhance the beauty of the individual decorations and details of the bas-reliefs, a 3D reconstruction of the monument has been proposed. Owing to its complexity, the project required the involvement of over a hundred students, wisely coordinated by the teachers of the Computer Vision and Multimedia Lab (CVML), as evidence of their educational and scientific competence.

After a brief introduction with historical hints about San Pietro in Ciel d'Oro and the Ark of St. Augustine, the book describes in detail the structure of the monument and its bas-reliefs, with related scenes and characters. It goes on to deal from a scientific point of view with the theme of 3D modeling, highlighting the main technical requirements to determine a mathematical representation of an object surface, so that the object can be displayed both through 2D images and 4D representations in space and time. Particular emphasis is given to the modeling techniques and faithful reproduction of the characters and their clothes, highlighting the different textures and materials. The book concludes with the presentation of the main scientific results achieved with the three-year project and, as requested by the international scientific literature, the 3D models are compared with the original sculpture.

e, come richiesto dalla letteratura scientifica internazionale, con la comparazione del modello ottenuto con la scultura originale.

L'aspetto maggiormente innovativo del lavoro presentato nel libro, a mio avviso, risiede nell'aver raggiunto un'ottima interazione tra rigore scientifico e approfondimento culturale, ossia nell'aver saputo coniugare sapientemente le esigenze e le problematiche indicate degli esperti di area umanistica con le potenzialità e le capacità dei nuovi strumenti digitali operati dagli esperti informatici. Oltre ad aver reso possibile una fruizione di qualità e di alto livello storico-artistico di un monumento di così grande rilievo sia nella sua interezza che nei minimi dettagli, il progetto ha permesso di proporre un esempio importante di come il paradigma di insegnamento di tipo *Experiential Learning*, sia in grado di portare gli studenti a realizzare progetti complessi ed articolati e nel contempo creare sinergie tra il mondo accademico e il territorio, fondamentali per il futuro del nostro paese.

Il volume, pur affrontando tematiche scientifiche innovative e complesse quali la realtà virtuale e aumentata, la modellazione e ricostruzione 3D applicate ad un problema reale di elevata complessità tecnica, risulta di facile e piacevole lettura e comprensione, arricchito in ogni sua parte da numerose immagini di elevata qualità e dettaglio oltre che da video illustrativi, e costituisce, a mio avviso, un grande strumento di promozione della storia e della cultura della città di Pavia e dell'Italia.

**Gian Luca Foresti**

*Professore, Università di Udine - Past President  
Italian Association for Computer Vision, Pattern  
Recognition and Machine Learning (CVPL)*

The most innovative aspect of the project presented in this book, in my opinion, is the excellent interaction achieved between scientific rigor and cultural enrichment. The volume skilfully combines the needs and problems addressed by experts in the Humanities with the potential and capabilities of the new digital tools implemented by computer experts. Besides offering a high quality historical and artistic reading of such an important monument, both in its entirety and in its smallest details, the project has proposed an important example of how the paradigm of *Experiential Learning* allows students to realize complex, articulated projects. At the same time, it is an opportunity to create synergies between the academic world and the local community, fundamental for the future of our country.

While addressing innovative and complex scientific issues, such as virtual and augmented reality, 3D modeling and reconstruction applied to a real problem of high technical complexity, this volume is easy and pleasant to read and understand, and is enriched in every chapter by numerous images of high quality and detail as well as illustrative videos. It is, in my opinion, a great tool for promoting the history and culture of the city of Pavia and Italy.

**Gian Luca Foresti**

*Professor, Università di Udine - Past President  
Italian Association for Computer Vision, Pattern  
Recognition and Machine Learning (CVPL)*



Per preservare il nostro patrimonio e la nostra memoria, e attrarre nuovi visitatori, molti musei in tutto il mondo cercano di fornire a ogni visitatore (disabile visivo o meno) pari accesso alle loro collezioni (dipinti, arazzi, affreschi, sculture, ecc.), spesso scavalcando l'oculocentrico approccio alla percezione dell'arte. Questo modo post-oculocentrico di rappresentazione delle opere d'arte è un approccio originale per creare nuove esperienze museali inclusive, rendendo così finalmente i musei accessibili a tutti: ai visitatori vedenti "tradizionali e abituali" (poiché i musei sono stati inizialmente creati come supporto delle arti visive) e ai visitatori non vedenti e ipovedenti (BVIP). Inoltre, l'aggiunta della potenza della tecnologia della realtà virtuale rende possibile creare un'esperienza di visita museale innovativa e più coinvolgente.

