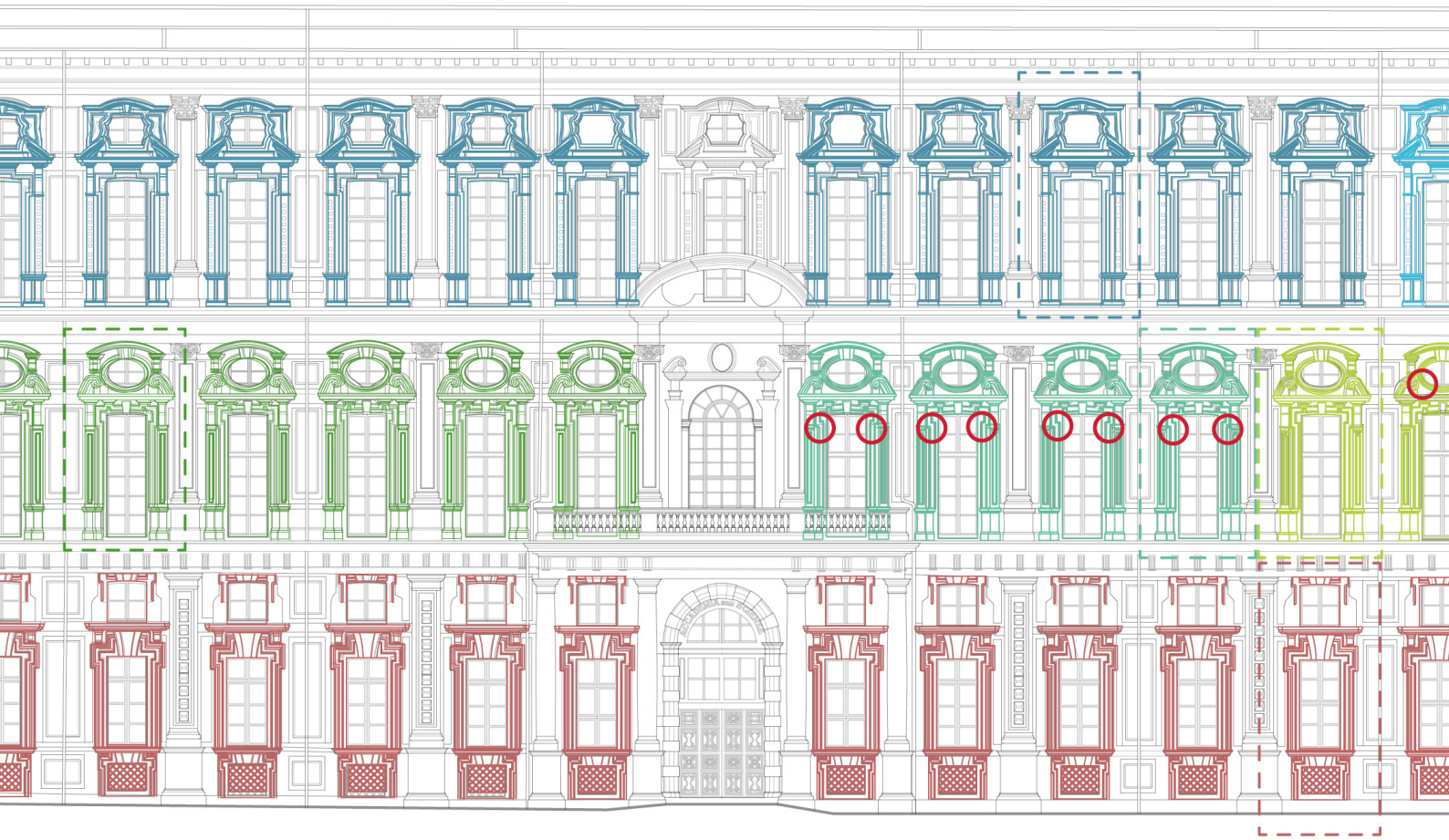
ISSN 2610-8755

Dn

Building Information Modeling, Data & Semantics

n.10 aprile/april 2022



dei
TIPOGRAFIA DEL GENIO CIVILE

Building Information Modeling,
Data & Semantics

dei
TIPOGRAFIA DEL GENIO CIVILE

INDICE/INDEX

EDITORIALE
EDITORIAL
C. Bolognesi, M. Lo Turco 4

HBIM AUTOMATIZZATO TRAMITE VPL PER LA SCOMPOSIZIONE IN PARTI FEDELI E L'ATTRIBUZIONE DI CARATTERISTICHE MULTIDISCIPLINARI
AUTOMATED HBIM THROUGH VPL FOR THE DIVISIONE IN FAITHFUL GEOMETRIES AND THE ASSIGNMENT OF CHARACTERISTICS.
D. Amadio 6

HBIM: DAL RILIEVO AL DIGITAL TWIN. IL WORKFLOW DEL CASO STUDIO DELLA TOMBA DELLA MEDUSA AL POLICLINICO UMBERTO I DI ROMA
HBIM: FROM SURVEY TO DIGITAL TWIN. THE WORKFLOW OF THE CASE STUDY OF THE TOMB OF THE MEDUSA AT THE POLICLINICO UMBERTO I IN ROME
S. Beco, M. L. Cascelli, V. Speziale, E. Varasi 17

METODOLOGIE PER LO SVILUPPO DI MODELLI HBIM PER LA VISUALIZZAZIONE E LA GESTIONE DI AMBIENTI MUSEALI
METHODS FOR THE DEVELOPMENT OF HBIM MODELS FOR THE VISUALIZATION AND MANAGEMENT OF MUSEUM ENVIRONMENTS
D. Mezzino, A. Tomalini, J. Bono 28

DIGITAL TWIN: IL MODELLO INFORMATIVO BIM DEL MUSEO MAXXI DI ROMA
DIGITAL TWIN: THE BIM INFORMATION MODEL OF ROME'S MAXXI MUSEUM
M. Benga, M. A. Russo 45

UNA STRATEGIA 5D BIM PER LA GESTIONE DEI COSTI.
A 5D BIM STRATEGY FOR COST MANAGEMENT.
E. C. Bussi, M. Del Giudice, A. Osello 53

IL FASCICOLO DEL FABBRICATO DIGITALE
THE DIGITAL BUILDING DOSSIER
A. Tata, M. L. Capannolo, S. Brusaporci, P. De Berardinis 66

POSSIBILI SCENARI DI METAMODELLAZIONE: IL BIM GREY BOX.
POSSIBLE SOLUTIONS FOR METAMODELLING: THE BIM GREY BOX.
C. Bianchini, M. Griffo, L. J. Senatore 78

AMBIENTI NARRATIVI VIRTUALI PER IL PATRIMONIO CULTURALE: IL CASO STUDIO DEL MUSEO MARINI DI FIRENZE
VIRTUAL NARRATIVE ENVIRONMENTS FOR CULTURAL HERITAGE: THE CASE STUDY OF THE MARINI MUSEUM IN FLORENCE
G. Attademo 91

UNA PROGETTAZIONE INCLUSIVA DI AMBIENTI VIRTUALI PER MIGLIORARE IL RAPPORTO CON LO SPAZIO ARCHITETTONICO E PROBLEMI DI ACROFOBIA.
AN INCLUSIVE DESIGN OF VIRTUAL ENVIRONMENTS TO IMPROVE THE RELATIONSHIP WITH ARCHITECTURAL SPACE AND PROBLEMS OF ACROPHOBIA.
A. L. Pecora 103

GAME ENGINE: VALUTAZIONE COMPARATIVA PER UNA TEORIA D'UTILIZZO NEL CAMPO DEL DIGITAL HERITAGE.
GAME ENGINE APPLICATIONS OVERVIEW AND COMPARATIVE ANALYSIS FOR THE ENHANCEMENT OF CULTURAL HERITAGE
G. Amoruso, G. Buratti 119

Credits immagine di copertina: D. Mezzino, A. Tomalini, J. Bono

Curatore del numero
Editor in Chief

Cecilia Bolognesi, *Politecnico di Milano, Milano, Italy*

Massimiliano Lo Turco, *Politecnico di Torino, Torino, Italy*

Direzione Scientifica
Associated Editors

Cecilia Bolognesi, *Politecnico di Milano, Milano, Italy*

Tommaso Empler, *Sapienza Università di Roma, Roma, Italy*

Massimiliano Lo Turco, *Politecnico di Torino, Torino, Italy*

Laura Inzerillo, *Università degli Studi di Palermo, Palermo, Italy*

Sandro Parrinello, *Università degli Studi di Pavia, Pavia, Italy*

Francesco Ruperto, *Sapienza Università di Roma, Roma, Italy*

Cettina Santagati, *Università degli Studi di Catania, Catania, Italy*

Graziano Mario Valenti, *Sapienza Università di Roma, Roma, Italy*

Comitato Scientifico
Scientific Committee

Pietro Baratono, *Provveditore Interregionale per le OO.PP. Lombardia ed E.Romagna*

Angelo Ciribini, *Presidente ISTEA, Università di Brescia, Brescia, Italy*

Bruno Daniotti, *Project Manager InnovAnce, Politecnico di Milano, Milano, Italy*

Alberto Pavan, *Coordinatore norma UNI 11337, Responsabile Scientifico InnovAnce, Politecnico di Milano, Milano, Italy*

Gregorio Cangialosi, *BIM Manager and BIM Strategist, Studio CABE, Torino, Italy*

Anna Dell'Amico, *Università degli Studi di Pavia, Pavia, Italy*

Emmanuel di Giacomo, *EMEA BIM & AEC Ecosystem Business, France*

Graziano Lento, *Anafyo Sagl, Ticino, Switzerland*

Paolo Galli, *Implementation Consultant BIM, Milano, Italy*

Diego Minato, *BIM Manager & Technical Consultant | BIM Strategist, Treviso, Italy*

Orges Lesha, *BIM Manager, SA Architects, Sdn Bhd, Kuala Lumpur, Malaysia*

Chiara Rizzarda, *Deputy BIM Manager at Antonio Citterio Patricia Viel, Milano, Italy*

Yoseph Bausola Pagliero, *VPL and BIM expert, Roma/ Torino, Italy*

Armando Casella, *Bimfactory, Brescia, Italy*

Filippo Daniele, *Setin Roma, Italy*

Yusuf Arayici, *Hasan Kalyoncu University, Gaziantep, Turkey*

Maarten Bassier, *University of Leuven, Leuven, Belgium*

Stefano Bertocci, *Università degli Studi di Firenze, Firenze, Italy*

Carlo Bianchini, *Sapienza Università di Roma, Roma, Italy*

Maurizio Bocconcino, *Politecnico di Torino, Torino, Italy*

Frédéric Bosché, *Heriot-Watt University, Edinburgh, United Kingdom*

Stefano Brusaporci, *Università degli Studi dell'Aquila, L'Aquila, Italy*

Clark Cory, *Purdue University, Indianapolis, USA*

Livio De Luca, *MAP/CNRS, Marseilles, France*

Antonella Di Luggo, *Università degli Studi di Napoli Federico II, Napoli, Italy*

Stephen Fai, *Carleton University, Ottawa, Canada*

Pablo Lorenzo Eiroa, *Cooper Union, New York, USA*

Andrea Giordano, *Università degli Studi di Padova, Padova, Italy*

Antonio Gómez-Blanco Pontes, *Universidad de Granada, Granada, Spain*

Sorin Hermon, *Cyprus Institute, Nicosia, Cyprus*

Arto Kiviniemi, *University of Liverpool , Liverpool, United Kingdom*

Giovanna Massari, *Università degli Studi di Trento, Trento, Italy*

Maurice Murphy, *Dublin Institute of Technology, Dublin, Ireland*

Anna Osello, *Politecnico di Torino, Torino, Italy*

Francesco Livio Rossini, *Sapienza Università di Roma, Roma, Italy*

Livio Sacchi, *Università degli Studi "G. d'Annunzio", Chieti-Pescara, Italy*

Andrew Sanders, *Penn University, Philadelphia, USA*

Alberto Sdegno, *Università degli Studi di Trieste, Trieste, Italy*

Jose Pedro Sousa, *Universidade do Porto, Porto, Portugal*

Massimo Stefani, *Harpaceas*

Comitato Editoriale
Editorial Committee

Coordinatrice:

Alexandra Fusinetti, *Sapienza Università di Roma, Roma, Italy*

Adriana Caldarone, *Sapienza Università di Roma, Roma, Italy*

Graziana D'Agostino, *Università degli Studi di Catania, Catania, Italy*

Anna Dell'Amico, *Università degli Studi di Pavia, Pavia, Italy*

Fausta Fiorillo, *Politecnico di Milano, Milano, Italy*

Raissa Garozzo, *Università degli Studi di Catania, Catania, Italy*

Elisabetta Caterina Giovannini, *Politecnico di Torino, Torino, Italy*

Federico Mario La Russa, *Università degli Studi di Catania, Catania, Italy*

Alessandro Martinelli, *Sapienza Università di Roma, Roma, Italy*

Francesca Picchio, *Università degli Studi di Pavia, Pavia, Italy*

Maria Laura Rossi, *Sapienza Università di Roma, Roma, Italy*

Andrea Tomalini, *Politecnico di Torino, Torino, Italy*

La valutazione dei contributi pubblicati è avvenuta con la modalità del double blind review.
Papers are published under double blind review mode.

