



2024 | 12

a cura di

Marco Pretelli
Alessia Zampini

HISTORIC PRESERVATION FOUNDATION CLASSES

Procedure e ontologie per l'interoperabilità nella tutela del patrimonio storico architettonico



ArcHistoR
EXTRA



ArchistoR EXTRA

www.archistor.unirc.it

Historic Presevation Foundation Classes. Procedure e ontologie per l'interoperabilità nella tutela del patrimonio storico architettonico ArchistoR EXTRA 12 (2024)

International Scientific Committee

Maria Dolores Antigüedad del Castillo-Olivares, Monica Butzek, Jean-François Cabestan, Alicia Cámara Muñoz, David Friedman, Alexandre Gady, Jörg Garms, Miles Glenndinning, Mark Wilson Jones, Loughlin Kealy, Paulo Lourenço, David Marshall, Werner Oechslin, José Luis Sancho, Dmitrij O. Švidkovskij

Editorial Board

Tommaso Manfredi (direttore responsabile), Giuseppina Scamardi (direttore editoriale), Antonello Alici, Salvatore Di Liello, Fabrizio Di Marco, Paolo Faccio, Mariacristina Gianbruno, Bruno Mussari, Annunziata Maria Oteri, Francesca Passalacqua, Edoardo Piccoli, Renata Prescia, Nino Sulfaro, Fabio Todesco, Guglielmo Villa

Journal manager Copyeditor and proof reader

Giuseppina Scamardi Alessia Zampini

Editor Graphic layout

Nino Sulfaro Nino Sulfaro

Layout editor

Martina La Mela

In copertina: elaborazione a cura di Sara Prandini

Il volume è stato sottoposto a double blind peer review

Published by Università degli Studi *Mediterranea* di Reggio Calabria
Laboratorio CROSS - Storia dell'architettura e restauro

La rivista è ospitata presso il Servizio Autonomo per l'Informatica di Ateneo.

ISSN 2384-8898

ISBN 978-88-85479-39-5



università
degli studi
mediterranea
di reggio
calabria

Laboratorio
CROSS



Scopus®

DOAJ

Clarivate
Web of Science™

ERIH
EUROPEAN REFERENCE INDEX FOR THE
HUMANITIES AND SOCIAL SCIENCES

EBSCO



This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 2.0 Generic License

HISTORIC PRESERVATION FOUNDATION CLASSES

Procedure e ontologie per l'interoperabilità nella tutela
del patrimonio storico architettonico

a cura di Marco Pretelli
e Alessia Zampini

INTRODUZIONE

INTRODUCTION

Marco Pretelli, Alessia Zampini, *Introduzione* 6
Marco Pretelli, Alessia Zampini, *Introduction*

PARTE I - AFFRONTARE LA RICERCA. QUESTIONI DI METODO E PRIME APPLICAZIONI

PART I - Approaching Research. Methodological Issues and Initial Applications

Stefano Francesco Musso, *Modellizzazione per la conoscenza e il progetto* 12
Stefano Francesco Musso, *Modeling for knowledge and design*

Donatella Fiorani, Marta Acierno, *Il modello ontologico CPM per l'interoperabilità nel
restauro e la rappresentazione formale della Carta del Rischio* 32
Donatella Fiorani, Marta Acierno, *The CPM Ontological Model for Interoperability in
Restoration and the Formal Representation of Carta del Rischio*

Carla Bartolomucci, Bruno Monardo, *Pericolosità e rischio antropico per il patrimonio
culturale. Contributi alla riflessione interdisciplinare* 71
Carla Bartolomucci, Bruno Monardo, *Danger and anthropic risk for Cultural Heritage.
Contributions to interdisciplinary reflection*

Adalgisa Donatelli, *Spunti e riflessioni per un impiego interoperabile di algoritmi in
sistemi GIS e BIM* 114
Adalgisa Donatelli, *First reasoning for an interoperable application of algorithms in GIS
and BIM systems*

<p>Marco Pretelli, Andrea Ugolini, <i>Riflessioni sulla modellazione HBIM a scala urbana. Nel cuore del quartiere Santo Stefano a Bologna: l'area del Baraccano</i></p> <p><i>Marco Pretelli, Andrea Ugolini, Reflections on HBIM Modeling at the Urban Scale. At the Core of Bologna's Santo Stefano District: the Baraccano Area</i></p>	128
<p>Leila Signorelli, Alessia Zampini, <i>Linguaggi semantici e modelli HBIM: digitalizzazione e interoperabilità di dati per la tutela del patrimonio costruito</i></p> <p><i>Leila Signorelli, Alessia Zampini, Semantic languages and HBIM models: digitization and interoperability of data for the protection of built heritage</i></p>	152
<p>Maurizio Caperna, Maria Grazia Ercolino, Annarita Martello, <i>L'area della Lungara a Roma: caratteri, trasformazioni e vulnerabilità del costruito storico attraverso l'applicazione di modelli informatici</i></p> <p><i>Maurizio Caperna, Maria Grazia Ercolino, Annarita Martello, The urban area of Via della Lungara in Rome: features, transformations and vulnerabilities through the use of digital systems</i></p>	184
<p>Silvia Cutarelli, <i>L'interoperabilità fra i sistemi BIM e GIS. Questioni di metodo e prime applicazioni sull'area della Lungara a Roma</i></p> <p><i>Silvia Cutarelli, Interoperability between BIM and GIS systems. Methodological issues and first applications in the Lungara area of Rome</i></p>	216
<p>Simonetta Acacia, Marta Casanova, <i>La gestione del processo di conoscenza dalle prime analisi al cantiere. Palazzo Belimbau a Genova</i></p> <p><i>Simonetta Acacia, Marta Casanova, Management of the knowledge process from the initial analyses to the conservation site. Palazzo Belimbau, Genoa.</i></p>	246
<p>Alessandra Pili, <i>Gestire la conoscenza: ontologie e strumenti operativi per la conservazione del patrimonio culturale</i></p> <p><i>Alessandra Pili, Knowledge management: ontologies and practical tools for the preservation of cultural heritage</i></p>	262
<p>PARTE II - ESPERIENZE <i>PART II - EXPERIENCES</i></p>	
<p>Roberto di Giulio, Giulia Favaretto, Danila Longo, Marco Medici, <i>Dalla materialità all'immaterialità e viceversa. Il digitale per il patrimonio costruito</i></p> <p><i>Roberto di Giulio, Giulia Favaretto, Danila Longo, Marco Medici, From Materiality to Immateriality and Vice Versa. Digitisation for Built Heritage</i></p>	282
<p>Achille Felicetti, Franco Niccolucci, <i>Gemelli digitali e modelli ontologici per la documentazione storico-architettonica digitale</i></p> <p><i>Achille Felicetti, Franco Niccolucci, Digital twins and ontological models for digital historic architectural documentation</i></p>	310

INTRODUZIONE



INTRODUCTION

Historic Preservation Foundation Classes



a cura di Marco Pretelli
e Alessia Zampini

ArchistoR EXTRA



Introduction

Marco Pretelli, Alessia Zampini (Università di Bologna)

This monographic issue of ArchistoR, developed from the HPFC – Historic Preservation Foundation Classes conference (Bologna, 2023) within the PRIN 2017 research project, examines the opportunities and limitations of HBIM and GIS systems for representing, conserving, and protecting the built heritage. Central to the volume is the theme of interoperability among heterogeneous digital languages. In the context of Italy's ongoing digital transformation of public administration and the progressive adoption of BIM in public procurement, these tools are seen as strategic for informed conservation planning and higher-quality interventions. Their capacity to integrate, manage, and interpolate complex data sets opens new scenarios for preventive conservation, although critical issues remain when technologies conceived for new construction are applied uncritically to historical buildings. The volume is articulated in two parts. The first presents methodological reflections and experimental results by the PRIN 2017 research units of Milan, Genoa, Rome, and Bologna, spanning architectural to urban scales. Topics include modeling and data organization, semantic web ontologies for conservation processes, interoperability between HBIM and GIS, and risk assessment frameworks deriving from the Italian Carta del Rischio. The second part gathers further projects in the HBIM domain that fostered exchange with the PRIN research, including the 4CH Competence Centre and new initiatives toward a Heritage Digital Twin ontology.

Historic Preservation Foundation Classes

Procedure e ontologie per l'interoperabilità nella tutela del patrimonio storico architettonico

www.archistor.unirc.it

ArchistoR EXTRA 12 (2024)

ISSN 2384-8898

Supplemento di ArchistoR 19/2023

ISBN 978-88-85479-39-5

DOI: 10.14633/AHR434



Introduzione

Marco Pretelli, Alessia Zampini

Questo numero monografico di ArchHistoR, costruito sugli esiti del PRIN 2017 HPFC - *Historic Preservation Foundation Classes: Procedures and Ontologies for the interoperability in Historic Preservation*, facendo riferimento a fasi di ricerca operativa concluse nel 2023, si interroga sulle potenzialità e criticità dell'utilizzo di sistemi HBIM e GIS finalizzati alla rappresentazione, conservazione e tutela del patrimonio storico costruito, presentando, in particolare, riflessioni, studi e ricerche attorno al tema dell'interoperabilità tra diversi linguaggi.

Nella cornice del processo di digitalizzazione delle pubbliche amministrazioni, avviato in Italia nel 2005 attraverso il D.L. n. 72 – *Codice dell'Amministrazione Digitale*, la graduale obbligatorietà dell'uso del BIM introdotta dal nuovo Codice degli Appalti con D.Lgs. 31 marzo 2023, n. 36 rappresenta infatti una sfida e un tema cruciale verso cui orientare la ricerca per poter gestire in modo cosciente il processo di conservazione e programmazione, aspirando ad una crescente qualità dell'intervento. Come sottolineato dal Documento di indirizzo per la qualità dei progetti di restauro dell'architettura formalizzato dalla *Società Italiana per il Restauro dell'Architettura*¹, una corretta programmazione

1. SIRA, *Documento di indirizzo per la qualità dei progetti di restauro dell'architettura. Ad esito del III Convegno della Società Italiana per il Restauro dell'Architettura Restauro dell'architettura. Per un progetto di qualità, Napoli, 15/16 Giugno 2023*, https://sira-restauroarchitettonico.it/wp-content/uploads/2023/08/SIRA_Documento-di-indirizzo_Versione-1_31072023.pdf (ultimo accesso 10 luglio 2025).

fissa infatti gli obiettivi a lungo termine del progetto di qualità e questi strumenti digitali, data la loro potenziale capacità di mettere a sistema e gestire quantitativi di dati complessi, articolati, eterogenei e permettendo nuove interpolazioni, possono senza dubbio rendere le future scelte sempre più accurate e capaci di disegnare scenari di prevenzione finora semplicemente non immaginabili. Tuttavia, questi strumenti, nati per la gestione della progettazione ex novo, presentano ancora alcune criticità, se applicate al patrimonio storico in modo acritico. Da questi obiettivi muove quanto verrà qui presentato.

Con queste premesse, il volume si divide in due parti: la prima, orientata ad approfondire questioni di metodo e sperimentazioni applicative, raccoglie gli esiti del PRIN 2017 di cui sopra, a cui hanno partecipato le Unità di Ricerca del Politecnico di Milano (responsabile prof. S. Della Torre, che ha svolto anche funzione di Principal Investigator) e dell'Università degli studi di Genova (responsabile prof. S. F. Musso) impegnate in valutazioni sulla scala architettonica, e l'Università di Roma La Sapienza (responsabile prof.ssa Donatella Fiorani) e l'Università di Bologna (responsabile prof. Marco Pretelli) maggiormente concentrate sulla scala urbana. La seconda parte invece lascia spazio ad altri progetti e ricerche con i quali le unità operative hanno avuto modo di confrontarsi proprio in occasione del convegno intitolato *HPFC - Historic Preservation Foundation Classes*, che si è svolto a Bologna il 16-17 gennaio 2023 e considerato come una milestone del progetto stesso.

La prima parte è aperta dal contributo di Stefano Musso il quale, con la disanima dei termini *modello, modellazione e modellizzazione*, chiarisce fin da subito come l'obiettivo del progetto di ricerca sia quello non tanto di sviluppare una rappresentazione digitale di un oggetto specifico, quanto piuttosto la creazione di un modello procedurale e di organizzazione dei dati poi applicabile ad altri campi ed esempi. Una modellizzazione appunto che possa servire da riferimento per future modellazioni euristiche dell'esistente. Per affrontare il tema viene introdotto il caso studio di Palazzo Belimbau, a Genova, adottato per la sperimentazione a scala architettonica dalle unità di Genova e Milano e trattato in dettaglio nel successivo contributo di Marta Casanova e Simonetta Acacia.

Altro tema richiamato in via teorica e preliminare nel contributo è l'importanza delle ontologie e dunque dello sviluppo degli strumenti del web semantico nel processo di trasformazione dei dati in informazioni. Ad affrontare il tema in termini operativi è il contributo di Alessandra Pili, la quale a partire dagli standard IFC e dai modelli concettuali ontologici di riferimento CIDOC CRM e ArCo, giunge alla definizione del modello concettuale del *Piano di Conservazione e Superfici* e alla compilazione delle ontologie relative al processo di conservazione definite *Conservation Process Ontology* (CPO), utilizzando la piattaforma FOSS Protégé.

Centrale, sempre sul tema delle ontologie, il lavoro svolto da Donatella Fiorani e Marta Acierno, il quale, con un ampliamento della visione, dà conto della riflessione teorica in merito all'interoperabilità fra sistemi informativi dedicati alla documentazione e rappresentazione dell'architettura storica alla scala urbana. Astraendo il sistema di entità, attributi e relazioni mereologiche sottese alla Carta del rischio e ai suoi sei modelli schedografici, il contributo illustra come queste siano state trasposte nel modello concettuale libero *Conservation Process Model* (CPM) e poi progressivamente allineate allo standard ad oggi più sviluppato nel campo della conservazione, il CIDOC-CRM.

Combinato a questo aspetto della ricerca, il contributo di Adalgisa Donatelli descrive in maniera puntuale la necessità di un continuo aggiornamento e sviluppo degli algoritmi a supporto dei processi di digitalizzazione del patrimonio e in particolare descrive la formalizzazione degli algoritmi alla base della Carta del Rischio i quali permettono di mettere in relazione vulnerabilità del costruito e fattori di rischio così da determinare il rischio attraverso modelli logici e matematici basati su di un approccio statistico.

Proseguendo alla scala urbana, il progetto si poneva inoltre come obiettivo quello di testare l'interoperabilità tra sistemi HBIM e GIS. Assumendo come riferimento la struttura di dati proposta, ancora una volta, dalla Carta del Rischio, considerata lo strumento schedografico di riferimento per l'analisi del costruito a questa scala, sono dunque stati sviluppati due casi studio, il quartiere della Lungara a Roma e l'area del Baraccano a Bologna. Il quartiere della Lungara, ampiamente descritto nei suoi caratteri, trasformazioni, vulnerabilità nel contributo di Maurizio Caperna, Maria Grazie Ercolino e Annarita Martello, ha visto una prima modellazione in ambiente HBIM grazie all'utilizzo del software Autodesk Revit. A descrivere passo passo le operazioni di impostazione del modello, parametrizzazione delle informazioni e il flusso di lavoro affrontato è il contributo di Silvia Cutarelli, dal quale emerge come siano proprio queste fasi preliminari alla modellazione geometrica in sé, a permettere una tras migrazione dei dati in ambiente digitale, così da favorire la gestione, implementazione, verifica e aggiornamento delle informazioni imputate, evidenziando quelle che sono le criticità attuali dei sistemi in uso.

Condotta parallelamente e con obiettivi simili è la sperimentazione sull'area del Baraccano. Motivate le ragioni della scelta nel contributo di Andrea Ugolini e Marco Pretelli, è nel contributo di Leila Signorelli e Alessia Zampini che viene descritto il flusso di lavoro adottato in sinergia con quanto sviluppato dall'unità romana, con una attenzione in questo caso allo sviluppo di una applicazione e possibili scenari per la digitalizzazione del processo di acquisizione dei dati richiesti dalle schede di Carta del Rischio ottimizzando la gestione del dato. A questo si aggiunge una comparazione

degli standard IFC, CityGML e della struttura conoscitiva ontologica della Carta del Rischio, volta a sottolineare le mancate corrispondenze tra i diversi linguaggi, responsabili al momento di non rendere lineare la trasmigrazione del dato e dunque l'interoperabilità tra i diversi ambienti selezionati.

Il contributo di Andrea Ugolini e Marco Pretelli apre, inoltre, ad una prospettiva di ricerca futura, ripresa e indagata approfonditamente nel contributo di Carla Bartolomucci e Bruno Monardo, e rapidamente da Signorelli e Zampini, ovvero la possibilità data da questi sistemi di poter integrare nuovi dati nella valutazione del rischio a cui è sottoposto il patrimonio storico costruito, ovvero quegli indicatori, su cui ancora il dibattito è aperto, grazie ai quali sarebbe possibile valutare il rischio antropico, tra cui dati di traffico, inquinamento, intensità d'uso, povertà energetica e altri.

Nella seconda parte del volume trovano invece spazio, come anticipato, ricerche e sperimentazioni condotte nell'ambito del HBIM, dal cui confronto sono nati importanti scambi per lo stesso progetto PRIN. Il contributo di Roberto Di Giulio, Giulia Favaretto, Danila Longo, Marco Medici racconta la sperimentazione in corso per il progetto *4CH | COMPETENCE CENTRE FOR THE CONSERVATION OF CULTURAL HERITAGE*, la quale vedrà lo sviluppo un modello HBIM per una importante architettura del Novecento, quale Villa Muggia a Imola, progettata da Piero Bottoni.

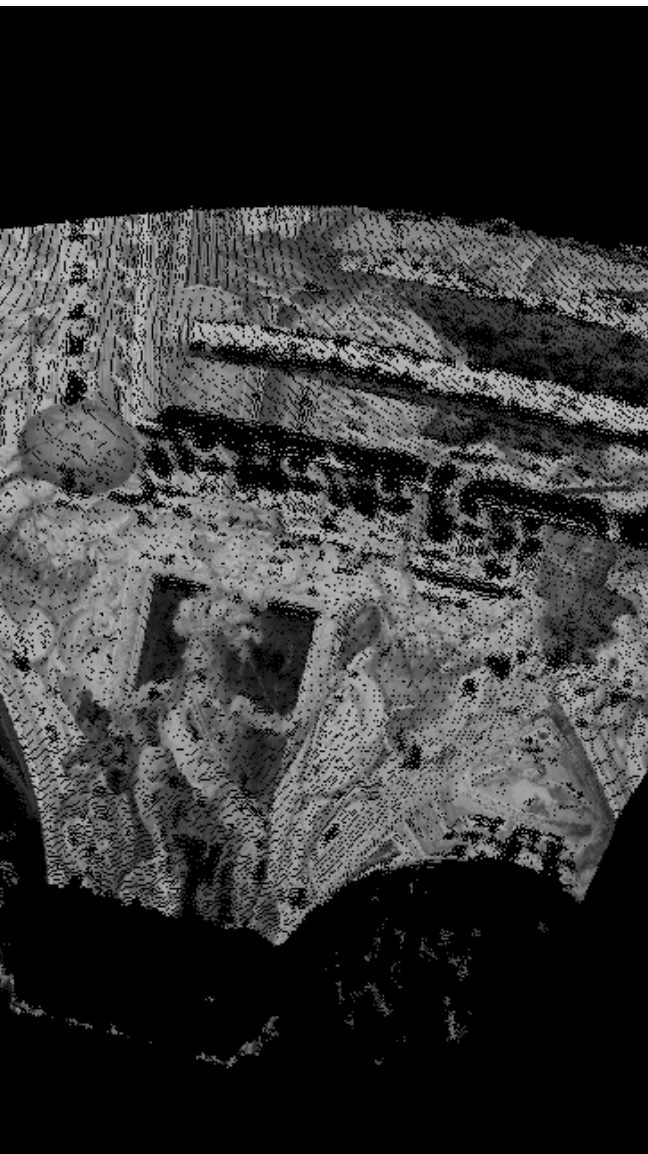
Il contributo di Achille Felicetti e Franco Niccolucci presenta infine gli *outcome* di ulteriori progetti di grande interesse quali di nuovo il progetto 4CH, il progetto *Ariadne*, dedicato al patrimonio archeologico e introduce le sperimentazioni in atto per sviluppare un'ontologia denominata *Heritage Digital Twin* capace di gestire e interconnettere l'ampio spettro di dati che formano il nucleo informativo del gemello digitale di un bene culturale.

Il volume, così strutturato, con un richiamo teorico in ogni contributo al panorama specifico di riferimento, intende dunque sottolineare l'importanza e le opportunità di ricerca in questo settore, cercando di raccogliere esperienze ed esiti di ricerche che, come detto in apertura, non intendono offrire una soluzione puntuale a casi specifici, quanto piuttosto lavorare sulla digitalizzazione e ottimizzazione dei processi in ogni fase, dalla definizione di sistemi conoscitivi-ontologici di riferimento, all'indagine delle vulnerabilità riscontrate allo status quo, all'acquisizione di dati, possibilità di nuove interpolazioni e interpretazioni grazie anche a specifici algoritmi, ma anche opportune parametrizzazioni delle informazioni associate al modello tridimensionale, così da favorire un impatto su altri progetti e con una visione a lungo termine, una sempre più consapevole interpretazione dell'architettura alle diverse scale, delle sue caratteristiche, vulnerabilità ed esposizione a nuovi fattori di rischio, in una visione di conservazione preventiva e programmata che veda un adeguato aggiornamento delle competenze dei professionisti coinvolti.

PARTE I - AFFRONTARE LA RICERCA.
QUESTIONI DI METODO E PRIME APPLICAZIONI



PART I - APPROACHING RESEARCH.
METHODOLOGICAL ISSUES AND INITIAL APPLICATIONS



Modeling for knowledge and design

Stefano Francesco Musso (Università degli Studi di Genova)

The contribution first presents the case study of Palazzo Belimbau in Genoa, adopted for the experimentation at an architectural scale of the PRIN-2017 research program "HPFC - Historic Preservation Foundation Classes", by the Research Units of Genoa and the Politecnico di Milano. The introduction will clarify the reasons for its choice, leaving the illustration of the activities conducted on it to other contributions to the magazine. This introduction is followed by a methodological and theoretical part aimed at highlighting some problematic issues met in conducting the field experiments. The mere application of informatics tools, in fact, cannot divert our attention from the ultimate goals of our research actions, to prevent the means from taking precedence over the ends. With reference to the extensive existing literature on the use of BIM, H-BIM, or GIS technologies for the management of historical buildings, the contribution therefore addresses some apparently terminological issues, but which are not like this. At the centre of attention are the recurring, or still-debated, meanings of terms such as model, modelling, knowledge, information and data, ontologies, taxonomies, glossaries, thesauri, and related terms. This aims to outline a rigorous and critical framework for the continuation of the research activities within the tendential opposition between "Holism" and "Reductionism" as a recurrent and fundamental mental and operational attitude.

Historic Preservation Foundation Classes

Procedure e ontologie per l'interoperabilità nella tutela del patrimonio storico architettonico

www.archistor.unirc.it

ArcHistoR EXTRA 12 (2024)

ISSN 2384-8898

Supplemento di ArchHistoR 19/2023

ISBN 978-88-85479-39-5

DOI: 10.14633/AHR435



Modellizzazione per la conoscenza e il progetto

Stefano Francesco Musso

La storia di Palazzo Belimbau, già De Ferrari, poi Chiavari, Cambiaso, Negrotto Cambiaso e infine Cohen, si inserisce nella profonda trasformazione di una porzione della Genova medievale, verso ponente, realizzata tra la metà del '500 e la metà del '600 (fig. 1). L'edificio è un esempio emblematico della volontà di trasformare quella parte periferica della città costruendo nuovi palazzi che celebrassero il potere della nobiltà. La zona denominata del Guastato fu così trasformata in zona centrale e nevralgica a raccordo tra i nuovi monumentali assi viari di Strada Nuova (1550-1575) e di Strada Balbi (1606-1620) che costituiscono il perno della Genova rinascimentale e barocca¹.

Il palazzo è il risultato di accorpamenti e trasformazioni di edifici preesistenti di origine medievale² e ha conosciuto un'evoluzione assai complessa, non ancora completamente ricostruita. Le fonti documentarie, scritte e iconografiche edite non sono sufficienti a comprendere compiutamente le vicende che ne hanno segnato la storia a partire almeno dal XVI secolo³. Le ricerche condotte negli anni precedenti il programma di ricerca PRIN di cui si presentano gli esiti intermedi, tuttavia, hanno almeno chiarito le principali fasi modificative, i passaggi di proprietà e alcuni eventi che hanno

1. Vedi: DI BIASE 1993; GROSSI BIANCHI, POLEGGI 1975.

2. Vedi GROSSI BIANCHI, POLEGGI 1986.

3. POLEGGI 2004, pp. 134-139.

portato al suo assetto attuale. Anche per queste ragioni, il palazzo è stato scelto come caso studio dalle unità di ricerca di Genova e Milano che hanno lavorato a scala architettonica.

Palazzo Belimbau, inoltre, conserva uno dei più importanti cicli pittorici di decorazione murale dell'inizio del XVII secolo a Genova, commissionato al pittore Lazzaro Tavarone dall'allora proprietario Francesco De Ferrari, nel secondo decennio del Seicento. Lazzaro Tavarone decorò le volte dell'atrio di ingresso, dove il soggetto principale è "L'incontro di Antonio e Cleopatra", di un ambiente del piano rialzato, del vano scala monumentale (ampiamente rimaneggiato nel corso dei secoli), della loggia di accesso e del salone del piano nobile. Nella volta di questo vasto ambiente è in particolare celebrato Cristoforo Colombo di ritorno dalle Americhe, inginocchiato di fronte ai Reali di Spagna, con finte architetture e sfondati con vedute paesistiche alle pareti⁴. Anche la presenza di questi affreschi è stata ragione di scelta del palazzo nel programma PRIN, perché le parti decorate e le necessità del loro restauro offrono ulteriori elementi e dati che aumentano la complessità del modello che si intendeva costruire per la gestione delle fasi conoscitive, progettuali, di cantiere e, in prospettiva, di gestione del palazzo.

L'edificio, peraltro, era e ancora in parte è in uno stato manutentivo piuttosto precario, fin da quando l'ultimo proprietario lo donò all'Università di Genova, a fine secolo scorso. Per questo, negli anni passati è stato sottoposto a un'indagine diagnostica sulla consistenza fisica e sullo stato di conservazione, oltre che a verifiche statiche sulle strutture di orizzontamento del primo ammezzato, del secondo piano nobile, del secondo ammezzato e del terzo piano. Nel 2004, in occasione dell'Anno Europeo della Cultura, erano poi state restaurate le facciate nord, ovest e parte di quella a sud. Nel corso del 2006 e del 2007, inoltre, sono stati realizzati importanti lavori di manutenzione straordinaria delle coperture (modificate nel secondo dopoguerra con l'inserimento di elementi metallici) e sulle loro antiche strutture lignee superstiti. Dal 2009, in seguito alla stipula di un accordo tra l'Ateneo e l'allora Dipartimento di Scienze per l'Architettura, sono poi stati avviati nuovi rilievi e studi tra cui: ricerche archivistiche e documentarie, l'aggiornamento dei rilievi parziali esistenti, con metodi topografici, di fotogrammetria digitale rigorosa, scansioni laser scanner e sistemi di "*structure from motion*", anche con il coinvolgimento degli allievi della Scuola di Specializzazione in Beni Architettonici e del Paesaggio. È stata eseguita una generale analisi della consistenza e dello stato di conservazione degli ambienti interni, del sistema degli infissi, la quantificazione degli spazi utilizzabili e sono state predisposte linee guida per i successivi progetti di restauro conservativo degli ambienti a carattere monumentale, in accordo con la competente Soprintendenza. L'insieme di queste analisi ha messo

4. Vedi, per il ciclo pittorico: MAGNANI 2014; MAGNANI 2015, pp. 22-23.

a disposizione dell'Università un quadro conoscitivo utile per ulteriori campagne di studio e per la formulazione di ipotesi progettuali di restauro, risanamento conservativo e utilizzo dell'edificio. Il progetto definitivo, approvato dalla Soprintendenza, in una prima fase è stato limitato agli apparati decorativi dell'atrio ed è stato basato sul principio del "minimo intervento", per salvaguardare il più possibile la materia storicamente stratificata e tutelare l'autenticità e l'integrità delle superfici dipinte e dei loro supporti (figg. 2-3).

Le ragioni della scelta

Palazzo Belimbau, brevemente descritto, è stato scelto come caso studio per molte ragioni di seguito esposte. Il palazzo è importante per la storia di Genova e delle sue trasformazioni urbane, oltre che per quella dell'architettura. Esso è rilevante anche per la storia del costruire, conservando un'ampia serie di materiali, tecniche esecutive, lavorazioni e soluzioni strutturali proprie della tradizione genovese e ligure. La presenza, poi, del ciclo di affreschi di Lazzaro Tavarone fa del palazzo un'importante testimonianza della storia della decorazione murale non solo locale. Infine, le molte trasformazioni occorse nel corso dei secoli, per adeguare gli ambienti interni e la loro distribuzione a nuove esigenze e a nuovi gusti, fanno del palazzo una sorta di sintesi anche di storia dell'abitare.

Su tutti questi aspetti, esistono molte ricerche sviluppate da più di dieci anni dall'Università di Genova⁵, con l'accumulo progressivo di informazioni e dati di diversa natura, consistenza e dettaglio, relativi a:

- la storia dell'edificio e della parte urbana in cui sorge (letteratura edita, fonti iconografiche, documentarie, edite e inedite, derivanti anche da nuove indagini archivistiche);
- la sua configurazione architettonica (rilievi longimetrici, topografici, in fotogrammetria digitale rigorosa, laser scanner, «*structure from motion*»);
- la sua consistenza fisica (materiali, tecniche costruttive, soluzioni strutturali, interventi pregressi sul sistema degli spazi e sulle strutture);
- gli apparati decorativi e di finitura (analisi stilistica e storico-artistica, analisi delle tecniche esecutive e dei materiali, con particolare riferimento ai pigmenti delle decorazioni dipinte e degli stucchi);
- le condizioni di conservazione e i fenomeni di degrado, in atto o pregressi;

5. Vedi, per una sintesi degli studi condotti dall'Università di Genova su Palazzo Belimbau nel corso degli anni, CASANOVA, MUSSO 2022, pp. 16-23.

- la stabilità del manufatto e i fenomeni di dissesto, in evoluzione o cessati;
- le analisi di carattere archeologico, archeometrico e stratigrafico.

Documentazione e gestione delle informazioni

Quando ancora non si parlava di BIM o di modellizzazione, sin dalle prime fasi di studio e di analisi del Palazzo, era stato fortunatamente predisposto un database relazionale, collegato a un GIS, per archiviare, geo-localizzare e porre in relazione tra loro le informazioni tratte dalle ricerche bibliografiche, archivistiche, la documentazione fotografica (attuale e storica) e le informazioni derivanti dalle analisi dirette e di laboratorio. Quello strumento è tornato utile anche perché il programma PRIN 2017 non pone al centro un unico modello BIM o HBIM cui agganciare tutte le informazioni necessarie a gestire le fasi di conoscenza, progettazione, restauro e gestione del bene. Tale impostazione iniziale, infatti, è stata superata, sulla scorta degli esiti del programma PRIN 2011⁶, per la difficoltà di costruire un modello sufficientemente raffinato e in grado di rispettare la complessità del patrimonio costruito storico e le esigenze del suo restauro. Ciò, sia per ragioni tecniche legate ai software commerciali disponibili, nati per la nuova costruzione e basati su librerie di elementi standardizzati, lontani dalla infinita variabilità di quelli dell'edificato storico, sia per questioni economiche e di disponibilità di risorse temporali e umane. Un unico modello BIM, per rispettare le esigenze sinteticamente richiamate al paragrafo precedente, inoltre, avrebbe un peso, una dimensione e una complessità di gestione tale da pregiudicarne efficacia ed utilità. Per queste ragioni, l'intento del nuovo programma di ricerca è stato quello di costruire e porre al centro del sistema diverse banche dati interoperabili cui collegare più modelli, con differenti livelli di dettaglio (LOD), adeguati alle specifiche esigenze di gestione delle fasi di conoscenza e dei relativi materiali documentari.

Le maggiori difficoltà in questa prospettiva, infatti, sono legate alla necessità di:

- gestire una notevole quantità di informazioni, di diversa origine e natura, implementabili e mutevoli nel tempo, senza ignorare o modificare la loro specificità;

6. Vedi PRIN 2010/11: "Modellazione e gestione delle informazioni per il patrimonio edilizio esistente – Built Heritage Information Modelling/Management – BIHMM" – PI prof. Stefano Della Torre – Politecnico di Milano, Università Sapienza di Roma, Università di Genova (resp. Sc. S. F. Musso) e Cagliari, Politecnico di Torino; Musso 2017, pp. 40-56.

- abbinare le diverse tipologie di informazioni, riferirle alla loro esatta collocazione entro il complesso e registrare le variazioni che il progetto e il cantiere inducono su di esse, mantenendone memoria per consentire la ricostruzione futura di quanto avvenuto;
- rendere tali informazioni riutilizzabili nei processi decisionali, aperti e non determinabili a priori;
- organizzare gli interventi di conservazione preventiva e programmata necessari, una volta ultimati gli interventi.

In sintesi, lo strumento o sistema che si è cercato di realizzare, tende a:

- ridurre la durata e il costo degli interventi necessari durante il ciclo di vita del complesso;
- ridurre i rischi e minimizzare gli imprevisti inerenti i progetti di restauro e la gestione del manufatto;
- evitare eccessivi e insostenibili margini di discrezionalità nell'assunzione delle scelte necessarie in fase di pianificazione e progettazione, attraverso il loro controllo durante l'iter amministrativo e i contatti con le autorità preposte alla loro approvazione.

L'ipotesi è che il modello, o sistema, costruito e sperimentato sul caso studio di Palazzo Belimbau possa servire come riferimento per future applicazioni ad altri edifici.

In questa prospettiva, il carattere interdisciplinare e la struttura del programma di ricerca sono stati di grande aiuto anche per neutralizzare i rischi connessi a qualsiasi tentativo di rappresentazione dell'"edificio reale" attraverso un modello virtuale esclusivamente visivo ed eccessivamente semplificato, soprattutto se basato su premesse e requisiti parametrici e standardizzati. Ogni indebito automatismo, infatti, deve essere evitato fin dalla raccolta delle informazioni e ancor più nelle fasi decisionali, per non perdere o negare le specificità irriproducibili di qualsiasi manufatto storico. Per questo, sono ancora in corso alcune attività volte a formulare una prima versione di standard "IFC - Industry Foundation Classes" dedicate al patrimonio storico architettonico, partendo dalle ontologie e dai lessici tecnici disponibili, come altri contributi alla rivista chiariscono.

Prima di entrare nel dettaglio di tali attività, tuttavia, è necessario tornare sui significati di alcuni termini che usiamo comunemente, dando per universalmente acclarato il loro significato, per poi scoprire che tale non è, anche perché talvolta intendiamo con le stesse parole cose diverse, o con parole diverse le medesime cose. Ciò, detto per inciso, costituisce un primo e fondamentale esempio

di quanto sia difficile garantire la piena “interoperabilità” anzitutto tra i molti soggetti coinvolti nella progettazione, costruzione e utilizzo di uno strumento innovativo per la gestione dei processi di restauro del patrimonio costruito storico. Per gestire i dati e le informazioni ad essi necessari, tenendo conto della loro variabilità nel tempo, è importante disporre di procedure, processi, modelli e strumenti che presuppongono competenze e abilità di varia natura e complessità. Per questo, è utile riflettere sui significati di alcuni termini ricorrenti nei nostri discorsi e nelle nostre attività di ricerca.

Modello

Spesso parliamo di modelli e di modellazione o modellizzazione con una qualche confusione o aleatorietà di significati. Su tali questioni, apparentemente solo terminologiche, dovremmo provare a fare chiarezza. Per questo è utile partire dalle definizioni dei dizionari e delle enciclopedie, non illudendoci che ciò risolva le questioni in campo, ma perché esse, per la loro natura di opere frutto di sforzi collettivi, possono offrire un punto di riferimento controllato, anche se mai neutrale o universale, essendo pur sempre opere umane. Il primo termine o concetto da prendere in considerazione è quindi quello di “modello”.

Secondo l’Enciclopedia Treccani online:

«[...] Nel linguaggio scientifico, il termine viene riferito a un’ampia classe di ipotesi e costruzioni complesse e articolate, ideali o rappresentate materialmente, di origine anche intuitiva e creativa, proprie di una determinata scienza o specializzazione ma tali da poter essere estese ad altri campi (di validità all’inizio provvisoria ma sempre meglio adeguate all’esperienza attraverso successive verifiche e modificazioni), con cui viene rappresentato tutto o in parte l’oggetto di una ricerca che si propone di organizzare dati e conoscenze, ma anche di sperimentare ulteriormente, per poi interpretare, spiegare, generalizzare, confrontare ed esemplificare didatticamente»⁷.

Il modello che la ricerca PRIN 2017 ha teso a costruire, quindi, rientra in questa definizione di carattere affatto generale. Salvo chiarire subito che il modello non è certo solo la rappresentazione in tre dimensioni del manufatto scelto come caso studio ma qualcosa di più complesso, perché volto a conseguire gli obiettivi che la definizione appena citata evidenzia nella sua ultima parte. Essa, peraltro, continua affermando che: «Nella forma più semplice, [il modello, n.d.r.] può essere un

7. Voce “Modèllo”, in «Enciclopedia Treccani» on line: <https://www.treccani.it/vocabolario/modello> (ultimo accesso 11 dicembre 2023).

elemento, o ente, scelto in una serie o classe di enti o elementi, per servire quale rappresentante o tipo fondamentale dell'intera classe o serie, come, per es., nelle scienze classificatorie».

Il sistema che il programma PRIN ha cercato di realizzare sembra riflettere questa ultima specificazione, anche perché la definizione dell'Enciclopedia Treccani continua sostenendo che «Più in generale [il modello n.d.r.] consiste nella visualizzazione di enti non altrimenti rappresentabili, nella loro riduzione a una descrizione empirica, nella simulazione delle caratteristiche logico-strutturali di un oggetto di ricerca mediante l'istituzione di isomorfismi o analogie [...]». Molte delle informazioni, dei dati, dei processi, delle azioni, delle qualità e quantità che il modello in costruzione dovrà gestire rientrano, infatti, in questa ultima fattispecie, perché non altrimenti rappresentabili.

Modellazione – Modellizzazione

Il termine modello rimanda poi, inevitabilmente, alle attività di “Modellazione” o di “Modellizzazione”. Per l'Enciclopedia Treccani, il termine modellizzazione è un «derivato di modello, attraverso un poco comune modellizzare "assumere come modello"»⁸ e «Nel linguaggio scientifico, [l'espressione indica, n.d.r.] il fatto di scegliere, di istituire come modello (nelle accezioni definite al n. 6 di questo termine)», come riportato negli estratti precedenti. In molta letteratura e nei nostri stessi discorsi, tuttavia, all'espressione “modellizzazione” si affianca spesso, o talvolta si sostituisce, l'espressione “modellazione”. Esse sembrerebbero sinonimi intercambiabili senza alcuna conseguenza, ma forse così non è o non dovrebbe essere.

Sul sito web ufficiale dell'Accademia della Crusca, massima istituzione di tutela della lingua italiana, compare una risposta «ad alcuni nostri lettori [che, n.d.r.] ci chiedono un parere sui termini che indicano l'azione del formulare un modello scientifico: quale tra le due forme è da preferire, modellare o modellizzare?»⁹. La risposta, a cura di Simona Cresti della Redazione Consulenza linguistica dell'Accademia, chiarisce inizialmente che «Data la varietà degli impieghi, intendiamo qui modello nel senso più generale possibile, come rappresentazione matematica, fisica o linguistica che si offre della struttura di un fenomeno complesso al fine di comprenderlo, descriverlo e prevederne meglio gli effetti». La risposta continua affermando che «Tale rappresentazione, spesso astratta, si ottiene usando 'enti di natura diversa ma con proprietà affini ai fenomeni stessi' [...] e ha tendenzialmente

8. Voce “Modellizzazione”, in «Enciclopedia Treccani» on line - <https://www.treccani.it/vocabolario/modellizzazione/>, (ultimo accesso 11 dicembre 2023).

9. Vedi CRESTI N.D.

carattere ipotetico ed euristico». In questa prospettiva, quindi, prevalgono gli aspetti di astrazione, scientifici e linguistici del modello, quale costruzione ipotetica ed euristica, ossia mezzo di ricerca. Passando dal sostantivo “modello” al verbo che indica l’azione o il processo che lo produce, la risposta dell’Accademia della Crusca sottolinea, poi, che

«Modellare, nel parlare quotidiano non specialistico, nomina [...] diverse attività: i significati che i dizionari normalmente gli attribuiscono sono 1) ‘lavorare una sostanza plasmabile’ [...]; 2) ‘sagomare secondo un modello, elaborare ispirandosi a un ‘modello’ [...]. Tuttavia, il verbo modellare ha acquisito [...] anche il significato tecnico del ‘formulare un modello scientifico’».

La coesistenza di queste due diverse accezioni può, quindi, creare una certa confusione, come effettivamente accade leggendo molte pubblicazioni o rapporti di ricerca, anche nel nostro campo. La confusione può aumentare se, come talvolta avviene, anziché il verbo “modellare”, si utilizza “modellizzare” che, secondo l’Accademia «[...] invece è un verbo di formazione recente che sembra rispondere all’esigenza di differenziare il modellare specialistico da quello quotidiano». Alla luce di questo chiarimento, si dovrebbe quindi utilizzare questo secondo verbo per descrivere i processi ipotizzati, costruiti e sperimentati nel corso della ricerca PRIN, tenuto conto che

«[...] quella del modellare appare principalmente come un’attività di rappresentazione e riproduzione, e si avvicina semmai all’idea del rifare a partire da uno schema o da un modello (tipica piuttosto degli ambiti artistico-architettonici), difettando invece del carattere specificamente ipotetico e euristico del modellare delle scienze».

Sembrerebbe così risolto il dilemma, ma l’Accademia avverte che, in realtà,

«[...] La stessa perplessità riguardante l’ambiguità di modellare [...] può essere sollevata anche per modellizzare: entrambi i verbi, così come i corrispondenti sostantivi modellazione e modellizzazione, si usano anche in un differente senso tecnico-specialistico, per cui indicano l’attività di creazione di un oggetto tridimensionale con specifici programmi di progettazione informatica».

È il caso del BIM, anche se il solo modello tridimensionale non esaurisce né le sue potenzialità né i suoi scopi e utilizzi. D’altra parte, la risposta dell’Accademia della Crusca conclude affermando che «[...] importante, ai fini della comunicazione scientifica, è il mantenimento dell’univocità espressiva [che, n.d.r.] non si ottiene esclusivamente attraverso scelte lessicali [e che, n.d.r.] nei fatti: i contesti in cui i termini [...] ricorrono, caratterizzati da alto specialismo, sono di per sé disambiguanti».

Tassonomie - Tesauri – Glossari

Nel programma PRIN 2017, come accennato, l'attenzione si è spostata dal BIM unico e generale del caso studio alla costruzione di banche dati relazionali e interoperabili contenenti le informazioni e i dati relativi all'oggetto della modellizzazione, cui collegare diversi modelli BIM specifici e parziali. Ci si muove sempre, quindi, nell'ambito dei processi di modellizzazione della conoscenza e dei processi progettuali, realizzativi e gestionali. Il problema della modellizzazione, peraltro, è strettamente legato alla possibilità di classificare, nominare e ordinare gli elementi o enti che compongono l'oggetto, o gli oggetti e le realtà che si intendono modellizzare. In questo senso, sono essenziali le tassonomie, i tesauri e in parte i glossari che fissano la semantica necessaria al processo, ossia i significati dei termini linguistici utilizzati. Per arricchire e rendere utilizzabile la semantica, tuttavia, si deve passare a modelli concettuali e a teorie logiche. In generale, alla luce dei precedenti chiarimenti, un modello concettuale si riferisce sempre a una particolare area di conoscenza o di attività, chiamata dominio. Il modello rappresenta, quindi, le entità del dominio, le relazioni che intercorrono fra queste, espresse sotto forma di attributi (proprietà) delle entità e i valori che questi attributi possono avere. Inoltre, è possibile individuare specifiche regole che riguardano le classi, gli attributi e le loro relazioni, arrivando in tal modo alle ontologie propriamente dette.

Ontologie e web-semantico

Un'ontologia, secondo le definizioni più diffuse e accettate, è una descrizione formale ed esplicita di un determinato dominio di interesse. È e deve essere formale, ossia simbolica e meccanizzabile (automatizzabile, digitalizzabile) ed esplicita, ossia comprendere elenchi estensionali di frammenti di conoscenza. Infine, un'ontologia è di dominio perché è ristretta a un determinato sottoinsieme dello scibile e dell'operabile, affrontato da uno specifico punto di vista. Nel caso affrontato dalla unità di ricerca PRIN di Genova, il dominio è costituito da un edificio storico, con la sua storia, i suoi elementi e strutture, ma anche il suo stato di conservazione o i progetti che lo investono e la loro realizzazione. Un'ontologia, in definitiva, è una descrizione in quanto è una forma di rappresentazione della conoscenza. Anche un modello BIM presuppone l'esistenza di classificazioni di parti, elementi, proprietà, attributi e relazioni, all'interno dell'edificio da modellizzare, ma non si configura come un reale e compiuto sistema di ontologie e, soprattutto, fa attualmente riferimento a sistemi chiusi, standardizzati e preordinati di elementi, visti i software commerciali disponibili per realizzarlo. Per questa ragione, spostare l'attenzione verso le ontologie costituisce un cambio di

prospettiva importante che consentirebbe di costruire un modello aperto alle infinite variabilità che caratterizzano un edificio storico, la sua conoscenza e anche il progetto per il suo restauro e la sua successiva gestione. In questa direzione, spinge anche lo sviluppo del cosiddetto web-semantic, da cui possiamo trarre ulteriori spunti di riflessione per indirizzare la nostra attività di ricerca e di modellizzazione in modi aggiornati ed efficaci.

Un documento del Consiglio Nazionale delle Ricerche¹⁰, firmato da Giovanni Canfora, Daniela Di Fatta, Giovanni Pilato, afferma che «Attualmente, Internet si presenta come un enorme contenitore di dati di vario genere, in cui le informazioni sono espresse senza fornire indicazioni sui loro significati, il che ne impedisce un'interpretazione automatica e rende imprescindibile l'apporto umano». Per ovviare a questa situazione di disordine e di potenziale inefficacia di quanto la rete potrebbe, invece, contribuire all'incremento della conoscenza e delle attività umane, gli autori affermano che: «Il Web Semantico, mediante una serie di linguaggi, si prefigge di attribuire un significato alle informazioni, in modo da permettere la realizzazione di applicazioni automatiche, che possano interpretare i dati»¹¹. Sappiamo, tuttavia, che le relazioni tra informazioni e dati non sono semplici né lineari, univoche o determinate e che, inoltre, le informazioni debbono essere interpretate per divenire dati e che questi ultimi, di conseguenza, non sono per nulla "dati", ossia semplicemente consegnati come certi, fissi e indubitabili a chi li dovrà utilizzare. Non casualmente, per gli autori del documento «Un ruolo fondamentale, in tale contesto, è svolto dalle ontologie che permettono di rappresentare i significati dei dati di una determinata area di conoscenza, identificando le proprietà e le relazioni esistenti fra loro». Sulle ontologie, in particolare, hanno lavorato a scala urbana le unità di ricerca PRIN di Roma e Bologna, come si desume da altri saggi della rivista a cui si rimanda. Le unità di Milano e Genova, come anticipato, hanno invece lavorato a livello architettonico e sondando le possibilità di realizzare alcuni prototipi delle cosiddette "IFC" per il Patrimonio culturale costruito, comunque strettamente connesse con il mondo delle ontologie.

Industry Foundation Classes (IFC)

Una "IFC", in senso generale, è concepita e costruita per descrivere dati di diversa natura relativi all'edilizia e sull'industria delle costruzioni. Ogni IFC deve essere, per definizione, specifica del formato di file aperto e neutrale, rispetto alla piattaforma in cui è inserita. Per questo, essa si presenta

10. Vedi CANFORA, DI FATTA, PILATO 2004.

11. Vedi per quanto riguarda il web-semantic, anche SADEGHINEKO, KUMAR 2021.

come un formato di file basato su oggetti e destinato a facilitare l'interoperabilità tra banche dati nel settore dell'architettura, dell'ingegneria e delle costruzioni (AEC). L'IFC è, quindi, la definizione di un formato standard per descrivere un Building Information Model, perché intende facilitare la collaborazione e l'interazione tra informazioni e operatori diversi coinvolti nel processo di redazione del progetto e di gestione del cantiere e della vita successiva del bene costruito. Le IFC rispondono a uno standard internazionale ufficiale denominato ISO 16739-1:2018, Gestito da BuildingSmart. Una IFC definisce, a tal fine, come dovrebbero essere le informazioni necessarie al processo edilizio e come dovrebbero essere forniti/archiviati i dati relativi di tutte le fasi del ciclo di vita di un progetto di nuova costruzione e, in prospettiva, anche di intervento su edifici esistenti. Una IFC riguarda, in sostanza, le proprietà del singolo oggetto e l'insieme di più IFC dovrebbe coprire tutte le proprietà di tutti gli oggetti (parti, componenti, elementi) coinvolti in un progetto edilizio e architettonico. Ciascuna IFC, peraltro, può contenere/riguardare "pochissime informazioni" o il "tutto", dipendentemente dal grado di affinamento, approfondimento e complessità del processo affrontato, sempre aggiornabili all'interno del BIM. La ricerca PRIN 2017 ha inteso esplorare la possibilità di creare alcune specifiche IFC in relazione a Palazzo Belimbau, con particolare riguardo alla volta dell'atrio monumentale e alle sue decorazioni, sia dal punto di vista conoscitivo sia in ambito progettuale e di cantiere, oltre che al sistema degli infissi storici e al loro recupero.

Riduzionismo e Olismo

In questo percorso, come in ogni ricerca, tuttavia, occorre fare i conti con due apparentemente opposte linee di pensiero e di azione. In ogni tentativo di comprendere e governare l'insieme delle informazioni e dei dati necessari in ogni fase di un processo di intervento sull'esistente, infatti, sembrano affrontarsi modi di concepire la sua analisi riconducibili a due visioni filosofiche ed epistemologiche alternative: una di natura riduzionista e l'altra di fondamento olistico. Riduzionismo e olismo non possono certo essere assunti in modo netto come radicalmente alterativi di pensare e agire. Occorre, però, essere consapevoli che, anche se in modi non espliciti, essi condizionano e/o dirigono il nostro pensare e operare. Non si tratta di assumere uno solo dei due orizzonti come esclusivo ma, più propriamente, di governarne premesse ed esiti all'interno del percorso di ricerca, onde evitare indebite forzature o improprie semplificazioni.

Per l'Enciclopedia Treccani online, Il Riduzionismo costituisce una

«[...] concezione epistemologica che tende a formulare concetti e linguaggio di una teoria scientifica nei termini di un'altra teoria considerata più fondamentale. Nel 20° sec. particolare attenzione al r. è stata rivolta dalla filosofia della

scienza di orientamento neopositivistico che [...] lo ha concepito nella forma di una riduzione di una teoria a un'altra considerata più comprensiva»¹².

A questa definizione di carattere generale, si può affiancare l'osservazione per cui un atteggiamento di tipo riduzionista, riguardo ai processi e ai meccanismi della conoscenza, si fonda sulla convinzione che un fenomeno o un oggetto complesso possa essere compreso solo attraverso la sua riduzione in parti e componenti elementari e dominabili. In fondo, quindi, ogni tassonomia e ogni ontologia fa appello, almeno in parte, a un atteggiamento di tale natura.

Ad esso sembra opporsi radicalmente ogni concezione di tipo olistico. Sempre per l'Enciclopedia Treccani, l'Olismo rappresenta una «Tesi secondo cui il tutto è più della somma delle parti di cui è composto. Questo principio generale è stato variamente articolato in diverse discipline»¹³. Ciò, in coerenza con la radice etimologica del termine, derivato dal greco ὅλος con il significato di "tutto, intero, totale". In questa visione, un fenomeno o un oggetto complesso debbono essere compresi nella loro totalità, con atto sintetico e unitario, evitando di ridurlo o smembrarlo in parti o elementi componenti più semplici. In questo senso, però, le forme di analisi e diagnosi applicabili allo studio di un edificio esistente, ricorrendo spesso a tassonomie, glossari e a varie forme di anatomizzazione, sembrano piuttosto fare appello a una concezione di tipo riduzionista. Così sembra avvenire anche nella costruzione di un suo modello digitale. Ma l'edificio è ben più che semplice somma di materiali, elementi e componenti elementari o di base. Contano, almeno altrettanto se non di più, le complesse relazioni non solo fisiche tra di essi, istituite all'atto della concezione, della progettazione e della costruzione, variamente modificate nel corso della storia successiva del manufatto. Il valore dell'intero, pertanto, è maggiore della somma dei valori delle singole parti. La comprensione di questa particolare natura dell'edificio richiede, dunque, l'adozione di un atteggiamento di natura olistica. Tutto ciò rende difficile la costruzione di modelli affidabili ed efficaci, che non disperdano o riducano la complessità dei manufatti architettonici a semplici librerie di oggetti standardizzati o a serie di relazioni semplificate tra essi, ma ne mantengano la ricchezza e la complessità.

12. Voce "*Riduzionismo*", in «Enciclopedia Treccani online», <https://www.treccani.it/enciclopedia/riduzionismo>, (ultimo accesso 12 dicembre 2023).

13. Voce "*Olismo*", in «Enciclopedia Treccani online», <https://www.treccani.it/enciclopedia/olismo> (ultimo accesso 12 dicembre 2023).

Il fantasma dei dati (il fantasma dei fatti)

Come accennato, l'attenzione della ricerca, dal primo programma PRIN del 2011 a questa nuova fase, si è spostata dal modello BIM (o HBIM)¹⁴ generale, in grado di governare tutto il processo di conoscenza, progettazione, cantierizzazione e gestione del bene architettonico, a un modello più agile e leggero. Al suo centro dovrebbero esservi, per accordo generale tra i ricercatori e sulla scorta della più recente letteratura e sperimentazione in materia, una o più "banche dati" tematiche e settoriali, eventualmente integrate con sistemi GIS, tra loro altamente interoperabili. Ad esse, si potrebbero riferire diversi modelli BIM (o HBIM), dedicati e settoriali, tendenzialmente meno pesanti e più facilmente gestibili in relazione alle richieste ed esigenze del processo. Se si deve valutare il comportamento energetico di un edificio, ad esempio, con il ricorso ai software certificati disponibili, non importa inserire nel modello l'esatta geometria di una volta, con le sue eventuali deformazioni e discontinuità come derivante, ad esempio, da un rilievo laser scanner di alta precisione. All'opposto, per la valutazione della stabilità o dello stato di conservazione della volta, un tale tipo di rilievo è essenziale e deve essere inserito nel modello, cosa per nulla automatica e di semplice attuazione.

Tuttavia, anche nel nuovo percorso non mancano difficoltà e trappole. Anzitutto, si è detto che, se le banche dati sono più di una, occorre che esse siano interoperabili e ciò costituisce un problema. I software comunemente utilizzati, infatti, sono di natura commerciale, coperti da diritti e solo in minima parte adattabili. Per questo, la ricerca spinge verso un sempre più diffuso utilizzo di software open-source. La quantità e qualità di standard internazionali in questo senso aiuta, ma non facilita il compito. Le stesse "IFC" sono tuttora "a pagamento" e la sfida, quindi, è quella di andare verso una programmazione libera da diritti e royalties, agendo sulle ontologie e seguendo un percorso che appare ancora lungo e complesso. A questa sfida, peraltro, intende almeno in parte rispondere il programma PRIN qui presentato, pur consapevoli delle sue difficoltà.

Il secondo problema è che i "dati" non sono affatto dati, ossia immediatamente disponibili alla semplice raccolta e catalogazione, quasi fossero fissi, oggettivi o oggettivabili. Anzitutto, servono le informazioni. Occorre poi chiarire cosa sia reale e utile informazione, come raccoglierla e poi come interpretarla affinché possa divenire un "dato" per il modello che si intende costruire. In questo senso, occorre evitare ciò che successe nella storiografia positivista ottocentesca ai suoi albori. Per superare il mito o la cronaca e conferire alla Storia la dignità di una Scienza, infatti, alcuni storici pensarono che essa potesse ridursi a una somma di semplici fatti. Il grande storico tedesco Leopold

14. Vedi, per le particolarità dell'HBIM, DELLA TORRE, ORENI 2023, pp. 8-13.



Figura 1. Palazzo Belimbau (foto S. Musso, 2023).

von Ranke, tuttavia, negò presto questa possibilità e quella impostazione del lavoro dello storico è stata più volte e da più parti revocata in dubbio. Ormai gli storici concordano che i semplici e puri fatti non esistono e che sono pur sempre costruzione dello studioso che indaga una sezione particolare del passato attraverso varie fonti e con diversi metodi o accenti. La storia oggettiva non esiste. Per questo, occorre evitare l'illusione che il passaggio alle banche dati risolva di per sé i problemi affrontati dalla modellizzazione del costruito esistente e dei processi che riguardano la sua conoscenza e la progettazione-gestione del suo futuro. Al fantasma del "fatto storico", occorre non sostituire quello del supposto "dato di conoscenza".

Alcune riflessioni

La quantità di risorse intellettuali, tecniche e operative, ma anche economiche e di tempo investite nello sviluppo del programma PRIN 2017 qui presentato ci porta a ritenere che:

- solo un radicale mutamento di mentalità può consentire di adottare in modo consapevole, prevenendo conseguenze imprevedibili e pericolose, le tecnologie BIM nell'ambito del patrimonio architettonico esistente e del suo restauro;
- la tecnologia BIM non può garantire la totale copertura delle esigenze qui brevemente richiamate e ciò spinge all'adozione di più sistemi integrati (database relazionali, GIS...) che, in ogni caso, debbono essere davvero interoperabili e ciò costituisce ancora un problema;
- per evitare il rischio di sostituire un modello virtuale (digitale) all'edificio reale, occorre lavorare su ogni specifico manufatto e ciò appare in radicale conflitto con la logica parametrica di qualsiasi BIM finora sperimentato per edifici di nuova costruzione, dove tutto può essere scelto/deciso a priori, facendo riferimento a librerie (insiemi) prestabilite di materiali, elementi, componenti, parti, e così via;
- ogni elemento costruttivo proveniente dal passato, anche se simile o originariamente inteso come identico ad un altro, all'opposto, è inevitabilmente diverso da esso, salvo ricorrere all'uso di specifiche "Istanze" che nel software utilizzato consentono di individualizzare l'elemento, differenziandolo da quelli della medesima classe, ma ciò rischia di rendere ingestibile il modello e il processo;
- ciò significa che, tale tipo di lavoro può avere successo solo se un utente decide di utilizzare la tecnologia BIM come strumento principale per governare il futuro del proprio patrimonio costruito storico, investendo le risorse necessarie nella realizzazione di un sistema di gestione

delle informazioni e dei processi di tipo open-source, ma anche e soprattutto nella formazione di personale in grado di garantire l'utilizzo e il continuo aggiornamento del modello;

- solo in questo caso, i fattori di "economia di scala" possono giustificare la fatica del lavoro e ciò implica un investimento tecnico, culturale ed economico che possa garantire un futuro risparmio di altre risorse, evitando perdite di informazioni, ripetizione di indagini, analisi e diagnosi, o la mancata registrazione di ogni intervento che, nel tempo, modifica lo stato dei beni interessati;
- occorre, infatti, agire in modo che la conoscenza si stratifichi e permanga nel tempo, consentendo un reale, coerente e utile processo di accumulazione e di consapevolezza circa lo stato reale di un edificio appartenente al Patrimonio Culturale;
- per questo, la ricerca è stata indirizzata alla modellizzazione 3D delle informazioni (BIM) con diversi e progressivi passaggi di affinamento, approfondimento e arricchimento, evitando la costruzione di un modello unico e universale (non semplicemente visivo) anche perché alcune informazioni (geometriche, materiali, costruttive, storiche, ecc.) possono essere acquisite solo in tempi diversi e lungo l'intero processo che si intende governare.

Occorre attentamente evitare, infine, che l'adozione di questo tipo di strumenti possa dar vita ad una sorta di atteggiamento passivo dei futuri utilizzatori. Se si confonde un BIM con una sorta di "sistema esperto" o un "decision making tool" in grado di auto-apprendere o generare conoscenza, come la "Artificial Intelligence" sembrerebbe consentire o preconizzare, si può ingenerare un abbassamento della soglia di attenzione di chi utilizza il modello (tecnico, progettista, amministratore o altri). Ciò determinerebbe inaccettabili automatismi nell'utilizzo e nella gestione del sistema, traendo da esso conclusioni e decisioni che richiedono comunque una chiara e costante assunzione di responsabilità.

La costruzione di ogni modello, infatti, impone l'attenta e continua valutazione di eventuali guadagni e perdite, per non creare un modello che risulti totalmente "altro" dall'edificio reale. A fronte di possibili guadagni, in termini di semplificazione ed efficacia della gestione delle informazioni, nel tempo e nello spazio, di riduzione dei margini di discrezionalità decisionale, in tutte le fasi del processo conoscitivo e progettuale, infatti, possono emergere anche reali rischi e conflitti. Essi riguardano anzitutto la difficile gestione di informazioni di diversa affidabilità e dettaglio, in costante aumento o variazione nel tempo, con la necessità di mantenere la memoria storica del processo conoscitivo-progettuale e il suo aggiornamento continuo. Emerge, infine, la necessità di selezionare eventuali informazioni ridondanti, da sacrificare o porre in secondo piano e di creare più modelli

dedicati, tematici e parziali. A ciò consegue, tuttavia, la possibile dispersione di dati e la perdita di informazioni essenziali per cogliere la specificità e la irripetibile unicità di singoli elementi e del manufatto nel suo complesso.



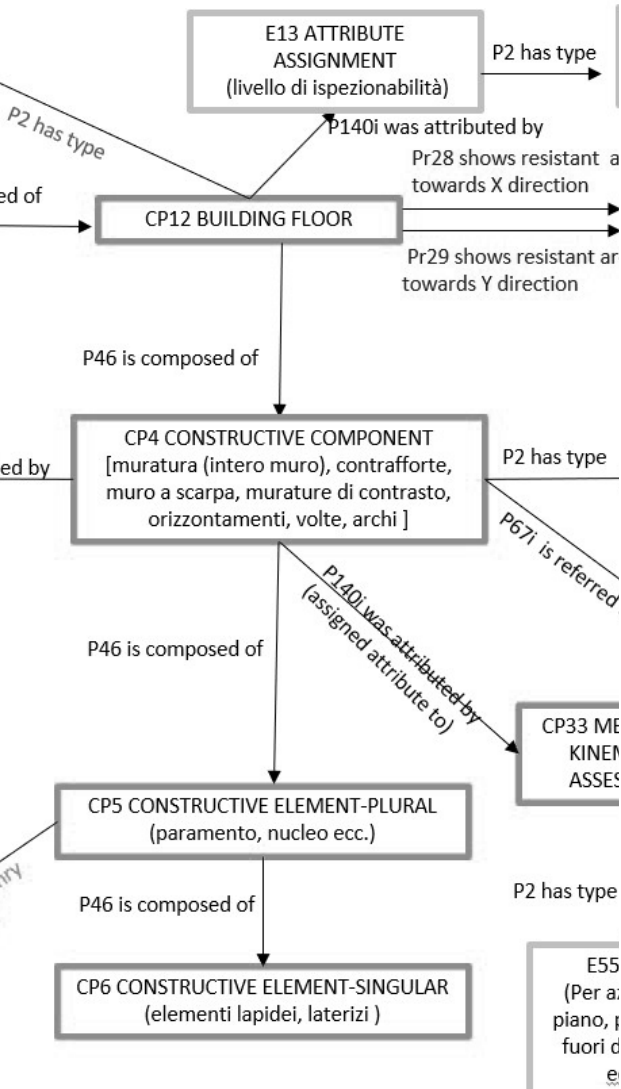
Figura 2. Rilievo Laser Scanner degli esterni di Palazzo Belimbau (elaborazione C. Battini, 2023).



