POLITECNICO DI TORINO
Repository ISTITUZIONALE

Preservare l’architettura tradizionale balinese: strategie digitali per la tutela di patrimoni culturali a rischio

Original
Preservare l’architettura tradizionale balinese: strategie digitali per la tutela di patrimoni culturali a rischio / Lo Turco, M., Chiabrando, F., Tomalini, A., Bono, J., Castorello, E. - In: eXploA - Virtual journeys to discover inaccessible heritages / Stilo F., Castiglione V., Cazzaro I., Ceracchi M., Natta F., Pileri M., Pizzonia L., Tomalini A., Tomasella N.. - ELETTRONICO. - Alghero : Publica Sharing Knowledge, 2024. - ISBN 9788899586492. - pp. 683-695

Availability:
This version is available at: 11583/2998068 since: 2025-03-04T19:37:33Z

Publisher:
Publica Sharing Knowledge

Published
DOI:

Terms of use:

This article is made available under terms and conditions as specified in the corresponding bibliographic description in the repository

Publisher copyright

(Article begins on next page)

30 October 2026

unione italiana disegno

eXploRA

virtual journeys to discover *in*accessible heritages

a cura di

Francesco Stilo
Vittoria Castiglione
Irene Cazzaro
Michela Ceracchi
Fabrizio Natta
Marta Pileri
Lorella Pizzonia
Andrea Tomalini
Noemi Tomasella
Maria Bélen Trivi

PVBLICA
SHARING·KNOWLEDGE

PVBLICA

COMITATO SCIENTIFICO

Marcello Balbo
Dino Borri
Paolo Ceccarelli
Enrico Cicalò
Enrico Corti
Nicola Di Battista
Carolina Di Biase
Michele Di Sivo
Domenico D'Orsogna
Maria Linda Falcidieno
Francesca Fatta
Paolo Giandebiaggi
Elisabetta Gola
Riccardo Gulli
Emiliano Ilardi
Francesco Indovina
Elena Ippoliti
Giuseppe Las Casas
Mario Losasso
Giovanni Maciocco
Vincenzo Melluso
Benedetto Meloni
Domenico Moccia
Giulio Mondini
Renato Morganti
Stefano Moroni
Stefano Musso
Zaida Muxi
Oriol Nel.lo
Joao Nunes
Gian Giacomo Ortu
Giancarlo Paba
Rossella Salerno
Enzo Scandurragher
Silvano Tagliagambe

Tutti i testi di PUBLICA sono sottosposti a *double peer review*

eXploЯA UID 2024
Premio Giovani UID Vito Cardone 2023
Giornata di Studi Internazionale. Roma, 15 marzo 2024.

COMITATO SCIENTIFICO

Leonardo Baglioni / Sapienza Università di Roma
Carlo Bianchini / Sapienza Università di Roma
Enrico Cicalò / Università degli Studi di Sassari
Edoardo Dotto / Università degli Studi di Catania
Laura Farroni / Università degli Studi Roma Tre
Francesca Fatta / Università degli Studi di Reggio Calabria
Fabrizio Gay / Università IUAV di Venezia
Elena Ippoliti / Sapienza Università di Roma
Massimiliano Lo Turco / Politecnico di Torino
Valeria Menchetelli / Università degli Studi di Perugia
Alberto Sdegno / Università degli Studi di Udine
Roberta Spallone / Politecnico di Torino
Graziano Mario Valenti / Sapienza Università di Roma

Pedro M. Cabezos-Bernal / Universitat Politècnica de València (Spain)
Fabiana Andrea Carbonari / Universidad Nacional de La Plata (Argentina)
Livio De Luca / CNRS (France)
Fernando Gandolfi / Universidad Nacional de La Plata (Argentina)
Mona Hess / Universität Bamberg (Germany)
Pedro António Janeiro / Universidade de Lisboa (Portugal)
Piotr Kuroczyński / Hochschule Mainz – University of Applied Sciences (Germany)
Dominik Lengyel / Brandenburgische Technische Universität Cottbus-Senftenberg (Germany)
Sander Münster / Friedrich Schiller University Jena (Germany)
Pablo Rodríguez-Navarro / Universitat Politècnica de València (Spain)
Renato Vizioli / Universidade Presbiteriana Mackenzie (Brazil)
Simone Helena Tanoue Vizioli / Universidade de São Paulo (Brazil)

COMITATO ORGANIZZATIVO

Francesco Stilo (Coordinator) / Università degli Studi 'Mediterranea' di Reggio Calabria
Vittoria Castiglione / Sapienza Università di Roma
Irene Cazzaro / Università di Bologna – Alma Mater Studiorum
Michela Ceracchi / Sapienza Università di Roma
Fabrizio Natta / Politecnico di Torino
Marta Pileri / Università degli Studi di Sassari
Lorella Pizzonia / Università degli Studi 'Mediterranea' di Reggio Calabria
Andrea Tomalini / Politecnico di Torino
Noemi Tomasella / Sapienza Università di Roma
María Belén Trivi / Sapienza Università di Roma

COMITATO DEI REVISORI

Alessio Altadonna / Università degli studi di Messina
Marinella Arena / Università degli Studi di 'Mediterranea' Reggio Calabria
Martina Attenni / Sapienza Università di Roma
Leonardo Baglioni / Sapienza Università di Roma
Alessandro Basso / Università degli Studi di Camerino
Laura Carlevaris / Sapienza Università di Roma
Lino Cabras / Università degli Studi di Sassari
Emanuela Chiavoni / Sapienza Università di Roma
Enrico Cicalò / Università degli Studi di Sassari
Luigi Cocchiarella / Politecnico di Milano
Daniele Colistra / Università degli Studi 'Mediterranea' di Reggio Calabria
Francesca Condorelli / Libera Università di Bolzano
Marco Fasolo / Sapienza Università di Roma
Francesca Fatta / Università degli Studi 'Mediterranea' di Reggio Calabria
Amedeo Ganciu / Università degli Studi di Sassari
Alessia Garozzo / Università degli Studi di Palermo
Fabrizio Gay / Università IUAV di Venezia
Elisabetta Caterina Giovannini / Politecnico di Torino
Marika Griffo / Sapienza Università di Roma
Elena Ippoliti / Sapienza Università di Roma
Francesco Maggio / Università degli Studi di Palermo
Matteo Flavio Mancini / Università degli Studi Roma Tre
Silvia Masserano / Università degli Studi di Udine
Domenico Mediati / Università degli Studi di 'Mediterranea' Reggio Calabria
Valeria Menchetelli / Università degli Studi di Perugia
Davide Mezzino / Politecnico di Torino
Maria Milano / Escola Superior de Artes e Design (Portugal)
Sara Morena / Università degli Studi di Palermo
Caterina Palestini / Università degli Studi di Pescara
Francesca Picchio / Università degli Studi di Pavia
Francesca Porfiri / Sapienza Università di Roma
Paola Raffa / Università degli Studi 'Mediterranea' di Reggio Calabria
Veronica Riavis / Università degli Studi di Udine
Jessica Romor / Sapienza Università di Roma
Daniele Rossi / Università degli Studi di Camerino
Anna Sanseverino / Università degli Studi di Napoli
Giovanna Spadafora / Università degli Studi Roma Tre
Roberta Spallone / Politecnico di Torino
Ilaria Trizio / CNR L'Aquila
Graziano Mario Valenti / Sapienza Università di Roma
Michele Valentino / Università degli Studi di Sassari
Starlight Vattano / Università degli Studi di Trento
Chiara Vernizzi / Università degli studi di Parma
Marco Vitali / Politecnico di Torino