Editore

Direttore responsabile: Giuseppe Rufo
Progetto grafico: Ottavia Menzio, Alexandra Fusinetti. Copyright DEI Tipografia del Genio Civile, numero 1/2017 *Direzione, Redazione e Pubblicità* tel. 06/4416371 *Ufficio Abbonamenti* tel. 06/44163767 - 06/4416371 Fax 06/4403307 *Periodico semestrale:* Abbonamento annuo (2 numeri) 30,00 €: c/cp n. 65047003 intestato a: DEI Srl Tipografia del Genio Civile, via Cavour 179/A 00184 Roma *Bonifico bancario:* IT 91 O 03127 050110 0000 0019585 Unipol Banca. La Redazione è grata a tutti coloro che vorranno collaborare. I manoscritti, anche se non pubblicati, non si restituiscono. Le opinioni espresse dagli Autori non impegnano la rivista. Eventuali errori o imprecisioni non comportano responsabilità della Casa Editrice e della Direzione che ha posto comunque la massima cura nella revisione dei testi e nella realizzazione dell'opera.
www.dienne.org

Building Information Modeling,
Data & Semantics

dei
TIPOGRAFIA DEL GENIO CIVILE

Game engine: valutazione comparativa per una teoria d'utilizzo nel campo del Digital Heritage.

Game Engine Applications Overview And Comparative Analysis For The Enhancement Of Cultural Heritage

Giuseppe Amoruso, Giorgio Buratti
Politecnico di Milano

e-mail: giuseppe.amoruso@polimi.it, giorgio.buratti@polimi.it

Abstract

Il mondo fisico è oggi costantemente digitalizzato da migliaia di foto, video, commenti e annotazioni elaborati in tempo reale tramite dispositivi privati, connessi alla struttura informativa in un continuo e reciproco scambio di informazioni. La quantità e la tipologia di dati così disponibili ha conseguentemente superato una soglia di complessità tale da richiedere nuovi sistemi di rappresentazione necessari a veicolare e trasmettere propriamente i contenuti. Nasce così il Metaverso, evoluzione di *Internet* che supera gli odierni concetti di ipertestualità e multimedialità tramite l'impiego di ambienti tridimensionali simulati in cui la fruizione dei significati e l'interazione con e tra gli utenti è mediata da realtà virtuale, aumentata o mista e tecnologie immersive. Di conseguenza anche la fruizione del patrimonio culturale si avvale sempre più di ricostruzioni digitali di manufatti e architetture, di *tour* virtuali dei musei e da spazi social condivisi aprendo ad un nuovo settore interdisciplinare conosciuto come *Digital Heritage*. L'impiego di piattaforme tridimensionali in cui la fruizione dei significati e l'interazione con altri utenti avviene attraverso la mediazione di un *avatar* richiede però svariati livelli di interpretazione della documentazione e delle strutture narrative necessarie all'implementazione di esperienze interattive coinvolgenti, idonee ad un'efficace disseminazione culturale. Sono pertanto fondamentali specifici strumenti *software*, noti come *game engine*, capaci di sintetizzare in un'unica struttura interattiva linguaggi espressivi eterogenei. Nei seguenti paragrafi si analizzano ed inquadrano gli applicativi oggi disponibili sviluppando nel contempo un metodo di categorizzazione che delinei una teoria d'utilizzo nel campo del *Digital Heritage*.

Key Words

Game Engine, Digital Heritage, Cultural Heritage, Virtual Reality

Abstract

Digital reconstructions of artefacts and architectures increasingly mediate the use of cultural heritage, virtual tours of museums, shared social spaces, and augmented or mixed reality applications that support direct or simulated experience, opening to a new interdisciplinary sector known as Digital Heritage. In the sector of drawing and representation, the potential of digital surveying and advanced 3D data models have been studied accurately. However, enhancing any cultural asset requires additional interpretation levels of documentation and narrative structures necessary to implement engaging, interactive experiences suitable for effective cultural dissemination. Therefore, specific software tools, known as game engines, are required to synthesize heterogeneous expressive languages in a single interactive structure. This paper analyzes and frames the game engines available today while developing a categorization method that outlines a theory of use in the field of Digital Heritage.

Key Words

Game Engine, Digital Heritage, Cultural Heritage, Virtual Reality

Introduction

With the beginning of the new millennium, computerization has evolved the communication processes of society, bringing them from a passive mode linked to information technology to virtual spaces which, from YouTube to social networks, provide for the active participation of users in producing and sharing content with which to interact freely. Further technological progression has promoted Artificial Intelligence[1] and three-dimensional platforms use in which meanings and interaction with other users occur through the mediation of a virtual avatar[2], influencing the dynamics with which individuals practice space and interpret reality [20].

Consequently, the use of cultural heritage is also increasingly mediated by digital reconstructions of artifacts and architectures,

Introduzione
(G. Amoruso)

Con l'inizio del nuovo millennio l'informatizzazione ha evoluto i processi di comunicazione della società portandoli da una modalità passiva legata alla fruizione delle informazioni, a spazi virtuali che, da *Youtube* ai *social network*, prevedono la partecipazione attiva degli utenti nel produrre e condividere contenuti con i quali interagire liberamente.

L'ulteriore progressione tecnologica ha introdotto applicazioni di Intelligenza Artificiale[1] e l'impiego di piattaforme tridimensionali in cui la fruizione dei significati e l'interazione con altri utenti avviene attraverso la mediazione di un avatar[2] virtuale, influenzando le dinamiche con cui gli individui praticano lo spazio ed interpretano la realtà [20]. Conseguentemente anche la fruizione del patrimonio culturale è sempre più mediata da ricostruzioni digitali di manufatti e architetture, da tour virtuali delle collezioni dei musei, da spazi social condivisi e da applicazioni di realtà aumentata o mista che supportano l'esperienza diretta o simulata. Nascono così nuovi modelli narrativi e strutture interpretative inedite, basate sull'integrazione di linguaggi eterogenei, che aprono alla determinazione di un nuovo settore interdisciplinare conosciuto come *Digital Heritage*.

Nel campo delle discipline della rappresentazione già da tempo sono state intuite le potenzialità offerte dalle tecnologie digitali e sono numerose le riflessioni teorico-metodologiche sul tema del rilievo digitale e dell'ineludibile ruolo dei modelli rappresentativi tridimensionali nella ricerca e nella pratica operativa. Questi studi hanno permesso un rigoroso approccio metodologico teso all'acquisizione delle geometrie e all'elaborazione delle qualità visibili dei manufatti, analizzati in termini di precisione metrica e accuratezza.

La valorizzazione di qualsiasi bene culturale non può però basarsi esclusivamente sulla scorta degli aspetti geometrico-dimensionali, ma è un'operazione di carattere intellettuale che deve considerare sin dalla fase di rilievo i vettori mediali, la documentazione e le strutture narrative necessarie alla corretta divulgazione degli aspetti materiali e immateriali connessi al bene considerato. Sono quindi fondamentali ulteriori livelli di interpretazione dei dati ottenibili dall'acquisizione di nuvole di punti, finalizzati all'implementazione di esperienze interattive coinvolgenti e capaci di promuovere un'efficace disseminazione culturale [28] a partire dai dispositivi elettronici quotidiana-

1_ Bannier - Vleugels 2010, p. 77. "le pagine saranno progettate per essere comprese prima dalle macchine (machine-readable informations), per poi facilitare la comprensione umana. Le tecnologie alla base del web semantico saranno meaning-centered, in grado cioè di supportare l'auto-riconoscimento degli argomenti e dei concetti, l'estrapolazione delle informazioni e del loro significato e, in ultimo, la stessa classificazione dei contenuti.

2_ Termine sanscrito che significa "Colui che discende", usato nella mitologia induista per definire un corpo fisico nel quale un dio si è incarnato. Per traslazione metaforica intende oggi una persona reale che "incarna" nel mondo virtuale una rappresentazione, che può variare per tema e verosimiglianza (personaggio di fantasia, celebrità esistenti, propria immagine, immagini pittoriche, testi, ecc.).

virtual tours of museums, shared social spaces, and augmented or mixed reality applications that support direct or simulated experience. Thus, new narrative models and interpretative structures are born, based on the integration of heterogeneous languages, which open to the determination of a new interdisciplinary sector known as Digital Heritage. In the sector of drawing and representation, scholars have investigated the potential of digital technologies for some time. Numerous theoretical and methodological reflections on the digital survey and the inevitable role of three-dimensional representative models in research and operational practice were delivered. These studies have created a rigorous methodological approach to acquire the geometries and process the artifacts' visible qualities, analyzed in geometric precision and accuracy. However, the enhancement of any cultural asset cannot be based exclusively on geometric-dimensional parameters.

The cultural process also gets an advantage from social perception, media, documentation, and the narrative structures necessary to correctly disseminate the tangible and intangible aspects connected to the asset. Therefore, other levels of interpretation of point cloud data are necessary to implement engaging, interactive experiences that promote effective cultural dissemination [28], starting from the electronic devices used daily. These representations synthesize in a single medium, heterogeneous languages such as writing, drawings, images, music and sounds, animations, and films, organized in an interactive structure that allows active participation by the user. These characteristics refer to the videogame sector, both from a narrative processes point of view and methodological and technological determinants. Game development was the first sector to integrate different media, interactivity, and storytelling in an articulated process that, in synergy with the exponential growth of the market, made dedicated work platforms necessary: game engines. These middleware[3] can integrate and optimize the workflow thanks to the ease of acquisition, transfer, and sharing of heterogeneous content through digital integration and virtual, mixed, or augmented reality technologies.

The paper reviews the literature according to theoretical analysis. It assesses the game engines while developing a categorization method that outlines a theory of use in the field of Digital Heritage or, more generally, for research purposes. The choice of the tool requires a taxonomy that considers various factors, highlighting those useful for scientific, didactic, and popularization purposes, based on compatibility with the different study and professional fields and the users' skills.

Game engines' definition and characteristics

Game engines were born in the mid-90s following the success achieved by POV video games [1]. These playful applications simulate the three-dimensional perspective view allowing the user to experience the point of view of their avatar in the virtual world[4].