Figura 3. Rilievo con Z-Scan della volta dell'atrio (elaborazione C. Battini, 2023).

Bibliografia

- ACIERNO ET ALII 2017 - M. ACIERNO, S. CURSI, D. SIMEONE, D. FIORANI, *Architectural heritage knowledge modelling: An ontology-based framework for conservation process*, in «Journal of Cultural Heritage», 2017, 24, pp. 124-133. DOI: 10.1016/j.culher.2016.09.010.
- CANFORA, DI FATTA, PILATO 2004 - G. CANFORA, D. DI FATTA, G. PILATO, *Ontologie e Linguaggi Ontologici per il Web Semantico*, Consiglio Nazionale delle Ricerche, Istituto di Calcolo e Reti ad Alte Prestazioni, aprile 2004, disponibile online: <https://intranet.icar.cnr.it/wp-content/uploads/2016/11/TechReport-04-06.pdf> (ultimo accesso 11 dicembre 2023).
- CASANOVA, MUSSO 2022 - M. CASANOVA, S.F. MUSSO, *Palazzo Belimbau a Genova. Rilievi, studi e progetto di restauro*, in «Recupero e Conservazione», 2022, 171, pp. 16-23.
- CRESTI N.D. - S. CRESTI, *Un dubbio "scientifico": modellare o modellizzare?*, in «Accademia della Crusca», disponibile online: <https://accademiadellacrusca.it/it/consulenza/un-dubbio-scientifico-modellare-o-modellizzare/1136> (ultimo accesso 11 dicembre 2023).
- DELLA TORRE, ORENI 2023 - S. DELLA TORRE, D. ORENI, *HBIM per la conservazione e il restauro*, in C. BOLOGNESI, *BIM Modelling*, Il Sole 24 Ore, Milano 2023.
- DELLA TORRE, RUSSO, 2023 - S. DELLA TORRE, V. RUSSO (coord.), *Restauro dell'architettura. Per un progetto di qualità*, Quasar, Roma 2023.
- DI BIASE 1993 - C. DI BIASE, *Strada Balbi a Genova, Residenza aristocratica e città*, Sagep, Genova 1993.
- GROSSI BIANCHI, POLEGGI 1975 - L. GROSSI BIANCHI, E. POLEGGI, *La strada del Guastato: capitale e urbanistica genovese agli inizi del Seicento*, in A. CARACCILO (a cura di), *Dalla città preindustriale alla città del capitalismo*, Il Mulino, Bologna 1975.
- GROSSI BIANCHI, POLEGGI 1986 - L. GROSSI BIANCHI, E. POLEGGI, *Una città portuale nel medioevo*, SAGEP, Genova 1986.
- MAGNANI 2014 - L. MAGNANI, *Città Ateneo Immagine*, Genova University Press, Genova 2014.
- MAGNANI 2025 - L. MAGNANI (a cura di), *Palazzo Belimbau. I dipinti restaurati*, Arcadia, Genova 2015, pp. 22-23.
- MUSSO, PRETELLI 2020 - S.F. MUSSO, M. PRETELLI (coord.), *Restauro: Conoscenza, Progetto, Cantiere, Gestione*, Quasar, Roma 2020.
- MUSSO 2017 - S.F. MUSSO, *Architectural Restoration, I.C.T. and B.I.M. The "Albergo dei Poveri" In Genoa as a Case Study*, in S. DELLA TORRE (a cura di), *Built Heritage Information Modelling/Management BHIMM*, Edizioni MREADY – Ingenio, Milano 2017.
- PASTOR 2004 - C. PASTOR, *Palazzo Francesco De Ferrari*, in *Il restauro dei palazzi dei Rolli*, supplemento di «ARKOS», 2024, 7, pp. 134-139.
- POLEGGI 1998 - E. POLEGGI, *Una reggia repubblicana. Atlante dei palazzi di Genova 1576-1664*, Allemandi, Torino 1998.
- RATTI 1780 - C.G. RATTI, *Istruzione di quanto può vedersi di più bello in Genova in Pittura, Scultura ed Architettura*, Gravier, Genova 1780.
- SADEGHINEKO, KUMAR 2022 - F. SADEGHINEKO, B. KUMAR, *Application of semantic web ontologies for the improvement of information exchange in existing buildings*, in «Construction Innovation: Information, Process, Management», 22, 2022, pp. 444-464. DOI: <https://doi.org/10.1108/CI-03-2021-0058>.



The CPM Ontological Model for Interoperability in Restoration and the Formal Representation of Carta del Rischio

Donatella Fiorani, Marta Acierno ('Sapienza' Università di Roma)

The article presents the outcome of the work aimed at defining an ontological model for the representation of the Risk Map for Historic Centres with a view to investigating what further areas can be reached by enhancing the interoperability of the system. Starting from the Conservation Process Model (CPM), conceived as an extension of the CIDOC-CRM, for the conceptual representation of the process of architectural conservation, the research has developed the formalization of new classes and properties, to complete the existing ones, and the definition of a series of other entities for the representation of the more specific aspects, collected in a domain ontology (CdRont). The specific needs of representation have led to the configuration of a model with a triple structure deriving from the three macro areas represented: the depiction of the built heritage, the description of its transformations and the critical assessment of the architectural consistency with respect to vulnerability. This structure is composed of a system of mereological and topological relationships, aimed at describing architecture and the connections with its context, of specific properties that explain the urban and architectural features through vocabularies consolidated within the discipline and, finally, of the use of the inferential logical capacity of ontology, capable of integrating quantitative, numerical information, with interpretative data.

Historic Preservation Foundation Classes

Procedure e ontologie per l'interoperabilità nella tutela del patrimonio storico architettonico

www.archistor.unirc.it

ArchHistoR EXTRA 12 (2024)

ISSN 2384-8898

Supplemento di ArchHistoR 19/2023

ISBN 978-88-85479-39-5

DOI: 10.14633/AHR436



Il modello ontologico CPM per l'interoperabilità nel restauro e la rappresentazione formale della Carta del Rischio

Donatella Fiorani, Marta Acierno

Introduzione

La costruzione di un modello ontologico che voglia costituirsi quale fondamento condiviso universale rappresenta un'attività complessa e potenzialmente illimitata. La formalizzazione del modello, infatti, deve consentire l'effettiva interoperabilità dei sistemi digitali curandone l'organizzazione interna e istituendo opportuni collegamenti con altre ontologie contigue. Si tratta, quindi, di governare la sfida, costantemente rinnovata, del confronto multiculturale, multidisciplinare e multitemporale.

Si vuole innanzitutto superare l'orizzonte ristretto offerto da soluzioni puntuali di volta in volta adatte a contesti applicativi contingenti, perseguendo piuttosto l'ambizioso obiettivo di offrire una logica concettuale convincente e condivisa ad ampio spettro. Occorre poi confrontarsi e relazionarsi con modelli formali avanzati di carattere più ampio e generale (collegamento 'verticale') e modelli concettuali specifici legati a domini prossimi a quello d'interesse (collegamento 'orizzontale').

Il lavoro sin qui effettuato¹ ha attraversato diverse tappe di questo percorso. Nato inizialmente

La stesura dell'articolo risulta riferibile a D. Fiorani per la parte introduttiva e *Centri storici, Unità e Spazi Urbani* e a M. Acierno per *La formalizzazione della scala architettonica: Unità Edilizia e Fronte Edilizio* e le conclusioni.

1. Il presente saggio raccoglie lo stato delle ricerche all'epoca della consegna del testo (novembre 2023). Il lavoro è stato successivamente ripreso ed elaborato in occasione della redazione di una monografia dedicata all'ontologia *Conservation Process Model*, vedi ACIERNO, FIORANI 2025. Data la natura dello studio svolto, si è ritenuto utile comunque lasciare traccia nel testo dei passaggi concettuali effettuati.

come modello concettuale ‘libero’, basato sulla formalizzazione di entità e processi legati al dominio dell’architettura storica, con particolare riferimento alle necessità del restauro², il *Conservation Process Model* (CPM) è stato successivamente indirizzato all’allineamento con l’ontologia ad oggi più sviluppata nel campo della conservazione, il CIDOC-CRM³. Questa scelta, motivata dalla volontà di consentire la massima interoperabilità dei diversi sistemi digitali riguardanti l’architettura storica, ha richiesto un periodo di studio e verifica di quanto sino ad allora sperimentato, oltre che la rinuncia ad alcune proposte che erano inizialmente apparse convincenti e condivisibili.

Nello specifico, è stata verificata l’applicazione, nel campo dello studio e della gestione conservativa degli edifici storici, della formalizzazione proposta dal CIDOC-CRM *core*, ontologia nata, come si sa, da un prioritario interesse legato alle problematiche conservative e gestionali poste dagli oggetti museali. Sono state poi vagliate parallelamente le estensioni del CIDOC-CRM sino ad oggi formulate, riconoscendo maggiori contiguità con i contenuti del CRMsci (*Scientific Observation Model*) e del CRMba (*Model for Archaeological Building*), nonché la necessità di collegamento con il CRMinf (*Argumentation Model*)⁴. Solo al termine del lavoro svolto per la formalizzazione della Carta del Rischio, in occasione della revisione finale del *Conservation Process Model* (CPM) per la sua definitiva pubblicazione⁵, nel rivedere la logica complessiva della modellazione per il restauro in architettura, si è deciso di sostituire alcune classi formalizzate dal CRMsci e dal CRMba con nuove classi autonome specificatamente legate all’architettura⁶.

Il sistema di lavoro originariamente utilizzato, seppur elaborato guardando alle problematiche di gestione dati riferiti all’architettura storica e alla sua conservazione tramite piattaforme BIM, aveva privilegiato una modellazione di tipo *top-down*, attenta agli scenari generali e alla metodologia di lavoro del restauro.

La valutazione della fattibilità e della modalità d’uso delle ontologie in relazione a strumenti informativi esistenti offre un’importante possibilità di verifica bottom-up delle proposte avanzate. In particolare, nell’ambito della ricerca *Historic Preservation Foundation Classes: Procedures and*

2. Vedi: ACIERNO, FIORANI 2017a; ACIERNO, FIORANI 2017b; ACIERNO ET ALII 2017.

3. Vedi, <https://www.cidoc-crm.org/> (ultimo accesso 12 dicembre 2023).

4. *Ibidem*.

5. Vedi ACIERNO, FIORANI 2025.

6. Dal lungo e paziente lavoro di revisione da punti di osservazione diversi si è quindi definitivamente consolidata la modellazione della Carta del Rischio che, rispetto a quanto presentato nel corso del Seminario *PRIN 2017 HPFC Historic Preservation Foundation Classes* (Bologna 17-17 gennaio 2023), ha eliminato le classi attinte dal CIDOC CRMba.

*Ontologies for the Interoperability in Historic Preservation (HPFC)*⁷, si è deciso di proseguire il lavoro sino ad allora sviluppato, in coerenza con gli obiettivi dello studio, affrontando la formalizzazione della piattaforma Carta del Rischio del Ministero della Cultura in riferimento alla schedatura dei Centri Storici⁸. Questo lavoro è alla base della soluzione proposta per i problemi di interoperabilità fra sistemi informativi dedicati alla documentazione e alla rappresentazione dell'architettura storica alla scala urbana, consentendo la trasmissione dei dati fra sistemi diversi, in particolare fra GIS e BIM⁹. Tale interoperabilità potrebbe permettere, fra l'altro, il passaggio di informazioni dalle schede di Carta del Rischio al modello 3D BIM, contribuendo all'uniformazione dei dati utilizzati e utilizzabili per l'intero tessuto storico-urbano, e dal BIM alla Carta del Rischio, consentendo l'aggiornamento costante dei parametri per il calcolo della vulnerabilità e della trasformazione degli edifici (fig. 1).

La formalizzazione della Carta del Rischio è stata pertanto sviluppata utilizzando e integrando fra loro tre tipi di ontologie:

- CIDOC-CRM core e la sua estensione CIDOC-CRMInf: utilizzate per modellare classi e proprietà al cui interno è possibile istanziare senza problemi numerosi dati della Carta del Rischio¹⁰.
- CPM: ontologia di dominio utilizzata per modellare classi e proprietà non esistenti nelle ontologie CIDOC, particolarmente rappresentative della formalizzazione nel restauro architettonico, ma utilizzabili anche in altri ambiti applicativi della digitalizzazione per i beni culturali. Le nuove classi del CPM sono state comunque concepite come sottoclassi del CIDOC-CRM core, così da mantenere la stretta relazione con l'ontologia madre di riferimento¹¹;

7. La ricerca fa capo a un Progetto di Rilevante Interesse Nazionale 2017.

8. La schedatura dei centri storici nella Carta del Rischio, progettata e pubblicata dal punto di vista dei contenuti scientifici in FIORANI 2019, è stata ingegnerizzata e dotata di apposite normative e studi esemplificativi, vedi: FIORANI *ET ALII* 2022; FIORANI *ET ALII* 2023.

9. Tale passaggio è stato oggetto di alcune applicazioni puntuali, non pienamente sviluppate dal punto di vista semantico e viceversa particolarmente attente al possibile impiego di applicativi diversi, come per esempio in BAIK, YAAGOUBI, BOEHM 2015. Sono state anche elaborate analisi delle relazioni istituibili fra GIS e HBIM, anche con proposte di *mapping*; uno dei contributi più recenti, che dà conto delle problematiche e dello stato dell'arte generale relativo agli standard City GML e IFC è COLUCCI *ET ALII* 2020.

10. Le classi e le proprietà CIDOC-CRM core, numerate progressivamente, sono definite da nomi che ne lasciano intendere il contenuto rispettivamente preceduti dalle sigle E e P.

11. Le classi e le proprietà CPM, numerate progressivamente, sono definite da nomi che ne lasciano intendere il contenuto rispettivamente preceduti dalle sigle CP e Pc.

- CdRont: ontologia dedicata di carattere locale, raccoglie proprietà necessarie unicamente a istanziare voci specifiche della Carta del Rischio¹².

Si precisa che la modellazione ontologica della CdR proposta si riferisce alla formalizzazione dei modelli schedografici e delle modalità di calcolo della vulnerabilità (e della trasformazione) dell'edificato urbano, ovvero di una parte dei contenuti della piattaforma, che ospita al suo interno altri modelli schedografici in grado d'illustrare ulteriori tipi di patrimonio e lavora in maniera interoperabile con altri sistemi per attingervi informazioni in merito a diversi tipi di pericolosità¹³. Gli argomenti affrontati sono infatti i più pertinenti agli interessi e alle specificità investigative degli architetti restauratori e i più vicini alle tematiche relative all'impiego di altri sistemi digitali, primo fra tutti il BIM.

Il lavoro di formalizzazione si accompagna quindi a filoni paralleli di ricerca più direttamente rivolta all'applicazione operativa su un caso di studio prescelto, corrispondente all'area della Lungara, un tratto urbano nella porzione occidentale del centro storico di Roma. La zona è stata infatti oggetto di schedatura della CdR, limitatamente ai modelli dedicati alle Unità Urbane, e di una modellazione BIM¹⁴, con l'obiettivo di verificare la possibilità di trasmettere dati da uno all'altro sistema anche utilizzando le ontologie proposte¹⁵.

12. L'ontologia CdRont contiene classi e proprietà che soddisfano le specifiche necessità di istanziare dati numerici della Carta del Rischio; esse sono definite da nomi che ne lasciano intendere il contenuto rispettivamente preceduti dalle sigle CR e Pr.

13. Si ricorda che il rischio viene definito in funzione della pericolosità del territorio e della vulnerabilità del bene ivi presente, nonché, eventualmente, di un fattore di "esposizione" che esprime problematiche esterne alle caratteristiche specifiche inerenti al territorio e al bene culturale, ma comunque ritenute importanti ai fini della valutazione, vedi FIORANI 2023.

14. In particolare, Maurizio Caperna, Maria Grazia Ercolino e Annarita Martello hanno approfondito l'analisi dell'area di studio prescelta ed effettuato la compilazione dei modelli schedografici in Carta del Rischio relativi al Centro Storico e alle Unità Urbane, mentre Silvia Cutarelli ha lavorato sulla modellazione in BIM della medesima area. La ricerca è integrata dal contributo di Carla Bartolomucci, Adalgisa Donatelli e Claudio Monardo, dedicato all'approfondimento della pericolosità antropica e del *reasoning* legato alla definizione del rischio di perdita per i centri storici tramite algoritmi.

15. Può essere utile evidenziare che, per quanto riguarda la formalizzazione più generale del rischio, si è pensato di aprire un ulteriore percorso di approfondimento, valutando la possibilità di formulare una nuova estensione CIDOC appositamente dedicata. Un primo modello è stato per la prima volta sviluppato in occasione del *54th CIDOC SIG-46th FRBR SIG* (Rome, September 12-16th, 2022) ma la ricerca condotta nel corso di un anno dalle autrici del presente contributo con Anaïs Guillem e Athanasios Velios ha infine prodotto una formalizzazione interamente sviluppata con gli strumenti del CIDOC-CRM core e della sua estensione CRMInf; tale formalizzazione è stata presentata nel corso del *57th CIDOC SIG-50th FRBR SIG* (Marseille, October 9-13th, 2023).

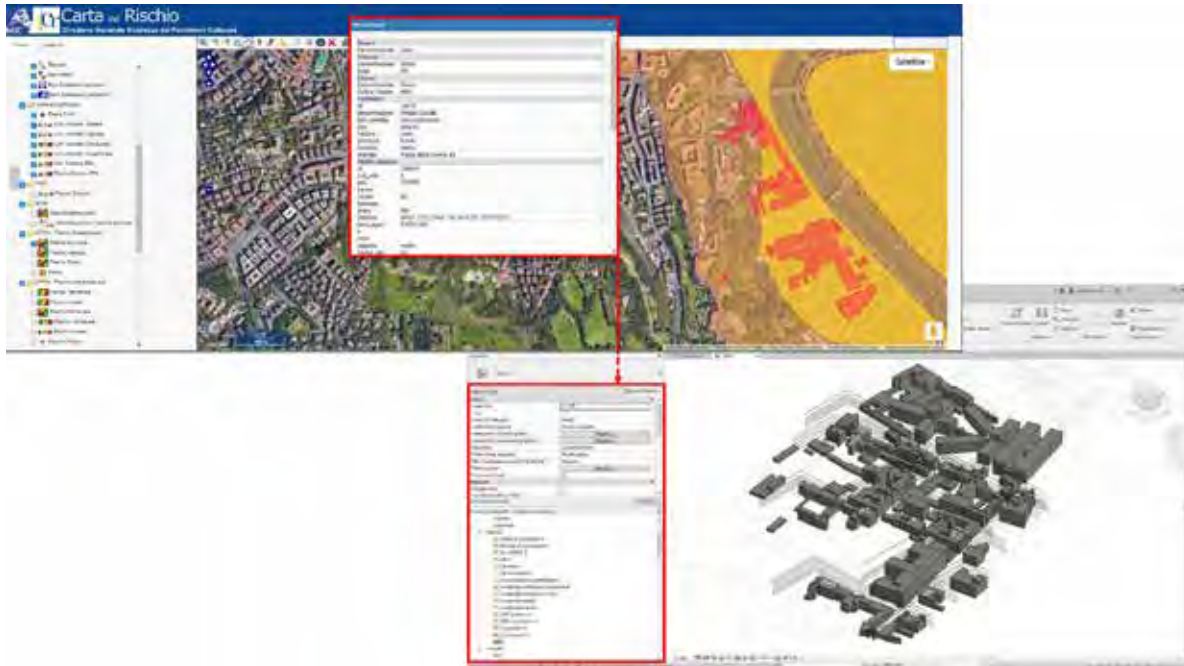


Figura 1. Schermata della Carta del Rischio con la zona di via della Lungara a Roma e immagine del modello BIM della stessa area urbana con le rispettive schede dati relative a Palazzo Salviati. La formalizzazione della Carta del Rischio tramite ontologie mira ad ampliare la possibilità di trasmettere dati da sistemi GIS e BIM (elaborazione D. Fiorani, M. Acierno, 2023).

Nei paragrafi successivi viene pertanto illustrata nei suoi tratti essenziali la formalizzazione dei sei modelli schedografici della Carta del Rischio, con la finalità prioritaria di esplicitare il metodo di lavoro e i passaggi concettuali più importanti.

Centri storici, Unità e Spazi Urbani

La modellazione della scheda Centro Storico della Carta del Rischio utilizza per gran parte classi e proprietà raccolte nel CIDOC-CRM *core* e in alcune delle sue estensioni (fig. 2): la maggior parte dei dati utili a consentirne l'identificazione, la localizzazione, la descrizione delle caratteristiche morfologiche fondamentali, le principali fasi di edificazione e trasformazione e, infine, gli indicatori relativi alla vulnerabilità e alla trasformazione può essere formalizzata tramite queste ontologie già esistenti, con limitate, ma fondamentali per noi, nuove integrazioni.

La prima questione, pertanto, ha riguardato la decisione d'identificare l'oggetto della schedatura, il centro storico (come avverrà per gli altri cinque modelli che consentono la completa descrizione dell'edilizia storica urbana), come nuova categoria a sé e individuarne la specifica gerarchia tramite la definizione di superclasse ed eventuali sottoclassi.

La classe CP21 HISTORIC CENTRE è stata definitivamente istituita, a differenza di quanto proposto in precedenza¹⁶, come sottoclasse di E92 SPACETIME VOLUME¹⁷, condividendo il fine di ricondurre questa entità alle sue caratteristiche morfologiche fisiche e costruttive in riferimento a intervalli temporali diversi. Con tale presupposto, il centro storico (CP21 HISTORIC CENTRE) può essere localizzato in un luogo definito grazie alla proprietà P161 *has spatial projection* che conduce a E53 PLACE, facendo riferimento a un E52 TIME SPAN corrispondente alla data di compilazione della scheda Carta del Rischio.

A partire da queste specificazioni, la maggior parte delle indicazioni relative alla parte "Anagrafica" (localizzazione, denominazione e caratteristiche fisiche del territorio) può essere istanziata utilizzando classi e proprietà CIDOC-CRM *core* (figg. 3-4). Solo la modellazione delle caratteristiche ambientali richiede l'impiego della classe CIDOC-CRMsci S15 OBSERVABLE ENTITY, connessa alla nuova classe CP30 HISTORIC CENTRE attraverso la nuova proprietà Pc1 *is subject to*.

16. In particolare, era stato proposto come superclasse SP2 *Phenomenal Place*, derivata dall'estensione CRMgeo (2015), vedi ACIERNO 2019.

17. I riferimenti a Classi e Proprietà del CIDOC-CRM prendono in considerazione l'ultima versione corrente dell'ontologia, vedi BEKIARI ET ALII 2023.

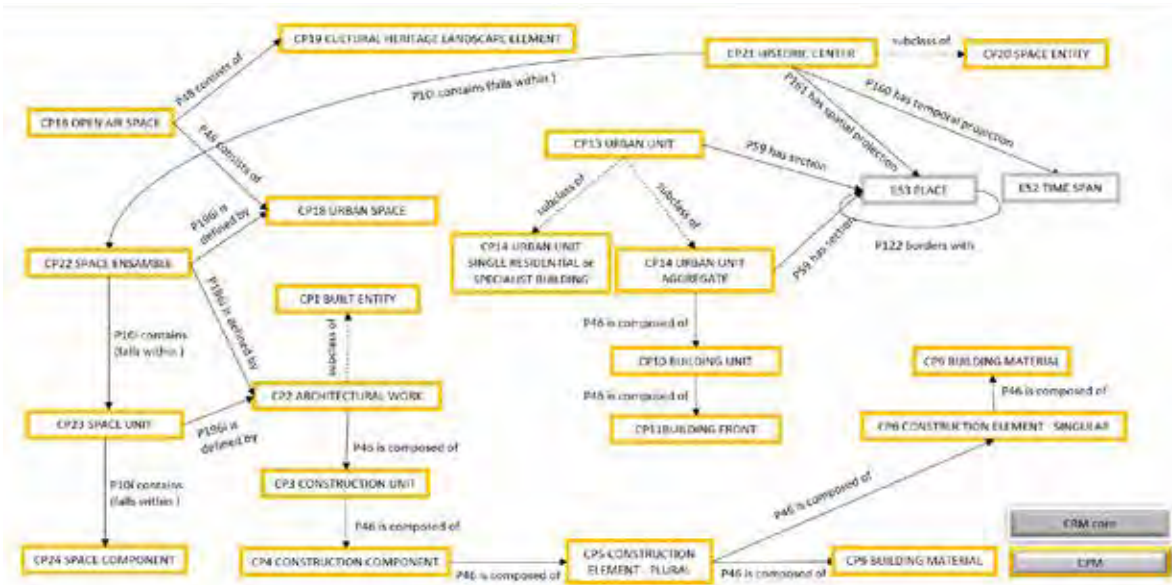


Figura 2. Grafico relativo alle principali classi del CPM dedicate alla definizione delle componenti del centro storico. Molte (ma non tutte) le relazioni fra queste classi sono consentite da proprietà desunte dal CIDOC-CRM core (elaborazione D. Fiorani, M. Acierno, 2023).

Va comunque evidenziato che la modalità di raccolta dei dati, per il centro storico come per tutte le schede della CdR, è strutturata in base alla descrizione delle caratteristiche più evidenti alle diverse scale. Ciò comporta da una parte l'esigenza di strutturare consistenti vocabolari organizzati tassonomicamente¹⁸, dall'altra il frequente ricorso alla classe E55 TYPE, talvolta ulteriormente specificate in sottotipi (E55 TYPE → P2 *has type* → E55 TYPE), e alle proprietà ad essa legate.

Il sottodominio relativo all'anagrafica e alla demografia ha richiesto l'impiego di una nuova proprietà CPM Pc5 *is used by* e di una proprietà dedicata di CdRont; esse consentono di esprimere il numero di abitanti derivante dai censimenti ISTAT in un centro storico inteso come sottoclasse di E92 SPACETIME VOLUME nella modalità che segue (fig. 5):


- CP21 HISTORIC CENTRE → Pc5 *is used by* → E74 GROUP → P2 *has type* → E55 TYPE (abitanti);
- E74 GROUP → P71i *is listed in (lists)* → E32 AUTHORITY DOCUMENT → P4 *has time span* → E52 TIME SPAN;
- E74 GROUP → Pr31 *has number of persons* → E60 NUMBER, con E55 TYPE che specifica il tipo di E32 AUTHORITY DOCUMENT.

L'istanziamento delle componenti costruite del centro storico effettivamente rilevate compilando scheda CdR è consentito dal loro collegamento con la classe E53 PLACE (già relazionata al CP21 HISTORIC CENTRE) tramite la proprietà P59 *has section* mentre, per la descrizione della configurazione urbana, la proprietà inversa P166i *had presence* istituisce il nesso con la classe E93 PRESENCE, permettendo la modellazione delle diverse fasi di realizzazione e di espansione dell'abitato, ognuna delle quali legata a un identificatore, un intervallo temporale ed, eventualmente, una particolare denominazione.

L'articolazione della porzione schedografica dedicata a "Cronologia e fonti" del centro storico è condivisa da tutte le sei schede della Carta del Rischio ed è pienamente "servita" da quanto già formalizzato dal CIDOC-CRM *core*, che del resto condivide gli obiettivi comuni della gestione e della conservazione dei beni culturali (fig. 6).

La classe CP21 HISTORIC CENTRE (come le classi relative a Unità e Spazi Urbani, a Unità e Fronti Edilizi) è legata tramite la proprietà P70 *is documented in* alla classe E32 DOCUMENT (per la quale il CIDOC-CRM *core* permette già di formalizzare le specificazioni di tipologie, attribuzioni critiche e riferimenti temporali). Il già citato collegamento con E53 PLACE consente inoltre di raggiungere,

18. Vedi: ACIERNO 2022; ACIERNO 2023.

Dettaglio Centro Storico 100/101 

[Terminologia](#) | [Vegetazione](#) | [Categorizzazione Urbana](#) | [Elementi Collegati \(200\)](#) | [Categorie](#) | [Fatti](#) | [Strutture Urbane](#) | [Segni](#)

Denominazione	Nome:	Altre Denominazioni:	
Classificazione Regionale (ICZ)		Classificazione Catalogo (ICZ)	
Definizione	Descrizione sintetica:	Categorie Categorie:	Altre:
Attività			
Geografia	Colore:	Utile del Suolo (Censura):	Area (millesimi):
Coordinate (Coordinate Proiettate)	Temperato:	Spazio (Coordinate Proiettate)	
Geologia			
U5 - Rocce marose, marose argilose, argilose e invecce talora contenenti modesta quantità di sabbie U5.1 - Rocce effusive calcareo-calciche, spiccate e talvolta ricche U5.1.1 - Rocce effusive rosse (lava)			
Demografia			
Area di Circonoscimento	2015:	Area del Centro Storico	1988/3
N° Abitanti nel Centro Storico	2005/107	Accesso	Demografia:
Capitale, Sede Comunale?			

Figura 3. Schermata della Piattaforma Carta del Rischio del Ministero della Cultura con le indicazioni relative alla parte anagrafica del Centro Storico (localizzazione, denominazione e caratteristiche fisiche del territorio), <http://www.cartadelrischio.beniculturali.it/> (ultimo accesso 12 dicembre 2023).

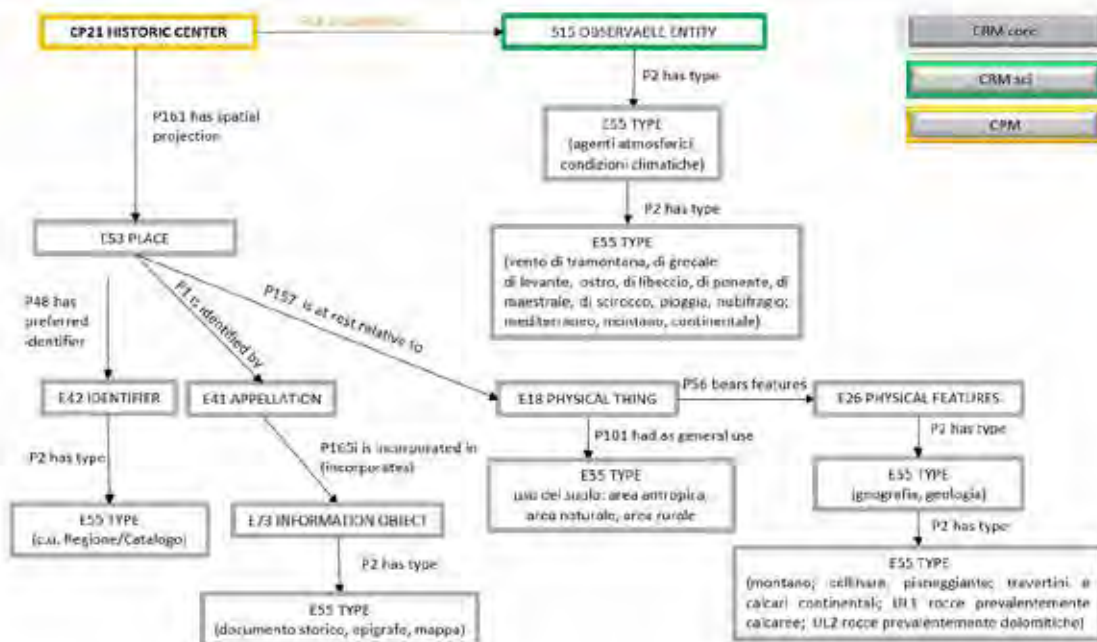


Figura 4. Formalizzazione della CdR relativa alle informazioni contenute nella scheda anagrafica alla figura precedente. Le classi e le proprietà CPM sono evidenziate in giallo, quelle relative al CIDOC-CRM core sono in grigio e nero. I riferimenti in alto a destra indicano le altre ontologie utilizzate, in questo caso l'estensione CIDOC-CRM-Sci (elaborazione D. Fiorani, M. Acierno, 2023).

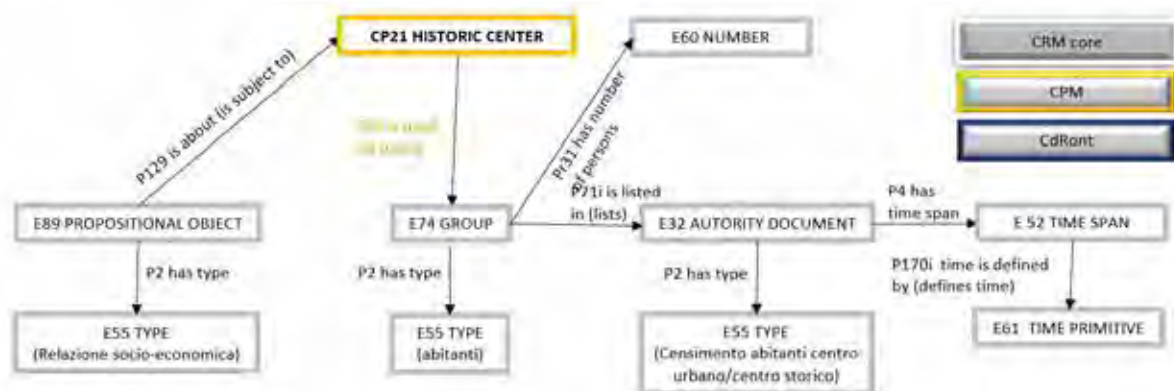


Figura 5. Formalizzazione della CdR relativa alle informazioni sulla demografia contenute nella scheda anagrafica. Le classi e le proprietà CPM sono evidenziate in giallo, quelle relative al CIDOC-CRM core sono in grigio e nero. I riferimenti in alto a destra indicano le altre Ontologie utilizzate, in questo caso la CdRont (elaborazione D. Fiorani, M. Acierno, 2023).

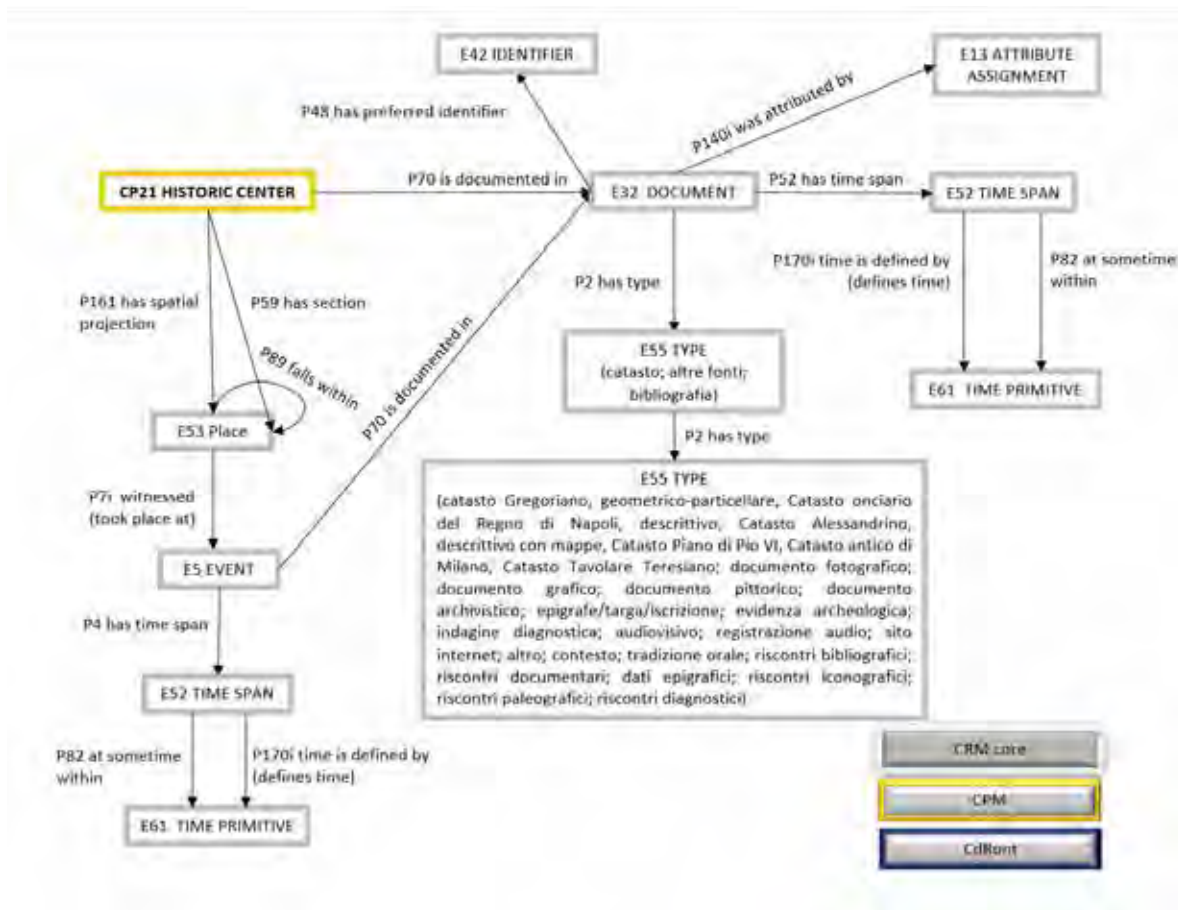


Figura 6. Formalizzazione della CdR relativa alla porzione schedografica dedicata a “Cronologia e fonti” del Centro Storico (elaborazione D. Fiorani, M. Acierno, 2023).

tramite la proprietà inversa P7i *witnessed* la classe E5 EVENT, che può essere collegata alla documentazione specifica e temporalmente connotata.

Si ricorda qui come l'ontologia CIDOC-CRM *core* gestisca le informazioni dedicate alla datazione del bene oggetto di tutela, prevalentemente incardinata sulla classe E52 TIME SPAN, ovvero sul concetto d'intervallo temporale definibile con un diverso livello di approssimazione che accetta, al limite, anche la possibilità d'indicare una cronologia solo relativa, priva di riferimenti temporali assoluti¹⁹. Il collegamento fra la classe E52 TIME SPAN e la classe E61 TIME PRIMITIVE, che consente d'istanziare archi o specifici riferimenti temporali, viene effettuato, se in presenza di una data certa, tramite la proprietà inversa P170i *time is defined by*, mentre se si possiedono solo intervalli di datazione possibile si utilizza la proprietà P82 *at some time within*.

Completano la modellazione della scheda Centro storico della CdR i riferimenti agli strumenti urbanistici, facilmente risolti con il ricorso integrale alle classi CIDOC-CRM *core*, oltre che il calcolo degli indici di vulnerabilità e di trasformazione, che verranno trattati nel paragrafo successivo.

Come si è sopra accennato, le sei schede che descrivono il centro storico e le sue componenti consentendo di valutarne il livello di vulnerabilità e trasformazione hanno richiesto la creazione di sei nuove classi, ognuna delle quali dedicata al tema specifico della schedatura. Dal punto di vista concettuale, le sei entità schedate sono comunque diverse fra loro. Due di esse – relative al Centro Storico e allo Spazio Urbano –, per la particolare rilevanza assegnata ai vuoti nella specifica caratterizzazione, sono apparse meglio descrivibili sulla base della loro connotazione morfologica generale mutevole nel tempo; oltre, quindi, alla CP21 HISTORIC CENTRE, la classe CP22 SPACE ENSEMBLE nasce quale sottoclasse di E92 SPACETIME VOLUME.

Le altre quattro schede – relative alle due Unità Urbane, rispettivamente prodotte dall'aggregazione di componenti edilizie autonome (Unità Urbana Aggregato) o consistenti in un elemento architettonico omogeneo a grande scala (Unità Urbana Edilizia Residenziale Puntuale o Specialistica), le Unità Edilizie e i Fronti Edilizi – risultano piuttosto definite in base alla specifica connotazione materiale delle entità edilizie considerate.

Le classi che descrivono l'Unità Urbana-Aggregato, l'Unità Urbana-EPRS, l'Unità Edilizia e il Fronte Edilizio sono state viceversa identificate come sottoclassi di CP1 BUILT ENTITY, a sua volta sottoclasse

19. Nello *Scope Note* relativo alla classe E52 TIME SPAN si evidenzia infatti che “Since the knowledge of history is imperfect and physical phenomena are fuzzy in nature, the extent of phenomenal time-spans can only be described in approximation”, BEKIARI *ET ALII* 2023, p. 87. Per la spiegazione dei criteri della formalizzazione delle entità temporali vedi anche *Ivi*, pp. 35-38.

di E24 PHYSICAL HUMAN-MADE THING (CIDOC-CRM *core*). Più precisamente, la CP12 URBAN UNIT-AGGREGATE e la CP13 URBAN UNIT- SINGLE RESIDENTIAL OR SPECIALIST BUILDING, in particolare, sono sottoclassi di CP11 URBAN UNIT, che è sottoclasse di CP2 ARCHITECTURAL WORK, a sua volta sottoclasse di CP1 BUILT ENTITY (fig. 2).

La relazione istituita fra le classi CP21 HISTORIC CENTRE e CP19 SPACE ENSEMBLE è pertanto direttamente veicolata dalla proprietà CIDOC-CRM core inversa P10i *contains*, mentre il rapporto fra CP21 HISTORIC CENTRE e le classi relative alle Unità Urbane viene mediato dal riferimento all'E53 PLACE tramite le proprietà P161 *has spatial projection* (la proiezione del volume spazio-temporale del centro storico su uno spazio di riferimento) e P59 *has section* (l'impronta spaziale della cosa fisica creata dall'uomo), ricorrendo alla P89 *falls within* per specificare la mutua correlazione spaziale delle due entità.

Alla formalizzazione della scheda della CdR relativa alla Unità Urbana-Aggregato è in gran parte anche riconducibile, con alcune riduzioni, la definizione della stessa Unità Urbana-EPRS. Essa presenta numerose affinità con quanto già descritto per il centro storico in termini di localizzazione, anagrafica, cronologia storica, dove vengono utilizzate quasi esclusivamente classi e proprietà del CIDOC-CRM *core*. La classe CP14 URBAN UNIT AGGREGATE è sottoclasse di CP13 URBAN UNIT anche se l'Unità Urbana non esiste infatti di per sé come *focus* di alcun modello schedografico; la definizione di quest'ultima classe è comunque necessaria a realizzare una corretta tassonomia nell'ontologia e dà ragione della possibilità di valutare congiuntamente vulnerabilità e trasformazione delle Unità Urbane Aggregato ed EPRS del Centro Storico (fig. 2).

La formalizzazione degli aspetti che connotano esplicitamente l'Unità Urbana, incentrati sulla descrizione del Sistema Edilizio, del Sistema Costruttivo e di Trasformazione presenta invece elementi di novità. Le due sezioni indicate sono contemporaneamente rivolte alla descrizione del complesso costruito e alla determinazione di alcuni indici, chiamati incidenze, il cui valore viene considerato all'interno degli algoritmi ai quali è stata affidata la determinazione della vulnerabilità e della trasformazione delle unità urbane. Ci si limita, per ora, ad analizzare i soli aspetti descrittivi.

La descrizione generale del sistema edilizio che caratterizza l'Unità Urbana definisce la configurazione dell'impianto e dell'attacco a terra, nonché l'indicazione della possibile presenza di recinto, anditi interni e possibili collegamenti esterni (fig. 7). Gli argomenti considerati attingono a concettualizzazioni di natura diversa e come tali sono stati formalizzati, mentre la loro specificazione viene sempre affidata all'impiego della classe E55 TYPE e dei relativi vocabolari (eventualmente anche fornendo specifiche a livelli successivi con E55 TYPE → P2 *has type* → E55 TYPE).

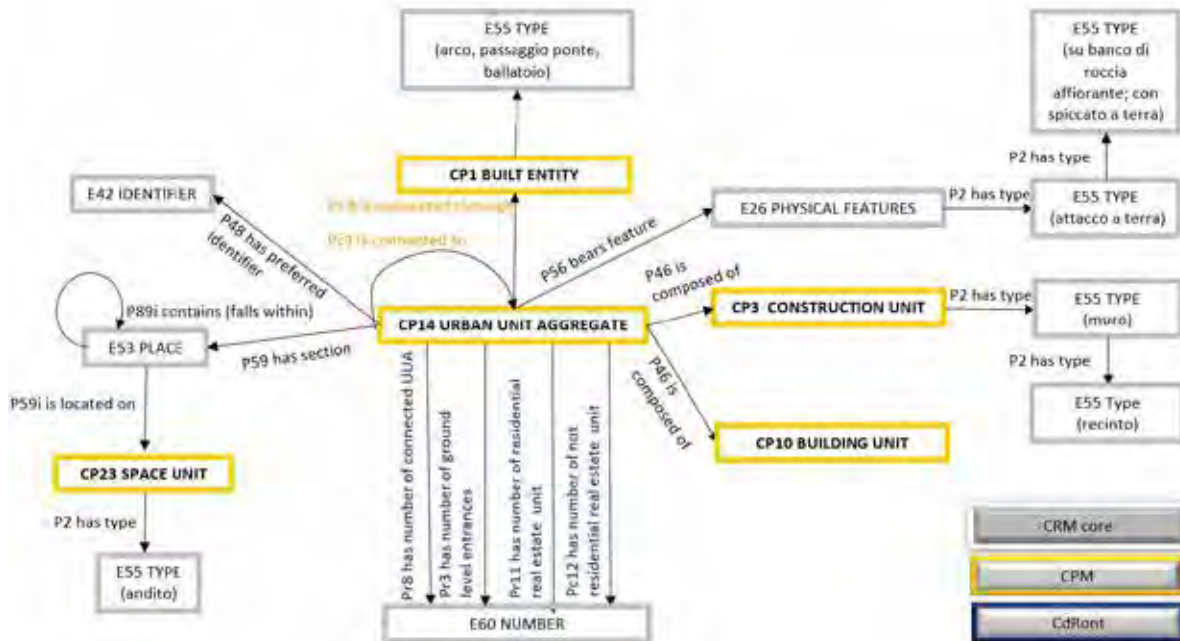


Figura 7. Formalizzazione della CdR relativa alla descrizione generale del sistema edilizio che caratterizza l'Unità Urbana (elaborazione D. Fiorani, M. Acierno, 2023).

Le componenti costruttive fanno riferimento alla classe CP3 CONSTRUCTION UNIT (sottoclasse di CP1 BUILT ENTITY), esse sono legate alla classe CP14 URBAN UNIT-AGGREGATE nel modo che segue:

- CP14 URBAN UNIT-AGGREGATE → P46 *is composed of* → CP3 CONSTRUCTION UNIT.

Tali componenti non devono essere confuse con le istanze formalizzate nella classe CP12 BUILDING UNIT, che rappresentano le singole unità edilizie componenti l'aggregato e si esprimono con la seguente formalizzazione:

- CP14 URBAN UNIT-AGGREGATE → P46 *is composed of* → CP12 BUILDING UNIT.

Le caratteristiche intrinseche alla conformazione dell'edificio, come l'attacco a terra dei fronti esterni, sono invece istanziabili nella classe E26 PHYSICAL FEATURE, con una relazione del tipo:

- CP14 URBAN UNIT-AGGREGATE → P56 *bears feature* → E26 PHYSICAL FEATURE.

La componente 'cava' dell'andito, ovvero del passaggio che separa fra loro due unità edilizie (talvolta chiuso e inglobato dalla fabbrica ai piani superiori in epoca più tarda), fa riferimento alla classe CP23 SPACE UNIT che, come si è visto, costituisce un volume spaziotemporale; la relazione fra questo e l'oggetto fisico si serve della mediazione legata alla reciproca localizzazione spaziale delle due entità:

- CP14 URBAN UNIT-AGGREGATE → P59 *has section* → E53 PLACE → P59i *is located on or within* → CP23 SPACE UNIT.

La formalizzazione legata all'enumerazione delle connessioni urbane dell'aggregato, degli ingressi al piano terreno, al numero di componenti edilizie di carattere residenziale viene affidata a proprietà elaborate per l'ontologia dedicata CdRont. La maggior parte di queste proprietà sono infatti finalizzate a collegare con la classe E60 NUMBER del CIDOC-CRM *core* alcune caratteristiche conteggiabili, molte delle quali utili al calcolo delle incidenze. Fra queste, per esempio, si considerano il numero dei vuoti edilizi interne all'Unità Urbana Aggregato, in quanto la dislocazione e la natura dei vuoti può avere ricadute dirette sulla vulnerabilità di essa, specie in riferimento alle problematiche sismiche. Anche la descrizione di molte componenti costruttive viene quasi sempre analizzate in riferimento alla loro distribuzione percentuale ed elaborata come incidenza; anche queste ultime sono espresse tramite proprietà formalizzate nell'ontologia specifica CdRont. Una particolare attenzione viene dedicata a finiture e infissi, che costituiscono gli elementi più sottoposti a degrado e sostituzione.

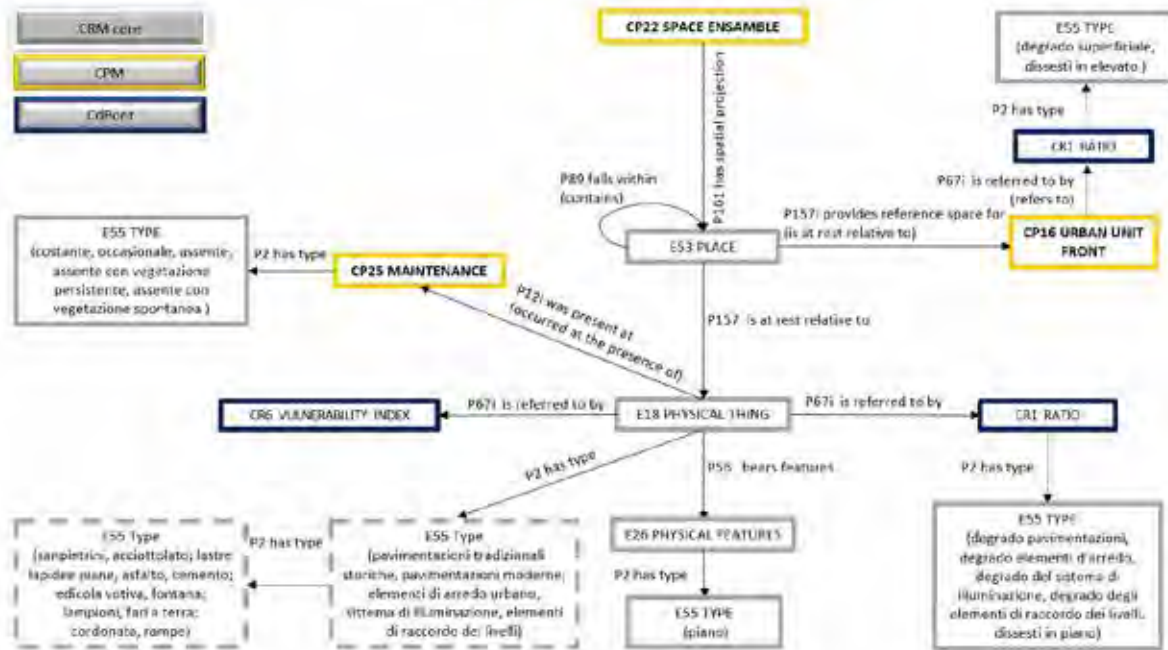


Figura 8. Formalizzazione della CdR relativa allo stato di conservazione dello Spazio Urbano (elaborazione D. Fiorani, M. Acierno, 2023).

La definizione dello stato di conservazione richiede specifiche diverse che, per offrire una panoramica generale del lavoro compiuto guardando a tutti i modelli schedografici, s'illustrano qui in relazione a quanto accade per lo Spazio Urbano (fig. 8).

La formalizzazione di quest'ultima scheda è consentita a partire dalla classe CP22 SPACE ENSEMBLE, come già detto, sottoclasse di E92 SPACETIME VOLUME. La formalizzazione del degrado e dei dissesti richiede la già esplicitata relazione con il dato fisico attraverso il passaggio con la classe E53 PLACE, tutta interna al CIDOC-CRM core, fino ad arrivare alla definizione per tipo della singola componente dello spazio fisico considerato:

- CP31 SPACE ENSEMBLE → P16i *has spatial projection* → E53 PLACE → P157 *is at rest relative to* → E18 PHYSICAL THING → P2 *has type* → E55 TYPE.

Alla stessa ontologia CIDOC viene riferita anche la modalità di istanziare il degrado di queste componenti nella classe E26 PHYSICAL FEATURES:

- E18 PHYSICAL THING → P56 *bears features* → E55 TYPE.

Il degrado superficiale e i dissesti degli elevati che partecipano al calcolo della vulnerabilità dello spazio urbano sono quindi istanziati tramite la seguente formalizzazione:

- E53 PLACE → P157i *provides reference space for* → CP16 URBAN UNIT FRONT → P67i *is referred by* → CR1 RATIO → P2 *has type* → E55 TYPE.

Il degrado superficiale e i dissesti delle superfici a terra e degli elementi di arredo che partecipano al calcolo della vulnerabilità dello spazio urbano sono invece formalizzati come:

- E18 PHYSICAL THING → P67i *is referred by* → CR1 RATIO → P2 *has type* → E55 TYPE.

Rientra infine in questo ambito la formalizzazione della modalità di manutenzione dello spazio urbano tramite l'impiego della classe CP25 MAINTENANCE:

- E18 PHYSICAL THING → P12i *was present at* → CP25 MAINTENANCE → P2 *has type* → E55 TYPE.

La formalizzazione della scala architettonica: Unità Edilizia e Fronte Edilizio

La formalizzazione degli elementi architettonici oggetto di approfondimento in questo paragrafo, l'Unità Edilizia e il fronte edilizio, avviene attraverso le rispettive classi CPM CP10 BUILDING UNIT e CP11 BUILDING FRONT. La prima è concepita come sottoclasse di CP2 ARCHITECTURAL WORK mentre la seconda, essendo una componente dell'edificio, è concepita come sottoclasse di CP1 BUILT ENTITY.

Gli elementi che definiscono la posizione amministrativa dell'Unità Urbana e del Fronte Edilizio sono in primis l'attribuzione di un identificatore all'interno del sistema. Quest'ultimo può essere facilmente istanziato nell'ambito del CIDOC-CRM core grazie alla classe E42 IDENTIFIER, riferita all'oggetto attraverso la proprietà P48 *has preferred identifier* e specificata con la proprietà P2 *has type*. Si ha così modo di definire l'identificativo rispetto a una struttura periferica, come può essere una banca dati (in questo caso, la Carta del Rischio) o rispetto a una struttura centralizzata, come per esempio il Catasto. L'identificatore può anche essere ulteriormente precisato tramite il riferimento a eventuali fonti documentarie descritte con la classe E32 AUTHORITY DOCUMENT, anche indicandone la validità temporale:

- E42 IDENTIFIER → P67 refers to → E32 AUTHORITY DOCUMENT → P4 has time span → E52 TIME SPAN.

L'identificazione viene completata tramite la specificazione dell'indirizzo, istanziato grazie alla classe E41 APPELLATION, riferita con la proprietà P1 *is identified by* alla classe E53 PLACE.

La componente anagrafica dell'Unità Edilizia viene ulteriormente specificata precisando la funzione (destinazione d'uso e indicazione quantitativa delle porzioni di edificio utilizzate in generale e come residenza) e lo stato di completezza della fabbrica. La destinazione d'uso è formalizzata come attività svolta e modellata con la classe E7 ACTIVITY. Questa viene descritta in senso qualitativo, attraverso due tesauri, uno relativo alle attività generiche (residenziali, a scopo educativo ecc.), l'altro a quelle specifiche (es. scuola primaria). Ne viene altresì specificata la proiezione nel tempo attraverso la proprietà P160 *has temporal projection* che la relaziona ad un arco temporale E52 TIME SPAN e ne specifica la durata con la classe E54 DURATION. La stessa attività viene altresì relazionata ai piani dell'edificio dove viene svolta, identificati con la classe CP12 BUILDING FLOOR concepita come sottoclasse di CP1 BUILT ENTITY. Le quantificazioni, espresse rispetto alle porzioni di edificio

utilizzate sono descritte attraverso due nuove proprietà Pr2 *has current use-percentage* e Pr6 *has residential use-percentage*, che associano l'Unità Edilizia a un numero (E60 NUMBER).

La localizzazione geografica e il rapporto con il contesto urbano sono espressi mediante relazioni topologiche formalizzate nel CIDOC-CRM, in particolare con le proprietà P59i *is located on*, P122 *borders with*, P89 *falls within*. Queste ultime due proprietà descrivono relazioni spaziali tra entità fisiche, bidimensionali, formalizzate con la classe E53 PLACE; tuttavia, non sono rappresentative delle relazioni con elementi a tre o quattro dimensioni²⁰. Per ovviare a tale limite, le relazioni spaziali tra elementi come l'Unità Edilizia o il Fronte Edilizio, modellati con sottoclassi di CP1 BUILT ENTITY, sono state descritte attraverso le relazioni tra le superfici su cui possono idealmente proiettarsi tramite le proprietà P59i *is located on*. Parallelamente, come è stato illustrato nel primo paragrafo di questo saggio, gli elementi quadridimensionali come il Centro Storico o gli Spazi Urbani, modellati con sottoclassi di E92 SPACETIME VOLUME, sono stati riferiti ad entità bidimensionali tramite le proprietà P161 *has spatial projection*.

La descrizione della localizzazione dell'Unità Edilizia è completata con le informazioni riguardanti la sua accessibilità, formalizzata come condizione attraverso la classe E3 CONDITION STATE, ulteriormente specificata da un vocabolario associato, modellato con la classe E55 TYPE.

La rappresentazione dell'edificio, formalizzata attraverso l'ontologia CPM, è modellata attraverso classi specifiche legate tra loro da relazioni mereologiche²¹ che descrivono l'organismo architettonico e costruttivo come un intero composto di parti in relazione tra loro e con l'organismo stesso, mediante la proprietà P46 *is composed of* e la sua inversa P46i *is part of*. Le classi rappresentano la scala architettonica e costruttiva; quest'ultima è articolata in unità costruttive, componenti costruttive, elementi costruttivi e materiali. La natura di architettura completa e coerente dell'Unità Edilizia è modellata, come si è detto, con la classe CP10 BUILDING UNIT, sottoclasse di CP2 ARCHITECTURAL WORK, mentre il carattere di componente architettonica del fronte edilizio è formalizzata con la classe CP13 BUILDING FRONT sottoclasse di CP1 BUILT ENTITY.

La formalizzazione dell'articolazione dell'Unità Edilizia (fig. 9) può schematizzarsi come segue:

- CP10 BUILDING UNIT → P46 *is composed of* → CP3 CONSTRUCTION UNIT
- CP10 BUILDING UNIT → P46 *is composed of* → CP12 BUILDING FLOOR

20. La formalizzazione delle relazioni topologiche spaziali è stata oggetto di un recente studio sviluppato da GUILLEM *et al.* 2023 in cui viene elaborata una lettura comparativa fra relazioni topologiche spaziali modellate dal CIDOC-CRM e relazioni spaziali codificate come RCC8 al fine di rappresentare entità diverse da due a quattro dimensioni.

21. Vedi VARZI 2007.

- CP3 CONSTRUCTION UNIT → P46 *is composed of* → CP4 CONSTRUCTION COMPONENT
- CP4 CONSTRUCTION COMPONENT → P46 *is composed of* → CP5 CONSTRUCTION ELEMENT-PLURAL
- CP5 CONSTRUCTION ELEMENT- PLURAL → P46 *is composed of* → CP6 CONSTRUCTION ELEMENT-SINGULAR.

Parallelamente la rappresentazione della tettonica del Fronte Edilizio (figg. 10-11) può essere descritta con le seguenti espressioni:

- CP13 BUILDING FRONT → P46i *is part of* → CP10 BUILDING UNIT → P46i *is part of* → CP14 URBAN UNIT AGGREGATE
- CP13 BUILDING FRONT → P46 *is composed of* → CP4 CONSTRUCTION COMPONENT
- CP13 BUILDING FRONT → P46 *is composed of* → CP 7 ARCHITECTURAL DECORATION (sottoclasse di CP1 BUILT ENTITY)

Ogni classe viene ulteriormente specificata con tesauri che definiscono le caratteristiche degli elementi (fig. 12).

La descrizione si sviluppa ulteriormente con la rappresentazione delle relazioni topologiche spaziali dell'organismo, della configurazione dell'impianto e della tipologia edilizia, oltre a specificare la consistenza in termini di sviluppo in piani, unità abitative e dimensioni. Per quanto riguarda le relazioni topologiche spaziali dell'unità edilizia esse sono ulteriormente descritte rispetto alla semplice localizzazione iniziale. La scheda infatti specifica il rapporto con le fabbriche contigue formalizzato con il CPM attraverso la proprietà *Pc8 is connected to* – esplicitandone eventualmente anche il tipo di collegamento attraverso le proprietà *Pc7 is connected through* e *P2 has type*. La formalizzazione per l'Unità Edilizia si sviluppa dunque con le due espressioni:

- CP10 BUILDING UNIT → *Pc8 is connected to* → CP1 BUILT ENTITY
- CP10 BUILDING UNIT → *Pc7 is connected through* → CP1 BUILT ENTITY → *P2 has type* → E55 TYPE (es. ponte, loggia, setto murario, arco di contrasto etc.).

Le stesse espressioni possono scriversi nella descrizione del Fronte Edilizio.

La tipologia architettonica e la configurazione planimetrica dell'Unità Edilizia sono esplicitate attraverso due proprietà del CPM: *Pc15 shows plan configuration type* e *Pc21 shows architectural*

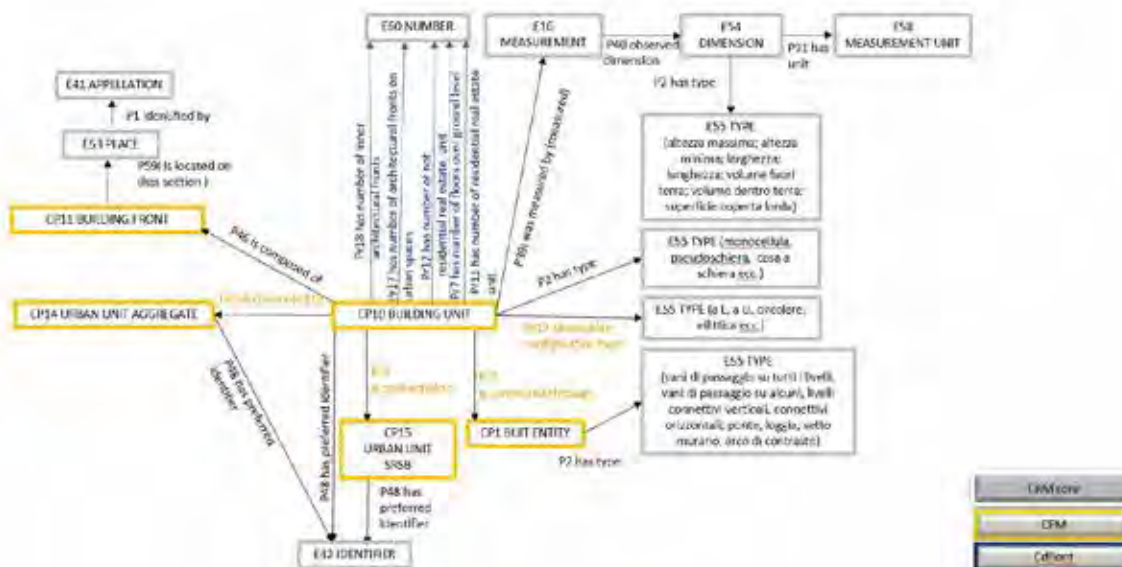


Figura 9. Formalizzazione della Cdr relativa alla descrizione generale del sistema edilizio che si struttura intorno alla classe CP10 Building Unit (elaborazione D. Fiorani, M. Acierno, 2023).