Francesco Stilo, Vittoria Castiglione, Irene Cazzaro, Michela Ceracchi, Fabrizio Natta, Marta Pileri, Lorella Pizzonia, Andrea Tomalini, Noemi Tomasella (a cura di)
eXploЯA UID 2024
Virtual Journeys to discover inaccesible heritages
© PUBLICA, Alghero, 2024
ebook ISBN 978 88 99586 49 2
Pubblicazione e stampa Dicembre 2024

PUBLICA
Dipartimento di Architettura, Urbanistica e Design
Università degli Studi di Sassari
WWW.PUBLICAPRESS.IT



PVBLICA

eXploЯA UID 2024

Virtual Journeys to discover *in*accesible heritages

a cura di

Francesco Stilo
Vittoria Castiglione
Irene Cazzaro
Michela Ceracchi
Fabrizio Natta
Marta Pileri
Lorella Pizzonia
Andrea Tomalini
Noemi Tomasella
Maria Bélen Trivi

ISBN: 978 88 99586 49 2

INDICE / INDEX

15 **Presentazione**
Francesca Fatta

19 **Introduzione**
Francesco Stilo

23 **Guardarsi dentro**
Edoardo Dotto

33 **L'intelligenza grafico-digitale nell'epoca della transizione digitale.**
Implicazioni per la rappresentazione e la comunicazione del patrimonio culturale
Enrico Cicalò

43 **Immersive panoramic photography for the dissemination of cultural heritage**
Pedro M. Cabezos-Bernal

55 **DISEGNARE / DRAWING**

Introduzione alla sessione
Lorella Pizzonia, Andrea Tomalini, Maria Bélen Trivi

62 **Rendere visibile**
Francesco Maggio, Alessia Garozzo

80 **Il valore (in)tangibile. Protocolli per la documentazione, la catalogazione e la comunicazione del Patrimonio Culturale Immateriale**
Valeria Menchetelli

104 **Il modello ligneo della Chiesa di san Giuseppe a Firenze: alcune considerazioni**
Marcello Scalzo, Francesco Tioli, Andrea Caprara

126 **Dal disegno al virtuale. Quando la realtà distorce il progetto: un palazzo romano di Gaetano Rapisardi**
Eleonora Di Mauro, Salvatore Damiano

147 **Il rilievo per la fruizione dei beni in digitale: il caso studio di un eremo sull'Isola di Capri**
Rosaria Parente, Riccardo Tavolare

164 **La Realtà Estesa come strumento inclusivo per un progetto urbano nel patrimonio archeologico di Canosa di Puglia. Il caso degli Ipogei Lagrasta e della Fullonica**
Roberto Pedone, Rossella Laera, Emanuela Borsci, Ali Yaser Jafari, Gianluigi De Stradis, Giada Vignola

176 **La rappresentazione dello spazio sacro nella Cattedrale di Bitonto. Dal rilievo alla ricostruzione grafica**
Gabriele Rossi, Massimo Leserri, Davide Sanzio, Domenico Pastore

193 **Architetture tattili di terra per i ciechi: dalla comunicazione alla realizzazione**
Elena De Santis

207 **La ricostruzione digitale del Viridarium: complesso del giardino botanico di Federico Cesi e dell'Accademia dei Lincei**
Marco Proietti

217 **From sketch to immersive reality: Construction Methodology of the 360° Panoramic Drawing from planimetric information. The case of the heritage buildings of the Universidad Nacional de La Plata**
Analía Jara

230 **Scan2BIM methodology applied to the Faculty of Theatral Art of La Habana**
Carlo Biagini, Andrea Bongini

242 **Ricostruzione digitale e immagine urbana. La Specola dell'ex Regio Osservatorio Astrofisico presso il Monastero dei Benedettini a Catania**
Nicoletta Campofiorito, Cettina Santagati

257 **Il cinema Excelsior di Catania: rilievo e documentazione digitale per la fruizione virtuale di un'architettura degli anni Trenta abbandonata**
Graziana D'Agostino, Raissa Garozzo, Mariateresa Galizia

272 **Il patrimonio del Bioparque La Plata, ex Zoo. Conoscenza e divulgazione attraverso il disegno integrato**
Camila Martin, Fabiana Carbonari

291 **MODELLARE / MODELLING**

Introduzione alla sessione
Vittoria Castiglione, Michela Ceracchi, Noemi Tomasella

296 **Ri-costruzione filologica, virtuale e tattile della diruta Cappella Palatina di Noto Antica**
Rita Valenti, Concetta Aliano, Emanuela Paternò

317 **I borghi rurali della riforma agraria: ricostruzioni digitali per la conoscenza e la valorizzazione del patrimonio architettonico contemporaneo**
Raffaele Pontrandolfi, Antonio Bixio

339 **Modellare e rappresentare Pomezia: anatomia di un concorso**
Antonio Schiavo, Beatrice Teresi

359 **Le rovine romane a Napoli: il teatro intrappolato**
Angela Cicala, Gianluca Barile

371 **Modellazione, digital fabrication e AR: un workflow per rendere fruibili le architetture di Mario Botta e le loro matrici geometriche generative**
Francesca Ronco, Giulia Bertola, Enrico Pupi

389 **Il modello architettonico, dal digitale al fisico: il caso studio del Casale della Cervelletta**
Alessio Buonacucina, Alessia Lamantia

396 **Rappresentazione per la Valorizzazione: il Patrimonio Universitario dal Gemello Digitale al Gemello Analogico**
Maurizio Marco Bocconcino, Mariapaola Vozzola, Martino Pavignano

416 **Tra disegni d'archivio e rilievo digitale dello stato di fatto: il modello del famedio di Leone Savoja al gran camposanto di Messina**
Francesca Fatta, Marinella Arena, Francesco Stilo, Lorella Pizzonia

432 ESPLORARE / EXPLORING

Introduzione alla sessione
Irene Cazzaro, Fabrizio Natta, Marta Pileri

440 **Egle Renata Trincanato. Disegni e modelli digitali di un concorso di progettazione, 1942**
Starlight Vattano

455 **Viaggi costieri: tra patrimoni inaccessibili e architetture mai realizzate**
Sonia Mollica