4_ Id software's Doom video game became very popular after its release in 1993 for PC. It is considered the archetype of a genre that combines the innovative use of 3D graphics. Experiences of digital simulation of perspective vision were introduced in 1973 when Steve Colley, then a developer at the NASA Ames Research Center in

mente utilizzati. Queste rappresentazioni sintetizzano in un unico *medium* linguaggi eterogenei quali scrittura, disegni e immagini, musiche e suoni, animazioni e filmati, organizzati in una struttura interattiva che consente la partecipazione attiva dall'utente. Tali caratteristiche rimandano, sia dal punto di vista dei processi narrativi, sia per le determinanti metodologiche e tecnologiche, al settore videoludico. Il *game development*, infatti, è stato il primo settore a dover integrare media diversi, interattività e *storytelling* in un processo articolato che, in sinergia con la crescita esponenziale del mercato, ha reso necessarie piattaforme di lavoro dedicate: i *game engine*. Questi *middleware*[3] sono capaci di integrare ed ottimizzare il flusso di lavoro grazie alla facilità di acquisizione, trasferimento e condivisione di contenuti eterogenei attraverso l'integrazione digitale e tecnologie di realtà virtuale, mista o aumentata.

Partendo da una ricognizione ed un'analisi teorica della letteratura di riferimento questo scritto inquadra tali applicativi sviluppando nel contempo un metodo di categorizzazione che ne delinei una teoria d'utilizzo nel campo del *Digital Heritage* o, più in generale, a fini di ricerca. La scelta dello strumento richiede infatti una tassonomia che tenga conto di diversi fattori, evidenziando quelli utili a fini scientifici, didattici e divulgativi, in base alla compatibilità con i diversi ambiti di studio e/o professionale e alle competenze degli utilizzatori.

Definizione e caratteristiche dei Game engine

(G. Buratti)

I *game engine* nascono a metà degli anni '90 in seguito al successo conseguito dai *videogame* in soggettiva[4], applicativi ludici che simulano la visione prospettica tridimensionale permettendo all'utente di esperire nel mondo virtuale il punto di vista del proprio *avatar*. La complessità della visualizzazione dinamica, unitamente alle limitazioni imposte dalla tecnologia dell'epoca, richiese la realizzazione di *software* caratterizzati da un'architettura modulare, che gestisse sincronicamente le componenti informatiche che controllano l'*hardware* e le risorse artistiche e le dinamiche interattive che presiedono all'esperienza ludica. Negli anni successivi i *game engine* si sono evoluti in molteplici livelli, legati da vari gradi d'interdipendenza, specializzandosi nella produzione dei diversi generi ludici[5]. Nonostante le rispettive specificità, è possibile inquadrare questi applicativi in base a caratteristiche comuni:

a) Rendering Real Time

Il motore di *rendering* è uno dei componenti più complessi e caratterizzanti, capace di supportare la rappresentazione *real time* necessaria all'interattività avanzata. A differenza di un filmato, composto da una sequenza di immagini statiche elaborate un'unica volta e riprodotte in successione, la scena di un ambiente interattivo varia a seconda degli *input* dell'utente, necessitando del ricalcolo in tempo reale delle geome-

The complexity of dynamic visualization and the limitations imposed by the technology of the time required the creation of software characterized by a modular architecture, which could synchronically manage the computer components that control the hardware and artistic resources and the interactive dynamics presiding over the playful experience. In the following years, the game engines have evolved into multiple levels, linked by various degrees of interdependence, specializing in producing different genres[5].

Despite their respective specificities, it is possible to frame these applications based on common characteristics:

a) Real-Time Rendering

The rendering engine is one of the most complex and characterizing components of a game engine, capable of supporting the real-time representation necessary for advanced interactivity. Unlike a movie, made up of a sequence of static images processed once and reproduced in succession, the scene of an interactive environment varies according to user inputs, requiring real-time recalculation of the geometries, material, and light qualities of environments and objects.

b) Interactivity and VR and AR support

Game engines allow optimal support for interaction with simulated three-dimensional environments. These systems manage useful graphical abstractions, usually non-diegetic[6], which control movement in digital space and the management of objects. There are also tools for recording telemetry information, which is essential when carrying out studies where users interact in\with virtual environments and when the data of these interactions must be collected and organized.

c) Real-time Physical

Over the years, most game engines have been enriched with software development kits (SDKs) made by third parties, which free programmers from redesigning recurrent functions every time, allowing you to focus on the game dynamics and the characterization of environments and characters. Among these are the applications[7] that simulate the physics laws based on advanced biomechanical models that robustly reproduce dynamical systems. The trajectory

California, wrote Maze Wars, a program to walk through mazes with a subjective perspective. Over the next twenty years, other commercial or research applications improved the Maze Wars experience. However, the available technology of vector elements permitted a poor description of reality.

5_ Although technological advancement has made them increasingly versatile, game engines belong to different genres: first-person "shooter," "fighting," racing, or strategy games.

6_ Any interactive element superimposed on the displayed image remains abstract from the virtual world: two-dimensional icons in orthographic projection are usually interactive.

7_ Integrated software such as Havok, PhisX and Endorfine assist the game engine's Collision and Physics level by rigorously simulating the kinematic laws that govern physical reality. Considering, for example, a human body as a set of rigid bodies, joined by a system of constraints that define the degree of freedom, the movement in the virtual world will result from a continuous system of thousands of animations that these constraints admit. Physical systems link the possibilities of simulation to those that correctly describe the movement of a human body, avoiding, for example, that a skull can rotate 360°.

trie e delle qualità materiche e luminose di ambienti e oggetti.

b) Interattività e supporto VR e AR

I *game engine* consentono un supporto ottimale per l'interazione con ambienti tridimensionali simulati. Questi sistemi gestiscono utili astrazioni grafiche, solitamente non-diegetiche[6], che controllano il movimento nello spazio digitali e la gestione degli oggetti. Sono disponibili anche strumenti di registrazione delle informazioni telemetriche, fondamentali quando si eseguono studi in cui gli utenti interagiscono in/con ambienti virtuali e quando i dati di queste interazioni devono essere raccolti e organizzati.

c) Simulazione fisica in tempo reale

La maggior parte dei motori di gioco si è arricchita negli anni di *kit* di sviluppo *software* (SDK) realizzati da terzi, che liberano i programmatori dal dover riprogettare ogni volta funzioni ricorrenti, permettendo di concentrarsi sulle dinamiche di gioco e sulla caratterizzazione di ambienti e personaggi. Tra questi gli applicativi[7] che simulano le leggi della fisica, basati su modelli biomeccanici avanzati che riproducono in maniera robusta i sistemi dinamici. La traiettoria di un proiettile lanciato contro una finestra seguirà quindi le leggi della dinamica, unitamente al calcolo dei vari coefficienti di rottura, attrito e resistenza che si determineranno al momento dell'impatto e che presiedono al movimento delle schegge risultanti, rendendo sempre più labile il confine tra rappresentazione e simulazione della realtà fisica.

d) Multiconnessione

È la possibilità per più partecipanti di interagire in un ambiente virtuale condiviso, senza la perdita della stabilità di interazione. La natura condivisa del processo consente inoltre di osservare lo stato dell'ecosistema virtuale in tempo reale attraverso dispositivi separati che non influiscono sul comportamento degli utenti, permettendo di studiarne le dinamiche relazionali.

e) Audio spaziale

Con il diffondersi della comunicazione multimediale la progettazione del livello sonoro è diventata importante quanto lo studio della visualizzazione. Gli applicativi audio integrabili in un motore di gioco consentono di simulare in modo accurato la propagazione sonora, contribuendo all'ef-

6_ Qualsiasi elemento interattivo posto in sovrimpressione all'immagine visualizzata, che rimanga astratto dal mondo virtuale. Solitamente sono icone bidimensionali interattive in proiezione ortografica.

7_ *Software* integrabili come Havok, PhisX e Endorfine assistono il livello Collision e Physics del game engine simulando rigorosamente le leggi cinematiche che presiedono alla realtà fisica. Considerando ad esempio un corpo umano come un insieme di corpi rigidi, uniti da un sistema di vincoli che ne definisco il grado di libertà, il movimento nel mondo virtuale sarà la risultante di un sistema continuo di migliaia di animazioni che questi vincoli ammettono. I sistemi fisici vincolano le possibilità di animazione a quelle che descrivono correttamente il movimento di un corpo umano, evitando per esempio che un cranio possa ruotare a 360°.

of a projectile thrown against a window will follow the dynamics laws, with the calculation of the various coefficients of rupture, friction, and resistance determined at the moment of impact and govern the resulting splinters movement. The boundary between representation and simulation of physical reality is increasingly blurred.

d) Multiconnection

Multiple participants can interact in a shared virtual environment without losing interaction stability. The shared nature of the process also makes it possible to observe the state of the virtual ecosystem in real-time through separate devices that do not affect user behaviour, allowing us to study their relational dynamics.

e) Spatial audio

With the spread of multimedia communication, sound-level design has become as important as visualization. The audio applications that can be integrated into a game engine allow one to accurately simulate sound propagation, contributing to the effectiveness of the immersive experience. Combining audio-spatial data with physical system telemetry also provides a potential source of empirical data valid for acoustics research.

f) Artificial intelligence

Traditionally, the relationship between artificial intelligence and video games has always been very close[8] and aimed at making plausible the elements that must respond to the rules of a particular digital context. For years, an artificial intelligence developed to adapt to the game dynamics of different users and personalize the play experience has been used in numerous fields, from research to product sectors, to interpret and anticipate the users' behaviour.

Method of Analysis

Many engines are available for commercial and educational purposes[9], with a wide range of features and performance levels, license types, and costs. The definition of a protocol of use, which allows making informed decisions necessary to implement any research, requires a taxonomy that considers the various factors, highlighting those useful for scientific, educational, and dissemination purposes. Therefore, a first selection was made by eliminating those tools in an initial development process, which have no longer been updated, turning out to be obsolete, or too specialized (e.g., engines for exclusively 2d applications).

8_ At the dawn of the computer science discipline, Turing theorized for his famous test a game aimed at establishing the intelligence of an artificial application. The development of AI capable of interacting with human beings through play dates back to the early seventies, with programs capable of interpreting the rules of checkers, chess, or go. In 1996, the news of IBM's challenge to the then world chess champion Garry Kasparov to confront the AI created for the occasion, Deep Blue, became widespread. In a few hours, high-level AI based on neural networks learns how to play chess at the level of a great master. These experiences have laid the foundations for Automated Game Understanding, a field of study that applies AI tools to video games, developing systems capable of carrying out specific actions without these having been pre-programmed.

9_ 376 according to the DevMaster.net database. (November 2021), http://devmaster.net

ficacia dell'esperienza immersiva. La possibilità di combinare i dati audio-spaziali con la telemetria del sistema fisico fornisce inoltre una potenziale fonte di dati empirici, utili per ricerche sull'acustica.

f) Intelligenza Artificiale

Tradizionalmente, il rapporto tra intelligenza artificiale e *videogame* è sempre stato molto stretto[8] e finalizzato a rendere plausibili gli elementi che devono rispondere alle regole del particolare contesto digitale. Già da anni le intelligenze artificiali sviluppate per adeguarsi alle dinamiche di gioco dei diversi utenti e personalizzare l'esperienza ludica sono utilizzate in numerosi campi, dalla ricerca ai settori merceologici, per interpretare ed anticipare il comportamento dei fruitori.

