

Emanuele Piaia¹, <https://orcid.org/0000-0002-8911-7410>

Roberto Di Giulio¹, <https://orcid.org/0000-0002-8569-1271>

Marco Medici², <https://orcid.org/0000-0002-9643-4721>

¹ Dipartimento di Architettura, Università degli Studi di Ferrara, Italia

² INCEPTION spin-off, Ferrara, Italia

emanuele.piaia@unife.it

roberto.digiulio@unife.it

marco.medici@unife.it

Abstract. Il contributo analizza l'esperienza dello *spin-off* universitario INCEPTION, attivo dal 2020 nel campo della digitalizzazione del patrimonio culturale. Obiettivo dell'articolo è indagare modalità e impatti del trasferimento tecnologico a partire da un'esperienza imprenditoriale accademica. Lo studio documenta l'adozione di tecnologie semantiche e piattaforme interoperabili, evidenziando ricadute ambientali, economiche e socioculturali. I risultati, basati su casi studio, confermano la capacità del modello di generare valore nel contesto della Terza Missione, attraverso co-produzione di conoscenza, formazione e sviluppo di servizi innovativi per la gestione sostenibile del patrimonio.

Parole chiave: Digitalizzazione; Modellazione 3D; Patrimonio culturale; *Spin-off*; Trasferimento tecnologico.

Introduzione

La transizione digitale, al pari di quella ecologica, è oggi una

delle sfide strutturali più urgenti dell'Unione Europea (UE).

In questo contesto, il settore del patrimonio culturale riveste un ruolo strategico, non solo come ambito di applicazione delle tecnologie digitali, ma anche e soprattutto, come terreno di sperimentazione per modelli innovativi di accesso, conservazione e valorizzazione dei beni.

Gli obiettivi perseguibili sono molteplici: la conservazione preventiva dei beni esposti a rischi naturali e antropici; il potenziamento dell'inclusione e dell'accessibilità per un pubblico globale; l'esplorazione di nuove modalità di fruizione dei beni mediante strumenti digitali interattivi e immersivi; la creazione di spazi comuni e interoperabili per facilitare la collaborazione e la condivisione delle risorse digitali.

La recente pandemia e i continui devastanti impatti del cam-

biamento climatico sui nostri più importanti siti storici hanno spinto la Commissione Europea (CE) a presentare delle raccomandazioni verso l'obiettivo di costruire un ecosistema digitale condiviso, interoperabile e sicuro: il *common European data space for Cultural Heritage*. Esso rappresenta un importante passaggio volto a realizzare una infrastruttura digitale federata che ambisce a rafforzare l'identità culturale europea, favorendo innovazione e sostenibilità nonché promuovendo un uso etico e condiviso dei dati culturali. Le raccomandazioni lanciate a novembre del 2021 dalla CE stessa, presentano il ruolo strategico di questo innovativo ecosistema digitale evidenziando l'importanza della creazione di *digital twin* per monumenti e siti nonché promuovendo l'adozione dei principi FAIR (*Findable, Assessible, Interoperable, Reusable*) per garantire l'accessibilità e il riutilizzo dei dati digitali.

Il documento di raccomandazione stabilisce, inoltre, un ambizioso obiettivo da raggiungere entro il 2030, ovvero, la digitalizzazione in ambiente 3D di tutti i monumenti e i siti considerati a rischio in Europa, nonché del 50% di quelli più visitati. Questo traguardo interesserà circa 16 milioni di beni culturali, con un obiettivo intermedio di 2,4 milioni di beni digitalizzati entro il 2025.

La modellazione 3D: opportunità e criticità

La modellazione 3D dei beni culturali rappresenta uno degli ambiti più innovativi e, allo stesso tempo, complessi da gestire. Nonostante gli obiettivi prefissati, il processo di transizione sta riscontrando diverse criticità.

University technology transfer in the field of digital transition of cultural heritage

Abstract. The paper explores the experience of the university spin-off INCEPTION, active since 2020 in the field of cultural heritage digitisation. The aim of the contribution is to investigate the modalities and impacts of technology transfer from an academic entrepreneurial experience. The study documents the adoption of semantic technologies and interoperable platforms, highlighting environmental, economic, and socio-cultural impacts. The results, based on case studies, confirm the model's ability to generate value in the context of the Third Mission through the co-production of knowledge, training, and the development of innovative services for the sustainable management of heritage.

Keywords: Digitisation; 3D modelling; Cultural Heritage; Spin-offs; Technology transfer.

Introduction

The digital transition, as the ecological one, is currently among the most pressing structural challenges faced by the European Union (EU).

Within this framework, the Cultural Heritage sector assumes a strategic role, not only as a domain for the application of digital technologies but, more importantly, as a testing ground for innovative models of access, conservation, and value enhancement of heritage assets. Multiple objectives are being pursued: preventive conservation of assets exposed to natural and anthropogenic risks; enhanced inclusion and accessibility for global audiences; the exploration of novel modalities for experiencing heritage through interactive and immersive digital tools; and the creation of common, interoperable digital spaces to support collaboration and the sharing of resources.

The recent pandemic, alongside the ongoing and severe impacts of climate change on Europe's most significant historical sites, has prompted the European Commission (EC) to issue a set of recommendations aimed at fostering the development of a shared, secure, and interoperable digital ecosystem, namely the Common European Data Space for Cultural Heritage. This initiative marks a critical step toward the creation of a federated digital infrastructure designed to reinforce European cultural identity, promote innovation and sustainability, and encourage the ethical and shared use of cultural data.

The recommendations, released by the EC in November 2021, emphasise the strategic relevance of this digital ecosystem, notably through the promotion of digital twins for cultural sites and the adoption of the FAIR principles.

Se da un lato persistono ancora oggi carenze strutturali, dall'altro emerge una mancanza di competenze tecniche specifiche che limita l'adozione di tecnologie innovative per la digitalizzazione 3D e che ha portato a creare modelli non congrui agli standard e alle caratteristiche attese, in relazione a quanto definito nel rapporto VIGIE 2020/654.

Questo rapporto, pubblicato ad aprile del 2022, sottolinea l'importanza di definire parametri di qualità chiari per garantire che i modelli 3D prodotti siano effettivamente utili alle loro finalità. In tal senso, la modellazione 3D non può ridursi alla sola accuratezza geometrica, ma deve includere precisione, completezza, coerenza semantica e adeguatezza all'uso previsto.

Tra gli elementi centrali affrontati vi sono la definizione di parametri di mappatura per garantire una rappresentazione fedele degli oggetti culturali, l'adozione di standard e formati interoperabili per favorire la condivisione e il riutilizzo dei dati, lo sviluppo di linee guida metodologiche per l'intero processo di acquisizione e gestione dei dati, e il ruolo delle tecnologie emergenti, in particolare l'intelligenza artificiale, per migliorare qualità, accessibilità e fruibilità dei modelli digitali.

Ad oggi, la campagna europea di digitalizzazione ha riguardato prevalentemente, e in misura ancora limitata rispetto agli obiettivi previsti, i beni mobili. Al contrario, la modellazione 3D dei beni immobili è rimasta significativamente limitata.