467 **WissKI 3D Repository as a tool for the preservation and exploration of 3D models of cultural heritage**
Igor Bajena, Piotr Kuroczyński

490 **L'uso del metaverso per la fruizione condivisa e interattiva delle informazioni storiche d'archivio**
Silvia La Placa, Francesca Galasso

514 **Riscoprire e rifunzionalizzare un patrimonio perduto attraverso tecniche di rappresentazione digitale. L'acquario-rettilario di Enzo Venturelli per un nuovo Museo del fumetto e dell'animazione giapponese a Torino**
Elisabetta C. Giovannini, Valeria Minucciani, Vittorio Bottari

533 **Other stories. Virtual reconstruction of different design hypotheses for Piazza d'Arogno in Trento**
Anna Maragno, Ambra Barbini, Elena Bernardini, Chiara Chioni

547 **Realtà estesa all'eredità architettonica perduta. Il sistema di accesso meridionale alla Mostra d'Oltremare**
Pedro G. Vindrola, Erika Elefante, Giuseppe Antuono, Pierpaolo D'Agostino

561 **Esplorazione immersiva dello spazio disegnato di Andrea Pozzo. La chiesa non realizzata di San Tommaso di Canterbury**
Flavia Camagni, Marco Fasolo, Elisa Guarino

581 **I cortili rinascimentali all'Aquila: un progetto per l'esplorazione di un patrimonio nascosto**
Luca Vespasiano, Stefano Brusaporci

596 **Tracce d'Acqua**
Giulia Bocci, Giulia Grottolo, Valentina Marchegiani, Alessandra Marinucci

608 **Dal rilievo laser scanner al tour virtuale: un flusso di lavoro per favorire l'accessibilità al patrimonio costruito**
Raffaele Argiolas

622 **Marburger Wissensräume – representing 500 years of university history in form of 4D reconstructions of cultural heritage**
Peter Bell, Katharina Hefele

635 **Marocco: viaggio virtuale nelle architetture di terra**
Marinella Arena, Paola Raffa

654 **Il Quirinale come residenza imperiale francese: i progetti di Raffaele Stern**
Annalisa Brancasi

667 **Online games as a pathway to elevate world cultural heritage conservation in China**
Xiaoxu Liang, Lu Ji

682 **Preservare l'architettura tradizionale balinese: strategie digitali per la tutela di patrimoni culturali a rischio**
Massimiliano Lo Turco, Filiberto Chiabrando, Andrea Tomalini, Jacopo Bono, Enrico Castorello

697 **Reconstructive models and AR applications to archive drawings. Aldo Morbelli's forgotten architectures**
Fabrizio Natta, Roberta Spallone, Marco Vitali

711 **Unbuilt buildings on the Campus of the National College of the city of La Plata, Buenos Aires, Argentina, in the period between 1904 and 1926. Knowledge and graphic dissemination**
Franco O. Morel, Fabiana A. Carbonari

731 **La ricostruzione virtuale del patrimonio ecclesiastico post-sisma: il caso della chiesa di San Fortunato a Pinaco Arafranca, Amatrice**
Emma Moriconi, Davide Mezzino

747 **Documentazione digitale per la diffusione del patrimonio. Le torri di difesa del litorale Valenciano**
Pablo Rodríguez-Navarro, Teresa Gil-Piqueras, Andrea Ruggieri

ESPLORARE



Preservare l'architettura tradizionale balinese: strategie digitali per la tutela di patrimoni culturali a rischio

Massimiliano Lo Turco[1], Filiberto Chiabrando[1], Andrea Tomalini[1], Jacopo Bono[1], Enrico Castorello[2]

[1]Dipartimento di Architettura e Design - DAD, Politecnico di Torino, ITALY

[2]Basic FIT, Utrecht, NETHERLANDS

massimiliano.loturco@polito.it; filiberto.chiabrando@polito.it; andrea.tomalini@polito.it; jacopo.bono@polito.it;castorello.e@gmail.com;

Parole chiave: Architettura balinese; Modellazione parametrica-algoritmica; Librerie di oggetti; Ambienti digitali; Patrimonio inaccessibile.

Abstract

Le architetture tradizionali di Bali furono progettate seguendo antiche regole che fondano le loro radici su tradizioni filosofiche e su credenze religiose. Secondo antiche credenze che risalgono al sedicesimo secolo, l'attività del progettista doveva rispettare sette principi: la gerarchia dello spazio, l'orientamento e il bilanciamento cosmico, la scala umana e le sue proporzioni, lo spazio all'aperto, la chiarezza della struttura e la verità dei materiali. La possibilità di parametrizzare tali regole e la loro successiva manipolazione in un ambiente digitale può consentire la definizione di sistemi basati sulla grammatica delle forme, ponendosi come primo obiettivo la salvaguardia di questo patrimonio immateriale e favorendo al tempo stesso la generazione automatica di proposte compositive flessibili e adattabili alle esigenze contemporanee, pur nel pieno rispetto delle tradizioni.
Il primo passo necessario per avviare qualsiasi operazione di tutela consiste nella conoscenza dell'oggetto, a partire dalle sue peculiarità/valenze di carattere geometrico-dimensionale. In tal senso, le tecniche di acquisizione digitale operanti attraverso strumenti fotogrammetrici agevolano notevolmente la creazione di modelli tridimensionali metricamente accurati e con un limitato dispendio di risorse. I prodotti digitali ottenuti possono assumere valenze plurime: la prima, di carattere documentario, quale requisito imprescindibile per le successive fasi di studio, analisi e interpretazione. Un'ulteriore valenza è legata alla possibilità di condivisione e di accessibilità virtuale di beni culturali, rendendo fruibile un patrimonio tanto prezioso quanto inaccessibile. Proprio su quest'ultimo ambito si concentra maggiormente il contributo, utilizzando i prodotti dei rilievi 3D con diverse tecniche per la definizione di librerie di oggetti relativi ai principali componenti che caratterizzano l'architettura balinese. Questi componenti includono colonne, portali d'ingresso, statue decorative, paragonabili agli atomi di un'architettura tanto lontana quanto affascinante, la cui combinazione/variazione può essere utile per riprodurre gli archetipi del passato o per istituire processi algoritmici in grado di generare nuove e molteplici variazioni in un tempo estremamente limitato. Risulta evidente come l'ibridazione tra le tecniche di acquisizione e la modellazione parametrica digitale siano fondamentali per la conoscenza, la conservazione e la condivisione di un patrimonio così singolare, caratterizzato dalle proprie specificità e unicità. In particolare la ricerca di seguito presentata si concentra sulla prima fase di un progetto di più ampio respiro che consiste nel mettere in connessione ambienti digitali differenti attraverso la chiave di

Fig. 1 - Libreria dei *digital asset* raffiguranti i principali codici distintivi dell'architettura balinese (elaborazione grafica di E. Castorello).

lettura dell'accessibilità, mediante l'utilizzo di *framework open-source* per la creazione di presentazioni *web* interattive di modelli 3D ad alta risoluzione, orientate al settore dei beni culturali. Il prodotto finale permette di creare visualizzazioni interattive di modelli 3D direttamente all'interno di pagine *web standard*. Queste piattaforme sono in grado di accogliere le librerie di oggetti precedentemente realizzate consentendone una fruizione da remoto, rendendo così disponibile un patrimonio che risulterebbe altrimenti essere celato e inaccessibile se non mediante l'esplorazione diretta e costituendo al tempo stesso la base necessaria per le successive sperimentazioni.

