

COLLANA
3D MODELING & BIM

PROLIFERAZIONI

A CURA DI TOMMASO EMLER,
ADRIANA CALDARONE, ALEXANDRA FUSINETTI

PUBLICA

ISBN 9788899586591



Finanziato
dall'Unione europea
NextGenerationEU



Ministero
dell'Università
e della Ricerca



Italiadomani
PIANO NAZIONALE
DI RIPRESA E RESILIENZA



SAPIENZA
UNIVERSITÀ DI ROMA



Movimi
Italianpress

Tommaso Emler, Adriana Caldarone, Alexandra Fusinetti (a cura di)

3D Modeling & BIM 2025 - Proliferazioni

© PUBBLICA, Alghero, 2025

ISBN 9788899586591

Pubblicazione Ottobre 2025

Questa pubblicazione è distribuita in modalità Open Access.

La valutazione dei contributi pubblicati è avvenuta con la modalità del double blind review da parte di referee facenti parte di un apposito comitato scientifico.

The evaluation of the published contributions was carried out through a double-blind review process by referees belonging to a dedicated scientific committee.

Dipartimento di Storia, Disegno e Restauro dell'Architettura
Sapienza Università di Roma

DIPARTIMENTO DI STORIA
DISEGNO E RESTAURO
DELL'ARCHITETTURA



SAPIENZA
UNIVERSITÀ DI ROMA

Progetto grafico: Pasquale Micelli, Silvia Ridolfi
Crediti immagine di copertina: Rinaldo D'Alessandro

PUBLICA

Dipartimenti di Architettura, Design e Urbanistica
Università degli Studi di Sassari
www.publicapress.it



A cura di:
Tommaso Emler, Adriana Caldarone, Alexandra Fusinetti

3D MODELING & BIM

PROLIFERAZIONI

Il volume raccoglie i contributi, dei relatori e degli studiosi, pervenuti in occasione del *Workshop 3DModeling&BIM. Proliferazioni*, che si è svolto a Roma in data 17-18 aprile 2025.

Il workshop e i presenti atti rientrano tra le attività previste dal progetto "Comunicazione e valorizzazione del Patrimonio Culturale" del PNRR, Iniziative Educative Transnazionali (TNE), Missione 4, Investimento 3.4, Sottomisura T4.

This book collects contributions, of speakers and scholars, received during the *Workshop 3Dmodeling & BIM. Proliferations*, which took place in Rome on April 17th-18th 2025.

The workshop and the present proceedings are part of the activities envisaged by the project "Communication and Enhancement of Cultural Heritage" within the framework of the National Recovery and Resilience Plan (PNRR), Transnational Educational Initiatives (TNE), Mission 4, Investment 3.4, Submeasure T4.

Organizing Committee

Director

- Tommaso Empler

Scientific Coordinator 3D Modeling

- Alexandra Fusinetti

Scientific Coordinator HBIM, Data and Semantics

- Adriana Caldarone

Leonardo Baglioni
Carlo Bianchini
Michele Calvano
Andrea Casale
Emanuela Chiavoni
Elena D'Angelo
Carlo Inglese
Elena Ippoliti
Alfonso Ippolito
Marta Salvatore
Graziano Mario Valenti

Scientific Committee

- Massimo Babudri, Ordine degli Ingegneri di Roma (Italy)
- Salvatore Barba, Università degli Studi di Salerno (Italy)
- Carlo Bianchini, Sapienza Università di Roma (Italy)
- Fabio Bianconi, Università di Perugia (Italy)
- Cecilia Maria Bolognesi, Politecnico di Milano (Italy)
- Stefano Brusaporci, Università dell'Aquila (Italy)
- Adriana Caldarone, Sapienza Università di Roma (Italy)
- Michele Calvano, Istituto di Scienze del Patrimonio Culturale CNR (Italy)
- Maria Grazia Cianci, Università Roma Tre (Italy)
- Enrico Cicalò, Università degli Studi di Sassari (Italy)
- Tommaso Empler, Sapienza Università di Roma (Italy)
- Marco Filippucci, Università di Perugia (Italy)

- Donatella Fiorani, Sapienza Università di Roma (Italy)
- Alexandra Fusinetti, Università degli Studi di Sassari (Italy)
- Elena Gigliarelli, Istituto di Scienze del Patrimonio Culturale CNR (Italy)
- Elena Ippoliti, Sapienza Università di Roma (Italy)
- Massimiliano Lo Turco, Politecnico di Torino (Italy)
- Giovanna Massari, Università di Trento (Italy)
- Javier Nuñez, FADU - UBA (Argentina)
- Anna Osello, Politecnico di Torino (Italy)
- Ivan Paduano, Sapienza Università di Roma (Italy)
- Leonardo Paris, Sapienza Università di Roma (Italy)
- Sandro Parrinello, Università di Pavia (Italy)
- Bernardo Pérgamo, Universidad Nacional de Córdoba (Argentina)
- Fabio Quici, Sapienza Università di Roma (Italy)
- Alberto Raimondi, Università Roma Tre (Italy)
- Manuel Ròdenas, UPCT Universidad Politécnica de Cartagena (Spain)
- Maria Laura Rossi, Sapienza Università di Roma (Italy)
- Michela Rossi, Politecnico di Milano (Italy)
- Francesco Ruperto, Sapienza Università di Roma (Italy)
- Mario Sacco, BIM Expert (Italy)
- Cettina Santagati, Università di Catania (Italy)
- Alberto Sdegno, Università degli studi di Udine (Italy)
- Graziano Mario Valenti, Sapienza Università di Roma (Italy)
- Michele Valentino, Università degli Studi di Sassari (Italy)
- Valeria Zacchei, PhD BIM Expert (Italy)