Metodo di Analisi

(G. Buratti)

Esistono un gran numero[9] di motori disponibili sul mercato per scopi commerciali ed educativi, con una vasta gamma di caratteristiche e livelli di prestazioni, tipi di licenza e costi. La definizione di un protocollo d'utilizzo, che permetta di prendere decisioni informate necessarie all'implementazione di qualsiasi ricerca, richiede una tassonomia che tenga conto dei diversi fattori, evidenziando quelli utili a fini scientifici, didattici e divulgativi. Pertanto, è stata effettuata una prima selezione eliminando quegli strumenti che sono in un processo di sviluppo iniziale, che non sono più stati aggiornati diventando obsoleti, o troppo specializzati (ad es. motori per applicazioni esclusivamente 2d). Successivamente è stato effettuato uno *studio desk* della letteratura scientifica, che ha considerato lavori successivi al 2005, presentati in contesti regolamentati da procedure di accettazione e valutazione. I risultati di questi lavori sono stati confrontati con la sperimentazione effettuata dagli autori di questo scritto.

Non è stato possibile identificare un metodo condiviso di analisi: nella maggior parte degli studi gli autori propongono un proprio elenco di criteri per analizzare e confrontare un insieme di motori di gioco in base ad un utilizzo specifico. Molti lavori dedicati sono legati alle discipline informatiche e approfondiscono contenuti correlati più al codice e alla compilazione del linguaggio di programmazio-

Subsequently, a desk study of the scientific literature was carried out, which considered works after 2005, presented in contexts regulated by acceptance and evaluation procedures. The results were compared with the experimentation carried out by the authors of this paper. It was not possible to identify a shared method of analysis. In most of the studies, the authors propose their list of criteria to analyze and compare a set of game engines based on specific use. Many dedicated works are related to computer disciplines and deepen contents related more to the code and the compilation of the programming language, specialized knowledge that does not support users' choice from different disciplinary sectors.

Other studies derive from specific sectors, such as military training [16] or the simulation of surgical operations [22], with aims only partially overlapping with this research purpose. More recent investigations [23; 4] experiment with a more generic approach based on a presentation of technical characteristics of the various search engines, but these works also focus mainly on technological aspects, which make it difficult to identify features or fundamental factors for non-specialist use. Petridis's works [25; 26], on the other hand, start from different assumptions. Highlighting how the objectives of scientific and enhancement sectors have similarities with game development but differ in some peculiar characteristics, the authors distinguish game engines based on elements useful for the construction of meanings and the subsequent dissemination and only at a later time to technological implications. Therefore, a new method is proposed, deduced from Petridis' study and integrated by the research conducted, based on determinations that allow to compare and evaluate the most suitable graphic engines for scientific dissemination.

DETERMINANTS

The specific proposals are:

1. Plausibility

The rendering engine's feature to return visual and acoustic sensations close to accurate perception. The greater the similarity between real and virtual environments, the more likely the content transfer and immersive experience will be effective. This requirement does not mean that photorealism is a necessary and sufficient condition. Content with high visual coherence must be associated with interaction dynamics and narrative languages congruent with the proposed experience, based on the user's expectations inferred from the real world and expected in the virtual one.

2. Usability and Accessibility

Usability is the level of effectiveness of a product\system in achieving the intended objectives[10] and can be understood as a software tool's ease of learning. Unlike developers of video game applications, professionals and researchers usually do not have excellent skills with the programming languages necessary to develop interactive applications. Furthermore, the multifunctional nature of these software provides for various intermediate steps

8_ Lo stesso Turing, agli albori della disciplina informatica, teorizza per il suo celeberrimo test un gioco teso a stabilire l'intelligenza di un'applicazione artificiale. Lo sviluppo di I.A. capaci di interagire tramite il gioco con essere umani risale ai primi anni Settanta, con programmi capaci di interpretare le regole della dama, degli scacchi o del go. Nel 1996 ebbe grande diffusione la notizia della sfida che IBM lanciò all'allora campione del mondo di scacchi Garry Kasparov di confrontarsi con l'IA creata per l'occasione, Deep Blue. Oggi IA di alto livello basate su reti neurali in poche ore imparano a giocare a scacchi a livelli da gran maestro. Queste esperienze hanno gettato le basi per l'*Automated Game Understanding*, campo di studio che applica gli strumenti dell'IA ai *videogames*, sviluppando sistemi in grado di svolgere determinate azioni senza che queste siano state pre-programmate.

9_ 376 secondo il database DevMaster.net.. (Novembre 2021), http://devmaster.net

10_ ISO 9241 - Ergonomics of human-system interaction, Guidance on usability.

ne, conoscenze specialistiche che non favoriscono la scelta di utenti di diversi settori disciplinari. Altri studi derivano da settori specifici come l'addestramento militare [16] o la simulazione di operazione chirurgiche [22] con finalità solo in parte sovrapponibili agli scopi di questa ricerca. Indagini più recenti [23; 4] sperimentano un approccio più generico basato su una presentazione delle caratteristiche tecniche e d'utilizzo dei diversi motori di ricerca, ma anche questi lavori focalizzano principalmente aspetti tecnologici, che rendono difficile individuare caratteristiche o determinati fondamentali per un uso non specialistico.

I lavori di Petridis [25;26] partono invece da presupposti diversi. Evidenziando come gli obbiettivi di settori scientifici e di divulgazione presentino delle analogie con il *game devolpment*, ma se ne differenzino per alcune caratteristiche peculiari, gli autori distinguono i *game engine* in base agli elementi utili alla costruzione di significati e alla successiva divulgazione e solo in un secondo tempo alle implicazioni tecnologiche. Si propone quindi un nuovo metodo, integrato dalle ricerche di Petridis, basato sull'individuazione di determinanti che permettano di confrontare e valutare i motori grafici più idonei alla divulgazione scientifica.

DETERMINANTI

Le determinati proposte sono:

1. Verosimiglianza

Intesa come capacità del motore di *render* di restituire sensazioni visive e acustiche vicine alla percezione reale. Maggiore è la somiglianza tra ambiente reale e virtuale, più è probabile che il trasferimento dei contenuti e l'esperienza immersiva siano efficaci. Questo non significa che il fotorealismo sia condizione necessaria e sufficiente: contenuti ad alta coerenza visiva devono associarsi a dinamiche di interazione e a linguaggi narrativi congruenti con l'esperienza proposta, in base alle aspettative dell'utente dedotte dal mondo reale e attese in quello virtuale.

2. Usabilità e Accessibilità

L'usabilità è il livello di efficacia di un prodotto/sistema nel raggiungere gli obiettivi previsti[10], e può essere intesa come la facilità d'apprendimento dello strumento *software*. A differenza degli sviluppatori di applicativi videoludici, professionisti e ricercatori solitamente non hanno grandi competenze con i linguaggi di programmazione necessari allo sviluppo di applicazioni interattive. Inoltre, la natura multifunzionale di questi *software* prevede diversi passaggi intermediari tra corrispettivi livelli di lavoro, determinando flussi operativi che differiscono in base alle logiche dei diversi prodotti. Il costo e le licenze d'utilizzo definiscono invece l'accessibilità ai *game engine*: i diversi produttori appli-

between corresponding levels of work, resulting in operational flows that differ according to the logic of the different products. The cost and the licenses of use, on the other hand, define the accessibility to the game engines: the different manufacturers apply different policies in a constantly evolving market. The development platform is also a determining factor to consider, as not all potential users have both Apple and Microsoft licenses.

3. Networking

The term means working within a nodal structure, but it can also be intended as "forming relationships." This parameter evaluates the capacity of the game engine to create and manage a network where multiple users can interact. Born to extend the videogame's life cycle through sharing on the Internet with other players, Networking is of interest for scientific experiments in the enhancement and design sector, becoming an indispensable prerequisite for the collaborative logic that distinguishes, for example, the Building Information Modeling.

4. Heterogeneity

Technological evolution has made digital environments practicable simultaneously for hundreds of users, who can access the same information content through devices that differ in type, computing power, and connection speed. Closely connected to the relationship between software and hardware, heterogeneity is the parameter that evaluates the possibility of the game engine managing the various electronic dissemination devices.

5. Interoperability

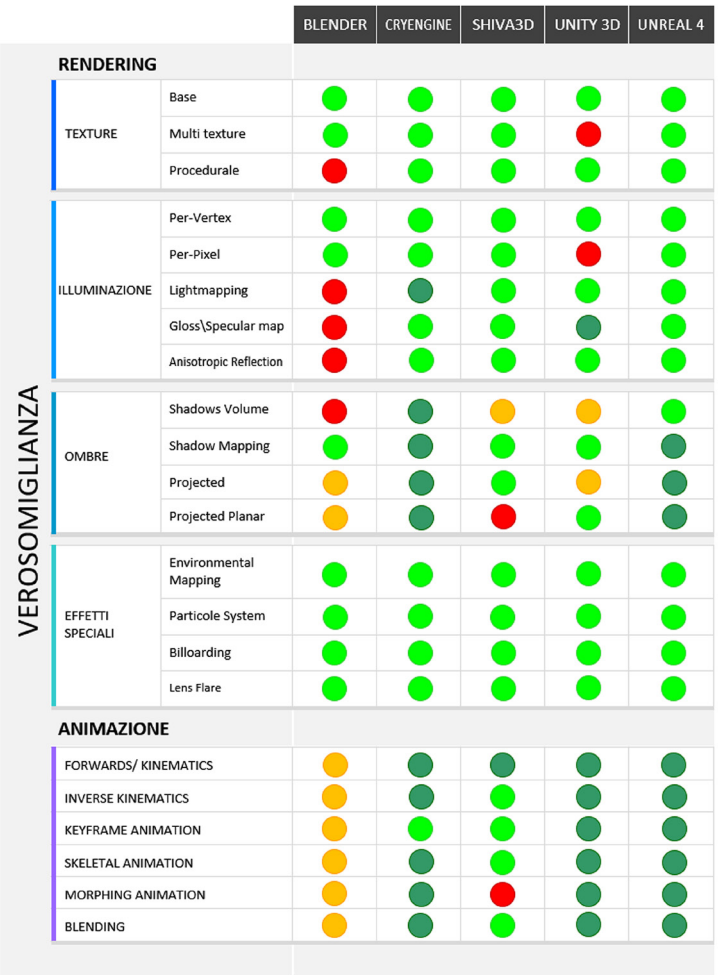
The design of videogames involves real-world modelling environments, buildings, and objects or integrating existing environments in virtual contexts. In recent years, the direct modelling process, which assumes the development of a concept continuously digitally redefined, has been accompanied by reverse modelling technologies[11]. Regardless of the acquisition process, it is often necessary to study and review the topology of the digital model to significantly reduce the number of resources required while maintaining geometric accuracy and material qualities as much as possible. The interoperability parameter defines the game engine's power to use and manage data describing digital geometries, materials, and other information from external resources. Interoperability is a fundamental factor that unites the videogame sector, Digital Heritage, and Design Disciplines not only for the sharing processes of form digital description but because in these areas, the correct environments and artifacts representation is strictly connected to the creation and interpretation of meanings by the user.

COMPARATIVE ANALYSIS OF GAME ENGINES

For the comparative analysis, five-game engines were se-

10_ ISO 9241 - Ergonomics of human-system interaction, Guidance on usability.

11_ Through a range of survey tools ranging from digital photogrammetry to laser scanning, used individually or in an integrated manner, it is possible to create a cloud of points that describes the object's shape using Cartesian coordinates.