Traditional Balinese architecture was designed following ancient rules rooted in philosophical traditions and religious beliefs. Dating back to the 16th century, the architect adhered to seven principles: spatial hierarchy, cosmic orientation and balance, human scale and proportions, open space, structural clarity, and material authenticity. Parameterizing and manipulating these rules in a digital environment allow for the creation of systems based on shape grammar, with the primary goal of preserving this intangible heritage. It also enables the automatic generation of flexible and contemporary design proposals that respect these traditions. The first step in preservation is understanding the object, starting with its geometric and dimensional characteristics. Digital acquisition techniques using photogrammetric tools greatly facilitate the creation of accurate 3D models with minimal resource expenditure. These digital products serve multiple purposes: they provide essential documentation for further study, analysis, and interpretation, and they enhance the sharing and virtual accessibility of cultural assets, making precious but inaccessible heritage available. This contribution focuses on using 3D survey products to create library objects representing critical Balinese architecture components. These components include columns, entrance portals, and decorative statues, essential elements of this distant yet fascinating architecture. Their combination and variation can reproduce historical archetypes or generate new variations quickly through algorithmic processes. The hybridization of acquisition techniques and parametric digital modelling is fundamental for this unique heritage's knowledge, conservation, and sharing. The research presented focuses on the first phase of a larger project that connects different digital environments through accessibility. It uses open-source frameworks to create interactive web presentations of high-resolution 3D models for the cultural heritage sector. The final product allows for interactive visualizations of 3D models directly within standard web pages. These platforms can host the object libraries, enabling remote access and making otherwise hidden heritage available for exploration, forming the basis for future experimentation.

Introduzione

Nell'ultima decade, il progresso delle tecnologie per la digitalizzazione del Patrimonio Culturale ha sollevato importanti questioni culturali, sintetizzabili in tre concetti fondamentali: analisi, interpretazione e comunicazione. In questo scenario, la disciplina del Disegno ha svolto un ruolo significativo, utilizzando gli strumenti della Rappresentazione, come io-indagante, in grado di promuovere la conoscenza all'interno di questo complesso panorama. In particolare, si è deciso di focalizzare e circoscrivere l'oggetto/soggetto indagato su uno dei temi precedentemente menzionati, ovvero la comunicazione, esplorando la sua duplice natura di fruizione e condivisione. Questo provvedimento è stato adottato a causa della sempre più preponderante situazione attuale, anche esito del recente periodo pandemico, che vede un rapido aumento e una veloce obsolescenza dei dati digitali nel settore culturale. Attualmente, questi dati vengono raccolti utilizzando tecniche di acquisizione – fotogrammetria e laser scanner – e di modellazione – geometrica, informativa ed algoritmica. Questa



Fig. 2. *Asta Kosala Kosali* contenente i codici e le regole riguardanti l'architettura balinese <https://archive.org/details/asta-kosala-kosali/asta-kosala-kosali-250ppi/mode/1up> (elaborazione grafica degli autori).

necessità ha radici nel passato, dove studiosi hanno realizzato trattati che, grazie alle tecniche della Rappresentazione, trasmettono e diffondono il corrispettivo Patrimonio Culturale analizzato e interpretato. Le testimonianze di questo processo conoscitivo si riflettono nelle opere di autori come: Marco Vitruvio Pollione che ha delineato i fondamenti dell'architettura classica romana secondo i concetti di *Firmitas*, *Utilitas*, *Venustas* e ha plasmato il pensiero architettonico europeo (Età Augustae del periodo romano); Giacomo Barozzi da Vignola che ha presentato un sistema pratico secondo i principi di proporzione e armonia in grado di riassumere e costruire i principali ordini dell'architettura classica. (Manierismo); Leon Battista Alberti, Andrea Palladio e Sebastiano Serlio che hanno continuato e implementato il lavoro condotto inizialmente da Vitruvio (Rinascimento). Questo contributo applica tale processo conoscitivo al contesto balinese, caratterizzato da differenze culturali e filosofiche. Mentre i trattatisti europei hanno spesso enfatizzato la simmetria, l'ordine e le proporzioni, la cultura architettonica indonesiana è radicata in tradizioni filosofiche e religiose locali – *Asta Kosala Kosali* (fig. 2).

Le antiche credenze risalenti al sedicesimo secolo, come la gerarchia dello spazio, l'orientamento cosmico e la verità dei materiali, sono i pilastri guida dell'architettura balinese. Questo collegamento offre una prospettiva unica sulla diversità e l'evoluzione

delle pratiche architettoniche in contesti culturali diversi dai nostri e sconosciuti alla tradizione occidentale.
Le regole dell'architettura balinese sono contenute in una sezione specifica del *Lontar* [1], denominata *Asta Kosala Kosali* (*AKK*) e sono fondati sull'antica filosofia *Bali-Hindu*. Questi canoni furono tracciati dall'alto sacerdote giavanese *Empu Kuturan* nell'XI secolo. Originariamente impiegati dai balinesi nella costruzione dei templi, questi principi divennero rilevanti quando i sovrani della dinastia *Majapahit* cercarono rifugio a Bali nel XVI secolo, sfuggendo all'avanzata dell'Islam e stabilendo il loro impero sull'isola.
Secondo l'*Asta Kosala Kosali*, la figura responsabile dell'interpretazione e dell'attuazione dei principi di progettazione è un ibrido tra architetto e sacerdote, chiamato *undagi*. In veste di architetto, deve possedere una solida formazione, conoscenze scientifiche e matematiche, oltre a essere competente in tutti gli aspetti dell'artigianato edilizio, inclusi pittura, scultura, carpenteria, e così via. Come sacerdote, è incaricato di eseguire tutti i riti religiosi legati alla costruzione dell'edificio. Esistono 18 diverse versioni di queste leggi, ciascuna con punti di significato differenti, e l'interpretazione dell'*undagi* varia a seconda dell'area geografica di provenienza.