Editorial Manager

- Pasquale Micelli, Sapienza Università di Roma (Italy)

INDICE

Summary

PRESENTAZIONE 16

Introduction

Tommaso Emler

IL MODELLO 3D TRA DOCUMENTAZIONE E VALORIZZAZIONE CULTURALE 22

3D Model Between Documentation and Cultural Valorization

Alexandra Fusinetti

“L’ASCOLTO DEL TEMPO”: LA MODELLAZIONE HBIM PER LA CONSERVAZIONE E LA VALORIZZAZIONE DEL PATRIMONIO STORICO 28

“Listening to the time”: HBIM modelling for the conservation and enhancement of historical heritage

Simona Alauria, Laura Baratin

LA COMPUTER GRAFICA PER LA RAPPRESENTAZIONE 3D DEL PATRIMONIO ARCHITETTONICO 46

Computer Graphics for the 3D Representation of Architectural Heritage

Gianluca Barile

IL BIM NELL’EDILIZIA SANITARIA: RIQUALIFICAZIONE FUNZIONALE E STRUTTURALE DEL CORPO F DEL P.O. ONCOLOGICO A. BUSINCO DI CAGLIARI 56

BIM in healthcare construction: functional and structural redevelopment of building F at the A. Businco Oncology Hospital in Cagliari

Massimiliano Benga, Maria Antonia Russo

LA COMPUTER GRAFICA PER LA RAPPRESENTAZIONE 3D DEL PATRIMONIO ARCHITETTONICO

Computer Graphics for the 3D Representation of
Architectural Heritage

Authors

Gianluca Barile¹

¹ Università degli studi di Napoli Federico II

Email

gianluca.barile@unina.it

Keywords

COMPUTER GRAPHICS
3D MODELING
AUGMENTED REALITY
ARCHITECTURAL HERITAGE
DRAWING

Abstract

La presente ricerca analizza l'evoluzione storica e teorica della computer grafica e ne indaga l'applicazione alla rappresentazione digitale del patrimonio architettonico. Attraverso tecniche di modellazione 3D, *rendering* e realtà aumentata, viene proposta una metodologia replicabile finalizzata alla conservazione e valorizzazione del patrimonio culturale, con particolare attenzione all'uso di piattaforme open source per la fruizione in realtà aumentata.

This research analyzes the historical and theoretical evolution of computer graphics and investigates its application to the digital representation of architectural heritage. Through 3D modeling, rendering, and augmented reality techniques, a replicable methodology is proposed, aimed at the conservation and enhancement of cultural heritage, with particular attention to the use of open-source platforms for augmented reality visualization.

Introduzione

L'impiego della computer grafica (CG) nel campo del patrimonio architettonico rappresenta oggi uno strumento essenziale per il rilievo e la divulgazione scientifica e culturale. Le tecnologie digitali, in particolare, il *laser scanning*, la fotogrammetria, la modellazione 3D e le tecniche di visualizzazione interattiva, consentono di acquisire, rappresentare e comunicare in maniera precisa e accessibile edifici storici e complessi architettonici di rilevanza culturale. Nel contesto del rilievo architettonico, la computer grafica permette una documentazione metrica estremamente dettagliata, utile per l'analisi morfologica, la comprensione delle fasi costruttive e la pianificazione di interventi conservativi. Allo stesso tempo, gli stessi modelli digitali trovano applicazione nella divulgazione, offrendo esperienze immersive e interattive rivolte a un pubblico più ampio, attraverso installazioni museali, piattaforme online e applicazioni di realtà aumentata o virtuale. In questo modo, la rappresentazione digitale diventa un ponte tra ricerca scientifica e comunicazione pubblica [1], contribuendo a rendere il patrimonio architettonico più comprensibile, accessibile e valorizzato su scala globale.

Il termine "computer grafica" indica l'insieme delle tecnologie e delle metodologie informatiche impiegate per la creazione, la manipolazione e la visualizzazione di immagini bidimensionali e modelli tridimensionali. Nell'ambito della rappresentazione del patrimonio architettonico, essa si configura come uno strumento particolarmente efficace per l'elaborazione e la restituzione visiva di dati complessi, contribuendo sia alla documentazione che all'interpretazione critica dei manufatti storici. La computer grafica consente non solo di generare immagini fedeli alla realtà rilevata, ma anche di produrre rappresentazioni interpretative che arricchiscono l'informazione visiva con elementi simbolici e metadati, facilitando la comprensione di aspetti strutturali, storici o funzionali spesso non immediatamente leggibili. Un esempio emblematico è la ricostruzione virtuale di parti mancanti o degradate, che permette di restituire un'immagine plausibile dello stato originario dell'opera, oppure la visualizzazione di dati stratigrafici o materici che evidenziano trasformazioni nel tempo. Tali rappresentazioni, che vanno oltre il semplice rilievo geometrico, offrono strumenti interpretativi utili sia per la ricerca scientifica che per la comunicazione verso un pubblico più ampio, contribuendo a rendere il patrimonio architettonico più accessibile e comprensibile [2].

Evoluzione storica e teorica della Computer Grafica

L'evoluzione della computer grafica può essere compresa attraverso un'analisi temporale che parte dalle prime elaborazioni teoriche del secondo dopoguerra fino ai più recenti sviluppi nel campo dell'intelligenza artificiale. L'avanzamento della CG è stato strettamente legato al progresso tecnologico, e la sua storia può essere suddivisa in sei epoche fondamentali, ognuna delle quali ha segnato un passaggio chiave nella sua definizione e applicazione: l'epoca matematica, l'epoca *hardware*, l'epoca *videogames*, l'epoca *render*, l'epoca *console* e l'epoca *new generation* (Fig. 1).