Questo libro introduce le tecnologie del software 3D in ambito museale, consentendo di creare una nuova impressione estetica in ogni visitatore. Inoltre, la descrizione degli strumenti e dei metodi utilizzati invita il lettore ad applicare le stesse tecnologie in altri contesti della nostra società.

Questo lavoro è il terzo di una serie, dopo "Pavia, la Battaglia, il Futuro. 1525-2015 Niente era più come prima. CVML e SMART Lab alla Mostra"<sup>1</sup>, dove viene descritta una rappresentazione tattile (legno-resina) di questa battaglia utile ad una lettura BVIP, scritto in occasione dell'Esposizione Universale di Milano 2015, e dopo "Ricostruzione virtuale di Pavia nel XVI secolo"<sup>2</sup> (entrambi a cura di Pavia University Press, stampati rispettivamente nel 2016 e nel 2018). Questo libro è dedicato alla presentazione digitale dell'Arca di Sant'Agostino, un monumento che si trova a Pavia, utilizzando le più recenti e originali tecnologie basate sulla *computer vision*.

In effetti, l'attuale libro propone un nuovo approccio originale alle opere d'arte che includono presentazioni ripetibili (create in qualsiasi numero di copie) tramite ricostruzioni 3D e stampa

To preserve our heritage and memory of the Past, many museums around the world have frequently attempted to attract new visitors by using post-oculocentric perceptions of art to give all visitors, the visually disabled included, equal access to their collections of paintings, tapestries, frescos, sculptures and other works of art. Replacing the conception of museums as a support for visual arts with post-oculocentric representations has generated new, inclusive museum experiences that make museums accessible to the blind and visually impaired as well as to sighted visitors: in particular, the introduction of virtual reality technology has made museum visits more immersive and innovative with respect to the past.

With its detailed description of the tools and methods used, the volume introduces 3D software technologies for museums that create new aesthetic impressions for all visitors while encouraging readers to apply these technologies to other social contexts. This is the third volume in the series and follows on from the "Pavia, the Battle, the Future. 1525-2015 Nothing was the same again. CVML and SmartLab at the exhibition"<sup>1</sup>, written on the occasion of the 2015 Universal Exhibition in Milan, which describes a tactile, wood-resin representation of this battle made available for blind and visually impaired and "Virtual Reconstruction of Pavia in the 16<sup>th</sup> Century"<sup>2</sup> (respectively published by Pavia University Press in 2016 and 2018).

The volume is dedicated to the Ark of St. Augustine, a work of art located in Pavia, whose detailed digital form has been accomplished using the latest and original computer vision-based technologies, 3D lenticular printing included. It thus promotes a new and original approach to artworks as any number of copies can be produced thanks to the adoption of 'repeatable' 3D reconstruction/presentation techniques and

3D (produzione additiva) di elementi racchiusi in diversi dipinti/arazzi/sculture.