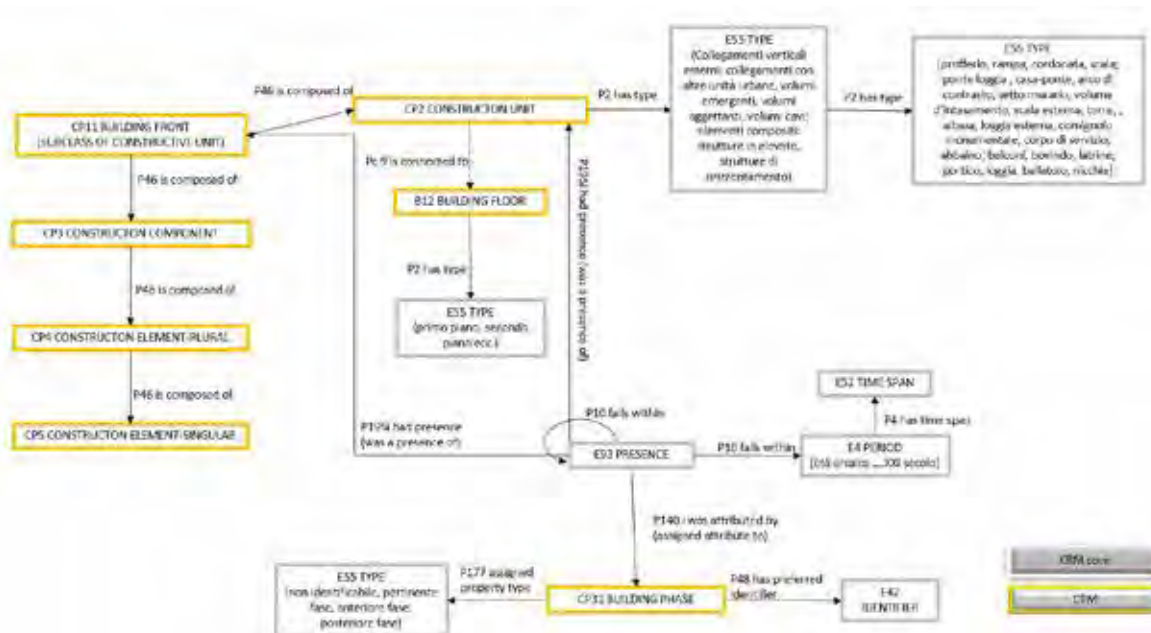



Figura 10. Formalizzazione della CdR relativa alla descrizione degli elementi costruttivi e di impianti ed elementi composti che caratterizza il Fronte Edilizio (elaborazione D. Fiorani, M. Acierno, 2023).

Dettaglio Fronte Edilizio per 142  SAPIENZA
UNIVERSITÀ DI ROMA

Elementi Costruttivi - Impianti

ID	Elemento	Tipologia	Localizzazione	Partenza	Fase 1	Fase 2	Numero	Operativo			
Elementi Costruttivi											
ID Elem. Compositi	Elemento	Tipologia	Marblegia	Localizzazione	Materiali	Partenza	Fase 1	Fase 2	Numero	Efficacia	Operativo
Elementi Particolari											
Elemento	Tipologia	Marblegia	Localizzazione	Materiali	Partenza	Fase 1	Fase 2	Numero	Efficacia	Operativo	
Struttura in cemento	massima condensa		plano 1, 2, 3 + 4	non visibile	partenza	01				✓	✗
Struttura in cemento	massima condensa		plano 5	non visibile	partenza	02				✓	✗
Struttura in cemento	massima condensa		plano 5	Altri: prefabbricati non precastati	partenza	03				✓	✗
Struttura in cemento	non architettonica	completa	plano 5		partenza	04		5		✓	✗
Struttura in cemento	non architettonica	completa	plano 5		non schedabile			5		✓	✗
Struttura in cemento ed altri materiali	non architettonica	discontinua	plano 2, 3, 4		partenza	05		0		✓	✗
Struttura in cemento ed altri materiali	non architettonica	Altri: prefabbricati	plano 5		partenza	06		0		✓	✗

Figura 11. Schermata della Piattaforma Carta del Rischio del Ministero della Cultura relativa al sottodominio 'Elementi costruttivi e di impianti ed elementi composti' del Fronte Edilizio, <http://www.cartadelrischio.beniculturali.it/> (ultimo accesso 12 dicembre 2023).

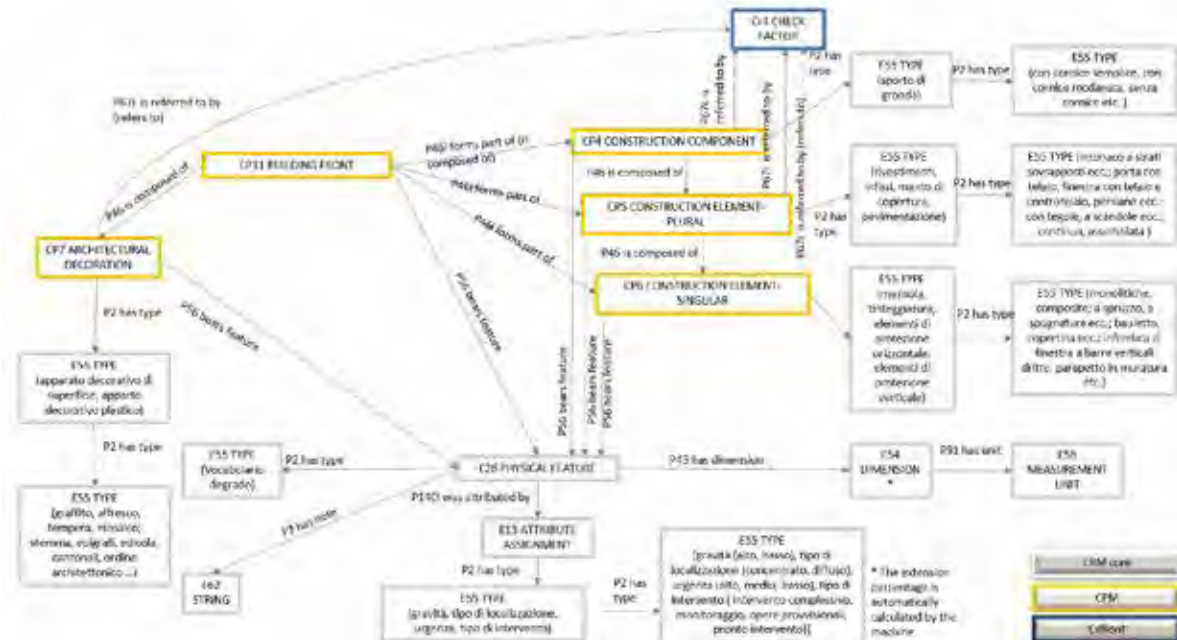


Figura 12. Formalizzazione della CdR relativa alla descrizione dello stato di conservazione del Fronte Edilizio. Si sottolinea in particolare come la descrizione sia arricchita tramite il riferimento ai vocabolari attraverso la proprietà *P2 has type* (elaborazione D. Fiorani, M. Acierno, 2023).

type entrambe associate ad un tesoro che ne specifica i caratteri attraverso la proprietà *P2 has type*, mentre nel caso del Fronte Edilizio la descrizione è formalizzata come segue:

- CP13 BUILDING FRONT → *P2 has type* → E55 TYPE → *P2 has type* → E55 TYPE.

Lo stesso schema formale è impiegato per descrivere alcune caratteristiche, modellate con la classe E 26 PHYSICAL FEATURE, che connotano il fronte, per esempio relative all’attacco a terra o alla linea di gronda.

- E 26 PHYSICAL FEATURE → *P2 has type* → E55 TYPE

La relazione tra l’Unità Edilizia o il Fronte Edilizio e la caratteristica descritta è formalizzata come segue:

- CP13 BUILDING FRONT → *P56 bears feature* → E 26 PHYSICAL FEATURE.

Sul piano quantitativo la consistenza della fabbrica è espressa grazie a proprietà formalizzate nell’ontologia CdRont, concepite come sotto-proprietà della proprietà del CIDOC-CRM *core* *P57 has number of parts*, le quali legano CP10 BUILDING UNIT o CP13 BUILDING FRONT alla classe E60 NUMBER²², consentendo così di istanziare il numero dei piani totali, fuori terra e dentro terra, delle unità ad uso residenziale e non, nonché dei fronti interni e prospicienti sugli Spazi Urbani contigui²³. Infine, le dimensioni sono espresse come esito dell’attività di misurazione svolta sull’edificio e specificate attraverso un tesoro associato che consente di esplicitare i dati qualificanti l’edificio (altezza massima; altezza minima; larghezza; lunghezza; volume fuori terra; volume dentro terra; superficie coperta lorda). La formalizzazione si sviluppa per entrambi gli elementi architettonici considerati nel seguente modo:

- CP10 BUILDING UNIT o CP11 BUILDING FRONT → *P39i was measured by* → E16 MEASUREMENT → *P40 observed dimension (was observed in)* → E54 DIMENSION → *P2 has type* → E55 TYPE.

22. La classe E60 NUMBER comprende qualsiasi codifica di valori computabili algebrici.

23. In particolare, le proprietà sono: *Pr1 has total number of floors*; *Pr4 has number of underground floors*; *Pr13 has number of floors over ground*; *Pr12 has number of not residential real estate units*; *Pr11 has number of residential real estate units*; *Pr17 has number of architectural fronts on urban spaces*; *Pr18 has number of inner architectural fronts*.

La descrizione delle caratteristiche costruttive muove dall'ulteriore specificazione delle relazioni spaziali dell'Unità Edilizia descrivendone la posizione rispetto all'Unità Urbana di cui è parte. Tale descrizione avviene tramite la proprietà del CIDOC-CRM *core* P59 *has section*, tuttavia, come nel caso delle altre relazioni topologiche già considerate, anche questa è una proprietà che non relaziona tra loro oggetti tridimensionali, bensì prevede come dominio e codominio rispettivamente E18 PHYSICAL THING e E53 PLACE. Pertanto, volendo considerare le costruzioni, è necessario riferirsi alla loro proiezione ortogonale sull'area di sedime e la formalizzazione può svilupparsi identificando, in prima istanza, l'area occupata dall'Unità Edilizia come segue:

- CP10 BUILDING UNIT → P59 *has section* → E53 PLACE.

Successivamente viene specificato che tale area ha una posizione all'interno dell'aggregato di cui è parte:

- E53 Place → P59i *is located on* → CP14 URBAN UNIT AGGREGATE.

Infine, la rappresentazione qualifica la posizione all'interno dell'aggregato rimandando la descrizione ad un vocabolario di riferimento attraverso la proprietà P2 *has type* e la classe E55 TYPE:

- CP10 BUILDING UNIT → P59 *has section* → E53 PLACE → P2 *has type* → E55 TYPE.

Le caratteristiche costruttive e strutturali vengono fornite attraverso il calcolo delle incidenze, riguardanti elementi specifici (aperture, portici, loggiati), e dell'impatto di particolari caratteristiche costruttive sulle prestazioni statiche e dinamiche dell'edificio. Le incidenze sono formalizzate grazie alla classe CR1 RATIO, concepita come sottoclasse di E73 INFORMATION OBJECT e riferita a una scala di valori qualitativa. Si potrà dunque indicare che una particolare componente costruttiva costituisce una parte specifica dell'insieme delle componenti presenti o associarvi un giudizio qualitativo espresso tramite un tesoro (nessuna, poche, molte ecc.). Per esempio, volendo identificare l'incidenza delle coperture spingenti sull'Unità Edilizia considerata, si potrà procedere con:

- CP3 CONSTRUCTION UNIT → P67i *is referred to by* → CR1 RATIO.

Volendo invece qualificare l'impatto della presenza di pareti libere con aperture irregolarmente distribuite all'interno di un'Unità Edilizia si potrà scrivere:

- CP3 CONSTRUCTION UNIT → P67i *is referred to by* → CR1 RATIO → P2 *has type* → E55 TYPE.

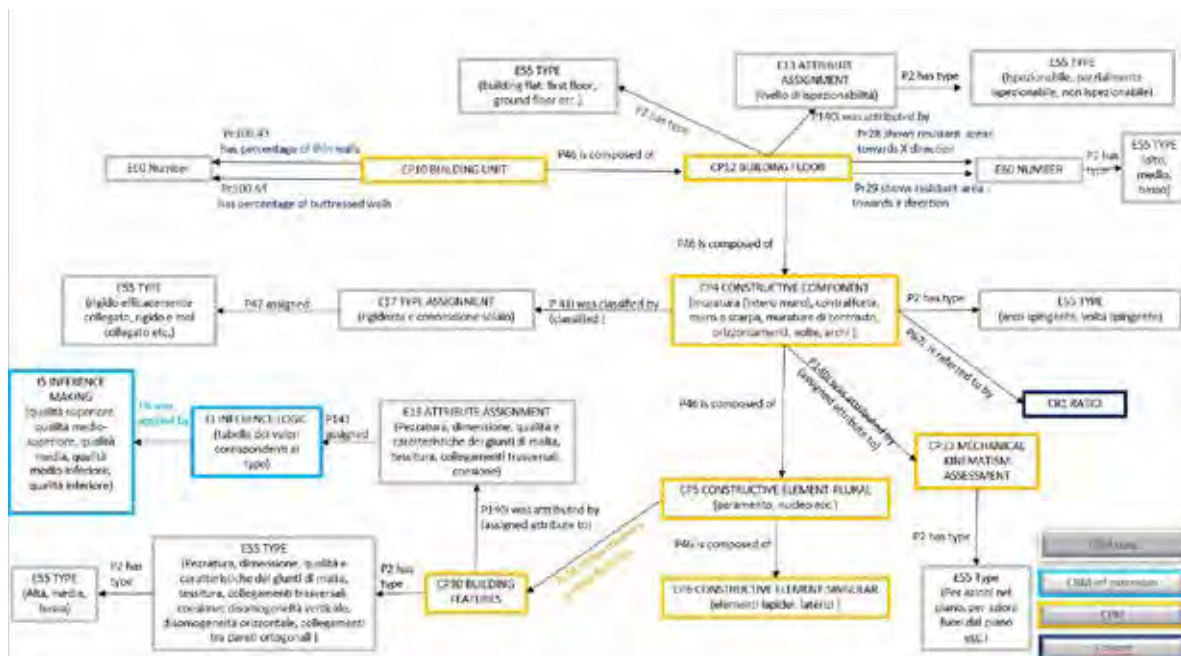


Figura 13. Formalizzazione della CdR relativa alla descrizione del sistema strutturale per piani che caratterizza l'Unità Edilizia. Si sottolinea in particolare come il modello esprima le valutazioni degli elementi costruttivi rilevanti attraverso la classe E13 ATTRIBUTE ASSIGNMENT (elaborazione D. Fiorani, M. Acierno, 2023).

Per le parti in grado di contrastare le sollecitazioni orizzontali, le parti aggiunte e deformabili, gli aggetti si calcola direttamente l'impatto in termini di percentuali. Tali caratteristiche vengono osservate e quantificate rispetto alla porzione coinvolta. Si riporta una formalizzazione a titolo di esempio:

- CP3 CONSTRUCTION UNIT → Pr20 *has low opposed horizontal forces percentage* → E60 NUMBER;

Inoltre, la morfologia e l'omogeneità costruttiva sono descritte grazie alle due proprietà CPM Pc16 *shows morphology type* e Pc20 *shows building homogeneity*.

L'incidenza delle caratteristiche strettamente fisiche può essere espressa mediante un rapporto formalizzabile, come s'è visto, con la classe CR1 RATIO. Diversamente, per le caratteristiche dove la definizione dell'incidenza necessita una valutazione critica si deve ricorrere alla classe E13 ATTRIBUTE ASSIGNMENT a cui si associa un tesoro (sempre attraverso la proprietà P2 *has type*) così da specificarne le qualità. Tali caratteristiche condizionano la vulnerabilità strutturale e possono riguardare l'intero edificio o anche una sua parte (che sia un'unità o una componente costruttiva); esse si riferiscono alla rigidità e alla connessione della copertura alle pareti, alla regolarità dell'impianto, alla connessione dei muri e la distribuzione delle aperture. Per esempio, la valutazione della rigidità e connessione alle pareti potrà formalizzarsi come segue:

- CP3 CONSTRUCTION UNIT → P140i *was attributed by* → E 13 ATTRIBUTE ASSIGNMENT → P2 *has type* → E55 TYPE.

La descrizione dei piani della fabbrica comporta la specificazione del livello d'ispezionabilità, delle componenti e degli elementi costruttivi e di una serie di caratteristiche che incidono sulla vulnerabilità dell'edificio. Come nel caso già illustrato, tali caratteristiche sono di due tipi, rispettivamente descritte rispetto alla qualità e alla quantità o identificate in base a un giudizio. Le prime sono espresse dalle proprietà: Pr24 *has percentage of thin walls*; Pr25 *has percentage of buttressed walls*; Pr28 *shows resistant areas towards X direction*; Pr29 *shows resistant area towards Y direction*; esse collegano l'Unità Edilizia o il singolo piano a un numero. Al secondo gruppo appartengono gli eventuali cinematismi e la qualità delle murature (fig. 13). Il cinematismo meccanico viene formalizzato dalla classe CP33 MECHANICAL KINEMATISM ASSESSMENT, concepita come sottoclasse di E13 ATTRIBUTE ASSIGNMENT e specificato attraverso un tesoro che descrive il tipo di azioni che lo hanno innescato.

- CP4 CONSTRUCTION COMPONENT → P140i *Was attributed by* → CP33 MECHANICAL KINEMATISM ASSESSMENT → P2 *has type* → E55 TYPE.

La muratura viene descritta in termini qualitativi grazie all'impiego di tesauri che ne specificano le caratteristiche e sfruttando la capacità inferenziale del modello ontologico. Attraverso le classi derivate dal CRMinf³ INFERENCE LOGIC e I5 INFERENCE MAKING viene formalizzata la corrispondenza tra tipologie costruttive e scala di valori espressa in termini di maggiore e minore vulnerabilità.

La modellazione dei fenomeni di degrado presenti sull'edificio avviene associando a unità, componenti ed elementi costruttivi una caratteristica specifica che ne esprime il danno. Tale modellazione segue quanto già descritto nel precedente capitolo rispetto alle unità urbane, ma è sviluppata a partire dalla descrizione dell'organismo architettonico e della sua consistenza materiale. Quest'ultima viene descritta grazie alla classe CP8 BUILDING MATERIAL, sottoclasse di CP1 BUILT ENTITY e alla proprietà Pr35 *shows as prevalent material*.

In aggiunta, il sottodominio sviluppa anche la modellazione dei fattori di confidenza e rilevanza, entrambi descritti con classi specifiche concepite come sottoclassi di E73 INFORMATION OBJECT cui gli elementi architettonici sono relazionati attraverso proprietà specifiche come Pr34 *shows relevance factor* e Pr33 *shows check factor*.

Le vicende costruttive della fabbrica sono espresse grazie alle classi già esistenti nel CIDOC-CRM *core* E11 MODIFICATION e E81 TRANSFORMATION a cui si aggiunge la classe del CPM CP28 TYPOLOGICAL VARIATION, concepita come sottoclasse di E81 TRANSFORMATION. Data la differenza dell'esito delle diverse attività esse si relazionano alla fabbrica mediante proprietà diverse. La prima esplicita l'azione con la proprietà P31i *was modified by* e l'effetto con Pc24 *occurred in*, le altre si relazionano con l'edificio originario mediante la relazione P124 *was transformed by* e con l'edificio trasformato mediante Pc30 *resulted in*. In aggiunta, l'esito delle trasformazioni è associato a una specifica fase costruttiva modellata, sia per l'Unità Edilizia che per il Fronte Edilizio, con la classe E93 PRESENCE ulteriormente esplicitata con la classe CP31 BUILDING PHASE (sottoclasse di E13 ATTRIBUTE ASSIGNMENT). La E93 è inoltre associata a un E52 TIME SPAN tramite la proprietà P164 *is temporally specified by (temporally specifies)*.

- CP11 BUILDING FRONT → P196 *defines* → E92 SPACETIME VOLUME → P166 *had presence* → E93 PRESENCE → P140i *was attributed by* → CP31 BUILDING PHASE;
- E93 PRESENCE → P10 *falls within* → E4 PERIOD → P4i *has time span* → E52 TIME SPAN.

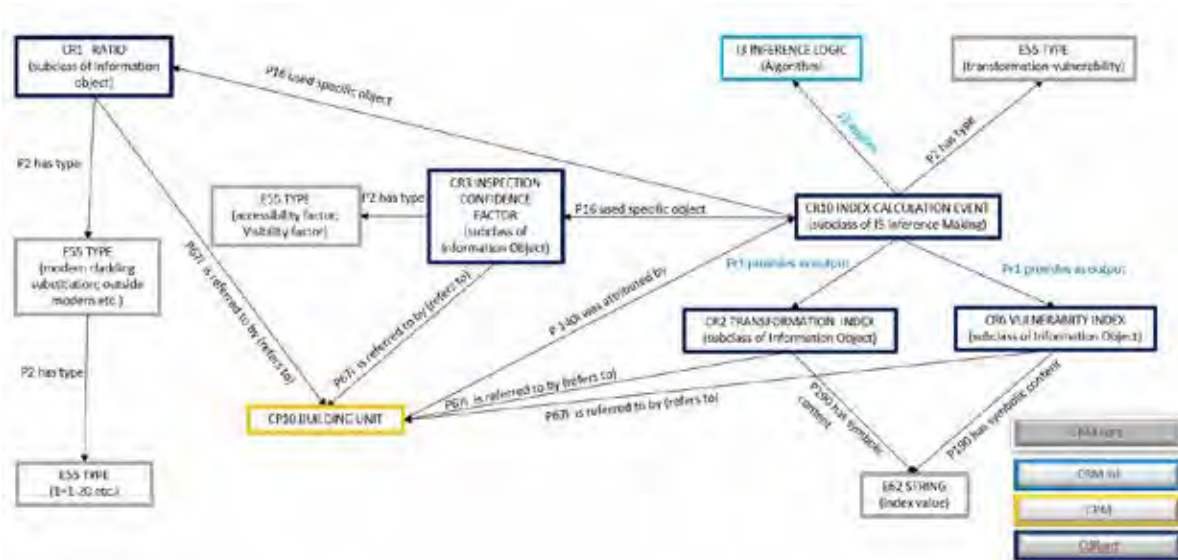


Figura 14. Formalizzazione della CdR relativa agli indici di vulnerabilità e trasformazione dell'Unità Edilizia (elaborazione D. Fiorani, M. Acierno, 2023).

Completa la rappresentazione del sottodominio la definizione dell'indice di trasformazione e dell'indice di vulnerabilità (fig. 14). Entrambi sono concepiti come risultato di CR10 CALCULATION EVENT (sottoclasse di I5 INFERENCE MAKING, al quale è associato un valore che costituisce l'esito di una inferenza) elaborata sulla base di dati dedotti a loro volta da un'attività di studio diretto della fabbrica²⁴.

Anche la formalizzazione delle fasi di pertinenza e delle fasi costruttive segue lo stesso modello. Il fronte edilizio viene associato alla sua qualità spazio-temporale grazie alla classe E92 SPACE TIME VOLUME e ricondotto a una specifica consistenza formalizzata con la classe E93 PRESENCE. Quest'ultima è parallelamente definita in termini temporali e ricondotta a una fase costruttiva peculiare.

Conclusioni

La proposta definire un modello ontologico per la Carta del Rischio amplia ulteriormente la capacità relazionale del sistema con altri contesti, potenziandone così le possibilità di applicazione. L'intero processo di modellazione ha messo in luce, da un lato, quali possano essere tali contesti, chiarendo le opportunità di sviluppo sia sul piano operativo che su quello della ricerca, dall'altro come tali connessioni possano essere estese a qualunque ambito di rappresentazione ontologica. I sottodomini che la formalizzazione della CdR coinvolge sono relativi a tre macro-ambiti: l'illustrazione della fabbrica, la descrizione delle sue trasformazioni e la valutazione critica della consistenza architettonica rispetto alla vulnerabilità (fig. 15).

I primi due macro-ambiti sono incardinati sul concetto di organismo composto di parti, ognuna con una propria identità e uno specifico sistema di relazioni, declinato rispetto alla fabbrica in sé e in riferimento al suo intorno. Tale sistema di relazioni è di natura mereologica in riferimento all'identificazione del rapporto esistente tra parti componenti l'organismo architettonico e di natura topologico-spaziale in ordine alla posizione reciproca delle parti²⁵. La configurazione risultante riflette

24. Tale formalizzazione è tuttavia oggetto di una ricerca ancora in corso e suscettibile di approfondimenti, vedi nota 14.

25. Il confronto fra lettura dell'organismo architettonico e ragionamento logico sulle relazioni spaziali di un oggetto sviluppata in filosofia è di aiuto per la strutturazione del sottodominio. In particolare, Achille Varzi (vedi VARZI 2007) distingue le componenti mereologica (relazione delle parti con l'intero), topografica (relazione dell'oggetto con il luogo su cui insiste) e localizzazione (reazione dell'oggetto con lo spazio circostante) proponendo una classificazione che mostra una significativa similitudine con il modello di rappresentazione della Carta del Rischio.



Figura 15. Visualizzazione della gerarchia delle classi dei modelli CPM e CDRont e identificazione dei 3 macro-ambiti formalizzati (elaborazione D. Fiorani, M. Acierno, 2023).

la struttura dell'ambiente BIM, proprio dell'ambito professionale, e ne consente la connessione aprendo la strada alla soluzione dei noti problemi di interoperabilità e insufficienza semantica²⁶.

La letteratura recente ha messo in luce come gli strumenti del web semantico costituiscano una delle prospettive più promettenti per potenziare la capacità descrittiva degli ambienti informatici finalizzati alla rappresentazione del progetto di architettura e alla gestione del ciclo di vita dell'edificio.

Tale prospettiva appare assicurata, in particolare, dai modelli basati sulle ontologie in ragione delle loro caratteristiche intrinseche, quali l'attitudine a relazionarsi con più sistemi di organizzazione della conoscenza, la capacità di gestire ampie quantità di dati e l'abilità di automatizzare determinati processi di progettazione tramite tecnologie di tipo logico e inferenziale. In quest'ottica, il modello ontologico proposto può inserirsi nel processo d'integrazione tra sistemi diversi già avviato con l'introduzione del modello IfcOWL, traduzione in linguaggio RDF del noto modello IFC²⁷. In particolare, il processo di formalizzazione ha messo in luce come il sottodominio della descrizione della fabbrica, costituito dall'insieme di classi e proprietà definite per l'identificazione delle diverse componenti l'organismo architettonico, possa connettersi al sistema di classi IFC proprio dell'ambiente BIM e, conseguentemente, come quest'ultimo possa essere esteso a uno scenario descrittivo più ampio, in grado di considerare gli aspetti topografici e di relazione con il contesto urbano. In tale prospettiva emerge la complessità di un sistema che voglia al tempo stesso gestire la rappresentazione delle relazioni topologiche e mereologiche espresse in due dimensioni a cui molti modelli ontologici come il CRMgeo o il geoSPARQL (OGC standard) fanno riferimento e, allo stesso tempo, la documentazione di relazioni tra entità a tre e quattro dimensioni proprie dei sistemi di organizzazione della conoscenza dedicati all'architettura.

Un'ulteriore estensione di scenario è possibile, oltre che attraverso il collegamento al modello ontologico, anche grazie alla possibilità di connessione con i vocabolari specifici delle diverse discipline coinvolte. Attraverso la tipizzazione dei concetti, formalizzata con la proprietà P2 *has type* e la conseguente precisazione del tipo, si ha la possibilità di relazionare un tesauruso organizzato in modo tassonomico a qualsiasi concetto. La descrizione della fabbrica, a partire dal suo assetto

26. Il dibattito attuale riguardo l'inadeguatezza semantica dell'ambiente BIM per la rappresentazione e la gestione dell'architettura storica e la letteratura corrente è ancora molto vivace e mostra come l'indagine sull'integrazione dei dati provenienti da contesti documentari eterogenei risulti particolarmente attiva sia rispetto agli strumenti di acquisizione dei dati sia in riferimento alla loro rappresentazione. Vedi: CROCE ET ALII 2021; ZHANG, BEETZ, DE VRIES, 2014; DEMETRESCU, FERDANI 2021.

27. Il modello IFC è uno standard definito per rappresentare dati relativi alle costruzioni, in particolare è stato codificato con la norma ISO 10303-11 in linguaggio Express.

morfo-tipologico - esplicitato attraverso le proprietà riferite a CP2 ARCHITECTURAL WORK Pc15 *shows plan configuration type* e Pc20 *shows typology* - e a seguire con la specificazione delle diverse caratteristiche figurative e costruttive - espresse dalla proprietà ricondotte a CP1 BUILT WORK Pc16 *shows morphology type* - è prevalentemente descritta attraverso vocabolari chiusi propri della Carta del Rischio, che possono comunque potenzialmente estendersi ad altri tesauri esistenti in letteratura e in rete.

Il terzo macro-ambito definito dalla formalizzazione della Carta del Rischio riguarda la componente valutativa che conduce alla definizione della vulnerabilità stessa.

Tale componente si esprime attraverso dati quantitativi e qualitativi. Come s'è visto, i primi sono espressi grazie a proprietà, riferite all'edificio, che esplicitano la consistenza numerica di determinate caratteristiche (es. Pr27 *has number of outer doors and windows* o Pr21 *has percentage of thrusting extensions*); i secondi, invece, si servono della classe E13 ATTRIBUTE ASSIGNMENT e della proprietà P 140i *was attributed by*, esprimendo dati di natura soggettiva. Nella Carta del Rischio tali dati sono poi ulteriormente elaborati attraverso un algoritmo che identifica l'indice di vulnerabilità. Il processo che dai dati giunge a definire la vulnerabilità si serve della capacità logica inferenziale dell'ontologia, in grado d'integrare informazioni quantitative, numeriche, con dati interpretativi. Questa specificità consente di uscire dalla logica riduttiva del sistema esperto, aprendo alla possibilità di gestire dati interpretativi e critici attraverso la modellazione informatica.

La modellazione ontologica della CdR per i centri storici è stata sviluppata, come si è detto, all'interno di progetto di ricerca più ampio che ha affrontato il tema dell'interoperabilità tra i vari sistemi di organizzazione della conoscenza rivolti al restauro e alla tutela del patrimonio culturale. In particolare, attraverso il lavoro svolto, si è potuto ulteriormente mettere in evidenza quanto possa essere efficace una rappresentazione che gestisca in modo integrato i diversi aspetti dell'architettura, quali la rappresentazione degli aspetti costruttivi, topografici e localizzativi correlati alle valutazioni critiche proprie del rilevamento dello stato di conservazione e, più in generale, della vulnerabilità, intesa rispetto al rischio di perdita del patrimonio. Parallelamente, lo sviluppo della rappresentazione formale del sistema CdR ha permesso un ulteriore approfondimento della struttura teorica e logica che ne è alla base, delineando un percorso di ricerca che vuole sviluppare contenuti ancora non completamente rappresentati dagli ambienti informatici esistenti. La scelta di sviluppare modelli formali, per la valutazione del rischio e, più in generale, per il restauro e la tutela dell'architettura, è motivata da sollecitazioni urgenti, legate alla gestione integrata delle grandi quantità di dati potenzialmente disponibili e alla ricerca di una piena condivisione delle informazioni tra i diversi livelli operativi, indispensabile a una protezione del patrimonio architettonico realmente efficace.

Bibliografia

ACIERNO 2019 - M. ACIERNO, *Ontologie per i centri storici*, in FIORANI 2019, pp. 179-188.

ACIERNO 2022 - M. ACIERNO, *I vocabolari della Carta del Rischio per i centri storici: un possibile raccordo tra lessico specialistico e interoperabilità*, in FIORANI ET ALII 2022, pp. 21-34.

ACIERNO 2023 - M. ACIERNO, *I vocabolari della Carta del Rischio per i centri storici: tra lettura del contesto e organizzazione della conoscenza*, in FIORANI ET ALII 2023, pp. 29-42.

ACIERNO ET ALII 2017 - M. ACIERNO, S. CURSI, D. FIORANI, D. SIMEONE, *Architectural Heritage Knowledge Modelling: an Ontology-Based Framework for Conservation Process*, in «Journal of Cultural Heritage», 22017, 4C, pp. 124-133.

ACIERNO, FIORANI 2017a - M. ACIERNO, D. FIORANI, *Drawing, information and design: tools and perspective for conservation*, in A. IPPOLITO (eds.), *Handbook of Research on Emerging Technologies for Architectural and Archaeological Heritage*, IGI Global, Hershey (Pennsylvania) 2017, pp. 355-386.

ACIERNO, FIORANI 2017b - M. ACIERNO, D. FIORANI, *Conservation process model (CPM): a twofold scientific research scope in the information modelling for cultural heritage*, in «ISPRS. The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences», GEOMATICS & RESTORATION – Conservation of Cultural Heritage in the Digital Era, 2017, XLII-5/W1, pp. 283-290.

ACIERNO, FIORANI 2025 - M. ACIERNO, D. FIORANI, *Conservation Process Model: an Ontology for Conservation in Architecture*, SUE, Roma 2025.

BAIK, YAAGOUBI, BOEHM 2015 - A. BAIK, R. YAAGOUBI, J. BOEHM, *Integration of Jeddah Historical BIM and 3D GIS for documentation and restoration of historical monument*, in «ISPRS. The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences», XL(2015), 40, pp. 29-34.

BEKIARI ET ALII 2023 - C. BEKIARI, G. BRUSEKER, E. CANNING, M. DOERR, P. MICHON, C.E. ORE, S. STEAD, A. VELIOS, *Definition of the CIDOC Conceptual Reference Model, Version 7.2.3*, May 2023, disponibile online: https://cidoc-crm.org/sites/default/files/cidoc_crm_version_7.2.3%5B4%20Sep%202023%5D.pdf (ultimo accesso 12 dicembre 2023).

COLUCCI ET ALII 2020 - E. COLUCCI, V. DE RUVO, A. LINGUE, F. MATRONE, G. RIZZO, *HBIM-GIS Integration: From IFC to City GML Standard for damaged Cultural Heritage in a Multiscale 3D GIS*, in «Applied Sciences», X(2020), 4, pp. 1-20.

CROCE ET ALII 2021 - V. CROCE, G. CAROTI, L. DE LUCA, K. JACQUOT, A. PIEMONTE, P. VÉRON, *From the Semantic Point Cloud to Heritage-Building Information Modeling: A Semiautomatic Approach Exploiting Machine Learning*, in «Remote Sensing», 2021, 13, p. 461.

DEMETRESCU, FERDANI 2021 - E. DEMETRESCU, D. FERDANI, *From Field Archaeology to Virtual Reconstruction: A Five Steps Method Using the Extended Matrix*, in «Applied Sciences», 2021, 11. DOI: 10.3390/app11115206.

FIORANI 2019 - D. FIORANI, *Il futuro dei centri storici. Digitalizzazione e strategia conservativa*, Quasar, Roma 2019.

FIORANI 2023 - D. FIORANI, *Vulnerabilità, Pericolo e Rischio. Il ruolo della digitalizzazione nel governo di uno scenario complesso*, in FIORANI ET ALII 2023, pp. 11-28.

FIORANI ET ALII 2022 - D. FIORANI, M. ACIERNO, A. DONATELLI, A. MARTELLO, S. CUTARELLI, *Centri storici, digitalizzazione restauro. Applicazioni e prime normative della Carta del Rischio*, SUE, Roma 2022.

FIORANI ET ALII 2023 - D. FIORANI, M. ACIERNO, A. DONATELLI, A. MARTELLO, S. CUTARELLI, *Centri storici, digitalizzazione restauro. Applicazioni e ultime normative della Carta del Rischio*, SUE, Roma 2023.

GUILLEM ET ALII 2023 - A. GUILLEM, A. GROS, K. RÉBY, V. ABERGEL, L. DE LUCA, *RCC8 for CIDOC CRM: Semantic Modeling of Mereological and Topological Spatial Relations in Notre-Dame de Paris*, in A. BIKAKIS, R. FERRARIO, S. JEAN, B. MARKHOFF,

A. MOSCA, M.N. ASMUNDO (eds.), *SWODCH'23: International Workshop on Semantic Web and Ontology Design for Cultural Heritage, 2023*, in «CEUR Workshop Proceedings», 2023, 3540, disponibile online: <https://ceur-ws.org/Vol-3540/paper2.pdf> (ultimo accesso 12 Dicembre 2023).

VARZI 2007 - A.C. VARZI, *Spatial reasoning and ontology: parts, wholes, and locations*, in M. AIELLO, I. PRATT-HARTMANN, J. VAN BENTHEM (eds.), *Handbook of Spatial Logics*, Springer-Verlag, Berlin 2007, pp. 945-1038.

ZHANG, BEETZ, DE VRIES 2015 - C. ZHANG, J. BEETZ, B. DE VRIES, *An Ontological Approach for Semantic Validation of IFC Model*, Curran Associates, New York 2015, pp. 62-70.



Danger and anthropic risk for Cultural Heritage. Contributions to interdisciplinary reflection

Carlo Bartolomucci (Università degli Studi dell'Aquila),
Bruno Monardo ("Sapienza" Università di Roma)

Considerations about risk factors for cultural heritage are generally focused on natural disasters, while the relationship between disasters and human activities is rarely mentioned.

In the international context, what's mainly considered is the heritage of outstanding universal value, while the Italian experience of the Risk Map examines a broader and more complex set of assets, assessing their risk based on knowledge of the territorial dangers and the vulnerabilities of assets themselves.

In this scenario, the definition of anthropic dangerousness remains an unsolved problem; the aspects so far analysed are not sufficient to evaluate a multiform phenomenon, and the lack of measurable indicators means that this risk component is underestimated, while the degradation caused by man continues to spread regardless of abandonment situations.

Leaving aside the relationship (although it exists) between natural disasters and anthropic activities, here we focus on direct harmful actions and the indirect effects of damage on architectural heritage.

Through an inductive procedure, starting from the identification of the anthropic degradation phenomena (with the purpose of then observing their location, frequency and severity), we aim to identify potentially harmful activities in order to represent hazard maps on urban scale and to define an "hazard classification code". The application in the centre of Rome analyses the flows and intensities of "city users" in the Trastevere area.

Historic Preservation Foundation Classes

Procedure e ontologie per l'interoperabilità nella tutela del patrimonio storico architettonico

www.archistor.unirc.it

ArchistoR EXTRA 12 (2024)

ISSN 2384-8898

Supplemento di ArchistoR 19/2023

ISSN 978-88-85479-39-5

DOI: 10.14633/AHR437



Pericolosità e rischio antropico per il patrimonio culturale.

Contributi alla riflessione interdisciplinare

Carla Bartolomucci, Bruno Monardo

Il concetto di rischio e le analisi sui fattori che concorrono a determinarlo, sulla sua valutazione e gestione (preventiva e in emergenza) sono diffuse da decenni in contesti ben diversi tra loro¹.

Nella logica della Protezione Civile il rischio è rappresentato dalla possibilità che un fenomeno (naturale o indotto dalle attività dell'uomo) possa causare effetti dannosi sulla popolazione, sugli insediamenti o sulle infrastrutture esistenti all'interno di una particolare area.

Nell'ottica della salvaguardia del patrimonio culturale il rischio è esaminato in relazione alla possibilità di perdita o danneggiamento dei beni che costituiscono tale patrimonio, generalmente considerati come siti monumentali e opere d'arte². In ambito internazionale tali riflessioni sono

La stesura dell'articolo risulta riferibile a C. Bartolomucci per la parte introduttiva, *Rischio e pericolo. Il fattore antropico e i limiti della sua definizione; La pericolosità nella Carta del Rischio. Prospettive di approfondimento; Il caso di Roma: la Lungara e le aree limitrofe* e la parte conclusiva. A B. Monardo si riferiscono: *Intensità d'uso e pericolosità antropica nei tessuti storici; Interpretazioni di densità: sperimentazione sul rione Trastevere; I Livelli di Servizio pedonali; Indicatori innovativi per la pericolosità antropica: nuove chiavi di ricerca*.

1. Vedi *Sendai Framework for Disaster Risk Reduction (2015-2030)* per la riduzione del rischio di catastrofi, adottato dalle Nazioni Unite nel 2015, <https://www.undrr.org/publication/sendai-framework-disaster-risk-reduction-2015-2030> (ultimo accesso 24 maggio 2023). Per il rischio del patrimonio culturale, vedi: CARTA DEL RISCHIO 1996; STOVEL 1998; HIDETOSHI 1999; UNESCO 2010; MICHALSKI, PEDERSOLI 2016; BONAZZA *ET ALII* 2018; FIORANI 2023.

2. Nella Carta del Rischio italiana il patrimonio è suddiviso in beni architettonici, beni archeologici e contenitori di beni (musei).

focalizzate sul patrimonio di eccezionale valore (*Outstanding Universal Value*) e considerano dapprima i disastri naturali – in particolare i terremoti – per poi estendersi anche ai fattori antropici, ma al di là dell’identificazione delle cause di disastro, la valutazione dei rischi rimane piuttosto indefinita³.

Nel più recente report periodico sull’*Heritage at Risk* redatto dall’ICOMOS (2016-2019) alle catastrofi naturali si uniscono quelle causate dai cambiamenti climatici (incendi, scioglimento dei ghiacciai, innalzamento dei mari, inondazioni, erosione costiera) e da azioni antropiche (guerre, pressione dello sviluppo urbano e industriale, turismo, abbandono e mancanza di manutenzione, minacce ai quartieri storici urbani quali demolizioni, speculazioni edilizie, nuove costruzioni)⁴. Risulta evidente il rischio di perdita, senza ulteriori valutazioni.

Indubbiamente il fattore umano ha una grande rilevanza per la conservazione o la rovina del patrimonio in generale, essendo determinante sia come causa di danno (azioni dirette o indirette, eventi improvvisi o processi lenti e continui), sia per le responsabilità inerenti alla gestione e alla conoscenza dei beni da salvaguardare. Ciononostante, la questione della pericolosità antropica appare generalmente trascurata e la sua stima resta tuttora imprecisata; tale riflessione non può limitarsi agli eventi catastrofici rari, ma deve considerare tutte le situazioni nocive per i beni culturali⁵.

L’estensione del patrimonio dai singoli monumenti eccezionali ai contesti urbani e al paesaggio comporta ulteriori riflessioni e, concretamente, la necessità di diffondere la salvaguardia alla dimensione territoriale; la Carta del Rischio del patrimonio culturale – sviluppata in Italia negli ultimi decenni – mette in relazione le pericolosità del territorio con la localizzazione geografica dei beni e il loro stato di conservazione, al fine di valutarne il rischio di perdita e danneggiamento. Inoltre, le più recenti applicazioni della Carta del Rischio sono rivolte ai centri storici quali insiemi complessi da salvaguardare sia nel tessuto edilizio che negli spazi urbani, con specifici approfondimenti sulle

3. Nel manuale realizzato dall’UNESCO (con ICCROM, ICOMOS e IUCN) si elencano le cause naturali di disastro insieme a quelle antropiche, ovvero guerre, atti di terrorismo, incendi, esplosioni, crolli di infrastrutture, inquinamento (UNESCO 2010, p. 9). Diversamente, la *Lima Declaration for Disaster Risk Management* (ICOMOS 2010) si riferisce al rischio sismico, senza alcun riferimento ad altre circostanze.

4. ICOMOS 2020, pp. 8-9. Le cause elencate sono illustrate tramite report su casi specifici; il patrimonio considerato è sostanzialmente architettonico, con un focus sul XX secolo.

5. Nel Rapporto di ricerca “Sicurezza del patrimonio culturale”, si fa riferimento al rischio sismico e all’incendio, vedi FERRIGHI 2023.

modalità di analisi e schedatura dei nuclei storici (unità urbane, spazi pubblici e fronti edilizi), quindi sulla valutazione della loro vulnerabilità⁶.

La dicotomia sopra evidenziata tra la logica della Protezione Civile e quella della salvaguardia del patrimonio culturale si ricomponde così nell'ottica della sicurezza, esaminata in relazione al patrimonio architettonico (ma anche alla popolazione che ne fruisce). Tuttavia, mentre la conoscenza delle pericolosità legate alle caratteristiche territoriali ha compiuto notevoli approfondimenti negli ultimi decenni, la valutazione della pericolosità antropica resta un punto critico sia per l'individuazione dei fenomeni sia per la relazione con il territorio stesso.

L'articolo intende quindi approfondire il concetto di pericolosità antropica in relazione al patrimonio culturale architettonico (particolarmente esposto a usi e azioni dannose) evidenziandone le criticità e le prospettive di approfondimento, identificando i fenomeni di degrado antropico al fine di individuare le attività potenzialmente nocive e rappresentare mappe di pericolosità a scala urbana.

La trattazione è distinta in due parti; la prima affronta il tema generale, la seconda esamina un'area del centro di Roma situata tra il Vaticano e Trastevere, mettendo in relazione la pericolosità antropica con le intensità d'uso.

Prima parte: Rischio e pericolo. Il fattore antropico e i limiti della sua definizione

La riflessione sulla pericolosità antropica comporta, in via preliminare, la necessità di chiarire alcune ambiguità riscontrate in contesti diversi, ove l'uso e le traduzioni del termine hazard sembrano aver prodotto una certa confusione sui termini di pericolo e di rischio⁷. Questi, usati talvolta come sinonimi, esprimono in realtà concetti differenti: l'evento nefasto che può colpire una certa area costituisce il pericolo (causa di danno), mentre il rischio è riferito alle possibili conseguenze (danni, perdite).

6. Per l'impostazione concettuale vedi FIORANI 2019; per le applicazioni concrete vedi: FIORANI *ET ALII* 2022; FIORANI *ET ALII* 2023.

7. Vedi <https://www.britannica.com/dictionary/hazard> (ultimo accesso 04 dicembre 2024) in cui il termine esprime sia la sorgente di pericolo, sia il rischio di perdita. Analogamente, nella definizione dei diversi rischi naturali e antropici (per esempio sismico, ambientale, industriale), sono attribuiti ai medesimi termini significati differenti. Nella ISO Guide 73:2009 *Risk management: Vocabulary* (confermata nel 2016) la definizione di rischio è «*the effect of uncertainty on objectives*», mentre altrove è «*the possibility of a loss of value*», MICHALSKI, PEDERSOLI 2016, p. 17. Negli USA la *Society for Risk Analysis* ha abbandonato i tentativi di una definizione universale, adottando sei varianti in diversi settori industriali, <https://www.sra.org/risk-analysis-introduction/risk-analysis-glossary/> (ultimo accesso 04 dicembre 2024).

Come è noto, il rischio è calcolato in funzione di differenti fattori: la pericolosità (presenza di elementi potenzialmente dannosi, basata sulle caratteristiche del territorio), la vulnerabilità (attitudine dei beni ad essere danneggiati, basata sul loro stato di conservazione) e l'esposizione (numero di beni in una determinata area)⁸.

Il rischio aumenta quanto più è probabile che accada l'evento nocivo e quanto maggiore è il danno che questo può produrre; esso esprime quindi sia la possibilità che un pericolo crei rovina o perdita, sia l'entità del danno stesso. Dunque, la valutazione del rischio è legata non solo alla probabilità che accada un evento pericoloso, ma anche alla capacità di definire il danno provocato. Questa considerazione assume particolare rilevanza in relazione alla pericolosità antropica (tuttora poco definita), confermando la necessità di esplicitare i danni prodotti dall'uomo poiché anche tale indeterminatezza contribuisce ad aumentare il rischio⁹.

Se la pericolosità connessa a fenomeni naturali (terremoti, alluvioni, dissesti idrogeologici, eruzioni vulcaniche, valanghe) è valutata in base alle caratteristiche del territorio, quella dovuta a fenomeni antropici non sembra avere una corrispondenza diretta con i luoghi – tranne l'inquinamento atmosferico, la cui pericolosità si basa sulla qualità dell'aria rilevata nelle diverse aree urbane ed è in relazione al degrado materico superficiale. Pur avendo origine antropica, la pericolosità legata all'inquinamento è esaminata nei fattori ambientali¹⁰.

Le azioni umane influiscono sensibilmente anche su altri tipi di pericolosità, sia ambientale che strutturale; per esempio, l'esistenza di corsi d'acqua deviati o tombati nelle aree urbane rappresenta un elemento non trascurabile, la cui localizzazione è essenziale per mitigare i rischi di improvvise inondazioni. Analogamente, alcuni interventi edilizi (riduzioni di porzioni murarie, sopraelevazioni, scassi per l'introduzione di impianti) possono incrementare la vulnerabilità del costruito storico, rivelata in occasione di eventi sismici. Bisogna considerare inoltre che gli effetti disastrosi dei

8. Il rischio è espresso dalla formula $R = P \times V \times E$, ove: $P =$ Pericolosità o probabilità che un fenomeno di determinata intensità si verifichi in una data area, in un certo periodo di tempo; $V =$ Vulnerabilità o danno atteso, è la propensione di un elemento (edifici, infrastrutture, persone, attività economiche) a subire danneggiamenti; $E =$ Esposizione o valore esposto è il numero degli elementi a rischio presenti in una data area (vite umane, insediamenti, beni culturali). Di recente alla formula è stato aggiunto il fattore 'resilienza', DE LUCIA 2023, p. 11.

9. Per un avvio di riflessione sul degrado antropico vedi: BARTOLOMUCCI 2008; BARTOLOMUCCI, GIANNATTASIO 2009.

10. L'Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale (ISPRA) definisce "pericolosità ambientale" sia quella legata a fenomeni naturali (geologici e idrogeologici), sia quella legata ai siti contaminati e alla qualità dell'aria. Vedi i rapporti sullo stato dell'ambiente, <https://www.isprambiente.gov.it/it/banche-dati> (ultimo accesso 10 maggio 2023) e l'*Atlante dei dati ambientali*, vedi DE CORSO ET ALII 2023.

terremoti sono, in realtà, la somma dei danni prodotti dal sisma più le perdite dovute alle demolizioni successive (anch'esse azioni antropiche). Dunque, per la valutazione del rischio risulta fondamentale la conoscenza sia delle trasformazioni del territorio, sia degli interventi pregressi sul patrimonio architettonico.

Un'ulteriore criticità nel trattare di rischio antropico risulta dal fatto che l'uomo è generalmente considerato oggetto a rischio, piuttosto che causa di pericolo. Per esempio, in relazione all'ambiente si considera la pericolosità derivante da attività potenzialmente nocive alla vita e alla salute, che possono essere localizzate¹¹. Analogamente, per il patrimonio culturale la valutazione della pericolosità antropica deve esaminare le potenziali cause di incidenti identificabili sul territorio (presenza di dighe, vie di comunicazione, attività estrattive, cantieri)¹² ma includere anche le attività umane dirette (azioni nocive) e quelle indirette (per esempio, dovute a una gestione inadeguata).

I pericoli sono poi legati ad altri fattori accidentali, quali le condizioni politiche e sociali (guerre, attentati, disordini), ma anche al livello di consapevolezza generale sui valori del patrimonio culturale da cui possono derivare azioni di danno; anche in questo caso, i danni provocati da tali fenomeni colpiscono sia le persone sia i beni.

In breve, il concetto di pericolosità antropica appare generalmente rivolto più agli obiettivi della protezione civile, che alla difesa del patrimonio culturale; per quest'ultimo il rischio di perdita considera le catastrofi, ma non le azioni dell'uomo sul patrimonio stesso. Le condizioni di pericolo sono legate sia a eventi eccezionali (incidenti, atti vandalici, eventi bellici), sia a situazioni comuni (incuria, usi incompatibili, interventi inadeguati). A queste si aggiungono le cause indirette (vibrazioni da traffico, inquinamento, pressione turistica) ma anche i fenomeni di marginalità e mancata conoscenza, che producono azioni nocive.

Una gestione non appropriata del patrimonio (in relazione alla comprensione dei valori da salvaguardare, alla compatibilità d'uso, alla conservazione programmata, alla valutazione dei rischi) costituisce di per sé un indicatore di pericolosità, poiché comporta azioni improprie e danni materiali. Dunque, al fine di identificare le condizioni di pericolosità (in particolare per il patrimonio architettonico, maggiormente soggetto a usi impropri e interventi inopportuni) è opportuno

11. A tal fine l'ISPRA censisce, tramite rapporti periodici, le attività industriali a rischio di incidente rilevante e la presenza di siti contaminati, vedi: ASTORRI *ET ALII* 2015; ARANEO, BARTOLUCCI 2021.

12. Gli incendi verificatisi durante i lavori nella cattedrale di Notre Dame a Parigi, nella cappella della Sindone a Torino, nel teatro della Fenice a Venezia evidenziano la pericolosità di tali circostanze. Vedi il seminario ICCROM-ICOM "*Heritage on fire: who's next? Fire risk management for cultural heritage*" (26-28 June 2019, Rio de Janeiro, Brazil), <https://www.iccrom.org/publication/rio-de-janeiro-declaration-fire-risk-reduction-cultural-heritage> (ultimo accesso 29 gennaio 2026).

esplicitare quali fenomeni antropici sono causa di danni; tale osservazione è interrelata all'analisi della vulnerabilità, compiuta osservando la situazione conservativa degli edifici¹³.

La pericolosità nella Carta del Rischio. Prospettive di approfondimento

L'idea di correlare i beni al territorio e all'ambiente in cui essi si trovano (in seguito alle alluvioni del 1966 a Firenze e Venezia) era espressa già nel Piano pilota per la conservazione programmata dei beni culturali in Umbria¹⁴; la Carta del Rischio dell'attuale Ministero della Cultura (Direzione Generale Sicurezza del Patrimonio Culturale) ne ha raccolto l'eredità sviluppando il sistema della conoscenza su scala nazionale, in seguito alla Legge n. 84/1990. Per l'inquadramento metodologico si rimanda alla bibliografia generale e alle già citate recenti applicazioni ai centri storici¹⁵; qui ci si limita a sintetizzare i tre ambiti considerati per le pericolosità – in base alle dinamiche del suolo e sottosuolo (causa di danni strutturali), ai fattori inquinanti e climatici (causa di degrado materico superficiale) e ai danni derivanti dalle attività dell'uomo – al fine di contribuire alla descrizione di quest'ultimo aspetto, tuttora problematico¹⁶.

Nel primo dominio (statico-strutturale) i pericoli sono noti attraverso indicatori monitorati a livello nazionale o locale: classificazione sismica e microzonazione, dissesti idrogeologici, dinamiche costiere, attività vulcanica, valanghe. Anche in questo caso le pericolosità sono condizionate dalle azioni umane; i possibili danni si basano sulle esperienze già verificatesi e sulle condizioni conservative dei beni presenti nel territorio.

Il secondo dominio (ambientale-aria) è rappresentato da indicatori chimico-fisici di degrado materico – erosione, annerimento, stress fisico – in relazione alle quantità di sostanze inquinanti rilevate nell'aria; qui il ragionamento è inverso, poiché i danni sono già visibili ma la relazione con gli agenti nocivi non è del tutto nota¹⁷.

Il terzo dominio considera i fenomeni antropici potenzialmente responsabili di effetti negativi sulla conservazione, prescindendo dal considerare l'azione umana come concausa di danno anche

13. Vedi le schede da campo "Centri Storici", "Unità Urbane", "Fronti Edilizi", FIORANI ET ALII 2022, pp. 56-59; 98-109; "Spazio Urbano", "Unità Edilizia", FIORANI ET ALII 2023, pp. 105-109; 163-173.

14. Vedi URBANI 1976.

15. Vedi: CARTA DEL RISCHIO 1996; CACACE, DONÀ 2015; CACACE 2019.

16. CACACE 2023, p. 294.

17. Vedi: ISPRA-ICR 2011; GADDI 2021.

nei casi precedenti. La metodologia si basa sul concetto di «pericolosità antropica potenziale» quindi su indizi della possibile presenza di una condizione critica¹⁸.

I fattori antropici identificati nella Carta del Rischio considerano come «pressione indiretta» le dinamiche demografiche e il turismo, mentre la «pressione diretta» è rappresentata dal furto. Entrambe sono correlabili al territorio e alla presenza di beni culturali; l'esposizione al furto sembrerebbe riguardare solo i beni mobili, ma in realtà esso danneggia anche il patrimonio architettonico (spoliazioni di elementi di pregio, effrazioni)¹⁹.

La pressione turistica è finora studiata in relazione ai problemi conservativi causati da variazioni del microclima interno (chiese, musei, ambienti ipogei, aree archeologiche), ma non abbastanza per l'impatto che produce sulle città. In particolare, la Carta del Rischio calcolava un «indice di pressione turistica» in base all'attrattività di ogni Comune (valutata sul numero di beni segnalati dal Touring Club Italiano)²⁰ e alla «massa circolante di turismo culturale» (calcolato sulla ricettività alberghiera e sul numero di visitatori nel museo/monumento più noto), basandosi su dati ormai poco significativi²¹.

Oggi i dati sulla ricettività sono legati alla notevole diffusione di forme di ospitalità alternative, queste stesse ulteriore causa di danni (descritti più avanti)²². Inoltre, il numero dei visitatori negli istituti culturali è decisamente parziale rispetto alle presenze effettive e alla complessità degli interessi che possono condizionare i fenomeni turistici (*social media*, attività di “turismo esperienziale”)²³. Non

18. «La misurazione della pericolosità antropica non può che avvenire in termini di *propensione* di un determinato contesto territoriale (e antropico) ad esprimere fenomeni pericolosi per i beni culturali in esso presenti. Dalla misura di questa propensione si ricaveranno *indizi* della possibile presenza di una condizione critica, la cui esistenza reale sarà confermata unicamente dal confronto con i dati ricavati dallo studio della vulnerabilità dei beni culturali censiti», CARTA DEL RISCHIO 1996, p. 143.

19. Le *Linee guida per la tutela dei beni culturali ecclesiastici* (TPC 2014) forniscono alcune indicazioni per prevenire i furti (sistemi anti-intrusione e videosorveglianza, porte blindate e grate di sicurezza), ma l'applicazione generica di tali provvedimenti può danneggiare sensibilmente l'architettura.

20. Il Touring Club fornisce un censimento indicativo di beni, ma propone elenchi di edifici monumentali in cui l'architettura è vista come sommatoria di elementi d'arte.

21. L'indicatore della «pericolosità da pressione turistica» mostra il valore massimo nel Comune di Roma (al 1° posto per «attrattività turistico-culturale» con 335 beni segnalati dal TCI), che però risulta al 6° posto come «massa circolante» (calcolata sugli ingressi al Pantheon). Quest'ultimo valore risulta massimo a Napoli, ove il numero di accessi al Museo di Capodimonte supera quelli al Palazzo Ducale di Venezia in cui l'attrattività è calcolata solo su 89 beni elencati nelle guide. Risulta evidente che tali stime debbano essere riviste nei parametri di valutazione, CARTA DEL RISCHIO 1996, p. 170.

22. Vedi *UnFairbnb 2018; AirBnB reshapes historic cities*, ICOMOS 2020, pp. 138-139.

23. Sebbene nato con intenti di sostenibilità e di una maggiore comprensione dei luoghi, anch'esso tende a trasformarsi in offerta commerciale in cui le esperienze sono prodotti da vendere ancor prima dei luoghi da visitare.

risultano esaminate altre circostanze impattanti, quali gli eventi di ampio richiamo (sportivi, religiosi, socioculturali e spettacoli), le fiere, i pellegrinaggi, i luoghi creati *ad hoc* per attività ricreative (parchi divertimento, centri commerciali, comprensori sciistici) e i siti naturali²⁴.

Ulteriori elementi di criticità risultano dall'affermazione che «a parità di massa circolante la pressione turistica è tanto più pericolosa quanto maggiore è l'attrattività turistico-culturale del Comune, poiché tale pressione si esercita su un numero maggiore di beni» (senza considerare la superficie su cui si distribuisce – o si concentra – la presenza umana)²⁵. In particolare, l'osservazione attuale dei fenomeni connessi al turismo evidenzia diverse altre questioni; oltre agli effetti socio-economici già osservati (diminuzione di residenti, aumento degli affitti, *gentrification*, speculazioni immobiliari), la diffusione dei B&B può causare danni concreti sul patrimonio poiché la trasformazione degli alloggi comporta alterazioni distributive e strutturali nocive (se realizzate senza un'analisi complessiva dell'organismo architettonico)²⁶.

Inoltre, nei luoghi frequentati dal turismo si osservano ulteriori stravolgimenti dovuti alle attività commerciali (trasformazioni degli spazi su strada, ostruzione degli ingressi), tanto più rilevanti quanto più aumenta la dimensione delle attività stesse. Tra i numerosi esempi, si veda a Venezia l'accentramento dei negozi di lusso su Calle Larga 22 marzo (già Calle di San Moise, rinominata nel 1848) che ha provocato l'acquisizione delle porzioni più rappresentative dell'edificato storico, frazionando gli edifici e alterando gli spazi residui per ricavare ulteriori accessi e distribuzioni interne (fig. 1).

La stima della pressione antropica deve quindi considerare nuovi elementi oltre a quelli finora considerati, quali le attività connesse al turismo globalizzato (*top ten* di luoghi da vedere, vendita di souvenir, catene di ristorazione) e le alterazioni materiali che esse comportano sul patrimonio urbano e sulle modalità di percezione (fig. 2).

I fenomeni di popolarità suscitano altre azioni nocive, legate non solo all'*overtourism* ma anche ad altre fruizioni distorte²⁷ (figg. 3-4); a queste si aggiungono le manifestazioni di protesta esercitate con

24. Vedi i contesti in cui il turismo ha già prodotto effetti negativi (località montane, paesaggi costieri, isole, centri minori) e cfr. la categoria "beni ambientali" in CARTA DEL RISCHIO 1996, p. 150.

25. CARTA DEL RISCHIO 1996, p. 161.

26. Vedi la suddivisione degli appartamenti in più unità abitative, la variazione delle distribuzioni interne e l'apertura di nuovi vani, l'introduzione di bagni e ascensori, che possono incidere sensibilmente sulle strutture murarie.

27. Per esempio, il bagno nella Fontana di Trevi (ispirato dal film di Fellini) causa tuttora fenomeni di emulazione, oltre al costante sovraffollamento di turisti.



Figura 1. Venezia, Calle Larga XXII marzo 1848 (già Calle San Moise): i negozi di lusso occupano le porzioni più rappresentative dell'edificato (fronti su strada), alterando la distribuzione interna degli edifici e relegando gli spazi residui sul retro, in cui è necessario ricavare nuovi accessi. I danni visibili riguardano l'occlusione degli ingressi originari, l'eliminazione di setti murari, i frazionamenti. La percezione stessa della strada risulta rovesciata, poiché il punto focale non è più la facciata della chiesa (sul percorso verso la piazza San Marco) ma le mete dello shopping (foto C. Bartolomucci, 2023).



Figura 2. Roma, via del Corso: ex-ospedale di San Giacomo in Augusta, presso la chiesa omonima. Gli spazi dismessi del complesso ospedaliero sono occupati da attività sfiguranti. Sulle vie del Tridente il commercio mostra caratteristiche molto diverse: sul percorso centrale (maggiormente frequentato) si trovano i negozi più popolari, mentre quelli di lusso sono collocati nelle traverse laterali che originariamente avevano funzioni di servizio (foto C. Bartolomucci, 2023).

azioni dirette sul patrimonio culturale (atti di vandalismo sulle opere d'arte e altre azioni dimostrative, come le sostanze coloranti disperse nelle fontane monumentali). In questi casi, come pure per gli atti di singoli squilibrati, la pericolosità legata a fenomeni sociali e politici è accentuata dalla risonanza degli eventi, che può innescare azioni imitative.