Negli anni immediatamente successivi alla Seconda guerra mondiale si pongono le basi teoriche della computer grafica. Vengono sviluppati concetti matematici fondamentali per la modellazione digitale, tra cui le curve *B-Spline*, teorizzate dal matematico I. J. Schoenberg, e

Introduction

The use of computer graphics (CG) in the field of architectural heritage today represents an essential tool for surveying and scientific and cultural dissemination. Digital technologies, particularly laser scanning, photogrammetry, 3D modeling, and interactive visualization techniques, enable the precise and accessible acquisition, representation, and communication of historic buildings and architectural complexes of cultural significance. In the context of architectural surveying, computer graphics allows for extremely detailed metric documentation, useful for morphological analysis, understanding construction phases, and planning conservation interventions. At the same time, these digital models find application in dissemination, offering immersive and interactive experiences aimed at a broader audience through museum installations, online platforms, and augmented or virtual reality applications. In this way, digital representation becomes a bridge between scientific research and public communication [1], contributing to making architectural heritage more understandable, accessible, and valued on a global scale.

The term computer graphics refers to the set of technologies and computational methodologies employed for creating, manipulating, and visualizing two-dimensional images and three-dimensional models. In the realm of architectural heritage representation, it serves as a particularly effective tool for processing and visually rendering complex data, contributing both to documentation and critical interpretation of historical artifacts.

Computer graphics enables not only the generation of images faithful to the surveyed reality but also the production of interpretative representations that enrich visual information with symbolic elements and metadata, facilitating the understanding of structural, historical, or functional aspects often not immediately apparent. An emblematic example is the virtual reconstruction of missing or degraded parts, which allows for a plausible image of the original state of the work, or the visualization of stratigraphic or material data highlighting transformations over time. Such representations, extending

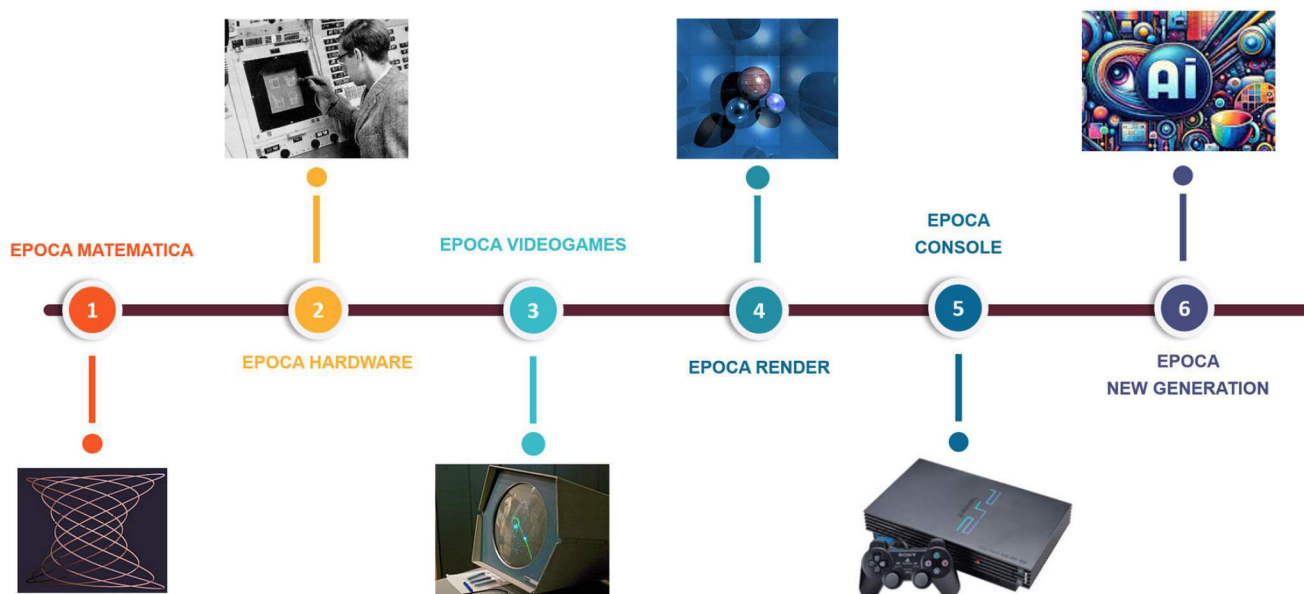


Fig. 1: Panorama temporale sull'evoluzione dei concetti essenziali della computer grafica dagli anni '50 ai giorni nostri. Immagine elaborata

Fig. 1: Temporal overview of the evolution of key computer graphics concepts from the 1950s to the present day. Image created by the

le curve a interpolazione polinomiale, note come curve Bézier. In questo periodo, Ben Laposky realizza le prime immagini grafiche elettroniche utilizzando oscilloscopi, generando figure di Lissajous. Questi contributi costituiscono le fondamenta teoriche per la generazione di forme complesse attraverso calcoli computazionali.

Negli anni Cinquanta si assiste a una rapida evoluzione dell'*hardware*, con la nascita dei primi sistemi di interfaccia uomo-macchina [3]. È in questo contesto che vengono sviluppati i primi *display* vettoriali e le penne ottiche, strumenti che permettono l'interazione diretta con lo schermo. Un esempio emblematico è il sistema Sketchpad, sviluppato da Ivan Sutherland nel 1963, considerato uno dei primi veri *software* di grafica interattiva. Questa fase segna il passaggio dal calcolo numerico alla rappresentazione grafica su schermo.

