POLITECNICO DI TORINO
Repository ISTITUZIONALE

H-INFRABIM delle grandi derivazioni idroelettriche: sfide e opportunità I H-InfraBIM of large hydropower diversions: challenges and opportunities

Original
H-INFRABIM delle grandi derivazioni idroelettriche: sfide e opportunità I H-InfraBIM of large hydropower diversions: challenges and opportunities / Ventura, G.M., Ugliotti, F.M.. - ELETTRONICO. - (2025), pp. 314-327. (Workshop 3DModeling&BIM. Proliferazioni Roma (Ita) 17-18 aprile 2025).

Availability:
This version is available at: 11583/3005970 since: 2025-12-18T14:38:48Z

Publisher:
PUBLICA

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)

26 November 2026

COLLANA

3D MODELING & BIM



PROLIFERAZIONI

A CURA DI TOMMASO EMPLER,
ADRIANA CALDARONE, ALEXANDRA FUSINETTI

PVBLICA

ISBN 9788899586591

Finanziato dall'Unione europea NextGenerationEU

Ministero dell'Università e della Ricerca

Italiadomani
PIANO NAZIONALE DI RIPRESA E RESILIENZA

SAPIENZA
UNIVERSITÀ DI ROMA

Moving Italianness

PIANO NAZIONALE RIPRESA E RESILIENZA (PNRR), INIZIATIVE EDUCATIVE TRANSNAZIONALI (TNE), PREVISTE DALLA SOTTOMISURA T4 "INIZIATIVE TRANSNAZIONALI IN MATERIA DI ISTRUZIONE", INVESTIMENTO 3.4 "DIDATTICA UNIVERSITARIA E COMPETENZE AVANZATE" DEL PIANO NAZIONALE DI RIPRESA E RESILIENZA, MISSIONE 4 "ISTRUZIONE E RICERCA" – COMPONENTE 1 "POTENZIAMENTO DELL'OFFERTA DEI SERVIZI ALL'ISTRUZIONE: DAGLI ASILI NIDO ALL'UNIVERSITÀ"

Titolo del progetto

TNE AdvancedSkills

Comunicazione e Valorizzazione del Patrimonio Culturale

Finanziamento

Finanziato dall'Unione europea- Next Generation EU, Missione 4 Componente 1

TNE23-00080 CUP F31I24000320006

Soggetto attuatore

Dipartimento di Storia Disegno e Restauro dell'Architettura
SAPIENZA UNIVERSITA' DI ROMA
Piazza Borghese, 9
CAP *00186*

Tommaso Empler, Adriana Caldarone, Alexandra Fusinetti (a cura di)
3D Modeling & BIM 2025 - Proliferazioni
© PUBLICA, Alghero, 2025
ISBN 9788899586591
Pubblicazione Ottobre 2025

Questa pubblicazione è distribuita in modalità Open Access.

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

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

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

DIPARTIMENTO DI STORIA
DISEGNO E RESTAURO
DELL'ARCHITETTURA

SAPIENZA
UNIVERSITÀ DI ROMA

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

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

CC BY NC ND

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

3D MODELING & BIM

PROLIFERAZIONI

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

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

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

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

Organizing Committee

Director
- Tommaso Empler

Scientific Coordinator 3D Modeling
- Alexandra Fusinetti

Scientific Coordinator HBIM, Data and Semantics
- Adriana Caldarone

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

Scientific Committee

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

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

Editorial Manager

• Pasquale Micelli, Sapienza Università di Roma (Italy)

INDICE

Summary

PRESENTAZIONE 16

Introduction

Tommaso Empler

IL MODELLO 3D TRA DOCUMENTAZIONE E VALORIZZAZIONE CULTURALE 22

3D Model Between Documentation and Cultural Valorization

Alexandra Fusinetti

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

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

Simona Alauria, Laura Baratin

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

Computer Graphics for the 3D Representation of Architectural Heritage

Gianluca Barile

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

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

Massimiliano Benga, Maria Antonia Russo

AI STYLE TRANSFER. UTILIZZO E CONTROLLO DI WORKFLOW NODALI PER L'ESPRESSIVITÀ DEL DISEGNO ARCHITETTONICO 66

AI Style transfer. Use and Control of Node-Based Workflows for the Expressiveness of Architectural Drawing

Fabio Bianconi, Marco Filippucci, Andrea Migliosi, Chiara Mommi

MUSE. VERSO UN DIGITAL TWIN PER LA FRUIZIONE MUSEALE 76

MUSE. Towards a Digital Twin for Museum Enjoyment

Flavia Camagni, Andrea Casale, Bruno Fanini, Elena Ippoliti, Sofia Menconero, Noemi Tomasella

FISICO–DIGITALE E RITORNO: LA MODELLAZIONE COME ATTO CELEBRATIVO DEL DESIGN ITALIANO 88

From Physical to Digital and Back: Modeling as a Tribute to Italian Design

Vittoria Castiglione

STRATEGIE DI MODELLAZIONE PARAMETRICA PER LO STUDIO DEL FORTE DI SANT'ANDREA NELLA LAGUNA DI VENEZIA 100

Parametric Modelling approaches for the study of St. Andrea Fortress in the Venetian Lagoon

Luca Chiavacci, Alberto Pettineo

STANDARDIZZAZIONE DEI MODELLI BIM 7D PER STUDI LCA: UNA METODOLOGIA BASATA SUL LIVELLO DI FABBISOGNO INFORMATIVO 114

Standardizing 7D BIM models for LCA studies: a methodology based on the Level of Information Need

Giorgia Cipriani

L'HOTEL PALACE A MERANO: IPOTESI PER UNA CONOSCENZA INTEGRATA DIGITALE 126

The Hotel Palace in Merano: insights for integrated digital knowledge

Alberto Cristofolini, Elena Bernardini, Giovanna A. Massari, Alessandro Zuanni

IL BAROCCO RITROVATO: LA RICOSTRUZIONE VIRTUALE DELLE FASI SETTECENTESCHE DELLA CATTEDRALE DI COSENZA COME STRUMENTO DI COMPRENSIONE E DIVULGAZIONE 138

The rediscovered baroque: the virtual reconstruction of the 18th-century phases of the cathedral of Cosenza as a tool for understanding and dissemination

Rinaldo D'Alessandro

DOCUMENTAZIONE E RESTAURO DELLA LOGGIA DEI VINI DI VILLA BORGHESE: IL PROCESSO HBIM 150

Documentation and restoration of the Loggia dei Vini in Villa Borghese: the HBIM process

Serena Caldarelli, Maurizio Dalena

DIGITALIZZAZIONE E MODELLAZIONE 3D PER LA VALORIZZAZIONE E LA FRUIZIONE URBANA: IL CASO DI TOLFA 164

Digitization and 3D Modeling for Urban Enhancement and Accessibility: The Case of Tolfa

Mara Gallo, Marco Canciani, Alessandro D'Accolti, Giuseppe Fioravanti

LA LOGICA DELLE SCALE NEOCLASSICHE: PROLIFERAZIONI DELLA MODELLAZIONE 3D NELL'APPROCCIO HBIM 176

The logic of neoclassical staircases: proliferation of 3D modeling within the HBIM approach

Elisabetta Caterina Giovannini, Davide Mastroianni

RICOSTRUZIONE TEMPORALE 3D DEL CASINO DI CACCIA QUATTROCENTESCO DEI MOZZONI A BISUSCHIO TRAMITE FONTI D'ARCHIVIO 190

A 3D Reconstruction of Mozzoni's Fifteenth-Century Hunting Lodge Using Archival Sources

Dina Jovanovic, Daniela Oreni

DIGITAL HUMANITIES FOR HBIM/GIS: SMART PARK FOR SMART CITY 202

Digital Humanities for HBIM/GIS: Smart Park for Smart City

Emanuela Lanzara, Alessia del Vecchio

PROPOSTA DI METODO PER LA VALUTAZIONE DELLA QUALITÀ DELLE INFORMAZIONI IN AMBIENTE H-BIM: IL CASO DI CASTEL VISCARDO 216

A Methodological Framework for Evaluating Information Quality in H-BIM Environments: The Case Study of Castel Viscardo

Valentina Marceddu, Sara Tarola

STANDARD CATALOGRAFICI COME GUIDA DALL'ACQUISIZIONE AL BIM DEI BENI CULTURALI 228

Cataloguing standards as a guide from acquisition to BIM of cultural assets

Luca Martelli, Giulia Flenghi, Michele Russo

DIGITALIZZAZIONE E CONSERVAZIONE DI PORTA SAN PAOLO TRAMITE METODOLOGIA HBIM 244

Digitalization and conservation of Porta San Paolo through HBIM methodology

Daria Fedele, Marco Piccinini, Ludovica Prosciutti, Stefano Tognazzi

PROTOCOLLI SPERIMENTALI PER LA DIGITALIZZAZIONE DEL PATRIMONIO DIPINTO: LE TELE DELLA COLLEZIONE BARBERINI 250

Experimental Protocols for the Digitisation of Painted Heritage: The Canvases of the Barberini Collection

Alessandra Meschini, Jessica Romor, Marta Salvatore

CUMA. SPACE INFORMATION MODELLING 266

Cuma. Space information modelling

Leopoldo Repola, Giovanni Varriale, Silvia Ilacqua, Diego Di Martire, Fabio Pagano, Maria Alessandra Letizia

ACQUISIZIONI IMAGE-BASED PER UNA GESTIONE IN MODALITÀ IMMERSIVA DELLA QUARTA DIMENSIONE NEI PROCESSI BIM/HBIM 280

Image-based Acquisitions for Immersive Management of the Fourth Dimension in BIM/HBIM Processes

Maria Laura Rossi, Leonardo Paris

MUSE: IL RILIEVO DEL MOVIMENTO 290

MUSE: The survey of the movement

Danilo Avola, Gaia Maselli, Annalisa Massini, Daniele Pannone, Luca J. Senatore

H-BIM PER LA PROGETTAZIONE E LA GESTIONE DELL'EDILIZIA RESIDENZIALE PUBBLICA: UN CASO STUDIO SU UN EDIFICIO ATER A SULMONA 302

H-BIM for the Design and Management of Public Housing: A Case Study on an ATER Building in Sulmona

Alessandra Tata, Elena Pallotta

H-INFRABIM DELLE GRANDI DERIVAZIONI IDROELETTRICHE: SFIDE E OPPORTUNITÀ 314

H-InfraBIM of large hydropower diversions: challenges and opportunities

Gianvito Marino Ventura, Francesca Maria Ugliotti

BIM NELLE PUBBLICHE AMMINISTRAZIONI: UNA BARRIERA O UN CATALIZZATORE PER LA DIGITALIZZAZIONE? 328

BIM in Public Administrations: A Barrier or a Catalyst for Digitalization?

Michele Zucco, Matteo Del Giudice, Mariapaola Vozzola

RICOSTRUZIONE 3D DA VIDEO MONOCULARI E A 360° A BASSA RISOLUZIONE IN SITI DEL PATRIMONIO CULTURALE CON L'IA 340

3D Reconstruction from Low-Resolution Monocular and 360° Video in Cultural Heritage Sites with AI

Francesca Condorelli

APPROCCIO SCAN-TO-BIM INTEGRATO CON PROCESSI DI DECOSTRUZIONE GEOMETRICA 352

ScanToBIM approach integrated by geometric deconstruction processes

Riccardo Tavolare, Valeria Cera

APPROCCI MULTISCALARI E METODOLOGIE HBIM PER LA CONOSCENZA SUL PATRIMONIO MINORE STORICO E MODERNO 364

Multiscalar approaches and HBIM methodologies for the knowledge on historic and modern minor heritage

Raffaele Pontrandolfi, Antonio Bixio

PROCEDURE HBIM PER IL RILIEVO DI VILLA FLORIO MASERI A PERSEREANO 380

HBIM Procedure for the Survey of Villa Florio Maseri in Persereano

Alberto Sdegno, Ferdinand Rexhaj

PRESENTAZIONE DELLA XI EDIZIONE DEL WORKSHOP 3D MODELING & BIM

Introduction to the 11th Edition of 3D Modeling & BIM Workshop

Tommaso Empler

Direttore del Workshop 3D Modeling & BIM
Dipartimento di Storia, Disegno e Restauro dell'Architettura, Sapienza Università di Roma

Email
tommaso.empler@uniroma1.it

Il termine "proliferazione", comunemente associato al lessico biologico, rimanda al processo di moltiplicazione e divisione delle cellule che garantisce la crescita, lo sviluppo e la rigenerazione dei tessuti negli organismi viventi. In biologia, la proliferazione è un fenomeno che può assumere esiti differenti, costruttivi o patologici, a seconda del contesto in cui si manifesta. Traslato nel campo della ricerca scientifica e tecnologica, il concetto può essere utilmente adottato per descrivere la dinamica dei saperi e delle pratiche che, negli ultimi anni, hanno conosciuto una diffusione e un arricchimento senza precedenti, in particolare nell'ambito del *3D Modeling* e del *Building Information Modeling* (*BIM*).