Secondo la CE, *Europeana*, cuore digitale del patrimonio culturale europeo, offre oggi accesso a 57 milioni di beni, di cui però solo 0,01% è disponibile in formato 3D.

In ambito nazionale, le stesse *Linee guida per la digitalizzazione 3D dei beni storico-artistici e museali*, si è concentrata su oggetti, rimandando indicazioni pratiche per i beni a scala architetto-

nica e territoriale a future integrazioni specifiche, alcune delle quali sono attualmente in corso grazie ad una campagna di consultazioni avviata dalla *Digital Library* del Ministero della Cultura (MIC) all'interno del Piano Nazionale di Digitalizzazione del Patrimonio Culturale (PND) 2022-2023.

Il superamento delle criticità attualmente riscontrate e la realizzazione di una transizione digitale efficace e sostenibile, nel settore del patrimonio culturale, richiede l'adozione di un approccio sistemico e integrato. Questo approccio deve promuovere una cooperazione strutturata tra le istituzioni culturali, sostenere in modo continuativo lo sviluppo delle competenze del personale e rafforzare le infrastrutture tecnologiche a supporto dei processi.

Dalla ricerca al mercato: INCEPTION *spin-off*

In questo scenario, di trasformazione e transizione, si colloca l'operatività dello *spin-off*

INCEPTION, una start-up innovativa costituita nel 2020 e incubata oggi presso l'Università di Ferrara.

Come altre realtà nazionali, INCEPTION rappresenta i potenziali sviluppi del modello evolutivo delle università italiane, le quali stanno, progressivamente passando da enti dedicati esclusivamente alla formazione e alla ricerca a protagonisti attivi del cambiamento socioeconomico e culturale.

Il paradigma della Terza Missione, infatti, invita oggi le istituzioni accademiche a impegnarsi nel trasferimento di conoscenze e tecnologie verso il tessuto produttivo e la società (Fronzizi, 2020). Soprattutto negli ambiti legati alla *Twin Transition*.

Lo *spin-off* nasce come evoluzione naturale dell'omonimo progetto di ricerca europeo (INCEPTION *Inclusive Cultural*

ples (Findable, Accessible, Interoperable, Reusable) to ensure data accessibility and reusability.

The document also sets an ambitious target for 2030, precisely 3D digitisation of all at-risk monuments and sites across Europe, along with 50% of the most frequently visited ones. This initiative is expected to involve the digitisation of approximately 16 million cultural assets, with an interim milestone of 2.4 million assets to be digitised by 2025.

3D Modelling: opportunities and challenges

The 3D modelling of Cultural Heritage represents one of the most innovative yet complex ambitions within the digital transition process. Despite the objectives set at European and national levels, several critical issues continue to hinder its effective implementation.

On the one hand, structural deficiencies persist; on the other, a lack of specialised technical skills limits the adoption of innovative technologies for 3D digitisation. This has often led to the production of models that do not conform to expected standards and requirements, as highlighted in the VIGIE 2020/654 report.

Published in April 2022, this report underscores the importance of establishing clear quality parameters to ensure that 3D models are truly fit for purpose. In this regard, 3D modelling must go beyond geometric accuracy alone and also encompass precision, completeness, semantic coherence, and appropriateness for the intended use.

Key issues addressed include the definition of mapping parameters to ensure faithful representation of cultural objects; the adoption of interoperable standards and formats to facilitate data

sharing and reuse; the development of methodological guidelines covering the entire data acquisition and management process; and the role of emerging technologies, particularly artificial intelligence, in enhancing the quality, accessibility, and usability of digital models.

To date, the European digitisation campaign has primarily focused on movable heritage assets and even this only to a limited extent in relation to the targets defined. In contrast, the 3D modelling of immovable heritage remains significantly underdeveloped. According to the European Commission, *Europeana*, the digital hub of European Cultural Heritage, currently provides access to over 57 million items, yet only 0.01% are available in 3D formats.

At the national level, the Guidelines for the 3D Digitisation of Historical-Artis-

tic and Museum Heritage have focused mainly on individual objects. Practical indications for the digitisation of architectural and territorial-scale assets have been deferred to future updates, some of which are currently under development through a consultation campaign launched by the Digital Library of the Italian Ministry of Culture (MiC), within the framework of the National Plan for the Digitisation of Cultural Heritage (PND) 2022-2023. Overcoming the current limitations and achieving an effective and sustainable digital transition in the cultural heritage sector requires a systemic and integrated approach. This approach should promote structured cooperation among cultural institutions, ensure continuous capacity-building of professional staff, and strengthen the technological infrastructures that support digitisation processes.

Heritage in Europe through 3D semantic modelling) finanziata nell'ambito del programma HORIZON 2020 che ambiva a sviluppare tecnologie semantiche tridimensionali per la documentazione e valorizzazione del patrimonio culturale. La forte vocazione applicativa del progetto, concluso nel 2019, ha stimolato la costituzione di un soggetto giuridico autonomo, in grado di tradurre i risultati della ricerca in prodotti e servizi orientati al mercato, promuovendo un modello di imprenditorialità accademica.

Allo scopo di contribuire al superamento delle principali criticità che ancora ostacolano un efficace processo di digitalizzazione e modellazione 3D del patrimonio culturale, INCEPTION propone un modello imprenditoriale che si fonda su una logica di co-sviluppo tecnologico e servizio avanzato.

Il modello di business si basa sulla fornitura di servizi di rilievo 3D, sviluppo di modelli H-BIM semantici, gestione di piattaforma di accesso ai dati culturali, nonché su attività di consulenza, formazione e *capacity building* rivolte alle principali istituzioni culturali, ai gestori di grandi patrimoni storici e ad altri partner europei attivi nel settore della ricerca.

Il trasferimento delle conoscenze nel processo di accelerazione della transizione

a livello sociale, culturale e di mercato.

Il passaggio di competenze contribuisce ad alimentare la domanda di professionalità qualificate e specializzate favorendo al contempo nuove opportunità di business e modelli di servizio.

Il trasferimento di *know-how*, in un settore strategico come quella della digitalizzazione del patrimonio culturale, può generare un impatto significativo

From research to market: the INCEPTION Spin-off

Within the current context of transformation and transition, the activities of the INCEPTION spin-off take on particular significance. Founded in 2020 as an innovative start-up, INCEPTION is currently incubated at the University of Ferrara.

Like other national initiatives, INCEPTION exemplifies the evolving model of Italian universities, which are progressively shifting from institutions focused solely on education and research to active agents of socioeconomic and cultural change. In this framework, the "Third Mission" paradigm calls upon academic institutions to engage in the transfer of knowledge and technologies to the productive sector and society at large (Fronzoni, 2020), particularly in domains associated with the Twin Transition.

The spin-off emerged as a natural evolution of the namesake European research project (INCEPTION: Inclusive Cultural Heritage in Europe through 3D Semantic Modelling) funded under the Horizon 2020 programme. The project aimed to develop 3D semantic technologies for the documentation and enhancement of cultural heritage. The strong application-oriented nature of the project, which concluded in 2019, encouraged the establishment of an independent legal entity capable of translating research outcomes into market-oriented products and services, thereby promoting a model of academic entrepreneurship.