I codici dell'architettura balinese

L'architettura balinese si caratterizza per una precisa organizzazione e suddivisione che si riflette sia nella costruzione della città, considerata come un'entità più ampia, sia nella realizzazione di singoli edifici, considerati come costruzioni minori. Attraverso quest'ultimo campo d'indagine è possibile comprendere e individuare gli elementi distintivi che contribuiscono alla sua bellezza e originalità. Le principali caratteristiche che compongono l'architettura balinese includono:

- Gerarchia degli spazi: gli spazi all'interno degli edifici balinesi seguono una gerarchia ben definita, con aree sacre generalmente poste nei livelli superiori e spazi più profani nelle parti inferiori. Questo rispecchia l'importanza della spiritualità nella cultura balinese.
- Complessità strutturale: gli edifici balinesi spesso presentano una complessità strutturale notevole, costituita dalla presenza di elementi verticali (pilastri) e orizzontali (travi) intrecciate.
- Utilizzo di materiali locali: l'architettura balinese fa ampio uso di materiali locali come il terreno, l'argilla, la pietra (*paras*), il legno *teak* e il bambù per la costruzione della sua struttura, elementi destinati al sostegno, e la paglia di riso, l'erba *alang-alang* e l'argilla come materiale di rivestimento e protezione. Questi materiali non solo riflettono la disponibilità locale, ma conferiscono anche un carattere unico agli edifici.
- Decorazioni che richiamano simboli di carattere religiosi: a seconda della tipologia e della funzione dell'edificio, si può osservare una variazione nella decorazione. Negli ambienti ordinari e domestici, la decorazione si caratterizza per elementi

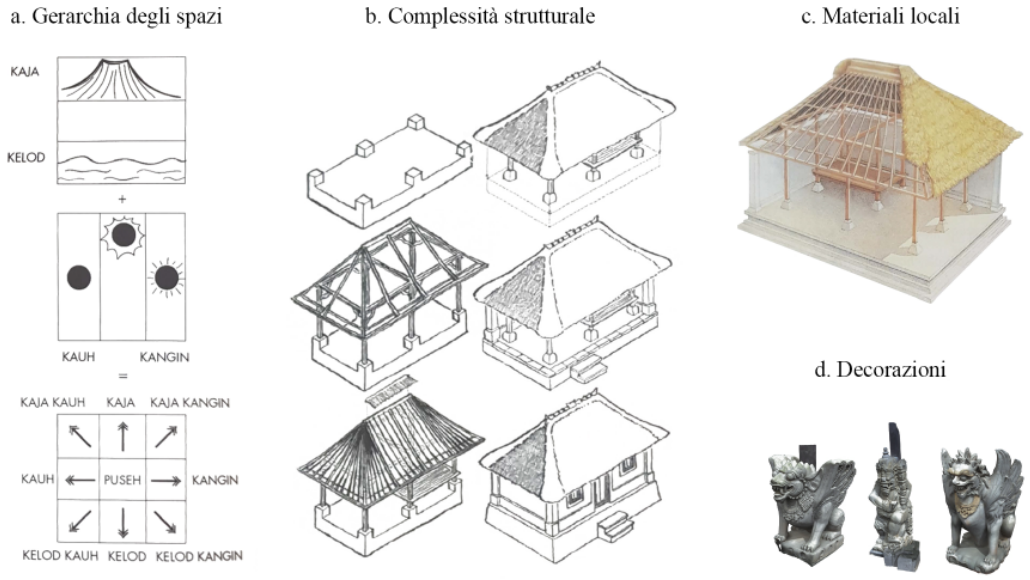


Fig. 3. Pilastri guida dell'architettura balinese: gerarchia degli spazi, complessità strutturale, utilizzo di materiali locali e decorazioni che richiamano simboli di carattere religiosi (elaborazione grafica di E. Castorello).

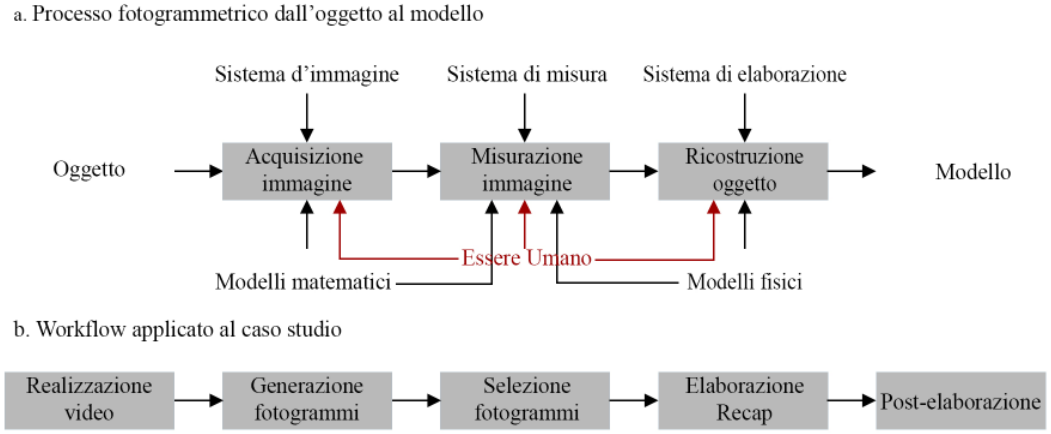


Fig. 4. Schematizzazione del *workflow* operativo – le fasi cruciali – per acquisire e generare modelli digitali (elaborazione grafica di E. Castorello).

scolpiti e intagliati in legno. Al contrario, negli edifici appartenenti a classi sociali elevate e di rappresentanza, come i palazzi reali, le decorazioni sono più ricche e realizzate con materiali di diversa natura. In particolare, nella parte superiore dell'edificio sono rappresentate figure animali, come volatili, mentre nella parte inferiore compaiono figure di spiriti malevoli associati all'inferno. Al di sopra del portale d'accesso del complesso è tradizionalmente collocato il volto di un mostro

Bhoma, caratterizzato da una lingua sporgente, occhi prominenti e imponenti canini (Arthana, 2019; Budihardjo, 1986; Davison & Tettoni, 2003) (fig. 3).

L'acquisizione e la restituzione dei caratteri architettonici

Nella fase di conoscenza dell'oggetto l'atto del misurare assume una particolare valenza. In tal senso, l'approccio fotogrammetrico costituisce uno strumento fondamentale nel processo iniziale di documentazione e conservazione del ricco patrimonio culturale dell'architettura balinese. La sua abilità nel preservare, analizzare e condividere digitalmente questa straordinaria eredità svolge un ruolo significativo nel garantire la tutela e la comprensione di un'architettura così unica e di inestimabile valore. D'altronde la finalità di conservazione della fotogrammetria emerge fin dai suoi primi albori, dall'introduzione stessa del termine da parte dell'architetto tedesco Meydenbauer nel 1858, che in quegli stessi anni la applicò al ricco patrimonio di monumenti architettonici prussiani censendolo attraverso una ricca raccolta di 16.000 immagini (Albertz, 2001). Attualmente, grazie a significativi progressi avvenuti intorno alla prima decade degli anni 2000, è possibile eseguire l'orientamento fotogrammetrico e le fasi di calcolo automatico di un modello di punti densi utilizzando la tecnica *Structure From Motion* (SFM). I software di fotogrammetria digitale integrano algoritmi e processi provenienti da diverse discipline, in particolare dal settore della *computer vision*. Questi algoritmi consentono di ottenere la posizione 3D dei punti presenti in diverse immagini, ricostruendo la geometria dell'oggetto (*structure*) e la posizione della fotocamera (*motion*), anche in assenza di parametri di calibrazione della fotocamera. Inizialmente concepiti per individuare facilmente punti specifici, gli attuali algoritmi sono in grado di identificare punti in qualsiasi tipo di oggetto, anche di forme complesse (Santagati & Turco, 2016).