Proprio in questo senso si può parlare, oggi, di una vera e propria "proliferazione" di metodi, contenuti e applicazioni legati alla rappresentazione digitale, alla gestione informativa e all'uso di piattaforme immersive e interattive. Tale proliferazione non è solo quantitativa, misurabile cioè attraverso l'aumento delle pubblicazioni, dei convegni e dei progetti, ma è soprattutto qualitativa, poiché investe la natura stessa delle metodologie adottate, le potenzialità degli strumenti digitali e il loro intreccio con discipline storiche e umanistiche.

L'XI Edizione del *Workshop* nasce con l'intento di interrogare questa proliferazione, valorizzandola come occasione di confronto critico e come stimolo per nuove direzioni di ricerca. Le call che da undici anni raccolgono i contributi degli studiosi si sono progressivamente ampliate, accogliendo istanze che vanno dalla modellazione 3D pura e semplice fino all'applicazione dei processi *BIM* e *HBIM* alla conservazione, alla valorizzazione e alla gestione del patrimonio costruito. In questo scenario, la presente pubblicazione si configura come un osservatorio privilegiato delle più recenti sperimentazioni e riflessioni teoriche, offrendo una panoramica che tiene insieme casi studio, metodologie innovative e prospettive interdisciplinari.

Un primo insieme di contributi riguarda la modellazione 3D e la computer grafica per la rappresentazione del patrimonio architettonico. Qui la ricerca evidenzia come le tecniche di modellazione, *rendering* e realtà aumentata possano costituire non solo strumenti di documentazione, ma anche di conservazione attiva e di divulgazione culturale. L'attenzione si concentra tanto sull'evoluzione storica della computer grafica quanto sull'uso delle piattaforme *open source* per

garantire una fruizione ampia, accessibile e replicabile. La dimensione sperimentale si manifesta, ad esempio, nello studio dedicato all'AI Style Transfer, che esplora l'utilizzo di *workflow* nodali (ComfyUI/ Stable Diffusion) e diverse impostazioni di ControlNet per arricchire l'espressività della rappresentazione architettonica.

Altri contributi si muovono sul confine tra sperimentazione didattica e ricerca, come nel caso della rilettura del *design* italiano a cinquant'anni dall'esposizione *Italy: The New Domestic Landscape*, attraverso pratiche di modellazione *NURBS* e *SubD* che assumono la forma di un atto celebrativo e interpretativo. In parallelo, lo studio del Forte di Sant'Andrea a Venezia propone l'applicazione di strategie di modellazione parametrica e processi *Scan-to-BIM* per sviluppare un modello informativo descrittivo delle caratteristiche della fortificazione, mostrando l'efficacia di metodologie integrate per la rappresentazione di architetture complesse.

Particolarmente rilevante è il filone che indaga le ricostruzioni 3D a partire da video monoculari e a 360° a bassa risoluzione, potenziate dall'uso dell'intelligenza artificiale (*NeRF* e *3D Gaussian Splatting*), per migliorare la qualità visiva e l'efficienza nella documentazione del patrimonio culturale. Su questa linea si colloca anche la ricostruzione virtuale delle fasi settecentesche della cattedrale di Cosenza, che combina rilievo laser scanner e documentazione d'archivio per restituire l'assetto barocco perduto, offrendo strumenti innovativi per la comprensione e la divulgazione. Analogamente, il progetto sperimentale sviluppato a Tolfa mostra come rilievi 3D, *digital twin* e piattaforme immersive possano contribuire alla valorizzazione e alla rigenerazione sostenibile dei centri storici.

Un secondo nucleo tematico è costituito dai contributi legati al *BIM* e all'*HBIM*. Qui emerge con forza la dimensione temporale. Nei processi di modellazione informativa, infatti, il tempo diventa un vero e proprio protagonista, non solo perché consente di documentare le trasformazioni avvenute nei secoli, ma anche perché introduce la possibilità di rappresentare i processi in modo diacronico e multiscalare. In questa prospettiva, il concetto di "ascolto del tempo" diventa centrale, invitando a considerare la tecnologia non come sostituto, ma come alleato nella lettura dei processi storici. I saggi dedicati a questo ambito spaziano da casi applicativi concreti, come la riqualificazione funzionale e strutturale del corpo F dell'Ospedale Oncologico A. Businco di Cagliari, dove il *BIM* è adottato come strumento integrato di progettazione e gestione, fino alla sperimentazione di ecosistemi digitali per la fruizione museale, nei quali rilievo fotogrammetrico, tracciamento immersivo e modellazione 3D si combinano per ottimizzare l'esperienza dell'utente. L'attenzione si estende poi alle metodologie di standardizzazione dei modelli *BIM* 7D per studi di *Life Cycle Assessment (LCA),* che pongono al centro il tema del fabbisogno informativo come guida per la corretta estrapolazione dei dati.

Ampio spazio è dedicato al ruolo dell'*HBIM* nella conservazione e valorizzazione del patrimonio storico: dal restauro della Loggia dei Vini di Villa Borghese, alla modellazione dello scalone monumentale neoclassico dell'ex Collegio dei Nobili a Torino, fino alla digitalizzazione e gestione integrata di edifici complessi come l'Hotel Palace a Merano. In ciascun caso emerge come la proliferazione di strumenti e approcci permetta di approfondire la conoscenza e di sperimentare pratiche di interoperabilità, contribuendo a un dialogo sempre più stretto tra discipline digitali e umanistiche.

Altri contributi esplorano l'integrazione tra *digital humanities* e sistemi *HBIM/GIS*, mostrando come la città possa essere ripensata come

The word "proliferation," commonly associated with biological vocabulary, refers to the process of cell multiplication and division that ensures growth, development, and regeneration of tissues in living organisms. In biology, proliferation is a phenomenon that may assume different outcomes, either constructive or pathological, depending on the context in which it occurs. When transposed into the realm of scientific and technological research, the concept can aptly describe the dynamics of knowledge and practices which, in recent years, have undergone unprecedented diffusion and enrichment, particularly in the field of 3D Modeling and Building Information Modeling (BIM).

In this sense, one may indeed speak today of a true "proliferation" of methods, contents, and applications related to digital representation, information management, and the use of immersive and interactive platforms. This proliferation is not only quantitative, measurable in terms of the increasing number of publications, conferences, and projects, but is also qualitative, as it affects the very nature of the methodologies employed, the potential of digital tools, and their interweaving with historical and humanistic disciplines.

The XI Edition of the Workshop has been conceived to interrogate this proliferation, valorizing it as an opportunity for critical discussion and as an incentive for new research directions. The calls for papers, which for eleven years have collected contributions from scholars, have progressively expanded, embracing issues that range from 3D modeling to the application of BIM and HBIM processes to conservation, valorization, and management of the built heritage. In this framework, the present collection constitutes a privileged observatory of the most recent experiments and theoretical reflections, offering an overview that brings together case studies, innovative methodologies, and interdisciplinary perspectives.

A first cluster of contributions concerns 3D modeling and computer graphics for the representation of architectural heritage. Here, research highlights how modeling techniques, rendering, and augmented reality can serve not only as tools of documentation but also of active conservation and cultural dissemination. Attention is given both to the historical evolution of

organismo intelligente attraverso la connessione di oggetti smart distribuiti sul territorio. Temi di particolare interesse riguardano anche l'adozione di criteri catalografici nei processi di acquisizione e modellazione *BIM* dei beni culturali, la gestione multiscalare del patrimonio minore storico e moderno, e le sperimentazioni *image-based* per un controllo immersivo della "quarta dimensione" nei processi *BIM/HBIM*.

La varietà dei contributi presentati evidenzia una costante tensione verso l'innovazione, che non si limita a introdurre nuove tecnologie, ma le mette al servizio di obiettivi di più ampio respiro: la conservazione del patrimonio, la sostenibilità della gestione urbana, la valorizzazione culturale, la qualità della progettazione architettonica. In questo senso, la proliferazione diventa una condizione necessaria e feconda, che arricchisce il dibattito e alimenta la ricerca, permettendo di affrontare la complessità dei temi con strumenti sempre più adeguati.

L'XI Edizione del *Workshop* si propone, dunque, come un luogo di incontro tra diverse esperienze e competenze, capace di favorire un dialogo trasversale e di stimolare nuove sinergie. Se la proliferazione biologica genera tessuti e organismi, la proliferazione dei saperi e delle pratiche digitali genera reti di conoscenza, nuove comunità di ricerca e prospettive condivise per il futuro. In questo intreccio, la tecnologia e la cultura non si pongono come ambiti separati, ma come componenti di un unico processo di costruzione e di valorizzazione del sapere, in cui la rappresentazione digitale diventa non solo strumento operativo, ma anche atto interpretativo e culturale.

In conclusione, la raccolta dei contributi qui presentati non rappresenta soltanto un aggiornamento sulle più recenti sperimentazioni, ma testimonia una fase di maturazione collettiva, in cui la proliferazione di metodi e contenuti si configura come una risorsa per immaginare nuove traiettorie di ricerca. Il *Workshop* diventa, in questa prospettiva, un laboratorio aperto, capace di accogliere e valorizzare la molteplicità delle esperienze, e di orientare la crescita del settore verso un futuro in cui innovazione tecnologica e responsabilità culturale si alimentano reciprocamente.

computer graphics and to the adoption of open-source platforms to ensure accessible and replicable fruition. The experimental dimension is particularly evident in the study dedicated to AI Style Transfer, which explores the use of nodal workflows (ComfyUI/Stable Diffusion) and different ControlNet settings to enhance the expressiveness of architectural representation.

Other contributions operate at the intersection of didactic experimentation and research, such as the reinterpretation of Italian design fifty years after the exhibition *Italy: The New Domestic Landscape*, through NURBS and SubD modeling practices understood as both celebratory and interpretive acts. Similarly, the study of the Forte di Sant'Andrea in Venice proposes the application of parametric modeling strategies and Scan-to-BIM processes to develop an informative model descriptive of the fortress's features, demonstrating the effectiveness of integrated methodologies for the representation of complex architectures.

Particularly relevant is the line of inquiry into 3D reconstruction from monocular and 360° low-resolution video, enhanced by artificial intelligence (NeRF and 3D Gaussian Splatting), to improve visual quality and efficiency in documenting cultural heritage. Along this line is also the virtual reconstruction of the eighteenth-century phases of the Cathedral of Cosenza, which combines laser scanner survey and archival documentation to restitute the Baroque layout, offering innovative tools for both understanding and dissemination. Similarly, the experimental project developed in Tolfa demonstrates how 3D surveys, digital twins, and immersive platforms can contribute to the valorization and sustainable regeneration of historic centers.

A second thematic cluster is represented by contributions dedicated to BIM and HBIM. Here, the temporal dimension emerges forcefully: in information modeling processes, time becomes an actual protagonist, not only because it enables the documentation of transformations across centuries but also because it introduces the possibility of representing processes diachronically and on multiple scales. In this perspective, the concept of "listening to time" becomes central, suggesting that technology is not a substitute but rather an ally in interpreting historical processes.