Per quanto riguarda i fattori demografici, le questioni rilevanti sono legate alla presenza di abitanti e all'uso; se lo spopolamento costituisce una causa di degrado nei centri minori, altrettanto può dirsi per la concentrazione antropica, gli usi inadatti e per attività di riqualificazione dagli esiti degradanti. Nelle città il problema si pone quindi in termini inversi, poiché il pericolo maggiore deriva dalle azioni nocive più che dall'abbandono²⁸.

Tra i danni legati all'uso, la consuetudine di collocare i contatori delle utenze su strada provoca scassi diffusi nelle murature, operati spesso senza alcuna consapevolezza delle questioni strutturali e delle porzioni murarie più sollecitate (fig. 5). Gli adempimenti normativi possono comportare altre scelte inopportune (come la sostituzione di infissi con porte di sicurezza o tagliafuoco) compiute ignorando i valori dell'architettura.

In sintesi, se è noto il valore esposto (numero e localizzazione dei beni censiti nei sistemi informativi del MiC)²⁹ la definizione della pericolosità derivante dalle azioni umane necessita di ulteriori approfondimenti sia per esaminare altri fattori di rischio, sia perché la valutazione (condotta finora a scala comunale) risulta inefficace per l'analisi nei centri storici, che presentano situazioni assai diverse all'interno del Comune stesso.

È quindi necessario osservare in aree differenti le attività potenzialmente nocive, per poi ricavarne la relazione con il territorio. Le azioni dannose possono essere intenzionali (demolizioni, atti vandalici, deturpamenti) o involontarie, dovute a interventi incongrui (trasformazioni incompatibili, manutenzioni non idonee, riqualificazioni degradanti); gli impatti negativi incidono sulle strutture, sui materiali e sulla percezione del patrimonio stesso.

Si propone di ragionare con una logica induttiva, partendo dagli effetti visibili di danno (tab. 1) per risalire alle possibili cause. L'osservazione non può limitarsi alle architetture eccezionali, ma deve considerare i fattori di pericolosità per il patrimonio architettonico diffuso e gli spazi urbani, la

28. Dagli ultimi decenni del secolo scorso l'attrazione esercitata dai centri storici urbani (fino ad allora trascurati a favore dei nuovi quartieri residenziali) o da quelli minori spopolati (riscoperti a fini turistici) evidenzia nuovi problemi legati agli interventi di riuso e "riqualificazione".

29. Il sistema informativo "Vincoli in Rete" integra le diverse banche dati del MiC in una piattaforma online, in cui è possibile compiere ricerche geografiche e anagrafiche sui beni oggetto di tutela, <http://vincoliinrete.beniculturali.it/> (ultimo accesso 10 maggio 2023).



Figura 3. L'Aquila, via Accursio, casa di Buccio di Ranallo (XIV sec.). La recente diffusione dello street boulder (o urban climbing) richiama numerosi appassionati d'arrampicata nei centri urbani delle aree montane, ove gli edifici storici vengono usati come pareti artificiali da scalare (foto C. Bartolomucci, 2023).



Figura 4. L'Aquila, Santa Maria di Collemaggio. Il palco per gli spettacoli della Perdonanza Celestiniana, collocato presso la facciata della basilica, costituisce un ingombro visivo e un elemento di pericolosità (possibili danni per urti e vibrazioni) oltre a ridurre l'architettura a mera scenografia per la celebrazione di un "patrimonio intangibile" (foto C. Bartolomucci, 2023).

viabilità veicolare e pedonale, le aree intensamente frequentate, le attività potenzialmente nocive (tab. 2), la presenza e prossimità di attrattori (tab. 3) e di obiettivi sensibili (tab. 4).

Ulteriori indizi di pericolosità, quali le circostanze che possono favorire i fenomeni di danno, sono da rintracciarsi nelle dinamiche sociali (gentrificazione o marginalità) e in alcune politiche di semplificazione poiché questa riduce le possibilità di controllo delle attività potenzialmente nocive (premi di cubatura, incentivi fiscali e *bonus edilizi*).

In breve, la suddivisione della pericolosità nei tre domini proposti dalla Carta del Rischio potrebbe essere rivista nelle denominazioni allineandola con le definizioni del Dipartimento della Protezione Civile³⁰ e con quelle dell'Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale³¹. In particolare, entrambi i domini “statico-strutturale” e “ambientale-aria” sembrano corrispondere alla pericolosità ambientale considerata dall'ISPRA, di recente estesa anche ai fattori umani e ai cambiamenti climatici³².

In generale, l'ambito della pericolosità antropica deve essere ampliato considerando gli interventi nocivi sul patrimonio ma anche la mancata conoscenza e comprensione del patrimonio stesso, che provoca ulteriori danni.

Similmente ad altre modalità di classificazione dei pericoli³³ la pericolosità antropica può essere rappresentata in uno schema che riassume le circostanze elencate nelle tabelle precedenti (tab. 5); alle cause dirette (uso, disuso) si associano quelle indirette dovute alla scarsa conoscenza, al contesto socio-politico e alle condizioni ambientali (presenza di elementi di pericolo esterni, attrattori e obiettivi sensibili), mentre il valore economico può divenire un elemento nocivo se inteso solo come immobiliare o turistico.

Infine, all'interno delle complesse dinamiche relative alla pericolosità antropica un fattore essenziale è relativo alla disponibilità e al coordinamento univoco delle informazioni, scopo specifico

30. Ove il rischio è attualmente suddiviso in: sismico, meteo-idro, vulcanico, maremoto, incendi boschivi, sanitario, nucleare, industriale di incidente rilevante, grandi dighe, <https://rischi.protezionecivile.gov.it/it/> (ultimo accesso 27 dicembre 2024).

31. In questo caso nella pericolosità ambientale sono considerati anche i fenomeni antropici, tra cui l'uso e il consumo di suolo. I dati raccolti relativi a geosfera, idrosfera, biosfera, cambiamenti climatici, atmosfera, antroposfera (ISPRA 2024) sono consultabili, <https://ecoatlante.isprambiente.it/> (ultimo accesso 27 dicembre 2024).

32. I dati relativi all'antroposfera riguardano le aree urbane, le isole di calore, l'economia circolare, le emissioni industriali, i grandi impianti a combustione, le sorgenti elettromagnetiche, rumore e ambiente, DE CORSO 2024, pp. 97-113.

33. Il codice *NFPA Hazard Classification* (proposto dalla *National Fire Protection Association*) è usato in ambiti industriali diversi, <https://www.nfpa.org/codes-and-standards/1/0/1/101?l=535> (ultimo accesso 07 dicembre 2023).



Figura 5. L'Aquila. La consuetudine di collocare su strada i contatori delle utenze (comunemente imposta dai gestori delle forniture) provoca diffusi scassi nelle murature, eseguiti sulle porzioni resistenti senza alcuna cognizione delle criticità strutturali. Il problema è particolarmente evidente nei centri storici, in corrispondenza delle unità abitative appena ristrutturate (foto C. Bartolomucci, 2023).

Attività potenzialmente nocive	SI/NO	Incidenza (%)
Nei piani seminterrati e interrati: garages, officine meccaniche, palestre, discoteche e altri locali che necessitano di ampi spazi e/o nuovi accessi		
A livello strada e in prossimità dei piani terra: grandi attività commerciali, negozi di lusso, ristoranti e locali pubblici di grandi dimensioni, nuovi accessi e/o ampie vetrine		
Nei piani superiori: parcellizzazione delle proprietà, affittacamere, B&B e altre modifiche d'uso e distribuzione interna, inserimento ascensori		
Sui fronti edilizi: rifacimento facciate, efficientamento energetico, installazione di contatori in nicchia e altre attrezzature tecniche, antenne		
Negli spazi esterni: dehors, commercio ambulante, traffico veicolare, parcheggi, distributori di carburante, sistemi di controllo (tornelli, metal detector), scavi per servizi a rete		
Ostacoli alla fruizione e alla conoscenza del patrimonio (accesso negato, carenza di indicazioni, informazioni inadeguate, percorsi alterati)		
Fenomeni di abbandono e disuso (parziale o totale), attività commerciali e turistiche sfiguranti, overtourism		
Presenza di elementi a rischio di incidenti (dighe, viadotti, scavi, cantieri), trasporti di superficie e sotterranei, traffico veicolare		

Effetti di danno	Incidenza (%)
Alterazioni fisiche (modifiche agli accessi e alle distribuzioni interne, chiusura spazi porticati, sopraelevazioni, frazionamento delle proprietà immobiliari, intasamento dei lotti, facciatismo)	
Danni alle strutture (eliminazione e riduzione setti murari, scassi per impianti e forniture a rete, alterazioni del sistema strutturale, apertura nuovi accessi e vani di passaggio)	
Danni alle superfici (graffiti, murali, riqualificazioni incongrue dei fronti edilizi, sostituzione intonaci e finiture storiche)	

In alto, tabella 1. Attività potenzialmente nocive per il patrimonio architettonico. In basso, tabella 2. Effetti di danno sul patrimonio architettonico (elaborazione C. Bartolomucci, 2023).

Presenza di attrattori	SI/NO	Quantità (n°)	Distanza (m)
Scuole			
Università			
Mercati			
Centri commerciali			
Cinema e teatri			
Stadi e palazzetti dello sport			
Monumenti e altri luoghi frequentati dai turisti			

Presenza di obiettivi sensibili	SI/NO	Quantità (n°)	Distanza (m)
Banche			
Ambasciate			
Edifici di culto (chiese, sinagoghe, moschee)			
Ospedali e aziende sanitarie			
Carceri			
Uffici pubblici, tribunali			
Scuole, università			
Forniture energetiche, idriche, telecomunicazioni			

In alto, tabella 3. Presenza e prossimità di attrattori. In basso, tabella 4. Presenza e prossimità di obiettivi sensibili (elaborazione C. Bartolomucci, 2023).

della ricerca *Historic Preservation Foundation Classes* al cui interno si colloca il presente lavoro. Infatti, si osserva una generale frammentazione delle informazioni a livello locale e coesistono tuttora duplicazioni di sistemi informativi su temi analoghi (con esiti controversi e di incomunicabilità)³⁴. Il limite amministrativo è evidente anche ai confini del territorio italiano, ove mancano integrazioni con esperienze simili in Europa³⁵.

Seconda parte: Il caso di Roma: Trastevere, la Lungara e le aree limitrofe

Come osservato, la pericolosità nella Carta del Rischio è rappresentata su base comunale ma le caratteristiche del territorio possono variare sensibilmente all'interno dei diversi Comuni, per cui (similmente a quanto realizzato per la microzonazione sismica) è necessario approfondire a scala più ridotta l'analisi nelle grandi città.

Il Comune di Roma è attualmente suddiviso in 15 municipi con dimensioni e qualità molto varie; è essenziale distinguere sia le aree urbane dalle periferie, sia le differenti zone nella città storica. Il centro storico è compreso nel Municipio I, che risulta suddiviso in 22 rioni.

L'area della Lungara (dal nome dell'asse viario cinquecentesco su cui si attesta l'edificato) fa parte del rione Trastevere ed è limitrofa alla Città del Vaticano, ma presenta alcune peculiarità che la distinguono dalle zone vicine fortemente interessate dai fenomeni connessi al turismo³⁶. Pur mostrando al suo interno numerose aree verdi verso il colle del Gianicolo, la posizione lungo il Tevere determina un notevole flusso veicolare che ha prodotto alterazioni fisiche e percettive del tracciato storico.

La presenza di edifici speciali (carcere di Regina Coeli, ospedale pediatrico Bambino Gesù, caserme, residenze collettive), insieme ad alcune ville e a un tessuto edilizio a sviluppo contenuto in altezza, caratterizza un'area non intensamente frequentata ma che presenta comunque elementi di pericolosità.

34. Nella mappa dei rischi dei comuni italiani la logica della Protezione Civile appare distante dalla salvaguardia dei beni culturali; vedi per es. l'indice "di vecchiaia" del patrimonio edilizio, suddiviso per epoca di costruzione (dal XX secolo) senza alcuna considerazione dell'architettura storica, <https://www.istat.it/statistiche-per-temi/focus/informazioni-territoriali-e-cartografiche/rappresentazioni-cartografiche-interattive/mappa-dei-rischi-dei-comuni-italiani/> (ultimo accesso 20 dicembre 2024).

35. In Svizzera la Protezione dei Beni Culturali è integrata nel sistema informativo dell'Ufficio Federale per la Protezione della Popolazione, vedi Inventario PCB, map.geo.admin.ch (ultimo accesso 20 dicembre 2024).

36. Per l'analisi storica e la lettura della realtà attuale, vedi CAPERNA 2013; CAPERNA 2020, pp. 130-162.



Tabella 5. Una sintesi della pericolosità antropica per il patrimonio architettonico può essere rappresentata nell'ideogramma mutuato dalla *NFPA Hazard Classification*, ponendo da un lato le cause indirette (condizioni di pericolosità dell'ambiente, scarsa conoscenza del patrimonio, situazioni politiche e sociali), dall'altro quelle dirette (uso, disuso); la predominanza dei valori economici e l'inconsapevolezza di altri valori sono inerenti a tutti i fattori descritti, causando danni e degrado (elaborazione C. Bartolomucci, 2023).

In particolare, il fenomeno antropico è caratterizzato dalla notevole frequentazione nelle zone contigue; a nord la piazza e la basilica di San Pietro sono affollate da turisti (i cui flussi sono regolati da dispositivi di controllo), a sud le piazze e i vicoli di Trastevere costituiscono un richiamo considerevole per un insieme variegato di fruitori. Ove presenti, le barriere di sicurezza ostacolano la percezione spaziale e concentrano i flussi su determinati percorsi (vedi i sistemi di controllo sulle vie d'accesso alla basilica vaticana e nel colonnato stesso), accelerandone il consumo materiale.

Analogamente a quanto rilevato dalle centraline per la qualità dell'aria³⁷, la presenza antropica può essere rilevata dalle videocamere e misurata tramite i telefoni cellulari collegati alle celle esistenti nel territorio. Questo dato fornirebbe un ulteriore indizio di pericolosità sia per la pressione antropica diretta, che contribuisce al degrado materiale, sia per le attività potenzialmente nocive che tendono a concentrarsi nelle aree più frequentate.

L'esposizione al rischio legata a fenomeni dinamici è analizzata nei paragrafi seguenti.

Intensità d'uso e "pericolosità antropica" nei tessuti storici

Come si è visto, nella Carta del Rischio (CdR) del Patrimonio Culturale Italiano, il concetto di "pericolosità antropica" viene definito a partire da ragionamenti deduttivi finalizzati a verificare se la pressione delle attività umane attribuita a un determinato territorio o area urbana sia di fatto pericolosa per i beni storico-culturali presenti. Come è noto, i fenomeni antropici identificati come potenzialmente responsabili di effetti negativi sulla conservazione dei beni storico-artistici, architettonici e monumentali - e in generale sull'integrità della città storica - vengono ricondotti a tre aree tematiche di cui almeno due riguardano, a ben vedere, le attività umane primarie già codificate nella Carta di Atene (1933) che Le Corbusier e gli altri grandi Maestri del Movimento Moderno avevano contribuito a redigere per delineare il profilo della nuova città razionalista. In effetti, lasciando alla necessità di un piano di approfondimento specifico la questione della "susceptibilità al furto" legata alla spoliazione di beni storico-artistici, le aree tematiche riguardanti le dinamiche di densità demografica (intese come spopolamento e sovra-popolamento) e della pressione turistica risultano, a ben vedere, piuttosto inclusive delle attività umane primarie dell'abitare, lavorare, trascorrere il tempo libero e spostarsi.

37. Una mappa sulla qualità dell'aria in tempo reale (*Air Quality Index*) basata sui dati disponibili a scala mondiale, <https://aqicn.org/map/world/> (ultimo accesso 04 maggio 2023).

Nella CdR le dinamiche di densità demografica sono declinate con metodi tradizionali, come studio degli andamenti crescenti o decrescenti nel tempo della popolazione residente. La tendenza allo spopolamento, oltre una soglia stabilita, comporta in generale il venir meno delle condizioni di convenienza economica e sociale alla stanzialità, alla sorveglianza, cura, manutenzione, conservazione e valorizzazione, favorendo di fatto il progressivo declino e l'ineluttabile degrado dei beni e del loro contesto. Nella condizione opposta il fenomeno di un eccessivo incremento della popolazione residente prefigura il rischio di non riuscire a garantire l'integrità delle componenti vitali per la conservazione e la fruibilità, provocando un impatto potenzialmente dannoso sui beni culturali e i relativi contesti, riconosciuti come tessuti urbani di valore storico testimoniale da tutelare nella loro interezza.

La terza filiera che la CdR individua per mettere a fuoco la pericolosità antropica è la pressione turistica. La fruizione dello spazio urbano attrattivo esercitata dal visitatore turistico può infatti costituire un serio pericolo per l'integrità e la conservazione dei beni culturali, principalmente quando le politiche di gestione dei flussi di visitatori si rivelano molto deboli o assenti, con servizi e strutture inadeguate.

L'obiettivo di questa seconda parte di queste riflessioni è indagare sui potenziali nessi di correlazione tra densità dello spazio di relazione nel tessuto storico, intensità d'uso dello spazio pubblico e pericolosità antropica, nello specifico investigandoli sull'insieme del rione Trastevere a Roma (zona urbanistica 1B³⁸).

L'interpretazione concettuale consolidata di pericolosità antropica della CdR sembra stia trovando un nuovo dinamismo attraverso approcci in grado di espanderne la visione, a partire dalla funzione che permette di perimetrare e schedare i centri storici come beni unitari andando oltre le loro singolarità puntuali³⁹. È prioritario, dunque, valutare la complessità dell'ambito urbano/territoriale all'interno del quale si collocano i beni culturali e i tessuti storici oggetto di tutela; si parla in effetti della necessità di "verificare se la pressione antropica attribuita a un dato territorio sia di fatto pericolosa per i beni presenti".

Tuttavia, appare ancora *in progress* l'efficacia nello sviluppo di metodi e strumenti in grado di esplicitare le aree tematiche come la "dinamica della densità demografica" e la "pressione turistica" e sperimentare indicatori di tipo innovativo per la valutazione di un'idea - la pericolosità antropica

38. Le 155 zone urbanistiche di Roma Capitale sono suddivisioni dei Municipi istituite nel 1977 a fini statistici e di pianificazione/gestione del territorio, secondo criteri di omogeneità dal punto di vista urbanistico.

39. Vedi: FIORANI 2019; FIORANI *ET ALII* 2022.

- così complessa e sfaccettata in virtù della sua presunta capacità di rappresentare la ricchezza della dimensione urbana e/o territoriale.

In effetti, nello scenario delineato dalla CdR gli indici selezionati per valutare la pericolosità antropica di sintesi sembra siano stati pensati soprattutto nella tradizionale dimensione statica della misurazione del fenomeno: la densità della popolazione residente, quella degli addetti alle diverse attività economiche o il numero di presenze turistiche nelle strutture ricettive. Tuttavia, la densità può essere intesa come strumento complesso, utilizzabile ormai soprattutto per cogliere ed evidenziare la dimensione dinamica della fenomenologia delle attività che animano lo spazio urbano.

dinamica delle attività funzionali che si intrecciano nei suoi tessuti (residenza, luoghi di lavoro, servizi e attrezzature di diversa gerarchia, rilevanza o pregio, contenitori per il tempo libero, spazi pubblici pedonali e sedi della mobilità).

“Interpretazioni di densità”: sperimentazione sul rione Trastevere

L’intricata trama reticolare che sostanzia i tessuti storici, attraverso la costruzione di indicatori integrati di densità complesse, può costituire un terreno fertile per il disvelamento della fluidificazione dinamica del movimento, tanto motorizzato, quanto della mobilità dolce, pedonale soprattutto; nei tessuti storici compatti e intricati (come nel caso di Trastevere) i flussi tendono a coagularsi e densificarsi in prossimità dei luoghi più attrattivi per l’incontro, lo scambio, la convivialità sociale, il consumo. Potremmo dunque parlare della condizione che induce alla trasformazione da asettico spazio di transizione a luogo di relazione di particolare valenza strategica, da spazio d’intersezione di traiettorie eterogenee a nucleo di addensamento o polo diffuso di attività socio-relazionali.

L’ipotesi sottesa a queste riflessioni, in definitiva, è che l’intensità di utilizzo dello spazio pubblico, in particolare quello costituito dal denso e contorto reticolo di percorsi di alcune porzioni dei tessuti storici, sia interpretabile o fornisca degli indizi come vettore potenziale di pericolosità antropica, causando, in modo probabilistico, una concentrazione di rischi di degrado dovuti ad azioni di pressione antropica che conducono al consumo, degrado e danneggiamento dello spazio pubblico e delle sue quinte. Nel caso di Trastevere, si è ragionato nello specifico sulla correlazione tra la densità antropica e il rischio di deterioramento dello spazio pubblico e delle superfici esterne delle “stanze urbane” e dei corridoi di spostamento lungo i percorsi delle unità edilizie più frequentate e identitarie della scena urbana nel quartiere.

In una generale tendenza alla flessione abitativa, in corso da qualche decennio nell’intero rione (dagli oltre 16.000 nel 2001 ai circa 13.600 del periodo immediatamente precedente il Covid-19), le

tradizionali mappature di densità “statica” per residenti e addetti (figg. 6-7) rivelano un addensamento nel cuore di Trastevere tra Porta Settimiana a nord e Piazza San Cosimato a sud, con un baricentro di unità edilizie a minore concentrazione nelle immediate vicinanze di Piazza S. Maria in Trastevere. Nel complesso, a fronte della contrazione complessiva dei residenti, la contemporanea tenuta o in qualche caso aumento degli addetti, e soprattutto dei visitatori, sta facendo mutare l’identità del quartiere con la prevalenza (principalmente in ore serali e nel fine settimana) della pressione di flussi legati al turismo, tempo libero, ristorazione e commercio, con spazi animati soprattutto da giovani.

Con l’obiettivo di individuare il dinamismo differenziale nell’intensità d’uso dello spazio pubblico, un primo passo verso un utilizzo innovativo della densità è costituito dall’esplorazione della così detta “densità di attività umana” che corrisponde alla sommatoria delle densità elementari di residenti e addetti per unità di superficie urbana (espressa in ettari). La “*Densité d’Activité Humaine*” (DAH) è stata introdotta negli studi insediativi e nei piani urbanistici già alla fine del secolo scorso, segnatamente da studiosi di scuola francese⁴⁰. Integrare in un solo indicatore la valutazione della concentrazione della densità di abitanti e dei posti di lavoro - vale a dire le attività che in maggior misura generano la così detta “mobilità sistemica” - significa iniziare ad aggredire la questione della pressione antropica privilegiando un approccio più dinamico: si tratta di concepire il dominio spaziale non più riferendosi ad attività nelle quali prevale la condizione della stasi, ma allargando lo sguardo allo spazio del movimento e dei flussi come già, a ben vedere, aveva intuito nella seconda metà del XIX secolo Ildefonso Cerdà rivoluzionando i principi dell’urbanistica moderna con la sua *Teoría General de la Urbanización* (1867).

Cartografando la DAH con il dettaglio dei dati disaggregati per sezioni di censimento⁴¹, si individua a Trastevere un addensamento significativo nei tessuti tra Ponte Sisto e S. Egidio (Santa Maria in Trastevere) e negli isolati attorno a S. Cosimato (fig. 8). Le rilevazioni di Roma Capitale, non ancora influenzate dai *lockdown* della stagione pandemica⁴², indicano che, in generale, la crescita di addetti si è focalizzata nei tessuti centrali del rione: questo conduce a esplorare indicatori ancor più significativi in termini dinamici come la densità dei *city users*⁴³ che riguarda la partita della così detta “città dei

40. Vedi: FOUCHIER 1996; FOUCHIER 1998.

41. Dati e shape files ISTAT 2011 e stime campionarie di aggiornamento.

42. Roma Servizi per la Mobilità, *Scenari Trasportistici e Ambientali per un Trasporto Urbano Sostenibile (STATUS) scenario 2019*, <https://romamobilita.it/it/progetti/studi-indagini/status> (ultimo accesso 12 dicembre 2023).

43. Vedi MARTINOTTI 1993.



Figura 6. Densità residenziale disaggregata del rione Trastevere, elaborazione QGIS su dati ISTAT 2011 con base CTR Lazio 1990 (elaborazione T.V. di Giacomo, 2024).

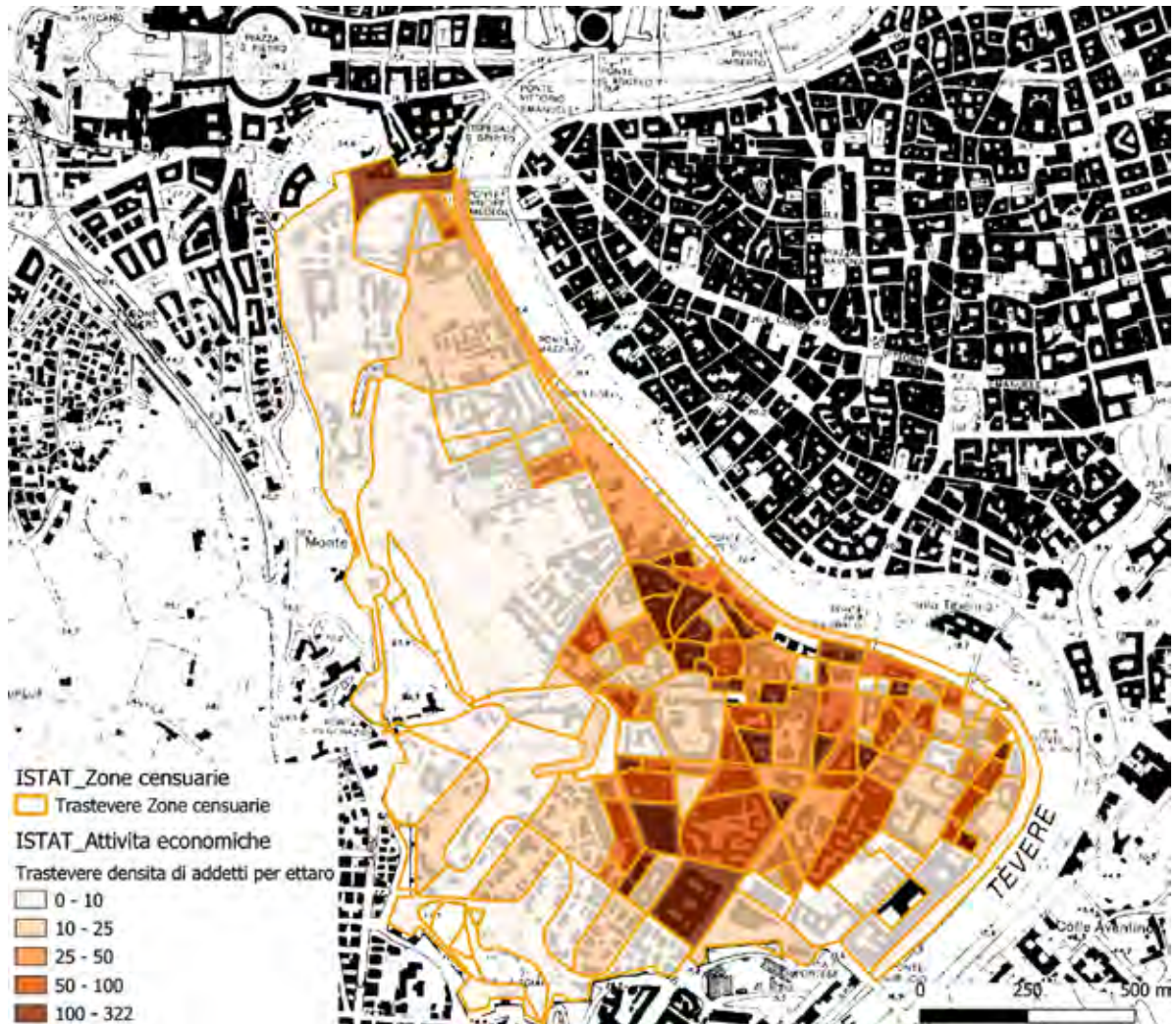


Figura 7. Densità di addetti disaggregata del rione Trastevere, elaborazione QGIS su dati ISTAT 2011 con base CTR Lazio 1990 (elaborazione T.V. di Giacomo, 2024).

flussi⁴⁴, nella quale la densità dei vari soggetti in movimento impatta in modo cinematico sullo spazio urbano e riverbera i suoi effetti (positivi, ma anche negativi) proprio in termini di pressione antropica.

Nella valutazione dei flussi della mobilità urbana e metropolitana, quanto sia ormai prevalente la componente asistemica (vale a dire non imputabile a fenomeni di pendolarismo) è confermato da studi, ricerche e sperimentazioni consolidate e recenti sul tema, non solo attraverso la modellizzazione tradizionale del traffico privato e dei sistemi di trasporto collettivo, ma soprattutto mediante le nuove tecnologie di rilevazione e misurazione dell'utenza della telefonia mobile⁴⁵. La letteratura scientifica, gli studi e le sperimentazioni applicate sul tema convergono nel rilevare che la tradizionale componente degli spostamenti sistematici rappresenta ormai solo una quota minoritaria della mobilità complessiva nei bacini urbani e territoriali⁴⁶. La maggior parte sono generati da una mobilità solo apparentemente "erratica", in realtà dovuta all'intreccio di una domanda di spostamento legata a complesse agende quotidiane di attività giornaliere personali, caratterizzate da ragioni familiari, culturali, ludiche, di servizio, con traiettorie articolate e talora imprevedibili⁴⁷.

Nel caso in oggetto, esaminando i flussogrammi veicolari giornalieri medi⁴⁸, si conferma la netta prevalenza di pressione della fascia dei Lungotevere Farnesina-Sanzio e (in minor misura) su Viale Trastevere, mentre i tessuti interni (soprattutto la Lungara) anche per effetto del regime di Zona a Traffico Limitato (ZTL) nel quartiere (come nel restante perimetro del centro storico di Roma), fanno registrare un transito veicolare locale meno aggressivo (fig. 9). Anche le cartografie della Mappa acustica strategica del Comune di Roma (2017) confermano tale scenario (fig. 10) che dal 2022-23 si è ormai stabilizzato recuperando i livelli di mobilità prepandemica.

44. Vedi BOGNON *ET ALII* 2020.

45. Una recente indagine, effettuata attraverso i dati delle aziende di telecomunicazione, fa emergere per Roma un quadro inaspettatamente più vivace e di portata più rilevante rispetto alle rilevazioni con strumenti tradizionali, vedi CAMERA DI COMMERCIO DI ROMA 2023, https://www.rm.camcom.it/archivio27_focus_0_582.html (ultimo accesso 11 dicembre 2023). Su un periodo di osservazione superiore a sei mesi consecutivi post Covid-19, ai 2,8 milioni di abitanti ufficiali, risultanti dagli elenchi anagrafici, si aggiungono circa 500mila residenti per almeno 5 giorni settimanali. Inoltre, ai già noti 420mila pendolari quotidiani, si sommano in media 470mila city users abituali e 220 mila occasionali. La pressione maggiore di questi flussi si conferma sul centro storico (Municipio 1 che include la Zona Urbanistica 1B Trastevere) con più di un milione di presenze giornaliere.

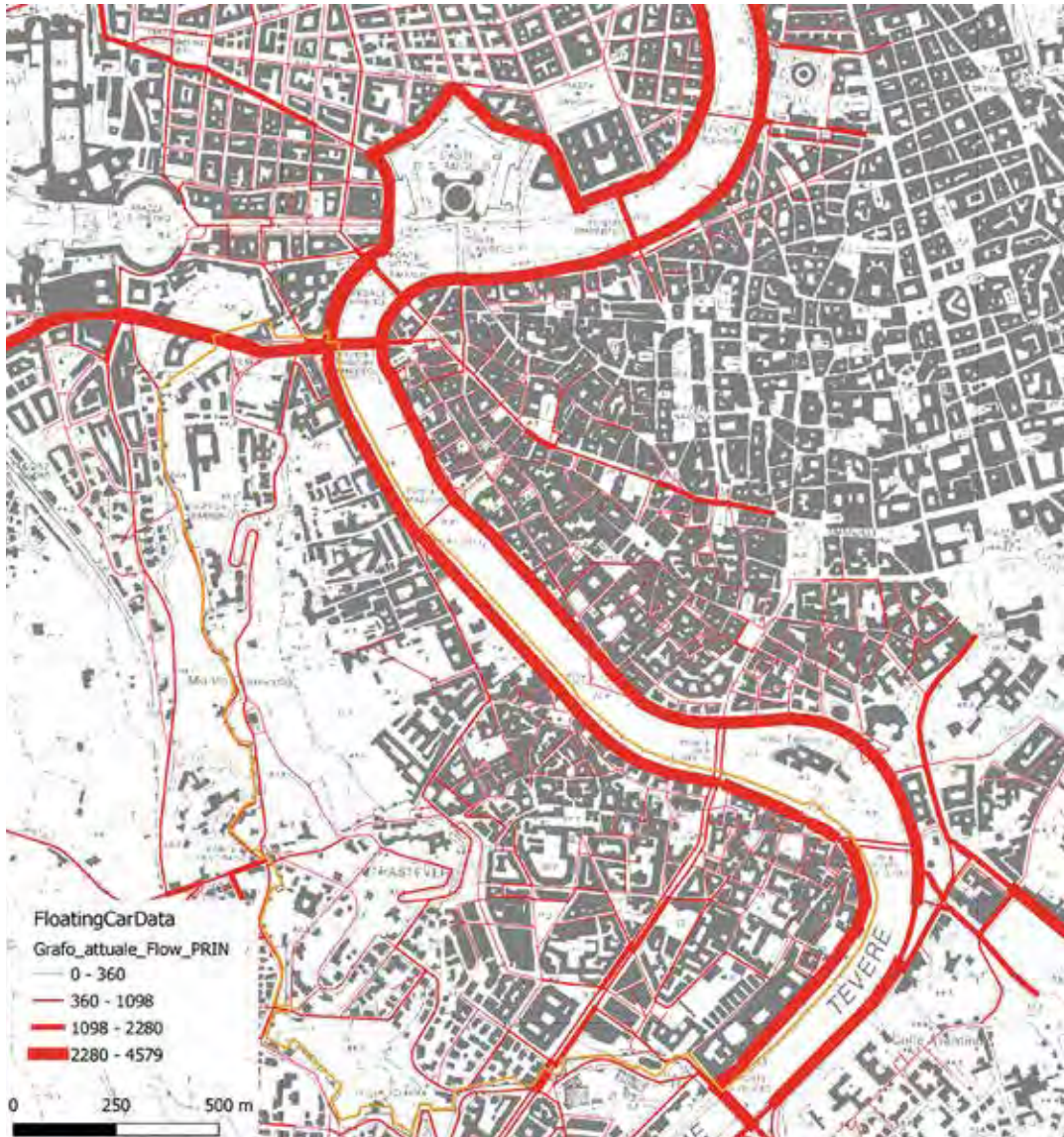
46. Vedi GORDON, LEE 2015.

47. Vedi YANG *ET ALII* 2015.

48. Le elaborazioni sono state ricostruite in ambiente QGIS con *floating car data* maggio 2022, riferiti al periodo di ripresa post-pandemica, con la cooperazione degli uffici di Roma Servizi per la Mobilità di Roma Capitale.



Figura 8. Densità di attività umana (DAH) disaggregata del rione Trastevere, elaborazione QGIS su dati ISTAT 2011 e base CTR Lazio 1990 (elaborazione T.V. di Giacomo, 2024). Nella pagina successiva, figura 9. Flussogramma veicolare medio, maggio 2022, su rete viaria attorno al Rione Trastevere. Elaborazione QGIS su dati Roma Servizi per la Mobilità, Roma Capitale (elaborazione T.V. di Giacomo, 2024).



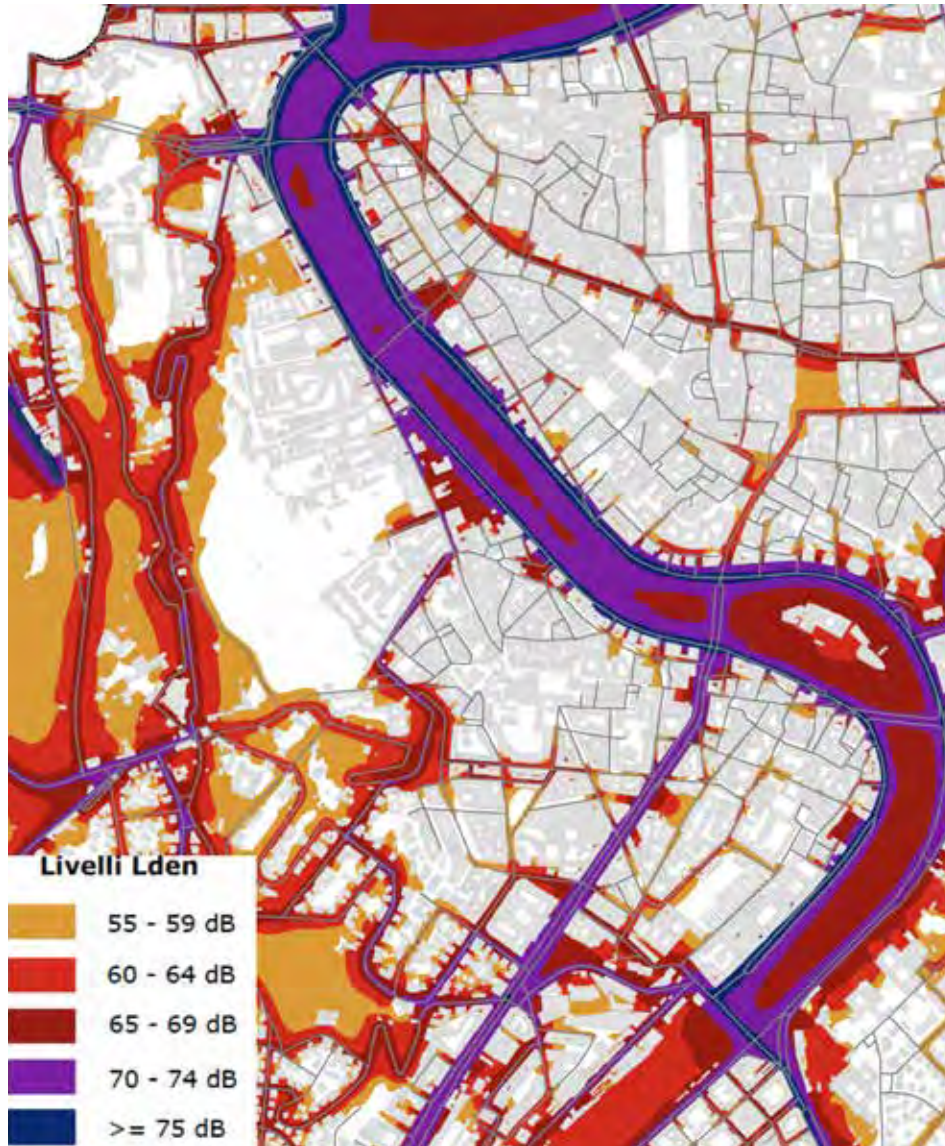


Figura 10. Estratto della cartografia della Mappa acustica strategica del Comune di Roma (2017) per il rione Trastevere, <https://www.comune.roma.it/web/it/servizi>, (ultimo accesso 12 dicembre 2023).

Alla dimensione fisico-spaziale della densità umana statica e dei flussi veicolari urbani tradizionali, si affianca quella psico-sociologica, sviluppata da importanti scuole di pensiero che hanno delineato un ricco ventaglio d'interpretazioni sulle possibili declinazioni dell'intensità delle relazioni umane, in particolare quelle legate allo spazio pubblico attraversato in modalità pedonale. In un ideale *fil rouge* a partire dal XIX secolo e per tutto il Novecento, spiccano alcuni capisaldi come gli studi di Durkheim sul concetto di "densità sociale" osservabile nel suo luogo elettivo, la città⁴⁹. Esiste poi la "densità percepita" (Scuola di Chicago) che approfondisce il tema della prossimità sociale, svincolata dalla distanza fisico-spaziale⁵⁰, fino all'attualissima "densità di soglia"⁵¹, superando la quale si manifestano fenomeni di patologia del comportamento: in effetti è stato osservato come con l'iperaffollamento (*crowding*) si produca una sensazione di *stress* crescente, proprio a causa della percezione ravvicinata di un numero troppo elevato di persone in rapporto allo spazio fisico disponibile.

Il *crowding* è uno stato emotivo determinato da fattori sociali e personali, originariamente orientato a mitigare la percezione dei condizionamenti spaziali. Definito come "la percezione da parte di un individuo di un numero di persone eccessivo in uno spazio dato"⁵², il *crowding* è dunque il prodotto d'informazioni d'ordine fisico (assetto spaziale, rapporti tra gli edifici, altezza del costruito, composizione urbana, spazi verdi, rumore, etc.) e sociale (caratteristiche degli abitanti, addetti, visitatori, frequenza degli scambi, etc.) ai quali si sommano condizioni, esigenze, aspirazioni, desideri, capacità d'adattamento dei singoli. Quando si crea uno scarto insostenibile tra i bisogni e le percezioni si genera un senso di affollamento suscettibile di provocare disagio fisico e psicologico, uno stato di stress che può influenzare negativamente i comportamenti sociali⁵³.

Come individuare, dunque, le soglie di *carrying capacity* che la pressione antropica non deve oltrepassare per non compromettere la qualità dei tessuti della città storica? Come limitare e gestire l'addensamento delle percorrenze e dello stazionamento dei pedoni in uno spazio pubblico contraddistinto da una geometria dei tessuti irregolare e frattale? A ben vedere, la ricerca scientifica già da alcuni decenni ha prodotto al riguardo rilevanti riflessioni teoriche e robuste metodologie applicate per lo studio degli effetti concreti del movimento pedonale nello spazio urbano.

49. Vedi DURKHEIM 1893.

50. Vedi WIRTH 1938.

51. Vedi CHOMBART DE LAUWE 1966.

52. Vedi STOCKOLS 1972.

53. Vedi HALL 1966.

I “Livelli di Servizio” pedonali

L'esigenza di investigare le logiche dei flussi pedonali nasce storicamente diversi anni dopo gli studi focalizzati sul traffico motorizzato. La questione è molto complessa poiché i pedoni hanno una componente culturale e comportamentale variabile e sono fortemente influenzati dal contesto con il quale interagiscono. Diversi studi presenti in letteratura evidenziano la correlazione tra flussi pedonali, sicurezza e geometria della rete viaria, spesso insieme alla componente della mobilità veicolare.

Focalizzare l'interesse sul nesso tra la pericolosità antropica potenziale e l'intensità d'uso dello spazio pubblico, significa, dunque, riflettere sul modo in cui i flussi (segnatamente quelli pedonali, in questo caso) si confrontano e si adattano alla geometria dei *pattern* urbani. Al riguardo, appare quanto mai cogente e significativo riferirsi alla codifica dei così detti “Livelli di Servizio” (LoS), in generale definibili come indicatori di prestazione di una sede infrastrutturale così come vengono percepiti dai soggetti che la utilizzano. Nato nel secondo dopoguerra per valutare la qualità prestazionale delle strade a scorrimento veloce, l'indicatore è stato poi sperimentato, a partire dagli anni '70, per valutare il comportamento dei flussi pedonali e il *comfort* percepito in relazione allo spazio fisico attraversato e vissuto⁵⁴.

Il *Pedestrian Level of Service* (PLoS) distingue qualità di servizio variabili a seconda della densità di presenze o transiti nell'ambito delle azioni che il pedone compie; il tipo di movimento o stazionamento e il coefficiente di affollamento, si potrebbe dire la “dimensione prossemica”, che si è disposti a tollerare variano a seconda delle condizioni culturali, delle attitudini, dei comportamenti. La variazione della densità di flusso pedonale e del relativo spazio pro-capite disponibile è cruciale per valutare la qualità e la comodità dello spazio pubblico che Fruin ha definito in sei livelli: si va dalla libera circolazione e il massimo *comfort* (livello A) alla congestione totale (livello F, fig. 11).

È ragionevole pensare che la configurazione geometrico-funzionale dello spazio urbano attraversato dai flussi pedonali a diverse andature (fino ad arrivare a situazioni di stazionamento), unitamente alla concentrazione di attività fortemente attrattive di utenti e visitatori a fronte di spazi limitati, finisca per condizionare la qualità del Livello di Servizio (in questo caso pedonale) dell'infrastruttura incidendo sul potenziale rischio di danneggiamento delle “stanze a cielo aperto” che configurano i tessuti urbani.

54. Vedi FRUIN 1971.

Nello spazio pubblico, diviene strategica l'identificazione delle variazioni del PLoS (quasi una sorta di *proxy* della densità dinamica), al variare di flussi, composizione pedonale e destinazioni d'uso del suolo, con specifici effetti sui fronti stradali antistanti. I risultati dell'utilizzo di modelli di simulazione in analoghe condizioni dimostrano che l'addensamento di attività di pubblici esercizi, direttamente posizionate sulle quinte stradali in impianti urbani complessi e a geometria regolare o irregolare (come ad esempio nei tessuti di impianto antico), producono una riduzione significativa della qualità di fruizione dello spazio del movimento o delle condizioni di stationamento pedonale⁵⁵.

Sperimentando l'applicazione del PLoS nei tessuti del rione Trastevere, dal punto di vista metodologico, nella prefigurazione di condizioni di prevedibile pericolosità antropica, sono state identificate le componenti potenzialmente più sensibili del reticolo viario, corrispondenti alle sedi dei vicoli più angusti (larghezze da mt. 5,50 a 3,50). La potenziale suscettività alla pericolosità antropica si intuisce sovrapponendo alla rete di queste delicate stanze urbane, specifici elaborati tematici che individuano le attività e funzioni attrattive pubbliche e private più polarizzanti a carattere educativo, culturale, commerciale e ricettivo. Nel rione, attingendo a banche dati *open access*, liberamente disponibili in rete, e aggiornando le informazioni con rilevazioni dirette, si sono restituiti gli insiemi di attrattori macro-tematici, ordinandoli rispettivamente in attività di commercio-ristorazione, turistico-ricettive e culturali, educative superiori (fig. 12), aggiungendo poi un rilievo specifico dei *dehors*, prolungamenti all'aperto antistanti gli esercizi pubblici di ristorazione con attrezzature stabili per il *comfort* della clientela (padiglioni, pareti e transenne trasparenti, pedane, ombrelloni, apparecchiature mobili climatizzanti, etc.). È quasi pleonastico menzionare le accese dispute tra i contrapposti portatori d'interesse (associazioni civiche ed esercenti) sull'opportunità di concedere o limitare le occupazioni di suolo pubblico, con le amministrazioni comunali (centrale e municipale) spesso sottoposte al tiro critico incrociato delle opposte posizioni.

In Trastevere, la zona nord, incardinata su Via della Lungara, nonostante la presenza di poli attrattivi culturali ed educativi di rilievo (Villa Farnesina, Palazzo Corsini, John Cabot University, Orto botanico)⁵⁶, resta una realtà urbana "fredda" dal punto di vista della pressione antropica. La maggiore concentrazione di attività "magnetiche", principalmente a carattere ricettivo e commerciale, è rilevabile nel triangolo di vicoli tra Porta Settimiana, Piazza Trilussa e S. Egidio e più a sud attorno a S. Cosimato e all'asse di S. Francesco a Ripa (fig. 13). Le "nuvole" di addensamento delle attività attrattive si rafforzano - come anticipato - con la diffusione delle occupazioni di suolo pubblico (autorizzate, ma

55. Vedi BASBAS *ET ALII* 2020.

56. Vedi: CAPERNA 2013; CAPERNA 2022.

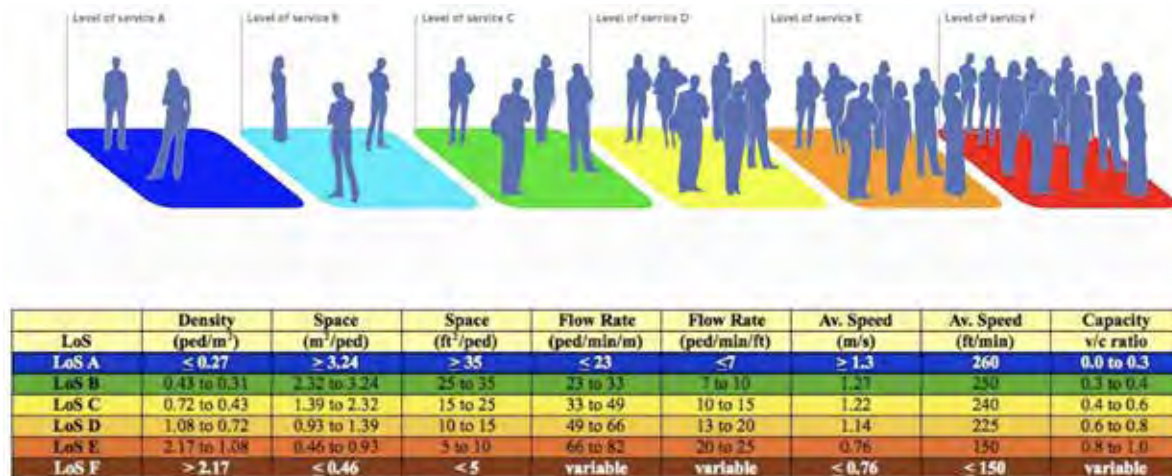
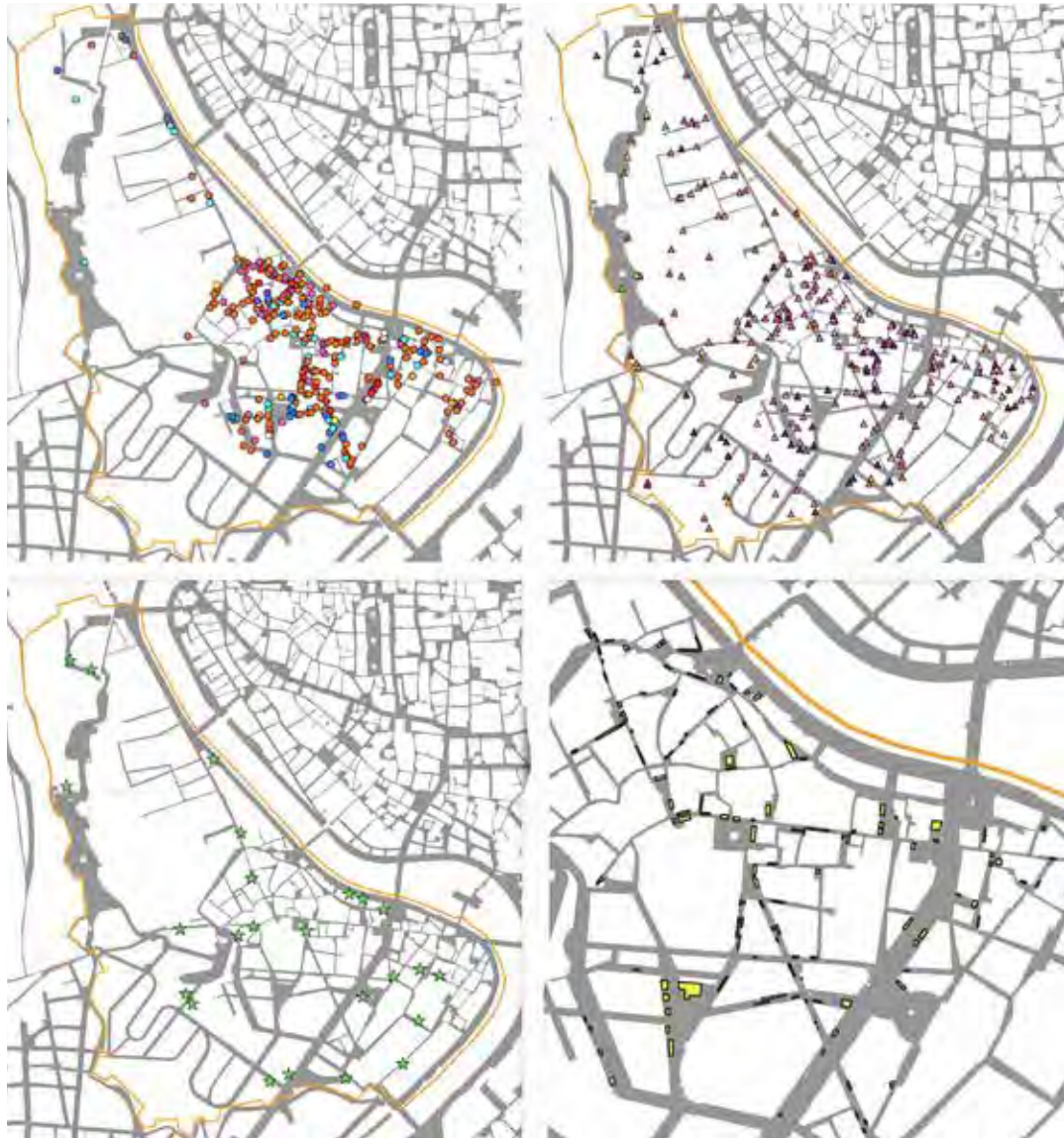


Figura 11. Classificazione dei Livelli di Servizio Pedonali dello spazio pubblico e corrispondenti coefficienti di densità di affollamento e flusso, <https://www.gkstill.com/Support/crowd-flow/fruin/Fruin1.html> (ultimo accesso 12 dicembre 2023); <https://meetings.cityofsydney.nsw.gov.au/documents/s6574/Attachment%20A%20Appendix%2014%20-%20Pedestrian%20Assessment%20Study.pdf> (ultimo accesso 12 dicembre 2023) (FRUIN 1971; STILL 2014, STILL 2022; rielaborazione B. Monardo, 2023). Nella pagina successiva, figura 12. Concentrazioni di attrattori e impatto sullo spazio pubblico. Carte tematiche per macro-settori di attività: da in basso a sinistra in senso orario: poli educativi, commercio e ristorazione, ricettività e cultura, mappatura dei “dehors” legali (post-pandemia) (elaborazione B. Monardo, 2023).



anche abusive), già presenti in Trastevere (e in tutto il tessuto più compatto del centro storico) ben prima del 2020 e cresciute prepotentemente durante la stagione pandemica. I *dehors* rappresentano, negli angusti reticoli viari, cruciali colli di bottiglia ove sono probabili le occasioni di addensamento, collisione o conflitto tra l'ordinaria fruizione dei residenti e la pressione di turisti, *city users* o altri visitatori occasionali concentrati soprattutto in finestre giornaliere e orarie specifiche.

Indicatori innovativi per la pericolosità antropica: nuove chiavi di ricerca

L'esplorazione a carattere eminentemente "speditivo" applicata al tessuto storico di Trastevere mette in evidenza come sia possibile sviluppare prime riflessioni di ricerca per la messa a punto di indicatori innovativi per declinare il concetto di pericolosità e rischio di specifiche azioni antropiche sui tessuti storici, secondo approcci di natura dinamica che probabilmente la CdR non ha ancora esplicitamente declinato. La misurazione della pressione delle tradizionali attività dei residenti o quella delle ordinarie presenze turistiche valutate con le metodiche, i parametri e gli indicatori statici usuali, non riesce a intercettare la complessità delle azioni dei *city users* incrementali che in passato sfuggivano ai rilevamenti canonici di valutazione della pressione antropica ma che i nuovi strumenti dell'*information and communication technology* stanno contribuendo a svelare.

Si è cercato di documentare come sia possibile percorrere nuove piste di ricerca per verificare se esiste una potenziale correlazione tra l'intensità d'uso, il consumo di spazio pubblico associato a determinate condizioni di concentrazione di attività magnetiche e l'architettura delle stanze urbane da una parte, e l'esplicitazione effettiva di rischi e pericoli per il patrimonio culturale, nello specifico i tessuti storici urbani, dall'altra.

Riflettendo sulla dimensione dinamica dei fenomeni urbani, è apparso particolarmente fecondo focalizzare l'attenzione su un indicatore - la densità - apparentemente semplice nel suo utilizzo tradizionale così come è stato codificato dalla tecnica urbanistica classica, ma in realtà estremamente complesso se considerato nelle potenzialità dinamiche. Indicatori come la DAH (densità di attività umana), la densità di flusso o densità di pressione sono in effetti orientati a cogliere la realtà cinetica della fruizione e del consumo di spazio urbano, aspetti ancora intuitivi che trovano, tuttavia, piste di esplorazione più intriganti, e allo stesso tempo concrete, inseguendo il nesso logico con un indicatore di grande interesse, il Livello di Servizio pedonale (PLoS) applicabile anche allo spazio pubblico delle trame dei tessuti antichi. Il riferimento, culturale e operativo insieme, è alla "*crowd science*"⁵⁷,

57. Vedi STILL 2014.

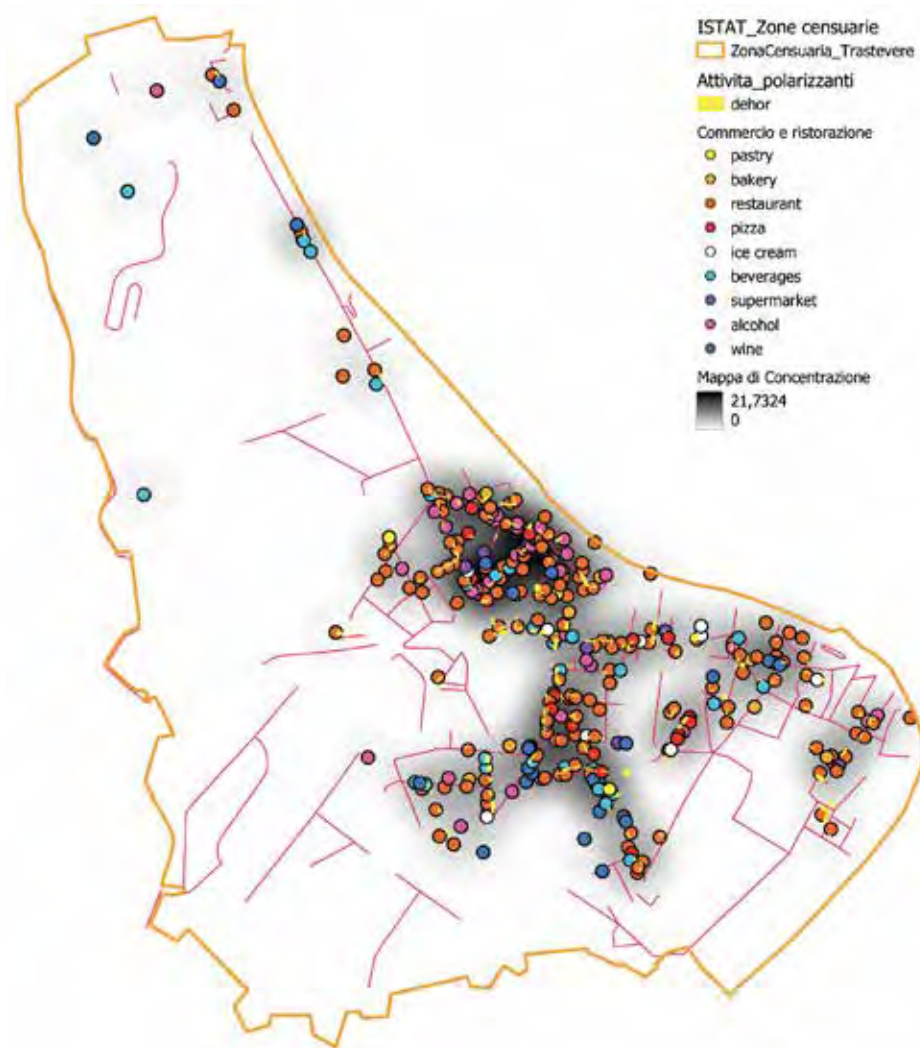


Figura 13. Nuvole di addensamento delle attività “magnetiche” maggiormente suscettibili di esercitare una pressione antropica a rischio sullo spazio pubblico dei reticoli viari “angusti” (elaborazione B. Monardo, 2023).

un campo di ricerca emergente, legato principalmente ai problemi di sicurezza in condizioni di congestione da sovraffollamento. Nella modellizzazione comportamentale studiata per prevenire l'incolumità delle persone in condizioni di assembramento Still esplora il nesso tra i Livelli di servizio pedonale e la *crowd density*⁵⁸ sia nella condizione di stasi che in movimento (fig. 14).

È indubbio che nell'addensamento pedonale lungo i nastri commerciali diffusi nei vicoli stretti e intricati dei tessuti storici siano rilevabili livelli di servizio e *comfort* decisamente più scadenti rispetto a condizioni di moto o stazionamento piano in una piazza o un viale dall'impianto geometrico regolare come nei tessuti della città ottocentesca. Nell'applicazione su Trastevere, è emerso come diversi centroidi di addensamento di attività polarizzanti con affaccio su strada e insistito stazionamento di clientela negli spazi pubblici *outdoor* consentano di individuare ambiti potenzialmente a rischio a causa di pressioni eccessive dei *city users*, la cui soglia di attenzione o di conclamato pericolo può riferirsi a indicatori come il PLoS che per la prima non superi la densità di 0,7 persone per metro quadrato e per la seconda non oltrepassi il valore di 1,1 persona/metro quadrato.

In effetti, calcolando a campione la densità media dei *city users* e il PLoS nell'intrico di vicoli e spazi pubblici più frequentati, emerge una certa coincidenza degli spazi più a rischio con il teatro di episodi di intemperanze di gruppi di giovani avventori di locali pubblici di ristorazione, e commerciali in genere, che si affollano nei vicoli soprattutto nelle stagioni più calde, in ore serali e notturne⁵⁹.

Questo non significa ovviamente che sia dimostrabile *tout court* una causalità diretta tra intensità d'uso dello spazio pubblico interno ed esterno della città storica e pericolosità, tuttavia, a livello probabilistico e in misura concorrente, il fenomeno della pressione antropica in eccesso per la presenza e la concentrazione di attività attrattive può costituire un indizio utile a monitorare questi ambiti, valutare l'insorgenza e la frequenza di azioni di danneggiamento e mettere in atto da parte delle amministrazioni competenti strategie di prevenzione dei rischi di degrado dello spazio pubblico storico diffuso e dei beni culturali, puntuali e complessi, che lo caratterizzano.

L'individuazione e la sperimentazione di rinnovati indicatori integrati e complessi per valutare la pericolosità antropica espandendo l'accezione interpretativa attuale della CdR restano una questione aperta, da approfondire attraverso chiavi di ricerca che devono necessariamente inseguire piste

58. Vedi STILL 2022.

59. Numerose associazioni dei residenti di Trastevere da diversi anni continuano a denunciare il fenomeno noto come "malamovida", con gruppi di giovani in stato di iper-eccitazione che si abbandonano a comportamenti pericolosi, devastazione dei *dehors* e degli spazi antistanti i pubblici esercizi, lancio di bottiglie verso le quinte urbane, gesti di violenza gratuita fino all'aggressione degli spazi privati (come avvenuto anche nel settembre del 2023) talvolta con minacce alle persone e danni consistenti alle parti comuni degli edifici residenziali.