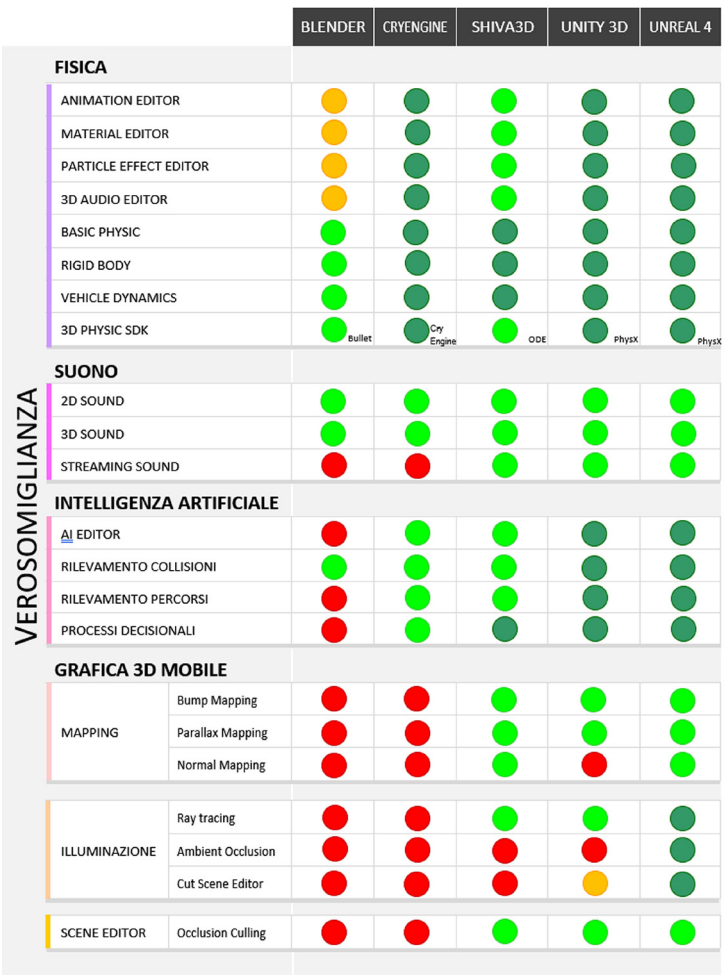


Fig. 1 – La tabella mostra i risultati dell'analisi comparativa relativa alla verosimiglianza. Blender è il meno sviluppato in termini di fedeltà audiovisiva. Shiva ha prestazioni accettabili, pur essendo meno efficace in alcuni aspetti legati all'animazione. CryEngine si distingue per l'ottimizzazione degli elementi ambientali e paesaggistici, mentre Unity e Unreal 4 supportano tutti i parametri relativi a una rappresentazione adeguata.

Fig. 1 – The table shows the results of the comparative analysis relating to likelihood. Blender is the least developed in terms of audiovisual fidelity. Shiva has acceptable performance, while being less effective in some aspects related to animation. CryEngine stands out for optimising environmental and landscape elements, while Unity and Unreal 4 support all the parameters about an adequate representation.

cano infatti politiche differenti in un mercato in costante evoluzione. Anche la piattaforma di sviluppo è una determinante da considerare, poiché non tutti i possibili utenti dispongono sia di licenze Apple che Microsoft.

3. Networking

Il termine di origine inglese può essere interpretato letteralmente come l'azione di lavorare all'interno di una struttura nodale, ma può anche essere tradotto in italiano col significato di "formare relazioni". Questo parametro valuta la capacità del motore di gioco di creare e gestire una rete dove più utenti possano interagire. Nato per prolungare il ciclo di vita dei prodotti videoludici attraverso la condivisione in rete con altri giocatori, il *Networking* risulta d'interesse per sperimentazioni scientifiche, nella valorizzazione e nel settore progettuale, diventando presupposto indispensabile per la logica collaborativa che contraddistingue, ad esempio,

lected based on diffusion criteria, type of license, and cost-benefit ratio. The information included in the tables reports relevant parameters from the scientific literature, the experimentation carried out, the official software websites, the user manuals, and the available documentation.

Unity 3D

Developed by Unity Technologies in 2005, it revolutionized the world of the gaming industry thanks to its low price, it planned to make the development of interactive applications accessible to a most significant number of users and platforms. The interface consists of a visual editor and an integrated development environment that aggregates the work tools, simplifying the production process. Simple scenes (without physical mechanics and complex kinematics) can also be created without code by a real-time evaluation of the functioning of the prototype. It is widely used in both standalone applications and high-profile professional projects,

il *Building Information Modeling*.

4. Eterogeneità

L'evoluzione tecnologica ha reso gli ambienti digitali praticabili simultaneamente da centinaia di utenti, che possono accedere allo stesso contenuto informativo tramite dispositivi diversi per tipo, potenza di calcolo e velocità di connessione. Strettamente connesso al rapporto tra *software* e *hardware*, l'eterogeneità è il parametro che valuta la possibilità del *game engine* di gestire i diversi dispositivi elettronici di divulgazione.

5. Interoperabilità

La progettazione di *videogames* prevede la modellazione di ambienti, edifici ed oggetti del mondo reale o l'integrazione di ambienti reali in contesti virtuali. Negli ultimi anni, al processo di modellazione diretta, che presume lo sviluppo di un *concept*, continuamente ridefinito digitalmente, si sono affiancate le tecnologie di *reverse modeling*[11]. A prescindere dal processo di acquisizione è spesso necessario studiare e rivedere la topologia del modello digitale per ridurre sensibilmente la quantità di risorse richieste, mantenendo per quanto possibile l'accuratezza geometrica e le qualità materiche. Il parametro interoperatività definisce la capacità del *game engine* di usare e gestire i dati che descrivono le geometrie digitali, i materiali e altre informazioni provenienti da risorse esterne. L'interoperabilità è una determinate fondamentale che accomuna il settore videoludico, il *Digital Heritage* e le discipline dalla progettazione non solo per i comuni processi di descrizione digitale della forma, ma perché per questi ambiti, la corretta rappresentazione di ambienti e artefatti è strettamente connessa alla creazione e all'interpretazione dei significati da parte dall'utente.

ANALISI COMPARATIVA DEI GAME ENGINE

Per l'analisi comparativa sono stati selezionati 5 motori di gioco scelti in base a criteri di diffusione, al tipo di licenza e al rapporto costi-benefici. Le informazioni incluse nelle tabelle sono state tratte dalla letteratura scientifica pertinente, dalla sperimentazione efettuata, dai siti *web* ufficiali dei *software* considerati, dai manuali utente e dalla documentazione disponibile.

Unity 3D

Sviluppato da Unity Technologies nel 2005, ha rivoluzionato il mondo dell'industria videoludica grazie al prezzo contenuto, voluto per rendere lo sviluppo di applicativi interattivi accessibile al maggior numero di utenti e di piattaforme. L'interfaccia consiste in un *editor* visuale e un am-

11_ Attraverso una gamma di strumenti di rilievo che vanno dalla fotogrammetria digitale alla scansione laser, utilizzate singolarmente o in maniera integrata, è possibile creare una nuvola di punti che descriva tramite coordinate cartesiane la forma dell'oggetto. Per l'utilizzo in un'applicazione interattiva è necessaria la rielaborazione dei punti in una mesh poligonale digitale.

as evidenced by the size of the support community and the availability of development resources.

Unreal Engine 4

Developed in 1988 by Epic Games, it is among the first game engines ever made. Over the years, it has extended compatibility to numerous platforms, allowing the implementation of any simulation (including 2D applications). The desire for expanded use led to the introduction of the Blueprint Visual Scripting feature, a visual programming language[12] *that allows programming through the graphic manipulation of the elements and not through written syntax (C++). A whole range of functions, generally available only to expert programmers, are thus accessible, with stimulating results for the quality of work that users can do with fewer computer skills.*

CryEngine

CryEngine is a professional-level application developed by Crytek for Far Cry, a successful videogame followed by numerous other productions. Compared to the two previous engines, CryEngine is a more professional-oriented tool, capable of reproducing suggestive extended environments, rich in natural details, at the expense of ease of use and learning. The application is characterized by an interface that requires long training times and allows one to obtain optimal results only if integrated with knowledge of the C and C ++ programming languages. Compatibility with fewer platforms of use affects the availability of the educational material available.

Blender

Blender is best known as open-source modelling software. It is available for various operating systems and equipped with robust features comparable to more well-known proprietary programs for 3D modeling. It has a real Game Engine too that can create interactive applications. Also, for Blender, the creation of immersive environments can take place through a visual interface that does not require specific knowledge of programming languages and that can, if necessary, be extended through interaction with Python. Not born as a game engine, the software does not have many other tools' features. On the other hand, operating within the same environment simplifies the workflow, avoiding conversion problems among software and providing an option suitable for inexperienced users or simple projects.

SchiVa 3D Game Engine

ShiVa3D is a 3D game engine with a graphic editor designed to create applications and video games compatible with over 20 platforms. The software is used both for independent projects

12_ A VPL (Visual Program Language) allows one to program with "visual expressions" but also to insert pieces of code (usually, this function runs advanced mathematical formulas). Most VPLs use the "boxes and arrows" concept or graphic units (rectangles, marked circles) corresponding to functions connected by arrows that organize their logical sequence.

USABILITÀ	BLENDER	CRYENGINE	SHIVA3D	UNITY 3D	UNREAL 4
APPRENDIMENTO					
FACILITÀ D'USO					
TUTORIAL					
ESEMPI					
SUPPORTO					
TECNICO			Advanced	Professional	
COMMUNITY					
PREZZO					
FREE				Versione Basic	
COSTO ANNUALE	Free	Royalty del 5% dopo i primi 5000 $ di guadagno.	Basic 200 $ Advanced 1000 $	Professional 1500 $	Royalty del 5% dopo i primi 3000 $ di guadagno.

Fig. 2 – Unity ha una comunità molto ampia, con tutorial ed esempi gratuiti, tuttavia il supporto tecnico non è offerto nella versione gratuita, a differenza di Unreal 4 o Cryengine.

Fig. 2 – Unity has a very large community, with tutorials, and free examples, however, technical support is not offered in the free version, unlike Unreal 4 or Cryengine.

NETWORKING	BLENDER	CRYENGINE	SHIVA3D	UNITY 3D	UNREAL 4
RETE					
CLIENT SERVER					
PEER TO PEER					
MULTI PLAYER	Solo PC				
SISTEMA OPERTIVO					
WINDOW					
MAC OSX					
LINUX					
GRAFICA API					
DIRECT X					
OPEN GL					
SCRIPTING					
LINGUAGGIO PROGRAMMAZIONE	Python; C++	C, C++	Lua; C++	C; JavaScript	C++; Blueprint
EDITOR PROGRAMMAZIONE					
DEBUGGER					

Fig. 3 – Tutti i motori di gioco seguono lo stesso modello client server e possono configurare applicazioni multiutente.

Fig. 3 – All game engines follow the same client server model and can configure multi-user applications.