The essays dedicated to this domain range from concrete applications, such as the functional and structural redevelopment of the Oncology Hospital A. Businco in Cagliari, where BIM was adopted as an integrated tool of design and management, to the experimentation of digital ecosystems for museum fruition, in which photogrammetric survey, immersive tracking, and 3D modeling combine to optimize the visitor's experience. Attention is also directed toward methodologies for the standardization of 7D BIM models for Life Cycle Assessment (LCA) studies, placing at the center the issue of information requirements as a guide for correct data extrapolation.

Substantial attention is given to the role of HBIM in the conservation and valorization of historical heritage: from the restoration of the Loggia dei Vini at Villa Borghese, to the modeling of the monumental neoclassical staircase of the former Collegio dei Nobili in Turin, to the digitalization and integrated management of complex buildings such as the Hotel Palace in Merano. In each case, the proliferation of tools and approaches enables deeper knowledge and experimentation with interoperability practices, contributing to an increasingly close dialogue between digital and humanistic disciplines.

Other contributions explore the integration between digital humanities and HBIM/GIS systems, illustrating how the city can be rethought as an intelligent organism through the connection of smart objects distributed across the territory. Particularly interesting themes also concern the adoption of cataloging criteria in BIM processes applied to cultural heritage, the multiscalar management of minor historical and modern heritage, and image-based experiments for immersive control of the "fourth dimension" in BIM/HBIM processes.

The variety of contributions presented reveals a constant drive toward innovation, which does not merely introduce new technologies but rather puts them at the service of broader objectives: heritage conservation, sustainable urban management, cultural valorization, and the quality of architectural design. In this sense, proliferation becomes a necessary and fertile condition, enriching the debate and fueling research, allowing the complexity of issues to be addressed with ever more adequate tools.

The XI Edition of the Workshop thus presents itself as a meeting ground between diverse experiences and competencies, capable of fostering transversal dialogue and encouraging new synergies. If biological proliferation generates tissues and organisms, the proliferation of knowledge and digital practices generates networks of knowledge, new research communities, and shared perspectives for the future. In this intertwining, technology and culture are not positioned as separate domains but as components of a single process of knowledge construction and valorization, in which digital representation becomes not only an operational tool but also an interpretive and cultural act.

In conclusion, the collection of contributions presented here does not merely provide an update on the most recent experiments, but it also bears witness to a phase of collective maturation, in which the proliferation of methods and contents becomes a resource for envisioning new trajectories of research. In this perspective, the Workshop serves as an open laboratory, able to welcome and valorize the multiplicity of experiences, and to orient the growth of the sector toward a future in which technological innovation and cultural responsibility continuously nourish one another.

Introduzione

Nonostante i ritardi dovuti agli adeguamenti al contesto economico, politico e sociale attuale, la digitalizzazione resta un pilastro fondamentale del settore delle costruzioni. L'uso obbligatorio del *Building Information Modeling* (*BIM*) è stato confermato, sia per le nuove costruzioni che per gli interventi sugli edifici esistenti, e riconosciuto come strategico nelle fasi esecutive e gestionali, in linea con gli obiettivi europei di maggiore trasparenza, efficienza operativa e sostenibilità [1].

Elemento centrale di questa trasformazione è l'introduzione dell'obbligatorietà del *BIM* negli appalti pubblici, rafforzata dalla normativa nazionale, che ne estende l'impiego anche alla gestione operativa degli immobili, che rappresenta la fase più duratura e significativa nel ciclo di vita di un edificio [2; 3].

Il settore dell'edilizia residenziale pubblica in Italia si trova oggi ad affrontare sfide significative, legate soprattutto alla gestione e alla manutenzione del patrimonio edilizio esistente. Questi immobili si caratterizzano per una notevole eterogeneità in termini di tipologia, stato di conservazione, distribuzione sul territorio e assetti proprietari, a cui si aggiunge una gestione delle informazioni spesso inefficiente. Per rispondere a queste criticità, gli enti pubblici responsabili della gestione e manutenzione degli alloggi pubblici stanno avviando un processo di innovazione dei propri sistemi gestionali, in conformità con le normative sugli appalti pubblici. In quanto stazioni appaltanti, infatti, sono tenuti ad adottare progressivamente metodi e strumenti digitali per la gestione informativa, rispondendo al contempo all'esigenza sempre più urgente di ottimizzare i flussi di lavoro attraverso una gestione più efficace del patrimonio.

In questo contesto, l'Azienda Territoriale per l'Edilizia Residenziale (ATER) dell'Aquila — l'ente pubblico incaricato della gestione del patrimonio residenziale pubblico su tutto il territorio provinciale — è impegnata nell'adozione di strumenti digitali avanzati per migliorare la gestione del proprio patrimonio, in linea con le recenti normative nazionali e regionali. Tra queste, si evidenziano l'obbligo di applicazione del *BIM*, introdotto dal nuovo Codice dei Contratti Pubblici (D.Lgs. 36/2023), e la necessità, per l'ATER Abruzzo, di creare e aggiornare i fascicoli del fabbricato secondo quanto previsto dalla Legge Regionale Abruzzo n. 34/2019. Il presente studio, tuttora in corso, si propone di migliorare le pratiche di gestione digitale degli immobili di edilizia residenziale pubblica, sia per le attività ordinarie che per gli interventi di manutenzione straordinaria, attraverso la creazione di fascicoli del fabbricato *BIM* con contenuti standardizzati, basati sulle esigenze operative dell'ente, e sviluppare un *framework* personalizzato per rispondere alle specifiche necessità dell'ATER dell'Aquila.

A tal fine, è stato selezionato come caso pilota un edificio ATER situato a Sulmona (AQ), costruito negli anni '80 e attualmente oggetto di studio per un successivo intervento di riqualificazione che comprende efficientamento energetico, adeguamento strutturale e manutenzione straordinaria. Questo caso studio sarà utilizzato per testare e validare il set informativo e il *framework* sviluppato, con l'obiettivo di realizzare il primo fascicolo del fabbricato *BIM* per il patrimonio gestito da ATER.

Stato dell'arte

Negli ultimi anni, la letteratura scientifica ha progressivamente ampliato l'analisi dell'applicazione del *BIM* e del suo sviluppo nel campo

Introduction

Despite delays due to adaptations to current economic, political, and social contexts, digitalization remains a cornerstone of the construction sector. The mandatory use of Building Information Modelling (BIM) has been confirmed for both new constructions and interventions on existing buildings, and it is recognized as strategic in execution and management phases, in line with European objectives for transparency, operational efficiency, and sustainability [1].

A key element of this transformation is the introduction of mandatory adoption of BIM in public procurement, reinforced by national regulations that extend its application to the operational management phase, which represents the most enduring and impactful phase in a building's life cycle [2; 3].

The public residential housing sector in Italy is currently facing significant challenges, particularly regarding the management and maintenance of the existing building stock. These assets are characterized by a high degree of heterogeneity in terms of typology, state of conservation, territorial distribution, and ownership structures, often accompanied by inefficient information management. To address these issues, public entities responsible for managing and maintaining public housing are initiating innovation processes in their management systems, in compliance with public procurement regulations. As contracting authorities, they are required to progressively adopt digital methods and tools for information management, while also meeting the increasingly urgent need to optimize workflows through more effective asset management.

In this context, the ATER (Territorial Agency for Residential Housing) of L'Aquila - the public entity responsible for managing public housing throughout the provincial territory - is engaged in adopting advanced digital tools to improve the management of its assets, in line with recent national and regional regulations. These include the mandatory application of BIM, introduced by the new Public Procurement Code (Legislative Decree 36/2023) and the obligation for ATER Abruzzo to create and update building dossiers as required by Regional Law of Abruzzo no. 34/2019.

This ongoing study aims to improve digital management practices for public residential buildings - both for ordinary

dell'*HBIM*, inizialmente focalizzato sul patrimonio storico e sulle tecniche di rilievo e modellazione [4; 5; 6; 7]. Più recentemente, l'attenzione si è spostata verso le potenzialità del *BIM* nella gestione e manutenzione del patrimonio edilizio esistente, inclusa l'edilizia residenziale pubblica.

Questa evoluzione ha evidenziato criticità legate alla carenza di una chiara identificazione dei requisiti informativi e al disallinamento con le reali esigenze gestionali, limitando così l'efficacia dei modelli nella manutenzione e gestione del costruito. Diversi studi sottolineano l'importanza della definizione e validazione degli *Organisational Information Requirements* (OIR) come prerequisito per un uso consapevole e standardizzato dell'*HBIM* [8; 9; 10].

Parallelamente, numerosi contributi hanno investigato l'integrazione del *BIM* nei processi di *Facility* e *Asset Management*, evidenziandone i benefici in termini di efficienza operativa, tracciabilità delle informazioni, riduzione dei costi manutentivi e pianificazione predittiva degli interventi [11; 12], ma anche gli ostacoli, soprattutto nel settore pubblico, riguardanti la frammentazione dei sistemi informativi, l'assenza di approcci standardizzati e la carenza di competenze [13;14].

Sul piano normativo, l'Italia ha accelerato la digitalizzazione del settore imponendo la progressiva introduzione del *BIM* negli appalti pubblici, suscitando ulteriore interesse, soprattutto nel settore dell'edilizia residenziale pubblica, dove la gestione è resa più difficile dalla forte eterogeneità tipologica degli immobili, dal loro stato conservativo spesso critico e dalla frequente necessità di interventi manutentivi. A tal proposito, diversi studi propongono l'uso del *BIM* per supportare strategie manutentive più efficaci e sostenibili [15;16;17;18].

In questo contesto, il fascicolo del fabbricato si afferma come uno strumento essenziale per consolidare e strutturare in modo sistematico tutte le informazioni relative agli immobili, a supporto delle attività di monitoraggio, manutenzione e gestione consapevole. Originariamente concepito come un documento tecnico-amministrativo statico, il fascicolo del fabbricato oggi si sta evolvendo verso un formato digitale, dinamico e interoperabile, capace di garantire la tracciabilità informativa lungo l'intero ciclo di vita dell'edificio [19;20].

L'integrazione tra fascicolo e modello *BIM* rappresenta un'opportunità strategica per superare la frammentazione informativa, migliorando la trasparenza, la gestione e la programmazione manutentiva [21].

Per enti come le ATER, l'adozione di un approccio digitale integrato rappresenta ormai non solo una scelta strategica, ma anche un requisito normativo imprescindibile. L'ATER L'Aquila, infatti, si trova oggi a dover rispondere a un duplice obbligo normativo: da un lato, l'obbligo di adozione del *BIM* per gli appalti pubblici (D.Lgs. 36/2023 e s.m.i.); dall'altro, la redazione dei fascicoli del fabbricato per gli immobili di competenza (L.R. Abruzzo n. 34/2019). Questa doppia direttrice rafforza l'urgenza di dotarsi di strumenti gestionali integrati e interoperabili, capaci di offrire una conoscenza approfondita e strutturata del patrimonio edilizio pubblico, promuovendo una gestione più trasparente, efficiente e orientata alla manutenzione programmata.

Soluzione proposta

La sperimentazione condotta su ATER L'Aquila si pone l'obiettivo di avviare un processo di conoscenza e valorizzazione del patrimonio attraverso un'attività strutturata di raccolta, analisi e digitalizzazione della documentazione storica e tecnica, finalizzata alla costruzione di modelli informativi tridimensionali (*HBIM*), capaci di restituire una

activities and extraordinary maintenance interventions - through the creation of standardized BIM building dossiers based on the operational needs of the agency, and to develop a customized framework to meet the specific requirements of ATER L'Aquila.

For this purpose, an ATER building located in Sulmona (AQ), built in the 1980s and currently under evaluation for future redevelopment—including energy efficiency upgrades, structural adaptation, and extraordinary maintenance—was selected as a pilot case. This case study will be used to test and validate the developed information set and framework, with the objective of producing the first BIM building dossier for ATER's managed assets.

Recent solutions

In recent years, scientific literature has progressively expanded the analysis of BIM applications and its development within HBIM, initially focused on historic heritage and survey and modeling techniques [4; 5; 6; 7]. More recently, attention has shifted toward the potential of BIM in the management and maintenance of existing building assets, including public residential housing.