With the goal of addressing the main challenges that still hinder an effective process of Cultural Heritage digitisation and 3D modelling, INCEPTION adopts a business model based on

Inoltre, condividere le conoscenze significa rendere disponibili le tecnologie e le metodologie innovative anche a istituzioni minori o a Paesi meno digitalizzati contribuendo a una fruizione più inclusiva.

In tale contesto, rilevante è stato il contributo di INCEPTION, nell'ambito della campagna europea "Twin it! 3D for Europe's culture", lanciata il 21 giugno 2023. L'iniziativa ha coinvolto tutti gli Stati membri dell'UE nella digitalizzazione 3D del patrimonio culturale, con l'obiettivo che ciascun Paese contribuisse con almeno un bene digitalizzato allo Spazio europeo comune dei dati per il patrimonio.

Nell'ambito della stessa campagna, un ruolo rilevante è stato assunto anche dalle attività di trasferimento di conoscenze.

La Fondazione Europea, la Commissione Europea e INCEPTION stesso, in qualità di coordinatore scientifico del progetto di ricerca Horizon Europe 4CH (*Competence Centre for the Conservation of Cultural Heritage*) hanno organizzato cinque webinar volti a supportare, i professionisti del settore culturale, nei processi di digitalizzazione 3D. I *webinar* hanno affrontato l'intero ciclo operativo per la modellazione 3D: dalle tecniche di acquisizione dati, alle strategie di conservazione, modellazione e visualizzazione dei modelli. Questo approccio ha consentito ai partecipanti di acquisire competenze pratiche nel rilievo, nella modellazione e gestione dei dati 3D, contribuendo in modo significativo alla formazione e all'aggiornamento dei professionisti del settore.

Questo aspetto di avanzamento e diffusione culturale è importante in quanto, ancora oggi, numerose istituzioni non dispongono di personale con le competenze tecniche necessarie per avviare o sviluppare un processo di modellazione 3D. Per tale

technological co-development and the delivery of advanced services.

Its core activities include 3D surveying services, the development of semantic H-BIM models, and the management of platforms for accessing cultural data. In addition, the company offers consulting, training, and capacity-building services tailored to key cultural institutions, large heritage asset managers, and European research stakeholders.

Knowledge transfer and acceleration of the transition process

The transfer of know-how in a strategic domain such as the digitalisation of Cultural Heritage can generate significant social, cultural, and market impacts.

Skills transfer not only stimulates demand for qualified and specialised professionals but also fosters the emer-

gence of new business opportunities and service models. Furthermore, knowledge sharing helps make advanced technologies and innovative methodologies accessible to smaller institutions or countries with lower levels of digitalisation, thereby promoting more inclusive access to Cultural Heritage.

Within this framework, the contribution of INCEPTION has been particularly relevant in the context of the European campaign "Twin it! 3D for Europe's Culture", launched on 21 June 2023. The initiative engaged all EU Member States in the 3D digitisation of Cultural Heritage, with the aim that each country would contribute at least one digitised asset to the European Common Data Space for Cultural Heritage. Knowledge transfer activities played a crucial role within the same campaign. The European Foundation, the European Commis-

ragione, in continuità con i webinar *Twin IT!* e in risposta alle richieste della CE e del MIC, INCEPTION prosegue la propria attività di trasferimento di *know-how*, attraverso iniziative di training, integrate in nuovi progetti di ricerca europei a cui partecipa come coordinatore o partner, tra cui:

- DIGITAL_3D-4CH (*Online competence centre in 3D for Cultural Heritage*);
- DIGITAL_X-Culture (*eXplore & Reuse 3D cultural heritage within the Data*);
- DIGITAL_3DBigDataSpace (*3D Big Data for the Data Space for Cultural Heritage*);
- HORIZON_ARTEMIS (*Applying Reactive Twins to Enhance Monument Information Systems*).

In particolare, il progetto 3D-4CH, coordinato dallo *spin-off*, mira a istituire un Centro di Competenza online europeo volto a supportare le istituzioni culturali nello sfruttamento delle potenzialità offerte dalle tecnologie 3D e da altri strumenti digitali avanzati.

Tale iniziativa intende contribuire all'attuazione della Raccomandazione della Commissione Europea del 2021, nonché al raggiungimento degli obiettivi prefissati per la modellazione 3D del patrimonio culturale europeo.

Il centro di competenza 3D-4CH ambisce a fornire ai professionisti del settore culturale un accesso qualificato a conoscenze, buone pratiche, linee guida e percorsi formativi accreditati su strumenti digitali già consolidati e/o sui più recenti sviluppi tecnologici e scientifici.

Allo stesso tempo, il centro offrirà a ricercatori, educatori e imprese un ambiente collaborativo per condividere esperienze, promuovere attività di formazione e sostenere percorsi di

apprendimento continuo, contribuendo alla costruzione di un ecosistema europeo dinamico e interconnesso nel campo del patrimonio culturale.

Tecnologie integrate per la transizione digitale nel settore dei beni culturali

INCEPTION ha sviluppato una suite di tecnologie integrate che mette a servizio di enti pubblici e privati per la modellazione 3D.

Alla base delle attività vi sono strumenti per il rilievo tridimensionale, modelli BIM interoperabili, *web* semantico per l'arricchimento dei dati, interfacce AR/VR per la fruizione immersiva. Le soluzioni sono basate su standard aperti, garantendo compatibilità e riuso. Queste tecnologie sono complementari le une con le altre e mirano a creare modelli che possono essere condivisi e/o caricati nella piattaforma web semantica sviluppata dallo *spin-off* stesso.

La piattaforma (Fig. 1) è costruita a standard aperto consentendo l'accesso, l'elaborazione e la condivisione di modelli digitali interoperabili derivanti dall'acquisizione di dati 3D e dalla documentazione olistica (Iadanza *et al.*, 2019). Essa rappresenta uno strumento unico per raccogliere, connettere e arricchire modelli 3D di siti e edifici del patrimonio, offrendo nuove opportunità di ricerca e applicazioni diversificate.

Dal punto di vista procedurale e operativo, considerata l'unicità di ogni edificio storico, è evidente che non possa esistere una procedura standard universalmente applicabile per l'acquisizione dati e modellazione tridimensionale. Tuttavia, lo *spin-off*, sin dalla sua prima fase operativa, ha strutturato uno specifico

A partire dai risultati della ricerca che ha portato alla costituzione dello *spin-off* e dalle successive attività, INCEPTION

sion, and INCEPTION, acting as Scientific Coordinator of the Horizon Europe project 4CH – Competence Centre for the Conservation of Cultural Heritage, organised five webinars designed to support Cultural Heritage professionals in 3D digitisation processes. These webinars addressed the full operational cycle of 3D modelling, from data acquisition techniques to strategies for conservation, modelling, and visualisation. This initiative enabled participants to acquire hands-on skills in surveying, modelling, and managing 3D data, contributing significantly to the training and upskilling of professionals in the sector. This advancement in cultural dissemination remains vital, as many institutions still lack the technical expertise necessary to either initiate or sustain 3D modelling processes. In response to this need and in continuity with the Twin it! Webinars, and following the

requests of the European Commission and the Italian Ministry of Culture (MIC), INCEPTION continues its know-how transfer efforts through training activities embedded in new European research projects in which it is involved as coordinator or partner. These include:

- DIGITAL_3D-4CH (Online Competence Centre in 3D for Cultural Heritage);
- DIGITAL_X-Culture (eXplore & Reuse 3D Cultural Heritage within the Data);
- DIGITAL_3DBigDataSpace (3D Big Data for the Data Space for Cultural Heritage);
- HORIZON_ARTEMIS (Applying Reactive Twins to Enhance Monument Information Systems).