Durante gli anni Sessanta, la grafica digitale trova una nuova spinta nel settore dell'intrattenimento. Nascono i primi videogiochi come Tennis for Two (1958), Spacewar! (1962) e Pong (1972), che dimostrano le potenzialità visive e interattive del computer. L'ambito ludico diventa un importante terreno di sperimentazione per strumenti e tecnologie che troveranno in seguito applicazione anche in ambiti scientifici, come la realtà virtuale (VR) e la realtà aumentata (AR). Queste tecnologie, inizialmente sviluppate per l'intrattenimento, oggi costituiscono strumenti centrali anche nella divulgazione del patrimonio culturale [4].

Negli anni Settanta si afferma la ricerca sulla rappresentazione realistica delle immagini generate al computer. Nascono i primi modelli di oggetti tridimensionali destinati al test di tecniche di *rendering*, come la celebre Utah Teapot. È anche il periodo in cui compaiono i primi esempi di CGI (*Computer-Generated Imagery*) nel cinema, come in Futureworld (1976). In parallelo, si teorizzano e implementano tecniche fondamentali come il *ray tracing*, lo *shading* e l'*Index of Refraction* (IOR), che permettono la simulazione fisicamente accurata del comportamento della luce su diverse superfici.

Negli anni Novanta, la CG si consolida nel settore consumer grazie all'espansione del mercato videoludico. Vengono lanciate le prime

beyond simple geometric surveying, offer interpretative tools useful for both scientific research and communication to a wider audience, contributing to making architectural heritage more accessible and comprehensible [2].

Historical and Theoretical Evolution of Computer Graphics

The evolution of computer graphics (CG) can be understood through a temporal analysis starting from the early theoretical developments of the post-World War II era up to the latest advancements in artificial intelligence. The advancement of CG has been closely linked to technological progress, and its history can be divided into six fundamental epochs, each marking a key transition in its definition and application: the mathematical epoch, the hardware epoch, the video game epoch, the rendering epoch, the console epoch, and the new generation epoch (Fig. 1).

In the immediate post-World War II years, the theoretical foundations of computer graphics were laid. Fundamental mathematical concepts for digital modeling were developed, including B-Spline curves, theorized by mathematician I. J. Schoenberg, and polynomial interpolation curves, known as Bézier curves.

console domestiche ad alte prestazioni grafiche, come quelle prodotte da Nintendo e Sony (PlayStation). In questo contesto si affermano le prime schede grafiche dedicate, tra cui le GeForce di NVIDIA, che abilitano il *rendering* tridimensionale in tempo reale. La democratizzazione dell'accesso alla grafica 3D segna un punto di svolta per molteplici settori, inclusi quelli della progettazione, del design e della comunicazione visiva.

L'attuale fase, definita *new generation*, è caratterizzata da un'accelerazione senza precedenti delle capacità computazionali. Le schede grafiche diventano sempre più potenti e specializzate, rendendo possibile la produzione cinematografica interamente in CGI, come nel caso di molte produzioni hollywoodiane. Inoltre, l'intelligenza artificiale gioca oggi un ruolo crescente nella generazione, manipolazione e ottimizzazione delle immagini, integrandosi con i flussi di lavoro tradizionali della computer grafica. Le reti neurali, i modelli generativi e gli algoritmi di machine learning ampliano il campo delle possibilità, aprendo nuovi scenari sia per la produzione artistica che per la divulgazione scientifica e museale.

La computer grafica e i suoi campi di applicazione

La CG è un campo interdisciplinare che comprende un insieme di tecniche e algoritmi informatici destinati alla generazione, manipolazione e visualizzazione di immagini e video digitali [5]. I principali ambiti di applicazione della computer grafica sono la modellazione, il *rendering* e l'animazione [6]. La modellazione è il processo attraverso cui si crea la rappresentazione digitale di oggetti tridimensionali, basandosi su dati geometrici che descrivono la forma di un oggetto nello spazio 3D. Tale processo avviene principalmente tramite la creazione di reti poligonali, note come *mesh*, o, nel caso di oggetti con geometrie primitive, mediante l'utilizzo di superfici *NURBS (Non-Uniform Rational B-Splines)*; che presentano alla base dei principi di modellazione basati sulla matematica [7]. Il *rendering* è il processo che trasforma i dati geometrici in immagini digitali, applicando caratteristiche visive come texture, materiali e illuminazione, per restituire una rappresentazione fotorealistica o stilizzata dell'oggetto.

L'animazione, infine, si occupa della modifica nel tempo degli oggetti e degli ambienti all'interno di una scena 3D, permettendo l'interazione dell'utente con i dati visualizzati.

La computer grafica trova applicazione in numerosi settori (Fig. 2), molti dei quali richiedono un'interazione diretta dell'utente con ambienti digitali [8]. Questa interazione può essere analizzata sotto due aspetti fondamentali: la modalità di interazione e la user experience (UX), che insieme definiscono l'efficacia e l'immersione in ambienti virtuali. Le tecnologie principali utilizzate per favorire questa interazione includono la Realtà Virtuale (VR), la Realtà Aumentata (AR) e la Realtà Estesa (XR), le quali combinano la visione fisica del mondo reale con elementi digitali.