INTEROPERABILITÀ	BLENDER	CRYENGINE	SHIVA3D	UNITY 3D	UNREAL 4
IMPORTAZIONE 3D					
3DS MAX	.3ds, .Dxf, .Ply, .Obj, .Fbx .Stl,.Dae	Fbx,. Dxf, .Dae, .Obj, .3ds	.Dae	.Fbx, .Dxf, .Dae, .Obj	.Fbx, .udatasmith
BLENDER		.Dxf, .Dae, .Obj,	.Dae	.Dxf, .Dae, .Obj	.Udatasmith
MAYA	.Fbx, .Dae, .Stl	.Dae. .Fbx	.Dae	Fbx, .Dxf, .Dae	.Fbx. .Udatasmith
SKETCHUP	.Dae, .Obj, .3ds, .Dxf, .Fbx	.Fbx, .Dxf, .Dae, .Obj, .3ds	.Dae	.Fbx, .Dxf, .Dae, .Obj	.Fbx, .Udatasmith
RHINO	.Obj, .3ds, .Dxf, .Ply, .Dae, .Fbx	.Fbx, .Dxf, .Dae, .Obj, .3ds	.Dae	.Fbx, .Dxf, .Dae, .Obj	.Fbx, .Udatasmith
ARCHICAD	3ds, Dxf, .Fbx, .Stl,.Dae, .Obj	.Fbx, .Dxf, .Dae, .Obj, .3ds	.Dae	.Fbx, .Dxf, .Dae, .Obj	.Fbx
REVIT	.3ds., .Dxf	.3ds., Dxf,		.Dxf	
INVENTOR	.Dxf,.Obj,.Stl	.Dxf,.Obj		.Dxf	.Fbx
CINEMA 4D	.3ds, Dxf, .Fbx, .Stl,.Dae, .Obj.	.Fbx, .Dxf, .Dae, .Obj, .3ds	.Dae	.Fbx, .Dxf, .Dae, .Obj	.Fbx. .Udatasmith
AUTOCAD	.Dxf, .Stl, .3ds	.3ds,.Dxf		.Dxf	

Fig. 4 – Come mostrato nella tabella, i motori di gioco supportano l'importazione/esportazione di modelli da/verso le piattaforme CAD più diffuse in modo significativamente diverso. In alcuni casi non esiste una compatibilità diretta, rendendo problematica la corretta definizione topologica delle geometrie digitali. I formati Fbx e Dae consentono lo scambio di geometrie, texture, vincoli cinematici e altre informazioni per l'animazione e l'interattività. Le altre estensioni descrivono solo la geometria digitale, perdendo le texture e richiedendo lo studio di adeguati processi di ricomposizione nel motore di gioco. Udatasmith è il formato di un'applicazione plug-in di Unreal, che permette la conversione automatica delle geometrie, ma i risultati sono variabili a seconda del software di origine e della complessità morfologica.

Fig. 4 – As shown in the table, the game engines support the import/export of models from/to the most popular CAD platforms in a significantly different way. There is no direct compatibility in some cases, making the correct topological definition of digital geometries problematic. The Fbx and Dae formats allow the exchange of geometries, textures, kinematic constraints and other information for animation and interactivity. The other extensions describe only the digital geometry, losing textures and requiring the study of adequate recomposition processes in the game engine. Udatasmith is the format of an Unreal plug-in application, which allows the automatic conversion of geometries, however the results are variable depending on the source software and the morphological complexity.

ETEROGENEITÀ	BLENDER	CRYENGINE	SHIVA3D	UNITY 3D	UNREAL 4
DESKTOP					
WINDOWS			Solo Professional		
MAC OSX			Solo Professional		
LINUX		Necessaria Plug-in	Solo Professional		
WEB	Necessaria Plug-in		Necessaria Plug-in	WebGL	HTML5
DISPOSITIVI MOBILI					
IOS	Necessaria Plug-in		Solo Professional		
ANDROID	Necessaria Plug-in		Solo Professional		
KAIOS	Necessaria Plug-in			Necessaria Plug-in	Necessaria Plug-in
TIZEN	Necessaria Plug-in			Necessaria Plug-in	Necessaria Plug-in
CONSOLE					
PLAYSTATION			Solo Professional		
WII			Solo Professional		
XBOX			Solo Professional		

Fig. 5 – Unity e Unreal 4 sono i motori di gioco che consentono di creare applicazioni interattive per il maggior numero di piattaforme: computer, smartphone, tablet, siti web e console. Facendo riferimento alla Fig. 3, Unity non funziona con i sistemi operativi Linux e Unreal 4 è disponibile solo per Windows.

Fig. 5 – Unity and Unreal 4 are the game engines that allow you to create interactive applications for the most significant number of platforms: computers, smartphones, tablets, websites and consoles. Referring to Fig. 3, Unity does not work with Linux operating systems and Unreal 4 is only available for Windows.

biente di sviluppo integrato che aggrega gli strumenti di lavoro semplificando il processo produttivo. Scene semplici (senza meccaniche fisiche e cinematiche complesse) possono essere realizzate anche senza l'utilizzo di codice, attraverso la valutazione in tempo reale del funzionamento del prototipo. È ampiamente utilizzato sia in applicazioni indipendenti che per progetti professionali di alto profilo, come dimostrato dalla dimensione della comunità di supporto e dalla disponibilità di risorse di sviluppo.

Unreal Engine 4

Sviluppato nel 1988 da Epic Games è tra i primi motori di gioco mai realizzati. Nel corso degli anni ha esteso la compatibilità a numerose piattaforme, permettendo l'implementazione di qualsiasi genere di simulazione (incluse le applicazioni 2D). La volontà di un utilizzo ampliato ha portato all'introduzione della funzionalità *Blue Print Visual Scripting*, ovvero un Linguaggio di Programmazione Visuale[12] che

12_ Un VPL (Visual Program Language) consente di programmare con

and for professional platforms. It allows an intuitive and fast pipeline that requires knowledge of LUA and C++ programming languages. The efficiency of ShiVa3D is due to the adoption of the open-source physics engine ODE (Open Dynamic Engine), which allows complex simulations for rigid bodies and collisions. However, it does not manage the behavior of semi-rigid bodies, such as the fabrics of a dress. The application can be considered an ideal product for projects dedicated to the mobile target, given the lightness of the outputs. This feature makes it ideal for professionals in the sector.

Results and Conclusions

Based on the results of the comparative analysis, it is possible to draw some conclusions (Fig. 6):

- *Blender is the tool with the lowest audiovisual performance and the least feature-rich, on the other hand as open-source software that can be used free of charge, even if without technical support. It is also the only three-dimensional modeler among the applications.*
- *CryEngine obtains an overall evaluation similar to Shiva.*

consente la programmazione tramite la manipolazione grafica degli elementi e non tramite la sintassi scritta (C++). Sono così accessibili un'intera gamma di funzioni generalmente disponibili solo per programmatori esperti, con risultati interessanti per la qualità dei lavori realizzabili da utenti con minori competenze informatiche.

CryEngine

CryEngine è un applicativo di livello professionale sviluppato da Crytek per Far Cry, videogame di successo, a cui han fatto seguito numerose altre produzioni. Rispetto ai due motori precedenti, CryEngine è uno strumento più orientato ai professionisti, capace di riprodurre suggestivi ambienti estesi, ricchi di dettagli naturali, a scapito però della facilità di utilizzo e apprendimento. L'applicativo è infatti caratterizzato da un'interfaccia che richiede lunghi tempi di addestramento e che consente di ottenere risultati ottimali solo se integrata dalla conoscenza del linguaggio di programmazione C e C++. La compatibilità con un minor numero di piattaforme di utilizzo si ripercuote sulla disponibilità del materiale didattico disponibile.

Blender

Blender è maggiormente conosciuto come *software* di modellazione *open source*. Disponibile per vari sistemi operativi e dotato di un robusto insieme di funzionalità paragonabili a più noti programmi proprietari per la modellazione 3D, ma dispone anche di un vero e proprio *Game Engine* utilizzabile per la creazione di applicativi interattivi in tempo reale. Anche per Blender la creazione di ambienti immersivi può avvenire attraverso un'interfaccia visuale che non richiede la conoscenza specifica dei linguaggi di programmazione e che può, alla bisogna, essere estesa tramite l'interazione con Python. Non nascendo come *game engine*, il *software* non presenta molte delle funzionalità disponibili in altri strumenti. D'altro canto, la possibilità di operare all'interno dello stesso ambiente semplifica notevolmente il flusso di lavoro, evitando problematiche di conversione tra *software* e fornendo un'opzione adatta ad utenti inesperti o progetti semplici.

SchiVa 3D Game Engine

ShiVa3D è un motore di gioco 3D con un *editor* grafico progettato per creare applicazioni e videogiochi compatibili con oltre 20 piattaforme d'utilizzo. Il *software* è utilizzato sia per progetti indipendenti che per piattaforme professionali ed è contraddistinto da una *pipeline* intuitiva e veloce che però richiede la conoscenza dei linguaggi di programmazione LUA e C++. L'efficienza di ShiVa3D è dovuta all'adozio-

"espressioni visuali" ma anche all'evenienza di inserire spezzoni di codice (solitamente questa funzione è riservata a formule matematiche avanzate). La maggioranza dei VPL è basata sull'idea "boxes and arrows" ovvero unità grafiche (rettangoli, circonferenze contrassegnati) corrispondenti a funzioni connesse da frecce che ne organizzano la sequenza logica.

It effectively supports the audiovisual dimension and provides good physical simulation and artificial intelligence features. However, its interface is not very user-friendly, and there is low availability of educational material. It is distinguished from Shiva for more effective management of target platforms, consoles, mobile devices, and computers.

Unity and Unreal Engine 4 are the most versatile game engines among those selected:

- *Both integrate the tools necessary for developing efficient interactive projects, but in terms of usability and learning curve, Unity has a better interface.*
- *Both engines have a large community and have many tutorials and information archives. Unity requires fewer hardware resources, while Unreal requires high-performance devices, which determine the latter's graphics superiority. Both effectively support many platforms: Unity is characterized by "lighter" media outputs, suitable for web and mobile applications, while Unreal enhances more immersive environments for AV or RV applications, which need more computational resources.*

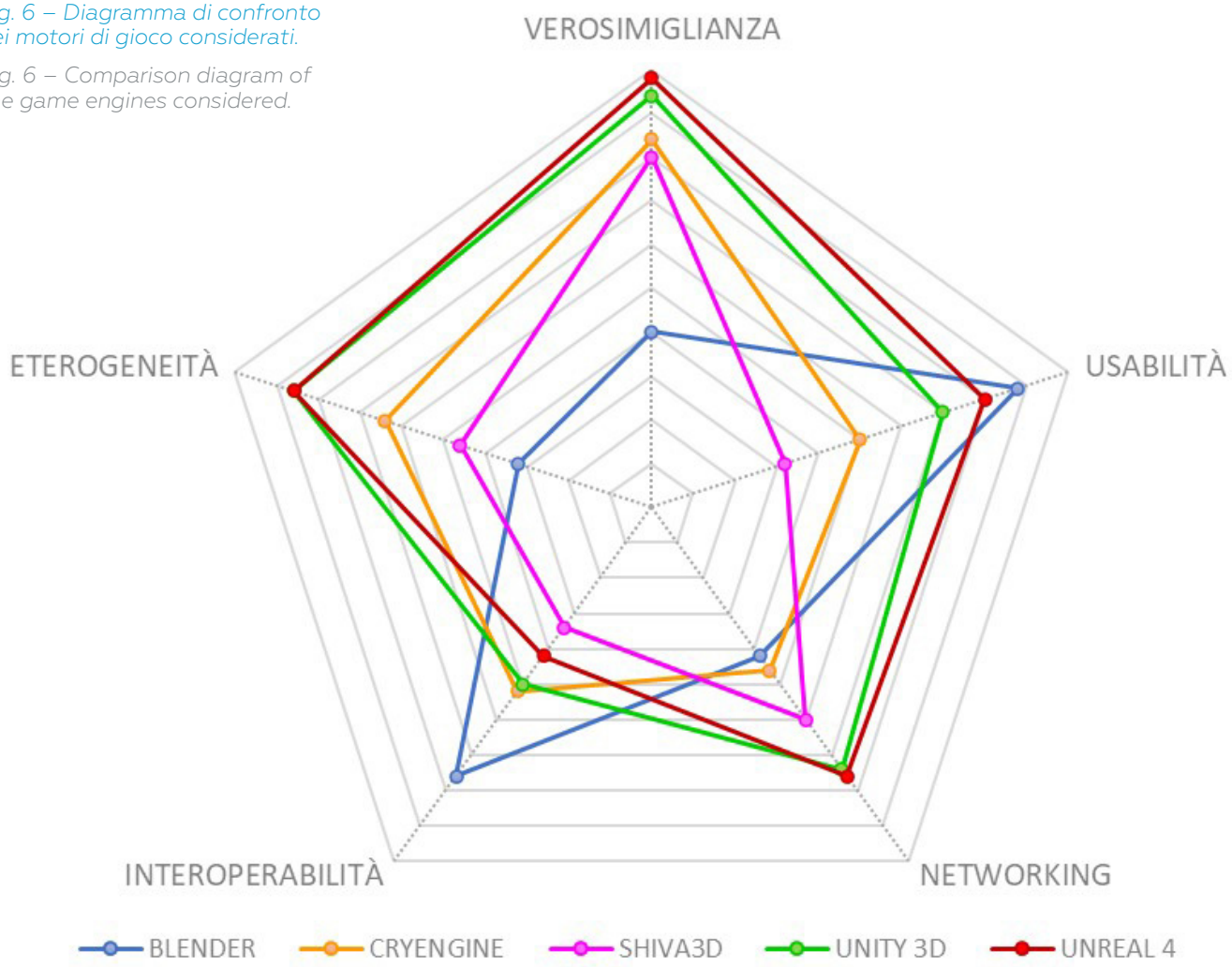
Considering the use for research, dissemination and enhancement purposes, Unreal Engine has two characteristics that make it more attractive:

- *includes the visual programming language (Blueprints), which can be used alternatively or with the native programming language C ++. The system is designed to facilitate rapid code prototyping without requiring advanced programming skills and provides a consistent experience with other platform tools used to create graphical or interactive assets. The possibility of a simplified use is fundamental for research sectors characterized by small homogeneous working groups, where IT or telematic network architecture experts are often unavailable.*
- *Although it is not open-source software according to the strictest definition of the term, if not used for commercial purposes, it is freely available, facilitating low-budget science projects. Furthermore, users are free to modify and share the source code and possibly contribute to new scripts, provided they comply with the terms of the license. Unlike entirely proprietary game engines, which charge fees for access to the source code, it is possible to experiment with approaches and functionalities different from those codified by the videogame sector, opening to unprecedented uses in the scientific sectors.*

In conclusion, it is helpful to remember that creating an interactive multimedia product is a complex project, which usually requires different skills, long processing times, and a careful balance between interaction principles, content, and intended use. The study and adoption of a game engine, adequately selected

Fig. 6 – Diagramma di confronto dei motori di gioco considerati.

Fig. 6 – Comparison diagram of the game engines considered.



ne del motore fisico open source ODE (*Open Dynamic Engine*) che permette complesse simulazioni per corpi rigidi e collisioni, ma non gestisce il comportamento di corpi semi-rigidi quali i tessuti di un vestito. L'applicativo può essere considerato un prodotto ideale per progetti dedicati al *target* mobile, vista la leggerezza degli *output*, caratteristica che lo rende ideale ai professionisti del settore.

Risultati e Conclusioni

(G. Amoruso, G. Buratti)

Sulla base dei risultati dell'analisi comparativa è possibile trarre alcune conclusioni (Fig.6):

- Blender è lo strumento con la minor *performance* audiovisiva e il meno dotato di funzionalità, d'altra parte come *software open source* e utilizzabili gratuitamente, anche se privo di un supporto tecnico. È anche l'unico modellatore tridimensionale tra gli applicativi esaminati, ne consegue che è possibile lavorare sempre nello stesso ambiente, ottimizzando il ciclo di lavoro ed evitando conversioni di formato degli oggetti digitali spesso problematiche.

based on the objectives, can partially compensate for the implicit limitations deriving from the limited number of people involved in the processing and the lower budgets, which usually distinguish scientific productions from commercial ones. Despite the unanimous recognition of interactive applications' educational potential [9], theoretical tools are not yet available to define a correct relationship between content narration and usage platforms. While presenting margins of overlap with the videogame sector, using these tools for research or cultural dissemination purposes is a field that is still little investigated, which differs from game development in terms of method content communication and presents some peculiar criticalities. For example, in the Digital Heritage sector, the digital translation of artifacts must guarantee the authenticity of the materials and the accuracy of the dimensional geometric data, an indispensable feature for the study and preservation of the cultural asset in question. However, at the same time, it must respond to dissemination and promotional instances [29], through the dissemination to the most significant possible number of people. Accurate digital models require a considerable investment in terms of computational resources, making them difficult to be compatible with immersive, dynamic experiences, capable of enhancing the interpretation and exploration of users. In an

- Shiva consente un notevole supporto audiovisivo ed è caratterizzato da un modulo di simulazione della fisica robusto e affidabile. L'utilizzo prevede però una solida base informatica e tempi di apprendimento lunghi, caratteristiche che, unitamente al costo del *middleware* e allo scarso materiale reperibile gratuitamente, lo rendono un'applicazione ideale per scopi professionali.
- CryEngine ottiene una valutazione complessiva simile a Shiva: supporta efficacemente la dimensione audiovisiva ed è dotato di buone caratteristiche di simulazione fisica ed intelligenza artificiale, ma è caratterizzato da un'interfaccia poco *user friendly* e da una bassa disponibilità di materiale didattico. Si distingue da Shiva per una maggior gestione delle piattaforme di destinazione, potendo gestire efficacemente console, dispositivi mobile e computer.

Unity e Unreal Engine 4 risultano i motori di gioco più versatili tra quelli selezionati:

- Entrambi integrano gli strumenti necessari per lo sviluppo di progetti interattivi efficienti, ma per quanto riguarda l'usabilità e la curva di apprendimento Unity presenta un'interfaccia migliore.
- Entrambi i motori hanno un'ampia *community* e dispongono di molti *tutorial* ed archivi informativi. Unity richiede risorse *hardware* minori, mentre Unreal necessita di dispositivi performanti, che però determinano la superiorità grafica di quest'ultimo. Ambedue supportano efficacemente un gran numero di piattaforme di utilizzo, anche se l'analisi effettuata evidenzia come Unity si caratterizzi per *output* in media più "leggeri", indicati per applicazioni web e mobile, mentre Unreal valorizzi maggiormente ambienti immersivi per applicazioni di AV o RV che necessitano di maggiori risorse computazionali.

Considerando l'utilizzo a fini di ricerca, divulgazione e valorizzazione Unreal Engine presenta due caratteristiche che lo rendono maggiormente appetibile:

- include il linguaggio di programmazione visiva (*Blueprints*) che può essere utilizzato in alternativa o combinazione col nativo linguaggio di programmazione C++. Il sistema è progettato per facilitare la prototipazione rapida di codice senza richiedere competenze di programmazione avanzate e fornisce un'esperienza coerente con altri strumenti della piattaforma utilizzati per creare risorse grafiche o interattive. La possibilità di un utilizzo semplificato è fondamentale per settori di ricerca caratterizzati da piccoli gruppi di lavoro omogenei, dove non sempre sono disponibili esperti di informatica o di architettura delle reti telematiche.
- sebbene non sia un *software open source* secondo la definizione più rigorosa del termine, se non utilizza-

undeniable growth over time, digitization has contributed to expanding the cultural heritage catchment area [32], extending it from regulars to more general users. For any cultural dissemination project to be effective, knowledge of the software tool is essential, but the organization of contents in different narrative dimensions, is necessary for different digital media and to involve audiences differentiated by age, cultural profile, and expectations [33]. Therefore, the advancement of this research, of which the first results obtained from the survey and digital processing of the Roman Theatre of Amman are presented in fig. 7, aims to define a methodological-design model that integrates the software necessary for the acquisition of geometric and material data with those necessary to create transactional applications through theoretical-conceptual tools that maximize the educational experience.

Acknowledgements

The authors collaborated during the research development process, discussing the paper's contents and endorsing it with their considerations. G. Amoruso and A. Manti conducted the digital survey, while G. Buratti supervised the topological reconstruction and the required adaptation in Unreal 4. Concerning the paper writing, G. Amoruso wrote the introduction and part of par. 4, while G. Buratti was responsible for par. 2 and 3, part of par. 4 and the images and tables elaboration.

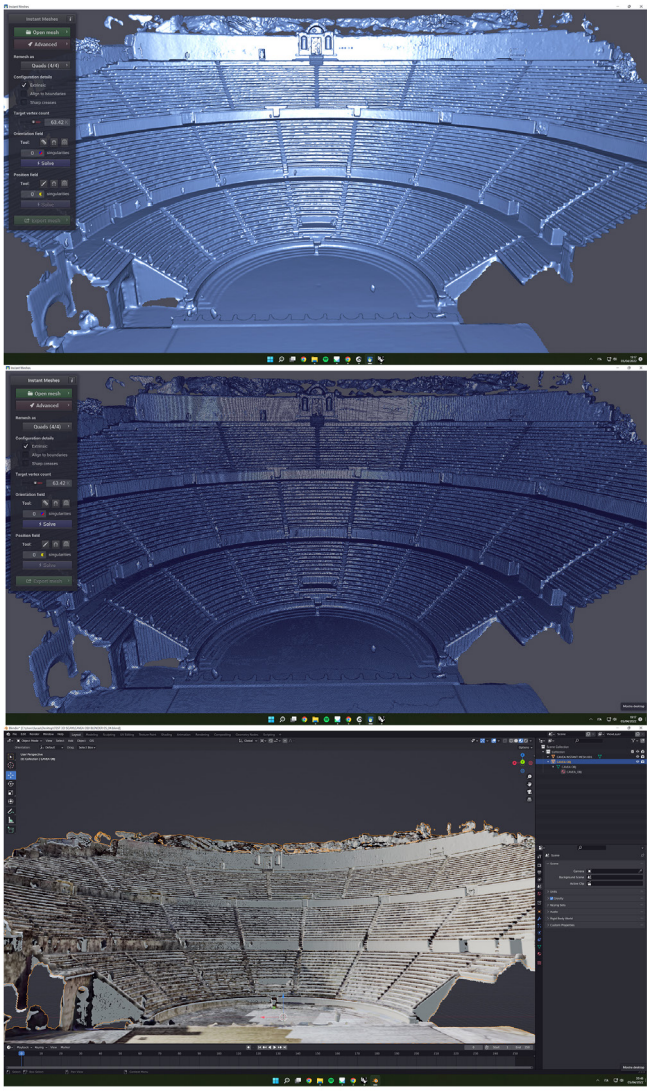


Fig. 7 – Retopologia del modello ottenuto dalla nuvola di punti in modo che sia gestibile nell'ambiente Unreal.

Fig. 7 – Retopology of the model obtained from the point cloud so that it is manageable in the Unreal environment.

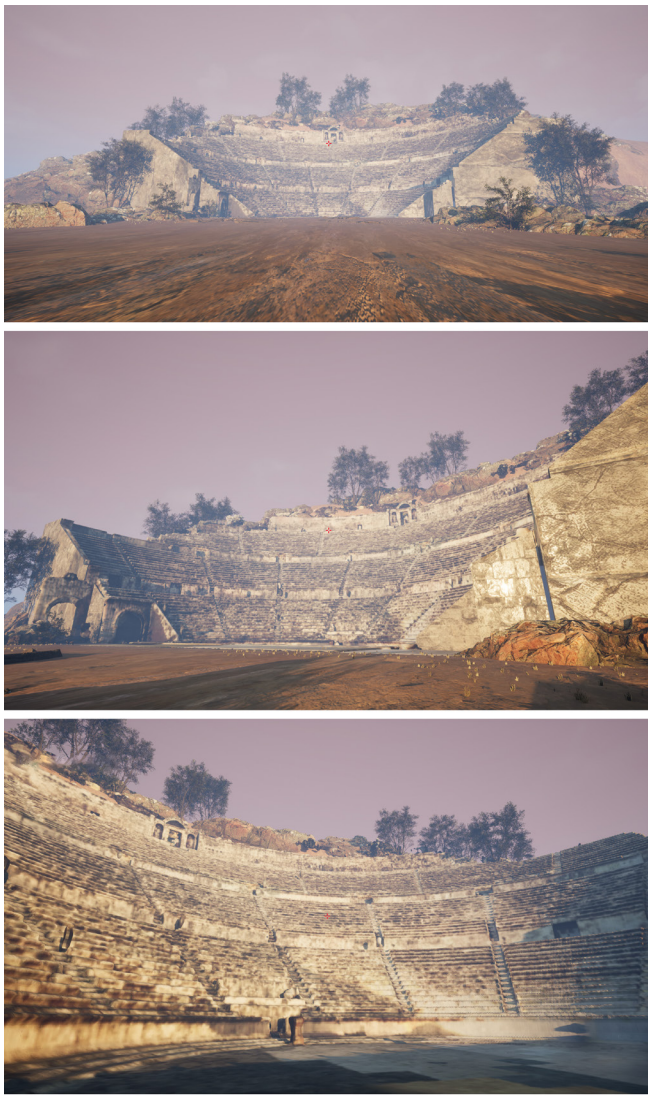


Fig. 8 – Modello digitale tridimensionale esplorabile gratuito del Teatro Romano di Amman realizzato con Unreal 4.