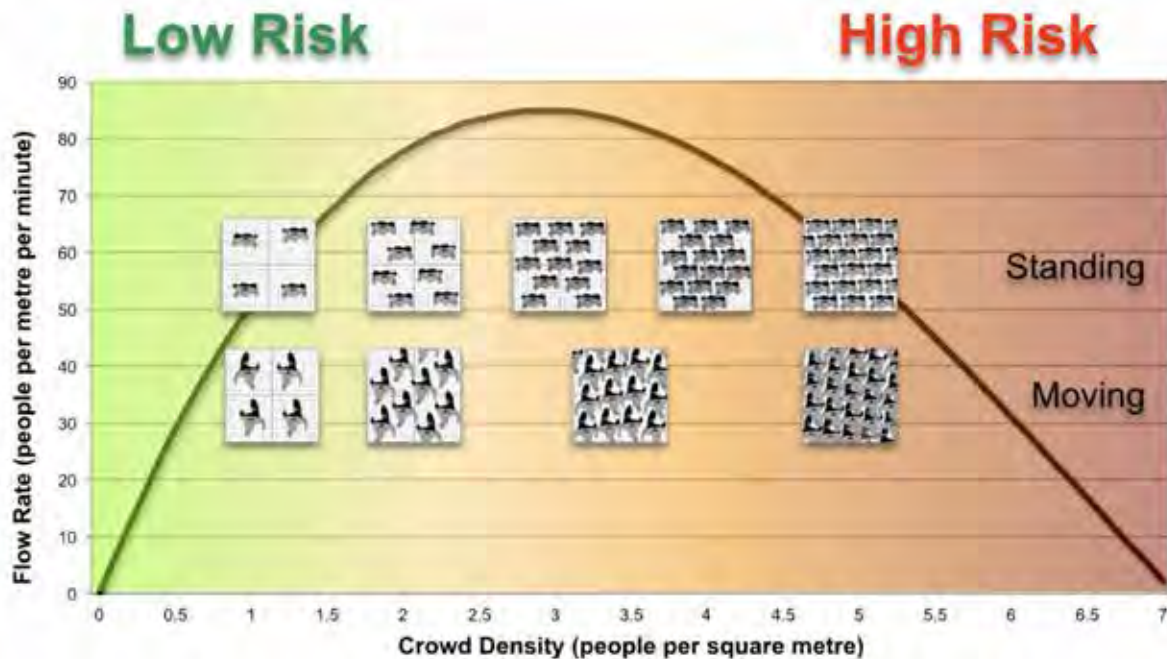


Figura 14. Relazione tra coefficienti di flusso pedonale nello spazio pubblico, “crowd density” e condizioni di rischio (da: STILL 2014; STILL 2022; <https://www.gkstill.com/Support/crowd-flow/fruin/Fruin1.html>) (ultimo accesso 11 dicembre 2023).

innovative; tra queste, come si può intuire dalle riflessioni fin qui tratteggiate, risulta particolarmente promettente sviluppare lo studio della densità di flusso nello spazio pubblico a partire dai modelli e dalle sperimentazioni della “*crowd science*” e che sono suscettibili di allargare il campo applicativo come nel caso della scala dei Livelli di Servizio Pedonali da utilizzare nelle condizioni di iperaffollamento non solo per la sicurezza e l’incolumità delle persone, ma anche per la tutela di beni artistici, architettonici e monumentali intesi nelle loro singolarità e dei tessuti della città storica nella sua unitarietà.

Conclusioni

La riflessione sulla pericolosità antropica è caratterizzata da una duplice interpretazione che qui si vuole interconnettere; l’una rivolta al rischio per le persone, l’altra focalizzata sul rischio per il patrimonio culturale. In questa seconda accezione (oggi sottostimata) l’uomo è causa di danno sul patrimonio architettonico e urbano.

L’identificazione dei danni antropici consente di individuare le attività potenzialmente dannose e le circostanze di pericolo, così da approfondire la pericolosità antropica finora esaminata nella Carta del Rischio (ove è indicata a livello comunale) e poter definire mappe di pericolosità sia a scala urbana che architettonica.

Oltre a considerare le azioni nocive dirette, il concetto di pericolosità deve essere esteso anche alle circostanze indirette – quali la mancata conoscenza e comprensione dell’architettura, la scarsa disponibilità di informazioni, l’assenza di coordinamento e la negazione delle questioni culturali nella gestione – da cui derivano ulteriori danni.

In estrema sintesi, la pericolosità antropica può essere rappresentata nell’ideogramma che riassume le circostanze analizzate, ove le condizioni ambientali e la scarsa conoscenza esprimono la presenza di elementi di pericolo esterni e indiretti, l’uso e il disuso indicano i potenziali pericoli diretti, il valore economico (che inerisce ai suddetti fattori) può divenire un elemento nocivo se inteso solo in termini monetari.

Infine, l’intensità d’uso degli spazi pubblici può costituire un altro indicatore per valutare la pressione antropica, correlando le densità di flusso con gli effetti visibili di danno e degrado.

Bibliografia

ARANEO, BARTOLUCCI 2021 - F. ARANEO, E. BARTOLUCCI, *Lo stato delle bonifiche dei siti contaminati in Italia: i dati regionali*, Rapporti 337/21, ISPRA, Roma 2021.

ASTORRI ET ALII 2015 - F. ASTORRI, C. D'ANNA, L. D'APRILE, *Pericolosità di origine antropica*, in *Annuario dei dati ambientali*, ISPRA, Roma 2015, disponibile online: https://www.isprambiente.gov.it/files/pubblicazioni/statoambiente/annuario-2014-2015/16_Pericolosita_origine_antropica.pdf (ultimo accesso 22 novembre 2023).

BARTOLOMUCCI 2008 - C. BARTOLOMUCCI, *Sustainable use of cultural objects: an opportunity and a responsibility for conservation*, in S. ELWAZANI, S. MALHIS, J. AL-QAWASMI (eds.), *Responsibilities & Opportunities in Architectural Conservation: Theory Education Practice*, CSAAR - The Centre for the Study of Architecture in the Arab Region, Petra 2008, pp. 129-139.

BARTOLOMUCCI 2009 - C. BARTOLOMUCCI, *Sistemi informativi geografici per la conservazione della città storica*, in C. GIANNATTASIO (a cura di), *Antiche ferite e nuovi significati. Permanenze e trasformazioni nella città storica*, Gangemi, Roma 2009, pp. 87-96.

BARTOLOMUCCI, GIANNATTASIO 2009 - C. BARTOLOMUCCI, C. GIANNATTASIO, *Interventi sul costruito storico. Un altro tipo di degrado antropico?*, in «Recupero e Conservazione», 2009, 86, pp. 50-59.

BASBAS ET ALII 2020 - S. BASBAS, T. CAMPISI, A. CANALE, A. NIKIFORIADIS, C. GRUDEN, *Pedestrian level of service assessment in an area close to an underconstruction metro line in Thessaloniki*, in «Transportation Research Procedia», 2020, 45, pp. 95-102.

BERARDI ET ALII 2013 - S. BERARDI, M.S. MINUTI, P. DESINANO, *Lo sviluppo turistico nei siti UNESCO. Principali caratteristiche e trasformazioni indotte*, Associazione Beni Italiani Patrimonio Mondiale UNESCO, Edisai, Ferrara 2013.

BIMONTE, PUNZO 2004 - S. BIMONTE, L.F. PUNZO, *A proposito di capacità di carico turistica. Una breve analisi teorica*, in «Economia dell'Ambiente e del Turismo Sostenibile. Osservatorio per il Turismo Sostenibile», Working Papers Series, 2004, 4.

BOGNON ET ALII 2020 - S. BOGNON, G. L'HER, P. LEJOUX, N. BUCLET, *De la ville des réseaux à la ville des flux*, in F. ADISSON, S. BARLES, N. BLANC, O. COUTARD, L. FROUILLOU, F. RASSAT (eds.), *Pour la Recherche Urbaine*, CNRS, Paris 2020, pp. 161-180.

BONAZZA ET ALII 2018 - A. BONAZZA, I. MAXWELL, M. DRDÁČKÝ, E. VINTZILEOU, *Safeguarding Cultural Heritage from Natural and Man-Made Disasters. A comparative analysis of risk management in the EU*, European Commission, Publications Office, 2018, disponibile online: <https://data.europa.eu/doi/10.2766/224310> (ultimo accesso 22 novembre 2023).

CACACE 2019 - C. CACACE, *La Carta del Rischio per il patrimonio culturale*, in D. FIORANI, *Il futuro dei centri storici. Digitalizzazione e strategia conservativa*, Quasar, Roma 2019.

CACACE, DONÀ 2015 - C. CACACE, C. DONÀ, *La carta del rischio del patrimonio culturale: dinamiche nell'aggiornamento della valutazione dei beni esposti*, in «Bollettino ICR», 2015, 31.

CAPERNA 2013 - M. CAPERNA, *La Lungara 1. Storia e vicende edilizie dell'area tra il Gianicolo e il Tevere*, Quasar, Roma 2013.

CAPERNA 2020 - M. CAPERNA, *La Lungara 2. Spazio urbano, conservazione e restauro*, Quasar, Roma 2020.

CARICCHIA ET ALII 2015 - A.M. CARICCHIA, G. CATTANI, A. GAETA, *Qualità dell'aria*, in *Qualità dell'ambiente urbano*, Rapporto 2015, ISPRA, Roma 2015.

CARTA DEL RISCHIO 1996 - *Carta del rischio del patrimonio culturale. Vol. 1. Cartografia tematica: distribuzione del patrimonio culturale e dei fenomeni di pericolosità territoriale*, Ministero per i beni culturali ed ambientali, Istituto Centrale per il Restauro, Roma 1996.

CARTA DEL RISCHIO 1997 - *La carta del rischio del patrimonio culturale*, Ministero per i beni culturali e ambientali, Istituto Centrale per il Restauro, Roma 1997.

- CHAPUIS 2009 - M. CHAPUIS (ed.), *Preserving our heritage, improving our environment, vol. I, 20 years of EU research into cultural heritage*, European Commission, Directorate-General for Research and Innovation, Publications Office, 2009, disponibile online: <https://data.europa.eu/doi/10.2777/17146> (ultimo accesso 22 novembre 2023).
- CHAPUIS ET ALII 2009 - M. CHAPUIS, A. LYDON, A. BRANDT-GRAU (eds.), *Preserving our heritage, improving our environment, vol. II, Cultural Heritage Research. FP5, FP6 and related projects*, European Commission, Directorate-General for Research and Innovation, Publications Office, 2009. DOI: 10.2777/22797.
- CHIABRANDO ET ALII 2018 - F. CHIABRANDO, E. COLUCCI, A. LINGUA, F. MATRONE, F. NOARDO, A. SPANÒ, *A European Interoperable Database (EID) to increase resilience of Cultural Heritage*, in «The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences», 2018, Volume XLII-3/W4. DOI: 10.5194/isprs-archives-XLII-3-W4-151-2018.
- CHOMBART DE LAUWE 1965 - P.H. CHOMBART DE LAUWE, *Des hommes et des villes*, Payot, Paris 1965.
- COMUNE DI ROMA 2017 - COMUNE DI ROMA, *La popolazione di Roma. Struttura e dinamica demografica*, Anno 2017, Comune di Roma, Dipartimento Trasformazione Digitale, U.O. Statistica – Open Data, Roma 2017, disponibile online: https://www.comune.roma.it/web-resources/cms/documents/La_popolazione_a_Roma_2017.pdf (ultimo accesso 22 novembre 2023).
- CREMONINI 1994 - I. CREMONINI (a cura di), *Rischio sismico e pianificazione nei centri storici. Metodologie ed esperienze in Emilia-Romagna*, Alinea editrice, Firenze 1994.
- DE CORSO ET ALII 2023 - S. DE CORSO, A.A. DE BENEDETTI, M. DI LEGINIO, M. MUNAFÒ (a cura di), *Atlante dei dati ambientali. Edizione 2023*, ISPRA, Roma 2023.
- DE CORSO ET ALII 2024 - S. DE CORSO, A.A. DE BENEDETTI, A. CIMINI, P. DE FIORAVANTE, M. D'ANTONA, M. DI LEGINIO, G. FINOCCHIARO, L. VACCARO, M. GIUNTA, M. MUNAFÒ (a cura di), *Atlante dei dati ambientali. Edizione 2024*, ISPRA, Roma 2024.
- DE LUCIA 2023 - G. DE LUCIA (a cura di), *Patrimonio culturale e rischio. Storia, analisi e prevenzione per un patrimonio resiliente*, Città Studi Edizioni, Milano 2023.
- DURKHEIM 1893 - E. DURKHEIM, *De la division du travail social*, Felix Alcan, Paris 1893.
- FABIETTI 1999 - W. FABIETTI (a cura di), *Vulnerabilità sismica e trasformazione dello spazio urbano*, Alinea, Firenze 1999.
- FERRIGHI 2023 - A. FERRIGHI (coord.), *Sicurezza del patrimonio culturale. Rapporto di ricerca*, Fondazione Scuola dei beni e delle attività culturali, Roma 2023, disponibile online: https://www.fondazione scuolapatrimonio.it/wp-content/uploads/2023/07/Rapporto-finale_Sicurezza-del-patrimonio-culturale.pdf (ultimo accesso 30 dicembre 2024).
- FIORANI 2019 - D. FIORANI, *Il futuro dei centri storici. Digitalizzazione e strategia conservativa*, Quasar, Roma 2019.
- FIORANI 2023 - D. FIORANI, *Vulnerabilità, pericolo e rischio. Il ruolo della digitalizzazione nel governo di uno scenario complesso*, in FIORANI ET ALII 2023, pp. 11-28.
- FIORANI ET ALII 2019 - D. FIORANI, S. CUTARELLI, A. DONATELLI, A. MARTELLO, *Vulnerabilità dei centri storici. Validazione della scheda Unità Urbana del sistema Carta del Rischio tramite la sua applicazione su due centri laziali*, in «Materiali e Strutture», n.s. VIII(2019), 16.
- FIORANI ET ALII 2022 - D. FIORANI, M. ACIERNO, A. DONATELLI, S. CUTARELLI, A. MARTELLO, *Centri storici, digitalizzazione e restauro. Applicazioni e prime normative della Carta del Rischio*, Sapienza Università Editrice, Roma 2022.
- FIORANI ET ALII 2023 - D. FIORANI, M. ACIERNO, A. DONATELLI, A. MARTELLO, S. CUTARELLI, *Centri storici, digitalizzazione e restauro. Applicazioni e ultime normative della Carta del Rischio*, Sapienza Università Editrice, Roma 2023.
- FOUCHIER 1996 - V. FOUCHIER, *Quel transport pour quelle ville?*, in «Urbanisme», 1996, 289, pp. 66-74.
- FOUCHIER 1998 - V. FOUCHIER, *Les densités urbaines et le développement durable. Le cas de l'Île-de France et des villes nouvelles*, La Documentation Française, Paris 1998.

FRUIN 1971 - J.J. FRUIN, *Pedestrian Planning and Design*, Metropolitan Association of Urban Designers and Environmental Planners Inc., New York 1971.

GADDI 2021 - R. GADDI, *Gli effetti dell'inquinamento atmosferico e dei fattori climatici sul patrimonio culturale architettonico. Elaborazione dei dati di pericolosità ambientale*, ISPRA 2021, disponibile online: <https://dgspatrimonioculturale.beniculturali.it/wp-content/uploads/2021/01/GLI-EFFETTI-DELLINQUINAMENTO-ATMOSFERICO-E-DEI-FATTORI-CLIMATICI-SUL-PATRIMONIO-CULTURALE-ARCHITETTONICO-Elaborazione-dei-dati-di-Pericolosita-ambientale-Raffaella-Gaddi.pdf> (ultimo accesso 22 novembre 2023).

GORDON, LEE 2015 - P. GORDON, B. LEE, *Spatial structure and travel: trends in commuting and noncommuting travels in US metropolitan areas*, in R. HICKMAN, M. GIVONI, D. BONILLA, D. BANISTER (eds.), *Handbook on Transport and Development*, Edward Elgar, Cheltenham (UK) 2015, pp. 87-103.

HAAR 2018 - K. HAAR, *UnFairbnb. How online rental platforms use the EU to defeat cities' affordable housing measures*, Corporate Europe Observatory, 2018, disponibile online: <https://corporateeurope.org/sites/default/files/unfairbnb.pdf> (ultimo accesso 22 novembre 2023).

HALL 1966 - E.T. HALL, *The Hidden Dimension*, Doubleday, New York 1966.

EUROPEAN COMMISSION 2018 - EUROPEAN COMMISSION, *Heritage at risk: EU research and innovation for a more resilient cultural heritage*, Publications Office, Luxembourg 2018. DOI: 10.2830/250116.

HIDETOSHI 1999 - S. HIDETOSHI (ed.), *Risk preparedness for cultural properties: development of guidelines for emergency response* (Kobe-Tokyo international symposium, 1997), Chuo-Koron Bijutsu Shuppan, Tokyo 1999.

ICOMOS 2020 - ICOMOS, *Heritage at Risk. World Report 2016-2019 on Monuments and Sites in Danger*, ICOMOS 2020, <https://openarchive.icomos.org/id/eprint/2430/> (ultimo accesso 22 novembre 2023).

ICOMOS 2010 - ICOMOS, *Lima Declaration for Disaster Risk Management of Cultural Heritage*, Lima 3 dicembre 2010, disponibile online: chrome-extension://efaidnbnmnbbpcjpcglclefindmkaj/https://icomos.es/wp-content/uploads/2020/01/lima_declaration_2010.pdf (ultimo accesso 22 novembre 2023).

TPC 2014 - COMANDO CARABINIERI PER LA TUTELA DEL PATRIMONIO CULTURALE, UFFICIO NAZIONALE PER I BENI CULTURALI ECCLESIASTICI (a cura di), *Linee guida per la tutela dei beni culturali ecclesiastici*, MIBACT-CEI 2014, disponibile online: <https://www.dce.va/content/dam/dce/resources/it/cultura/documents/beni-culturali/Linee-Guida-Tutela-Beni-Culturali-Ecclesiastici.pdf> (ultimo accesso 22 novembre 2023).

MARTINOTTI 1993 - G. MARTINOTTI, *Metropoli. La nuova morfologia sociale della città*, Il Mulino, Bologna 1993.

MICHALSKI, PEDERSOLI 2016 - S. MICHALSKI, J.L. PEDERSOLI, *The ABC Method. A risk management approach to the preservation of cultural heritage*, Canadian Conservation Institute, ICCROM 2016.

BRAMERINI ET ALII 2008 - F. Bramerini, G. di Pasquale, G. Naso, M. Severino, *Indirizzi e criteri per la microzonazione sismica*, Presidenza del Consiglio dei Ministri - Dipartimento della Protezione Civile, Roma 2008, disponibile online: <https://www.protezionecivile.gov.it/it/pubblicazione/indirizzi-e-criteri-la-microzonazione-sismica/> (ultimo accesso 22 novembre 2023).

PETRAROIA 2014 - P. PETRAROIA, *Carta del Rischio: linee guida e normativa recente. Una lettura critica*, in «Economia della cultura», XXIV(2014), 3-4, pp. 303-320.

ROMA CAPITALE RSM 2019 - ROMA CAPITALE, ROMA SERVIZI PER LA MOBILITÀ SRL, *Scenari Trasportistici Ambientali per un Trasporto Urbano Sostenibile* (STATUS) 2019, disponibile online: <https://romamobilita.it/it/progetti/studi-indagini/status> (ultimo accesso 11 dicembre 2023).

SEVIERI ET ALII 2020 - G. SEVIERI, C. GALASSO, D. D'AYALA, R. DE JESUS, A. ORETA, M.E. GRIO, R. IBABAO, *A multi-hazard risk prioritisation framework for cultural heritage assets*, in «Natural Hazards and Earth System Sciences», 2020, 20, pp. 1391-1414. DOI: 10.5194/nhess-20-1391-2020.

- SPIZZICHINO 2014 - D. SPIZZICHINO, *Rischi naturali e patrimonio culturale italiano*, in «Materiali e Strutture», n.s. III(2014), 5-6, pp. 25-38.
- STADLIN 2006 - D. STADLIN, *Requisiti di una documentazione di sicurezza per la Protezione dei Beni Culturali, Guidelines 2/2006*, Ufficio federale della protezione della popolazione, Sezione Protezione dei beni culturali, Berna 2006.
- STILL 2014 - G.K. STILL, *Introduction to crowd science*, CRC Press, Taylor and Francis Group, Boca Raton (FL USA) 2014.
- STILL 2022 - G.K. STILL, *Applied crowd science*, CRC Press, Taylor and Francis Group, Boca Raton (FL USA) 2022.
- STOKOLS 1972 - D. STOCKOLS, *On the distinction between density and crowding: Some implications for future research*, in «Psychological Review», 1972, 79, pp. 275-277.
- STORCHI 1999 - S. STORCHI (a cura di), *Antichi edifici e rischio sismico: dall'analisi alla prevenzione*, Diabasis, Reggio Emilia 1999.
- STOVEL 1998 - H. STOVEL, *Risk Preparedness: A management Manual for World Cultural Heritage*, ICCROM, Rome 1998.
- TRIGILA ET ALII 2021 - A. TRIGILA, C. IADANZA, B. LASTORIA, M. BUSSETTINI, A. BARBANO, *Dissesto idrogeologico in Italia: pericolosità e indicatori di rischio*, Edizione 2021, ISPRA, Roma 2021.
- UNESCO 2010 - UNESCO, ICCROM, ICOMOS, IUCN, *Managing Disaster Risks for World Heritage*, published by United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization, World Heritage Centre, Paris 2010.
- URBANI 1976 - G. URBANI, *Piano pilota per la conservazione programmata dei beni culturali in Umbria*, Ministero per i beni culturali e ambientali, Istituto centrale per il Restauro, Tecneco, Roma 1976.
- WIRTH 1938 - L. WIRTH, *Urbanism As A Way of Life*, in «The American Journal of Sociology», 1938, 44, pp. 1-24.
- YANG ET ALII 2015 - F. YANG, P. J. JIN, Y. CHENG, J. ZHANG, B. RAN, *Origin-Destination Estimation for Non-Commuting Trips Using Location-Based Social Networking Data*, in «International Journal of Sustainable Transportation», IX(2015), 8, pp. 551-564.

Historic Preservation Foundation Classes

ArchistoR
EXTRA



a cura di Marco Pretelli
e Alessia Zampini



First reasoning for an interoperable application of algorithms in GIS and BIM systems

Adalgisa Donatelli ("Sapienza" Università di Roma)

As is well known, BIM is a digital information system consisting of the three-dimensional model of a building integrated with the physical, performance and functional data. One potential of BIM lies in representing, in general, certain building components and their dimensional characteristics; less resolved to date is the application of this system for the description and restoration of historic architecture. The GIS platform of the MIC's Cultural Heritage Risk Map, accessible online, makes it possible to record information about cultural property, assess its risk of loss, and guide, under ordinary conditions, the planning of preventive interventions. Risk is calculated as a function of spatial hazard and vulnerability of the built environment. The first indicator is extrapolated from thematic cartographies and the results of statistical and environmental surveys, acquired the portals of different agencies. Vulnerability, on the other hand, expresses the susceptibility of buildings to being damaged and is therefore conditioned by the state of preservation of the buildings; the comparison of statistically calculated indices on the basis of numerous parameters makes it possible to establish operational priorities and to plan monitoring and emergency response activities.

A perspective aimed at making the two systems BIM and GIS interoperable would seem to be able to be outlined by reasoning about the potential of 'exchanging' parameters and/or appropriately selected algorithmic formulas, with a view to optimizing the purposes of each system and implementing operational developments useful for the knowledge and restoration project of historic architecture.

Historic Preservation Foundation Classes

Procedure e ontologie per l'interoperabilità nella tutela del patrimonio storico architettonico

www.archistor.unirc.it

ArchistoR EXTRA 12 (2024)

ISSN 2384-8898

Supplemento di ArchistoR 19/2023

ISBN 978-88-85479-39-5

DOI: 10.14633/AHR438



Spunti di riflessione per un impiego interoperabile di algoritmi in sistemi GIS e BIM

Adalgisa Donatelli

L'implementazione della piattaforma GIS Carta del Rischio del Ministero della Cultura italiano con i tracciati schedografici dedicati ai centri storici, ha in particolare richiesto la formulazione di algoritmi volti a stimare, nelle diverse scale di approfondimento, due indici rappresentativi l'uno del livello di trasformazioni e modifiche moderne osservate sul costruito, l'altro del relativo grado di vulnerabilità riscontrato¹. L'architettura di questi algoritmi è stata definita in coerenza con le formulazioni adoperate dal sistema per la schedatura dei beni architettonici, ovvero adottando un criterio statistico 'descrittivo'. In base a questa metodologia, il tipo e il livello delle fragilità e delle modifiche moderne osservate sul costruito indagato, sono registrati nella scheda sotto forma di 'incidenze' percentuali, che opportunamente aggregate consentono di stimare due indici, l'uno rappresentativo della vulnerabilità, l'altro delle trasformazioni/modifiche².

La combinazione dell'indicatore della vulnerabilità con quelli di pericolosità e esposizione, come è noto, consente poi di calcolare il rischio di perdita associato a ciascun bene, pervenendo così alla definizione speditiva di graduatorie orientate a un'opportuna gestione del costruito storico.

1. Vedi: FIORANI 2019; FIORANI *ET ALII* 2022; FIORANI *ET ALII* 2023.

2. Sull'approccio statistico-descrittivo vedi: BALDI *ET ALII* 1994; BALDI *ET ALII* 1995. «Nella valutazione di trasformazioni moderne e vulnerabilità, non partecipa la peculiare natura dei diversi aspetti rilevati, ma le relative incidenze, riservando nella scheda voci dedicate a una descrizione specifica», DONATELLI 2022, p. 121.

La rappresentazione sull'interfaccia GIS di questi indicatori è al momento risolta, per esempio per le vulnerabilità calcolate rispetto alle unità urbane, raggruppando i valori in tre classi a ciascuna delle quali sono associati colori differenti che appaiono in corrispondenza dei perimetri georeferenziati che identificano gli aggregati schedati³. La visualizzazione dei rischi è poi ipotizzata applicando il modello di interrelazione di tipo *'overlay mapping'* che «deriva dalla sovrapposizione (sulla stessa immagine cartografica) di due (o più) informazioni: almeno una afferente la pericolosità e una almeno afferente la schedatura del patrimonio culturale, permettendo la lettura contemporanea dei fenomeni senza perdere l'informazione dal dato di base»⁴.

Nella prospettiva di guardare alla metodologia BIM come possibilità per una rappresentazione e concezione tridimensionale sia a favore della raccolta dei dati richiesti nelle schede della Carta del Rischio sia per una migliore visualizzazione dei vari indicatori stimati, risiede il punto di partenza da cui si è inteso sviluppare alcune riflessioni finalizzate unicamente a porre le basi per un potenziale approfondimento sull'impiego interoperabile di algoritmi nei due sistemi BIM e GIS. Se l'avvio a questo tipo di ragionamento è stato originato, come accennato, dall'implementazione del GIS Carta del Rischio e dall'opportunità di migliorarne l'applicazione e in special modo la rappresentazione dei dati, nel prosieguo si è poi ragionato anche prendendo in considerazione il 'flusso inverso' delle informazioni, ovvero riflettendo sui vantaggi che il BIM potrebbe avere in una logica di interoperabilità con il GIS.

L'interoperabilità di algoritmi in sistemi BIM e GIS: note per un potenziale sviluppo

L'interoperabilità fra i sistemi BIM e GIS, intesa nella possibilità e nell'opportunità di 'scambio' di dati, potrebbe rappresentare una potenzialità rilevante nell'ottica di ottimizzare le finalità di ciascun strumento ma anche di implementare sviluppi operativi orientati alla gestione della conoscenza e al progetto di restauro dell'architettura storica⁵.

3. Si rimanda, per esempio, alla sperimentazione condotta nell'area della Lungara a Roma. Vedi MARTELLO 2023, in particolare fig. 6, p. 246.

4. COPPI 1997, pp. 26-27.

5. La sperimentazione condotta da Silvia Cutarelli per l'area della Lungara (Roma) è orientata a una prima verifica di integrazione fra la modellazione in BIM di un aggregato urbano e il GIS delle schede Unità Urbane-Aggregato e Unità Edilizie della Carta del Rischio del patrimonio culturale. L'approfondimento condotto da Donatella Fiorani e Marta Acierno, incentrato sulla formalizzazione ontologica dei modelli schedografici e delle modalità di calcolo della vulnerabilità e delle trasformazioni moderne dell'edificato urbano previsti nella Carta del Rischio, ha l'obiettivo di studiare l'interoperabilità fra i sistemi BIM e GIS mediante la metodologia delle ontologie. Vedi i rispettivi contributi delle autrici in questo volume.

La metodologia BIM ha acquisito un notevole impiego nel processo di progettazione e costruzione degli edifici grazie ai suoi punti di forza costituiti dalla modellazione tridimensionale e dalle complesse relazioni fra gli ‘oggetti’ che compongono il modello, nonché dalla capacità di gestire informazioni di natura diversa, quali per esempio le risorse umane e materiali di un cantiere, grazie a un approccio *standard* per la condivisione dei dati. Il BIM di una nuova costruzione fornisce ai progettisti e ai gestori dettagli completi e può aiutare a rispondere a domande quali: qual è la quantità di ogni elemento o componente dell’edificio? È possibile progettare un certo edificio rispetto al budget disponibile? Quale può essere l’effetto di una determinata modifica progettuale sulla portata e la tempistica del progetto complessivo?.

I sistemi GIS, in generale, sono stati elaborati per gestire dati georeferiti, con il vantaggio di scambiare informazioni di natura differente (per esempio ambientali e demografiche) fra server diversi ma sempre contestualizzati dal punto di vista geospaziale.

La recente ricerca orientata a integrare il BIM con il GIS risiede nel trovare una collaborazione armonica fra i due sistemi: per esempio il GIS può fornire quella ‘dimensione’ geofisica al modello BIM che per sua natura non possiede e viceversa il primo può trovare nel secondo il vantaggio della rappresentazione tridimensionale⁶.

Da questa premessa prende avvio un primo ragionamento volto a tratteggiare la possibilità di instaurare un rapporto proficuo di interoperabilità fra il GIS della Carta del Rischio del patrimonio culturale, di recente implementato con i tracciati schedografici dedicati al centro storico, e la metodologia BIM, in particolare nell’ottica di applicazione delle formulazioni algoritmiche che sottendono i due sistemi.

Come è noto, il BIM è una piattaforma informatica composta dal modello tridimensionale di un’architettura integrato con i dati fisici, prestazionali e funzionali delle componenti edilizie, in grado di far convergere in un unico sistema di riferimento tutte le professionalità coinvolte nell’intero processo progettuale e costruttivo di una nuova costruzione. A fronte di un notevole riscontro che questa metodologia ha avuto per il nuovo edificato, tanto che è diventata obbligatoria negli appalti pubblici, nell’ambito del restauro la medesima applicazione ha mostrato diversi limiti dovuti alle peculiarità del costruito tradizionale e dunque alla difficoltà di rappresentarne *ad hoc* tutte le

6. Per un aggiornato stato dell’arte rispetto alle caratteristiche del BIM e del GIS e agli studi condotti sull’integrazione fra i due sistemi si rimanda al lavoro di HANNA, PREMARATNE 2019-2020 - J. HANNA, R. PREMARATNE, *Integration of Building Information Modelling (BIM) and Geographic Information System (GIS). The GeoBIM Benchmark case study*, Master thesis of Science in Civil Engineering, Politecnico di Milano, supervisor C.I. De Gaetani, co-supervisor F. Migliaccio, A.A. 2019-20, <https://hdl.handle.net/10589/166941> (ultimo accesso 10 dicembre 2023); vedi anche i riferimenti bibliografici *ivi* indicati.

caratteristiche costruttive e formali. Nel BIM, infatti, la modellazione è concepita attraverso l'impiego di singoli elementi costruttivi resi disponibili dalle librerie del sistema che per quanto si possano specificare devono restare raggruppate in famiglie precostituite e vincolate alla loro funzione all'interno dell'organismo architettonico.

Per tale ragione, da diverso tempo, sono stati sviluppati alcuni applicativi per l'architettura storica che mantenendo l'ambiente BIM, per esempio, generano il modello tridimensionale utilizzando famiglie parametriche astratte, tratte dalla letteratura esistente o realizzate *ad hoc* e popolate con istanze derivate da dati e informazioni direttamente raccolte attraverso lo studio dell'edificio (HBIM)⁷. Si è così pervenuti a un tipo di rappresentazione non sempre fedele alle condizioni odierne, sebbene potenzialmente in grado di registrare - ove note - le modifiche e le trasformazioni accumulate nel corso del tempo⁸. Un'altra metodologia ha invece sviluppato il modello BIM per il costruito storico integrandolo con i rilievi acquisiti tramite laser scanner oppure ottenuti dal telerilevamento, concentrando l'attenzione sui dati desunti dall'indagine storica e dallo studio materico dell'edificio⁹.

Al di là delle specificità, tutti questi metodi hanno senz'altro affinato la descrizione geometrica del costruito storico e dei dati associati alle superfici architettoniche, non riuscendo, viceversa, a cogliere tutte quelle informazioni che non sono direttamente connesse ai parametri geometrici.

Un filone di ricerca differente ha incentrato l'attenzione sull'arricchimento semantico del BIM attraverso l'integrazione fra gli standard che ne costituiscono il patrimonio informativo, le *Industry Foundation Classes* (IFC), e i dati presenti in altri sistemi di organizzazione della conoscenza, come tesauri o ontologie, sviluppate in diverse piattaforme¹⁰.

Nell'ambito della metodologia BIM, in special modo nelle applicazioni per l'architettura storica, la ricerca ha quindi potenziato la natura interoperabile con altri sistemi, fermo restando il relativo approccio 'parametrico' basato su un processo che modella 'oggetti', ovvero elementi caratterizzati da manufatti virtuali a cui sono associati diversi attributi. A differenza dei tradizionali modelli 3D

7. Questo approccio è stato proposto da MURPHY ET ALI. 2009 e da DORE, MURPHY 2012.

8. Per esempio, nell'applicazione HBIM condotta sulla Basilica di S. Maria di Collemaggio a L'Aquila in occasione degli interventi successivi al sisma del 2009, sono stati gestiti contemporaneamente gli aspetti strutturali, la valutazione economica del progetto e il restauro stesso; non è stato possibile fornire una descrizione dettagliata della preesistenza storica, con i degradi e le forme lacunose, poiché l'impiego di librerie astratte, derivate dalla trattatistica tradizionale, non è in grado di rappresentare le informazioni accumulate nel corso del tempo, vedi ORENI ET ALII 2014.

9. Vedi, per esempio, ADAN ET ALII 2013.

10. Le diverse applicazioni del BIM per il costruito storico sono delineate nel contributo di ACIERNO, CUTARELLI 2021, a cui è stato fatto riferimento anche per gli approfondimenti bibliografici indicati nelle note 7, 8 e 9.

del cad, si tratta di oggetti che oltre a contenere le caratteristiche geometriche dispongono di dati e regole: i primi consistono nelle informazioni che caratterizzano il comportamento di quell'elemento nei vari ambiti di applicazione; nelle seconde risiedono le relazioni che ogni oggetto instaura con un altro.

Il richiamo a questo tipo di impostazione, nota agli esperti del settore, risulta utile per comprendere da un lato i vantaggi che si possono avere nel gestire la complessità del progetto di un nuovo edificio, dall'altro i limiti, già menzionati, che viceversa si riscontrano per il restauro del costruito tradizionale. Nell'ambito dell'architettura storica, al momento, le peculiarità geometriche sono per esempio rappresentate in BIM partendo da 'famiglie' del sistema di cui sono ogni volta modificate, manualmente, forma e dimensioni. Le aperture finestrate e gli accessi, per esempio, possono essere modellati come famiglia delle aperture (categoria di sistema del software impiegato); ogni istanza apertura assume forma e dimensione proprie che vengono modificate tramite parametri geometrici. Per gli orizzontamenti voltati, ancora, la modellazione può essere effettuata a partire da una famiglia contenente per esempio una 'superficie adattiva' che consente di scegliere i quattro vertici costituenti la sagoma in pianta della volta e di parametrizzarla in modo da modificarne il piano di imposta ed il raggio. L'elevata irregolarità geometrica delle superfici voltate ha poi suggerito, in alcuni casi, di lavorare con modelli solidi *in-place* o superfici/mesh per via delle difficoltà nel gestire oggetti parametrici. Per superare l'approccio manuale sono stati sviluppati, di recente, anche processi automatici grazie all'impiego di 'algoritmi di riconoscimento e di *best fitting*', i primi in grado di identificare le nuvole di punti di primitive geometrie ricorrenti (es. muri, porte, finestre), i secondi per generare, a partire dalle prime configurazioni semplici, gli oggetti parametrici specifici.

Algoritmi 'personalizzati' e sofisticati sono inoltre utilizzati per la rappresentazione grafica delle forme di alterazione e degrado che descrivono lo stato di conservazione dell'edificio. Ci si riferisce, per esempio, ai cosiddetti 'algoritmi di *edge detection*' che consentono l'estrazione automatica di fessurazioni a partire da ortofoto rettificate oppure di algoritmi impiegati per 'segmentare' le nuvole di punti relative alle forme di degrado per poi importarle nell'ambiente BIM¹¹.

Questi metodi tentano di superare le modalità 'manuali' di rappresentazione grafica e semantica o anche l'elaborazione di rilievi di patologie e dissesti non esibiti nel modello, ma riportati in tabelle o in grafici collegati all'oggetto come link ipertestuali oppure in mappature restituite in grafici 2D estratti dalle viste del modello BIM 3D.

11. Vedi la dispensa a cura di Guido R. Dell'Osso e Silvana Bruno che restituisce una descrizione aggiornata sulla metodologia BIM applicata per il restauro e il recupero dell'edilizia storica, vedi DELL'OSSO, BRUNO 2022-2023.

Nella progettazione del nuovo sono in via di sviluppo alcune applicazioni in ambiente BIM orientate a governare elementi specifici e caratterizzati da irregolarità geometriche, ovvero non necessariamente riconducibili a categorie precostituite, implementando la modellazione parametrica con una progettazione ‘algoritmica’ che utilizza “un sistema di nodi visuali per ottenere oggetti personalizzati”. Si tratta cioè di governare il modello intero tramite funzioni matematiche (algoritmi) realizzate mediante un sistema di programmazione visiva con diagrammi a nodi, i cui input sono costituiti da coordinate, vettori geometrici, condizioni al contorno e il processo di rappresentazione è fornito da formulazioni algoritmiche¹². È una procedura in via di sperimentazione che richiede operazioni onerose dal punto di vista della programmazione algoritmica e del linguaggio informatico, al momento applicata in progetti di particolare importanza, potenzialmente significativa nell’ottica di sviluppare una metodologia in ambiente BIM più adatta alla restituzione dell’architettura storica.

La gestione dei beni culturali ha visto da tempo l’impiego di sistemi informatici GIS in grado di elaborare dati - opportunamente raccolti in banche interrogabili e aggiornabili nel tempo - relativi all’intero patrimonio monumentale, ai fenomeni fisico-chimici e sociali che intervengono sul processo di degrado dei beni, nonché alle informazioni sul relativo stato di conservazione. In tal senso sono state realizzate diverse piattaforme informatiche per la documentazione delle condizioni di salute e di fragilità del costruito architettonico, sia alla scala del singolo bene, sia a scala territoriale, e fra quest’ultime un’esperienza significativa è rappresentata dalla Carta del Rischio del patrimonio culturale del Ministero italiano della cultura¹³.

Il sistema Carta del Rischio, accessibile *online*, mira infatti a determinare, attraverso un modello di analisi statistica, situazioni di rischio concreto associato a ciascun bene, incrociando opportunamente i dati di pericolosità territoriale con quelli di vulnerabilità dei beni culturali, questi ultimi estratti da appositi moduli schedografici. Il rischio del patrimonio culturale si calcola mediante «uno schema (logico e matematicamente formalizzabile) che pone in relazione il “Rischio” con i “Fattori di Rischio”

12. Un esempio di strumento impiegato per la progettazione algoritmica in ambiente BIM è stato sviluppato dal software Archicad con il sistema di *live-connection* (ovvero di restituzione in tempo reale) ed è denominato ‘Grasshopper’. L’applicazione sperimentata consiste nella possibilità di generare la soluzione migliore dell’inclinazione dei frangisole in base all’esposizione dell’edificio, dei suoi ambienti interni, della località geografica e l’irraggiamento prodotto nelle varie ore del giorno. Vedi a tal proposito il blog di Archicad Italia redatto da Roberto Marin e la *live demo* a cura di Mario Sacco e Michele Calvano, <https://blog.archicad.it/bim/in-cammino-col-bim-la-progettazione-algoritmica> (ultimo accesso 10 dicembre 2023).

13. Vedi: BARTOLOMUCCI 2008; BARTOLOMUCCI 2009; NEGRI 2008.

[...] sulla base di un approccio statistico»¹⁴ che interviene nella valutazione della vulnerabilità, ovvero nel relazionare attraverso algoritmi ‘semplici’ (ad esempio medie aritmetiche) o più ‘complessi’ (medie pesate) i diversi dati registrati per ciascun bene. Grazie al contributo della statistica si possono infatti stabilire correlazioni fra le differenti informazioni tematiche che portano ad individuare i rapporti esistenti tra il patrimonio culturale, il suo stato di conservazione e i fattori che ne provocano il deperimento, pervenendo a graduatorie di rischio utili a stabilire priorità di intervento¹⁵.

Per adempiere al requisito di speditività del censimento e nel contempo per poter congegnare formulazioni algoritmiche che in quanto tali soddisfino proprietà quali l’effettività, la finitezza di espressione e di calcolo, nonché il determinismo, nei tracciati schedografici della Carta del Rischio si è attuato un opportuno vaglio dei dati descrittivi di un bene, scegliendo quelli che riescano a cogliere le principali caratteristiche connotanti e i fattori significativi che esprimono lo stato di conservazione¹⁶. In quest’ottica gli indicatori di vulnerabilità e quelli di pericolosità sono suddivisi in tre ‘domini’ (“Statico-Strutturale”; “Ambiente-Aria”; “Antropico”) a cui corrispondono differenti tracciati schedografici da cui trarre le variabili di base per il calcolo degli indici di vulnerabilità. Per i primi due domini, per esempio, la vulnerabilità è calcolata attraverso una combinazione lineare di variabili che esprimono lo stato di conservazione delle diverse sezioni architettoniche in cui è suddivisa una data unità edilizia; ogni variabile, che di fatto corrisponde a un giudizio sullo stato di conservazione, oltre ad essere opportunamente quantificata attraverso l’assegnazione di un punteggio, è anche moltiplicata per un ‘peso’, consentendo così da un lato di rendere confrontabili informazioni di per sé differenti, dall’altro di istituire con la pesatura relazioni rappresentative di condizioni reali¹⁷.

Inoltre, per cercare di far fronte alle caratteristiche eterogenee che connotano l’ambito dei beni culturali, la metodologia elaborata dalla Carta del Rischio prevede una schedatura distinta per beni archeologici, beni architettonici, contenitori di beni, beni mobili e centri storici¹⁸.

14. COPPI 1997, p. 33. Il virgolettato è dell’autore.

15. Vedi, ad esempio, in FERRONI, CACACE 2004 la descrizione del modello di valutazione della vulnerabilità archeologica.

16. Rispetto alle proprietà che caratterizzano in generale un algoritmo si rimanda alla voce ‘algoritmo’, <http://www.treccani.it/enciclopedia/algoritmo> (ultimo accesso 10 dicembre 2023).

17. Questo metodo, denominato “Analisi in Componenti Principali per Variabili Ordinali”, è applicato attraverso la tecnica ‘PRINCALS’, COPPI 1997, p. 35.

18. Vedi CACACE 2006. In particolare l’impiego della Carta del Rischio per i centri storici è di recente sperimentazione, vedi FIORANI 2019.

In particolare, nel modello di valutazione di trasformazioni moderne e fragilità rilevate negli aggregati urbani che costituiscono i centri storici sono state di recente adottate, nell'ambito della Carta del Rischio, formulazioni algoritmiche in grado di cogliere, in modo speditivo, modifiche moderne delle finiture e dei componenti costruttivi, carenze materiche e costruttive, dissesti strutturali, degrado delle superfici e delle coperture. La valutazione di due indici complessivi, espressione l'uno delle trasformazioni e modifiche moderne e l'altro di vulnerabilità, è ottenuta mediante medie pesate fra sei sotto-indici tematici (rispettivamente espressione di trasformazioni e modifiche delle finiture; trasformazioni e modifiche costruttive; vulnerabilità costruttive; dissesti e modifiche strutturali; degrado delle superfici; degrado delle coperture), a loro volta calcolati prevalentemente con medie aritmetiche. Le variabili che contribuiscono al calcolo dei sotto-indici provengono da un tracciato schedografico dedicato, all'interno del quale esse sono espresse sotto forma di intervalli di incidenze che ne indicano la percentuale di presenza osservata; ad ognuno di questi intervalli è poi assegnato un punteggio. La 'pesatura' dei sotto-indici per il calcolo dei due indicatori globali è stata impostata considerando prevalentemente il livello delle incidenze: il sotto-indice tematico che, dalla compilazione della scheda, risulta avere l'incidenza maggiore è quello che pesa di più e gli altri, a seguire, contribuiscono in modo decrescente e proporzionale alla rispettiva rilevanza¹⁹.

Il sistema Carta del Rischio per i centri storici, dunque, riesce a gestire dati, quali gli indicatori espressione delle modifiche e trasformazioni moderne e assieme della vulnerabilità del costruito diffuso, in un contesto georeferito e sovrapponibile, per la definizione di 'mappe del rischio', con carte tematiche dedicate alle diverse pericolosità territoriali (di tipo idrogeologico, sismico, franoso, ecc...). Gli indicatori di trasformazioni, vulnerabilità e di rischio sono visualizzati con superfici o linee rette, diversamente dal tipo di rappresentazione tridimensionale che caratterizza un ambiente BIM.

La sperimentazione condotta da Silvia Cutarelli sulla modellazione BIM della Lungara e le considerazioni scaturite riguardanti la potenziale e complessa interoperabilità con il GIS della Carta del Rischio chiariscono i nodi principali su cui iniziare a riflettere anche dal punto di vista della formulazione degli algoritmi.

Al di là della differente scala di lavoro dei due sistemi, motivata dai diversi obiettivi ad essi congeniti e di fatto superabile dalle applicazioni in corso, e concentrando l'attenzione sul flusso dei dati 'numerici', ovvero quelli utili a una progettazione algoritmica, si ritiene che uno scambio di dati possibile per esempio dal tracciato schedografico Unità Urbana Aggregato della Carta del Rischio al

19. Vedi DONATELLI 2022 per la descrizione del modello di calcolo adottato per le trasformazioni/modifiche moderne e per la vulnerabilità delle Unità Urbane.

modello BIM risieda nei parametri geometrici (altezza minima, altezza massima, larghezza, lunghezza) che noti nella scheda possono contribuire quantomeno alla costruzione tridimensionale del modello di rappresentazione dell'aggregato urbano e partecipare a quelle 'relazioni' che la metodologia BIM prevede per computare quantità, per governare i processi per esempio connessi ai diversi e specifici aspetti che compongono il progetto, per controllare l'organizzazione del cantiere. Entità come i volumi o la superficie coperta lorda richiedono, per la migrazione da GIS a BIM, la creazione di una famiglia associata *ad hoc*, così come il numero di piani ipotizzati e totali²⁰.

Più complessa (e irrisolta) appare al momento la questione delle 'incidenze' su cui si basa, nel sistema Carta del Rischio per i centri storici, la valutazione di indici tematici e globali rappresentativi di trasformazioni/modifiche moderne e di vulnerabilità: si tratta di stime che lo schedatore è chiamato a elaborare sul campo, in modo speditivo e sotto forma di intervalli percentuali, che sarebbe interessante poter visualizzare sul modello BIM come supporto alle decisioni almeno in fase di preliminari scelte progettuali²¹.

Considerando il flusso inverso, dall'ambiente BIM alla Carta del Rischio, permane la possibilità di recepire dal modello tridimensionale i dati geometrici, quali altezza, larghezza e lunghezza, richiesti nel 'sistema edilizio' del tracciato Unità Urbana Aggregato; volumi, superfici e numero di piani possono essere visualizzati e 'contati' nel BIM per poterli imputare nel tracciato schedografico, al momento in modalità manuale.

Rispetto alle questioni conservative, come accennato in precedenza, il BIM lavora con tabelle e elaborazioni grafiche bidimensionali esterne al sistema oppure attraverso l'applicazione di algoritmi sofisticati in grado di estrarre da immagini le patologie osservate e riversarle in una sintesi grafica sulle viste del modello tridimensionale. La computazione delle superfici interessate da forme di degrado e da criticità strutturali risulterebbe utile per esempio nella stima di quelle incidenze che la scheda Unità Urbana richiede per pervenire all'indice di vulnerabilità. Anche in questo caso la migrazione dei dati è immaginata al momento con la mediazione dell'operatore che manualmente e

20. Si richiama di seguito la definizione di 'piano' che chiarisce le modalità di compilazione della scheda Unità Urbana-Aggregato della Carta del Rischio: «S'intende per 'piano' l'ambito di unità Urbana-Aggregato analizzabile sui fronti esterni o interni compreso fra due orizzontamenti e pertinente a ogni singola unità edilizia», in FIORANI ET ALII 2022, p. 76.

21. I dati richiesti nei tracciati schedografici della Carta del Rischio per i centri storici sono imputati sotto forma di 'incidenze', ovvero di percentuali articolate in 5 intervalli compresi fra 0 e 1 (0-20%; 21-40%; 41-60%; 61-80%; 81-100%); queste percentuali sono stimate dal compilatore rispetto a tutti gli indicatori che concorrono a rappresentare, in modo speditivo, tipo e livello di modifiche moderne e di fragilità osservate. DONATELLI 2022, p. 121.

con l'ausilio di files (per esempio excel) calcola le incidenze sotto forma di percentuali e le assegna, come richiesto nelle schede Unità Edilizia e Fronte Edilizio, alle differenti tipologie di degrado²².

Una possibilità per ottimizzare il processo automatico e minimizzare l'intervento manuale si intravede nell'attribuire a quelle famiglie del BIM genericamente denominate 'Masse concettuali' - che Silvia Cutarelli associa alle incidenze sotto forma di testo o di parametro si/no - un numero corrispondente alla valutazione esatta di quanto osservato o all'estremo superiore dell'intervallo stimato; gli attributi numerici consentirebbero di impostare in ambiente BIM gli algoritmi formulati nella Carta del Rischio per il calcolo di indici tematici e globali, favorendo così l'interoperabilità fra i due sistemi²³.

Permane nel BIM il limite, già evidenziato, rispetto alla capacità di distinguere 'autonomamente' le forme di degrado nelle differenti tipologie che invece il censimento della Carta del Rischio, come già sottolineato, richiede alla scala delle Unità Edilizie e dei Fronti Edilizi. Questa considerazione non intende necessariamente auspicare a un processo totalmente automatico; il riconoscimento delle specifiche fenomenologie di degrado può restare un'attività intellettuale ma la quantificazione (in termini di estensione rispetto alla superficie o al volume del componente interessato) potrebbe essere calcolata in automatico e contribuire, migrando nel GIS Carta del Rischio, al calcolo delle incidenze di cui si è fatto cenno in precedenza.

Conclusione (o meglio Inizio)

L'accelerazione riscontrata nell'impiego dei sistemi digitali ha da tempo posto la questione non solo di potenziare operazioni, quali la raccolta, l'organizzazione e la rappresentazione di informazioni, per esempio per la costruzione di banche dati sempre aggiornabili e opportunamente conservati per consentirne una costante consultazione, ma anche di rendere interoperabili piattaforme e modelli informatici, come il BIM, nell'ottica di ottimizzare risorse e tempi di lavoro.

Il sistema Carta del Rischio del Ministero della cultura italiano, nato per stimare, a scala territoriale, il rischio di perdita di beni architettonici, archeologici e mobili, di recente ampliato ai centri storici, costituisce un esempio di GIS costruito secondo regole e processi informatici *ad hoc*, ma soprattutto sulla base di contenuti governati da una profonda competenza culturale; questa

22. Per la scheda Fronte Edilizio vedi FIORANI *ET ALII* 2022, in particolare pp. 109-118, e FIORANI *ET ALII* 2023, pp. 174-216. Per la scheda Unità Edilizia vedi FIORANI *ET ALII* 2023, in particolare pp. 110-173.

23. Per il concetto di 'Masse concettuale' e dei limiti connessi a tale applicazione vedi il contributo di Silvia Cutarelli in questo volume, pp. 216-245.

piattaforma potrebbe beneficiare, attraverso uno scambio di dati con il sistema BIM, di una migliore visualizzazione di dati (per esempio tridimensionale) e di accessibilità ad alcune informazioni con conseguente riduzione dei tempi richiesti nei sopralluoghi necessari per la compilazione dei tracciati schedografici.

Viceversa, i sistemi BIM per il costruito storico, in presenza di schede compilate nella banca dati del ministero, potrebbero estrapolare diverse informazioni, anche in questo caso con un risparmio nelle attività di rilievo sul campo e di studio della preesistenza indagata.

I tentativi di ragionamento orientati a rendere operativo il flusso di dati fra GIS e BIM nell'ottica delle formulazioni algoritmiche, sono stati sviluppati avendo consapevolezza delle differenti scale a cui lavorano Carta del Rischio e metodologia BIM (la prima è sviluppata a scala territoriale, la seconda a quella architettonica), e soprattutto delle difficoltà tecniche e operative, come l'eterogeneità dei formati dati e le problematiche computazionali, che chiaramente necessitano di approfondimenti e competenze specifiche²⁴.

Lungi dall'aver conseguito un traguardo, gli 'spunti di riflessione' intendono porre le basi a un inizio di ricerca che al momento ha per esempio riconosciuto nei dati geometrici che caratterizzano un'architettura (e negli algoritmi a cui questi partecipano) un'agevole migrazione fra i diversi sistemi; restano sfide aperte questioni quali la computazione inerente allo stato di conservazione.

24. L'attenzione rivolta alle possibilità e alle opportunità di integrazione fra il BIM e il GIS, è di recente emersa nel campo delle infrastrutture. Nel novembre del 2024, per esempio, il comune di Genova ha dedicato un convegno alla tematica in questione, dal titolo "Sfide ed opportunità nell'integrazione BIM-GIS", pervenendo a individuare i "dati del BIM utili al GIS" e viceversa, <https://www.rivistageoedia.it/bim-cad-gis/bim-e-gis-confronto-e-integrazione-tra-due-mondi-complementari> (ultimo accesso 4 febbraio 2026). A tal proposito vedi anche il contributo (con l'e-book allegato) di ASSOBIM, *Integrazione BIM-GIS: il nuovo standard per progettazione, gestione e sostenibilità delle opere*, <https://www.ingenio-web.it/articoli/integrazione-bim-gis-il-nuovo-standard-per-progettazione-gestione-e-sostenibilita-delle-opere/> (ultimo accesso 4 febbraio 2026).

Bibliografia

- ACIERNO, CUTARELLI 2021 - M. ACIERNO, S. CUTARELLI, *Il BIM e l'HBIM: nuove prospettive per la modellazione dell'architettura storica*, in «Costruire in Laterizio», XXXIII(2021), 186, pp. 48-53.
- ADNAN ET ALII 2013 - A. ADAN, X. XIONG, B. AKINCI, D. HUBER, *Automatic creation of semantically rich 3D building models from laser scanner data*, in «Automation in Construction», 2013, 31, pp. 325-337.
- BALDI ET ALII 1994 - P. BALDI, R. COPPI, A.M. GIOVAGNOLI, M. MARABELLI, *Metodi e modelli per la costruzione e la definizione di mappe di rischio del patrimonio storico-artistico - 1a parte*, in «I Beni Culturali», II(1994), 6, pp. 55-59.
- BALDI ET ALII 1995 - P. BALDI, R. COPPI, A.M. GIOVAGNOLI, M. MARABELLI, *Metodi e modelli per la costruzione e la definizione di mappe di rischio del patrimonio storico-artistico - 2a parte*, in «I Beni Culturali», III(1995), 1, pp. 35-40.
- BARTOLOMUCCI 2008 - C. BARTOLOMUCCI, *Nuovi metodi per la documentazione*, in G. CARBONARA (diretto da), *Trattato di restauro architettonico. Secondo aggiornamento. Grandi temi del Restauro*, vol. X, Utet, Torino 2008, pp. 104-140.
- BARTOLOMUCCI 2009 - C. BARTOLOMUCCI, *Documentazione informatica*, in D. FIORANI (a cura di), *Restauro e tecnologie in architettura*, Carocci, Roma 2009, pp. 98-109.
- CACACE 2006 - C. CACACE, *GIS: uno strumento per la rappresentazione organizzata delle informazioni sui processi di restauro e conservazione*, in «Bollettino ICR», n.s.(2006), 13, pp. 19-26.
- COPPI 1997 - R. COPPI, *Metodologia per la costruzione di modelli di rischio del patrimonio culturale*, in G. CASTELLI (a cura di), *La Carta del Rischio del Patrimonio Culturale*, ICR - Bonifica, Roma 1997.
- DELL'OSSO, BRUNO 2022-2023 - G.R. DELL'OSSO, S. BRUNO, *Il BIM per la modellazione e gestione informativa del patrimonio esistente e storico*, disponibile online: <https://docs.dicatechpoliba.it/filemanager/25/a.a.%202022-23/BIM%202022-23/HBIM%202022-23.pdf> (ultimo accesso 10 dicembre 2023).
- DONATELLI 2022 - A. DONATELLI, *Modelli di calcolo per le trasformazioni e modifiche moderne, per la vulnerabilità delle Unità Urbane e dei Fronti Edilizi*, in FIORANI ET ALII 2022, pp. 119-134.
- DORE, MURPHY 2012 - C. DORE, M. MURPHY, *Integration of Historic Building Information Modelling (HBIM) and 3D GIS for Recording and Managing Cultural Heritage Sites*, in A.A.V.V., *Virtual Systems in the Information*, VSMM 2012, 18th International Conference on Virtual Systems and Multimedia (Milano, 2-5 Settembre 2012), IEEE, Milan 2012, pp. 369-376. DOI: 10.1109/VSM2012.6365947.
- FERRONI, CACACE 2004 - A. FERRONI, C. CACACE, *Carta del Rischio: la vulnerabilità archeologica*, in A.A.V.V., *Apparati Musivi Antichi nell'area del Mediterraneo*, atti del convegno internazionale di studi (Piazza Armerina, 9-13 aprile 2003), Quaderni di Palazzo Montalbo n. 4, Dario Flaccovio, Palermo 2004, pp. 466-472.
- FIORANI 2019 - D. FIORANI, *Il futuro dei centri storici. Digitalizzazione e strategia conservativa*, Quasar, Roma 2019.
- FIORANI ET ALII 2022 - D. FIORANI, M. ACIERNO, A. DONATELLI, S. CUTARELLI, A. MARTELLO, *Centri storici, digitalizzazione e restauro. Applicazioni e prime normative della Carta del Rischio*, Sapienza Università Editrice, Roma 2022.
- FIORANI ET ALII 2023 - D. FIORANI, M. ACIERNO, A. DONATELLI, A. MARTELLO, S. CUTARELLI, *Centri storici, digitalizzazione e restauro. Applicazioni e ultime normative della Carta del Rischio*, Sapienza Università Editrice, Roma 2023.
- MARTELLO 2023 - A. MARTELLO, *Approfondimenti sulle Unità Urbane-Aggregato e sulle Unità Urbane-EPRS attraverso la loro applicazione a un brano del centro storico romano*, in FIORANI ET ALII 2023, pp. 235-253.
- MURPHY ET ALII 2009 - M. MURPHY, E. MCGOVERN, S. PAVIA, *Historic building information modelling (HBIM)*, in «Structural Survey», IV(2021), 27, pp. 311-327.

NEGRI 2008 - A. NEGRI, Tecnologie informatiche per la conoscenza e la conservazione, in G. CARBONARA (diretto da), *Trattato di restauro architettonico. Secondo aggiornamento. Grandi temi del Restauro*, vol. X, Utet, Torino 2008, pp. 63-103.

ORENI ET ALII 2009 - D. ORENI, R. BRUMANA, S. DELLA TORRE, F. BANFI, L. BARAZZETTI, M. PREVITALI, *Survey Turned Into HBIM: The Restoration and the Work Involved Concerning the Basilica di Collemaggio After the Earthquake (L'Aquila)*, in «ISPRS Annals of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences», 2014, II-5, pp. 267-273. DOI: 10.5194/isprsannals-II-5-267-2014.



Reflections on HBIM Modeling at the Urban Scale. At the Core of Bologna's Santo Stefano District: the Baraccano Area

Marco Pretelli, Andrea Ugolini (Università di Bologna)

The essay aims to present the research conducted on by the University of Bologna as part of the PRIN project HBIM (Historic Building Information Modeling) at the urban scale. This project, known as HPFC (Historic Preservation Foundation Classes), focuses on developing tools for the effective preservation and conservation of architectural heritage across different scales, from individual monuments to entire historic districts. In this study, attention is directed towards a specific area within the Santo Stefano District in Bologna, particularly the buildings along the historic 'Strada,' which has been mentioned since the 12th century. The narrative briefly outlines the district's historical evolution from the Middle Ages to the present day. It also discusses the challenges encountered in integrating the unique characteristics of a complex and layered urban environment, such as the Baraccano area, into existing digital modeling frameworks. Furthermore, the study explores potential applications of detection tools for physical phenomena related to the historical use of this territory. These tools have been in use for some time and offer insights into various aspects of urban heritage conservation. Overall, this research highlights the growing importance of digital management techniques in the field of architectural preservation, signaling a need for their wider adoption and application across different restoration contexts.

Historic Preservation Foundation Classes

Procedure e ontologie per l'interoperabilità nella tutela del patrimonio storico architettonico

www.archistor.unirc.it

ArchistoR EXTRA 12 (2024)

ISSN 2384-8898

Supplemento di ArchistoR 19/2023

ISBN 978-88-85479-39-5

DOI: 10.14633/AHR439



Riflessioni sulla modellazione HBIM a scala urbana. Nel cuore del quartiere Santo Stefano a Bologna: l'area del Baraccano.

Marco Pretelli, Andrea Ugolini

L'art. 29 del D.Lgs. 42/2004 ha posto le premesse per una fondamentale innovazione, basata sull'idea che la conservazione del patrimonio culturale si ottiene attraverso una coerente, coordinata e programmata attività di studio, prevenzione, manutenzione e restauro.

Il progetto condotto in questi anni mira a rendere più efficaci gli strumenti di prevenzione e conservazione alle varie scale (dall'architettura monumentale ai centri storici), attraverso la connessione dei livelli e dei processi operativi. Per ottenere tale obiettivo diviene indispensabile estendere al restauro strumenti digitali e banche dati georeferenziate e, mediante indispensabili adattamenti, le metodologie BIM, sempre più diffuse nel settore dell'ambiente costruito. Il più importante avanzamento scientifico che si propone sta nella definizione di una proposta di standard IFC, ancora assenti a livello internazionale, per la gestione digitale delle varie fasi delle attività di conservazione e degli interventi di restauro architettonico.

Il PRIN HPFC – *Historic Preservation Foundation Classes*: Procedure e ontologie per l'interoperabilità nella tutela del patrimonio storico architettonico mira a costruire più efficaci strumenti di prevenzione e conservazione alle varie scale (dall'architettura monumentale ai centri storici), attraverso la connessione dei livelli e dei processi operativi, con l'obiettivo di favorire l'attuazione di quella coerente, coordinata e programmata attività.

Al centro, la condivisione nell'ambito del campo del restauro delle piattaforme digitali con banche

dati georeferenziate e delle metodologie BIM, sempre più diffuse nel settore dell'ambiente costruito a livello internazionale e anche in Italia.

L'impiego di strumenti di rappresentazione e gestione del progetto, concepiti per la nuova edilizia, richiede un'attenta mediazione quando applicato al patrimonio storico-architettonico. Occorre evitare derive semplificatorie, promuovendo invece un approccio capace di valorizzare contaminazioni virtuose. L'obiettivo è contenere gli effetti negativi di un trasferimento tecnologico acritico e superficiale, nel quale l'Historic-BIM potrebbe assumere il ruolo di semplificatore improprio di problematiche articolate, che per loro natura non si prestano a essere ridotte a pochi automatismi informatici.