In particular, the 3D-4CH project, coordinated by INCEPTION, aims to establish a European online Com-

petence Centre to support cultural institutions in exploiting the full potential of 3D technologies and other advanced digital tools.

This initiative is designed to contribute to the implementation of the 2021 European Commission Recommendation, and to help achieve the targets set for the 3D digitisation of Europe's Cultural Heritage.

The 3D-4CH Competence Centre aims to provide Cultural Heritage professionals with high quality access to knowledge, best practices, guidelines, and accredited training pathways related to both consolidated and emerging digital technologies. At the same time, the Centre will offer researchers, educators, and businesses a collaborative environment for sharing experiences, promoting training activities, and supporting lifelong learning, thereby contributing to the development of a

dynamic and interconnected European ecosystem in the field of Cultural Heritage.

Integrated technologies for the digital transition in the Cultural Heritage sector

Building upon the research results that led to the establishment of the INCEPTION *spin-off* and the subsequent activities carried out, INCEPTION has developed a suite of integrated technologies made available to both public and private entities for 3D modelling purposes.

The foundation of these activities includes tools for three-dimensional surveying, interoperable BIM models, semantic Web solutions for data enrichment, and AR/VR interfaces for immersive interaction. All solutions are based on open standards, ensuring compatibility and reusability. These

Protocollo di Acquisizione Dati (DAP) che è applicato in tutti i casi studio.

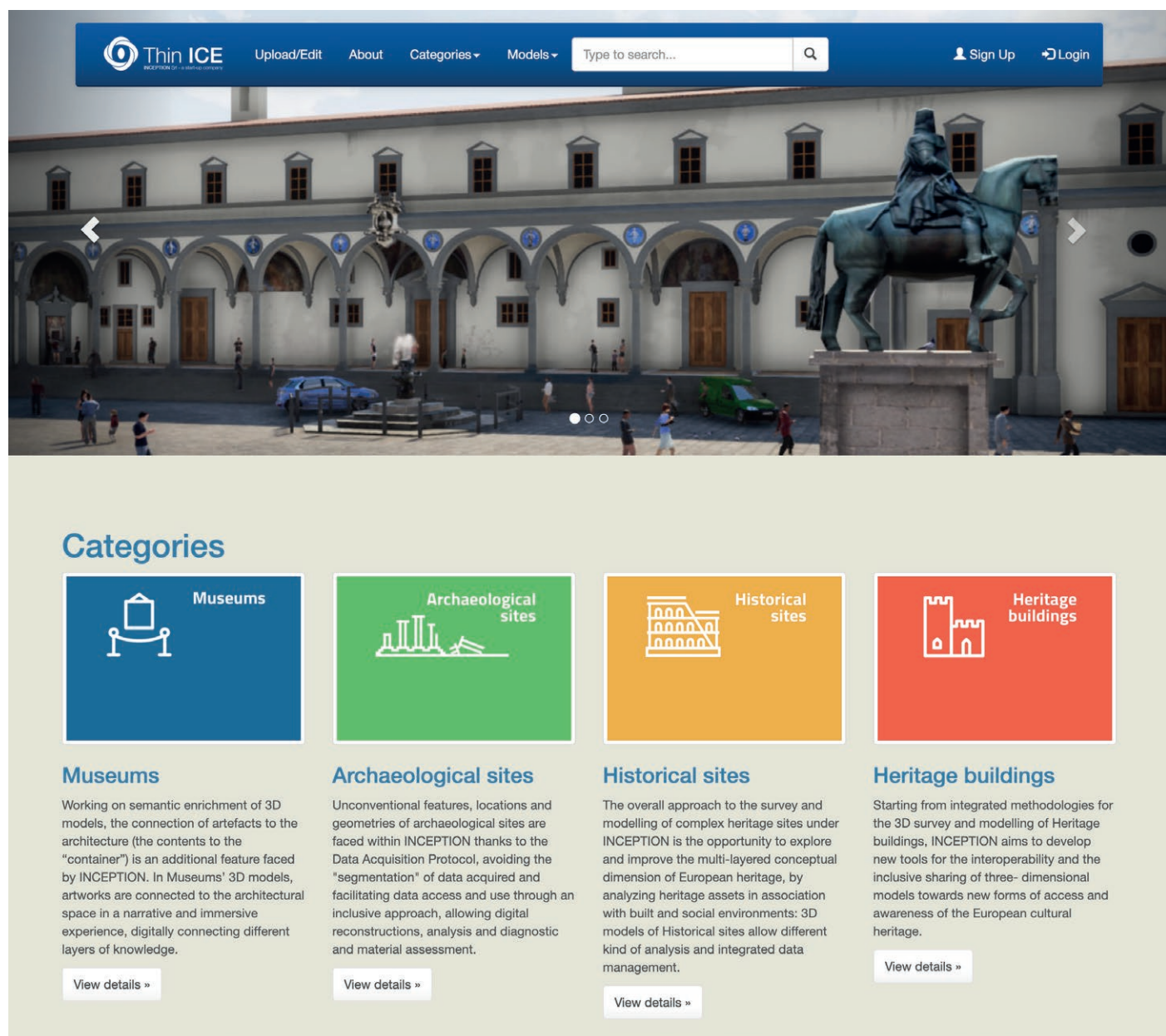
Il DAP è concepito con l'obiettivo di gestire le attività di acquisizione tridimensionale, valutare la qualità complessiva dei dati raccolti e la loro riusabilità per le diverse finalità applicative consentendo di standardizzare l'approccio metodologico e guidare, in modo coerente, le scelte operative (Di Giulio *et al.*, 2017).

Lo Spedale degli Innocenti: un caso applicativo

Grazie alle tecnologie adottate e sviluppate nel corso degli anni, lo *spin-off* ha realizzato numerose esperienze significative volte a favorire il processo di modellazione tridimensionale del patrimonio culturale europeo.

Di particolare rilievo, ed esempio significativo delle procedure e metodologie adottate, è stata la collaborazione con l'Istituto de-

Grazie alle tecnologie adottate e sviluppate nel corso degli anni, lo *spin-off* ha realizzato numerose esperienze significative



gli Innocenti, che ha portato alla modellazione tridimensionale di uno straordinario esempio di architettura rinascimentale italiana del XV secolo progettata dal Brunelleschi: lo Spedale degli Innocenti (Fig. 2).