This evolution has highlighted issues linked to the lack of clear identification of information requirements and the misalignment with real management needs, thereby limiting the effectiveness of models in maintenance and asset management. Several studies emphasize the importance of defining and validating Organisational Information Requirements (OIR) as a prerequisite for conscious and standardized use of HBIM [8; 9; 10].

In parallel, numerous contributions have investigated the integration of BIM in Facility and Asset Management processes, underlining its benefits in terms of operational efficiency, information traceability, maintenance cost reduction, and predictive intervention planning [11; 12], but also its obstacles—especially in the public sector—such as fragmented information systems, lack of standardized approaches, and shortage of skilled personnel [13; 14].

On the regulatory side, Italy has accelerated sector digitalization by mandating the gradual introduction of BIM in public procurement, sparking further interest, particularly in public housing, where management is complicated by strong typological heterogeneity of buildings, deteriorating conditions,

H-INFRABIM DELLE GRANDI DERIVAZIONI IDROELETTRICHE: SFIDE E OPPORTUNITÀ

H-InfraBIM of large hydropower diversions: challenges and opportunities

Authors

Gianvito Marino Ventura[1], Francesca Maria Ugliotti[1]

[1]Politecnico di Torino, DISEG (Dipartimento di Ingegneria Strutturale, Edile e Geotecnica)

Email

gianvito.ventura@polito.it
francesca.ugliotti@polito.it

Keywords

INFRASTRUCTURE
INDUSTRIAL HERITAGE
WATER ARCHITECTURE
MULTIDISCIPLINARY
DIGITAL TRANSITION

Abstract

La digitalizzazione delle grandi infrastrutture energetiche emerge come un elemento cruciale per la rappresentazione della complessità e per il conseguimento degli obiettivi globali dell'attuale periodo storico. Si propone un caso studio esemplificativo di una grande derivazione idroelettrica, evidenziando la proliferazione di sfide e opportunità riscontrate durante l'intero processo.

The digitalization of significant energetic infrastructure has emerged as a pivotal element in representing the complexity and achieving the overarching objectives of the contemporary historical period. The following case study, which focuses on a large hydropower diversion, is presented delineates the proliferations of challenges and opportunities that were encountered during the entire process.

Introduzione

Nel contesto globale della transizione energetica, l'ottimizzazione degli impianti di produzione da fonti rinnovabili assume un ruolo fondamentale per la mitigazione dei cambiamenti climatici. Le grandi derivazioni idroelettriche[1] forniscono una quota significativa di energia pulita coprendo oltre l'80% della produzione idroelettrica[2].

Costruite prevalentemente agli inizi del Novecento, oggi necessitano di interventi di manutenzione per garantirne l'operatività, ammodernamenti ed efficientamento orientati alla produttività, nonché azioni di adattamento verso le aggiornate sensibilità ambientali e sociali per favorire lo sviluppo sostenibile del territorio. L'integrazione di tutti i dati necessari per il conseguimento di tali obiettivi all'interno di un unico sistema informativo si configura come un'opportunità nella creazione di una visualizzazione unificata e coerente per il supporto decisionale.

In considerazione dell'evoluzione tecnologica e dell'attuale disponibilità di dati nel settore *Architecture, Engineering, Construction and Operation (AECO)*, il concetto di gemello digitale, inteso come replica virtuale aggiornata in tempo reale di un sistema fisico [1], emerge come l'approccio più promettente. Sebbene l'adozione della metodologia *Building Information Modeling* (*BIM*) risulta come piccola parte di questo più vasto contesto [2, 3], essa risulta fondamentale per il coordinamento delle diverse discipline garantendo il flusso continuo di informazioni [4] rappresentando un supporto grafico e informativo [5, 6] e generando molteplici vantaggi durante l'intero ciclo di vita delle infrastrutture [7].

Con questo studio si vuole fornire un quadro d'insieme sull'impiego del *BIM* in ambito idroelettrico con un'analisi dello stato dell'arte evidenziando le sfide e le opportunità riscontrabili in un processo di digitalizzazione informativa supportati da un caso studio reale.

Stato dell'arte

Sebbene la metodologia *BIM* risulti applicabile anche per le grandi derivazioni, oltre che obbligatoria per tutte le opere pubbliche con il nuovo Codice degli Appalti[3], la loro digitalizzazione e più in generale degli impianti idroelettrici, risulta ancora d'avanguardia in quanto scarsamente approfondita in letteratura e poco standardizzata in termini di codifica grafica [8].

È opportuno considerare come, a partire dal 2010 fino ad oggi, il database di Scopus abbia registrato oltre 124 mila pubblicazioni nel settore idroelettrico e circa 31 mila pubblicazioni nell'ambito del *BIM* e delle sue diverse declinazioni. L'aggregazione di queste due ricerche riduce il campione a soli 129 risultati, di cui 54 articoli pubblicati su riviste specializzate (Fig. 1).

Bisogna valutare che alcuni studi si concentrano su piccole porzioni, tratti o elementi specifici come dighe, gallerie, condotte, senza considerare il legame con la parola chiave "idroelettrico", frammentando così la letteratura di riferimento. Tuttavia, i dati raccolti

1_ Secondo l'articolo 6 del R.D. 11 dicembre 1993, n. 1775 le grandi derivazioni idroelettriche sono quelle derivazioni della risorsa idrica a fini idroelettrici regolate da concessione regionale con una potenza nominale maggiore di 3000 kW.
2_ Report statistici su base annuale di Terna https://www.terna.it/it/sistema-elettrico/statistiche/pubblicazioni-statistiche (ultima consultazione 05-2023)
3_ L'introduzione del *BIM* nelle opere pubbliche è stata introdotta con il Codice degli Appalti (D.Lgs. 50/2016) e successivamente aggiornata con diversi decreti sino all'ultimo Correttivo Appalti 2025 (D.Lgs. 209/2024).

Introduction

In the global context of energy transition, optimization of renewable generation facilities assumes a key role in climate change mitigation. Large hydroelectric diversions[1] provide a significant share of clean energy, accounting for over 80 percent of hydropower generation[2].

Built mainly in the early 1900s, they now require maintenance work to ensure their operation, productivity-oriented modernization and efficiency upgrades, and adaptation actions toward updated environmental and social sensitivities to foster sustainable development of the area. The integration of all the data necessary for the achievement of these objectives within a single information system presents itself as an opportunity in the creation of a unified and consistent visualization to support the decision-making process.

In view of the evolving technology and current data availability in the Architecture, Engineering, Construction and Operation (AECO) sector, the concept of a digital twin, understood as an updated real-time virtual replica of a physical system [1], emerges as the most promising approach. Although the adoption of the Building Information Modeling (BIM) methodology is configured as a small part of this broader context [2, 3], it is crucial for the coordination of different disciplines by ensuring the continuous flow of information [4] providing graphical and informational support [5, 6] and generating multiple benefits throughout the entire infrastructure life cycle [7].

This study aims to provide an overview of the use of BIM in hydropower, offering a state-of-the-art analysis highlighting the challenges and opportunities found in an information digitalization process supported by a real case study.

Recent solutions

Although the BIM methodology is applicable to large-scale projects and is mandatory for all public works under the new

1_ According to Article 6 of R.D. Dec. 11, 1993, No. 1775, large hydropower diversions are those diversions of water resource for hydroelectric purposes regulated by regional concession with a nominal capacity greater than 3000 kW.
2_ Statistical reports on an annual basis from Terna https://www.terna.it/it/sistema-elettrico/statistiche/pubblicazioni-statistiche (last consultation 05-2023)

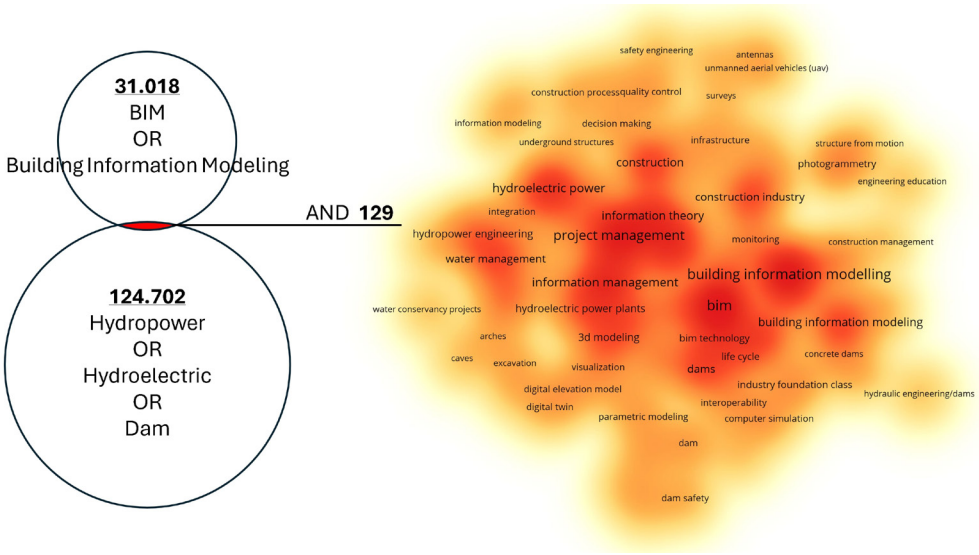


Fig. 1: Ricerca su database Scopus ed estrazione delle parole chiave più utilizzate con VOSViewer.

Fig. 1: Scopus database search and extraction of most used keywords with VOSViewer.

evidenziano come il *BIM* si sia progressivamente esteso a settori infrastrutturali quali strade, ferrovie, aeroporti e ospedali, ma in misura minore nel comparto delle grandi infrastrutture energetiche, in particolare nel settore idroelettrico. Tale ostilità può essere attribuibile a peculiarità morfologiche di questo tipo di infrastrutture, ma anche a barriere disciplinari, accademiche e conservative [9, 10].

Il settore idroelettrico mostra caratteristiche specifiche che rendono i progetti idroelettrici unici nel suo genere dalle prime fasi di pianificazione e progettazione sino alla fase di gestione e manutenzione passando dalla fase di costruzione. Queste caratteristiche risultano sfidanti ma allo stesso tempo fondamentali per una corretta impostazione metodologica della metodologia *BIM* (Tab. 1).

Pertanto, la digitalizzazione di un'infrastruttura esistente come una grande derivazione si presenta come un processo complesso caratterizzato da sfide intrinseche, tra cui la scala di rappresentazione, l'interdisciplinarità, le durate progettuali e la complessità contrattuale, nonché considerazioni di tipo ambientale, normativo, economico e di gestione dei rischi.

CONSERVATIVE TRADITION	A hundred years of engineering experience and well-established work practices, which corporate culture and organization change may be reluctant to adopt due to a lack of awareness of the benefits [11]
SENSITIVE DATA	Sharing sensitive information relating to critical infrastructure, such as hydropower plants, poses a significant challenge to real-world case study work and scientific research [12, 13]
STRUCTURAL COMPLEXITY	Large hydroelectric projects are characterised by underground works, construction, civil engineering, and electrical and mechanical equipment. This makes them highly interdisciplinary and long-lasting, requiring considerable time and budget [14, 15]
DIMENSION	The vast spatial extension makes it necessary to work on different scales of representation, with different levels of detail required ranging from major developments in linear infrastructures to individual machines, and often leading to data heterogeneity and inconsistency [16, 17, 18]
OBSOLESCENCE	The average age of hydropower plants is more than 65 years, and they require adaptation and maintenance; in addition, most of the concessions are expiring [19, 20]
NATURAL CONTEXT	The surrounding environment is a typical mountainous area with steep slopes and consequent movement difficulties, dense vegetation, poor signal reception and water and geological hazards [21, 22]

Tabella 1 - Caratteristiche uniche del settore idroelettrico.

Tab. 1 – Unique characteristics of the hydropower sector.

Codice degli Appalti[3], the digitalization of hydropower facilities is still in its infancy, as it is scarcely explored in literature and not very standardised in terms of graphic coding [8].

From 2010 to the present day, the Scopus database has recorded approximately 124 thousand publications in the hydropower sector and over 31 thousand publications in the field of BIM and its various applications. Aggregating these two areas of research reduces the sample size to just 129 results, including 54 journals papers (Fig. 1).