Gli oggetti rilevati appartengono a diversi tipi di oggetti presenti in due complessi a Batuan (*Pura Puseh* e *Pura Dasar*), un piccolo villaggio situato nella parte centrale di Bali (Indonesia). Durante l'acquisizione del video compiuta attorno all'oggetto mediante l'utilizzo di un Iphone 6s sono state tenute in considerazione le principali problematiche dovute ad un'illuminazione differente a causa di un diverso momento di scatto. Per ogni singolo oggetto sono state prese in loco le rispettive misure di riferimento per consentire durante la fase successiva di acquisizione e restituzione del dato, la sua messa in scala alle dimensioni reali. Inoltre, un ulteriore parametro tenuto in considerazione è la localizzazione dell'oggetto rispetto a un tradizionale sistema di riferimento GPS. Grazie alla realizzazione del video è stato possibile estrarre ogni singolo frame necessario per la ricostruzione tridimensionale dell'oggetto analizzato e la sua esportazione in formato immagine (.jpeg).

Il numero di fotogrammi restituiti varia in base a tre caratteristiche principali:

- la dimensione dell'oggetto;
- la lunghezza del video;



Fig. 5. Visualizzazione dei modelli caricati su *Sketchfab*, fornendo un'anteprima visiva delle rappresentazioni tridimensionali disponibili sulla piattaforma (elaborazione grafica di J. Bono).

- la presenza di rumore sullo sfondo.

In base alle condizioni precedentemente elencate si è ottenuto il numero di frame che ha permesso la ricostruzione del modello 3D caratterizzato da *texture*; questa fase ha richiesto un'attenta analisi della sua conformazione e delle sue parti, eliminando il surplus ottenuto dall'ambiente circostante e la sua opportuna messa in scala (fig.

4). Il presente processo ha portato a ottenere una libreria di 33 modelli digitali in formato (.obj), che evidenziano le principali caratteristiche dell'architettura balinese, ha riscontrato le seguenti difficoltà e criticità:

- i differenti valori di esposizioni presenti nei video, dovuti alla differente quantità di luce;
- la possibilità di compiere sessioni di soli 20 minuti per la registrazione a causa del clima equatoriale;
- la presenza di persone, animali e oggetti sullo sfondo che ha comportato una non omogeneità;
- la necessità di ricaricare gli strumenti per poter lavorare alla produzione di formati di elevate qualità;
- alcune collocazioni specifiche dei manufatti ne impedivano un comodo accesso e quindi le corrette prese per compiere l'acquisizione;
- l'impossibilità di una connessione stabile che ha influito e compromesso sulle tempistiche e sull'elaborazione dei dati.

Esplorazione dei modelli

L'ampio utilizzo delle tecnologie 3D nel campo del Patrimonio Culturale ha portato alla definizione di un flusso di lavoro che, una volta raggiunte le sue tappe salienti come l'acquisizione e l'elaborazione dei dati, consente di affrontare la fase finale, ovvero la pubblicazione e la condivisione. Ci sono diverse metodologie e soluzioni tecniche per rendere disponibili online asset tridimensionali. Quando si valuta quale metodo di pubblicazione utilizzare, è importante considerare chi utilizzerà il modello e per quale scopo. Le considerazioni includono:

- le esigenze e l'esperienza dell'utente nei confronti della piattaforma che rende accessibile i dati tridimensionali;
- il livello di conoscenza riguardante le attrezzature informatiche di questo tipo che hanno gli utenti che si confrontano con essi;
- lo sviluppo del supporto per le piattaforme *browser* (*desktop* e *mobile*);
- la realizzazione di un *workflow* di lavoro ottimale e sostenibile;
- lo sviluppo di un *repository* in grado d'includere e tenere traccia dei collegamenti dei materiali utilizzati (Share3D Guidelines, n.d.).

La pubblicazione di modelli 3D può coinvolgere procedure di conversione e ottimizzazione dei formati file per ridurre la complessità e garantire un'esperienza utente *online* reattiva e piacevole. Le soluzioni *HTML5/WebGL*, con l'avvento di *HTML5* e dell'*API JavaScript WebGL* associata, consentono il *rendering* interattivo di modelli 3D nei *browser web* senza che gli utenti debbano installare *software* o *plugin* aggiuntivi. La maggior parte delle soluzioni *HTML5/WebGL* utilizza tecnologie cloud, in cui i modelli 3D sono memorizzati sui *server* dell'organizzazione che fornisce il *software*, ma possono essere incorporati in normali pagine *web HTML* (Di Benedetto et al., 2014;