A partire da obiettivi specifici concordati con l'Ente gestore, INCEPTION ha sviluppato un modello tridimensionale concepito per rispondere a esigenze diversificate: turistiche, gestionali e conservative.

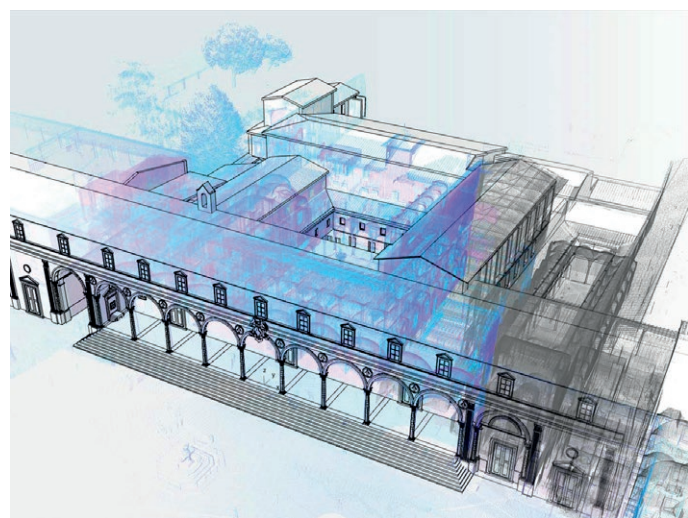
Il modello ha offerto all'Istituto nuovi approcci nello studio, nella documentazione, nella conservazione, nella gestione e nella comunicazione dell'architettura e dei suoi contenuti, a partire dalla conoscenza metrica fornita dal rilievo laser scanner 3D.

Partendo dalla nuvola di punti, è stato prodotto un modello tridimensionale in ambiente BIM, utilizzando tecnologie che rendono l'edificio interattivo e capace di integrare informazioni aggiuntive. Tra queste, la cosiddetta "macchina del tempo" che consente di poter vedere l'edificio nelle sue diverse fasi storiche, rispondendo così a prospettive differenziate in funzione dei destinatari.

L'intera campagna di acquisizione dati è stata orientata alla realizzazione di un modello tridimensionale utile alla produzione di visualizzazioni multimediali e applicazioni interattive per valorizzare, secondo le esigenze dell'Ente, il nuovo museo e offrire modalità innovative di esplorazione del patrimonio artistico e architettonico.

Successivamente è stato prodotto un modello tridimensionale semantico basato sui dati di rilievo e geometrie parametrizzate, integrate con informazioni storiche e documentali (Fig. 3).

Attraverso l'approccio H-BIM, sono stati poi associati attributi



semantici ai modelli tridimensionali per supportare la gestione evolutiva dell'edificio, l'analisi storica e nuove forme di accessibilità museale.

Il lavoro ha permesso di strutturare un sistema informativo ricco e interoperabile, in grado di offrire nuove modalità di fruizione e valorizzazione del patrimonio culturale.

Infine, la piattaforma ha permesso di aggregare i risultati del processo di documentazione olistica e di arricchire il modello tridimensionale con metadati, informazioni storiche e contenuti multimediali. Nel caso specifico di Firenze gli allegati sono stati organizzati attorno a tre modelli principali:

1. "Modello generale", per la descrizione della facciata e della storia dell'edificio;
2. "Modello storico", per la datazione degli elementi e la costruzione della "macchina del tempo";
3. "Modello ludico", finalizzato alla creazione di ambienti immersivi tramite risorse aggiuntive, come i modelli 3D del contesto urbano (Maietti *et al.*, 2017).

technologies are complementary and designed to create models that can be shared and/or uploaded to the semantic Web platform developed by the spin-off itself.

The platform (Fig. 1) is built on open standards and enables access to, processing, and sharing of interoperable digital models derived from 3D data acquisition and holistic documentation (Iadanza *et al.*, 2019). It constitutes a unique tool for collecting, connecting, and enriching 3D models of Cultural Heritage sites and buildings, opening new opportunities for research and diversified applications. From a procedural and operational standpoint, considering the uniqueness of each historical building, it is evident that a single universally applicable standard procedure for data acquisition and 3D modelling cannot exist. Nevertheless, since the early

phases of its operation, the spin-off has developed a specific Data Acquisition Protocol (DAP) applied consistently across all case studies.

The DAP is designed to manage 3D data acquisition activities, assess the overall quality of the data collected, and evaluate their reusability for various application purposes. It enables the standardisation of the methodological approach and supports coherent decision-making throughout the operational workflow (Di Giulio *et al.*, 2017).

Applied Experience: the case of the Istituto degli Innocenti

Thanks to the technologies developed and adopted over the years, the INCEPTION spin-off has carried out numerous impactful projects aimed at supporting the 3D modelling process of European Cultural Heritage.

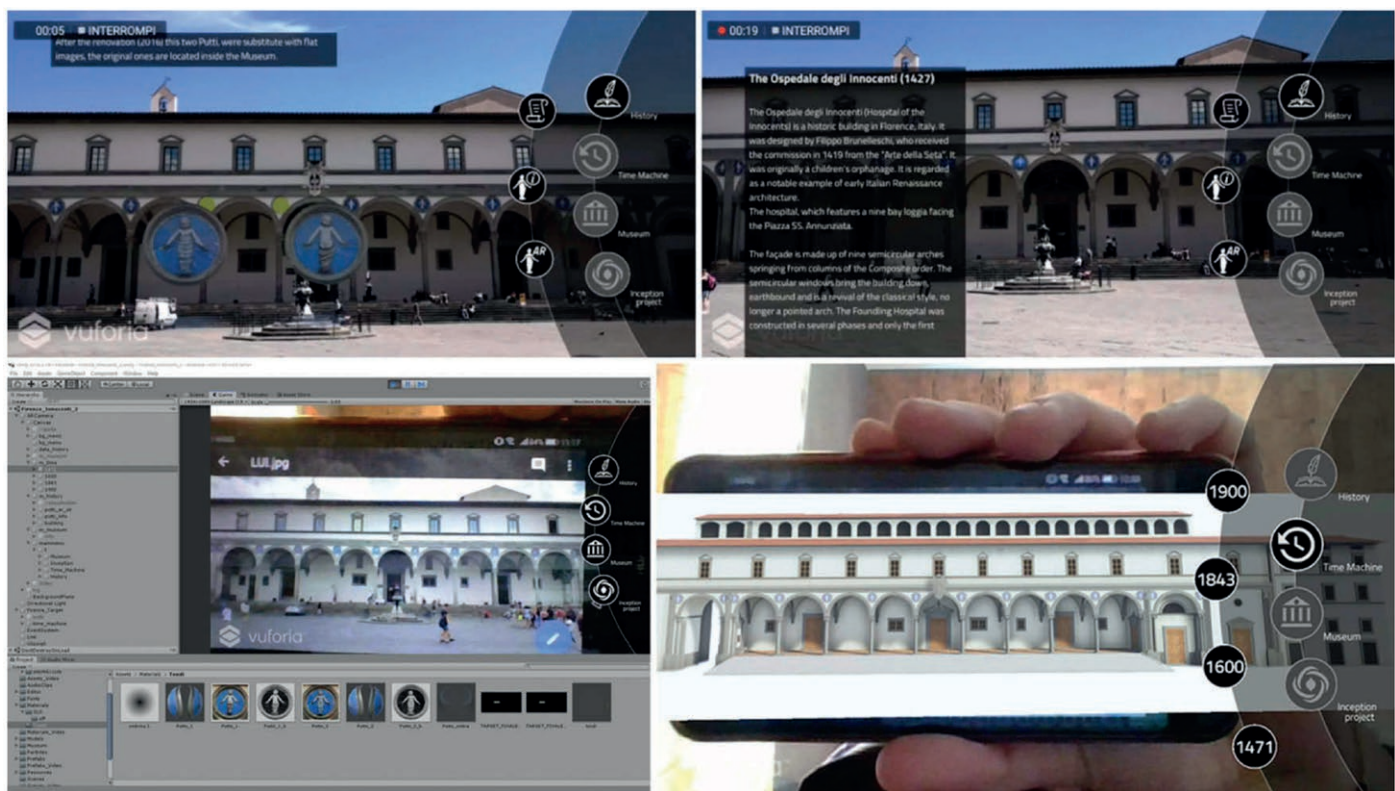
Among these, a particularly significant example – both methodologically and procedurally – was the collaboration with the *Istituto degli Innocenti* in Florence, which led to the 3D modelling of an outstanding example of 15th century Italian Renaissance architecture designed by Brunelleschi: the *Spedale degli Innocenti* (Fig. 2).