Il set di dati, in continua espansione, ormai riferito a tutto il molteplice universo che condiziona i fenomeni di degrado e di dissesto, e dunque determina le modalità di conservazione del patrimonio costruito, pone in modo imperativo la necessità di avvalersi di strumenti in grado di gestire queste informazioni – strumenti che consentano di operare, si potrebbe dire, in una modalità di intermediazione controllata (espressione, questa, dai tratti volutamente ossimorici).

Fin dall'inizio, per l'intero progetto e nelle quattro sedi della partnership, si è deciso di procedere in questa strada attraverso l'individuazione di alcuni casi-studio, utili a verificare in *corpore viri* le affermazioni che, a livello teorico, si andavano formulando.

Di arricchimento dei set di dati da introdurre nel processo di caratterizzazione dei rischi, di monitoraggio, di simulazione e di redazione progettuale si parlerà in modo esteso nell'ultima parte di questo contributo. Il tema delle banche dati e della digitalizzazione permea tutto il D.M. 31 marzo 2023, n. 36, anche in relazione al principio di unicità di cui alla parte II e all'art. 19, c. 2 e ai successivi art. 22, 25 e 43¹. Per ora, è sufficiente richiamare l'attenzione sull'arricchimento che dovrà necessariamente derivare al processo di analisi, di progettazione e di attuazione nel campo del restauro dell'architettura, dall'adozione di approcci man mano più inclusivi rispetto all'universo in continua espansione delle informazioni in formato digitale che, a diversi livelli, si accumulano in continuo nei server riferiti a istituzioni ed enti di ricerca più diversi, soprattutto in una prospettiva di *preventive conservation*, un approccio del tutto correlato a quello della conservazione programmata, di cui al già citato D.M. 31 marzo 2023, n. 36, Allegato II.18-art. 3.

L'obiettivo dell'intera filiera del progetto e del cantiere di restauro è la gestione il più possibile circolare delle informazioni, per loro natura eterogenee: un processo in cui i dati, esito del

1. Tutto il titolo è dedicato al tema della digitalizzazione del processo di gara e alle modalità di trattamento dei dati digitali che devono innervare il progetto e la gestione del processo.

progetto, dovranno essere nuovamente integrati nel sistema informativo, in una spirale in grado di autoalimentare una costante revisione critica. Le basi informative oggi disponibili – dalle procedure digitalizzate relative a singole attività e beni, fino all’evoluzione degli strumenti digitali come le piattaforme GIS e il BIM, con il progressivo incremento della loro interoperabilità – dovranno confluire in sistemi condivisi, capaci di generare dati univoci e immediatamente accessibili a tutti gli attori coinvolti.

In una prospettiva di incremento della digitalizzazione, restano ancora da superare in modo compiuto le questioni relative all’archivio centrale dei dati e delle procedure di scambio² (un problema di dimensioni tali da richiedere un approccio almeno di livello nazionale, se non addirittura di EU). Il progetto punta alle cosiddette ontologie informatiche strumento indispensabile per integrare in modo efficace l’ampio set di informazioni che caratterizzano l’universo dei manufatti oggetto di restauro.

Lungo strada Santo Stefano: storie di una piccola parte di Bologna

L’area oggetto della ricerca si colloca all’interno del quartiere detto di S. Stefano, istituito nel 1985 dall’aggregazione dei precedenti quartieri Galvani, Murri e Colli³; la sua titolazione deriva dalla omonima Strada, così menzionata in un rogito del 1199⁴, che ne costituisce il principale percorso matrice dell’abitato e il suo asse di sviluppo. La parte più antica del quartiere si è sviluppata dapprima all’interno della cosiddetta addizione longobarda, poi nella seconda cerchia di mura, detta del Mille ed infine nella terza, la *Circla*.

Lo studio si è focalizzato sul tratto terminale di Strada S. Stefano, nella zona comunemente detta ‘del Baraccano’ - per la precisione tra viale G. Gozzadini, via Orfeo, via Borgolocchi, via Dante e viale G.Carducci⁵ - dal nome del complesso quattro-cinquecentesco voluto dalla famiglia Bentivoglio che fece edificare una chiesa, dedicata a Santa Maria della Pace del Baraccano, dove sorgeva una cappella ricavata in un ‘barbacane’ delle mura la Strada istituirono, nel un ospedale per i pellegrini, il cui portico forniva un primo riparo a chi giungeva in città, poi convertito in “conservatorio” di

2. Vedi: ACIERNO *ET ALII* 2017; BRUSEKER *ET ALII* 2017; DELLA TORRE 2017; LAAKSO, KIVINIEMI 2012; NOARDO 2015; ZALAMEA *ET ALII* 2018.

3. A questi nel 2016 è stato aggiunto la zona Irnerio, distaccata dall’ex quartiere San Vitale.

4. GUIDICINI 1872a, p.73.

5. I criteri per la perimetrazione verranno esaminati nel testo e nel volume.

ragazze nubili. Lungo di esso poi, nel 1497, venne aperto l'ampio voltone che ancora oggi inquadra prospetticamente la chiesa e collega la strada all'ampio sagrato del santuario⁶ (fig. 1).

Le cartografie e le vedute⁷ che interessano questa, come altre parti di Bologna a ridosso della terza cerchia, eseguite a partire dal XVI secolo, ad esempio da Francesco Francia, Egnazio Danti, Agostino Carracci o Johannes Blaeu, documentano la penetrazione del paesaggio agrario⁸ nella città almeno sino al XIX secolo (fig. 2). La zona a ridosso dell' antica Strada Santo Stefano appare ancora segnata da ampi campi e orti coltivati e da qualche giardino, e in essa sono presenti diversi edifici religiosi, chiese e strutture monastiche o conventuali: la chiesa abaziale e monastero di San Giuliano con annesso ospedale dove albergavano poveri e ragazzi (dal 1205); il convento delle suore Servite dette di Sant' Omobono o di Santa Maria della Pace (dal 1375); il monastero e la chiesa di S. Cristina di Settefonti (o della Fondazza) di origine duecentesca e riedificate nel XVII secolo; la chiesa di San Gabrielle e l'annesso convento de Carmelitane Scalze del XVII secolo e quella parrocchiale dedicata ai SS Giuseppe e Teresa appartenete allo stesso ordine ma maschile, costruita agli inizi del Settecento sui resti di una precedente edificio⁹.

Le carte documentano inoltre, soprattutto lungo la Strada, lotti allungati con case 'artigiane'¹⁰, munite di portico, corti retrostanti e fondaci spesso attesati su appezzamenti coltivati che in parte verranno edificati nei secoli successivi¹¹ (fig. 3). L'accorpamento di più proprietà, come attestano i catasti, darà poi origine a strutture palaziali più complesse accanto alle quali sorgeranno, nei secoli pre-unitari, edifici specialistici come il 'Palazzo delle stufe', nel 1765, una serra per le piante esotiche nell'Orto botanico detto 'Il Borghetto di San Giuliano'¹². Nel 1843 per ordine di Papa Gregorio XVI, inoltre, l'architetto Filippo Antolini realizzerà in forme neoclassiche la nuova porta daziaria di Santo Stefano nota come 'la barriera gregoriana' al posto di quella duecentesca già più volte rimaneggiata¹³.

6. *Ivi*, pp. 72-74; CERVELLATI, SCANNAVINI, DE ANGELIS 1977, pp. 235-245; CECCARELLI, PASCALE GUIDOTTI MAGNANI 2021, pp. 97- 98.

7. Esistono diversi cataloghi di piante e vedute della città di Bologna, quello più antico è forse la Miscellanea storico-patria bolognese del Guidicini pubblicato a Bologna nel 1872 mentre tra i più recenti è quello del Ricci (Ricci 1980, pp. 167-173).

8. SERENI 1982, p. 94.

9. Per gli edifici religiosi menzionati vedi GUIDICINI 1872b.

10. CERVELLATI, SCANNAVINI, DE ANGELIS 1977, pp. 128-129

11. *Ivi*, pp. 108-109.

12. ZANOTTI MOSSETTI 2008, pp. 5-7.

13. COSTA 2010, p.137 e p. 156.



Sopra, figura 1. Bologna, area del Baraccano (<http://dru.iperbole.bologna.it/cartografia/foto-oblique> ultimo accesso 15 dicembre 2023). Nella pagina successiva, figura 2. Johannes Blaeu, Mappa di Bologna, 1640, <http://cgi.ebay.it/Mappa-di-Bologna-del-Blaeu-1640-cm-76x57-Dipinta-a-mano-/400112434241> (ultimo accesso 15 dicembre 2023).





Figura 3. F. Hogenberg, Bononia Alma Studiorum Mater, 1588. Particolare di Strada Santo Stefano, tipologie insediative e orti, <https://arbor.medialibrary.it/item/d251f606-fff6-46ad-af6c-4778198757fe> (ultimo accesso 15 dicembre 2023).

Dopo l'unificazione d'Italia, a seguito anche della soppressione degli ordini e delle espropriazioni molti dei complessi che li ospitavano, furono destinati a caserme come accade per gli ex conventi di Santa Cristina della Fondazza (poi caserma Pietro Pietramellara) o delle Carmelitane Scalze (poi caserma Masini), quest'ultimo lungo la Strada¹⁴. A partire dagli anni 1858-59 ebbe inizio un periodo di trasformazioni rapide e traumatiche per l'intera città di Bologna che fece seguito all'immobilismo dei secoli precedenti¹⁵. Le cartografie ne forniscono prove puntuali e precise: nella pianta della città del 1890, ad esempio, i segni rossi tracciati sul documento attestano quanto previsto dal Piano regolatore del 1885-1889 (fig. 4). Tra questi interventi, si annoverano l'abbattimento delle mura, l'urbanizzazione di orti, la costruzione di nuovi assi di attraversamento, l'allargamento di strade del centro antico (via Bassi, Rizzoli, Farini ecc.) e l'apertura a sud est, nell'area oggetto di studio, di via Dante nei pressi della Porta S. Stefano che resterà isolata come accadrà anche alla chiesa di S. Maria della Pace addossata alle mura.



Figura 4. Anonimo, Pianta della città di Bologna, 1890, Brugnoli e Figli editori, Bologna. Dettaglio di Strada Santo Stefano con indicati in rosso le trasformazioni urbane previste dal Piano Regolatore del 1885-1889.

14. Ricci 1980, p. 123.

15. *Ivi*, p. 133. Per questi anni, nello specifico sono state comparate la Carta topografica del 1884 dell'Istituto geografico militare italiano, la Cartografia storica "Bologna stato attuale" del 1941 e le più recenti Ortofoto satellitare del 2018.

A dispetto dell'incremento demografico verificatosi alla fine dell'Ottocento – proseguito anche dopo la fine del primo conflitto mondiale, nonostante l'epidemia di febbre spagnola – Bologna continua a mantenere l'aspetto di un grosso capoluogo. Tuttavia, iniziano a sorgere nuovi quartieri fuori le mura, come previsto dal Piano¹⁶. L'area gravitante attorno alla vecchia Strada conserva ancora ampi spazi aperti e un assetto urbano apparentemente poco modificato. Viene edificata nel 1912 una scuola dedicata a Giosuè Carducci inaugurata nel 1915, costruiti edifici a blocco mono e plurifamiliare per la nuova borghesia dove un tempo sorgevano le mura e in prossimità della piazza del Baraccano. Vicino alla porta poi, tra il 1929 e il 1930, l'architetto Giuseppe Vaccaro edificherà per conto della Cooperativa Invalidi e Mutilati di guerra una palazzina di sapore piacentiniano¹⁷ (fig.5).

Alla fine degli anni Quaranta, lungo via Guinizzelli sono documentate altre palazzine mentre il piano del 1955 (approvato nel '58) acconsentirà in questa area, l'occupazione di alcuni lotti rimasti ancora liberi, prima destinati a giardino, per far posto nuova edilizia abitativa. Dagli anni Sessanta in poi la situazione si consolida, la costruzione di nuovi fabbricati cede il passo alla ristrutturazione edilizia del tessuto esistente o al risanamento conservativo di quello storico. Con il Piano di Salvaguardia del Centro Storico, a firma di Luigi Cervellati del giugno del 1969, divenuto esecutivo nel 1973, molte delle caserme della zona verranno convertite in edificio ad uso pubblico e cioè a centri di quartiere come per il complesso del Baraccano¹⁸ o a sedi universitarie o fondazioni come accaduto per l'ex convento di Santa Cristina¹⁹.

A tutt'oggi, l'area oggetto di questa ricerca si presenta caratterizzata da manufatti di edilizia di base – case a schiera di impianto quattrocentesco, fabbricati in linea frutto di accorpamenti diacronici e, soprattutto per quelli otto-novecenteschi, edifici a blocco – accanto a edifici di edilizia specialistica, come luoghi di culto ancora attivi e complessi conventuali o monastici, oggi quasi tutti destinati a funzioni pubbliche e sociali. Degli ampi spazi aperti presenti sino alla fine dell'Ottocento resta oggi ben poco. La configurazione dell'area, con le diversità del costruito frutto come si è visto di diacroniche trasformazioni e sviluppi, la presenza di ampi tratti di portici inseriti nella *WH list*, nonché

16. Il confronto con il Piano Regolatore e di Ampliamento del 1889, che definisce lo sviluppo della città fino al secondo dopoguerra, ha permesso poi di riconoscere e distinguere alcuni segni caratterizzanti del tessuto storico urbano.

17. BETTAZZI 2003, pp. 73-76; CASADEI 2009, pp. 106-109; CASCIATO, ORLANDI 2005.

18. CERVELLATI, SCANNAVINI, DE ANGELIS 1977, pp. 235-245.

19. Acquisito dal Comune negli anni Novanta del secolo scorso, dopo il restauro del 2004, è stato assegnato all'Università al suo interno trova posto anche una biblioteca, una Fondazione.



Figura 5. A. Inghingoli, Città di Bologna. Planimetria aggiornata alla primavera 1939 con l'indicazione delle varie categorie di edifici e di strade e delle linee tranviarie urbane. In rosso acceso, tra piazza Santo Stefano e la Chiesa del Baraccano è indicato l'edificio abitativo progettato da Giuseppe Vaccaro, <https://arbor.medialibrary.it/item/Of979820-b0dd-4ba4-8cb4-8ac343ceb776> (ultimo accesso 15 dicembre 2023).

la morfologia complessiva dell'insieme lo ha reso quindi un interessante banco di prova per la ricerca in essere.

Carta del Rischio e la modellazione HBIM dell'area del Baraccano nel quartiere S. Stefano

L'importanza di Carta del Rischio (CdR), in quanto Sistema Informativo Territoriale (SIT) di supporto scientifico e amministrativo agli Enti statali e territoriali preposti alla tutela del patrimonio culturale, è da tempo conclamata e condivisa in ambito accademico e istituzionale nonché oggetto di continua ricerca e approfondimenti. Nata quindi per descrivere e definire il rischio di perdita dei beni culturali e conseguentemente gestirne le strategie di conservazione è divenuta quindi strumento di riferimento per questa ricerca e la modellazione HBIM di questa parte di città.

L'architettura generale del sistema CdR, coordinata con i criteri dell'Istituto Centrale per il Catalogo e la Documentazione, prevede, come è noto, una organizzazione su sei livelli descrittivi con schede dedicate per il Centro Storico (CS), le Unità Urbane- Aggregato (UU-A), le Unità Urbane-Edilizie Residenziali Puntuali o specialistica (UU-EPRS), lo Spazio Urbano (SU), l'Unità Edilizia (UE) e il Fronte edilizio (FE)²⁰. Soffermandosi solo su alcuni aspetti e criticità incontrate della ricerca si evidenzia che non senza qualche difficoltà si è definito innanzitutto il perimetro relativamente alla voce 'CS', a fronte del recente concetto di paesaggio urbano²¹ a cui il nuovo PUG del 2021 fa riferimento e che include porzioni di città extra moenia di formazione novecentesca nonché perimetrare le zone della città relativamente a quelle che erano i quartieri storici di Bologna a seguito delle recenti ripartizioni amministrativa di pertinenza²². Se più semplice è stata la definizione delle UU-EPRS, intese come elementi edificati continui e omogenei, anche solo tramite le orto foto e le foto oblique disponibili²³, più complessa è risultata la perimetrazione delle UU-A, concepite come elementi edificati continui, soprattutto su via santo Stefano dove dalla omonima porta sino a via Borgolocchi e via Dante i fronti strada documentano un costruito per lo più continuo, dove l'edilizia residenziale diacronica coesiste

20. Per l'organizzazione e i contenuti delle schede e le logiche che sono alla base delle scelte effettuate vedi FIORANI 2019; FIORANI *ET ALII* 2022, pp. 15-17.

21. Secondo UNESCO (2011) il Paesaggio urbano storico è "un territorio urbano che si estende al di là del concetto di "centro storico" o "area storica" e il risultato di una stratificazione storica complessa di valori e caratteri culturali e naturali, dal carattere dinamico, in cui diversità e creatività sono considerate come risorse e gli obiettivi di conservazione si integrano con quelli di sviluppo economico e sociale (vedi: UNESCO 2011; BANDARIN, VAN OERS 2012; ORIOLI, UGOLINI, MARIOTTI 2022).

22. Vedi <https://www.comune.bologna.it/quartieri/santo-stefano> (ultimo accesso 7 novembre 2023).

23. Vedi <https://sitmappe.comune.bologna.it/fotostoriche/> (ultimo accesso 4 novembre 2023).



Figura 6. Bologna, area del Baraccano. Immagine obliqua con indicate le seguenti emergenze architettoniche: 1. Chiesa del Baraccano, 2. Ospedale dei Pellegrini (1438); 3. Conservatorio delle Putte del Baraccano (1528); 4. Chiesa di San Giuliano (fine XVIII); 5. Porta Santo Stefano (1843, Filippo Antolini); 6. Scuola Palazzo delle Stufe (1765, Serra Orto Botanico); 7. Scuola Elementare; 8. Edilizia residenziale (1930, G. Vaccaro); 9. Edilizia residenziale (varia cronologia) (elaborazione A. Ugolini, 2023).



Figura 7. Bologna, area del Baraccano, edilizia di base e specialistica. Da sinistra: Strada Santo Stefano, edilizia a schiera; Strada S. Stefano, vista verso l'omonima porta, S. Maria della Pace del Baraccano (XVI sec.); Chiesa di San Giuliano (fine XVIII); edilizia residenziale su via Orfeo con graffiti di BLU, Ospedale dei Pellegrini (1438) poi Conservatorio delle Putte del Baraccano (1528); porta Santo Stefano (1843); Palazzo delle Stufe (1765); Palazzina per la Cooperativa Invalidi e Mutilati (G. Vaccaro, 1929-30) (foto M. Pretelli, A. Ugolini, A. Zampini, 2023).

quella specialistica costituita da edifici di culto e complessi conventuali. Il criterio per la definizione delle unità che si affacciano sull'antica Strada si è basato quindi sulle caratteristiche generali di natura geometrico-dimensionale (come la presenza del voltone del Baraccano che ha permesso di suddividere l'aggregato) nonché di natura architettonico-costruttiva e storica (figg. 6-7).

Relativamente poi ai dati dimensionali del costruito²⁴, utili alla compilazione delle restanti schede (Ue, FE), si è fatto uso della cartografia disponibile sulle piattaforme del Comune e di alcuni rilievi urbani e 'rammagliamenti' catastali dei piani terra (ove possibile) eseguiti in maniera tradizionale integrati da scansioni laser di alcuni tratti di via S. Stefano, consentendo così la graficizzazione delle singole unità. Sempre poi con l'ausilio delle orto-foto e delle visioni oblique, a supporto delle attività sul campo, si sono potuti documentare le caratteristiche volumetriche dei singoli manufatti (volumi cavi, aggettanti, numero di piani, dislivelli...) utili alla definizione del modello (figg. 8-9).

Più critica invece la compilazione di quei dati relativi al sistema costruttivo e di trasformazione del singolo manufatto edilizio. Ci si consenta a tal proposito una piccola parentesi.

Bologna è ritenuta da molti 'città virtuosa', le sue politiche di conservazione del centro storico sono da tempo guardate con attenzione e prese a modello. Questa dispone dal 1995²⁵ di una rete civica all'avanguardia e di alcune piattaforme digitali grazie a cui, oltre ad accedere facilmente ai documenti per il governo del territorio²⁶ è possibile conoscerne la storia urbana e le trasformazioni nel tempo: sono infatti parzialmente consultabili le cartografie storiche dal 1850 al 1985²⁷, comparare foto e mappe storiche con l'ortofoto attuale²⁸, accertarsi dei cambiamenti del costruito

24. Si tratta di informazioni che nel loro insieme dovrebbero fornire l'ordine di grandezza del bene nel suo complesso, a tal proposito la norma parla di «macro rilevamenti di dati evidenti» (ICR 2020, p. 9). Nella pratica come si vedrà inizialmente si è cercato di integrare con rilievi manuali e strumentali. La campagna di rilievo è stata condotta dalla prof.ssa. Annamaria Manfredini del Dipartimento di Architettura dell'Università di Bologna appartenete a questa unità di ricerca che ha coordinato gli allievi del corso di Disegno dell'Architettura A. A. 2020/2021, mentre le scansioni sono del luglio 2021.

25. Data al 1995 il progetto Iperbole, un acronimo che significa Internet PER Bologna e L'Emilia-Romagna, con il quale si intende di rafforzare il dialogo tra Comune e cittadini, favorire la partecipazione, informare e comunicare efficacemente. Iperbole è stata la prima esperienza di telematica civica promossa da un'Amministrazione comunale in Italia, https://www.cittametropolitana.bo.it/portale/Comunicazione/Notizie_dai_Comuni/Bologna_online_la_nuova_rete_civica_del_Comune#:~:text=Pi%C3%B9%20di%2025%20anni%20fa,e%20cittadini%2C%20favorire%20la%20partecipazione%2C, (ultimo accesso 4 dicembre 2023).

26. Vedi <https://www.comune.bologna.it/servizi-informazioni/servizi-di-cartografia> (ultimo accesso 4 dicembre 2023). A titolo di esempio è disponibile l'Applicazione webGIS del PUG, integrata con la Cartografia e foto storiche.

27. Vedi <http://dru.iperbole.bologna.it/cartografia/cartografia-storica> (ultimo accesso 4 dicembre 2023).

28. Vedi <https://sitmappe.comune.bologna.it/fotostoriche/> (ultimo accesso 4 novembre 2023).

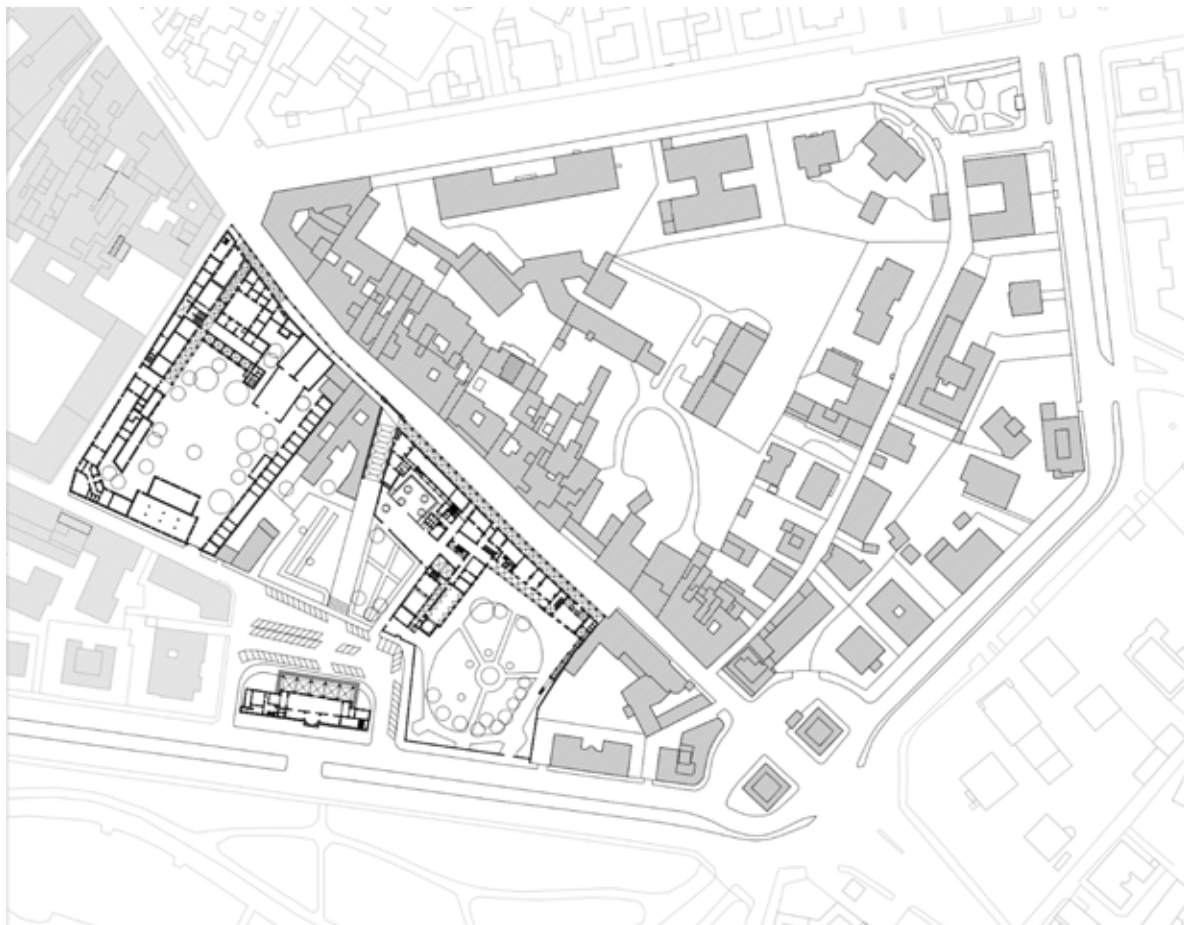


Figura 8. Bologna, area del Baraccano. Attacco a terra (elaborazione A.M. Manfredini, 2023).

(edilizia residenziale e non, edilizia pubblica, infrastrutture e ambiente...) in essere²⁹ (fig.10). Questo ha permesso di comprendere le macro-dinamiche di trasformazione del tessuto. CdR, per altro, richiede la registrazione degli elementi costruttivi storici e suggerisce di indicare anche quelli moderni di trasformazione visibili dall'esterno o facilmente accessibili. Si è quindi cercato di integrare quanto raccolto *in situ* provando ad accedere ai dati dell'Ufficio Tecnico e comprendere quale tipo di intervento fosse stato eseguito sulla singola unità (manutenzione, restauro, ristrutturazione) e quali modifiche materiali, strutturali e impiantistiche potessero essere avvenute. Informazioni utili a definire l'incidenza dei sistemi moderni rispetto a quelli tradizionali, così come l'impatto di sopraelevazioni, sostituzioni moderne o interventi di riparazione, sia a livello di finiture che di infissi. Un tentativo che purtroppo essersi si è rivelato poco fortunato per ragioni legate alla privacy, alla

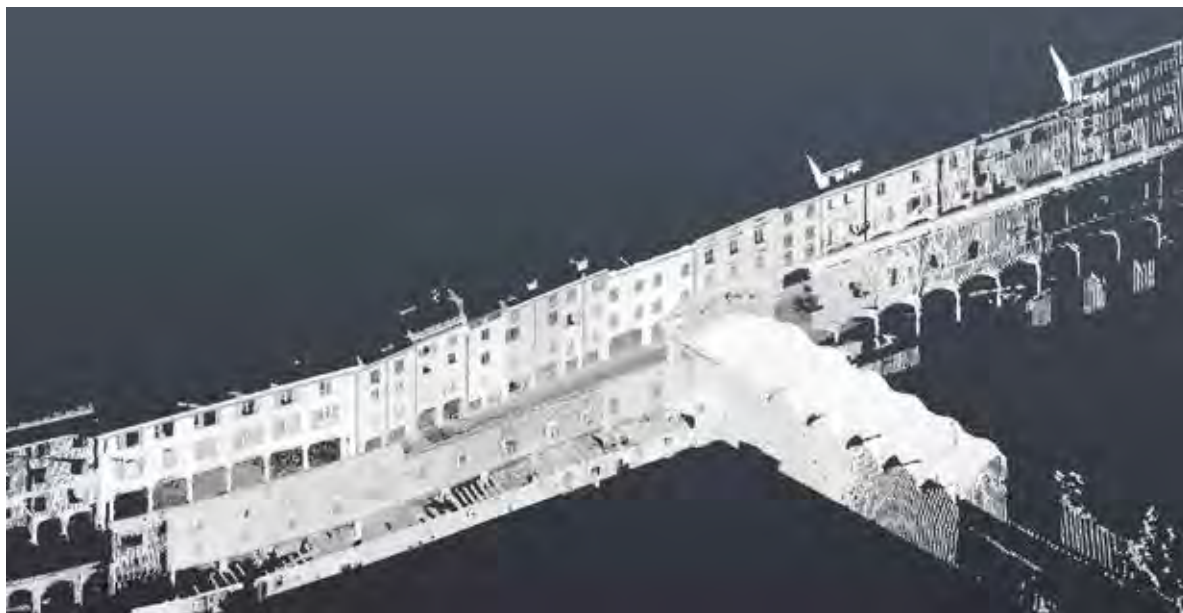


Figura 9. Scansione di via Santo Stefano (elaborazione A.M. Manferdini, 2021).

29. Vedi l'atlante delle trasformazioni territoriali, <https://inumeridibolognametropolitana.it/atlante-delle-trasformazioni-territoriali-0> (ultimo accesso 12 dicembre 2025).

mancata omogeneità dei dati di riconoscimento delle proprietà, al numero di pratiche, solo su via S. Stefano, che ha messo di nuovo in luce alcune criticità di cui diremo³⁰.

Sebbene l'intero impalcato di CdR si fondi sul criterio dell'acquisizione speditiva e *in situ* delle informazioni in modo da documentare i caratteri costruttivi essenziali del bene focalizzandone in particolare gli aspetti legati alla sua natura architettonica, costruttiva e allo stato di conservazione, questo tentativo, qualora fosse andato a buon fine, avrebbe alimentato in maniera proficua i dati per la definizione delle vulnerabilità del costruito storico di quest'area. Questo ha, pertanto, nuovamente messo in luce alcune criticità già note in letteratura (e che costituiscono in parte anche l'oggetto di questo PRIN): il tentativo infatti di costruire modelli complessi di HBIM per la gestione del rischio, specie in ambito architettonico e specificatamente urbanistico, sconta la mancata interoperabilità fra le piattaforme digitali di cui è dotata la città Metropolitana di Bologna (e con questa infinite altre realtà anche in ambito regionale). Qui, come si è visto e si vedrà, sono a disposizione una quantità importante di *open data* potenzialmente utili alla compilazione di CdR ma che si è potuto mettere a sistema manualmente. L'obbligo diffuso di consegna delle pratiche edilizie in formato pdf, su piattaforme dedicate, senza che esista un sistema (o alcun protocollo) che imponga una forma condivisa e 'oggettiva' per l'inserimento dei dati³¹ e ne permetta l'elaborazione per attestare le trasformazioni del costruito è un chiaro esempio di quanto si sta dicendo.

Sebbene sia chiaro quindi, almeno agli studiosi, che l'informatizzazione non comporta poi (e da tempo) il semplice trasferimento dall'analogico al digitale di metodi storicamente sedimentati, ancora «si fatica a ripensare completamente obiettivi e metodo dell'intero lavoro da svolgere, e nella maggior parte dei casi si continua a lavorare separando i 'contenuti' (informazioni sull'edificato e sulle sue condizioni di conservazione) dalla 'forma' di acquisizione dei dati». Con il triste risultato che continuano a proliferare sistemi e piattaforme digitali che lavorano «su contenuti semplicemente trasmessi da architetti urbanisti e mai veramente 'negoziati' congiuntamente, come se si trattasse di un semplice lavoro di traduzione semantica»³².

30. Si precisa infatti che non sempre i dati catastali e i numeri civici risultavano aggiornati, inoltre per accedere alle planimetrie catastali e ai progetti è sempre stata necessaria una autorizzazione della proprietà ed infine, a tutt'oggi si sono contate nell'area oggetto di studio più di 1800 pratiche edilizie che hanno reso impraticabile manualmente perseguire tale strada per la raccolta dei dati. Ciononostante, questa esigenza, anche per la presenza in questa unità di colleghi facenti parte dell'Amministrazione felsinea, è stata fonte valutata con interesse per le sue potenzialità.

31. Ad esempio, mediante vocabolari chiusi come accade per le schedature ministeriali e fondati su ontologie condivise.

32. FIORANI *ET ALII* 2019, p. 70.



Figura 9. Piattaforma SIT del Comune di Bologna per la comparazione delle mappe storiche. Dettaglio di via Santo Stefano nelle cartografie del 1941 e 1958, <https://sitmappe.comune.bologna.it/fotostoriche/> (ultimo accesso 15 dicembre 2023).

Nuova conoscenza, nuovi dati, nuovi programmi di conservazione

La dimensione digitale sta facendosi strada nelle questioni che riguardano la gestione del patrimonio storico architettonico, poiché non è sfuggito agli studiosi che le dimensioni quantitative e qualitative dei dati che contribuiscono a definire un bene storico patrimoniale non può che trarre giovamento dalle possibilità di un loro “trattamento informatico”. La questione rimane quella del come trasportare dati contraddistinti da una dimensione fisica, storica, valoriale non facilmente descrivibile in entità digitali. Vi sono ormai esempi interessanti di un tale approccio³³, che trova man mano ambiti di applicazione diversi e più estesi.

In questo progetto, la scelta è stata quella di partire da un caso applicativo specifico, un’area interna ai viali di Bologna. Tale area, che ricade nel nucleo originario del centro storico (dunque interna all’area ZTL, particolarmente “sorvegliata”), ha subito reso evidenti come fossero numerose le possibili interazioni con famiglie di dati che, anche oggi, faticano a trovare impiego nel monitoraggio dei beni architettonici storici, come nella formulazione di qualsiasi progetto di conservazione programmata³⁴. Nel programma di azione si sono presi in considerazione fattori di rischio nuovi, la cui conoscenza e, dunque, le cui possibilità di gestione dipendono interamente da processi di monitoraggio che molte amministrazioni locali, tra le quali anche il Comune di Bologna, hanno attivato da vari anni, con obiettivi originari del tutto distinti da quelli che animano la presente ricerca. A ulteriore riprova che il dato puro, in sé, ha potenzialità semantiche e, di conseguenza, ricadute operative del tutto trasversali all’intera area dell’architettura, intesa di volta in volta come insieme urbano, come entità sociale o, come nel nostro caso, come summa di singoli manufatti, dotati ognuno di caratteristiche sue proprie.

Si tratta di approcci che, al momento in cui si scrivono queste pagine, sono ad uno stato iniziale, ma che, per la loro coerenza con quelli che sono gli obiettivi e il metodo di un approccio preventivo³⁵,

33. Vedi YU-LUNG, MING-JIN , YAN-CHYUAN 2018.

34. Il riferimento è all’ormai notevole mole di dati prodotti dalle analisi degli ambienti urbani. Scrive al proposito Cesario: «Urban environments continuously generate larger and larger volume of data whose analysis can provide descriptive and predictive models as valuable support to inspire and develop data-driven Smart City applications. To this aim, Big data analysis and machine learning algorithms can play a fundamental role to bring improvements in city policies and urban issue», CESARIO 2023, p. 1. Inevitabilmente, a tali dati, più che ai modelli che ne derivano, sarà necessario ricorrere per arricchire anche i progetti utili a prevedere e contrastare i fenomeni di degrado e di deterioramento del patrimonio costruito.

35. La bibliografia sulla conservazione preventiva è ormai piuttosto corposa, vedi, tra gli altri: DELLA TORRE 2003, DELLA TORRE 2014; MOIOLI 2023.

paiono presentare amplissimi margini di promettenti applicazioni. I dati che si è ritenuto utile includere nella valutazione del rischio a cui è soggetto quel patrimonio riguardano vari fattori. Un primo gruppo riguarda il muoversi nella città storica con mezzi a motore, sia riferito alla mobilità con mezzi pubblici, sia con mezzi privati:

- inquinamento;
- vibrazioni;
- rischi da contatto violento o di usura con le superfici costruite.

Un secondo, relativo al tema dell'uso, dell'abitare, anche turistico:

- occupazione/abbandono
- "turistificazione" del patrimonio edilizio.

Un terzo, relativo ai modi dell'occupazione, riferito alla socializzazione, all'inquinamento, al rumore rilevato entro le zone pedonali, agli spazi di sosta e di occupazione commerciale (dehor e aree all'aperto occupate a fini commerciali):

- presenza rumore e di attività impattanti;
- orari e modi di occupazione degli spazi pubblici e privati.

Ma le possibilità di lettura sono molteplici, tutte monitorate, al momento in cui vengono redatte queste pagine (alcune da oltre un decennio), attraverso reti e sistemi di rilevamento dell'ambiente urbano, diretti (sensori) o indiretti (raccolta di dati derivanti dalla presentazione di progetti presso l'amministrazione, di dichiarazioni e di rilevazioni in loco). Sul tema delle cosiddette *smart cities* è già stata prodotta negli ultimi anni ampia pubblicistica³⁶.

Vi sono informazioni utili ad analisi di fenomeni di natura e impatto diversi: ad esempio, il rilevamento dei dati relativi al passaggio dei veicoli a motore tramite spire permette non solo di comprendere la rilevanza dei flussi nelle varie ore del giorno, ma anche di interpretare i dati sull'inquinamento, 'depurandoli' dall'apporto degli autoveicoli. Altre informazioni consentono di valutare effetti indiretti derivanti dalle modalità d'uso del patrimonio; ad esempio, l'evoluzione del mercato di Airbnb offre dati preziosi sui modi in cui il patrimonio viene impiegato e sulle relazioni tra

36. Vedi, ad esempio, YAN ET ALII 2021; CESARIO ET ALII 2021.

attività edilizia nei vari edifici, così come è utile per comprendere il livello di pressione sul patrimonio immobiliare esercitato dalla locazione studentesca³⁷.

L'interoperabilità di questi e di altri set di dati permetterebbe di condurre ad azioni sicuramente più efficaci, sia in termini di programmazione delle misure preventive, sia di inclusione, nella pianificazione degli interventi conservativi, di fattori finora poco considerati a causa della carenza di informazioni su tali fenomeni. Basti pensare, a titolo esemplificativo, alla pressione esercitata dagli interventi di adattamento sul patrimonio storico delle città d'arte italiane, fenomeno che si protrae da decenni. Chi scrive, avendo ricoperto il ruolo di funzionario architetto presso l'allora Soprintendenza per i Beni Architettonici e per il Paesaggio di Venezia e Laguna, testimonia come né le amministrazioni locali né gli enti di tutela siano riusciti a misurare efficacemente il costo, sia in termini di perdita di materia storica, sia di impatto sulle strutture, di quel continuo lavoro di manutenzione e adattamento di muri, solai, intonaci, tubazioni e impianti, che tuttavia risulta facilmente riscontrabile muovendosi nelle vie di qualsiasi centro storico italiano.

Conclusioni

Il progetto portato avanti nell'ambito del PRIN ha permesso di mettere in chiaro, con riferimento al caso specifico bolognese, almeno due aspetti: da un lato, l'analisi condotta sul patrimonio costruito storico ha messo in luce le difficoltà di ricondurre alcune delle qualità proprie di un ambito urbano complesso e stratificato, come quello del Baraccano, nel quadro degli strumenti finora impiegati per la definizione digitale della realtà, richiedendo indispensabili ripensamenti rielaborativi attraverso la sperimentazione di nuovi strumenti³⁸; dall'altro, ha permesso di formulare ipotesi sull'impiego che, nel medesimo ambito, possono trovare strumenti di rilevamento di fenomeni fisici, connessi all'uso di questa parte del territorio, già attivi da tempo. Si tratta di due questioni, tra le numerose che costituiscono l'intorno disciplinare del restauro, nelle quali l'apporto derivante da un uso man mano crescente e allargato delle tecniche di gestione digitale del patrimonio costruito dovrà necessariamente trovare una sempre più ampia e diffusa applicazione.

37. Vedi <http://www.fondazioneinnovazioneurbana.it/45-uncategorised/2512-housingobo-online-la-mappa-con-le-prime-strutture-ricettive-che-affittano-a-studenti-e-studentesse> (ultimo accesso 4 novembre 2023).

38. Vedi SIGNORELLI, ZAMPINI in questo volume, pp. 152-183.

Bibliografia

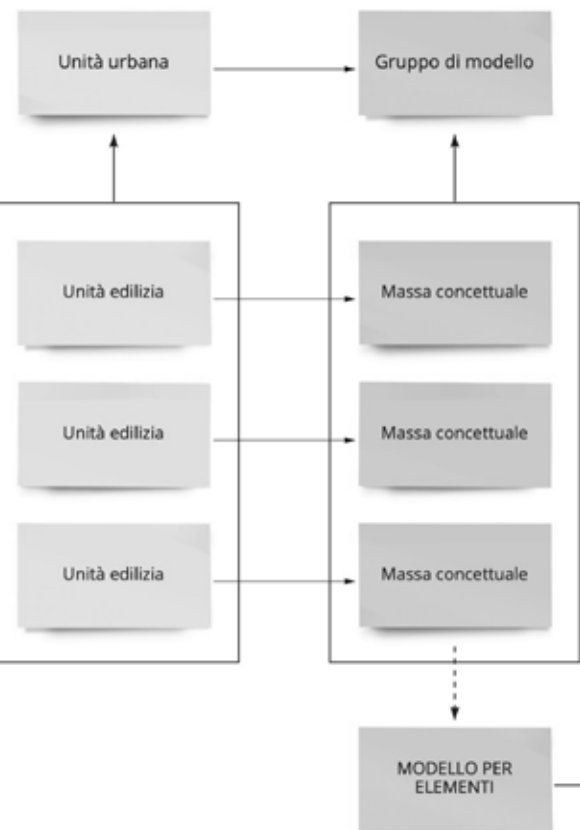
- ACIERNO *ET ALII* 2003 - M. ACIERNO, S. CURSI, D. SIMEONE, D. FIORANI, *Architectural heritage knowledge modelling: An ontology-based framework for conservation process*, in «Journal of Cultural Heritage», 2017, 24, pp. 124-133. DOI: 0.1016/j.culher.2016.09.010.
- BANDARIN, VAN OERS - F. BANDARIN, R. VAN OERS, *The Historic Urban Landscape: Managing Heritage in an Urban Century*, John Wiley & Sons, Hoboken 2012.
- BETTAZZI 2003 - M.B. BETTAZZI (a cura di), *Archivi aggregati. La sezione di architettura e i fondi degli architetti moderni*, Archivio storico Università, Bologna 2003.
- BRUSEKER *ET ALII* 2017- G.T. BRUSEKER, N. CARBONI, A. GUILLEM, *Cultural Heritage Data Management: The Role of Formal Ontology and CIDOC CRM*, in M.L. VINCENT, V.M. LÓPEZ-MENCHERO BENDICHO, M. IOANNIDES, T.E. LEVY (eds.), *Heritage and Archaeology in the Digital Age. Acquisition, Curation, and Dissemination of Spatial Cultural Heritage*, Springer, Cham 2017, pp. 93-131. DOI: 10.1007/978-3-319-65370-9_6.
- CASADEI 2009 - G. CASADEI (a cura di), *L'architettura del ventennio. Piccola guida ad architetture significative del ventennio fascista nelle province di Bologna, Ferrara, Ravenna, Forlì-Cesena e Rimini*, Legambiente Emilia-Romagna, Bologna 2009.
- CASCIATO, ORLANDI 2005 - M. CASCIATO, P. ORLANDI (a cura di), *Quale e Quanta. Architettura in Emilia-Romagna nel secondo Novecento*, Clueb, Bologna 2005.
- CECCARELLI, PASCALE GUIDOTTI MAGNANI 2021 - F. CECCARELLI, D. PASCALE GUIDOTTI MAGNANI, *Il portico bolognese. Storia, architettura, città*, Bononia University Press, Bologna 2021.
- CERVELLATI, SCANNAVINI, DE ANGELIS 1977 - P.L. CERVELLATI, R. SCANNAVINI, C. DE ANGELIS, *La nuova cultura della città*, Arnoldo Mondadori editore, Milano 1977.
- CESARIO 2023 - E. CESARIO, *Big data analytics and smart cities: applications, challenges, and opportunities*, in «Frontiers in big data», 2023, 6, 1149402. DOI: 10.3389/fdata.2023.1149402.
- CESARIO *ET ALII* 2022 - E. CESARIO, P.I. UCHUBILO, A. VINCI, X. ZHU, *Multi-density urban hotspots detection in smart cities: a data-driven approach and experiments*, in «Pervasive and Mobile Computing», 2022, 86, 101687. DOI: 10.1016/j.pmcj.2022.101687.
- COSTA 2010 - T. COSTA, *Il grande libro delle mura di Bologna*, Costa, Bologna 2010.
- DELLA TORRE 2003 - S. DELLA TORRE (a cura di), *La conservazione programmata del patrimonio storico architettonico. Linee guide per il piano di manutenzione e consuntivo scientifico*, Gerini e Associati, Milano 2003.
- DELLA TORRE 2014 - S. DELLA TORRE (a cura di), *La strategia della conservazione programmata. Dalla progettazione delle attività alla valutazione degli impatti*, Nardini, Firenze 2014.
- DELLA TORRE 2017- S. DELLA TORRE (a cura di), *Sguardi ed esperienze sulla conservazione del patrimonio storico architettonico*. Proceedings of the International Conference Preventive and Planned Conservation Monza, Mantova (5-9 May 2014), Vol. 2, Nardini Editore, Firenze 2017.
- FIORANI 2019 - D. FIORANI, *Il futuro dei centri storici. Digitalizzazione e strategia conservativa*, Quasar, Roma 2019.
- FIORANI *ET ALII* 2019 - D. FIORANI, S. CUTARELLI, A. DONATELLI, A. MARTELLO, *Vulnerabilità dei centri storici. Validazione della scheda Unità Urbana del sistema Carta del Rischio tramite la sua applicazione su due centri laziali*, in «Materiali e Strutture», 2019, 16, pp.69-105.

- FIORANI, CACACE 2020 - D. FIORANI, C. CACACE, *La Carta del Rischio come strumento di gestione conservativa dei centri storici*, A.M. OTERI, G. SCAMARDI (a cura di), *Un paese ci vuole. Studi e prospettive per i centri abbandonati e in via di spopolamento*, «ArchHistOR Extra», 7, 2020, supplemento di «ArchHistOR», VII(2020), 13., pp. 1542-1563.
- FIORANI ET ALII 2022 - D. FIORANI, M. ACIERNO, A. DONATELLI, S. CUTARELLI, A. MARTELLO, *Centri storici, digitalizzazione e restauro. Applicazioni e prime normative della Carta del Rischio*, Università Sapienza Editrice, Roma 2022.
- GUIDICINI 1872a - G. GUIDICINI, *Cose notabili della città di Bologna*, vol. V, Società Tipografica dei Compositori, Bologna 1872.
- GUIDICINI 1872b - G. GUIDICINI, *Ristretto della storia delle chiese di Bologna e di altri stabili*, vol. I, Società Tipografica dei Compositori, Bologna 1872.
- ICR 2020 - ISTITUTO CENTRALE DEL RESTAURO, *Bollettino ICR*, 2017, 35, disponibile online: <http://www.icr.beniculturali.it/pagina.cfm?usz=1&uid=134&idpub=142> (ultimo accesso 12 dicembre 2023).
- LAAKSO, KIVINIEMI 2012 - M. LAAKSO, A. KIVINIEMI, *The IFC standard - A review of history, development, and standardization*, in «Journal of Information Technology in Construction», 2012, 17, pp. 134-161, disponibile online: <http://www.itcon.org/2012/9> (ultimo accesso 12 dicembre 2023).
- MOIOLI 2023 - R. MOIOLI, *La conservazione preventiva e programmata: una strategia per il futuro*, Nardini, Firenze 2023.
- NOARDO 2015 - F. NOARDO, *Ontologie e modelli di dati per l'informazione spaziale dei Beni Architettonici*, in A. ARGENTIERI, F. CONSOLE, S. FABBI, M. PANTALONI, F.M. PETTI, M. ROMANO, G. ROTELLA, A. ZUCCARI, *Atti della XIX Conferenza Nazionale ASITA*, ASITA, Lecco 2015, pp. 893-900, disponibile online: <https://asitait.servversicuro.it/atti/ASITA2015/Pdf/117.pdf> (ultimo accesso 12 dicembre 2023).
- ORIOLO, UGOLINI, MARIOTTI 2022 - V. ORIOLO, A. UGOLINI, C. MARIOTTI, *Patrimonio mondiale UNESCO: brandizzazione o cultura della gestione? Lo scenario dei siti emiliano-romagnoli*, in «Archivio di Studi Urbani e Regionali», LIII(2022), 1, pp. 56-81.
- SERENI 1982 - E. SERENI, *Storia del paesaggio agrario*, Laterza, Bari 1982.
- RICCI 1980 - G. RICCI, *Bologna*, Laterza, Bari 1980.
- UNESCO 2011 - UNESCO, *Recommendation on the Historic Urban Landscape*, UNESCO, Paris 2011, disponibile online: <https://whc.unesco.org/uploads/activities/documents/activity-638-98.pdf> (ultimo accesso 12 dicembre 2023).
- YAN ET ALII 2021 - D. YAN, H. QIN, H.Y. WU, J.Y. CHEN, Editorial: AI-enabled data science for COVID-19, in «Frontiers in Big Data», 2021, 4, 802452. DOI: 10.3389/fdata.2021.802452.
- YU-LUNG, MING-JIN, YAN-CHYUAN 2018 - L. Y.-LUNG, L. MING-JIN, S. YAN-CHYUAN, *The Development of a Digital Management System for Historic Buildings in Taiwan*, in «Arts», VII(2018), 34. DOI: 10.3390/arts7030034.
- ZALAMEA ET ALII 2018 - O. ZALAMEA, J. VAN ORSHOVEN, T. STEENBERGEN, *Knowledge-based representations applied to built cultural heritage*, in K. VAN BALEN, A. VANDESANDE (eds.), *Innovative Built Heritage Models*, CRC Press, Leiden 2018, pp.93-100. DOI: 10.1201/9781351014793-11.
- ZANOTTI, MOSSETTI 2008 - A.L. ZANOTTI, U. MOSSETTI (a cura di), *Guida all'orto botanico dell'Università di Bologna*, Grafis Policrome, Bologna 2008.



Semantic languages and HBIM models: digitization and interoperability of data for the protection of built heritage

Leila Signorelli, Alessia Zampini (Università degli Studi di Bologna)



To reflect on the importance of data interoperability within the different GIS/HBIM systems with which it is possible to describe the built architectural heritage at different scales, the first part of the contribution intends to illustrate the first results of a comparative analysis of the ontological structure of the IFC and CityGML languages, especially about the information required by Carta del Rischio, to identify the criticalities present.

On the other hand, the second part of the contribution will concern the description of the workflow used for the acquisition and modeling of the different types of data related to the study area of the Baraccano district, with a focus on the possible connections with the management information systems already in use at the Municipality of Bologna and the definition of a digital support tool that favors the digitization of the work process, from the acquisition of the data to their pouring into the HBIM environment.

Historic Preservation Foundation Classes

Procedure e ontologie per l'interoperabilità nella tutela del patrimonio storico architettonico

www.archistor.unirc.it

ArchistoR EXTRA 12 (2024)

ISSN 2384-8898

Supplemento di ArchistoR 19/2023

ISBN 978-88-85479-39-5

DOI: 10.14633/AHR440



Linguaggi semantici e modelli HBIM: digitalizzazione e interoperabilità di dati per la tutela del patrimonio costruito.

Leila Signorelli, Alessia Zampini

Nell'ambito del convegno *Historic Preservation Foundation Classes*, organizzato a Bologna il 16 e 17 gennaio 2023 per discutere dei risultati intermedi dell'omonimo progetto PRIN 2017 (HPFC), non sono mancate le occasioni per rimarcare uno degli assunti principali, ovvero che l'interoperabilità sia la caratteristica imprescindibile per poter lavorare sui processi e "costruire ponti tra le visioni" del patrimonio culturale a scala urbana e architettonica. Per supportare ora e nel futuro l'intervento sugli edifici storici si rende dunque necessario documentare la trasformazione producendo dati sulla base di un linguaggio condiviso, che renda più fluente ed efficiente lo scambio tra le diverse banche dati, senza tralasciare il persistere della possibilità di una loro traduzione in informazioni utili al processo di conservazione.

Nell'ultimo decennio la transizione al digitale, promossa a più livelli, si è affermata sempre più come una necessità ed è diventata una strategia per rendere più attivo il rapporto tra il Patrimonio Culturale e società, soprattutto in termini di avvicinamento e presa in carico della cura da parte della collettività. Se la digitalizzazione era infatti inizialmente circoscritta ad un ambito prettamente istituzionale, oggi, come sottolineato dalla Commissione Europea, le tecnologie digitali rappresentano

La stesura dell'articolo risulta riferibile a L. Signorelli per: *Dalle difficoltà operative al confronto tra i linguaggi, Una regola dalla Carta del Rischio, Allineamenti, divergenze, lacune nel confronto tra i linguaggi*. A A. Zampini si riferiscono: *La sperimentazione sul quartiere Baraccano: obiettivi e definizione del flusso di lavoro, Base di dati e impostazione dei parametri di modello, Acquisizione dei dati geometrici, Acquisizione dei dati informativi, Futuri sviluppi e ulteriori funzionalità del digital twin*.

un'opportunità centrale per la condivisione della conoscenza e per il coinvolgimento e rafforzamento delle comunità nei processi di conservazione e gestione¹; in particolar modo in virtù della loro potenziale capacità di semplificare, lato utente, la gestione dei processi, la visualizzazione dei dati e non ultimo l'accessibilità culturale al patrimonio.

Nonostante a priori sembri controintuitivo, la digitalizzazione non si pone agli antipodi del documento materiale, al contrario potenzia esponenzialmente il fatto che l'edificio è il primo documento di sé stesso, tracciando una memoria trasformativa associata all'oggetto e sempre disponibile nella programmazione degli interventi sul bene². Operando in contesti digitali e associando al gemello digitale tutti i dati utili per la sua conservazione, siano essi storici, materici, costruttivi o relazionali, si ha infatti la possibilità di accrescere la conoscenza e comprensione del bene tangibile, offrendo al progettista o al gestore una visione sinottica sul processo e al contempo la possibilità di procedere con semplicità ad affondi verticali su tematiche d'interesse, per poi aprire, non ultimo, ad interpolazioni sempre più sofisticate con dati desunti da altri database e/o sistemi informativi, permettendo ad esempio di comprendere le connessioni tra edifici complessi e i sistemi urbani in cui essi si inseriscono.

Data la centralità di quest'ultimo aspetto, il progetto HPFC ha assunto tra le principali aree di approfondimento, l'interoperabilità dei dati tra diversi sistemi informativi, cercando di intercettare mancanze, vuoti e disconnessioni che separano il patrimonio culturale dalla sua buona rappresentazione digitale. Alcune di esse sono insite nel fatto che il modello è sempre una semplificazione della realtà. Il contributo, nello specifico, dando conto di questo obiettivo, si addentra in una comparazione dei linguaggi semantici per la rappresentazione digitale del patrimonio costruito alle diverse scale, trasferendo e validando i ragionamenti ontologici effettuati su di essi grazie alla modellazione del caso studio bolognese, l'area del Baraccano nel quartiere Santo Stefano³, che trova un confronto diretto con quanto condotto sulla Lungara dall'unità di ricerca della Sapienza⁴.

1. «The digitization of cultural heritage, whilst initially framed by institutions, is now increasingly a collective process involving community access and collective sharing of knowledge. Citizens' engagement in cultural heritage management and preservation could be further investigated in order to build on the emerging practice through new investment and the use of digital technologies», EUROPEAN COMMISSION 2015, p. 9.

2. MESEGUER, GARCÍA VALLDECABRES 2023.

3. Vedi PRETELLI, UGOLINI in questo volume, pp. 128-151.

4. Vedi in questo volume: CAPERNA, ERCOLINO, MARTELLO, pp. 184-215; CUTARELLI pp. 216-245.

Dalle difficoltà operative al confronto tra i linguaggi

L'indagine per studiare l'interoperabilità tra diversi linguaggi nel campo della tutela si è inserita in quelle che sono le criticità proprie dei sistemi di rappresentazione digitali applicate al patrimonio storico esistente. Tra esse, il punto cruciale consiste nella modalità di trasferimento della complessità del patrimonio culturale in un sistema che, pensato principalmente per elaborare le nuove costruzioni, non sempre accoglie con fluidità le specificità, le variazioni puntuali e l'articolazione propria del costruito. Ricondere la realtà verso una rappresentazione digitale capace di conciliarne ricchezza e gli aspetti fondamentali per il suo controllo è un problema quanto mai complesso; si può fare idealmente riferimento al processo che occorre mettere in atto per creare da un documento analogico la sua copia informatica "validata": tanto più la realtà presenta dettagli e particolari non standardizzati (ci si riferisce ad esempio a un foglio d'archivio che riporta per esempio decorazioni, miniature, timbri, una calligrafia non decodificata) quanto più meticoloso deve essere il passaggio affinché «il documento informatico abbia contenuto e forma identici a quelli del documento analogico da cui è tratto», adottando «tecniche in grado di garantire la corrispondenza della forma e del contenuto dell'originale e della copia»⁵. Simile negli scopi, ma con un grado di difficoltà decisamente maggiore dell'oggetto, è il problema che è stato affrontato per il PRIN, cioè trovare il modo di rendere l'architettura storica rapportabile univocamente a un modello, mantenendo la ricchezza del bagaglio di relazioni «fra realtà fisica e socioeconomica, fra diacronia e sincronia, fra dimensione pubblica e privata»⁶ utili alla conservazione. I casi studio sono stati i test che hanno permesso di monitorare e testare costantemente il processo, riversando le intuizioni su di essi e controllandone progressivamente la validità, cioè se utili all'avanzamento verso gli obiettivi.

Un passaggio fondamentale della ricerca è stata dunque la verifica comparata di due standard sviluppati a scale diverse: CityGML – rientrante nella categoria degli standard Open Geospatial Consortium (OGC) e pensato per la modellazione semantica e geometrica della città in 3d – e IFC (Industry Foundation Class), standard specifico utilizzato in ambiente BIM per la rappresentazione di edifici, componenti costruttivi e materiali. Il ragionamento teorico sull'interoperabilità tra ambiente BIM (dunque IFC) e GIS (dunque CityGML), è stato condotto confrontando i due linguaggi e in dettaglio le rispettive classi, proprietà e relazioni. Questo confronto ha vagliato la corrispondenza fra i diversi elementi che costituiscono i due sistemi, procedendo a identificare eventuali parti

5. D. Lgs. 7 marzo 2005, n. 82, Art. 22 - *Copie informatiche di documenti analogici*, c. 1-bis.

6. FIORANI 2021.

lacunose per la descrizione degli edifici storici, esaminare eventuali sinonimie, ovvero situazioni in cui uno stesso elemento della realtà rispondeva a denominazioni differenti, e infine stabilire una relazione gerarchica fra parti diverse.

Una regola dalla Carta del Rischio

Lavorando alla scala urbana, l'impostazione per discernere cosa dei linguaggi IFC e CityGML fosse appropriato alla descrizione dell'esistente è stata fornita dalla Carta del Rischio messa a punto dalla Direzione Generale Sicurezza del Patrimonio Culturale. Attraverso la normativa relativa alle unità urbane sono stati fissati i punti minimi della conoscenza che devono necessariamente essere presenti a questa scala per un efficace scambio di contenuti informativi anche con le altre piattaforme GIS gestite dal MiC (come SIGECweb o Vincoli in Rete), così da stabilire un raccordo virtuoso «fra la gestione dei beni alla scala locale e territoriale»⁷.

La Carta del Rischio, in quanto «modo coerente di rappresentare l'esistente nella sfera digitale»⁸, permette infatti di documentare in modo ordinato e rigoroso le trasformazioni e lo stato di conservazione dell'esistente al fine di supportare la pianificazione di interventi di conservazione preventiva e programmata. Ciò ha reso la struttura di dati su cui essa si basa un riferimento indispensabile per modellare la realtà dei casi studio della Lungara a Roma e il Baraccano a Bologna. Sono stati dunque individuati per via induttiva gli elementi analizzati nelle schede Unità Edilizia Aggregata e Unità Edilizia Specialistica che sarebbero dovuti comparire nel modello per descrivere il patrimonio, essi sono:

- strutture verticali: al fine di descrivere le parti in elevazione (facciate);
- copertura: per le strutture di chiusura, inclinate o orizzontali;
- solai: vanno inclusi per modellare parti a vista sui fronti;
- finiture: le parti di spessore variabile che ricoprono le strutture verticali (superfici esterne), come intonaci, pietre o pietre artificiali di rivestimento;
- infissi (aperture): per modellare la presenza di varchi e accessi, nonché gli infissi, quali finestre e porte;

7. HPFC 2017.

8. FIORANI 2021, p. 14.

- impianti: il passaggio o il collegamento costituito da tubature che corrono lungo le superfici esterne;
- collegamenti verticali: rampe esterne di collegamento e scale;
- volumi emergenti: quali ad esempio camini, torrioni extracorsa di ascensori, locali tecnici di varia natura aggiunti nel corso del tempo.

Per ognuna delle voci sono state verificate definizioni e rispettive relazioni ontologiche, al fine di poterle applicare nella modellazione.

Allineamenti, divergenze, lacune nel confronto tra i linguaggi

Proseguendo nell'indagine sono state confrontate le descrizioni delle entità definite a partire da Carta del Rischio con quelle proposte nei linguaggi IFC e CityGML e sono state messe a punto alcune considerazioni. Riportando in una tabella il confronto, è possibile affermare che a fronte di una generale buona corrispondenza per modellare il patrimonio costruito, emergono punti di debolezza laddove con le relazioni esistenti non si conferisce una corretta interpretazione ad elementi che nella disciplina del restauro hanno un significato preciso, dunque di seguito per ogni entità rispondente agli elementi sopra elencati si è operata una disamina (fig. 1).

Una categoria da tenere in considerazione presente nel linguaggio CityGML e che sin dalle fasi di analisi teorica è apparsa estremamente utile è quella della *BoundarySurface*⁹ (corrispondente a quelle che la Carta del Rischio individua come superfici perimetrali). Tale classe astratta, presentandosi come sottoclasse del *CityObject* (ovvero il concetto corrispondente ad una unità edilizia o unità aggregata) si costituisce a sua volta di vari elementi che organizzano la superficie più esterna del volume considerato. IFC manca di un termine comparabile per definizione e relazioni, imponendo un salto di scala dal volume astratto al singolo elemento costruttivo che, come si vedrà nei paragrafi successivi, andrà a costituire uno dei nodi irrisolti per l'interoperabilità. Se dovessimo provare a esprimere questa relazione dovremmo dire che CityGML *Boundary Surface* si compone delle entità IFC Wall, IFC CurtainWall, IFC Covering, IFC Roof.

9. «CityGML Boundary Surface is the abstract base class for several thematic classes, structuring the exterior shell of a building as well as the visible surfaces of rooms and both outer and interior building installations», GRÖGER *ET ALII*, p. 71.



Figura 1. Schema di confronto tra linguaggi: in rosso CityGML, in nero Carta del Rischio, in verde IFC (elaborazione L. Signorelli, A. Zampini, 2024).

Passando alle Strutture Verticali, in questa categoria troviamo un buon livello di allineamento dei linguaggi considerati, CityGML *WallSurface*¹⁰ può essere allineato a IFC *Wall*¹¹ e IFC *Curtainwall*¹². Carta del Rischio chiede infatti di segnare la stratigrafia della struttura in elevazione, fatto del tutto sovrapponibile a IFC, che ragiona sempre sullo spessore e gli strati che compongono il muro. CityGML per un ovvio e diverso apprezzamento rispetto alla scala a cui si riferisce contempla solo la superficie del muro, evitando di addentrarsi nelle questioni costruttive.