Altri settori in cui la computer grafica svolge un ruolo cruciale sono il processing delle immagini, i videogiochi, gli effetti speciali (CGI) nel cinema, i cartoni animati e le simulazioni.

Dal disegno alla Computer Grafica

L'obiettivo principale di questa ricerca è stato lo sviluppo e la validazione di una metodologia replicabile su più casi studio, finalizzata

During this period, Ben Laposky created the first electronic graphic images using oscilloscopes, generating Lissajous figures. These contributions constitute the theoretical foundations for generating complex shapes through computational calculations.

In the 1950s, there was a rapid evolution of hardware, with the emergence of the first human-computer interface systems [3]. It was in this context that the first vector displays and optical pens were developed, tools that allowed direct interaction with the screen. An emblematic example is the Sketchpad system, developed by Ivan Sutherland in 1963, considered one of the first true interactive graphics software. This phase marks the transition from numerical computation to graphical representation on screen.

During the 1960s, digital graphics found new momentum in the entertainment sector. The first video games such as Tennis for Two (1958), Spacewar! (1962), and Pong (1972) were created, demonstrating the visual and interactive potential of computers. The gaming sector became an important testing ground for tools and technologies that would later find application in scientific fields, such as virtual reality (VR) and augmented reality (AR). These technologies, initially developed for entertainment, today constitute central tools also in the dissemination of cultural heritage [4].

In the 1970s, research focused on realistic representation of computer-generated images. The first models of three-dimensional objects intended for testing rendering techniques were created, such as the famous Utah Teapot. This period also saw the first examples of CGI (Computer-Generated Imagery) in cinema, as in Futureworld (1976). In parallel, fundamental techniques such as ray tracing, shading, and the Index of Refraction (IOR) were theorized and implemented, enabling the physically accurate simulation of light behavior on different surfaces.

In the 1990s, CG consolidated in the consumer sector thanks to the expansion of the video game market. The first high-performance home consoles were launched, such as those produced by Nintendo and Sony (PlayStation). In this context, the first dedicated graphics cards emerged, including NVIDIA's GeForce,

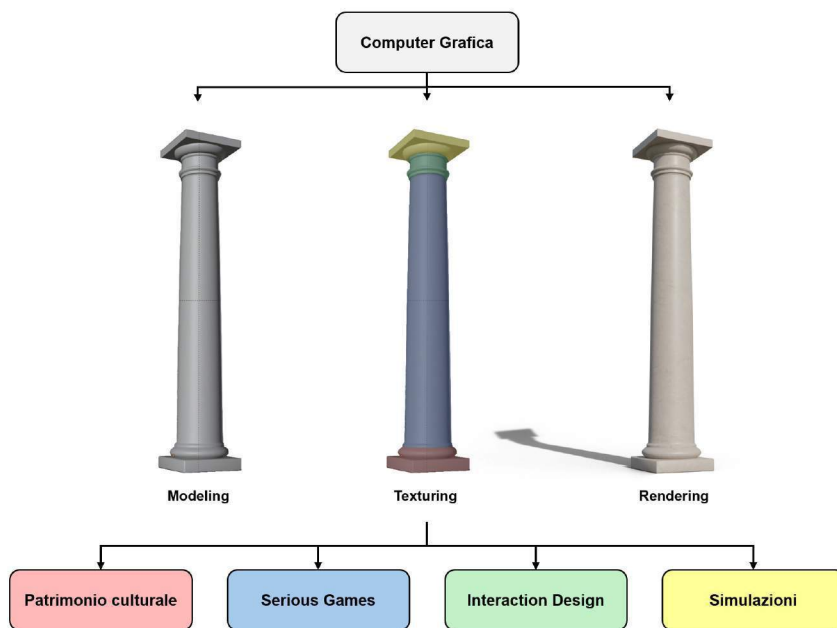


Fig. 2: La rappresentazione digitale mediante la computer grafica e i possibili campi di applicazione. Immagine elaborata dall'autore.

Fig. 2: Digital representation through computer graphics and its potential fields of application. Image created by the author.

all'elaborazione di soluzioni operative per ottimizzare il processo di rappresentazione digitale del patrimonio architettonico.

In questo contesto, la metodologia si propone anche come base per la realizzazione di applicazioni scientifico-divulgative, in particolare attraverso l'utilizzo dei serious games, con l'intento di rendere più accessibile e interattivo lo studio del patrimonio architettonico, anche per un pubblico non specializzato nell'uso di strumenti avanzati di acquisizione e modellazione 3D. Pur privilegiando l'impiego della computer grafica, l'approccio valorizza ancora il contributo degli strumenti analogici tradizionali, confermando il ruolo insostituibile del disegno manuale nell'interpretazione e nella comprensione critica del costruito.

La metodologia elaborata si articola in cinque fasi principali:

- Individuazione del caso studio;
- Raccolta delle informazioni storiche e geometriche;
- Interpretazione critica dell'oggetto da rappresentare;
- Modellazione 3D del manufatto;
- Visualizzazione statica e dinamica del modello.

Il caso studio selezionato riguarda la rappresentazione degli ordini architettonici delle colonne, la cui complessità geometrica e variazione formale costituiscono un banco di prova ideale per testare l'efficacia del metodo proposto (Fig. 3).

La modellazione degli ordini architettonici è stata preceduta da una fase di analisi comparativa tra diverse fonti storiche, in particolare i trattati di Giacomo Barozzi da Vignola [9] e Bernardo Antonio Vittone [10]. Il confronto tra questi testi ha consentito di individuare i parametri geometrici fondamentali per la corretta modellazione dell'oggetto (Fig. 4). La successiva fase di verifica e interpretazione dei dati si è svolta mediante il disegno analitico dell'oggetto architettonico, confermando che, nonostante l'impiego di strumenti digitali avanzati, il disegno manuale mantiene un ruolo centrale nella comprensione della forma e della struttura dell'architettura.

enabling real-time three-dimensional rendering. The democratization of access to 3D graphics marked a turning point for multiple sectors, including design, architecture, and visual communication.