It should be noted that some studies focus on small portions without considering the link to the keyword 'hydropower', thus fragmenting the literature. However, the collected data show that BIM has gradually expanded into transportation infrastructure sectors, such as roads and railways, and civil sectors, such as airports and hospitals, but to a lesser extent into the energy sector, including hydropower.

Such hostility may be attributable not only to the morphological peculiarities typical of large hydropower diversions, but also to disciplinary, academic and conservation barriers [9, 10].

The industry exhibits characteristics that render hydropower projects unique throughout the entire lifecycle, from the initial planning and design stages to

3_ The introduction of BIM in public works was introduced with the Codice degli Appalti (Legislative Decree 50/2016) and subsequently updated by several decrees until the latest Codice degli Appalti (Legislative Decree 209/2024).

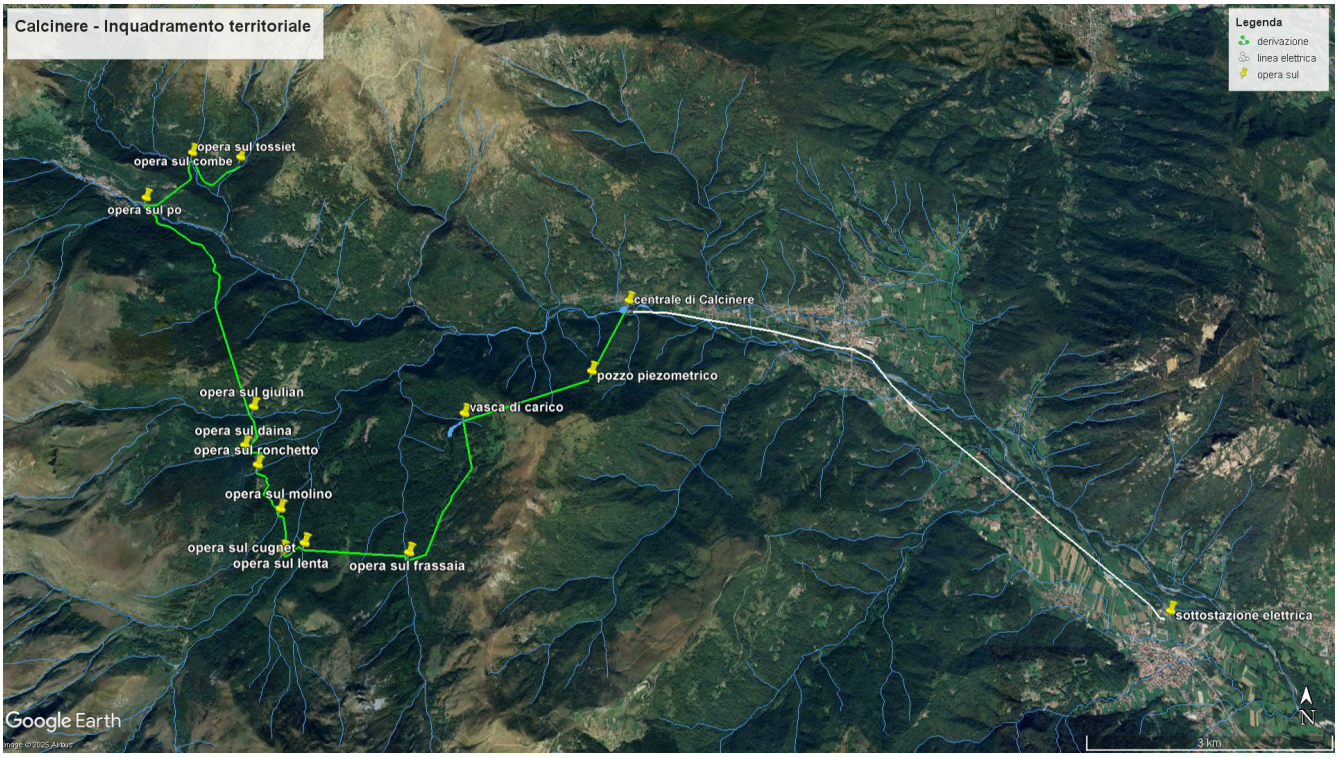


Fig. 2: Inquadramento territoriale della centrale idroelettrica di Calcinere.

Fig. 2: Spatial framing of the Calcinere hydroelectric power plant.

Soluzione proposta

Si propone l'analisi di un impianto di derivazione a fini idroelettrici situato in un'area specifica dell'alta Valle Po in Piemonte, caratterizzato dallo sviluppo planimetrico e altimetrico significativo e da un paesaggio pregevole, configurando un patrimonio dal valore ingegneristico, ambientale, storico e culturale.

Costruita tra il 1918-1922, la Centrale di Calcinere si sviluppa lungo l'asta idraulica del Po e dei suoi affluenti, circondata dalla riserva naturale del Monviso. Il canale di derivazione, in parte a mezza costa in parte in galleria, si estende linearmente per circa 12 km e intercetta 10 corsi d'acqua con le rispettive opere di presa. L'acqua viene convogliata prima in una vasca di carico, dopo in centrale attraverso le condotte forzate. Qui viene turbinata e trasformata in energia elettrica grazie 4 gruppi di produzione con una potenza installata di 13 MW e infine trasferita per una distanza di circa 8 km alla sottostazione e immessa nella rete nazionale (Fig. 2).

Flusso di lavoro

Queste peculiarità, emblematiche delle grandi derivazioni, risultano da un lato tipiche delle infrastrutture lineari richiamando l'utilizzo della metodologia *InfraBIM* [23], dall'altro dipendono dall'esistenza centenaria richiamando la metodologia *HBIM* [24]. Tali caratteristiche si riflettono nell'intero processo di digitalizzazione dove ciascuna fase evidenzia differenti sfide e opportunità (Fig. 3).

La complessità di impostazione metodologica è stata affrontata mediante un approccio *data-driven*, che prevede: (a) la raccolta dei dati esistenti e l'integrazione delle informazioni mancanti; (b) l'elaborazione con la messa a sistema di dati eterogenei con la restituzione di un modello informativo; (c) la visualizzazione integrata dei dati per gli obiettivi legati

construction and operation and maintenance. These characteristics present challenges and form the foundation for a proper methodological approach to BIM (Tab. 1).

Thus, the digitalization of existing infrastructure, such as large-scale diversions, is a complex process characterised by inherent challenges. These include the scale of representation, interdisciplinarity, project duration and contractual complexity, as well as environmental, regulatory, economic and risk management considerations.

Proposed solution

The proposal is made for the analysis of diversion plant for hydroelectric purpose located in a specific area of the upper Valle Po in Piedmont, characterized by significant planimetric and altimetric development and a valuable landscape, configuring a heritage with engineering, environmental, historical and cultural value.

The Calcinere power plant, built between 1918-1922, is located along the river Po and its tributaries, surrounded by natural reserve of Monviso. The diversion canal, partly in a half-shore, partly in a tunnel, extends linearly for about 12 km

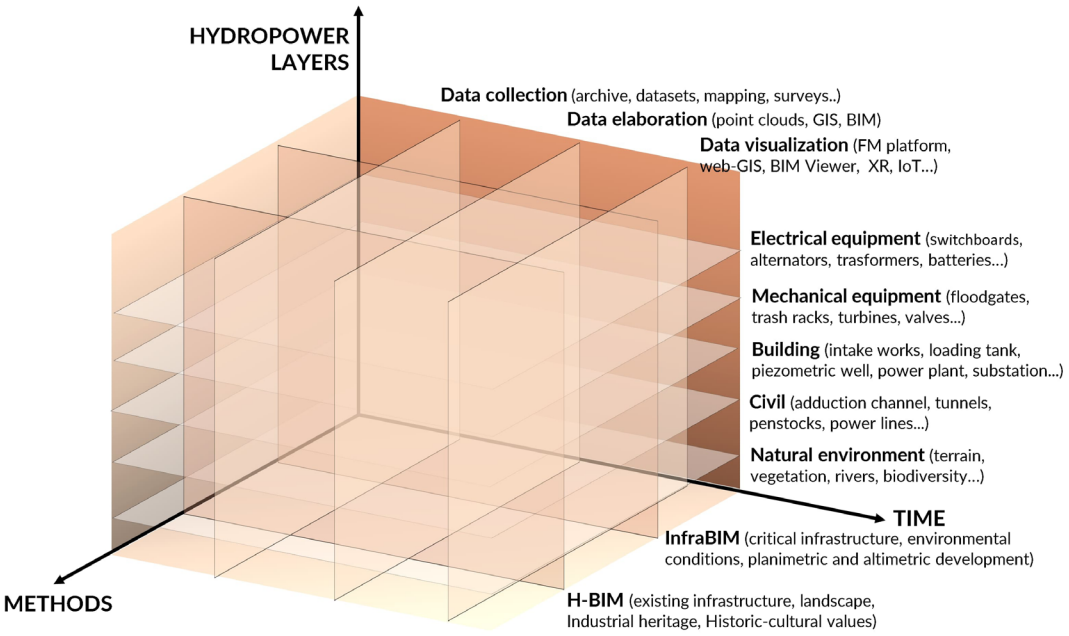


Fig. 3: Caratteristiche emblematiche delle grandi derivazioni che si riflettono nei metodi e nei tempi di digitalizzazione. informativa.
Fig. 3: Characteristics emblematic of large diversions that are reflected in the methods and timing of informative digitalization.

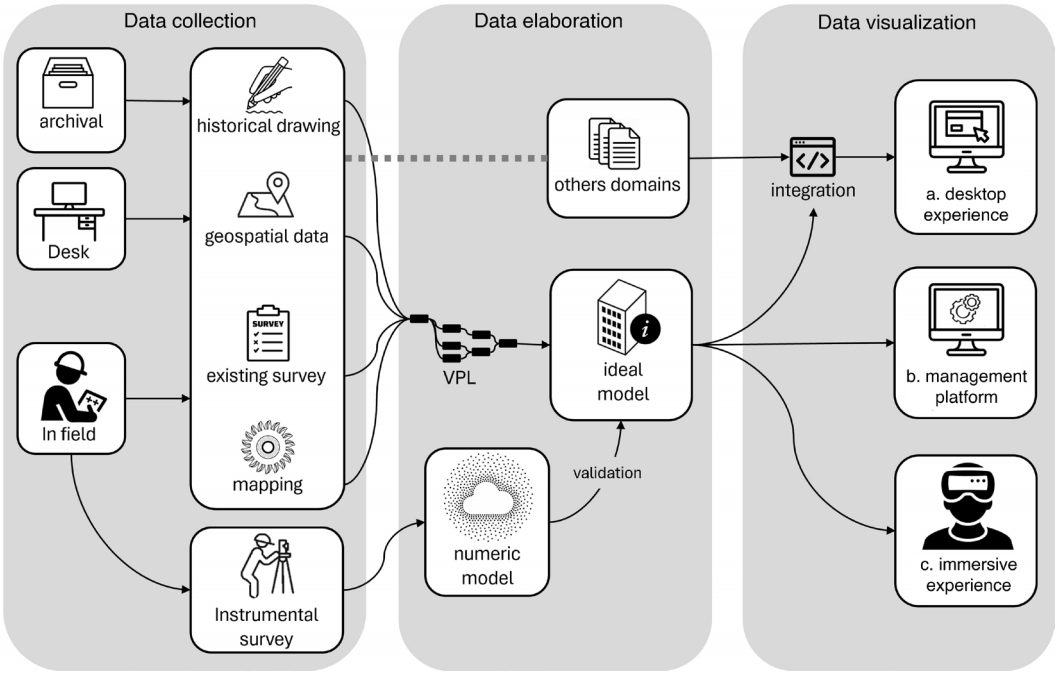


Fig.4: Flusso metodologico
Fig. 4: Workflow

alla conoscenza, conservazione e valorizzazione con ricadute positive sul territorio in ottica ambientale e sociale (Fig. 4). Di seguito un estratto delle principali attività svolte fase per fase e un riassunto delle diverse sfide e opportunità palesatesi durante l'intero processo (Tab. 2).