Anche nel caso della voce *Copertura* si verifica una certa coerenza tra i diversi linguaggi semantici, CityGML *RoofSurface*¹³ trova una corrispondenza chiara in IFC *Roof*¹⁴: nella Carta del Rischio si chiede di indicare la finitura, per CityGML e IFC la definizione considera sempre l'intero pacchetto, che può essere o meno diviso in strati, evidenziando sempre la finitura superficiale.

Ai fini della compilazione della scheda di Carta del Rischio una categoria che interessa rilevare sono le superfici a vista – percepibili da sopra o da sotto – di elementi aggettanti, quali intradossi delle volte, pavimentazioni o soffitti di logge. Sono termini affini CityGML *OuterCeilingSurface*¹⁵, ovvero superfici prevalentemente orizzontali appartenenti all'involucro esterno dell'edificio e orientate verso il basso, e CityGML *OuterFloorSurface*¹⁶, per quelle orientate invece verso l'alto; nel linguaggio IFC la categoria che è più rispondente a queste caratteristiche è IFC *Covering*¹⁷.

10. «CityGML *WallSurface*: All parts of the building facade belonging to the outer building shell can be modelled by the class *WallSurface*», *Ibidem*.

11. «IFC *Wall* 6.1.3.46.1 - The wall represents a vertical construction that bounds or subdivides spaces. Wall are usually vertical, or nearly vertical, planar elements, often designed to bear structural loads. A wall is however not required to be load bearing», <https://standards.buildingsmart.org/IFC/RELEASE/IFC4/FINAL/HTML/> (ultimo accesso 15 dicembre 2023).

12. «IFC *Curtainwall* 6.1.14.1 - A curtain wall is an exterior wall of a building which is an assembly of components, hung from the edge of the floor/roof structure rather than bearing on a floor», <https://standards.buildingsmart.org/IFC/RELEASE/IFC4/FINAL/HTML/> (ultimo accesso 15 dicembre 2023).

13. «CityGML *RoofSurface*: The major roof parts of a building or building part are expressed by the class *RoofSurface*. Secondary parts of a roof with a specific semantic meaning like dormers or chimneys should be modelled as *BuildingInstallation*», GRÖGER *ET ALII*, p. 71.

14. «IFC *Roof* 6.1.3.34 - A roof is the covering of the top part of a building, it protects the building against the effects of weather», <https://standards.buildingsmart.org/IFC/RELEASE/IFC4/FINAL/HTML/> (ultimo accesso 15 dicembre 2023).

15. «CityGML *OuterCeilingSurface*: A mostly horizontal surface belonging to the outer building shell and having the orientation pointing downwards can be modeled as an *OuterCeilingSurface*. Examples are the visible part of the ceiling of a loggia or the ceiling of a passage», GRÖGER *ET ALII*, p. 70.

16. «CityGML *OuterFloorSurface*: A mostly horizontal surface belonging to the outer building shell and with the orientation pointing upwards can be modeled as an *OuterFloorSurface*. An example is the floor of a loggia», *Ivi*, p. 71.

17. «IfcCovering 6.1.3.12: A covering is an element which covers some part of another element and is fully dependent

Per le finiture, al contrario delle superfici a vista, in CityGML manca un corrispettivo¹⁸, mentre per IFC la categoria rispondente è sempre IFC *Covering*, da cui possiamo considerare una relazione di equivalenza con le richieste di Carta del Rischio.

Gli infissi fanno sempre parte dell'elenco degli elementi da analizzare nelle schede, un primo allineamento è ascrivibile alla macrocategoria CityGML *Opening*¹⁹, dalla quale discendono *DoorType* e *WindowType*, considerate come parti costituenti delle *Boundary Surface*, in quanto entità che dividono un interno da un esterno. In IFC la classe ci si rifà direttamente agli oggetti IFC *Window*²⁰ e IFC *Door*²¹. Fino a qui tutti i punti valutati trovano una buona attinenza tra i tre sistemi, con qualche eccezione svantaggiosa, come si rileva per le finiture.

Per le ultime tre voci prese in considerazione CityGML diventa un linguaggio particolarmente approssimativo nella descrizione di elementi che nella Carta del Rischio – e quindi nel campo della conservazione – assumono invece un peso specifico rilevante.

Gli impianti non trovano corrispondenza diretta, si passa per una macrocategoria che contiene in modo generico ciò che non è da considerarsi strutturale ma parte sovrapposta: CityGML *OuterBuildingInstallation*²² risponde per esempio tanto alla presenza di un camino quanto di

on that other element. The *IfcCovering* defines the occurrence of a covering type, that (if given) is expressed by the *IfcCoveringType*», <https://standards.buildingsmart.org/IFC/RELEASE/IFC4/FINAL/HTML/> (ultimo accesso 15 dicembre 2023).

18. Anche su questo, il linguaggio CityGML lavora a una scala che rende non apprezzabile uno strato di finitura. Va notato che nello schema di ZALAMEA 2018 (p. 95) vengono riportate in uno schema a blocchi delle "Decorative Superstructure" di cui non si è trovato riscontro.

19. «The class *_Opening* is the abstract base class for semantically describing openings like doors or windows in outer or inner boundary surfaces like walls and roofs. Openings only exist in models of LOD3 or LOD4» in GRÖGER *ET ALII*, p. 73.

20. «IFC Window 6.1.3.50: The window is a building element that is predominately used to provide natural light and fresh air. It includes vertical opening but also horizontal opening such as skylights or light domes. It includes constructions with swinging, pivoting, sliding, or revolving panels and fixed panels. A window consists of a lining and one or several panels», *Ivi*, pp. 68-69.

21. «IFC Door 6.1.3.16.1: The door is a building element that is predominately used to provide controlled access for people and goods. It includes constructions with hinged, pivoted, sliding, and additionally revolving and folding operations. A door consists of a lining and one or several panels», *Ibidem*.

22. «CityGML *OuterBuildingInstallation*: A *BuildingInstallation* is an outer component of a building which has not the significance of a *BuildingPart*, but which strongly affects the outer characteristic of the building. Examples are chimneys, stairs, antennas, balconies attributes class, function and usage. The attribute class - which can only occur once - represents a general classification of the installation. With the attributes function and usage, nominal and real functions of a building installation can be described», *Ibidem*.

un'antenna, elementi che non sono tipologicamente affini, i cui attributi di funzione e uso possono essere resi espliciti associando una descrizione. In IFC nel dominio Architettura si trova IFC *Distribution Element*, che si limita a individuare solo le linee di distribuzione (cavi, tubazioni), terminali e macchine devono attingere da domini altri, quali IFC *Electrical Domain*, IFC *Hvac Domain*, IFC *Plumbing Fire Protection Domain*.

A conferma dell'approssimazione, per CityGML è sempre *OuterBuildingInstallation* a costituire il riferimento per i collegamenti verticali²³, così come per i volumi emergenti, trovando nella stessa voce anche camini e abbaini. Mentre in una stretta intesa con Carta del Rischio per i collegamenti verticali IFC propone IFC *Ramp*²⁴, quando la connessione manca di gradini, e IFC *Stair*²⁵; per i volumi emergenti troviamo IFC *Chimney*, mentre per elementi di altra natura ci si rifà a una modellazione attraverso IFC *Wall*, IFC *Curtainwall*, IFC *Slab*, IFC *Covering* e IFC *Roof*.

Tenendo Carta del Rischio come pietra di paragone e misura delle necessità di rappresentazione ai fini della conservazione, è evidente come il linguaggio IFC permetta di modellare in modo più preciso la realtà stratificata dei centri storici; nonostante l'affinità, alcune relazioni sono manchevoli o da perfezionare allo scopo, i casi studio sono stati un campo di prova per aprire la strada verso il superamento di queste problematiche. Le unità di Università di Bologna e Sapienza di Roma hanno testato approcci diversi alla modellazione partendo da queste riflessioni comuni, facendo emergere i nodi critici e proponendo soluzioni per costruire le relazioni mancanti. In estrema sintesi si sono riscontrati in particolare due ordini di problemi: uno di corrispondenza tra le classi e uno relativo ai linguaggi per le relazioni interne tra gli elementi, di questo si dà ampia trattazione nella parte seguente del contributo.

La sperimentazione sul quartiere Baraccano: obiettivi e definizione del flusso di lavoro

In questa cornice teorica, l'area del Baraccano, situata al limite sud est del centro storico e compresa amministrativamente all'interno della più ampia circoscrizione del quartiere Santo

23. Nella definizione si legge infatti «The BuildingInstallation class is used for building elements like balconies, chimneys, dormers or outer stairs, strongly affecting the outer appearance of a building», *Ibidem*.

24. «IFC Ramp 6.1.3.27: A ramp is a vertical passageway which provides a human circulation link between one floor level and another floor level at a different elevation. It may include a landing as an intermediate floor slab. A ramp normally does not include steps», *Ibidem*.

25. «IFC Stair 6.1.3.42: A stair is a vertical passageway allowing occupants to walk (step) from one floor level to another floor level at a different elevation. It may include a landing as an intermediate floor slab», *Ibidem*.

Stefano ha rappresentato, come anticipato un interessante caso pilota per testare l'interoperabilità tra ambiente GIS e HBIM (fig. 2).

Obiettivo condiviso della sperimentazione era testare le potenzialità e criticità dei due ambienti digitali per la descrizione dello stato di conservazione della città storica, sviluppando un modello digitale che, come un vero e proprio strumento di lavoro, potesse supportare le operazioni di compilazione della Carta del Rischio e allo stesso tempo, nel caso bolognese, fungere da base per future valutazioni sul rischio antropico rese possibili grazie alla grande quantità di *open data* messi a disposizione dalla municipalità e attualmente gestiti tramite piattaforme GIS.

A tal proposito, il lavoro di comparazione dei linguaggi IFC, CityGML e l'analisi della struttura dei dati presenti in Carta del Rischio svolto nella fase preliminare avevano fin da subito evidenziato come, ai fini di questo specifico progetto, l'ambiente parametrico HBIM, permettendo una modellazione rispondente a diversi livelli di dettaglio (LOD), dalla scala esecutiva degli elementi costruttivi (IFC *Wall*, IFC *Curtainwall*, IFC *Slab*, IFC *Covering*, IFC *Roof*, IFC *Stair* ecc.) fino alle masse concettuali, fosse quello più opportuno per ottenere una modellazione accurata del costruito.

Il flusso di lavoro della sperimentazione ha dunque previsto come prima cosa l'identificazione del set di dati necessari, una riflessione sulle modalità di acquisizione di tali dati e un'accurata valutazione di come facilitarne l'interpretazione grazie alla trasposizione all'interno di un modello digitale che si è deciso si sviluppare con il software Autodesk Revit.

Base di dati e impostazione dei parametri di modello

Come anticipato, la Carta del Rischio e in particolare le schede per il rilevamento e l'analisi delle Unità Urbana Aggregato (UU-A) e Unità Urbana Edilizia Edilizio Specialistica (UU-EPRS) hanno fornito il riferimento principale in termini di struttura dei dati da acquisire. Una volta astratta tale struttura si è proceduto a determinare la corrispondenza tra informazione ricercata ed elemento geometrico che potesse fornirne la rappresentazione più significativa. Per sfruttare a pieno le potenzialità del modello e il suo utilizzo come strumento di lavoro, le informazioni non sono state associate acriticamente all'entità geometrica corrispondente all'unità urbana a cui la Carta del Rischio chiede di fare riferimento, ma sono state scorporate e attribuite a vari sub-elementi – o meglio, a sub-classi – così da evitarne la ridondanza, rispettarne le fasi di acquisizione e facilitarne l'interpretazione grazie alle diverse possibilità di interrogazione e analisi aggregata fornite dal software Revit.

I dati presenti nelle schede di Carta del Rischio, suddivise nelle sezioni localizzazione, anagrafica, sistema edilizio, sistema costruttivo e di trasformazione, stato di conservazione, dati storici,



Figura 2. Bologna. Individuazione dell'area del Baraccano (elaborazione L. Signorelli, A Zampini, 2024).

normative, sono stati dunque tradotti in un set di parametri condivisi del modello, ciascuno dei quali è stato associato a precise famiglie di elementi così da rispettare i diversi *Levels of Detail* ricercati: alcuni parametri sono stati associati agli elementi costruttivi propri dell'ambiente BIM quali solai, muri, colonne, infissi e impianti; altri alle masse concettuali fatte coincidere con l'astrazione formale di quelle che la Carta definisce Unità Edilizie (UE) e infine, ulteriori dati sono stati associati ai gruppi di modello, coincidenti con le soprannominate Unità Urbane (fig. 3).

Ciascun parametro è stato inoltre definito secondo un tipo specifico: testo campo chiuso, testo campo aperto, si/no, scelta multipla, numero (fig. 4). La determinazione preliminare di tali parametri condivisi ha così permesso di creare un *template* di progetto su cui impostare l'intera rappresentazione del quartiere. A titolo esemplificativo agli elementi costruttivi muro, colonna, solaio sono stati attribuiti parametri testuali a campo chiuso per comprendere se si trattasse di un elemento storico oppure di un elemento moderno/di trasformazione e per definire la tipologia; sono stati settati parametri si/no per registrare la presenza o meno di rivestimenti storici, decorazioni, eventuali dissesti e superfici degradate. Per l'elemento copertura, i parametri a campo chiuso permettono invece di registrare la tipologia, lo stato di conservazione e l'efficienza dell'impianto di smaltimento delle acque meteoriche. Agli infissi è invece possibile attribuire il parametro di infisso storico o moderno/di trasformazione, definendone poi il tipo, facendo riferimento, in questo caso come per ogni altro parametro a campo chiuso, al ventaglio di opzioni messo a punto nei glossari incorporati nelle norme di compilazione della Carta del Rischio. Alle masse concettuali, corrispondenti alle unità edilizie, sono invece attribuiti parametri a scelta multipla che ne definiscono le funzioni generali, le funzioni specifiche, il grado di utilizzazione, la tipologia di eventuali volumi aggettanti, volumi emergenti, o volumi cavi, l'incidenza distributiva e volumetrica di vuoti edilizi; grazie a parametri numerici sono invece annotati il numero di accessi a piano terreno, il numero di fronti esterni totali e ipotizzati, il numero di unità abitative e non abitative e infine il numero di vuoti edilizi. Tali masse concettuali sono poi riunite in gruppi di modello, entità a cui sono associati, tra gli altri, parametri quali la denominazione, il codice di identificazione, la presenza e incidenza degli anditi, il tipo di attacco a terra, la configurazione dell'impianto, la presenza di un recinto e di altre unità urbane collegate (fig. 5).

Nonostante la Carta richieda che tutte queste informazioni siano indistintamente attribuite all'unità urbana, associare tali informazioni a parti di questa entità astratta, ovvero ad elementi del modello che potessero coincidere ad una scala più di dettaglio come l'unità edilizia e/o alle famiglie utilizzate nella modellazione per elementi, ha evidenziato due aspetti positivi. Considerando unità

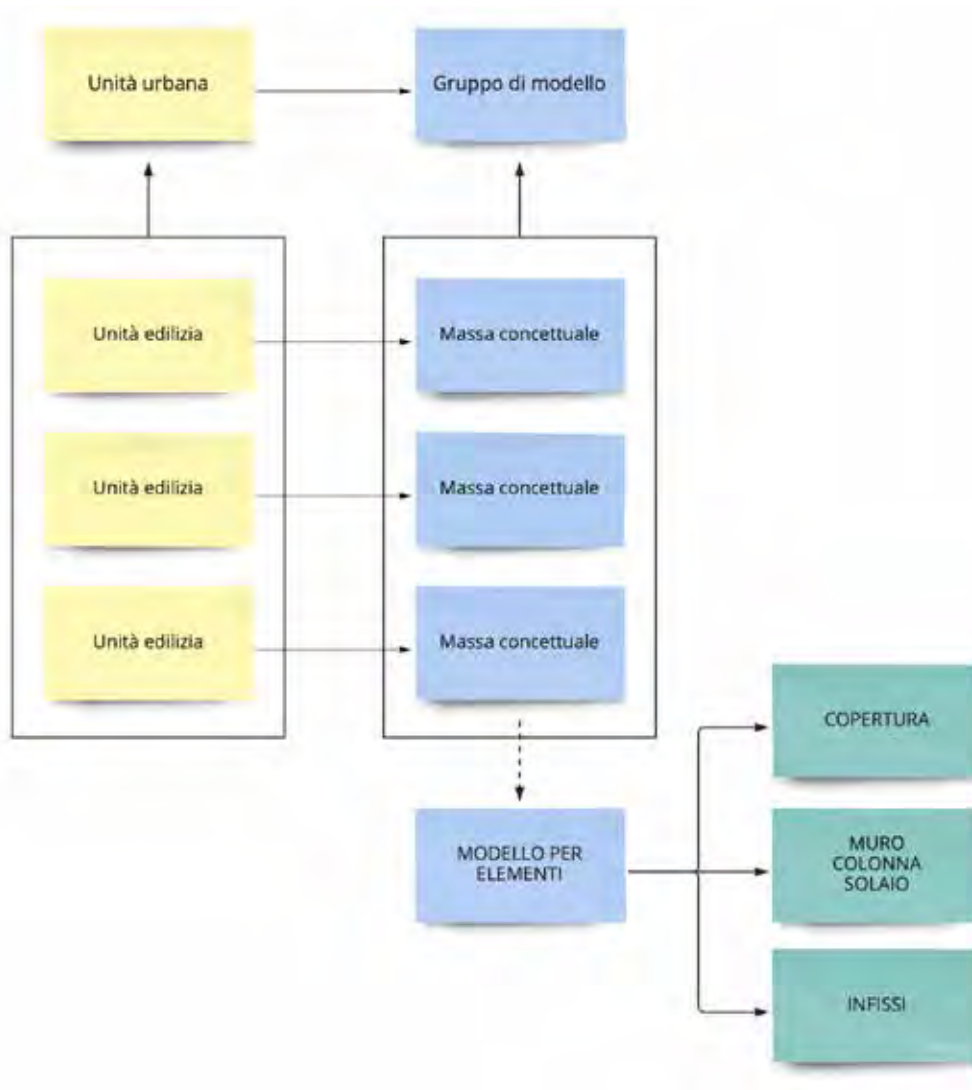


Figura 3. Corrispondenza tra struttura del modello HBIM realizzato mediante Revit ed elementi di Carta del Rischio (elaborazione A. Zampini, 2023).

PARAMETRO	TIPO
UNITÀ URBANA (gruppo di modelli)	
LOCALIZZAZIONE	
Regione	Testo campo chiuso
Provincia	Testo campo chiuso
Comune	Testo campo chiuso
Località	Testo campo aperto
pertinenza	Testo campo aperto
Vicinità confinante	Testo campo aperto
DATI CATASTALI	
Tipo catasto	Testo campo aperto
Comune	Testo campo aperto
Sezione	Testo campo aperto
Foglio/Fogli	Testo campo aperto
Area	Testo campo aperto
ANAGRAFICA	
Definizione	Testo campo chiuso
Identificazioni	numero
Denominazione	Testo campo aperto
SISTEMA EDILIZIO	
IMPIANTO	
Configurazione impianto	Testo campo chiuso
Recinto	si/no
Attacco a terra	Testo campo chiuso
Arredi	si/no
Incidenza arredi aperti per numero di U.E. complessive	Testo campo chiuso
COLLEGAMENTI EDILIZI	
Numero unità urbane collegate	Numero
Unità urbana collegata	Testo campo aperto
Tipo di collegamento	Testo campo chiuso
VUOTI EDILIZI	
N. vuoti edifici esistenti	Numero
Localizzazione	Testo campo chiuso
Incidenza volumetrica dei vuoti edifici	Testo campo chiuso
Incidenza distributiva dei vuoti edifici	Testo campo chiuso
FRONTI DELL'UNITÀ (URBANA AGGREGATO)	
Presenza di volumi cavi	scelta multipla
Presenza di volumi emergenti	scelta multipla
Presenza di volumi aggettanti	scelta multipla
Presenza di sopraccrociamenti/sopereffettazioni moderna	scelta multipla

UNITÀ EDILIZIA (massa concettuale)	
Dati riferiti al singolo edificio. Il modello è rappresentato dalla base	
UTILIZZAZIONE E FUNZIONI	
Grado di utilizzazione	Testo campo chiuso
Periodo relativo al grado di utilizzazione attuale	Testo campo chiuso
Funzione generica	selezione multipla
Funzione specifica	selezione multipla
Funzioni intermedie	selezione multipla
DATI QUANTITATIVI GENERALI	
Numero accessi a quota terrana	Numero
N. unità abitative	Numero
N. unità non abitative	Numero
Altezza massima	
Altezza massima	
Volumi fuori terra	
Volumi dentro terra	
Superficie scoperta lorda	
IMPIANTI	
Impianti esterni visibili	scelta multipla
ACCESSIBILITÀ ALLE INFORMAZIONI	
Rilevabile	si/no
Numero dei piani dei fronti interni ed esterni totali	Numero
Numero dei piani dei fronti interni ed esterni isolizzati	Numero
N. fronti interni ed esterni totali	Numero
N. fronti interni ed esterni isolizzati	Numero
CONSISTENZA EDILIZIA E STATO DI CONSERVAZIONE	
ELEMENTI COSTRUTTIVI STORICI	si/no
ELEMENTI COSTRUTTIVI MODERNI	si/no
PRESENZA RIVESTIMENTI STORICI	si/no
PRESENZA RIVESTIMENTI MODERNI	si/no
PRESENZA DECORAZIONI STORICHE	si/no
EVENTUALI DISSESTI	si/no
SUPERFICIE DEGRADATA	si/no

UNITÀ EDILIZIA (modello definito per elementi)	
Dati riferiti ad ogni elemento presente nel singolo edificio. Il modello	
MURO - COLONNA	
Porzione di appartenenza	Testo campo chiuso
Elemento storico o moderno / di trasformazione?	Testo campo chiuso
Tipo di elemento costruttivo storico	Testo campo chiuso
Tipo costruttivo moderno / di trasformazione	Testo campo chiuso
Presenza di rivestimenti storici	si/no
Tipo di rivestimento storico	scelta multipla
Presenza di rivestimenti moderni di sostituzione	si/no
Presenza di decorazioni storiche	si/no
Tipo di decorazione storica	scelta multipla
Eventuali dissesti	si/no
Superficie degradata	si/no
SOLAI	
Porzione di appartenenza	Testo campo chiuso
Elemento storico o moderno / di trasformazione?	Testo campo chiuso
Presenza di rivestimenti storici	si/no
Tipo di rivestimento storico	scelta multipla
Presenza di rivestimenti moderni di sostituzione	si/no
Presenza di decorazioni storiche	si/no
Tipo di decorazione storica	scelta multipla
Eventuali dissesti	si/no
Superficie degradata	si/no
COPERTURA	
Tipo	Testo campo chiuso
Degrado/stato di conservazione	Testo campo chiuso
Effluvia impianti di smaltimento acque piovane	Testo campo chiuso
INFISSI	
Infisso storico	si/no
Tipo di infisso storico	Testo campo chiuso
Infisso di sostituzione moderna	si/no
Distanza quota di accesso	numero

Figura 4. Traduzione delle informazioni richieste dalla Scheda Unità Urbane di Carta del Rischio in parametri di modello (elaborazione A. Zampini, 2023).

urbane aggregate complesse come quelle di cui si compone il Baraccano, costituite da circa 60 diverse unità edilizie, frutto di una lunga e stratificata trasformazione del tessuto medievale della città, scorporre tali informazioni per associarle progressivamente alle singole porzioni ha permesso di utilizzare il modello come un vero e proprio strumento di lavoro: lo studio e l'analisi dell'aggregato infatti, in contesti così articolati non può che avvenire per sommatoria e aggregazione di dati che sin dalle fasi di rilievo vengono divisi in unità più semplici per ottimizzarne l'acquisizione.

Inoltre, in maniera non secondaria, grazie a questa suddivisione dei parametri, il modello ha permesso di localizzare più precisamente criticità, vulnerabilità ed elementi di eccezione permettendo a chi dovrà interpretare tali dati valutazioni sul rischio più accurate a partire dal medesimo *set*. Ad esempio, la possibilità di visualizzare porzioni specifiche di aggregato dove potrebbero concentrarsi solai moderni/di sostituzione potrebbe evidenziare potenziali vulnerabilità sismiche con un maggior grado di precisione rispetto ad una valutazione condotta sull'intero complesso. Oppure, grazie alle possibili interrogazioni del modello attuabili mediante gli abachi e alle correlate visualizzazioni è infatti più semplice cogliere eventuali interazioni tra manufatto e contesto come ad esempio le parti del costruito più esposte alle intemperie o agli agenti inquinanti, permettendo di orientare l'azione conservativa verso quel restauro preventivo auspicato sin dagli studi pionieristici di Brandi e Urbani.

Dal punto di vista dell'interoperabilità, tale impostazione non ha però mancato di evidenziare alcune criticità già rilevate in fase teorica, come ad esempio la mancanza, nello standard IFC, di quello che il linguaggio CityGML definisce *BoundarySurface*, corrispondente al concetto astratto di superficie perimetrale. Gerarchicamente collocata a metà tra gli elementi costruttivi e la massa volumetrica, a parità di dati acquisiti questa entità permetterebbe infatti di introdurre un livello di analisi intermedio molto utile per compiere valutazioni ancora più accurate, associate non solo a porzioni volumetriche dell'aggregato, ma anche alla singola facciata, individuando, ad esempio, quelle più degradate o esposte a elementi patogeni estrinseci. Ciò che si osserva è che, anche in contesti relativamente semplici, i dati raccolti sul campo per la compilazione della scheda Unità Urbana vengono rilevati fronte per fronte e successivamente aggregati e attribuiti all'intera unità per poter essere riversati su Carta del Rischio, con una conseguente perdita di precisione. Rispettando la struttura ontologica attualmente messa a disposizione dal software per non perdere questo livello di dettaglio, occorrerebbe affrontare una modellazione per elementi costruttivi, tuttavia ciò implicherebbe un'acquisizione di dati geometrici e informativi indubbiamente molto più accurata, che non sempre può essere realizzata, talvolta per ragioni di tempo, scarsità di risorse o estensione

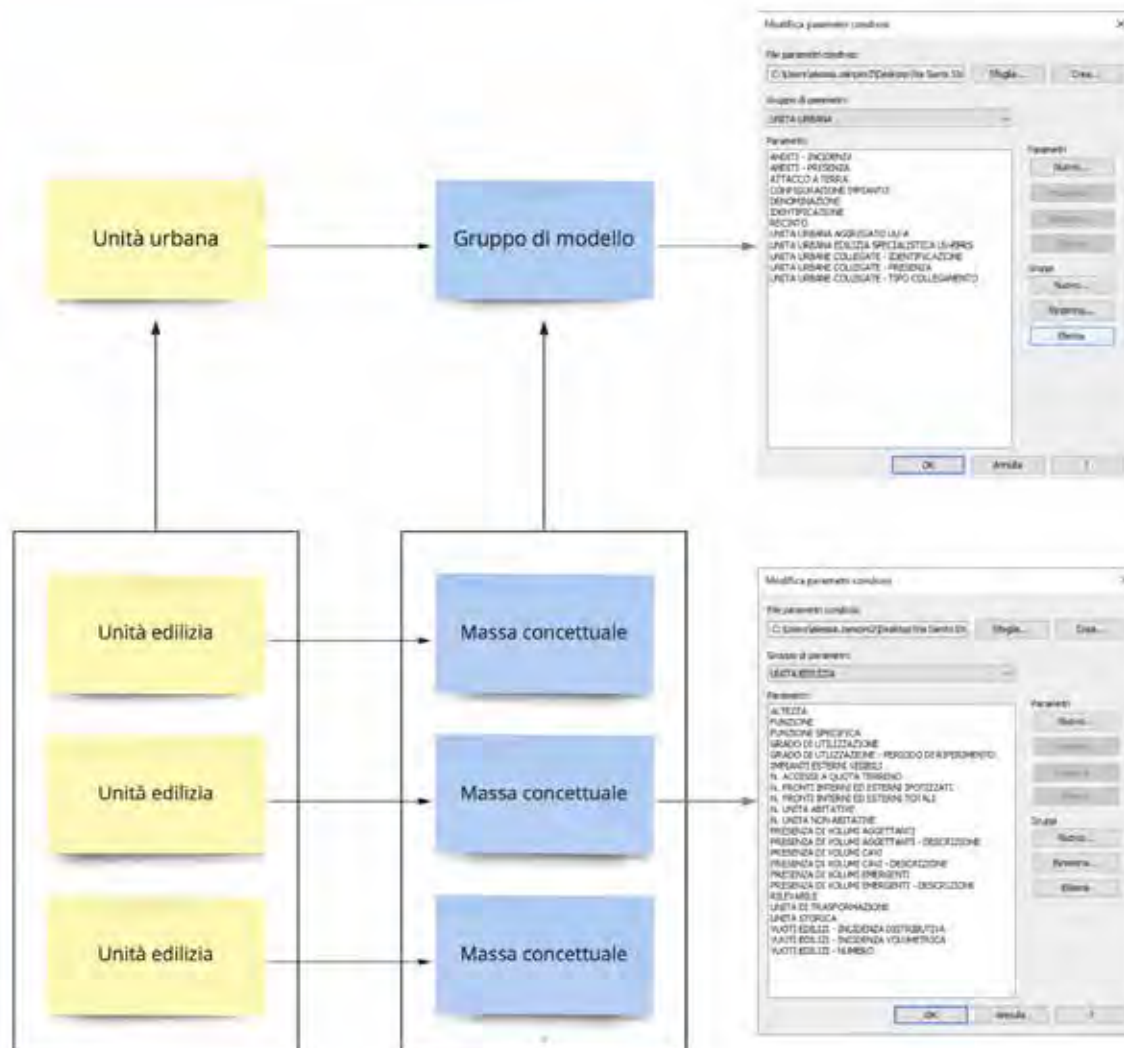


Figura 5. Associazione dei parametri agli elementi di modello (elaboazione A. Zampini, 2023).

dell'area da analizzare. Per questa ragione si ritiene invece che l'integrazione nel gemello digitale dell'elemento astratto *BoundarySurface* permetterebbe di conservare tale livello di dettaglio.

All'assenza del livello *BoundarySurface*, si aggiunge inoltre l'impossibilità di stabilire relazioni tra le parti del modello che non siano quelle native del software. Il software prevede infatti una serie di famiglie di sistema (muri, tetti, solai, scale, condotti, ecc.) che possono ospitare specifiche famiglie caricate (porte, finestre, arredi, illuminazione, ecc.) rendendo possibile modificare e personalizzare le proprietà degli oggetti modellati ma non la loro relazione reciproca. Viene infatti privilegiata una relazione univoca: "famiglia caricata" è ospitata da una specifica "famiglia di sistema" (es. "porta" è ospitata da "muro", "capitello" è ospitato da/compone "colonna". Tuttavia, nell'architettura storica, soprattutto quella profondamente stratificata, non è inusuale trovare elementi architettonici di reimpiego che sovvertono tali relazioni, come ad esempio capitelli inglobati all'interno di un muro. Pur essendo dunque possibile modellare geometricamente l'oggetto che rappresenta questa situazione peculiare, l'impossibilità di definire una diversa relazione mereologica fra le parti ("muro" ospita "capitello"), fa sì che la soluzione adottata abbia un valore locale in termini di rappresentazione geometrica, ma impedisce la trasmigrazione del dato tra parti dello stesso modello, rendendo per esempio impossibile interrogare il modello qualora il gestore fosse interessato a verificare la presenza di questa situazione in varie porzioni dell'aggregato.

Definita la struttura dei dati si è così ritenuto opportuno procedere con una duplice modellazione dell'area, prevedendo per ciascuna unità edilizia sia una massa concettuale, sia la possibilità di sviluppare in fasi successive modelli per elementi così da raggiungere il livello di dettaglio ricercato²⁶. Ad ogni unità edilizia è così possibile associare due modelli a diversi livelli di astrazione, coincidenti dal punto di vista del sedime, ma, per via delle criticità sopra descritte, non correlabili dal punto di vista relazionali, rendendo di fatto i due modelli sovrapponibili in termini spaziali ma non dal punto di vista ontologico.

Una volta completate le due diverse formalizzazioni geometriche, si è così passati a compilare i parametri precedentemente impostati grazie alle informazioni acquisite in fase di rilievo sul campo, fasi operative di cui si darà conto in dettaglio nel paragrafo successivo. Tuttavia, una volta compilate le

26. Nell'ottica di estendere la sperimentazione qui condotta all'intero centro storico, oppure ad altri centri storici, si ritiene infatti che questo flusso di lavoro possa facilitare la replicabilità del processo. È infatti plausibile ipotizzare come tutte le unità edilizie possano essere modellate utilizzando masse concettuali in un'unica fase di progetto, mentre la modellazione dettagliata per elementi, esponenzialmente più complessa, verosimilmente verrebbe integrata solamente per alcuni edifici, o comunque sviluppata progressivamente nel tempo per successivi step di approfondimento nell'ottica di ottemperare la richiesta normativa di dotare gli edifici pubblici di un sistema di gestione HBIM.

informazioni relative agli elementi costruttivi muro/colonna/solaio/copertura/infissi, tali informazioni non possono essere automaticamente attribuite anche alla massa concettuale, rendendo dunque necessario imputare nuovamente i dati anche nei parametri delle masse concettuali. Al contrario, se fosse possibile impostare la relazione “elemento costruttivo *compone* superficie perimetrale”, la quale a sua volta *compone* massa concettuale, sul modello della già esistente relazione “elemento costruttivo/massa concettuale *compone* gruppo di modello/assieme” si otterrebbe un sostanziale miglioramento dell’interoperabilità anche rispetto ai sistemi GIS dove questa relazione “superficie perimetrale-volume” è già esplicitata. Laddove questa relazione è riconosciuta dal sistema è infatti possibile interrogare il modello in maniera trasversale rispetto ai diversi livelli gerarchici, chiedendo ad esempio di visualizzare tutti i gruppi di modello a cui appartiene una massa concettuale con un determinato parametro attivo. Diversamente, laddove tale relazione non è esplicitata formalmente, in caso di rilevazioni come queste, condotte a diverse scale di approfondimento, sarà sempre necessario associare i medesimi parametri a due diverse classi di elementi e imputare due volte i dati.

Per questa ragione il lavoro svolto per la definizione delle ontologie che sottendono alla Carta del Rischio presentato in questo volume²⁷ risulta di fondamentale importanza, poiché potrà fungere da base, nelle future fasi di sperimentazione, per un ulteriore allineamento agli standard IFC e proporre, di conseguenza, soluzioni organiche, strutturali e non limitate ad impostazioni che tendono a risolvere solo localmente il problema. Si ritiene inoltre, che la possibilità di definire tali relazioni mereologiche tra le diverse parti del modello possa essere cruciale non solamente per la conduzione di questa sperimentazione, ma in senso più ampio per la rappresentazione del costruito storico in senso lato.

Acquisizione dei dati geometrici

Una volta stabiliti i parametri condivisi su cui basare la modellazione, è stato necessario comprendere come eseguire il rilievo geometrico del costruito al fine di stabilire un *modus operandi* ripetibile in altri contesti di simili dimensioni e complessità.

Una attenta cernita delle fonti disponibili ha dimostrato come per il quartiere del Baraccano non fosse mai stato condotto un rilievo complessivo e strutturato. Negli anni, nell’ambito dei vari corsi del Dipartimento di Architettura dell’Università di Bologna, erano stati svolti alcuni rilievi parziali relativi ad alcune emergenze architettoniche quali la chiesa e il complesso monastico del Baraccano da cui l’intero quartiere prende il nome, ma l’unico materiale di base inizialmente disponibile, tale

27. Vedi FIORANI, ACIERNO in questo volume, pp. 32-70.

da costituire una base di lavoro uniforme per l'intero quartiere (e centro storico), era la Carta Tecnica Comunale CTC in scala 1:5000 su cui si basano i piani urbanistici di Bologna²⁸ (fig. 6). Un elemento imprescindibile per impostare il processo su di una base condivisibile, ma non sufficiente a descrivere la complessità del costruito alla scala richiesta dal progetto. Per determinare gli ingombri volumetrici anche più articolati si è così preso a riferimento il sedime e l'altezza di gronda indicati sulla CTC, per poi compiere ulteriori verifiche grazie alle immagini oblique della città²⁹ e a rilievi speditivi in loco in maniera tale da poter ottenere una modellazione volumetrica delle singole unità edilizie che rispettasse il più possibile le dinamiche storiche di aggregazione paratattica dei singoli volumi (fig. 7).

Per tentare un grado di approfondimento maggiore, grazie ad un accordo di collaborazione con il Comune di Bologna, si è poi deciso di acquisire le planimetrie catastali di tutto il quartiere, per tentarne l'ammagliamentamento e ottenere planimetrie dettagliate sulle quali basare una modellazione tridimensionale per elementi anche degli interni. Questa fase del processo si è però dimostrata molto complessa soprattutto laddove erano avvenute numerose frammentazioni dell'unità edilizia e in alcuni casi del tutto inaccurata poiché molte planimetrie non riportavano correttamente o non riportavano affatto lo spessore dei muri esterni della particella catastale rendendo impossibile ottenere una base di lavoro precisa. Considerando l'impossibilità di compiere rilievi diretti all'interno di tutte le proprietà private per verificare la correttezza delle planimetrie così ottenute e volendo ottimizzare il processo di astrazione e rappresentazione rispetto agli obiettivi del progetto, soprattutto nell'ottica di una replicabilità di metodo, si è così optato per mantenere come base comune la modellazione per volumi delle singole unità edilizie e aggregate (figg. 8-9) e di avvalersi di una più accurata modellazione per elementi solamente per un edificio test, per verificare il flusso di dati.

Ciononostante, l'acquisizione delle planimetrie catastali è risultata cruciale per ottenere informazioni specifiche riguardo le funzioni generiche e specifiche presenti nell'area, ottenendo un dato significativo in termini di utilizzo del costruito assieme alle informazioni in merito alle trasformazioni avvenute nel tempo desunte dal confronto con le pratiche edilizie digitalizzate, disponibili nel portale 'Scrivania del professionista' messo a punto dal Comune³⁰.

28. Le mappi sono disponibili in formato open: <http://sitmappe.comune.bologna.it/pugviewer/#!/app/map/default> (ultimo accesso 15 marzo 2025).

29. Vedi <https://sitmappe.comune.bologna.it/pugviewer/#!/app/oblique/default> (ultimo accesso 15 marzo 2025).

30. Il portale è disponibile a questo link, <https://sportelloediliziaimprese.comune.bologna.it/conedil/SUE.nsf/0/5B7D74F550BEB040C1258AAD0042C116?EditDocument&Titolo=Ricerca%20pratiche> (ultimo accesso 15 dicembre 2023) e permette di ricercare le pratiche edilizie presentate dai professionisti eseguendo ricerche per indirizzo e numero civico. La tipologia di titolo abitativo richiesto per ciascuna pratica, associata a ciascuna unità immobiliare ha permesso di ricostruire



Figura 6. Planimetria dell'area del Baraccano basata sulla CTC di Bologna con identificazione le unità urbane (elaborazione A. Zampini, 2023).



Figura 7. Immagine obliqua del quartiere dalla quale è possibile apprezzare la complessità dell'aggregato, <https://sitmappe.comune.bologna.it/pugviewer/#!/app/oblique/default> (ultimo accesso 15 dicembre 2023).

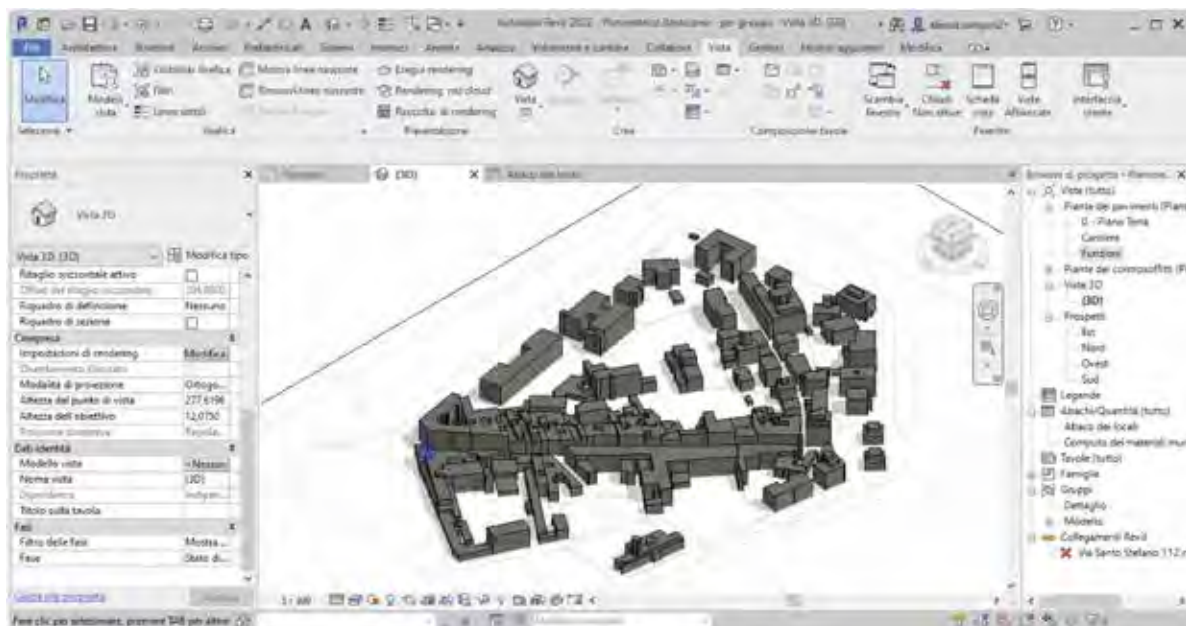


Figura 8. Visualizzazione del modello per volumi in Revit (elaborazione A. Zampini, 2023).

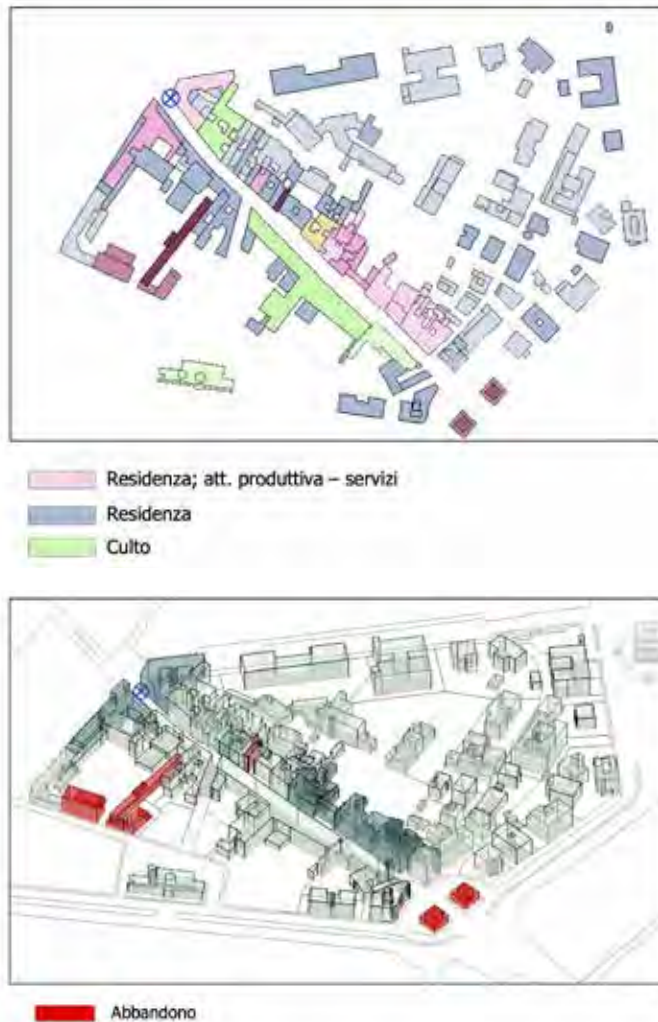


Figura 9. Esempi di interrogazione del modello in Revit (elaboazione A. Zampini, 2023).

Acquisizione dei dati informativi

Completata l'impostazione dei parametri condivisi, l'acquisizione dei dati geometrici e la loro modellazione in ambiente HBIM è stato affrontato il tema della modalità di acquisizione dei dati di altra natura, necessari per compilare la Carta del Rischio e conseguentemente anche i parametri associati alle singole entità del modello. Si è così deciso di sviluppare uno strumento che permettesse di digitalizzare e semplificare anche il processo di acquisizione dei dati in sede di rilievo sul campo. In particolare, si è deciso di utilizzare ArcGIS Survey123, un applicativo di ESRI basato sulla compilazione di moduli georeferenziati, dedicato alla creazione, condivisione e analisi dei rilevamenti, attraverso un flusso di lavoro in tre fasi: creazione del format di rilevamento, acquisizione risposte e analisi dei risultati.

Grazie ad una interfaccia di configurazione *user friendly* è stata dunque replicata la struttura delle schede di Unità Urbana all'interno del format digitale rispettando la possibilità di scorporare il rilievo per parti, così come descritto in precedenza, e avendo cura di integrare le istruzioni per la compilazione in ogni domanda della scheda così da ovviare una delle principali difficoltà riscontrate nell'eseguire i primi rilievi e cioè la necessità di avere un continuo confronto con la normativa, supportando anche i rilevatori meno esperti (fig. 10).

Al fine di facilitare l'interoperabilità, prima della pubblicazione del format per il rilevamento, è stato svolto un lavoro di allineamento dell'ID di ciascuna domanda e in particolare del cosiddetto "*field name*" affinché questo coincidesse esattamente con gli identificativi dei parametri presenti nel modello di Revit (fig. 11). Entrambi i software permettono infatti di esportare i dati selezionati in formato Excel, questo ha permesso di ottenere da Revit la struttura del database con una precisa nomenclatura dei campi da compilare, allineare il format di Survey123 a tale struttura attraverso il lavoro sul "*field name*", acquisire i dati informativi da remoto o sul campo grazie sull'applicazione di ESRI, esportare i dati ottenuti, e infine attuare un *merging* con il database di Revit importando il file Excel ottenuto, così da attribuire automaticamente i valori specifici ai parametri precedentemente settati ed eliminare una fase di imputazione manuale dei dati del modello (fig. 12).

la storia trasformativa recente dell'edificato e rappresenta un importante punto futuro di ricerca. Essendo infatti tutta la procedura di deposito delle pratiche edilizie già digitalizzata, potrebbe essere interessante, includere l'avvio di un alert qualora i proprietari, previa apposita autorizzazione, procedessero a trasformare elementi di cui la carta chiede di monitorare il cambiamento come infissi storici, rivestimenti storici, cambio di funzione, ecc. dando corpo ad un sistema informativo integrato.

Ciò che rende interessante l'utilizzo di questo applicativo come strumento operativo è dunque non solo il fatto che possa essere fruito da ciascun dispositivo portatile (pc, tablet, cellulare) semplificando operativamente le procedure sul campo, ma anche la capacità di digitalizzare l'intero processo permettendo di ottenere una procedura semplificata di gestione del flusso di lavoro³¹.

Futuri sviluppi e ulteriori funzionalità del digital twin

Tracciando un bilancio conclusivo di questa parte della ricerca è dunque possibile osservare come i risultati più rilevanti siano stati raggiunti, in termini di contributo all'incremento dell'interoperabilità tra sistemi capaci di descrivere l'architettura storica alle diverse scale, attraverso il confronto comparato tra la struttura ontologica della Carta del Rischio e degli standard CityGML e IFC; un raffronto che ha evidenziato alcuni punti di disallineamento, tra cui si sottolinea la mancanza, nel sistema IFC, di un'entità astratta corrispondente alla *BoundarySurface*, ovvero al concetto di fronte, che invece, se introdotto, permetterebbe di avere una più accurata trasmigrazione e possibilità di aggregazione dei dati.

La modellazione geometrica in ambiente HBIM mediante software Revit ha inoltre evidenziato una seconda criticità, ovvero l'impossibilità di stabilire relazioni ontologiche tra le varie entità che non siano quelle native del programma. Anche questo si ritiene essere una limitazione che, se potesse essere controllata in modalità manuale dall'operatore, potrebbe incrementare notevolmente l'accuratezza della modellazione del patrimonio costruito, permettendo ad esempio, di mantenere una corrispondenza non solo spaziale ma anche semantica tra masse concettuali/volumi e modelli per elementi così da facilitare possibili interrogazioni del modello e aggregazioni di dati, oppure, come detto, di conservare nel gemello digitale anche le peculiari relazioni mereologiche che talvolta caratterizzano l'architettura storica superando soluzioni capaci di rispondere "in locale" alle esigenze degli utilizzatori.

Inoltre, la messa a punto dell'applicativo per l'acquisizione dei dati corrispondenti al dataset richiesto da Carta del Rischio mediante il software ESRI Survey123, si ritiene che possa costituire uno strumento molto utile per la digitalizzazione del processo, capace di semplificare e ottimizzare sia le fasi di rilievo che la successiva gestione e visualizzazione del dato, così da supportare i compilatori.

31. Per testare l'utilizzo e le diverse funzionalità dell'app sono stati infine attivati 3 tirocini formativi grazie ai quali è stato possibile acquisire e riversare tutti i dati all'interno del modello.



Figura 10. Interfaccia dell'applicativo ArcGIS Survey123 messo a punto per digitalizzare il processo di acquisizione dati necessari per la compilazione della Scheda Unità Urbana di Carta del Rischio (elaboazione A. Zampini, 2023).

Quello qui descritto è dunque un sistema informativo complesso, pensato per raccogliere, archiviare, gestire e scambiare dati, al fine di facilitarne la traduzione in informazioni utili a supportare la compilazione della Carta del Rischio, ma anche ad essere interpolati in futuro, come anticipato in apertura, con altri open data. Tale sistema, se visto dalla prospettiva dell'amministrazione pubblica, non solo facilita la transizione verso l'obbligo di adozione di sistemi digitali per la gestione del patrimonio in caso di interventi di importo superiore ad 1 milione di Euro³², ma permetterà valutazioni sempre più meticolose in merito ai rischi cui è sottoposta la città storica, basando i processi decisionali su dati sempre più accurati ed accessibili³³.

Tra gli elementi da indagare nel prossimo futuro rientra anche il modo in cui l'uomo abita e utilizza il patrimonio storico urbano, un'eredità intangibile importante la quale tuttavia, in quanto sottoposta a rapidi e radicali mutamenti, introduce una nuova interpretazione di rischio antropico. L'Unità di ricerca di Bologna, grazie in particolare al contributo del settore urbanistica, ha potuto osservare come tale rischio si concretizzi in due dinamiche opposte, da una parte l'abbandono dei centri storici minori, in particolare nelle aree interne, dall'altra l'*overcrowding* che interessa invece le principali città turistiche, tra cui anche la stessa Bologna. Per il capoluogo emiliano-romagnolo, infatti, i dati ufficiale del 2019 riportano come ai circa 400.000 residenti si siano sommati 60.000 studenti e 120.000 presenze giornaliere dovute ai city user per un totale di circa 3 milioni di presenze registrate³⁴. Alla luce di tali dati, dal 2021 diversi uffici dell'Amministrazione comunale tra cui l'Ufficio Portici Patrimonio Mondiale, si sono attivati per il monitoraggio delle trasformazioni del costruito e per l'acquisizione di una serie di dati aggiuntivi legati ai temi della mobilità, della socialità e dell'abitare, oggi in gran parte disponibile come open data. Si pensi, ad esempio, come la rilevazione dei flussi in ingresso alla ZTL, il percorso di autobus e mezzi pesanti per consegne, l'abbandono della popolazione residente, il numero di Airb&b, la diffusione dei *dehor*, ma anche le bolle wi-fi con numero di utenti connessi, o dati relativi alla povertà energetica potrebbero essere interpolati in futuro con il modello esistente, permettendo di individuare parametri di pericolosità fino ad ora non considerati ma di certo rilevanti, e contribuire così ad una sempre più minuziosa descrizione della città storica, assieme ad una sempre più accurata valutazione del rischio e ad una conseguente azione di tutela informata ed efficace.

32. L'obbligo è introdotto dal nuovo Codice degli Appalti, D.Lgs. 31 marzo 2023, n. 36 "Codice dei contratti pubblici in attuazione dell'articolo 1 della legge 21 giugno 2022, n. 78, recante delega al Governo in materia di contratti pubblici"

33. DANIOTTI, GIANINETTO, DELLA TORRE 2020.

34. COMUNE DI BOLOGNA 2019.

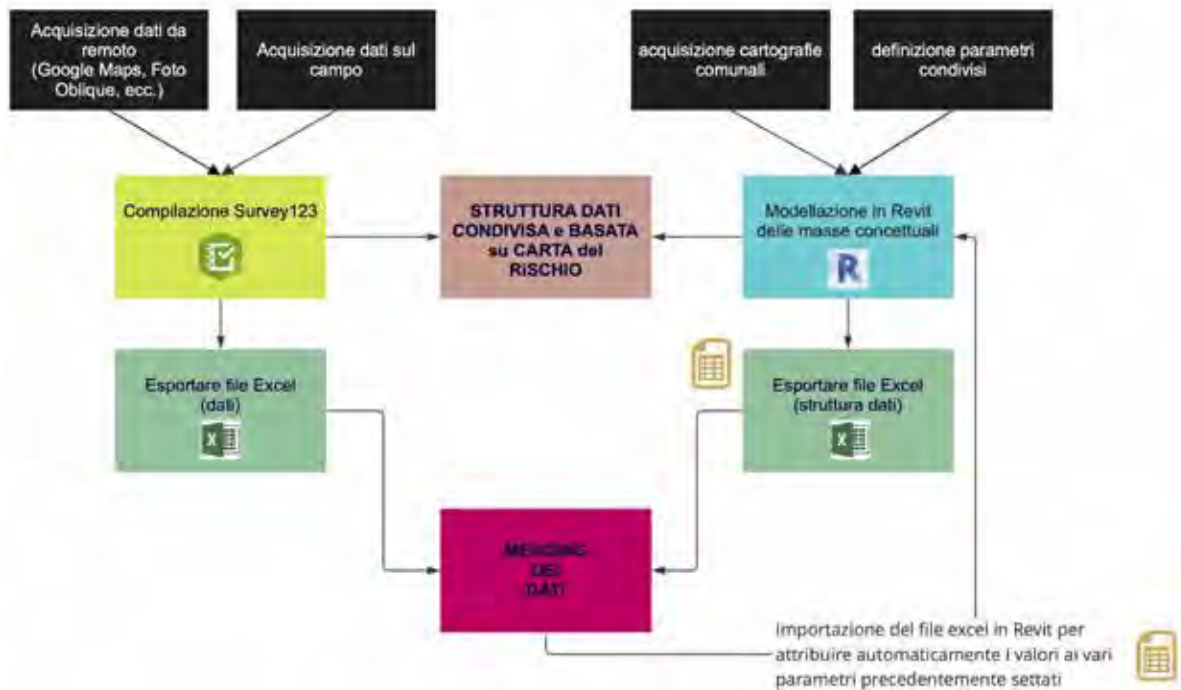


Figura 12. Schema del flusso di lavoro messo a punto (elaborazione A. Zampini, 2023).

Bibliografia

ACIERNO *ET ALII* 2017 - C. ACIERNO, S. CURSI, D. SIMEONE, D. FIORANI, *Architectural heritage knowledge modelling: An ontology-based framework for conservation process*, in «Journal of Cultural Heritage», 2017, 24, pp. 124-133.

ATTENNI, ROSSI 2022 - M. ATTENNI, M.L. ROSSI, *HBIM come processo di conoscenza: Modellazione e sviluppo del tipo architettonico*, Franco Angeli, Milano 2022.

CARTA DEL RISCHIO 1996 - *La Carta del Rischio del Patrimonio Culturale, Ufficio centrale per i beni archeologici, artistici e storici*, ICR, Roma 1996.

COMUNE DI BOLOGNA 2019 - COMUNE DI BOLOGNA, *Pug Bologna. Profilo e Conoscenze*, disponibile online: https://sit.comune.bologna.it/alfresco/d/d/workspace/SpacesStore/066fec48-4809-4850-b86f-d16cbf8de3b9/01_ProfiloConoscenze_APPR.pdf (ultimo accesso 15 dicembre 2023).

COLUCCI *ET ALII* 2020 - E. COLUCCI, V. DE RUVO, A. LINGUA, F. MATRONE, G. RIZZO, *HBIM-GIS Integration: From IFC to CityGML. Standard for Damaged Cultural Heritage in a Multiscale 3D GIS*, in «Applied Sciences», IV(2020), 10, pp. 1-20. DOI: 10.3390/app10041356.

CUTARELLI 2023 - S. CUTARELLI, *Tipo e tipologia: prospettive di ricerca a scala urbana per i sistemi HBIM*, in S. DELLA TORRE (a cura di), *Restauro dell'architettura Per un progetto di qualità, Sez. 7- Metodologie digitali per la gestione degli interventi*, Quasar, Roma 2023, pp. 1239-1247, disponibile online: https://sira-restauroarchitetonico.it/wp-content/uploads/2024/02/Atti_SIRA_2023-Sezione7-LOW.pdf (ultimo accesso 15 luglio 2025).

CUTARELLI 2024 - S. CUTARELLI, *Historical architecture and BIM modelling: Between representation of reality and conceptual abstraction*, in «Periodica Polytechnica Architecture», 2024, 55, 2-3, pp. 109-120. DOI: 10.3311/PPar.37895.

DANIOTTI, GIANINETTO, DELLA TORRE 2020 - B. DANIOTTI, M. GIANINETTO, S. DELLA TORRE, *Digital Transformation of the Design, Construction and Management Processes of the Built Environment*, Springer, Cham 2020. DOI: 10.1007/978-3-030-33570-0.

EUROPEAN COMMISSION 2015 - EUROPEAN COMMISSION, *Getting cultural heritage to work for Europe. Report of the Horizon 2020 Expert Group on Cultural Heritage*, Directorate-General for Research and Innovation 2015, disponibile online: <https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/b01a0d0a-2a4f-4de0-88f7-85bf2dc6e004> (ultimo accesso 15 dicembre 2023).

FIORANI 2019 - D. FIORANI, *Il futuro dei centri storici. Digitalizzazione e strategia conservativa*, Quasar, Roma 2019.

FIORANI 2021 - D. FIORANI, *L'uso della Carta del Rischio per i Centri Storici*, in D. FIORANI, M. ACIERNO, A. DONATELLI, S. CUTARELLI, A. MARTELLO (a cura di), *Centri storici, digitalizzazione e restauro Applicazioni e prime normative della Carta del Rischio*, Quasar, Roma 2021.

FIORANI *ET ALII* 2023 - D. FIORANI, C. ACIERNO, F. DONATELLI, A. MARTELLO, S. CUTARELLI, *Centri storici, digitalizzazione e restauro. Applicazioni e ultime normative della Carta del Rischio*, Sapienza Università, Roma 2023.

GRÖGER *ET ALII* 2012 - G. GRÖGER, T.H. KOLBE, C. NAGEL, K. HÄFELE (eds.), *OGC City Geography Markup Language (CityGML) Encoding Standard*, Open Geospatial Consortium 2012, disponibile online: https://repository.oceanbestpractices.org/bitstream/handle/11329/1109/08-007r1_City_Geography_Markup_Language_CityGML_Encoding_Standard.pdf?sequence=1&isAllowed=y (ultimo accesso 15 dicembre 2023).

MESEGUER VALLDECABRES 2023 - L. CORTÉS MESEGUER, J. GARCÍA VALLDECABRES, *Digital Twins. HBIM information repositories to centralize knowledge and interdisciplinary management of architectural heritage*, in «VITRUVIO - International Journal of Architectural Technology and Sustainability», 2023, 8, 2, pp.64-75. DOI: 10.4995/vitruvio-ijats.2023.20534

ORIOLO ET ALII 2019 – V. ORIOLO, P. BATTILANI, G. IACOVONE, M. MORISI, A. MAGNIER, *Turismo, centri storici e contesti metropolitani*, in E. D-ALBERGO, D. DE LEO, G. VIESTI (a cura di), *Il governo debole delle economie urbane*, Il Mulino, Bologna 2019, pp. 87-97.

OTERI, SCAMARDÌ 2020 - A.M. OTERI, G. SCAMARDÌ (a cura di), *Un paese ci vuole. Studi e prospettive per i centri abbandonati e in via di spopolamento*, «ArcHistoR Extra», 7, 2020, supplemento di «ArcHistoR», VII(2020), 13.

PARENTE, OTTONI 2023 - M. PARENTE, F. OTTONI, *HBIM tra aspettative e realtà: limiti e frontiere dell'utilizzo dei modelli informativi per la conoscenza e il restauro (anche strutturale)*, in S. DELLA TORRE (a cura di), *Restauro dell'architettura per un progetto di qualità, Sez. 7 - Metodologie digitali per la gestione degli interventi*, Quasar, Roma 2023, pp. 1269-1275, disponibile online: https://sira-restauroarchitettonico.it/wp-content/uploads/2024/02/Atti_SIRA_2023-Sezione7-LOW.pdf (ultimo accesso 15 luglio 2025).

PENTIMALLI BISCARETTI DI RUFFIA 2023 - A.M. PENTIMALLI BISCARETTI DI RUFFIA, *Progetto di restauro e nuovi modelli e strategie di organizzazione dei flussi di dati: il ruolo delle piattaforme digitali nel percorso di conoscenza*, in S. DELLA TORRE (a cura di), *Restauro dell'architettura per un progetto di qualità, Sez. 7 - Metodologie digitali per la gestione degli interventi*, Quasar, Roma 2023, pp. 1299-1306, disponibile online: https://sira-restauroarchitettonico.it/wp-content/uploads/2024/02/Atti_SIRA_2023-Sezione7-LOW.pdf (ultimo accesso 15 luglio 2025).

PILI 2023 - A. PILI, *Ontologie e strumenti per un Processo BIM integrato per il Patrimonio Culturale*, in S. DELLA TORRE (a cura di), *Restauro dell'architettura per un progetto di qualità, Sez. 7 - Metodologie digitali per la gestione degli interventi*, Quasar, Roma 2023, pp. 1263-1268, disponibile online: https://sira-restauroarchitettonico.it/wp-content/uploads/2024/02/Atti_SIRA_2023-Sezione7-LOW.pdf (15.07.2025).

ZALAMEA, VAN ORSHOVEN, STEENBERGHEN 2016 - O. ZALAMEA, J. VAN ORSHOVEN, T. STEENBERGHEN, *From a CityGML to an ontology-based approach to support preventive conservation on built cultural heritage*, Conference paper of the 19th AGILE Conference on Geographic Information Science, disponibile online: https://www.researchgate.net/publication/325145391_From_a_CityGML_to_an_ontology-based_approach_to_support_preventive_conservation_of_built_cultural_heritage#full-text (ultimo accesso 15 dicembre 2023).

ZALAMEA, VAN ORSHOVEN, STEENBERGHEN 2018 - O. ZALAMEA, J. VAN ORSHOVEN, T. STEENBERGHEN, *Knowledge-based representations applied to built cultural heritage*, in K. VAN BALEN, A. VANDESANDE (eds.), *Innovative Built Heritage Models*, Taylor and Francis, London 2018, pp. 93-100.