Inoltre, l'utilizzo di tecnologie di ricostruzione 3D e di realtà virtuale (aumentata e diminuita) permette di creare una nuova esperienza immersiva dell'Arca di Sant'Agostino che può essere condivisa con altri. In aggiunta, le possibilità multimodali/multisensoriali degli ambienti di realtà virtuale (VR) e le sue variabili di controllo consentono di immaginare e creare l'ambiente immersivo passato (e futuro) di un'opera d'arte, influenzandone la potenziale percezione e quindi l'interpretazione. In effetti, possiamo regolare l'illuminazione della scena/oggetto, ridimensionarla e creare dati relativi a suoni e odori. Possiamo modificare le posizioni di visualizzazione (osservazione) (ego- (o prima persona) o allo-centrate) e applicare loro trasformazioni geometriche 3D. Possiamo aumentare/aggiungere artefatti distrutti o rimuovere modifiche impreviste dei restauri precedenti. Possiamo giocare con l'intensità delle componenti cromatiche per ottenere la migliore percezione fisiologica (o simulata) di un'opera d'arte. Varie visualizzazioni e creazioni della dinamica dello stesso elemento nel suo contesto "naturale" passato e futuro (immaginato) sono possibili dalla sua animazione, dalla navigazione intorno e dentro di esso, ecc.; in breve, la realtà virtuale ci consente di eseguire non solo quasi tutte le manipolazioni visive e tattili che facciamo frequentemente nel mondo reale, ma anche nuove manipolazioni (come la navigazione in tempo reale all'interno di un oggetto digitalizzato o la costruzione di un edificio reale).

Il libro è un'ottima introduzione al complesso argomento di ricostruzione 3D attendibile, in particolare del patrimonio artistico, in quanto fornisce dati precisi e preziosi sui contesti storici e architettonici della Basilica di San Pietro in Ciel d'Oro e dell'Arca di Sant'Agostino (capitolo 2), sugli strumenti software e gli approcci algoritmici

use of additive 3D printing of items in different paintings, tapestries and sculptures.

In other words, the use of reconstruction and (augmented and diminished) virtual reality technologies allows new immersive experiences of the Ark of St. Augustine to be created and shared with others. In particular, VR's multimodal and multisensory affordances ensure immersive past (and future) artwork environments can be imagined and created. Controls over them allow scene/object illumination to be tuned and scaled, sounds to be created, data to be smelled. A variety of viewing positions (e.g. self/other-centred) can be adopted and 3D geometric transformations applied. We can augment and/or add artefacts that have been lost or, alternatively, remove unexpected modifications from previous restorations. We can play with the intensity of chromatic components obtaining the best physiological (or simulated) perceptions of artworks. Various displays and dynamic creations of the same items in their "natural" past and (imagined) future contexts become possible through animation or navigation around and within them. In a nutshell, VR allows us to perform almost all the visual and haptic manipulations that we frequently undertake in the real world, as well as new ones such as real-time navigation inside a digitalized object or the "real time" construction of a building.

The volume is an excellent introduction to this very complex topic of reliable 3D reconstruction, especially in the heritage sector, as it provides precise and precious data on the historical and architectural contexts of the Basilica of San Pietro in Ciel d'Oro and the Ark of St. Augustine (Chapter 2), on the software tools and algorithmic approaches used for 3D modeling and its scientific and aesthetic tunings (Chapter 3 et seq.). It is a unique and comprehensive introduction to this very complex topic targeting different potential audiences:

utilizzati per la modellazione 3D e sul relativo tuning scientifico ed estetico (capitolo 3 e seguenti). Il libro è rivolto a diversi potenziali lettori:

- studenti coinvolti nell'apprendimento esperienziale di *Computer Vision* (più di cento studenti del corso omonimo presso l'Università di Pavia sono stati coinvolti in questo lavoro utilizzando *Blender* e *Adobe Fuse*) e di Studi Umanistici (interessati alle possibilità offerte dalle più avanzate tecnologie per la conservazione del Patrimonio Culturale Umano);
- ricercatori delle scienze e delle discipline umanistiche (ad esempio nuovi studiosi che necessitano di una panoramica pertinente di questo complesso argomento) e delle neuroscienze (per una migliore comprensione del processo mentale che porta all'emergere di impressioni estetiche delle opere d'arte in ogni tipo di visitatore del museo);
- curatori museali (al fine di conoscere l'approccio migliore per preservare il patrimonio museale e progettare nuove esperienze museali), e
- decisori politici in ambito patrimonio culturale ed artistico.

Questo libro e i suoi "libri fratelli" (quelli della stessa serie) sono importanti contributi ai programmi di *Digital Humanities*, non solo in Italia, ma in tutto il mondo, e confermano le qualità del professor Virginio Cantoni di eccezionale ricercatore in *Computer Vision* e docente che trasmette la sua passione, conoscenza ed esperienza alle nuove generazioni.