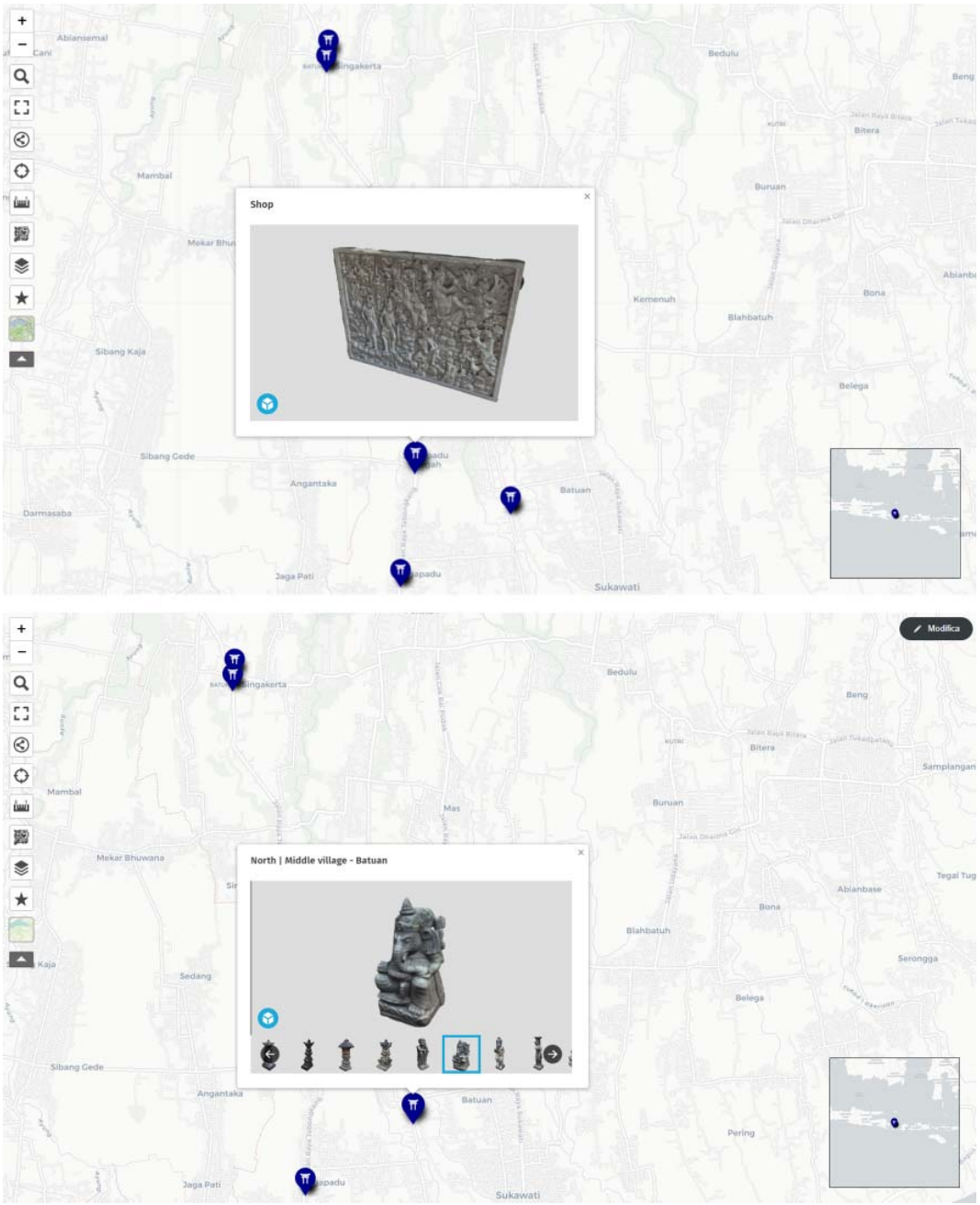


Fig. 6. Visualizzazione geolocalizzata delle collezioni su *uMap* con popup incorporato: che mostra la singola visualizzazione del modello caricato su Sketchfab (sopra); della galleria contenente i singoli modelli caricati e raccolti in una collezione su *Sketchfab* (sotto) (elaborazione grafica di J. Bono).

Santos et al., 2014). Tra le applicazioni *HTML5/WebGL* figurano: *3DHOP*, *Sketchfab* e *Potree*.

Le piattaforme *open-source*, come *Sketchfab*, rivestono un ruolo cruciale nella condivisione e nell'esplorazione di modelli 3D legati al Patrimonio Architettonico.

Grazie a questi strumenti, è possibile presentare in modo accessibile e interattivo repliche digitali di strutture architettoniche, facilitando la diffusione della conoscenza e l'accesso virtuale a beni culturali altrimenti inaccessibili. *Sketchfab*, in particolare, offre un ambiente *online* che consente agli utenti di caricare, visualizzare e condividere modelli 3D in modo intuitivo, permettendo agli appassionati, agli studiosi e al pubblico in generale di esplorare dettagliatamente e virtualmente strutture architettoniche storiche da diverse prospettive. Questa democratizzazione dell'accesso al Patrimonio Architettonico attraverso piattaforme *open-source* contribuisce significativamente alla conservazione digitale e alla divulgazione culturale (fig. 5). In particolare, l'utilizzo di mappe come strumento interattivo è stato integrato per arricchire l'esperienza culturale; attraverso l'utilizzo di *Umap*, applicativo *web-based*, è possibile inserire la geo-localizzazione dei modelli 3D acquisiti tramite fotogrammetria ed interrogarli. I modelli 3D sono posizionati mediante l'uso di *markers* personalizzabili all'interno di una mappa modificabile. La mappa è interattiva e interrogabile tramite l'utilizzo di *URL*, consentendo un'ulteriore implementazione delle informazioni (Giovannini, 2023). Queste informazioni aggiuntive sono visualizzabili mediante l'uso differente di due tipologie di *pop-up*. La prima opzione permette, attraverso l'uso dell'indirizzo di una risorsa posizionata in un *repository online* (*Sketchfab*), di richiamare e incorporare la singola anteprima e la visualizzazione tridimensionale del modello 3D (fig. 6). La seconda, sfruttando il collegamento precedentemente menzionato, permette di visualizzare una galleria contenente i modelli che sono stati raggruppati in un gruppo – collezione – tramite *Sketchfab* (fig. 7). Entrambi i metodi agevolano la riutilizzazione dei digital asset ottenuti mediante acquisizione fotogrammetrica. Questi modelli 3D possono essere richiamati dall'applicativo *Umap* utilizzando i loro *URL*, seguendo un modello simile a quello adottato dalle principali applicazioni *web-based* attualmente in uso.

Un'iniziativa recente orientata a questo obiettivo è rappresentata dal progetto europeo *Sharing New Perspectives*: *Your 3D View on Europeana* (2018-2020). Questa iniziativa prende spunto dall'idea di sfruttare il potenziale del 3D come catalizzatore per stimolare le persone ad esplorare e riutilizzare i contenuti del patrimonio culturale (Giovannini & Tomalini, 2020). Risulta sempre più evidente come il numero degli istituti e dei ricercatori nel campo del patrimonio culturale che caricano contenuti 3D su *Sketchfab* è in aumento. Questo è il motivo e la necessità che ha portato allo sviluppo di uno strumento che semplificasse la condivisione di tali contenuti con Europeana (Share3D, n.d.; Sketchfab Community Blog, 2020).

Europeana è lo sviluppo di una biblioteca digitale europea per la condivisione di dati e contenuti appartenenti al Patrimonio culturale, nello specifico rivolto alle istituzioni *GLAM* (gallerie, biblioteche, archivi e musei). La piattaforma inizia il suo funzionamento nel 2008 consentendo l'accesso a 4,5 milioni di oggetti digitali fino ad arrivare alla data odierna 2023 permettendo l'accesso a oltre 55 milioni di oggetti digitali (Europeana Foundation, n.d.).