***a.** Raccolta dati*

Come prima operazione, è stata condotta una ricerca archivistica con un'analisi approfondita della documentazione esistente, che comprende fonti documentarie, iconografie e fotografie dell'epoca,

and intercepts 10 watercourses with their respective intake works. The water is conveyed first to a loading tank and then to the power plant through penstocks. Here it is turbined and transformed into electricity by 4 generating sets with an installed capacity of 13 MW, before being over approximately 8 km to the substation and fed into the national grid (Fig. 2).

documenti tecnici, progettuali, autorizzativi e gestionali, nonché ogni altro supporto documentale disponibile che testimonia le vicissitudini dell'opera. Tali documenti fanno riferimento principalmente alle Cartiere Burgo e alla Società Idroelettrica Monviso in quanto l'impianto possiede un forte legame industriale con le due società[4].

La disponibilità e affidabilità di disegni storici e schemi altimetrici esistenti risulta insufficiente e vi è la necessità di integrare tutte le informazioni mancanti per una corretta restituzione digitale e informativa. La scala di rappresentazione dell'intera infrastruttura ha permesso di condurre ricerche su banche dati per il reperimento di dati geospaziali, georeferenziare e ottimizzare, a livello planimetrico, l'intero sviluppo infrastrutturale. Il geoportale di riferimento e la mappatura BDTRE[5] hanno permesso la raccolta di dati territoriali che hanno permesso di mettere a confronto i rilievi speditivi condotti nel tempo con dati relativi allo spazio circostante come le curve di livello del terreno controllando l'altimetria rispetto agli schemi altimetrici esecutivi, la mappatura catastale migliorando alcuni passaggi, il bacino idrografico verificando il corretto posizionamento delle opere di presa.

Parallelamente sono state condotte ricerche sul campo per la mappatura di tutti gli assets e le relative informazioni di tipo semantico legate alle caratteristiche tecniche e funzionali per gli aspetti manutentivi. Sono stati effettuati rilievi specifici *in loco* sulle opere puntali, oltre alla raccolta di un apparato fotografico aggiornato.

Infine, per un tratto del canale, è stato condotto un rilievo strumentale con l'idea di elaborare una nuvola di punti, utile a verificare i dati raccolti e validare il metodo di modellazione applicato. L'acquisizione dati mediante tecnologia *Lidar* di uno spazio confinato come il canale di adduzione necessita di tutte le misure di sicurezza del caso oltre a presentare tutta una serie di condizioni ambientali non ideali al rilievo. Infatti, il canale si presenta come uno spazio lungo e stretto, con angoli di curvatura che limitano la visuale e creano zone d'ombra, con sezioni e materiale omogenei, oltre a presentare spesso acqua sul fondo.

b. *Elaborazione dati*

La raccolta di dati eterogenei tra loro rende la fase di elaborazione un'operazione cognitiva e operativa articolata. In primis, le persone che conoscono l'infrastruttura e suoi impianti non coincidono con le persone esperte di modellazione. In questo contesto, è risultato strategico il coinvolgimento diretto di operatori con esperienza nella gestione degli impianti per la trasmissione di informazioni necessarie alla comprensione degli asset e delle sue funzioni.

L'analisi integrata dei dati ha permesso l'elaborazione dei diversi domini *BIM* e *GIS* con la creazione di un modello digitale, partendo dalla sistematizzazione dei dati bidimensionali a livello planimetrico, dei dati esecutivi altimetrici derivati dai disegni storici e dei dati di tipo semantico raccolti durante i vari sopralluoghi. In questo caso, la sfida pertinente riguarda la traduzione di dati eterogenei in linguaggi digeribili dal *software* di modellazione e la sistematizzazione di formati e scale di rappresentazione non uniformi. Tale operazione è stata

4_ Fondate entrambe da Luigi Burgo, avrebbero contato oltre 12 impianti idroelettrici e 8 stabilimenti di produzione cartaria. Ogni centrale forniva elettricità agli stabilimenti e le città vicine configurando un colosso dell'epoca.
5_ Base Dati Territoriale di Riferimento degli Enti https://www.geoportale.piemonte.it/geonetwork/srv/api/records/r_piemon:903f1ad3-6821-4d87-b500-0c8028fd303b (ultima consultazione 05/2023)

Workflow

These peculiarities, which are emblematic of large deviations, are, on the one hand, typical of linear infrastructure, recalling the use of the InfraBIM methodology [23]. On the other hand, they depend on the century-long existence of the HBIM methodology [24]. These characteristics are reflected throughout the digitalization process, where each phase highlighting different challenges and opportunities (Fig. 3).

The complexity of the methodological approach was addressed through a data-driven approach involving: (a) the collection of existing data and the integration of missing information; (b) the processing and systematization of heterogeneous data, resulting in an information model; (c) the integration of data visualization for objectives related to knowledge, conservation and enhancement, with positive environmental and social spillovers on the territory (Fig. 4). Below is an excerpt of the main activities carried out phase by phase and a summary of the various challenges and opportunities that became apparent throughout the process (Tab. 2).

a. *Data collection*

The first step was to conduct archival research and carry out an in-depth analysis of the existing documentation. This included documentary sources, iconography and photographs from the time, as well as technical, design, authorization and management documents. Any other available documentation testifying to the vicissitudes of the work was also included.

These documents mainly refer to Cartiere Burgo and the Monviso Hydroelectric Company, as the plant has strong industrial ties with these two companies[4]. However, the existing historical drawings and elevation diagrams are insufficient and must be supplemented with missing information to enable proper digital and informative restitution.

The scale of the representation of the entire infrastructure enabled database searches to be conducted for geospatial data, georeferencing and optimizing, at the planimetric level, the entire infrastructural development. The reference

4_ Both founded by Luigi Burgo, they would number more than 12 hydroelectric plants and 8 paper mills. Each plant supplied electricity to the paper mill and neighboring towns, configuring a colossus of the time.

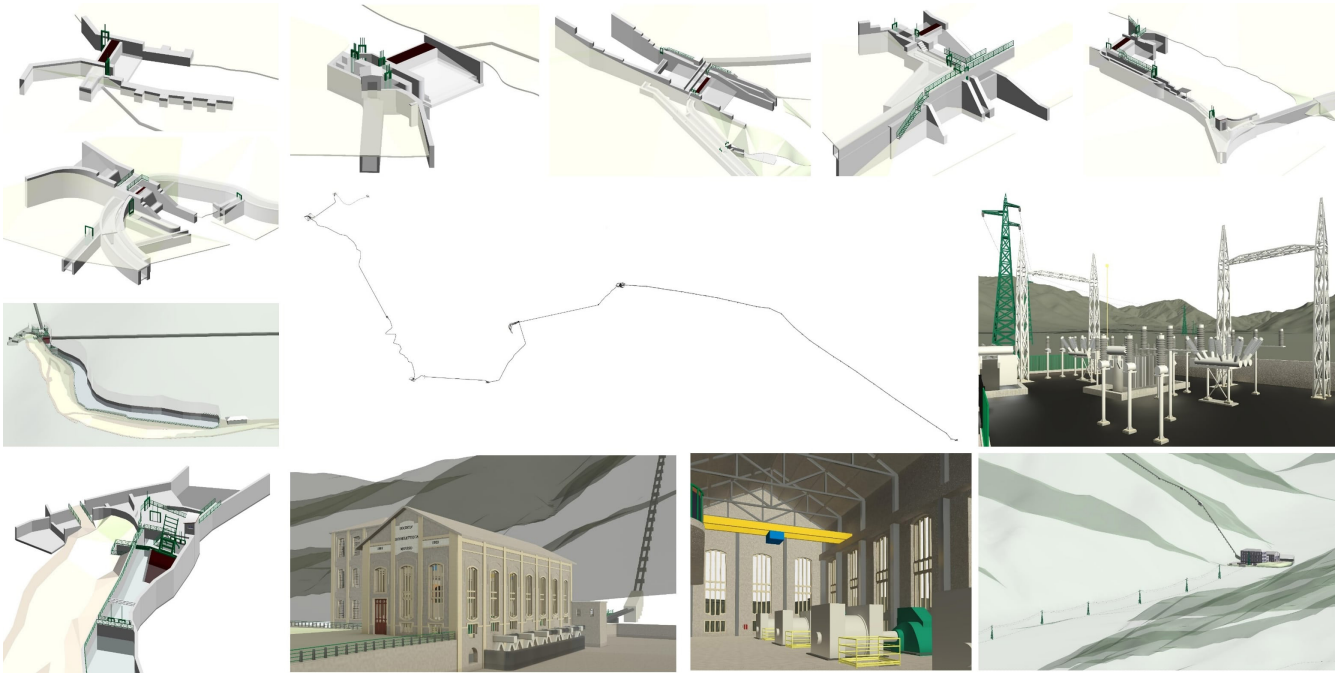


Fig. 5: Modello informativo della centrale idroelettrica di Calcinere
Fig. 5: Information model of Calcinere hydropower plant.

strutturata mediante l'utilizzo di linguaggio di programmazione visuale, il quale ha permesso di creare un percorso 3D, georeferenziato nello spazio e coerente con i dati raccolti e di automatizzare il processo di modellazione con il posizionamento di famiglie adattive e parametriche lungo il percorso [25]. L'allineamento di 400 scansioni e l'elaborazione di una nuvola di punti ha permesso di ottenere un modello numerico per quanto possibile accurato e affidabile di una specifica porzione del canale. La nuvola di punti è stata utilizzata come verifica del modello ideale e validazione del metodo praticato.

Lungo l'opera infrastrutturale sono stati modellati in maniera tradizionale, con approcci *CAD to BIM* o attraverso disegni storici, le singole strutture puntuali, dalle opere di presa alla vasca di carico, e dalla centrale di produzione alla sottostazione elettrica.

È generalmente accettato che gli ostacoli incontrati in questa fase riguardino i tempi tradizionalmente lunghi di elaborazione e restituzione dei dati. Tuttavia, è indispensabile riconoscere l'importanza di questi tempi per garantire una rappresentazione chiara e autentica della complessità della struttura con la creazione di un database funzionale ai propri scopi (Fig 5).

Partendo dalla tipica rappresentazione su carta da lucido del ventesimo secolo, la definizione di modelli digitali *H-InfraBIM* per le centrali idroelettriche consente un nuovo livello di accessibilità alle informazioni, abilitando scenari multidimensionali e procedure collaborative.

***c.** Visualizzazione dati*

Questa sezione rappresenta in parte i primi risultati di questo studio, che dimostrano possibili strumenti di visualizzazione e fruizione di modelli informativi di grandi derivazioni idroelettriche, in parte ulteriori potenzialità che configurano sviluppi futuri di questa ricerca.

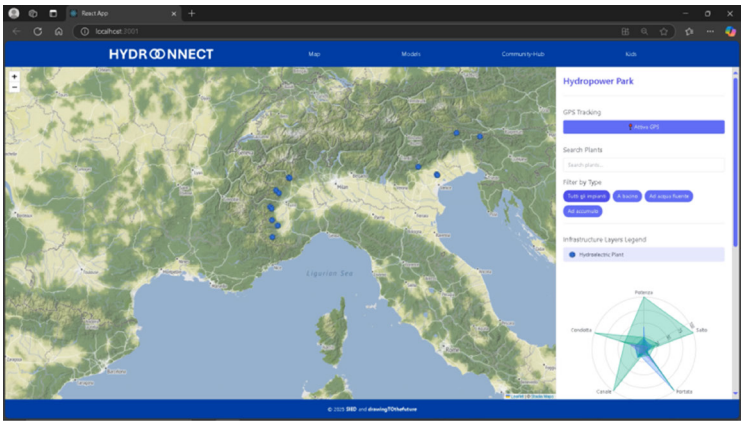
Le potenzialità di creare visualizzazioni sfruttando il potere grafico e informativo del modello digitale sono variegate e risiedono nello sviluppo di metodi e strumenti interattivi a supporto di diverse attività a

geoportal and BDTRE[5] mapping enabled the collection of spatial data for comparing the expeditious surveys conducted over time with data related to the surrounding space, such as contour lines, by checking the elevation against executive elevation schemes and cadastral mapping, and by verifying the correct positioning of the catchment area and intake works.