**Edwige Pissaloux**

*Professore, Università di Rouen Normandie,  
Francia*

- students involved in experimental learning about Computer Vision: more than one hundred students from the Computer Vision course of Pavia University were involved in this work using *Blender* and/or *Adobe Fuse*; in addition, students from the Humanities interested in the possibilities offered by the most advanced technologies for the preservation of Human Cultural Heritage;
- researchers and academics, from both Sciences and Humanities who are newcomers to this discipline and who need an overview of this complex topic, as well as those from Neurosciences who need a better understanding of the mental processes leading to the formation of museum visitors' aesthetic impressions of artworks;
- museum curators who need to learn the best ways to conserve museum collections and design new museum experiences;
- heritage policymakers.

Like the previous volumes in this series, this volume is an important contribution to Digital Humanities programs, in Italy and elsewhere and confirms Professor Cantoni's exceptional qualities as a researcher in Computer Vision and as a teacher who translates his passion, knowledge and experience to new generations through flipped classroom and game-based learning.

**Edwige Pissaloux**

*Professor, University of Rouen Normandie,  
France*

Le celebrazioni agostiniane del 2023 sono un appuntamento centrale per la nostra città, che l'Amministrazione comunale intende promuovere perché Pavia sia sempre meglio conosciuta quale città di Sant'Agostino.

L'obiettivo è infatti valorizzare questo suo specifico nella geografia culturale e spirituale a livello nazionale e internazionale. Sappiamo bene che ogni discorso su Pavia e il Padre della Chiesa non può prescindere dalla preziosa Arca in San Pietro in Ciel d'Oro che ne conserva le spoglie, cuore di ogni progetto, fulcro di ogni attività di promozione e valorizzazione dedicata al binomio Pavia-Sant'Agostino, protagonista infatti di questo volume.

Il lavoro nasce in ambito tutto accademico, con un impegno scientifico importante rivolto non solo allo studio dell'Arca quale eccellenza del nostro patrimonio storico-artistico, ma anche come simbolo dell'intreccio di più piani tra storia e arte sul quale operare per farne oggetto di una divulgazione più ampia, sempre rigorosa, in grado di raggiungere il pubblico più vasto, grazie all'utilizzo delle tecnologie più contemporanee.

Virginio Cantoni, Mauro Mosconi e Alessandra Setti, coordinando anche il lavoro dei tanti studenti che in tre anni accademici si sono impegnati in questo progetto, hanno realizzato così un'opera che, nel rispetto dei valori culturali e storici dell'oggetto dell'indagine, diventa strumento per una fruizione nuova, più attuale, dell'Arca e della sua storia, promuovendone la conoscenza e vivificandone in chiave contemporanea la preziosità.

**Mario Fabrizio Fracassi**  
*Sindaco di Pavia*

As the 2023 Augustinian celebrations are a key event for our city, the Municipal Administration is keen to make Pavia better known as St. Augustine's city.

The goal is to enhance this cultural, spiritual, and geographical aspects nationally and internationally. No discourse on Pavia or the Father of the Church can be separated from the precious Ark in San Pietro in Ciel d'Oro, where his remains are preserved. The Ark is the heart of all projects concerned with the relationship between Pavia and St. Augustine. It is the cardinal aspect of every form of promotion in this respect. It is the protagonist of this volume.

The work was born in an entirely academic context, with an important scientific commitment addressed both to the study of the Ark as an excellence of our historical and artistic heritage, and as a symbol of the interplay between history and art, on which to operate to make it the object of a wider and rigorous dissemination, thanks to the use of the most up-to-date technologies.

Virginio Cantoni, Mauro Mosconi and Alessandra Setti have coordinated the many students who worked on this project over three academic years and have created a work that, respecting cultural and historical values, becomes a tool for a new, more up-to-date interpretation of the Ark and its history, promoting knowledge about it and underscoring its contemporary relevance.