Based on specific objectives agreed with the managing institution, INCEPTION developed a 3D model designed to meet a range of needs, precisely tourism, management, and conservation. The model offered the Institute new approaches for the study, documentation, conservation, management, and communication of the architecture and its contents, starting from accurate metric knowledge obtained through 3D laser scanning. From the point cloud, a 3D Building Information Model (BIM) was cre-

ated using technologies that made the building interactive and capable of integrating additional information. These features included the so-called "time machine," allowing users to view the building throughout its historical phases, thus addressing different perspectives based on user needs.

The entire data acquisition campaign was oriented toward producing a 3D model capable of generating multimedia visualisations and interactive applications to enhance the new museum, as requested by the institution, and to offer innovative ways of exploring artistic and architectural heritage.

Following this, a semantic 3D model was produced based on the survey data and parameterised geometries, enriched with historical and documentary information. Through the H-BIM approach, semantic attributes were associated with the 3D models to



Dalla modellazione 3D alla gestione della qualità e manutenzione conservativa degli edifici storici

manutenzione più sistematica, consapevole e sostenibile.

In un contesto in cui le risorse pubbliche sono limitate, e i rischi legati al degrado fisico, alla perdita di identità culturale e al

La crescente consapevolezza del valore economico, culturale e sociale del patrimonio storico ha evidenziato l'urgenza di dotarsi di strumenti digitali avanzati per una gestione della ma-

cambiamento climatico sono in costante aumento, le soluzioni orientate alla *Condition-Based Maintenance* (CMB) rappresentano una risposta concreta alle esigenze del mercato della conservazione edilizia.

L'esperienza maturata dallo *spin-off*, tanto nella modellazione tridimensionale quanto nella gestione, valorizzazione e manutenzione dei beni culturali, sta delineando un nuovo ambito di attività legato allo sviluppo di strumenti innovativi per la manutenzione conservativa degli edifici storici.

support the building's long-term management, historical analysis, and new forms of museum accessibility. This work enabled to structure a rich, interoperable information system capable of offering new ways to access and make the most of the Cultural Heritage.

Finally, the platform allowed for the aggregation of the holistic documentation results and the enrichment of the 3D model with metadata, historical information, and multimedia content (Fig. 3). In the specific case of Florence, the outputs were organised around three core models:

1. "General model" – describing the façade and the architectural history of the building;
2. "Historical model" – supporting the dating of architectural elements and the development of the "time machine";

3. "Immersive model" – developed to create immersive environments through additional resources, including 3D models of the urban context (Maietti et al., 2017).

From 3D modelling to quality management and preventive conservation of historic buildings

The growing awareness of the economic, cultural, and social value of historic heritage has underscored the urgency of adopting advanced digital tools to support a more systematic, informed, and sustainable approach to maintenance.

In a context marked by limited public resources and increasing risks linked to physical deterioration, cultural identity loss, and climate change, Condition-Based Maintenance (CBM) solutions offer a concrete response to the needs of the heritage conservation market.

The experience gained by the INCEPTION *spin-off*, both in 3D modelling and in the management, enhancement, and maintenance of Cultural Heritage, is shaping a new area of activity focused on the development of innovative tools for the preventive conservation of historic buildings.

The adoption of semantic H-BIM models, such as the one presented in the previous section, marks a strategic turning point for quality management and conservation-oriented maintenance.

The development and implementation of these new tools require continuous knowledge exchange between academic research, market demands, and the proactive role of the third sector. This interaction is essential to ensure solutions that are truly applicable, sustainable, and capable of generating a shared social impact.

In this field, collaboration between research groups at the University of Ferrara and INCEPTION has led to the definition of new inspection and condition assessment procedures based on the CBM paradigm, going beyond the limitations of standardised, cyclical models.

The adopted approach enables dynamic interaction between the operator and the 3D model, both on-site and remotely, supported by a guided system for defect identification and classification. Each architectural component in the model is linked to metadata describing its condition, criticality, and intervention priority, enabling a more efficient diagnosis and decision-making process.

Initial studies were carried out on a pilot case, namely the Church of *Santa Maria delle Vergini* in Macerata (Fig. 4), which confirmed the effectiveness

Infatti, l'impiego di modelli H-BIM semantici, come quello presentato nella sezione precedente, si configura come una svolta strategica per la gestione della qualità e la manutenzione conservativa.

La costruzione e l'adozione di tali nuovi strumenti richiede un continuo scambio di conoscenze tra il mondo della ricerca universitaria, le esigenze di mercato e il ruolo proattivo del Terzo Settore, al fine di garantire soluzioni realmente applicabili, sostenibili e capaci di generare impatto sociale condiviso.

In questo campo, la relazione tra gruppi di ricerca dell'Università di Ferrara e INCEPTION ha portato alla definizione di nuove procedure di ispezione e valutazione dello stato di conservazione dei beni secondo il paradigma CMB, superando i limiti dei modelli standardizzati e ciclici.

L'approccio adottato consente un'interazione dinamica tra operatore e modello tridimensionale, sia in situ che da remoto, supportata da un sistema guidato di identificazione e classificazione dei difetti. Ogni componente architettonico del modello è associato a metadati che descrivono condizioni, criticità e priorità d'intervento, abilitando un processo di diagnosi e *decision-making* più efficiente.