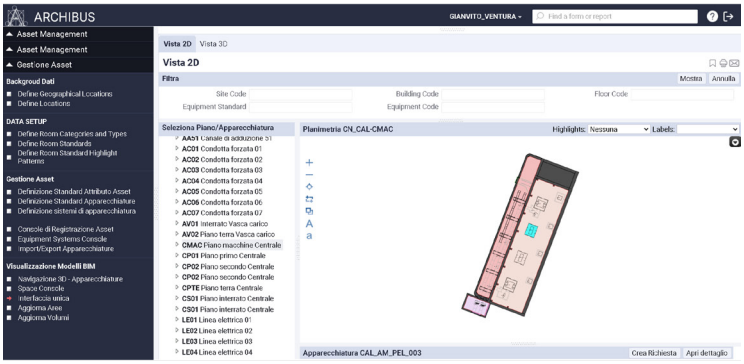
In parallel, field research was conducted to map all assets and related semantic information concerning technical and functional characteristics relevant to maintenance aspects. Specific on-site surveys were carried out on the point works, as well as the collection of updated photographic data.

Finally, an instrumental survey was conducted on a section of the canal with the aim of processing a point cloud to verify the collected data and validate the modelling method applied. Data acquisition using Lidar technology of a confined space such as the adduction canal requires all the appropriate safety measures in addition to presenting a whole series of environmental conditions that are not ideal to the survey. In fact, the channel presents itself as a long and narrow space, with

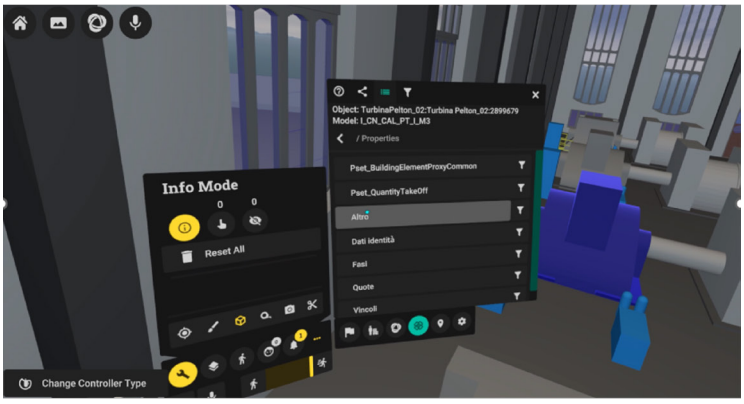
5_ Base Dati Territoriale di Riferimento degli Enti https://www.geoportale.piemonte.it/geonetwork/srv/api/records/r_piemon:903f1ad3-6821-4d87-b500-0c8028fd303b (last consultation 05/2023)



a. Desktop experience (web-platform)



b. Management platform (Archibus)



c. Immersive experience (Vrex)

Fig. 6: Differenti visualizzazioni e fruizioni del modello informativo.
Fig. 6: Different visualizations and fruitions of information model.

seconda dell'utente che ne fruisce. Strumenti a supporto delle attività manutentive, della documentazione, della formazione degli operatori, nonché alla gestione dei progetti, della condivisione di scelte progettuali, del coinvolgimento dei diversi *stakeholder*, oltre all'accesso a spazi virtuali orientati alla piena conoscenza dell'infrastruttura visualizzando dati eterogenei integrati agevolando processi decisionali e pianificazioni sostenibili del territorio (Fig. 6).

In questa fase, l'interoperabilità tra i *software* di modellazione e *software* di visualizzazione e fruizione dei dati rappresenta una sfida tecnica cruciale. Questa sfida assume una rilevanza ancora maggiore con l'adozione di formati aperti come l'*IFC* e lo sviluppo di ambienti digitali per una gestione il più possibile flessibile e su misura ai propri

curvature angles that limit the view and create shaded areas, with homogeneous sections and material, as well as often presenting water at the bottom.

***b.** Data elaboration*

Collecting heterogeneous data from different sources makes the processing phase a complex cognitive and operational task.First and foremost, those familiar with the infrastructure and its facilities are not necessarily experts in modelling. In this context, it was strategic to involve operators experienced in facilities management in the transmission of information needed to understand the assets and their functions.

Integrated data analysis enabled the processing of different BIM and GIS domains, resulting in the creation of a digital model. This process began with the systematization of two-dimensional data at the plan level, as well as executive elevation data derived from historical drawings and semantic type data collected during various surveys. The relevant challenge in this case concerns translating heterogeneous data into a format that can be processed by modelling software, and systematising non-uniform formats and scales of representation. This was achieved using a visual programming language, which enabled the creation of a georeferenced 3D path consistent with the collected data and the automation of the modelling process by placing adaptive and parametric families along the path [25].

Aligning 400 scans and processing a point cloud resulted in a numerical model that was as accurate and reliable as possible of a specific portion of the channel. The point cloud was used to verify the ideal model and validate the method employed.

Alongside the infrastructural work, individual point structures, from the intake works to the reservoir and from the generating station to the power substation, were modelled using more traditional approaches, such as CAD to BIM or historical drawings.

It is generally accepted that obstacles encountered at this stage relate to traditionally long processing and data return times. However, it is important to recognise the significance of these times to ensure an accurate and authentic representation of the facility's complexity, and to create a functional database for this purpose (Fig. 5).

obiettivi risulta un'opportunità importante lungo l'intero ciclo di vita della struttura [26]. La grande estensione dell'infrastruttura si traduce in modelli dalle grandi dimensioni, con geometrie complesse, difficilmente navigabili nelle interfacce dei *software* di modellazione. Per tale ragione, un'opportunità significativa nel contesto dell'esplorazione di modelli *BIM*, risulta lo sviluppo di visualizzatori *web-based* ottimizzati per la visualizzazione di grandi modelli [27, 28] e per la collaborazione [12].

L'utilizzo del *GIS* nelle fasi di raccolta ed elaborazione dati per via dell'estensione territoriali delle grandi derivazioni richiama l'utilizzo di strumenti *web-GIS* per una coerente visualizzazione e fruizione di questo tipo di dati. In tal senso, tali piattaforme assumono un ruolo strategico, consentendo una consultazione geografica interattiva degli asset infrastrutturali con una rappresentazione con un basso livello di dettaglio, facilmente accessibile e comprensibile o per l'integrazione con il dominio *BIM* [16].

Altri aspetti comunicativi delle infrastrutture complesse riguardano l'integrazione con strumenti di *Extended Reality (XR)* per il miglioramento delle attività di formazione e coinvolgimento degli *stakeholders* [29, 30], con sistemi *Internet of Things (IoT)* per facilitare il monitoraggio [11] e il supporto alle decisioni [31, 32], strumenti di *Artificial intelligence (AI)* per la comunicazione dei dati o per la simulazione predittiva [33].

CHALLENGES	OPPORTUNITIES
DATA COLLECTION	
Inclusion of *BIM* methodology in conventional and enduring work practices	Hundred-year engineering experience, with continuous learning from international best practices with constant scientific and technological evolution
Poor source documentation and fragmented representation of the work	Collection and enhancement of iconographic material with historical and cultural value
Significant planimetric and altimetric development of the infrastructure	Consultation of geospatial data in reference geoportals
Long travel time in the field due to environmental context and weather conditions	Trail adaptation and hydro and geological hazard remediation work
Survey and inspection activities in confined and hazardous environments with few access points and difficulty in orientation	Inclusion of safety-related information within the channel such as progressive distances
Absent signage in some parts of the infrastructure and underground works	Experimentation with innovative solutions such as RFID and implementation of connectivity for unserved areas
DATA ELABORATION	
Implementation and management of point clouds of long and narrow spaces	Geolocation of infrastructure works, accuracy and reliability of data
Poor knowledge of infrastructure type by modelers	Involvement of operators in the facility knowledge process
Systematization of different data collected with different formats and scales of representation	*GIS to BIM* for linear infrastructure modeling
High number of elements along linear infrastructure (adduction channel, penstocks, power line	Automation processes in creating model instances using scripts with visual programming languages
Strong interaction between construction, civil, mechanical and electrical components	Accurate estimation of volumes (concrete works), lengths (adduction canal, penstocks), costs etc.
Long data restitution times	Clear representation of complexity and graphical basis of Digital Twin with possibility of different use cases

Starting from the typical twentieth-century tracing paper representation, defining H-InfraBIM digital models for hydropower plants enables a new level of accessibility to information, facilitating multidimensional scenarios and more efficient collaborative procedures.

***c.** Data viualization*

This section presents the initial findings of this study, showcasing potential tools for visualising and utilising information models of large-scale hydroelectric developments. It also explores future research directions and different applications.

The potential to obtain different visualizations and uses starting from the graphic and info power of the digital model is varied and resides in the development of methods and interactive tools to support different activities based on the user. Tools to support maintenance activities, documentation, operator training, as well as project management, sharing design choices, involving different stakeholders, in addition to the access of a virtual space oriented to the knowledge of the 360-degree infrastructure, displaying integrated data and facilitating decision making processes and sustainable territorial planning (Fig. 6).

At this stage, ensuring interoperability between modelling software and data visualization and fruition software is a crucial technical challenge. This challenge becomes even more significant with the adoption of open formats, such as IFC. The development of digital environments that are as flexible and tailored to one's goals as possible presents a major opportunity throughout the entire lifecycle of the facility [26]. The large scale of infrastructure projects results in large-scale models with complex geometries that are difficult to navigate within modelling software interfaces. For this reason, a significant opportunity in the context of BIM model exploration is the development of web-based viewers optimised for visualising large models [27, 28] and improving collaboration [12].

Due to the spatial extent of large diversions, the use of GIS in the data collection and processing phases calls for the use of web-GIS tools for consistent visualization and use of this type of data. In this sense, such platforms play a strategic role in allowing interactive geographic consultation of infrastructure assets with low-level detail representations that are easily

DATA VISUALIZATION	
Complex decision-making processes involving different disciplines and knowledge	Initiation of interdisciplinary processes for the study and enhancement of the territory from the perspective of resilience and sustainability
Visualization of geospatial data in *web-GIS* platforms	Spatial description and analysis of the surrounding environment and possibility of scalability to other facilities
Interoperability between modeling software and management platforms	Development of purpose-built management platforms with management of open formats such as *IFC*
Large models that are difficult to navigate with low viewer performance	Development of platforms web-based optimized for large model visualization and collaboration
Highly dynamic behavior subject to different variables	Integration of IoT systems and interfaces for real-time monitoring and predictive maintenance
Need for trade-off between potential productivity, capacity, cost, safety, social and environmental aspects	Data visualization for the involvement of different stakeholders in participatory processes to define shared choices
Communication of complex works, infrastructure and projects	Use of extended reality tools to create immersive and inclusive experiences
Communication and sharing of sensitive data	Development of solutions with different levels of accessibility, based on Cyber security and data protection

Tabella 2 - Sfide e opportunità riscontrate nelle diverse fasi della digitalizzazione informativa delle grandi derivazioni idroelettriche.

Tab. 2 - Challenges and opportunities encountered in the various stages of the large hydropower diversions digitalization.

Conclusioni

La rappresentazione informativa di grandi derivazioni idroelettriche si configura dunque come ulteriore proliferazione delle potenzialità della metodologia *BIM*. Le sfide riscontrate possono essere attribuibili alle due anime delle grandi derivazioni e intrinseche alle metodologie *InfraBIM* e *HBIM*: le prime devono far fronte alle difficoltà derivanti dal grande sviluppo planimetrico e altimetrico in un contesto montano con opere sotterranee, con condizioni ambientali rischiose; le altre si confrontano con un manufatto esistente da oltre cento anni, che comprova l'obsolescenza di tali opere e la scarsa e frammentata documentazione di partenza, difficilmente reperibile e di affidabilità incerta. Il riferimento a due metodologie di diversa natura rende l'integrazione di dati di tipo eterogeneo definendo attività fortemente interdisciplinari.