The current phase, termed the new generation epoch, is characterized by an unprecedented acceleration of computational capabilities. Graphics cards are becoming increasingly powerful and specialized, making it possible to produce entirely CGI-based films, as in many Hollywood productions.

Furthermore, artificial intelligence now plays an increasing role in generating, manipulating, and optimizing images, integrating with traditional computer graphics workflows. Neural networks, generative models, and machine learning algorithms expand the realm of possibilities, opening new scenarios for both artistic production and scientific and museum dissemination.

Computer Graphics and Its Fields of Application

CG is an interdisciplinary field encompassing a set of computer techniques and algorithms aimed at generating, manipulating, and visualizing digital images and videos [5]. The main application areas of computer graphics are modeling, rendering, and animation [6]. Modeling is the process through which the digital representation of three-dimensional objects is created, based on geometric data describing the shape of an object in 3D space. This process primarily occurs through the creation of polygonal meshes or, in the case of objects with primitive geometries, using NURBS (Non-Uniform Rational B-Splines) surfaces, which are based on mathematical modeling principles [7]. Rendering is the process that transforms geometric data into digital images, applying visual characteristics such as textures, materials, and lighting, to provide a photorealistic or stylized representation of the object.

Animation, finally, deals with the temporal modification of objects and environments within a 3D scene, allowing user interaction with the displayed data.

Computer graphics finds application in numerous sectors [fig. 2], many of which require direct user interaction with digital

Una volta definiti i parametri, si è proceduto alla modellazione 3D dell'oggetto e alla sua visualizzazione statica (Fig. 5). Successivamente, si è sviluppata una modalità di visualizzazione dinamica in realtà aumentata (AR), utilizzando una piattaforma open source online: WebAR. Questa piattaforma consente l'upload diretto dei modelli 3D e la generazione automatica di un QR code. Quest'ultimo, se scansionato tramite l'apposita applicazione "AR Viewer", permette la fruizione del modello in realtà aumentata direttamente da smartphone o tablet (Fig. 6).

Conclusioni

La computer grafica 3D si configura oggi come uno strumento strategico per la valorizzazione del patrimonio architettonico, grazie alla sua capacità di supportare processi di digitalizzazione, documentazione, conservazione e comunicazione. L'impiego di tecnologie grafiche avanzate consente di rappresentare il costruito con elevati livelli di dettaglio, favorendo una comprensione più profonda e accessibile del patrimonio culturale, sia in contesti specialistici sia divulgativi.

Dal punto di vista della ricerca scientifica, le ricostruzioni digitali aprono nuove prospettive per l'analisi storica, archeologica e architettonica, offrendo strumenti interpretativi innovativi per lo studio delle trasformazioni nel tempo e per la simulazione di ipotesi ricostruttive.

Nel campo della didattica e della divulgazione, i modelli tridimensionali interattivi potenziano l'efficacia dei processi educativi e comunicativi, facilitando la fruizione del patrimonio anche da parte di un pubblico non specializzato. In questo scenario, l'integrazione tra visualizzazione statica, dinamica e immersiva si rivela fondamentale per stimolare l'interesse e migliorare l'esperienza utente.

L'avvento di tecnologie emergenti, in particolare l'intelligenza artificiale applicata alla computer grafica, sta ampliando ulteriormente le possibilità operative. L'evoluzione di schede grafiche intelligenti e algoritmi generativi rende possibile la creazione di ambienti virtuali sempre più realistici, adattivi e performanti, con implicazioni dirette sia nella progettazione sia nella fruizione del patrimonio digitale.

In un'ottica di approccio integrato, la grande versatilità della computer grafica, combinata con le potenzialità delle tecnologie digitali e la collaborazione interdisciplinare tra scienze umane, enti di ricerca e istituzioni culturali, apre la strada a nuove forme di rappresentazione, conservazione e valorizzazione del patrimonio architettonico. In questo contesto, un ulteriore obiettivo è rappresentato dall'integrazione con i processi di *Building Information Modeling (BIM)*, che consente una gestione strutturata e interoperabile dei dati, traducendoli in entità digitali facilmente accessibili e aggiornabili. La metodologia proposta, pertanto, si colloca all'interno di una visione evolutiva e sostenibile del patrimonio, capace di coniugare rigore scientifico, accessibilità e innovazione tecnologica.

environments [8]. This interaction can be analyzed under two fundamental aspects: the mode of interaction and user experience (UX), which together define the effectiveness and immersion in virtual environments. The main technologies used to facilitate this interaction include Virtual Reality (VR), Augmented Reality (AR), and Extended Reality (XR), which combine the physical vision of the real world with digital elements.

Other sectors where computer graphics plays a crucial role include image processing, video games, special effects (CGI) in cinema, cartoons, and simulations.

From Drawing to Computer Graphics

The primary objective of this research was the development and validation of a replicable methodology applicable across multiple case studies, aimed at devising operational solutions to optimize the digital representation process of architectural heritage.