Fig. 8 – Free explorable three-dimensional digital model of the Roman Theatre of Amman made with Unreal 4.

to ai fini commerciali è disponibile gratuitamente, facilitando i progetti scientifici a basso *budget*. Inoltre, gli utilizzatori sono liberi di modificare e condividere il codice sorgente, oltre a contribuire eventualmente a nuovi *script*, a condizione che rispettino i termini della licenza. Diversamente dai motori di gioco interamente proprietari, che addebitano tariffe per l'accesso al codice sorgente, è quindi possibile sperimentare approcci e funzionalità diversi da quelli codificati dal settore videoludico, aprendo a inediti utilizzi nei settori scientifici.

In conclusione, è utile ricordare che la creazione di un prodotto multimediale interattivo è un progetto complesso, che richiede solitamente diverse competenze, lunghi tempi di elaborazione, nonché un attento equilibrio tra i principi dell'interazione, i contenuti e la destinazione d'uso. Lo studio e l'adozione di un *game engine*, adeguatamente selezionato in base agli obbiettivi, può in parte sopperire alle limitazioni implicite derivate dal numero limitato di persone coinvolte nella lavorazione, e dai *budget* inferiori, che solitamente distinguono le produzioni scientifiche da quelle commerciali. Nonostante l'unanime riconoscimento del potenziale educativo [9] delle applicazioni interattive, non sono ancora disponibili strumenti teorici che definiscano il corretto rapporto tra narrazione dei contenuti e piattaforme di utilizzo.

Pur presentando margini di sovrapposizioni col settore videoludico, l'utilizzo di questi strumenti a fini di ricerca o di disseminazione culturale è un campo ancora poco indagato, che si distingue dal *game development* per questioni di metodo, comunicazione dei contenuti e finalità e che presenta delle criticità peculiari. Nel settore del *Digital Heritage*,

ad esempio, la traduzione digitale degli artefatti deve garantire l'autenticità dei materiali e l'accuratezza del dato geometrico dimensionale, caratteristica irrinunciabile per lo studio e la preservazione del bene culturale in oggetto, ma nel contempo deve rispondere ad istanze divulgative e promozionali [29], attraverso la disseminazione presso il maggior numero possibile di persone. Modelli digitali accurati richiedono un ingente investimento in termini di risorse computazionali, che li rendono difficilmente compatibili con esperienza immersive dinamiche, capaci di valorizzare l'interpretazione e l'esplorazione degli utenti.

In un innegabile crescendo nel tempo, la digitalizzazione ha contribuito ad ampliare il bacino d'utenza del patrimonio culturale [32], estendendolo dai frequentatori abituali a fruitori più generici, ma perché qualsiasi progetto di disseminazione culturale sia efficace, è importante non solo la conoscenza dello strumento *software*, ma l'organizzazione dei contenuti in dimensioni narrative diverse, adatte ai differenti *media* digitali e che coinvolgano fasce di pubblico differenziate per età, profilo culturale e aspettative [33]. Pertanto, l'avanzamento di questa ricerca, di cui si presentano in figura 8 i primi risultati ottenuti a partire dal rilievo e dalla rielaborazione digitale del Teatro Romano di Amman, si propone di definire un modello metodologico-progettuale che integri i *software* necessari all'acquisizione dei dati geometrici e materici con quelli necessari a realizzare applicazioni transazionali, attraverso strumenti teorico-concettuali che massimizzino l'esperienza educativa.

Ringraziamenti

Gli autori hanno collaborato durante tutto il processo di sviluppo della ricerca, discutendo i contenuti dell'articolo, avvalorandolo con le loro considerazioni. Il rilevo digitale è stato condotto da G. Amoruso e da A. Manti, mentre G. Buratti ha curato la ricostruzione topologica e l'adattamento necessario all'utilizzo in Unreal 4. In riferimento alla stesura di questo articolo, G. Amoruso ha scritto l'introduzione e parte del par.4 mentre G. Buratti si è occupato dei par. 2 e 3, di parte del par.4 e dell'elaborazione di immagini e tabelle.

Bibliografia / References

[1] ALBOURAE, A.T.; ARMENAKIS, C.; KYAN, M. (2017) Architectural Heritage Visualization Using Interactive Technologies. Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spat. Inf. Sci. 2017, 42, 7–13.

[2] ALEXANDER, A.L., BRUNYÉ, T., SIDMAN, J. AND WEIL, S.A. (2012), From Gaming to Training: A Review of Studies on Fidelity, Immersion, Presence, and Buy-in and Their Effects on Transfer in PC-Based Simulations and Games, Aptima, Inc., Woburn, MA, DARWARS Training Impact Group.

[3] ANDERSON, E. F., MCLOUGHLIN, L., LIAROKAPIS, F., PETERS, C., PETRIDIS, P. & DE FREITAS, S. (2009). Serious Games in Cultural Heritage, 10th VAST International Symposium on Virtual Reality, Archaeology and Cultural Heritage (VAST '09), VAST-STAR, Short and Project Proceedings, Eurographics, Malta, 22-25.

[4] ANDRADE, A. (2015), Game engines: a survey, EAI Endorsed Transactions on Serious Games, 15(6): e8.

[5] ARENDS M., MERKL D., GOLDFARB D., FROSCHAUER J. (2012). A serious heritage game for art history: Design and evaluation of ThIATRO, in 2012 18th International Conference on Virtual Systems and Multimedia (VSMM). Proceedings of the VSMM 2012 Virtual Systems in the InformationSociety. 2 – 5 September, 2012 Milan, Italy, IEEE Advancing Technology for Humanity, Milano.

[6] BLAIR L., KAPP K. M., MESCH R., (2014) The Gamification of Learning and Instruction Fieldbook: Ideas into Practice, Wiley, San Francisco 2014.

[7] Blender, https://Blender.com/

[8] BROUILLARD J., DIERICKX B., LOUCOPOULOS C. (2015) Digital Storytelling and Cultural Heritage: Stakes and Opportunities, Officine Grafiche Tiburtine, Roma.

[9] CHAMPION E. (2014) History and Cultural Heritage in Virtual Environments, in Grimshaw Mark (edit by), The Oxford Handbook of Virtuality, Oxford University Press, New York, pp. 269 - 283.

[10] CHAMPION E. (2016), Entertaining the similarities and distinctions between serious games and virtual heritage projects, Entertainment Computing, vol. 14, pp. 67 - 74.

[11] CHRISTOPOULOU, EL. XINOGALOS, S. (2017), Overview and Comparative Analysis of Game Engines for Desktop and Mobile Devices, International Journal of Serious Games Volume 4, Issue 4, ISSN: 2384-8766

[12] COWAN B, KAPRALOS B. (2014) A survey of frameworks and game engines for serious game development. In: Advanced Learning Technologies (ICALT): IEEE 14th International Conference on Greece

[13] CryEngine, https://Cry-engine.com/

[14] DECHIARA R, ERRA U, ANDREOLI R, SCARANO V. Interactive 3D environments by using videogame engines. In: 17th International Conference on Information Visualisation. Vol. 1(2). 2013. pp. 515-520

[15] DevMaster.net., http://devmaster.net

[16] FU, DANIEL D. et al. (2008), Evaluating Game

Technologies for Training. 2008 IEEE Aerospace Conference 1-10.

[17] GREGORY, J. (2015). Game engine architecture. Second edition Taylor & Francis Ltd.

[18] KEIL, J.; EDLER, D.; SCHMITT, T.; DICKMANN, F. (2021) Creating Immersive Virtual Environments Based on Open Geospatial Data and Game Engines. KN-J. Cartogr. Geogr., 1–13.

[19] KOEHLER, T.; DIECKMANN, A.; RUSSELL, P. (2008) An Evaluation of Contemporary Game Engines. In Proceedings of the 26th eCAADe Conference, Antwerp, Belgium, 17–20 September 2008; pp. 743–750.

[20] KOSMADOUDI, Z., LIM, T., RITCHIE, S., LIU, Y., AND SUNG, R. (2013), Engineering design using game-enhanced CAD: The potential to augment the user experience with game elements, Computer-Aided Design, Volume 45, Issue 3, Pages 777–795, https://doi.org/10.1016/j.cad.2012.08.001

[21] LYNNE H.L, AMPARO L.(edit by), (2005) Mobile World: Past, Present and Future (Computer Supported Cooperative Work), Springer, USA,.

[22] MARKS, S., WINDSOR, J. and WUNSCHE, B., (2007) Evaluation of Game Engines for Simulated Surgical Training, GRAPHITE, Perth, Western Australia, December 1–4, 2007. https://doi.org/10.1145/1321261.1321311

[23] PATTRASITIDECHA, A. (2014), Comparison and evaluation of 3D mobile game engines, Master of Science Thesis in the Program International Design, Department of Computer Science and Engineering, University of Gothenburg, 2014.

[24] PELOSI, A.W. (2010) Obstacles of utilising real-time 3D visualization in architectural representations and documentation. In Proceedings of the 15th International Conference on Computer Aided Architectural Design Research in Asia, Hong Kong, China, 2010; pp. 391–400.

[25] PETRIDIS, P. et al. (2010). An Engine Selection Methodology for High Fidelity Serious Games. VS-GAMES '10 Proceedings of the 2010 Second International Conference on Games and Virtual Worlds for Serious Applications, 27-34.

[26] PETRIDIS, P., DUNWELL, I., PANZOLI, D., ARNAB, S., PROTOPSALTIS, A., HENDRIX, M. AND FREITAS, S. (2012), Game Engines Selection Framework for High-Fidelity Serious Applications, International Journal of Interactive Worlds, Vol. 2012 (2012), DOI: 10.5171/2012.418638

[27] SCACCHI W. (2017) Practices and technologies in computer game software engineering. IEEE Software. ;35(1):110-116

[28] Shiva 3d engine, http://www.shiva-engine.com/

[29] UNESCO, (2021) "Charter on the Preservation of the Digital Heritage", http://www.unesco.org/fileadmin/MULTIMEDIA/HQ/CI/CI/pdf/mow/charter_preservation_digital_heritage_en.pdf.

[30] Unity3d, https://unity3d.com/

[31] Unreal Engine, https://www.unrealengine.com/

[32] Viccei R., (2019) Ricostruzioni digitali per la conoscenza e la valorizzazione dei teatri antichi: usi, significati, questioni aperte, in M. Limoncelli, F. Sacchi, R. Viccei, Indagini archeologiche e ricostruzioni digitali per lo studio degli spazi teatrali greci e romani. Visioni e prospettive, Milano, EDUCatt, 2019, pp. 83-148.

[33] The London Charter for the Computer-based Visualisation of Cultural Heritage,http://www.londoncharter.org/fileadmin/templates/main/docs/london_charter_2_1_it.pdf.