Il processo di digitalizzazione deve fare i conti con aspetti tecnologici, ambientali e sociali che si intrecciano in un sistema complesso di relazioni e interconnessioni multidimensionali. Infatti, il *BIM* non rappresenta un'entità o un tipo di *software*, bensì un'attività umana che implica cambiamenti processuali ampi e profondi nel settore delle costruzioni. Pertanto, le criticità riscontrate non sono imputabili esclusivamente agli strumenti tecnici e all'interoperabilità dei dati, ma proliferano in tutte le fasi del processo, dal reperimento dei dati alla loro corretta rappresentazione, comunicazione e condivisione.

Il caso studio presentato mostra come dalle difficoltà, emergono opportunità significative e diversificate. Cogliere queste opportunità rende l'attività della rappresentazione resiliente mostrando capacità di adattamento ai limiti tecnici, ambientali e sociali, trasformandoli in vantaggi.

accessible and understandable, or that can be integrated with the BIM domain [16].

Other communication aspects of complex infrastructures include integration with Extended Reality (XR) tools to improve stakeholder education and engagement [29, 30], Internet of Things (IoT) systems to facilitate monitoring [11] and decision support [31, 32], and artificial intelligence (AI) tools to facilitate data communication and predictive simulation [33].

Conclusions

The informational representation of large hydropower diversions emerges as a further development of the BIM methodology's potential. The challenges encountered can be attributed to the dual nature of large-scale hydropower projects and the inherent characteristics of the InfraBIM and HBIM methodologies. The former must address the challenges posed by extensive planimetric and altimetric development in mountainous regions with underground works and risky environmental conditions, while the latter must contend with artefacts that are over a hundred years old, demonstrating the obsolescence of such projects and the limited and fragmented source documentation, which is difficult to locate and of uncertain reliability. Referring to two different methodologies makes integrating heterogeneous types of data that define highly interdisciplinary activities more difficult.

The digitalization process must consider technological, environmental and social aspects that are intertwined in a complex system of multidimensional relationships and interconnections. In fact, BIM is not an entity or a type of software, but a human activity implying broad and profound changes to processes in the construction sector. Therefore, critical issues are not solely attributable to technical tools and data interoperability, but proliferate at all stages of the process, from data retrieval to representation, communication and sharing.

The case study presented shows how significant and diverse opportunities can emerge from difficulties. Seizing these opportunities makes the representation process more resilient, demonstrating adaptability in the face of technical, environmental and social limitations and turning them into advantages.

Bibliografia

[1] GRIEVES, M. (2014). Digital Twin: Manufacturing excellence through virtual factory replication (White paper). https://www.researchgate.net/publication/275211047

[2] BOJE, C., GUERRIERO, A., KUBICKI, S. & REZGUI, Y. (2020). Towards a semantic Construction Digital Twin: Directions for future research. Automation in Construction, 114, 103179. https://doi.org/10.1016/j.autcon.2020.103179

[3] DENG, M., MENASSA, C. C. & KAMAT, V. R. (2021). From BIM to digital twins: A systematic review of the evolution of intelligent building representations in the AEC-FM industry. JOURNAL OF INFORMATION TECHNOLOGY IN CONSTRUCTION, 26, 58–83. https://api.semanticscholar.org/CorpusID:233272863

[4] SACKS, R., EASTMAN, C., LEE, G. & TEICHOLZ, P. (2018). *BIM handbook: A guide to building information modeling for owners, designers, engineers, contractors, and facility managers*. Hoboken: John Wiley & Sons.

[5] BOJE, C., HAHN MENACHO, Á. J., MARVUGLIA, A., BENETTO, E., KUBICKI, S., SCHAUBROECK, T. & NAVARRETE GUTIÉRREZ, T. (2023). A framework using BIM and digital twins in facilitating LCSA for buildings. JOURNAL OF BUILDING ENGINEERING, 76, 107232. https://doi.org/10.1016/j.jobe.2023.107232

[6] SUCCAR, B., (2009), Building Information Modelling Framework: A Research and Delivery Foundation for Industry Stakeholders, in Automation in Construction, 18(3), 357-375. https://doi.org/10.1016/j.autcon.2008.10.003

[7] SAMIMPAY, R. & SAGHATFOROUSH, E. (2020). Benefits of Implementing Building Information Modeling (BIM) in Infrastructure Projects. JOURNAL OF ENGINEERING, PROJECT, AND PRODUCTION MANAGEMENT, 1(2), 123.

[8] UGLIOTTI, F. M., (2024), *Sostenibilità e digitalizzazione nella produzione idroelettrica. Una sfida moderna per una forma di generazione antica*, Gangemi Editore, Roma.

[9] CHEHAB CANTO PEREIRA, R., NOGUEIRA DE RESENDE, P., CÔRTES PIRES, J. R. & CUPERSCHMID, A. R. M. (2024). BIM-enabled strategies for dams and hydroelectric structures: a comprehensive analysis of applications from design to operation. ARCHITECTURAL ENGINEERING AND DESIGN MANAGEMENT, 1–22. https://doi.org/10.1080/17452007.2024.2386128

[10] WANGCHUK, J., BANIHASHEMI, S., ABBASIANJAHROMI, H. & ANTWI-AFARI, M. F. (2024). Building Information Modelling in Hydropower Infrastructures: Design, Engineering and Management Perspectives. INFRASTRUCTURES, 9(7), 98. https://doi.org/10.3390/infrastructures9070098

[11] BHATTARAI, S. S. & KISI, K. P. (2022). BIM awareness assessment among hydropower professionals in Nepal. In PROCEEDINGS OF THE 9TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON CONSTRUCTION ENGINEERING AND PROJECT MANAGEMENT (Las Vegas, NY, USA, 20–23 June 2022).

[12] PAPADAKIS, N., BOULOUKAKIS, G. & MAGOUTIS, K. (2025). Enabling IoT-enhanced data models for context-aware hydropower plants. In PROCEEDINGS OF THE ASSOCIATION FOR COMPUTING MACHINERY, 108-116. Association for Computing Machinery. https://doi.org/10.1145/3703790.3703803

[13] ZHANG, S., PAN, F., WANG, C., SUN, Y. & WANG, H. (2017). BIM-based collaboration platform for the management of EPC projects in hydropower engineering. Journal of Construction Engineering and Management, 143(12), 04017087. https://doi.org/10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0001403

[14] RODOLFO CÔRTES PIRES, J., SERGIO FRANCO BARBOSA, P., NOGUEIRA RESENDE, P. & REGINA MIZRAHY CUPERSCHMID, A. (2024). Design and Operation of Hydropower Plants with BIM Digital Technologies. INTECHOPEN. https://doi.org/10.5772/intechopen.1005774

[15] HASAN, H., NAIMI, S. & HAMEED, M.M. (2023). A comprehensive analysis of BIM technology's critical role in assessing cost for complex dam construction projects. MATHEMATICAL MODELLING OF ENGINEERING PROBLEMS, 10(3) 767-773. https://doi.org/10.18280/mmep.100305

[16] ZHAO, S., KANG, F., LI, J. & GONG, J. (2025). Advanced registration method of UAV photogrammetry point clouds with BIM for 3D localization in concrete dams. ADVANCED ENGINEERING INFORMATICS, 64, 102978. https://doi.org/10.1016/j.aei.2024.102978

[17] ZHANG, S., HOU, D., WANG, C., PAN, F. & YAN, L., (2020). Integrating and managing BIM in 3D web-based GIS for hydraulic and hydropower engineering projects, Automation in Construction, 112. https://doi.org/10.1016/j.autcon.2020.103114

[18] LI, Z., XIE, G., TIAN, J. & HUANG, C. (2024). Research and application of BIM-based digital seepage control technology for large hydropower project. In PROCEEDINGS OF THE ASSOCIATION FOR COMPUTING MACHINERY. ASSOCIATION FOR COMPUTING MACHINERY. https://doi.org/10.1145/3690407.3690417

[19] KUMAR, K. & SAINI, R. P. (2022). A review on operation and maintenance of hydropower plants. SUSTAINABLE ENERGY TECHNOLOGIES AND ASSESSMENTS, 49, 101704. https://doi.org/10.1016/j.seta.2021.101704

[20] https://www.faroclub.com/concessioni-idroelettriche-e-prezzo-dellenergia-in-italia-faro-club/ (ultima consultazione 05-2023)

[21] ZHANG, Y., ZHONG, D., WU, B., GUAN, T., YUE, P. & WU, H. (2018). 3D parametric modeling of complex geological structures for geotechnical engineering of dam foundation based on T-splines. COMPUTER-AIDED CIVIL AND INFRASTRUCTURE ENGINEERING, 33(7), 545–570. https://doi.org/10.1111/mice.12343

[22] MARTÍNEZ-CARRICONDO, P., CARVAJAL-RAMÍREZ, F., YERO-PANEQUE, L. & others. (2021). Combination of HBIM and UAV photogrammetry for modelling and documentation of forgotten heritage: Case study: Isabel II dam in Níjar (Almería, Spain). HERITAGE SCIENCE, 9, 95. https://doi.org/10.1186/s40494-021-00571-8

[23] MURPHY, M., MCGOVERN, E. & PAVIA, S. (2009), Historic building information modelling (HBIM), STRUCTURAL SURVEY, 27(4), 311-327. https://doi.org/10.1108/02630800910985108

[24] OSELLO, A., FONSATI, A., SEMERARO, F. & RAPETTI, N., (2019), *InfraBIM: Il BIM per le infrastrutture*, Cangemi Editore, Roma.

[25] VENTURA, G. M., UGLIOTTI, F. M. & OSELLO, A. (2023). Geospatial Data and Visual Programming for BIM-GIS Modeling and Management of Hydropower Infrastructure. In DIENNE, 13, 13-24.

[26] ZHANG, S., ZHANG, S., WANG, C., ZHU, G., LIU, H. & WANG, X. (2024). Extended IFC-based information exchange for construction management of roller-compacted concrete dam. AUTOMATION IN CONSTRUCTION, 163, 105427. https://doi.org/10.1016/j.autcon.2024.105427

[27] ZHANG, Z., ZHANG, S., ZHAO, Z., YAN, L., WANG, C. & LIU, H. (2023). HydroBIM—Digital design, intelligent construction, and smart operation. JOURNAL OF INTELLIGENT CONSTRUCTION, 1(2), 1–14. https://doi.org/10.26599/JIC.2023.9180014

[28] ZHANG, S. & JIANG, P. (2021). Implementation of BIM + WebGIS based on extended IFC and batched 3D tiles data: An application in RCC gravity dam for republication of design change model. KSCE JOURNAL OF CIVIL ENGINEERING, 25, 4045–4064. https://doi.org/10.1007/s12205-021-0115-9

[29] LI, J. (2021). Application of software simulation in guiding reform of engineering project with VR tools. In 2021 FIFTH INTERNATIONAL CONFERENCE ON I-SMAC (IoT in Social, Mobile, Analytics and Cloud) (I-SMAC), 606–609. IEEE. https://doi.org/10.1109/I-SMAC52330.2021.9640666

[30] SAMUEL, J. I., SALEM, O. & HE, S. (2022). Defect-oriented supportive bridge inspection system featuring building information modeling and augmented reality. INNOVATIVE INFRASTRUCTURE SOLUTIONS, 7, 247. https://doi.org/10.1007/s41062-022-00847-3

[31] LIU, H., SU, H. & LI, H. (2024). Study on digital twin technologies for watershed information modeling (WIM): A systematic literature review and bibliometric analysis. ARCHIVES OF COMPUTATIONAL METHODS IN ENGINEERINg, 31, 263–289. https://doi.org/10.1007/s11831-023-09977-y

[32] SHILAN, L. (2020). Analysis and improvement strategy of construction engineering management based on BIM and cloud computing platform. In 2020 12TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON MEASURING TECHNOLOGY AND MECHATRONICS AUTOMATION (ICMTMA), 181–185. IEEE. https://doi.org/10.1109/ICMTMA50254.2020.00048

[33] ZHANG, Z., ZHANG, S., ZHAO, Z., YAN, L., WANG, C. & LIU, H. (2023). HydroBIM—Digital design, intelligent construction, and smart operation. JOURNAL OF INTELLIGENT CONSTRUCTION, 1(2), 1–14. https://doi.org/10.26599/JIC.2023.9180014