Within this context, the methodology is also intended as a foundation for the creation of scientific and educational applications, particularly through the use of serious games, with the goal of making the study of architectural heritage more accessible and interactive even for audiences not specialized in advanced 3D acquisition and modeling tools. While emphasizing the use of computer graphics, the approach still values the contribution of traditional analog tools, reaffirming the irreplaceable role of hand drawing in the interpretation and critical understanding of the built environment. The developed methodology is articulated in five main phases:

- Identification of the case study;
- Collection of historical and geometric information;
- Critical interpretation of the object to be represented;
- 3D modeling of the artifact;
- Static and dynamic visualization of the model.

The selected case study concerns the representation of architectural column orders, whose geometric complexity and formal variation constitute an ideal testbed

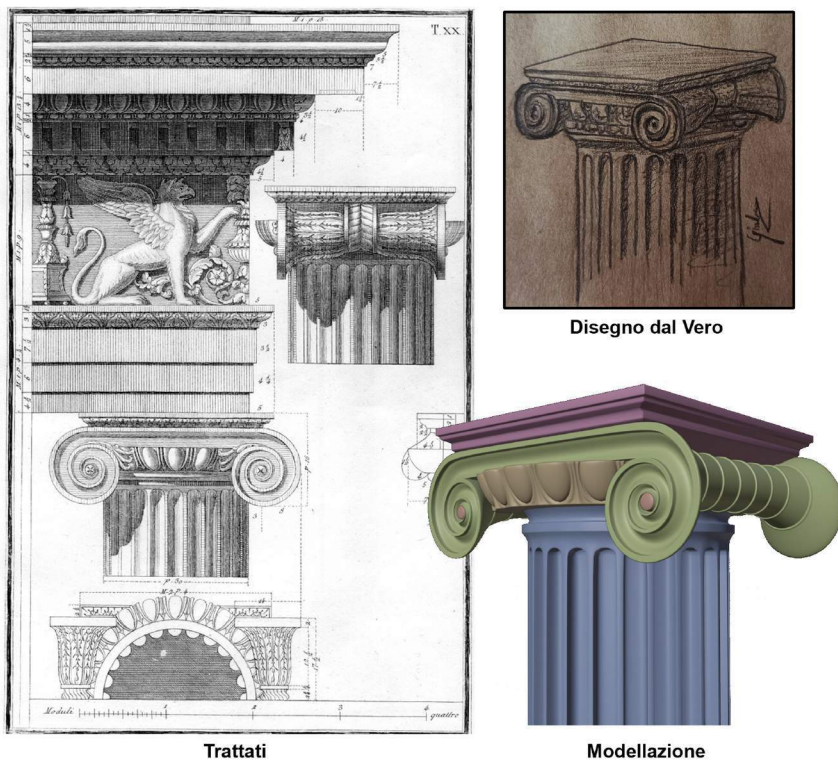


Fig. 3: Gli strumenti di modellazione digitale offerti dalla computer grafica per il patrimonio culturale devono essere supportati dagli strumenti "analogici". Composizione elaborata dall'autore (Tav. estrapolata dal Vignola). Immagine elaborata dall'autore.

Fig. 3: Digital modeling tools offered by computer graphics for cultural heritage must be supported by "analog" tools. Composition created by the author (Plate excerpted from Vignola). Image created by the author.

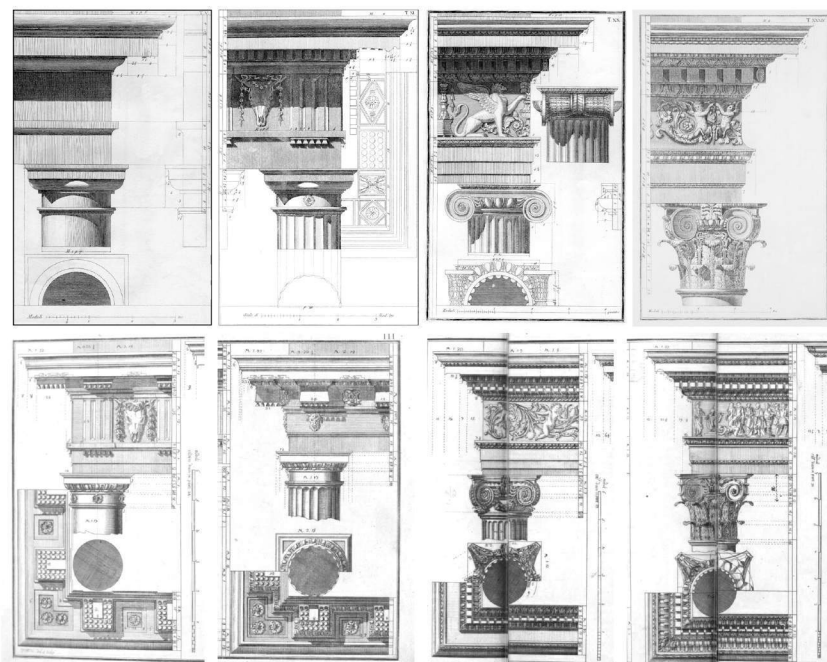


Fig. 4: I trattati sugli ordini architettonici del Vignola (fila superiore) e del Vittone (fila inferiore). Collage elaborato dall'autore.

Fig. 4: Architectural order treatises by Vignola (top row) and Vittone (bottom row). Collage created by the author.

for evaluating the effectiveness of the proposed method (Fig. 3). The modeling of architectural orders was preceded by a comparative analysis of various historical sources, in particular the treatises of Giacomo Barozzi da Vignola [9] and Bernardo Antonio Vittone [10]. The comparison of these texts made it possible to identify the fundamental geometric parameters for the accurate modeling of the object (Fig. 4).