I primi studi sono stati condotti su un caso applicativo, la chiesa di Santa Maria delle Vergini a Macerata (Fig. 4) che ha dimostrato l'efficacia della metodologia e del *workflow* adottato: dal rilievo integrato, alla modellazione BIM, fino all'implementazione su piattaforma INCEPTION tramite SOLID-ICE. Quest'ultimo consente di trasformare ogni oggetto BIM in una risorsa semantica interrogabile e arricchita con metadati accessibili via web attraverso un'interfaccia *user-friendly*.

Il sistema integra strumenti automatici per l'assegnazione del

condition score, *dashboard* interattive per il monitoraggio dello stato degli elementi architettonici e funzionalità collaborative per la pianificazione degli interventi.

I risultati di queste prime sperimentazioni indicano un significativo potenziale nel trasformare l'H-BIM in un vero *digital-twin* operativo, capace di supportare strategie conservative basate su dati oggettivi e aggiornati in tempo reale. La disponibilità di dati aggiornati e interoperabili potrà consentire di ottimizzare la pianificazione degli interventi, riducendo costi imprevisti e limitando l'impatto ambientale.

L'integrazione tra rilievo 3D, modellazione semantica e gestione predittiva sperimentata da parte dello *spin-off*, costituisce una leva strategica per promuovere sul mercato un'economia circolare della conservazione.

Discussione critica

L'esperienza dello *spin-off* dimostra come la ricerca univer-

sitaria possa produrre un impatto trasformativo sull'ambiente costruito attraverso un trasferimento tecnologico strutturato e orientato al mercato.

In tal senso, il valore generato si manifesta su tre livelli principali:

- “ambientale”, l'introduzione di strumenti digitali per la modellazione tridimensionale e l'H-BIM consente una gestione conservativa più efficiente, riducendo gli interventi invasivi e ottimizzando la manutenzione preventiva. Il protocollo DAP adottato dallo *spin-off* permette di valutare oggettivamente la qualità dei dati e la loro riusabilità, migliorando la sostenibilità delle attività di rilievo e la gestione dei beni;

of the methodology and workflow from integrated surveying to BIM modelling, and implementation on the INCEPTION platform through SOLID-ICE. The latter allows each BIM object to be transformed into a semantic resource that can be queried and is enriched with metadata, accessible via the Web through a user-friendly interface.

The system integrates automatic tools for assigning condition scores, interactive dashboards for monitoring the status of architectural elements, and collaborative functionalities for planning interventions.

Results from these initial experiments indicate significant potential in transforming H-BIM into a true operational digital twin, capable of supporting conservation strategies based on real-time, objective data. The availability of updated and interoperable data can

help optimise intervention planning, reduce unexpected costs, and limit environmental impacts.

The integration of 3D surveying, semantic modelling, and predictive management, pioneered by the spin-off, represents a strategic lever to promote a circular conservation economy within the market.

Critical discussion

The experience of the INCEPTION spin-off demonstrates how university research can produce transformative impacts on the built environment through a structured, market-oriented technology transfer process.

The value generated by this experience can be identified on three main levels:

- Environmental: the introduction of digital tools for 3D modelling and H-BIM enables more efficient conservation management by reducing

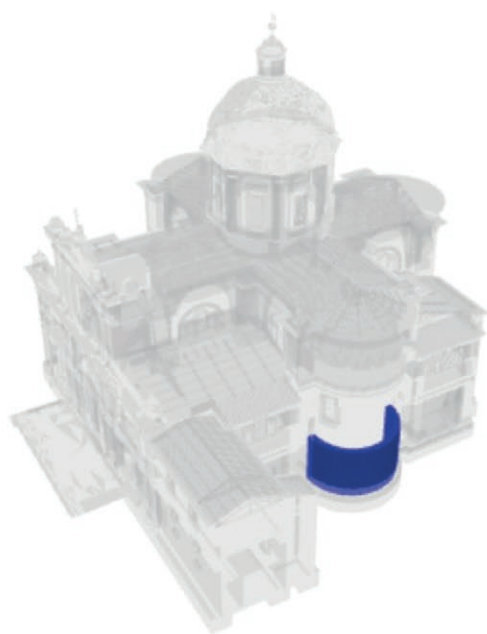
invasive interventions and optimising preventive maintenance. The DAP protocol adopted by the spin-off allows for the objective evaluation of data quality and sustainability, thereby improving the sustainability of surveying activities and the management of heritage assets.

- Economic: within its first five years of activity, INCEPTION has contributed to the creation of a new market segment within the creative industries and among Cultural Heritage managers. It has delivered services to public institutions, private entities, and international stakeholders. The entrepreneurial approach has supported the launch of three national projects and seven international ones, generating substantial investment in the field of digitisation. Notably, agreements have been established with national

(MIC and Emilia-Romagna Region) and international (European Foundation) institutions and organisations.

- Socio-cultural: the co-production of knowledge involving cultural institutions, research bodies, and professionals as well as the training activities promoted has enhanced the dissemination of competences, helping bridge digital divides, including those of a territorial nature.

During its first five years of operation, the spin-off has made a tangible contribution to European objectives and to Italy's National Plan for the Digitisation of Cultural Heritage (PND), producing over 80 3D models of Cultural Heritage assets, developing new cultural interaction interfaces, reducing management costs for partner institutions, and disseminating content through interoperable platforms.



Leave a comment

Selected element: Wall

Comment:

PostClose

3 Comments

Inspector

🕒 Mar 26, 2022 12:06 PM

Ok. In the meantime see attached pictures from our last inspection

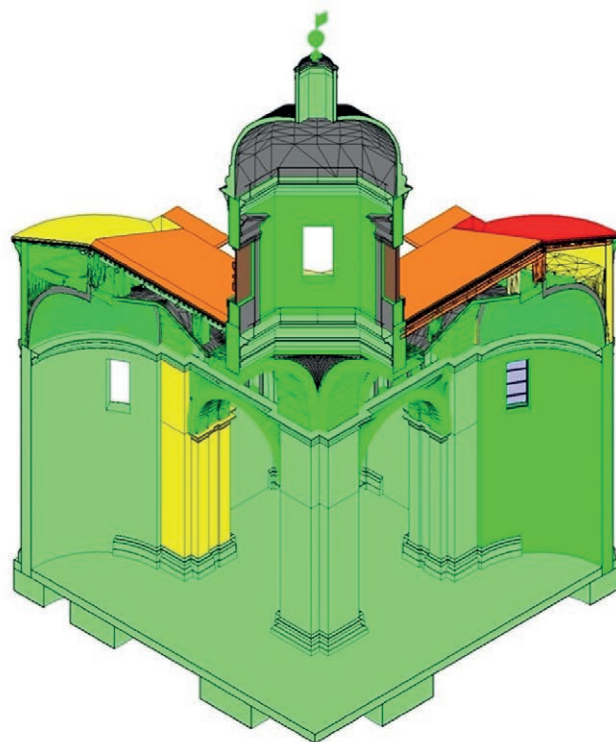
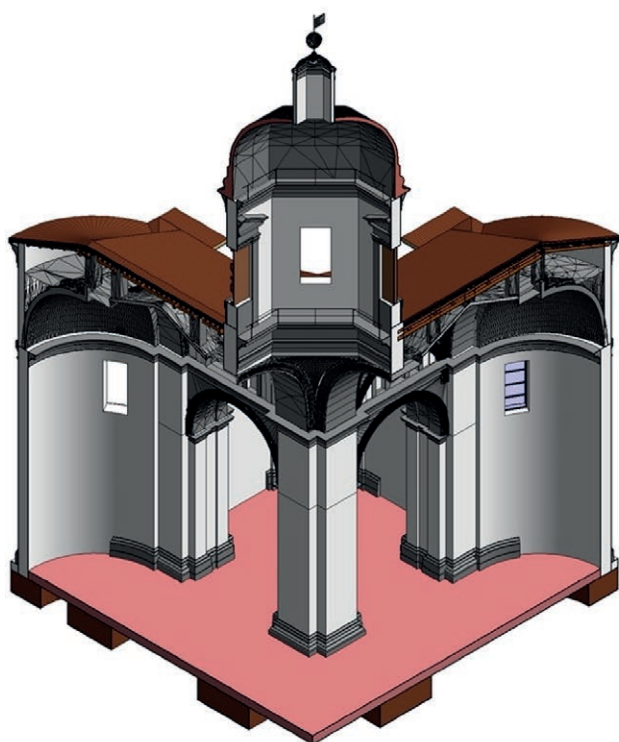
View Element