Conclusioni

L'analisi volta a definire un possibile *workflow* operativo e a esplorare alcune possibili soluzioni tecnologiche – basate su *cloud* e *opensource* – per la restituzione e condivisione dei caratteri distintivi del Patrimonio architettonico balinese, risulta essere un *escamotage* in grado di mettere in luce e sottolineare le possibili implicazioni culturali di tali scelte. La definizione di una libreria di oggetti 3D accessibili rappresenta il risultato finale di un processo conoscitivo, in cui gli strumenti della rappresentazione digitale giocano un ruolo chiave per raggiungere questo obiettivo. È evidente che l'attenzione si sposti dal prodotto-originato alle idee culturali che hanno contribuito ad innescare l'intero processo che ha portato alla sua realizzazione. In particolare, sono state esaminate le implicazioni culturali attraverso il concetto chiave della condivisione, già menzionato in precedenza. Attraverso questo concetto, è possibile individuare negli elementi che costituiscono i codici del patrimonio di Bali dei pezzi di un puzzle più ampio, che permettono di comprendere alcune implicazioni culturali legate all'attuazione del processo di digitalizzazione per rappresentare un patrimonio culturale celato ed eterogeneo.
Le principali implicazioni possono essere sintetizzate attraverso l'utilizzo di alcuni concetti significativi:

- l'accessibilità e la democratizzazione: la digitalizzazione oltrepassa le limitazioni geografiche e si interfaccia con una molteplicità/eterogeneità di utenti;
- la conservazione e la prevenzione: la digitalizzazione oltrepassa le limitazioni temporali, evitando il deterioramento e/o danneggiamento, volgendosi alle generazioni future;
- l'educazione e la ricerca: la digitalizzazione consente al patrimonio culturale di assumere caratteri di natura divulgativa secondo i concetti d'interattività e d'innovazione, tipici *dell'edutainment*;
- la condivisione e la collaborazione: la digitalizzazione garantisce al patrimonio culturale di diventare l'oggetto al centro della rete di relazioni che si instaurano grazie all'abbattimento delle limitazioni geografiche e temporali;
- l'identità e la memoria culturale: la digitalizzazione facilita l'acquisizione da parte del patrimonio culturale dei caratteri e dei codici che lo rendono portavoce dell'identità e della memoria collettiva appartenente ad una specifica cultura, come quella 'balinese';
- le nuove forme di espressione: la digitalizzazione permette al patrimonio culturale di assumere delle evoluzioni nel corso del tempo per promuoverne i caratteri mediante future elaborazioni di carattere tecnologico-culturale.

Tutte le presenti implicazioni culturali legate alla digitalizzazione del Patrimonio evidenziano la complessità e l'evoluzione continua di questo processo. Le diverse dimensioni culturali elencate mostrano come la digitalizzazione abbia il potenziale di rivoluzionare profondamente la fruizione e la condivisione del Patrimonio. Tuttavia, rimane fondamentale considerare attentamente le sfide e gli impatti che

questa trasformazione porta con sé, al fine di garantire un equilibrio tra l'innovazione tecnologica e il rispetto delle tradizioni culturali. Inoltre, le nuove forme di espressione e di condivisione offerte dalla digitalizzazione aprono nuove prospettive per la valorizzazione e la diffusione del patrimonio, contribuendo così a preservare e promuovere la ricchezza culturale non solo di Bali, ma anche oltre i suoi confini.

Note

[1] *Lontar* (dal giavanese arcaico *ron* - foglia | *tal* - albero), enciclopedia realizzata in foglie di palma contenente i principali interrogativi della vita quotidiana, da un punto di vista esistenziale e pratico. La sezione contenente le regole dell'architettura balinese prende il nome di *Asta Kosala Kosali*.

Riconoscimenti

Del presente contributo, di cui gli autori hanno condiviso l'impianto metodologico, Massimiliano Lo Turco ha redatto 'Conclusioni'; Filiberto Chiabrando ha redatto 'L'acquisizione e la restituzione dei caratteri architettonici'; Andrea Tomalini ha redatto 'I codici dell'architettura balinese'; Jacopo Bono ha redatto 'Esplorazione dei modelli' e Enrico Castorello ha redatto 'Introduzione'.

Riferimenti bibliografici

Albertz, J. (2001). Albrecht Meydenbauer–Pioneer of photogrammetric documentation of the cultural heritage. *Proceedings of the XVIII International Symposium of CIPA*, Germany, 19-25. https://www.semanticscholar.org/paper/ALBRECHT-MEYDENBAUER-PIONEER-OF-PHOTOGRAMMETRIC-OF-Albertz/65a85156676884a8d266108fc87b2a12018bb199

Arthana, N. N. (2019). The Knowledge Building of Construction Process of Bali Arya's Architecture: Interpretation of the Manuscript Asta Kosala Kosali. *Journal of Architectural Research and Education (JARE)*, 1(2), 168–175. https://doi.org/10.17509/jare.v1i2.22322

Budihardjo, E. (1986). *Architectural conservation in Bali*. Gadjah Mada University Press.

Davison, J., & Tettoni, L. I. (2003). *Introduction to Balinese Architecture*. Periplus Editions.

Di Benedetto, M., Ponchio, F., Malomo, L., Callieri, M., Dellepiane, M., Cignoni, P., & Scopigno, R. (2014). Web and Mobile Visualization for Cultural Heritage. In M. Ioannides & E. Quak (Eds.), *3D Research Challenges in Cultural Heritage: A Roadmap in Digital Heritage Preservation* (pp. 18-35). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-662-44630-0_2

Europeana Foundation. (n.d.). *Empowering digital change for the cultural heritage sector*. Europeana PRO. Retrieved January 10, 2024, from https://pro.europeana.eu/

Giovannini, E.C. (2023). Digital Transitions for the Use and Reuse of Digital Assets for Museum Collections. *Proceedings of the 44th International Conference of Representation Disciplines Teachers*, 2755-

2766. https://doi.org/10.3280/oa-1016-c435

Giovannini, E.C., & Tomalini, A. (2020). *Digital Gallery of the Maquettes. In Digital & Documentation Vol. 2–Digital strategies for Cultural Heritage* (pp. 192-202). Pavia University Press.

Santagati, C., & Lo Turco, M. (2016). From structure from motion to historical building information modeling: Populating a semantic–aware library of architectural elements. *Journal of Electronic Imaging*, 26(1), 011007-1-12. https://doi.org/10.1117/1.JEI.26.1.011007

Santos, P., Serna, S. P., Stork, A., & Fellner, D. (2014). The Potential of 3D Internet in the Cultural Heritage Domain. In M. Ioannides & E. Quak (A c. Di), *3D Research Challenges in Cultural Heritage: A Roadmap in Digital Heritage Preservation* (pp. 1–17). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-662-44630-0_1

Share3D Guidelines. (n.d.). *Publishing 3d models online*. Retrieved January 10, 2024, from https://carare.gitbook.io/share-3d-guidelines/3d-process/publishing

Share3D. (n.d.). *Sharing New Perspectives–Your 3D view on Europeana*. Retrieved January 10, 2024, from https://share3d.eu/

Sketchfab Community Blog. (2020, April 8). *Shared3D: Helping Heritage Organizations Tell Stories*. https://sketchfab.com/blogs/community/shared3d-helping-heritage-organizations-tell-stories/