**Mario Fabrizio Fracassi**  
*Sindaco di Pavia*

## Ringraziamenti

Un enorme ringraziamento ai ricercatori del Laboratorio CVML e agli studenti del corso di Computer Vision della laurea magistrale in Computer Engineering dell'Università di Pavia degli anni accademici 2017/18, 2018/19 e 2019/20. Elencare tutti qui è impossibile, ma una tabella riassuntiva, inclusa nel quinto capitolo, associa ad ogni studente i modelli 3D per i quali ha lavorato.

Meritano però una menzione speciale tre tesi che hanno sviluppato un lavoro di omogeneizzazione di quanto prodotto dai colleghi per i diversi ordini dell'Arca, integrando i modelli e predisponendo il relativo video finale: in ordine alfabetico, Luigi Zaccaria Del Pio, Alessio Gullotti e Deborah Tandurella. A questi vorremmo esplicitamente aggiungere Clara Davite, che, da tesista del corso di laurea magistrale in Comunicazione Digitale (COD), ha contribuito alla formulazione e alla stesura del testo. Una menzione particolare va anche a Luigi Santangelo per l'indispensabile supporto per l'uso delle architetture di calcolo parallelo Galileo e Marconi del CINECA (Consorzio Interuniversitario italiano per il Supercalcolo) e quelle disponibili presso l'Area Sistemi Informativi dell'Università di Pavia.

In conclusione, ancora una volta, un doveroso ringraziamento ad Anthony Baldry per il lavoro straordinario ed indispensabile nel 'riscrivere' la nostra versione inglese.

Questo libro non sarebbe potuto uscire senza il contributo finanziario della Fondazione Comunitaria della Provincia di Pavia Onlus con la Fondazione CARIPLO, del Rotary Club Pavia, del Comune di Pavia, di CompVter APS e il supporto dell'Università di Pavia.

*I curatori*

**Virginio Cantoni,  
Mauro Mosconi,  
Alessandra Setti**

## Acknowledgments

We would like to thank the researchers of the CVML Laboratory and the students of the Computer Vision course of the Master's degree in Computer Engineering of the University of Pavia of the academic years 2017/18, 2018/19, and 2019/20. It is impossible to list them all, but their names, associated with the 3D models for which they worked, are reported in a final table, in chapter five. However, three thesis students deserve a special mention, who have developed a work of homogenization of the peers' projects for the different levels of the Ark, integrating the single 3D models and producing the related final video: in alphabetical order, Luigi Zaccaria Del Pio, Alessio Gullotti, and Deborah Tandurella. To these we should explicitly add Clara Davite, thesis student of the Master's degree course on Digital Communication (COD), who contributed to the formulation and drafting of the text. We also extend our appreciation to Luigi Santangelo, who masterly managed the parallel implementation on Galileo and Marconi clusters of CINECA (the Italian inter-university Consortium for High Parallel Computing) and those available at the Information Systems Area of the University of Pavia.

Once again, special thanks should go to Anthony Baldry for his huge and exceptional job in 'rewriting' our English version.

Finally, we are grateful to the Community Foundation of the Province of Pavia Onlus, the Rotary Club of Pavia, the Municipality of Pavia, and CompVter APS for supporting the initiative with their financial contribution, and to the University of Pavia for its support.

*The editors*

**Virginio Cantoni,  
Mauro Mosconi,  
Alessandra Setti**

1. Cantoni V., Karastoyanov D., Mosconi M., Setti A. eds.,  
“*Pavia, la Battaglia, il Futuro. 1525-2015 Niente fu come prima. CVML e SMART Lab alla Mostra*” /  
“*Pavia, the Battle, the Future. 1525-2015 Nothing was the same again. CVML and SMART Lab at the Exhibition*”,  
Pavia, Pavia University Press, 2016, ISBN: 978-88-6952-035-8.
2. Cantoni V., Mosconi M., Setti A. eds.,  
“*Ricostruzione virtuale di Pavia nel XVI secolo*” / “*Virtual Reconstruction of Pavia in the 16<sup>th</sup> century*”,  
Pavia, Pavia University Press, 2018, ISBN: 978-88-6952-085-3.