Consultant

🕒 Mar 26, 2022 11:54 AM

Inspect for the following critical issues: xxxx, yyyy, zzzz

View Element



Conclusions

INCEPTION represents a significant example of university Third Mission engagement, in which scientific research has generated applied value, triggering positive impacts in cultural, social, and economic contexts. The effectiveness of the model is enhanced by the spin-off's ability to operate within complex ecosystems that

include universities, institutions, enterprises, and citizens aligning with the "quadruple helix" innovation framework promoted by European policy. In particular, the activities presented illustrate how the integration of advanced digital technologies can radically transform the management, enhancement, and accessibility of Cultural Heritage.

The approach, grounded in co-development, participation, and training, serves as a strategic lever to promote a shared culture of digitalisation, capable of addressing both environmental and cultural emergencies.

- “economico”, nell’arco dei primi cinque anni di attività, INCEPTION ha contribuito alla creazione di un nuovo segmento di mercato all’interno delle industrie creative e gestori di beni culturali, offrendo servizi a istituzioni pubbliche, enti privati e stakeholder internazionali. L’approccio imprenditoriale ha favorito l’attivazione di 3 nuovi progetti nazionali e 7 internazionali generando importanti investimenti nel campo della digitalizzazione. Importanti sono anche gli accordi stipulati con enti e organizzazioni nazionali (MIC e Regione Emilia-Romagna) e internazionali (*Europeana Foundation*);
- “socio-culturale”, la co-produzione di conoscenze con il coinvolgimento di istituzioni culturali, enti di ricerca e professionisti nonché le attività formative promosse hanno migliorato la diffusione di competenze, contribuendo a colmare divari digitali anche di tipo territoriale.

Nel primo quinquennio di attività lo *spin-off* ha concretamente contribuito agli obiettivi europei e al PND creando più di 80 modelli tridimensionali di beni culturali, proponendo nuove interfacce di fruizione culturale, riduzione dei costi di gestione per gli enti partner e diffusione di contenuti attraverso piattaforme interoperabili.

Conclusioni

INCEPTION costituisce un esempio significativo di Terza Missione universitaria in cui la ricerca scientifica ha generato valore applicato, innescando ricadute positive nei contesti culturali, sociali ed economici.

L’efficacia del modello è amplificata dalla capacità dello *spin-off* di operare all’interno di ecosistemi complessi che includono università, istituzioni, imprese e cittadini, in linea con i modelli a “quadrupla elica” descritti nelle politiche europee per l’innovazione.

In particolare, le attività presentate documentano come l’integrazione di tecnologie digitali avanzate siano in grado di trasformare radicalmente le modalità di gestione, valorizzazione e accessibilità del patrimonio. L’approccio basato su co-sviluppo, partecipazione e formazione, rappresenta così una leva per promuovere una cultura condivisa della digitalizzazione, in grado di rispondere a emergenze ambientali e culturali.

REFERENCES

Di Giulio, R., Maietti, F., Piaia, E., Medici, M., Ferrari, F. and Turillazzi, B. (2017), “Integrated data capturing requirements for 3D semantic modelling of cultural heritage: The INCEPTION protocol”, *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Vol. XLII-2/W3, pp. 251-257. Available at: <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLII-2-W3-251-2017>.

European Commission (2021), *Commission Recommendation (EU) 2021/1970 of 10 November 2021 on a common European data space for*

Cultural Heritage, C/2021/7953. Available at: <https://data.europa.eu/eli/reco/2021/1970/oj> (Accessed on 30/06/2025).

European Commission (2022), *Study on quality in 3D digitisation of tangible cultural heritage: mapping parameters, formats, standards, benchmarks, methodologies, and guidelines*, VIGIE 2020/654, Brussels, April 2022, ISBN 978-92-76-37858-7. Available at: <https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/dc1c4098-b551-11ec-b6f4-01aa75ed71a1/language-en> (Accessed on 30/06/2025).

Fronzizi, R. (2020), *La Terza Missione delle Università. Strategia, Valutazione e Performance*, Giappichelli Editore, Torino.

Iadanza, E., Maietti, F., Ziri, A.E., Di Giulio, R., Medici, M., Ferrari, F., Bonsma, P. and Turillazzi, B. (2019), “Semantic web technologies meet BIM for accessing and understanding cultural heritage”, *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Sciences*, Vol. XLII-2/W9, pp. 381-388. Available at: <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLII-2-W9-381-2019>.

Maietti, F., Di Giulio, R., Medici, M., Ferrari, F., Piaia, E. and Brunoro, S. (2021), “Accessing and Understanding Heritage Buildings through ICT. The INCEPTION Methodology Applied to the Istituto degli Innocenti”, *International Journal of Architectural Heritage*, Vol. 15, n. 6, pp. 921-930. Available at: <https://doi.org/10.1080/15583058.2019.1683780>.

Ministero della Cultura (2023), *Piano Nazionale di digitalizzazione del patrimonio culturale 2022-2023*, Versione 1.1. Available at: <https://docs.italia.it/italia/icdp/icdp-pnd-docs/it/v1.1-febbraio-2023/index.html> (Accessed on 30/06/2025).

Ministero della Cultura, Istituto Centrale per la Digitalizzazione del Patrimonio Culturale – Digital Library (2022), *Linee guida per la digitalizzazione 3D*. Available at: https://partecipa.gov.it/rails/active_storage/blobs/eyJfcmFpbHMiOnsibWVzc2FnZSI6IkJBaHBBckVEIiwiaWZhwjpuZDwxsLCJwdXkiOiJibG9iX2lkIn19--e6261f804e2816121f2408e058cf07622682c70c/M1C3_1.1.1_Linee%20guida%20per%20la%20digitalizzazione%203D_v3.pdf (Accessed on 30/06/2025).