The subsequent phase of data verification and interpretation was carried out through analytical drawing of the architectural object, confirming that—despite the use of advanced digital tools—manual drawing continues to play a central role in understanding the form and structure of architecture.

Once the parameters were defined, the 3D modeling of the object was carried out, followed by static visualization (Fig. 5). Subsequently, a dynamic visualization mode was developed using augmented reality (AR), through the use of an online open-source platform: WebAR. This platform allows direct uploading of 3D models and automatically generates a QR code. When scanned using the dedicated "AR Viewer" application, the QR code enables the AR visualization of the model directly on a smartphone or tablet (Fig. 6).

Conclusion

Three-dimensional computer graphics today represents a strategic tool for the enhancement of architectural heritage, due to its capacity to support processes of digitization, documentation, conservation, and communication. The use of advanced graphic technologies enables high-resolution representations of built heritage, fostering a deeper and more accessible understanding of cultural assets in both professional and educational contexts.

From a scientific research perspective, digital reconstructions open up new possibilities for historical, archaeological, and architectural analysis, providing innovative interpretative tools for studying temporal transformations and simulating hypothetical reconstructions.

In the fields of education and dissemination, interactive three-dimensional models enhance the effectiveness of educational and communication processes,



Fig. 5: Le fasi della modellazione 3D in Blender e la restituzione renderizzata dell'oggetto di studio. Immagine elaborata dall'autore.

Fig. 5: Stages of 3D modeling in Blender and the rendered output of the study object. Image created by the author.

- **Web-AR Studio;**



- **AR settings**



- **3D Model upload**



- **QR Code;**



- **AR application**

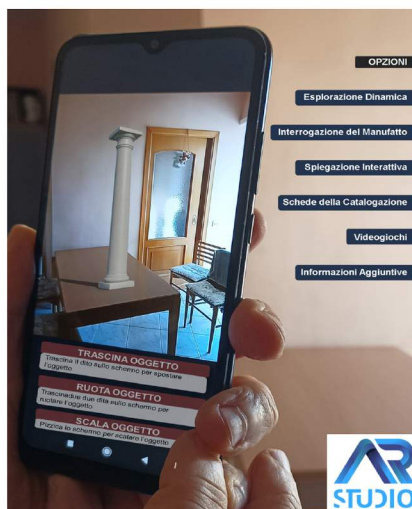


Fig. 6: Le fasi di sviluppo dell'applicazione di Realtà aumentata sulla piattaforma open source: WebAR. Immagine elaborata dall'autore.

Fig. 6: Development stages of the augmented reality application using the open-source platform WebAR. Image created by the author.

making heritage accessible even to non-expert audiences. In this scenario, the integration of static, dynamic, and immersive visualization proves fundamental to stimulating engagement and improving the user experience.

The emergence of new technologies particularly artificial intelligence applied to computer graphics is further expanding operational possibilities. The evolution of intelligent graphics hardware and generative algorithms enables the creation of increasingly realistic, adaptive, and high-performance virtual environments, with direct implications for both the design and use of digital heritage.

From an integrated approach perspective, the versatility of computer graphics, combined with the potential of digital technologies and interdisciplinary collaboration among the humanities, research institutions, and cultural organizations, paves the way for new forms of representation, conservation, and enhancement of architectural heritage. In this context, a further objective is the integration with Building Information Modeling (BIM) processes, which allows for the structured and interoperable management of data, translating it into easily accessible and updatable digital entities.

The proposed methodology thus positions itself within an evolutionary and sustainable vision of heritage, capable of combining scientific rigor, accessibility, and technological innovation.

Bibliografia

[1] COELHO, António, SOUSA, Augusto, FERREIRA Fernando Nunes (2020), *Procedural Modeling for Cultural Heritage*, in VISUAL COMPUTING FOR CULTURAL HERITAGE, Springer, Cham.

[2] CASTRO, Filippo, DOSTAL, Christopher. (2020). *Computer Graphics for Archaeology*, in VISUAL COMPUTING FOR CULTURAL HERITAGE, Springer, Cham.

[3] ARMANDUCCI, Alessandro (2010), *Computer grafica. Mondi sintetici e realtà disegnate*, Kaplan, Torino.

[4] WANG, Min, TONG, Jing, LU, Haoting (2024), *Digital Twin Technology of Metaverse Based on Game Engine in the Campus Application Scenarios*, in ACADEMIC JOURNAL OF ENGINEERING AND TECHNOLOGY SCIENCE, Francis-Press, Oxfordshire.

[5] CAPPELLI, M. (2008), *Enciclopedia della Scienza e della Tecnica*, in TRECCANI, Mondadori, Milano.

[6] MARSCHNER, Steve, SHIRELY, Peter (2015), *Foundamentals of Computer Graphics*, A K Peters/CRC Press, New York.

[7] DIMAS, E., BRIASSOULIS, Demetres (1999), *3D geometric modeling based on NURBS: a review*, in ADVANCES IN ENGINEERING SOFTWARE, Elsevier, Amsterdam.

[8] BOBOC, Răzvan Gabriel, BAUTU, Elena, GIRBACIA, Florin, POPOVICI, Norina, POPOVICI, Dorin-Mircea (2022), *Augmented Reality in Cultural Heritage: An Overview of the Last Decade of Applications*, in APPLIED SCIENCE, MDPI, Basel.

[9] BAROZZI, *Japoco detto Il Vignola (1562), Regola delli cinque ordini d'architettura*, Roma.

[10] VITTONI, Bernardo Antonio (1766), *Istruzioni elementari di architettura civile, Per gli Agnelli e Comp.*, Lugano.