The urban area of Via della Lungara in Rome: features, transformations and vulnerabilities through the use of digital systems

Maurizio Caperna, Maria Grazia Ercolino, Annarita Martello
("Sapienza" Università di Roma)

The application of the Risk Map platform focused on a sector of the historic centre of Rome distinguished by its specific geomorphological, historical, and settlement characteristics. The area is located beyond the Tiber, along its right bank, on a flat stretch between the river to the east and the Janiculum Hill to the west. It is further delimited to the south and north by the Aurelian Walls, which enclose Trastevere, and the Leonine Walls, which surround the Vatican citadel. Due to the extensive presence of gardens and parks, the built-up area accounts for only about one third of the total surface. The heterogeneous nature of the urban fabric characterising the Lungara area complicated the identification and classification of the Urban Units (UU-A and UEPRS), leading to a partial reconsideration of the initial methodological approach. The vulnerability assessment of the historic building stock is based on the final compilation of 36 survey forms corresponding to the Urban Units and is expressed through two composite indices, *I_{tm}* and *I_v*, calculated by the CdR system using dedicated algorithms. With reference to selected significant cases, preliminarily analysed in terms of their constructional genesis and subsequent transformations, the conservation condition of the buildings is examined in relation to alterations of building elements, replacement of finishes, structural vulnerabilities, and material decay affecting façades and roofing systems.

Historic Preservation Foundation Classes

Procedure e ontologie per l'interoperabilità nella tutela del patrimonio storico architettonico

www.archistor.unirc.it

ArchistoR EXTRA 12 (2024)

ISSN 2384-8898

Supplemento di ArchistoR 19/2023

ISSN 978-88-85479-39-5

DOI: 10.14633/AHR441



L'area della Lungara a Roma: caratteri, trasformazioni e vulnerabilità del costruito storico attraverso l'applicazione di modelli informatici

Maurizio Caperna, Maria Grazia Ercolino, Annarita Martello

Alcune condizioni particolari caratterizzano il settore del centro storico di Roma scelto per condurre l'esperienza applicativa del sistema digitale relativo alla Carta del Rischio (CdR). L'elaborazione dei tracciati schedografici su cui si fonda il dispositivo della piattaforma, volti a definire in termini numerici il grado di trasformazione e il livello di vulnerabilità del patrimonio storico urbano, ha riguardato infatti un agglomerato edilizio contrassegnato da una specifica evoluzione e conseguentemente da un distintivo assetto rispetto ad altre zone della città.

Parliamo dell'area a ridosso della via della Lungara, il noto percorso oltre Tevere rettificato da Bramante agli inizi del Cinquecento: un'area allora ineditata e periferica, la cui urbanizzazione si compirà soltanto nel corso del Seicento. Per ragioni geomorfologiche, storiche e insediative, essa si presenta come un vero e proprio comparto all'interno del vasto insieme della città storica tutelato dagli strumenti urbanistici vigenti. Il che ha consentito quindi di sviluppare un'utile e coerente sperimentazione schedografica, della quale si è dato già conto in altra sede, ma che qui andremo ad approfondire ulteriormente¹.

Il contributo è frutto di un lavoro condiviso tra gli autori che hanno congiuntamente definito l'impostazione e la struttura del testo, nonché redatto le considerazioni conclusive. La stesura risulta riferibile a M. Caperna per l'introduzione e a M.G.Ercolino per *La complessità del costruito: edifici specialistici ed aggregati* e a A. Martello per *La schedatura delle Unità Urbane nella Carta del Rischio*.

1. MARTELLO 2023.

Studi precedenti sull'area, finalizzati a valutare la consistenza attuale e la caratterizzazione morfotipologica del costruito, evidenziavano in partenza la peculiarità del luogo². L'indagine, in quel caso, era stata affrontata attraverso la consueta metodologia di analisi del patrimonio urbano, ovvero mediante un approccio filologico-documentario integrato dalla lettura diretta del tessuto edilizio (nelle sue regole compositive e nei caratteri funzionali, strutturali e formali delle unità che lo costituiscono). Più esattamente, l'approfondimento svolto comprendeva il reperimento delle fonti archivistiche, l'esame della cartografia storica, il rilievo murario e l'elaborazione grafica di tavole atte a restituire vari contenuti informativi e interpretativi. Elementi, questi, di cui peraltro ci si è avvalsi per la nuova operazione di censimento inerente alla Carta del Rischio. Tornando però ai connotati particolari dell'area prescelta, questi derivano innanzitutto dai limiti netti che la racchiudono. Natura e storia hanno infatti determinato una perimetrazione vincolante che ha irrevocabilmente condizionato il processo di urbanizzazione del sito. Ciò si riscontra nel fatto che la formazione del tessuto abbia occupato il tratto in pianura delimitato a est dalla riva destra del Tevere e a ovest dalla base del versante collinare del Gianicolo; e che a queste due barriere naturali contrapposte se ne aggiungano altre due, antropiche, a sud e a nord: le mura Aureliane, che racchiudono il vecchio Trastevere, e le mura Leonine, che cingono la cittadella vaticana. In tal modo l'area è rimasta del tutto racchiusa e isolata, oltre che assolutamente dipendente dalla sola via della Lungara per il collegamento con il resto della città. Persino il sopraggiungere di nuove infrastrutture urbane alla fine dell'Ottocento e nel corso del Novecento (il Lungotevere, i ponti, la passeggiata del Gianicolo, il tunnel di Porta Cavalleggeri, fino alle più recenti realizzazioni in quel nodo³) non ha modificato questa condizione. Anzi, si può dire che l'abbia rafforzata, visto che l'arteria disegnata da Bramante ha perso il ruolo di collegamento primario all'interno della città (poiché unico fra Trastevere e Vaticano fino alle soglie del XX secolo), mantenendo fondamentalmente quello di asse portante dell'abitato limitrofo.

La collocazione oltre Tevere, l'iniziale perifericità del luogo e la sua qualificazione naturalistica dovuta alle verdi e scoscese pendici del colle influenzano particolarmente le prime scelte d'insediamento nel Cinquecento, dopo l'impresa della strada voluta da Giulio II. Il paesaggio accoglie al principio ville sontuose extraurbane con grandi giardini, mentre soltanto saltuariamente lungo il nuovo asse viario comincia ad apparire qualche raggruppamento di case a schiera.

La possibilità di sfruttare i terreni più interni per un'edificazione seriale di residenze destinate alla

2. Vedi: CAPERNA 2013; CAPERNA 2020.

3. Ci riferiamo alle operazioni effettuate per il Giubileo del 2000, ovvero il sottopasso di Castel Sant'Angelo e la rampa di accesso al parcheggio del Gianicolo.

popolazione del ceto artigiano e impiegatizio comincia a delinearsi solo nel tardo Cinquecento. Il processo di costruzione si manifesta in modo episodico con un paio di strade che si distaccano dalla via della Lungara e che vengono tracciate a grande distanza l'una dall'altra (via Corsini e via dei Riari).

L'idea di una completa urbanizzazione del luogo mediante un progetto unitario di lottizzazione matura invece nel secondo decennio del Seicento. Si redige così un piano esecutivo ordinato e razionale, con il quale si prevede una maglia di strade che incorpora quanto già esisteva, e che viene quindi impostata in rapporto al tracciato della via della Lungara in modo da assicurare la comunicazione del nuovo abitato previsto con i vecchi rioni della città. Il frangente è quello di un'incipiente mutazione delle dinamiche sociali ed economiche. L'autorità pontificia si affida all'iniziativa privata per favorire la crescita della città e si limita a garantire lo sviluppo lottizzativo⁴. Tutto si basa, dunque, sull'accordo fra i proprietari dei terreni da edificare. Ma proprio per questo la condizione è debole; la tenuta dell'accordo può infatti venir meno per l'imporsi via via di interessi di parte. L'attuazione del piano, inoltre, finisce per essere assolutamente graduale e per zone circoscritte, dato che non tutti i proprietari sono pronti ad agire contemporaneamente. Cosicché il disegno complessivo degli isolati che verranno creati sarà solo limitatamente riconducibile al piano di partenza⁵.

Vi è poi un altro aspetto significativo da sottolineare. Si tratta del carattere della lottizzazione, e dunque della qualità tipologica degli edifici realizzati: la ripartizione del suolo in lotti per ciascun isolato non è omogenea, non segue cioè un passo costante, ma si dimostra piuttosto variabile. La comparsa di una diversificazione dei tipi edilizi da fabbricare è infatti una cifra distintiva del tessuto dell'area, il corrispettivo di una società in graduale trasformazione a causa dell'avvento della classe borghese.

In sostanza, quindi, ai fini della valutazione della vulnerabilità del costruito, o più esattamente della computazione secondo il modello della Carta del Rischio, vanno considerate per il sistema urbano del comparto a ridosso del Tevere le seguenti specifiche circostanze: in primo luogo, il fatto che la genesi del tessuto dell'area sia caratterizzata dalla formazione di isolati di grandi dimensioni che convivono con il verde di ampie ville; in secondo luogo, che ciascun isolato si componga all'origine di tipologie edilizie diversificate, mono e plurifamiliari, e che sia al contempo contraddistinto anche dalla presenza di edifici specialistici. La separatezza dell'area rispetto al resto della città e al contempo la sua vicinanza sia al Trastevere che al Vaticano favoriscono infatti, fin dall'inizio, l'impianto di

4. Sulle caratteristiche della crescita edilizia di Roma nel primo Seicento, vedi: ROCA DE AMICIS 1993; PETRUCCI 1995; TUCCI 2001; CROCCO 2002; ROCA DE AMICIS 2018; DE LUCA 2020.

5. Oltre a quanto citato nella nota 2, vedi anche MANFREDI 2018.

numerose strutture conventuali, come pure di assistenza o di formazione, ma anche la comparsa di tanti piccoli o medi opifici (in particolare cererie).

Tutto ciò determina un tessuto poco serrato e compatto, anzi piuttosto frastagliato e tipologicamente variabile. Una situazione che nel tardo Seicento, quando si può considerare completata l'impostazione generale del nuovo brano di città, appare connotata da molte discontinuità; ampi, inoltre, sono gli spazi vuoti all'interno degli isolati e a volte le interruzioni del costruito si presentano anche per qualche tratto lungo i fronti viari.

Le trasformazioni successive, verificatesi soprattutto tra 1870 e 1930, corrispondono spesso all'occupazione dei lotti ineditati con nuovi edifici; mentre nel tessuto esistente si verificano i consueti fenomeni di rifusione, sovrelevazione e ampliamento in profondità nei lotti. Si compie dunque una sensibile densificazione del costruito. Tuttavia, a causa della peculiarità degli ampi spazi che caratterizzano l'interno degli isolati, persiste a volte la presenza di orti, ma più spesso sopraggiungono progressivamente piccole strutture di varia natura (rimesse, garage, casupole), che si accompagnano al costruito che forma il fronte urbano.

Assieme a ciò che si è aggiunto in fase recente, c'è comunque da considerare anche quanto è stato eliminato o quanto è stato alterato riguardo al tessuto. La demolizione del tratto edilizio su gran parte della via della Lungara nel lato verso il fiume, motivata dalla realizzazione dei nuovi argini e del Lungotevere, è infatti un evento notevole della fine dell'Ottocento, dato che comporta la perdita di una trentina di edifici residenziali in successione lineare (alcuni anche con fronte molto esteso), oltre a un enorme complesso ospedaliero⁶.

La stessa estensione dell'asse viario cinquecentesco viene inoltre diminuita per via della realizzazione, negli anni Trenta del XX secolo, dell'innesto infrastrutturale costituito dal nuovo ponte Principe Amedeo Savoia Aosta e dal Traforo Gianicolense. Uno slargo interrompe così il vecchio tracciato stradale poco prima della sua conclusione verso la porta di Santo Spirito. La lunghezza del percorso (sottolineata dal suo stesso nome fin dal XV secolo) è quindi pari, oggi, a 918 metri, contro i 1023 che aveva in origine.

Riassumendo, quale situazione particolare con cui si è dovuta confrontare la schedatura del costruito atta a fornire indici di rischio, va indicata innanzitutto l'alterna densità del tessuto, ossia il variabile rapporto fra edificato e spazi aperti. Situazione che si manifesta sia come conseguenza della notevole ampiezza degli isolati, sia per le interruzioni e i vuoti con cui si è attuato il processo

6. Si tratta del settecentesco ospedale psichiatrico Santa Maria della Pietà (demolito tra il 1890 circa e il 1907), che si ergeva presso la porta di Santo Spirito, al termine della strada.

costruttivo lungo i fronti (malgrado la teorica uniforme serialità degli edifici con cui si sarebbe dovuto svolgere). Inoltre, circostanza concomitante è la larga presenza del verde, e cioè il rapporto esistente, pressoché equilibrato, fra tessuto e ville storiche, fra edifici e giardini configurati o vegetazione sul versante del colle.

Un sintetico riferimento quantitativo può dar conto immediatamente di questa caratteristica. Se guardiamo all'area pianeggiante entro la quale si estende tutto l'impianto dell'abitato (escludendo quindi le pendici del Gianicolo) e se ad essa aggiungiamo soltanto la porzione di edificato in altura relativa alla Salita di Sant'Onofrio, l'entità totale della superficie raggiunge circa 30 ettari, rispetto ai quali la somma complessiva delle superfici occupate dal costruito è pari a un terzo. In particolare quest'ultimo, nella forma di aggregati edilizi, tende a diminuire soprattutto man mano che ci si avvicina alla risalita del colle.

Per quanto concerne, poi, la natura tipologico-funzionale degli edifici presenti, è necessario tener conto di una forte eterogeneità, e cioè della non preponderanza dell'edilizia residenziale di base che solitamente qualifica in modo maggioritario gli insediamenti. Emergenze architettoniche di eccezionale pregio storico-artistico (palazzi e ville), chiese e istituti religiosi, stabilimenti di vario tipo, oltre a laboratori, magazzini e rimesse, convivono in misura rilevante con le case. Tale varietà si riscontra quindi anche su un piano meramente dimensionale e volumetrico, dato che sia macrostrutture articolate (come il carcere di Regina Coeli e la caserma Podgora) o grandi edifici a carattere compatto (spesso, in entrambi i casi, con aree di pertinenza e un corredo di manufatti di servizio), sia un'edilizia speciale di più modeste proporzioni caratterizzano la situazione composita dell'edificato.

La classificazione analitica del tessuto mostra in modo evidente questa condizione (fig. 1). E ciò, laddove ci si misuri con gli obiettivi della salvaguardia urbana, deve costituire un riferimento imprescindibile. La molteplicità e l'integrazione delle funzioni dovrebbe cioè rappresentare il contenuto essenziale di una strategia organica nei confronti dell'area condotta in termini urbanistici. Ma l'eterogeneità delle strutture comporta, sul piano fisico, ancora diverse specificità: in particolare nel momento in cui debbano computarsi dati discreti nell'applicazione di un modello informatico. E tali specificità saranno opportunamente illustrate più avanti.

La complessità del costruito: edifici specialistici ed aggregati

La necessità di acquisire un adeguato bagaglio conoscitivo funzionale a restituire una congrua rappresentazione digitale del patrimonio edilizio presente nell'area in esame ha preso avvio dal riconoscimento e dalla selezione dei volumi edilizi autonomi, identificati in funzione della loro

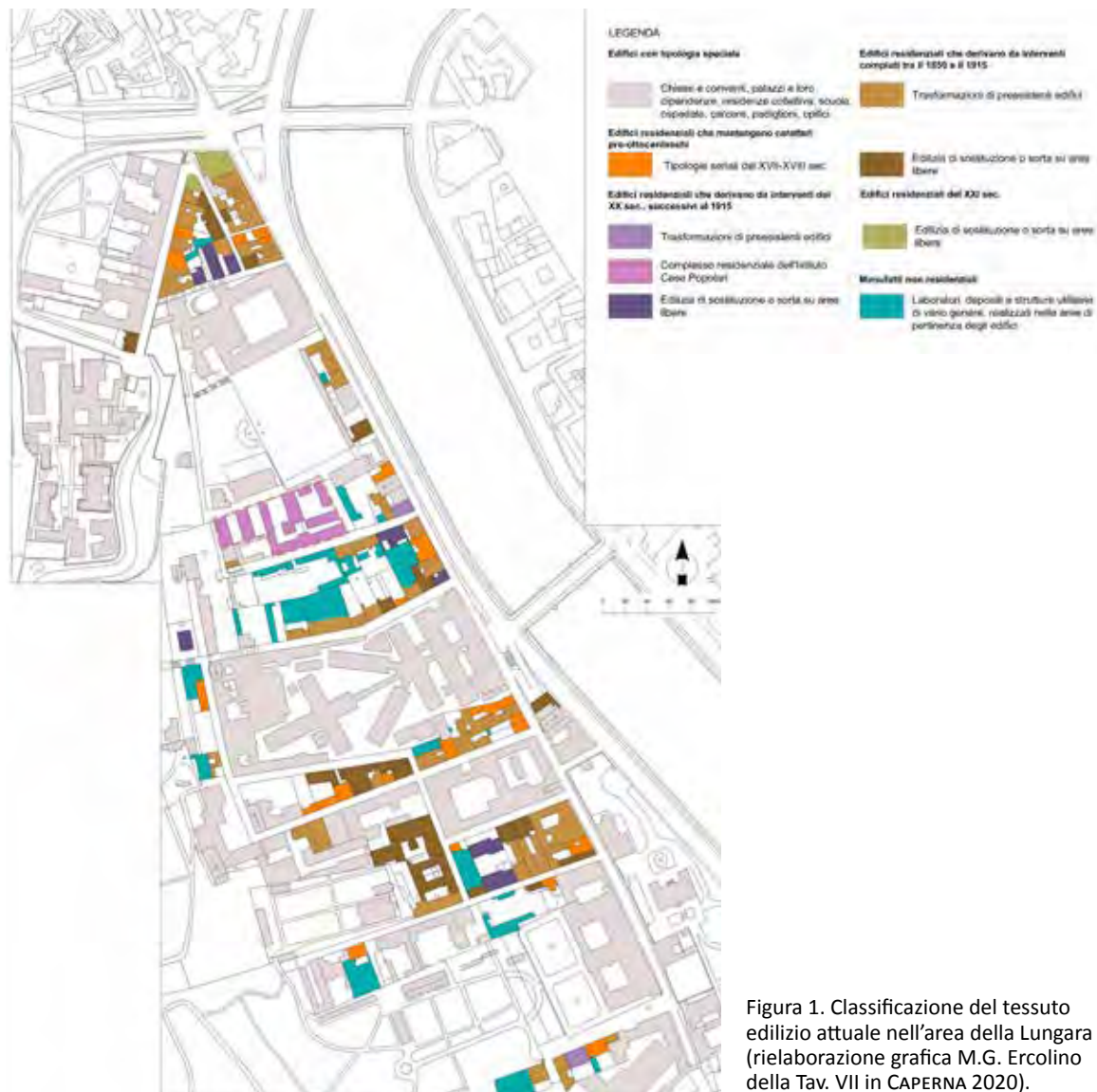


Figura 1. Classificazione del tessuto edilizio attuale nell'area della Lungara (rielaborazione grafica M.G. Ercolino della Tav. VII in CAPERNA 2020).

differente genesi costruttiva e della funzione attribuita loro. Tale iter, propedeutico alla compilazione dei due diversi tracciati schedografici preposti all'analisi speditiva dell'intero comparto urbano, ovvero l'Unità Urbana-Aggregato (UU-A) e l'Unità Urbana-Edilizia Puntuale Residenziale o Specialistica (UU-EPRS)⁷, è stato inizialmente complicato da alcune questioni interpretative che hanno reso necessario un ripensamento rispetto all'iniziale impostazione del lavoro di schedatura.

Come enunciato nella prima parte del contributo, le ragioni di tale complessità sono differenti e vanno ricercate nelle caratteristiche intrinseche dell'area, oltre che nelle particolari modalità che distinsero il processo di formazione dell'edificato urbano della Lungara e quello della sua successiva trasformazione. Per questa ragione e per chiarire meglio le valutazioni che hanno successivamente indirizzato l'attività sul campo, si è ritenuto opportuno esaminare a una scala più ravvicinata gli esiti di tale sviluppo sull'attuale configurazione di alcuni isolati che formano il tessuto, selezionati perché ritenuti significativi, nelle loro specificità, rispetto alla definizione e all'ulteriore verifica del metodo di indagine adottato⁸.

Nella parte meridionale dell'area si situa il grande isolato prospiciente lo storico asse della Lungara e attualmente delimitato da via dei Riari e dalla via e dal vicolo della Penitenza, già parzialmente definito da uno dei due primi percorsi di lottizzazione realizzati nel tardo Cinquecento, tracciato con un andamento inclinato rispetto alla via principale proprio per ottimizzare lo sfruttamento fondiario delle proprietà su entrambi i lati (fig. 2, A)⁹. Il perimetro dell'isolato fu compiutamente delineato agli inizi del secolo successivo grazie al richiamato piano di sviluppo che, appoggiandosi a quanto già esistente, prefigurò in quel tratto l'esecuzione di una griglia regolare a grandi maglie rettangolari, destinata a saturare l'area compresa tra le due grandi ville suburbane presenti lungo la storica via¹⁰. Entro la fine del Cinquecento, dunque, un tessuto edilizio residenziale minuto si sviluppò in modo compatto sull'intero fronte di via della Lungara e su quello, meridionale, di via dei Riari. Scarse ricadute ebbe, invece, la successiva pianificazione seicentesca che, fatte salve la definitiva realizzazione dei percorsi e l'edificazione di alcune sporadiche costruzioni impostate particolarmente sul lato opposto, antistante via della Penitenza, non modificò sostanzialmente l'aspetto dell'isolato, connotato da una

7. La prima (UU-A) concepita come elemento edificato continuo prodotto dall'associazione e dallo sviluppo di unità edilizie distinte, la seconda (UU-EPRS) intesa come elemento edificato continuo e omogeneo; FIORANI 2019, p. 95.

8. Nella parte conclusiva del contributo saranno esposte poi le valutazioni finali condotte sui medesimi isolati; vedi anche MARTELLO 2023.

9. L'originaria denominazione del percorso era *Secondo vicolo dei Riari, oggi via dei Riari*; CAPERNA 2013 pp. 151-152.

10. Ci si riferisce alla villa dei Riario a sud e al palazzo Salviati a nord; CAPERNA 2013, p. 195.



Figura 2. Pianta generale dell'area della Lungara. Si evidenziano i casi esaminati (contrassegnati con le lettere A–D) e la prima ipotesi di perimetrazione delle Unità Urbane (UU-A in verde, UU-EPRS in rosa e, in giallo, il carcere di Regina Coeli, escluso dalla schedatura) (elaborazione M.G. Ercolino, 2023).

preponderante presenza di aree inedificate interne e da un'evidente discontinuità lungo i fronti viari secondari. Tale condizione rimase pressoché invariata lungo i due secoli seguenti fino all'avvio della fase di trasformazione urbana ottocentesca che interessò l'intera città, spinta da una generalizzata volontà di rinnovamento urbano ed edilizio. A partire dalla metà del XIX secolo e fino ai primi due decenni del successivo, l'attuazione di un considerevole numero di interventi incise in modo rilevante sull'immagine e la consistenza volumetrica dello storico caseggiato. Nello specifico, in aggiunta alle consuete operazioni di trasformazione, incremento e rifusione dell'edificato residenziale pregresso - volte ad ammodernare e migliorare la qualità abitativa - furono eseguiti alcuni interventi di integrale sostituzione e, soprattutto, una serie di nuove edificazioni che saturarono non solo i fronti edilizi ma anche buona parte della superficie interna dell'isolato. Significativamente si incrementò la presenza di corpi edilizi destinati ad attività produttive e/o di servizio, senza dubbio incentivata da una preesistente vocazione dell'area in tal senso¹¹ oltre che dalla già richiamata, cospicua, sussistenza di spazi liberi; queste nuove realtà si relazionarono in differente misura con la contigua componente residenziale, contribuendo ad accentuare l'eterogeneità del costruito, che solo in una piccolissima percentuale conservò le caratteristiche iniziali (fig. 1). Agli anni Sessanta del secolo scorso risale poi l'ultimo importante intervento, effettuato sul margine occidentale dell'isolato, dove in sostituzione di alcuni depositi e stabilimenti fu inserito un nuovo fabbricato residenziale in continuità con le preesistenti strutture.

Il secondo approfondimento prende in considerazione un isolato ubicato nella fascia più interna del comparto della Lungara, quella prossima alle pendici del colle, delimitato dalla via di San Francesco di Sales, dall'omonimo vicolo e dal vicolo della Penitenza (fig. 2, B), la cui esecuzione fu intrinsecamente legata al progetto di pianificazione seicentesca che ne prevedeva il regolare confine rettangolare definito trasversalmente da percorrenze di impianto edilizio e longitudinalmente dalle due nuove arterie parallele alla via della Lungara che avrebbero dovuto garantire un collegamento più organico con le aree confinanti della città. L'attuale forma trapezoidale del suo perimetro, tuttavia, ne evidenzia la solo parziale attuazione. Di fatto l'isolato si impostò sulla progettata maglia seicentesca solo a meridione e a oriente (la via di San Francesco di Sales fu aperta come strada pubblica di lottizzazione all'inizio del Seicento sulla probabile traccia di un vecchio sentiero esistente), mentre i due restanti lati e le relative percorrenze (la svolta a 90 gradi della via di San Francesco e l'obliquo vicolo omonimo), realizzati pochi anni dopo, recuperarono presumibilmente

11. L'istallazione di piccoli impianti produttivi, particolarmente manifatturieri, trovava ulteriore giustificazione in quella perdurante condizione di parziale 'isolamento' che caratterizzava l'intero comparto rispetto alle aree circostanti.

l'andamento di vecchie perimetrazioni della proprietà, discostandosi dall'iniziale impostazione pianificatoria e pregiudicandone una compiuta attuazione. Entro tale margine e a causa della sua limitata estensione superficiale, si concretizzò, in tempi molto brevi, un tessuto serrato costituito da modeste unità edilizie solo in coincidenza del fronte meridionale dell'isolato; intervento condotto in accordo con la primitiva lottizzazione, impostata con un passo perpendicolare al percorso principale, che destinava la restante superficie ad aree di pertinenza retrostanti, progressivamente sempre più ampie¹². In questo caso la carente densità del costruito fu solo parzialmente intaccata dalla fase di trasformazione tardo-ottocentesca; su via di San Francesco di Sales il tessuto edilizio mantenne parzialmente le caratteristiche tipiche delle tipologie seriali risalenti al XVII-XVIII secolo, una parte degli edifici fu sottoposta a trasformazione mentre alcune sostituzioni e nuove edificazioni in aree libere incrementarono il costruito senza tuttavia saturarne i fronti (fig. 1). L'epilogo di tali trasformazioni vide l'edificazione agli inizi del XX secolo, della chiesa e del convento di Santa Teresa del Bambin Gesù, ubicato in corrispondenza della testata occidentale dell'isolato e in contiguità con i fabbricati preesistenti; questo complesso, come molti altri nell'area, ha subito diversi cambi di destinazione d'uso in seguito alla sua dismissione, mantenendo comunque la sua connotazione specialistica.

Nel tratto centrale di via della Lungara e poco distante dal precedente si situa il terzo isolato esaminato, originariamente destinato ad accogliere il monastero di Santa Croce delle Scalette, e compreso tra via della Penitenza e via San Francesco di Sales (fig. 2, C). La sua edificazione, che comprendeva la chiesa e l'attigua casa religiosa, fu impostata precisamente sulla griglia della pianificazione seicentesca, selezionando un ampio lotto rettangolare prospiciente la via della Lungara, delimitato ai lati da due progettati tracciati d'impianto e con una profondità calcolata in funzione della prevista, retrostante percorrenza longitudinale di collegamento¹³. La costruzione vera e propria occupò la porzione più orientale della grande superficie, in aderenza a via della Lungara, mentre il resto dell'area era distinto da una serie di aree verdi e cortili di servizio, venendo racchiuso da un semplice muro di cinta. Fatta eccezione per alcuni piccoli fabbricati realizzati nel secolo successivo, la maggior parte di questo spazio rimase ineditata fino alla metà del XIX secolo quando il vecchio monastero fu coinvolto in un articolato progetto di restauro e ampliamento, giustificato dalla funzione reclusiva attribuita a un settore del complesso. In quell'occasione furono eretti nuovi volumi che ingrandirono e ridefinirono la forma del precedente impianto. Le vicende più recenti documentano ulteriori riconversioni funzionali e tentativi di riuso della grande compagine, restaurata

12. CAPERNA 2013, pp. 222-227.

13. La superficie totale del lotto doveva essere pari a 1600 canne quadrate; CAPERNA 2013, p. 192.

a cavallo del nuovo millennio. Un complesso architettonico isolato a destinazione specialistica, derivante dall'aggregazione diacronica di differenti componenti edilizie, che tuttavia in fase di analisi si è ritenuto più corretto valutare e schedare come Aggregato¹⁴.

A conferma ulteriore del rilevante impatto prodotto dallo specifico processo di trasformazione che contraddistinse l'area sulle caratteristiche morfologiche e funzionali dei volumi edilizi presenti si rammenta succintamente un'ulteriore iniziativa che condusse alla riconversione a funzioni abitative di un piccolo insediamento industriale presente nel suo tratto settentrionale e dismesso nei primi decenni del secolo scorso (fig. 2, D). Tale operazione fu concepita con i caratteri della temporaneità, per corrispondere a una contingente emergenza abitativa, e sfruttò le favorevoli peculiarità volumetrico-costruttive delle originarie strutture dei padiglioni industriali introducendo al loro interno nuove partizioni orizzontali e verticali atte a favorire la differente destinazione d'uso. Nel tempo, però, il complesso edilizio è diventato una realtà residenziale consolidata, connotata da attributi decisamente singolari, per nulla confrontabili con quelli che distinguono la restante parte del tessuto.

Gli approfondimenti richiamati testimoniano come le vicende che hanno caratterizzato la storia più recente dell'abitato della Lungara (e che ricadono integralmente entro il limite temporale che convenzionalmente distingue la città storica da quella moderna all'interno del sistema GIS Carta del Rischio per i Centri Storici¹⁵), siano decisamente significative ai fini della valutazione del grado di trasformazione e del conseguente livello di vulnerabilità di questa porzione di città.

Si è trattato di una trasformazione imponente che ha coinvolto quasi totalmente il costruito storico ma che, soprattutto, ha incrementato il vecchio abitato grazie a un consistente numero di nuovi edifici, dalle differenti funzioni, la cui realizzazione è stata agevolata dalla cospicua disponibilità di suolo libero. Nella maggior parte degli isolati della zona si è constatato un considerevole aumento della percentuale dell'edificato, che ha spesso generato la compattazione dei propri fronti edilizi, sebbene la distribuzione di tale fenomeno non sia stata omogenea. La semplice osservazione di una planimetria generale dimostra, infatti, come tale densificazione sia molto evidente nei tessuti prospettanti sugli assi principali della Lungara e della via di San Francesco di Sales, come pure in quelli ubicati in corrispondenza della testata settentrionale del comparto, favoriti dalle dimensioni più contenute degli isolati e dalla vicinanza con le grandi arterie di collegamento; al contrario, nelle

14. Per ulteriori considerazioni in merito si rimanda alla parte conclusiva del presente contributo.

15. Si ritiene edificato storico quello costruito all'interno di un agglomerato urbano entro la Prima Guerra Mondiale (1919); FIORANI 2019, p. 94.

parti più interne e collegate esclusivamente alla viabilità secondaria si rileva un aspetto più ‘rarefatto’, dovuto agli ampi spazi liberi residui (fig. 2).

Quella attualmente osservabile è dunque una realtà urbana complessa e variegata che, come si vedrà nella parte conclusiva del presente contributo, si è potuta descrivere e analizzare nelle sue molteplici componenti sulla base dei modelli schedografici definiti dalla piattaforma CdR in funzione della sua futura gestione conservativa.

La schedatura delle Unità Urbane nella Carta del Rischio

Il sistema Carta del Rischio, nella sua implementazione atta a valutare il rischio di perdita del patrimonio storico diffuso, si struttura, come è noto, su sei differenti modelli schedografici che restituiscono una rappresentazione multi-scalare del contesto urbano, dal Centro Storico inteso come intero alle Unità e ai Fronti Edilizi¹⁶. Il grado di trasformazione e il livello di vulnerabilità del costruito vengono esplicitati attraverso la formazione di due indici complessivi, calcolati tenendo conto dei fenomeni che, mediante campagne speditive *in situ*, sono rilevabili alla scala delle Unità Urbane; per quest’ultime, la piattaforma richiede che si distinguano le Unità Urbane Aggregato dalle Unità Edilizie Puntuali Residenziali o Specialistiche e che si utilizzino due distinti tracciati schedografici¹⁷. L’informatizzazione delle schede relative a tali componenti intermedie ne ha consentito una prima applicazione sul campo, indagando i casi di Cittaducale, in provincia di Rieti, e di Genazzano, in provincia di Roma. Il processo di validazione portato avanti sui due centri storici, entrambi di piccole dimensioni e rappresentativi di distinte ma ben identificabili modalità insediative ed evolutive, ha consentito la formulazione di alcuni correttivi, perlopiù riferiti alla scheda UU-A, che ad oggi sono stati completamente assorbiti dal sistema¹⁸. Il raffronto con la realtà concreta dell’edificato della Lungara a Roma ha offerto la possibilità di procedere a un’ulteriore validazione del sistema in considerazione della maggiore articolazione morfologica, tipologica e costruttiva rilevata in

16. Ci si riferisce alla Carta del Rischio per la gestione dei centri storici. L’articolazione del SIT è dettagliatamente descritta in FIORANI 2019.

17. Ai nostri fini è utile ricordare che, come specificato dalle norme di compilazione, le prime risultano sostanzialmente dall’associazione e dallo sviluppo di Unità Edilizie distinte tendenzialmente destinate ad abitazioni, le seconde sono invece costruttivamente autonome con funzione residenziale, nel caso di ville o villini, o specialistica, come accade per gli istituti scolastici o gli ospedali. Le normative relative ai tracciati schedografici della CdR-CS sono interamente pubblicate in due volumi: FIORANI *ET ALII* 2022 e FIORANI *ET ALII* 2023.

18. Gli esiti dell’applicazione del sistema ai due centri storici di Cittaducale (RI) e di Genazzano (RM) sono stati puntualmente discussi in FIORANI *ET ALII* 2019.

quest'area rispetto agli abitati precedentemente schedati. La porzione di centro storico considerata, come si è visto, è difatti caratterizzata dalla presenza di tipi edilizi seriali con funzione residenziale ai quali si affiancano prestigiose ville e importanti palazzi storici, oltre a numerosi edifici e complessi a destinazione specialistica che, non di rado, si collocano all'interno o alle estremità degli aggregati. Proprio riferendosi alle molteplici funzioni ospitate e alle diversificate caratteristiche costruttive e distributive delle fabbriche oggetto d'indagine, in una prima fase, sono state individuate 12 UU-A e 28 UU-EPRS, rappresentate successivamente su di una base grafica appositamente elaborata¹⁹ (fig. 2). Tuttavia, una più accurata riflessione sui riscontri ottenuti in via preliminare ha introdotto nuovi nodi problematici di natura interpretativa e metodologica che hanno posto la necessità di rimodulare le perimetrazioni. A tal fine, si è ritenuto di subordinare il parametro della destinazione funzionale al criterio dell'autonomia/gerarchia costruttiva dei manufatti, giungendo alla redazione finale di 36 schede per le Unità Urbane, 24 delle quali relative alle UU-A e le restanti 12 alle UU-EPRS (fig. 3). Le motivazioni sottese a tale scelta possono essere ulteriormente chiarite attraverso le esemplificazioni riportate di seguito, selezionate per restituire sinteticamente la varietà aggregativa osservata.

Al primo caso si riconducono gli aggregati composti dalle sole cellule abitative, mono o plurifamiliari, per i quali si è proceduto attraverso il tracciato schedografico UU-A, come per l'isolato delimitato da via della Lungara, da via dei Riari e dalla via e dal vicolo della Penitenza (UU-A 7) (fig. 4). Il secondo interessa gli edifici che, seppur specialistici, sono posti in continuità con il tessuto di base e presentano uno sviluppo dei fronti assimilabile a quello delle particelle residenziali adiacenti; ci si riferisce, ad esempio, alla testata occidentale dell'aggregato prospiciente via di San Francesco di Sales, dove l'ex chiesa e il convento sono stati individuati come Unità Edilizie (U.E.) componenti dell'UU-A 8 (fig. 5). Il terzo caso è ben rappresentato dal complesso di Santa Croce delle Scalette, attuale sede della cosiddetta Casa Internazionale delle Donne, dapprima schedato come un'unica unità edilizia avente funzione specialistica e poi censito come UU-A (UU-A 25) (fig. 6) a causa delle

19. Nello specifico, il materiale grafico di supporto è stato prodotto attraverso l'utilizzo del *software open source* QGIS che ha consentito di importare l'immagine satellitare, da *Google Earth*, le mappe catastali attuali, tramite il servizio di consultazione della cartografia catastale - WMS dell'Agenzia delle Entrate, e gli *shapefile* della Carta Tecnica Regionale Numerica (CTRN) del Lazio, scaricabile dal portale *Open Data* della regione. Tali rappresentazioni sono state necessarie sia per una prima definizione delle perimetrazioni sia per la formulazione di ipotesi relative alla distribuzione delle unità edilizie che compongono gli aggregati, ma anche, nel caso degli attributi collegati ai *layer* vettoriali della CTRN, per il reperimento di dati dimensionali quali altezze o volumi. Vedi: <https://www.agenziaentrate.gov.it/portale/it/web/guest/schede/fabbricatiterreni/consultazione-cartografia-catastale/servizio-consultazione-cartografia> (ultimo accesso 21 novembre 2023) e <http://dati.lazio.it/catalog/it/dataset/2014-carta-tecnica-regionale-numerica-scala-1-5-000-provincia-di-roma/resource/0e92749a-0c25-48ba-ab4d-28825e2064d8> (ultimo accesso 21 novembre 2023).



Figura 3. Perimetrazione definitiva delle Unità Urbane. Si evidenzia l'esito di una revisione critica della prima ipotesi di perimetrazione, che ha condotto alla redazione finale di 36 schede per l'intera area della Lungara: 24 riferite alle UU-A (in verde) e 12 alle UU-EPRS (in rosa). Anche in questo caso, il carcere di Regina Coeli (in giallo) risulta escluso dalla schedatura. Si indicano, inoltre, le Unità Urbane analizzate nel presente contributo (elaborazione A. Martello, 2023).



Figura 4. L'isolato delimitato da via della Lungara, via dei Riari, via e vicolo della Penitenza, corrispondente all'aggregato identificato come UU-A 7. La numerazione, associata ai poligoni, evidenzia le Unità Edilizie perimetrate (elaborazione A. Martello, 2023).



Figura 5. L'isolato delimitato da via di San Francesco di Sales, dall'omonimo vicolo e dal vicolo della Penitenza. L'ex chiesa e il convento di Santa Teresa del Bambin Gesù, testata occidentale dell'aggregato, sono stati individuati dapprima come UU-EPRS (in rosa, a sinistra) in virtù della funzione specialistica assoluta; successivamente, data la contiguità con i fabbricati presenti, sono stati valutati come componenti edilizie (U.E. numerate) dell'UU-A 8 (a destra) (Elaborazione A. Martello, 2023).



Figura 6. L'isolato delimitato da via della Lungara, via e vicolo della Penitenza e via di San Francesco di Sales. L'ex complesso di Santa Croce delle Scalette, inizialmente perimetrato come UU-EPRS (in rosa, a sinistra), ospita tuttora una funzione specialistica. Ciononostante, è stata redatta una scheda UU-A (UU-A 25), considerando sia l'estensione dell'unità, comparabile a quella delle UU-A adiacenti, sia la possibilità di leggere – attraverso l'osservazione diretta dei fronti – il rapporto di aggregazione tra i singoli volumi edificati (U.E. numerate, a destra) (elaborazione A. Martello, 2023).

sue caratteristiche costruttive e della sua estensione del tutto simile a quella dell'isolato attiguo. L'ultima fattispecie contempla gli edifici puntuali, come la Villa Farnesina, frutto di un progetto unitario, svincolata da qualsiasi logica aggregativa e quindi schedabile come UU-EPRS (UU-EPRS 10) (fig. 7).

Entrando nel merito dell'inserimento dei dati all'interno della piattaforma, quanto appena esposto si è tradotto nella definitiva geolocalizzazione delle U.U. individuate, arricchita dalle informazioni, richieste da ciascuna scheda, relative alla metodologia adottata per la loro perimetrazione²⁰(fig. 8). Come già accennato, la raccolta dei contenuti informativi è stata condotta perlopiù attraverso lo svolgimento di apposite campagne di rilevamento, effettuate con l'ausilio di elaborati grafici già esistenti o di eidotipi realizzati in situ, utili ad annotare rapidamente i fenomeni via via rilevati lungo i fronti delle Unità Urbane²¹. Al fine di illustrare puntualmente il lavoro svolto, si farà riferimento alle singole sezioni dei tracciati schedografici, con particolare attenzione alle UU-A e UU-EPRS precedentemente richiamate, ritenute rappresentative delle specificità del tessuto edilizio del comparto urbano analizzato.

Completata la localizzazione e l'identificazione di ciascuna Unità Urbana, il sistema chiede che vengano fornite indicazioni rispetto alle funzioni ospitate, in maniera tale da poter determinare anche il grado e il periodo di utilizzazione del bene. Per i casi selezionati, così come per tutta l'area, gli stati di totale abbandono o le condizioni di disuso sono limitati; si sono rilevate piuttosto numerose destinazioni funzionali diverse da quella abitativa, sia connaturate alla originaria tipologia edilizia, sia di recente previsione. Accanto alle residenze, si moltiplicano gli affitta-camere e, più in generale, le strutture dedite all'accoglienza turistica, mentre i vani al pian terreno, un tempo adibiti a bottega, sono oggi utilizzati per lo svolgimento delle più svariate attività, qualificandosi come negozi e botteghe, magazzini e autorimesse, laboratori e studi, ma anche sedi di importanti istituzioni, associazioni e centri culturali²².

20. Per un approfondimento riguardo a tale aspetto e, in generale, sulla schedatura condotta per il comparto urbano della Lungara; MARTELLO 2023, pp. 235-253.

21. La documentazione grafica pubblicata nell'ampia monografia dedicata all'area della Lungara, curata da Maurizio Caperna ha costituito un prezioso ausilio per il lavoro svolto (CAPERNA 2013; CAPERNA 2020). Ai due volumi si è attinto anche per la compilazione dei campi previsti dalla sezione "Dati storici" della scheda, mentre per il paragrafo relativo alle "Normative" e, più precisamente, rispetto ai "Provvedimenti di tutela" si è consultata l'applicazione *web open source* "Vincoli In Rete" al link: <http://vincoliinrete.beniculturali.it/VincoliInRete/vir/bene/ricercabeni> (ultimo accesso 22 novembre 2023).

22. Oltre alla sopraccitata Casa Internazionale delle Donne, ospitata dal complesso di S. Croce delle Scalette (UU-A 25), si ritiene opportuno ricordare che, a partire dal 1944, presso la Villa Farnesina (UU-EPRS 10) è insediata l'Accademia



Figura 7. La villa Farnesina. In considerazione dell'autonomia costruttiva richiamata dalla normativa, il fabbricato, al centro nell'immagine, è stato sin da subito censito attraverso il tracciato schedografico UU-EPRS (UU-EPRS 10) (elaborazione A. Martello, 2023).

I paragrafi relativi al Sistema Edilizio, ne individuano le peculiarità guardando tanto alla configurazione dell'impianto quanto all'articolazione dei fronti prospicienti sugli Spazi Urbani²³. A tal proposito, le Unità Urbane in esame esemplificano circostanze diffusamente rilevate alla Lungara: come si è visto, le differenti caratteristiche, anche dimensionali, dei volumi edificati istituiscono un singolare rapporto tra costruito e spazi aperti pertinenziali, tra pieni e vuoti. Ciononostante, alcune delle interruzioni presenti lungo i fronti viari non sono state individuate come Vuoti Edilizi e, di conseguenza, non sono state valutate come significative carenze costruttive; piuttosto tali discontinuità sono state associate al mancato sviluppo in verticale di fabbricati, relativamente recenti, costruiti su terreni precedentemente inedificati. È questo il caso della UU-A 25 dove il perimetro del lotto parzialmente occupato dal complesso di Santa Croce delle Scalette è stato completato, sul lato opposto alla via della Lungara, da annessi di varia natura che sembrano non alterare il comportamento strutturale dell'aggregato (fig. 9).

Com'è noto, il sistema prevede che quanto riscontrato in fase di sopralluogo venga espresso attraverso incidenze percentuali calcolate mediante il rapporto tra il numero di piani interessati da un dato fenomeno e il numero totale di piani effettivamente ispezionabile; quest'ultimo risulta a sua volta determinato, nel caso degli aggregati, sulla base del numero di U.E. presenti²⁴. Tali incidenze percentuali sono combinate tramite specifici algoritmi con lo scopo di restituire i due indici globali, di modifiche e trasformazioni e di vulnerabilità, di cui si parlava in apertura.

Il primo tiene conto delle trasformazioni costruttive e della sostituzione di rivestimenti e infissi; il secondo considera le variabili determinate dalla presenza di criticità strutturali²⁵, dall'estensione

Nazionale dei Lincei mentre gli edifici della chiesa e del convento di S. Teresa del Bambin Gesù, ad uso del Ministero della Difesa fino al 2012, sono attualmente non utilizzati; CAPERNA 2013, pp. 293-294 e pp. 289-290; CAPERNA 2020, p. 235.

23. Chiaramente, rispetto a questa specifica sezione, il tracciato schedografico delle UU-A differisce da quello predisposto per le UU-EPRS. Quest'ultimo difatti non richiede di specificare la presenza di anditi o di vuoti edilizi, così come di esprimere il numero delle unità edilizie presenti.

24. Con lo scopo di rendere comparabili i risultati ottenuti per le diverse U.U. e, conseguentemente, per i C.S. censiti, le normative specificano quali siano le regole a cui riferirsi per effettuare il conteggio del numero dei piani; pertanto, in presenza di unità edilizie le cui facciate abbiano un'estensione notevolmente superiore rispetto a quelle delle cellule maggiormente ricorrenti è necessario procedere frazionando la lunghezza totale del fronte osservato in un numero di piani equivalenti, valutati in relazione alla misura della campata media riscontrata e alle condizioni costruttive di ciascun fabbricato.

25. Il sotto-indice V_c , relativo alle Vulnerabilità Costruttive, è ottenuto componendo le incidenze relative ai vuoti edilizi, agli anditi aperti, agli accostamenti verticali o alle sovrapposizioni orizzontali di elementi costruttivi tradizionali e moderni, ai volumi cavi, al rapporto tra vuoti e pieni e all'altezza libera rilevata. Vedi DONATELLI 2022, pp. 119-134.



Figura 9. Veduta, da ovest, del tratto centrale di via della Lungara, con in primo piano i volumi che saturano il grande lotto destinato al complesso di Santa Croce delle Scalette (da *Google Earth*). Nel caso specifico, il vuoto edilizio lungo i fronti non è stato valutato come una vulnerabilità costruttiva .

dei dissesti e dalla diffusione del degrado materico di facciate e coperture. Le condizioni attuali dell'edificio storico sono quindi tradotte in termini numerici che vengono visualizzati all'interno della piattaforma *web* anche attraverso l'elaborazione di *layer* associati al perimetro georeferenziato di ciascuna Unità Urbana, di colore differente a seconda del rischio di perdita a cui è esposto il bene, con o senza i fattori di confidenza. Quest'ultimi, come ampiamente illustrato in altra sede²⁶, restituiscono il livello di attendibilità dei dati e pertanto sono formulati tenendo conto dell'ispezionabilità del sito (fc_c) e della visibilità dei fronti (fc_v). Il loro valore, tendenzialmente alto per tutte le U.U. censite, è difatti determinato dalla configurazione del tessuto, caratterizzato, come già specificato, da ampie corti interne agli isolati e da spazi aperti privati, perlopiù interdetti, oltre che dalla consistente presenza di facciate intonacate o comunque rivestite²⁷.

Difatti, proprio a causa dei rivestimenti e dell'inaccessibilità dei luoghi, non sempre è stato possibile apprezzare le modifiche apportate ai sistemi costruttivi storici e pertanto le percentuali relative alle sostituzioni moderne degli elementi costruttivi sono sempre basse o pari a 0%, sia in riferimento alle UU-A sia alle UU-EPRS analizzate. Sono limitati i casi in cui sono state osservate Unità Edilizie Moderne di Sostituzione (U_{ems}) e tra questi ricadono due delle componenti dell'aggregato UU-A 7, ossia l'edificio seriale novecentesco corrispondente alla particella catastale 244 e la palazzina realizzata nella seconda metà del XX secolo individuata al catasto con il numero 182 (fig. 10).

A differenza delle altre due Unità Urbane richiamate come esempio, la UU-A 7 è inoltre caratterizzata da un numero maggiore di sopelevazioni/superfetazioni e pertanto l'incidenza relativa è più alta e pari al 21-40%. Nonostante si rilevi una buona persistenza di coperture tradizionali, sia a tetto con elementi lignei sia a terrazzo, non si esclude il loro parziale rifacimento con interventi che riguardano anche solo gli strati di protezione (i coppi per le falde o il mattonato per le superfici piane)²⁸. Tale evidenza accresce l'incidenza calcolata per le riparazioni moderne, con valori che difficilmente superano il 60% pur considerando anche la riconfigurazione/ riparazione/ tamponatura dei vani storici e l'apertura di nuove bucatore (fig. 11). Più alte sono le percentuali che indicano la sostituzione dei

26. Vedi nota 3.

27. I valori di fc_c si attestano attorno a 1,5, tolti i rari casi in cui è approssimabile all'unità, come avvenuto per la UU-A 25 e la UU-EPRS 10 perché completamente accessibili. Il rapporto fra il numero dei piani con rivestimento e quello totale dei piani ispezionabili (fc_v) tende invece quasi sempre a 2, mitigando l'affidabilità dei riscontri ottenuti a favore di sicurezza.

28. Lo stato di conservazione/alterazione delle coperture, non sempre osservabile dal basso, è stato valutato considerando le immagini satellitari attuali, offerte da *Google Maps* e *Google Earth*, e le ortofoto risalenti nel tempo, consultabili tramite i visualizzatori del Geoportale Nazionale al sito: <http://www.pcn.minambiente.it/viewer/> (ultimo accesso 25 novembre 2023).

rivestimenti e degli infissi degli isolati esaminati, variabili tra il 41 e l'80% (fig. 12). Questo intervallo non si riferisce, per ovvie ragioni, alla Villa Farnesina, tutelata attraverso l'apposizione di un vincolo che ne dichiara l'interesse culturale a partire dal primo quarto del secolo scorso²⁹. Difatti, nonostante si abbia piena contezza dei restauri compiuti³⁰, non si è ritenuto opportuno riportare un elevato grado di trasformazione delle finiture su cui si è comunque agito impiegando materiali, tecniche e coloriture tradizionali o comunque compatibili con lo strato di supporto sottostante (fig. 13).

I dati inseriti nel paragrafo che si conclude con l'elaborazione dell'Indice di Vulnerabilità (I_v) risentono dell'impossibilità di determinare con esattezza la storicità dei sistemi costruttivi adottati. Gli accostamenti verticali e le sovrapposizioni orizzontali tra elementi costruttivi differenti sono stati valutati con valori che oscillano tra l'1 e il 20%, supponendo soluzioni moderne per i volumi sopraelevati o aggiunti della UU-A 8 e della UU-A 25 e considerando le unità sopraccitate di recente realizzazione dell'UU-A 7. Lungo i fronti di quest'ultima si è registrata la presenza del porticato posto al pian terreno della particella 244, condizione del tutto particolare che ha modificato l'indicatore relativo ai volumi cavi, nella maggior parte dei casi nullo (fig. 14). Quasi sempre pari allo 0% è stata calcolata anche l'incidenza che descrive il rapporto esistente tra vuoti e pieni sulle facciate. Per quanto riguarda i problemi strutturali, nei casi esaminati, così come per i restanti edifici, si sono evidenziate perlopiù lesioni poco profonde nei pressi dei vani di porte e finestre o, con andamento diagonale, lungo le fasce di piano, insieme a limitate deformazioni della muratura, il più delle volte dovute ai carichi eccessivi dei piani sopraelevati. Con valori medi compresi tra il 21 e il 60% si è indicata la diffusione delle patologie di degrado delle superfici che, seppur non significative, richiederebbero comunque calibrati interventi di manutenzione.

Considerazioni conclusive

Come è noto, la gestione delle problematiche conservative del costruito storico diffuso richiede, soprattutto in relazione alla necessità di valutazione del rischio di perdita dei beni, strumenti operativi capaci di offrire una lettura efficace, seppur sintetica, delle caratteristiche materiche e costruttive delle fabbriche e delle loro vulnerabilità. Affinché tale restituzione risulti fondata, è necessario disporre di dati oggettivi, comparabili e, pertanto, adeguatamente formalizzati, condizione tanto più

29. Vedi <http://vincoliinrete.beniculturali.it/VincoliInRete/vir/vincolo/listavincoliperbene359929> (ultimo accesso 26 novembre 2023).

30. Vedi MARCONI 1987 e, relativamente agli ultimi restauri condotti, BELARDI 2010.



Figura 10. Veduta, da sud-ovest, dell'Unità Urbana Aggregato 7 (da *Google Earth*). Si distinguono i fabbricati che derivano da interventi condotti nel XX secolo, successivi al 1919, individuati come Unità edilizie moderne di sostituzione (U_{ems}).



Figura 11. Unità edilizia posta all'angolo NO dell'aggregato UU-A 7, tra la via e il vicolo della Penitenza. L'edificio residenziale è riconducibile alle tipologie seriali del XVII-XVIII sec. Tuttavia, si rilevano interventi quali la tamponatura del vano finestra, l'apertura di nuove bucatore e il rifacimento della copertura. Tali evidenze concorrono alla formazione del sotto-indice relativo alle cosiddette "riparazioni moderne" (foto A. Martello, 2023).



Figura 12. Unità Edilizie prospettanti su via di San Francesco di Sales (UU-A 8). Dall'osservazione delle superfici rivestite, si è supposta la sostituzione dell'intonaco originario della U.E. posta in primo piano (foto A. Martello, 2023).

rilevante in un contesto complesso come quello italiano, caratterizzato da un'elevata pericolosità territoriale e da un patrimonio fortemente stratificato.

In questo quadro, la Carta del Rischio si afferma come un sistema consolidato, di natura multicriteriale, capace di coniugare la cultura del restauro con le potenzialità offerte dall'informatizzazione. L'articolazione scalare dei tracciati schedografici, l'impiego di vocabolari controllati e la possibilità di associare i dati raccolti a indicatori computabili consentono non solo di strutturare la conoscenza dell'edilizia storica, ma anche di generare, a partire da essa, livelli informativi utili all'elaborazione di indirizzi operativi fondati su parametri verificabili e costantemente aggiornabili.

L'affidabilità dei modelli della CdR, messi a punto secondo un approccio *top-down*, è garantita da una fase di verifica sul campo che, più che rappresentare un momento conclusivo, si configura come un passaggio critico e ricorsivo. Le procedure di validazione hanno consentito infatti di misurare la coerenza tra l'impianto metodologico del sistema, i risultati ottenuti e la realtà del costruito, verificandone la tenuta in ambiti eterogenei e adattandone l'impiego alle specificità territoriali.

L'applicazione del sistema all'ambito urbano della Lungara ha rappresentato un banco di prova significativo e ha costituito un'occasione per affinare il flusso di lavoro in relazione a nuove condizioni di rilevamento poste dalle peculiarità dell'edificato esaminato. Come si è visto, a partire dalle operazioni di individuazione e perimetrazione delle Unità Urbane, sono emerse alcune criticità interpretative che hanno imposto una riflessione sulle categorie previste dalla piattaforma, in particolare nella distinzione tra UU-A e UU-EPRS. È apparso evidente, infatti, come, in fase valutativa, il criterio dell'autonomia costruttiva dovesse prevalere su quello funzionale, al fine di evitare rappresentazioni parziali o fuorvianti delle dinamiche in atto.

Per lo stesso motivo, si è proceduto a un'attenta calibratura delle incidenze, evitando forzature che potessero compromettere la coerenza degli indici restituiti rispetto all'evidenza costruttiva, nei casi in cui le attività di rilievo hanno evidenziato limiti posti dalla ridotta ispezionabilità e leggibilità di alcuni edifici. L'inaccessibilità delle informazioni, legata sia all'interdizione delle corti interne sia alla presenza di rivestimenti e intonaci, è stata mitigata attraverso l'attribuzione di specifici fattori di confidenza, nonché mediante il ricorso a fonti eterogenee, ampiamente disponibili per il caso in esame. In questo modo è stato possibile gestire con maggiore consapevolezza lacune e incertezze, senza compromettere la spedività delle operazioni di rilevamento/compilazione, e ottenendo valori di trasformazione e vulnerabilità in linea con quanto riscontrato in occasione dei sopralluoghi.

Concludendo, uno degli esiti più rilevanti dell'esperienza condotta e, conseguentemente, del

presente contributo risiede, quindi, nella possibilità di documentare puntualmente le scelte operative e i criteri adottati, partecipando all'affinamento del sistema e alla sua riproducibilità in altri contesti, simili o differenti. La piattaforma si conferma così uno strumento flessibile e incrementale, capace di accogliere ulteriori sviluppi orientati sia alla gestione nel tempo degli aspetti conservativi, sia all'integrazione con altri domini informativi, in coerenza con gli obiettivi di lungo periodo del sistema.



Figura 13. Il fronte nord della Villa Farnesina. L'impostazione cromatica generale delle facciate della villa è dovuta ai restauri condotti sotto la direzione dell'Arch. G. Belardi per la S.B.A.P. della città di Roma (foto M. Caperna, 2023).



Figura 14. Unità Edilizie prospettanti su via dei Riari (UU-A 7). La presenza del portico al piano terra della particella catastale n. 244 incide sulla valutazione delle “Vulnerabilità costruttive” e partecipa alla definizione dell’indice globale I_v (foto M.G. Ercolino, 2023).

Bibliografia

- BELARDI 2010 - G. BELARDI, *Villa Chigi alla Lungara: il restauro dei prospetti*, Edizioni Quasar, Roma 2010.
- CAPERNA 2013 - M. CAPERNA, *La Lungara 1. Storia e vicende edilizie dell'area tra il Gianicolo e il Tevere*, Quasar, Roma 2013.
- CAPERNA 2020 - M. CAPERNA, *La Lungara 2. Spazio urbano, conservazione e restauro*, Quasar, Roma 2020.
- CROCCO 2002 - M. CROCCO, *Roma, via Felice: da Sisto V a Paolo V*, Kappa, Roma 2002.
- DE LUCA 2020 - E. DE LUCA, *L'area della Suburra in età moderna. Genesi ed evoluzione dell'abitato*, Quasar, Roma 2020.
- DONATELLI 2022 - A. DONATELLI, *Modelli di calcolo per le trasformazioni e modifiche moderne, per la vulnerabilità delle Unità Urbane e dei Fronti Edilizi*, in FIORANI ET ALII 2022, pp. 119-134.
- FIORANI 2019 - D. FIORANI, *Il futuro dei centri storici. Digitalizzazione e strategia conservativa*, Quasar, Roma 2019.
- FIORANI ET ALII 2019 - D. FIORANI, S. CUTARELLI, A. DONATELLI, A. MARTELLO, *Vulnerabilità dei centri storici. Validazione della scheda Unità Urbana del sistema Carta del Rischio tramite la sua applicazione su due centri laziali*, in «Materiali e Strutture. Problemi di conservazione», n.s., VIII (2019), 16, pp. 69-97.
- FIORANI ET ALII 2022 - D. FIORANI, M. ACIERNO, A. DONATELLI, S. CUTARELLI, A. MARTELLO, *Centri storici, digitalizzazione e restauro. Applicazioni e prime normative della Carta del Rischio*, Sapienza University Press, Roma 2022.
- FIORANI ET ALII 2023 - D. FIORANI, M. ACIERNO, A. DONATELLI, A. MARTELLO, S. CUTARELLI, *Centri storici, digitalizzazione e restauro. Applicazioni e ultime normative della Carta del Rischio*, Sapienza University Press, Roma 2023.
- MANFREDI 2018 - T. MANFREDI, *Le vie del Tevere: completamenti e nuovi insediamenti urbani tra via Giulia e via della Lungara*, ROCA DE AMICIS 2018, pp. 239-246.
- MARCONI 1987 - P. MARCONI, *Le facciate della Farnesina Chigi e del Palazzo Massimo alle Colonne. Osservazioni sulle tecniche esecutive e problemi di conservazione e restauro*, in M. FAGIOLO, M.L. MADONNA (a cura di), *Baldassarre Peruzzi: pittura, scena, e architettura nel Cinquecento*, Istituto della Enciclopedia italiana, Roma 1987, pp. 699-718.
- MARTELLO 2023 - A. MARTELLO, *Approfondimenti sulle Unità Urbane-Aggregato e sulle Unità Urbane-EPRS attraverso la loro applicazione a un brano del centro storico romano*, in FIORANI ET ALII 2023, pp. 235-253.
- PETRUCCI 1995 - G. PETRUCCI, *Una strada del Seicento a Roma. La via di S. Francesco a Ripa*, Kappa, Roma 1995.
- ROCA DE AMICIS 1993 - A. ROCA DE AMICIS, *I Pantani e la Suburra: forme della crescita edilizia a Roma tra XVI e XVII secolo*, in M. COPPA (a cura di), *Inediti di storia dell'urbanistica*, Gangemi, Roma 1993, pp. 103-145.
- ROCA DE AMICIS 2018 - A. ROCA DE AMICIS (a cura di), *Roma nel primo Seicento. Una città moderna nella veduta di Matthäus Greuter*, Artemide, Roma 2018.
- TUCCI 2001 - P.L. TUCCI, *L'area del Templum Pacis all'inizio del Seicento: dall'orto della Torre dei Conti alla "Contea"*, in «Archivio della Società romana di storia patria», 2001, 124, pp. 211-276.



Interoperability between BIM and GIS systems. Methodological issues and first applications in the Lungara area of Rome

Silvia Cutarelli ("Sapienza" Università di Roma)

Data sharing between BIM and GIS systems represents an interesting research perspective, aimed at connecting information referred to different scales, useful for planning, architectural design and construction management. However, experiences concluded so far highlighted the difficulty of relating native formats and open standards; at an operational level, software integration still presents clear problems, because the export of geometric entities and data assigned to them requires several intermediate steps or involves a substantial loss of information. Studies on integrated digital systems for conservation of historical architecture are mostly related to a single building and often oriented to use existing interchange platforms for data transfer; the experience on area of Lungara, in Rome, focus on construction of a BIM model interoperable with forms of Risk Map through the informatic ontologies. The first phase of work aims at recording in Revit projects the information of Urban Units forms and checking the data that, vice versa, can be imported into SIT from the three-dimensional model. This application raises methodological and operational issues, highlighting the complexity of creating interoperable systems useful for protection and conservation of historical centers.

Historic Preservation Foundation Classes

Procedure e ontologie per l'interoperabilità nella tutela del patrimonio storico architettonico

www.archistor.unirc.it

ArchistoR EXTRA 12 (2024)

ISSN 2384-8898

Supplemento di ArchistoR 19/2023

ISBN 978-88-85479-39-5

DOI: 10.14633/AHR442



L'interoperabilità fra i sistemi BIM e GIS. Questioni di metodo e prime applicazioni sull'area della Lungara a Roma

Silvia Cutarelli

La condivisione dei dati fra i sistemi BIM e GIS costituisce, nel panorama attuale della ricerca, una prospettiva di approfondimento piuttosto recente, che appare particolarmente interessante per la possibilità d'integrare, tramite gli strumenti digitali, informazioni riconducibili a scale diverse, utili alla pianificazione, alla progettazione e alla gestione del costruito¹. Le sperimentazioni condotte sinora afferiscono ad ambiti disciplinari eterogenei e sono orientate a molteplici finalità, legate per esempio al contenimento dei consumi energetici², alla realizzazione o alla manutenzione delle infrastrutture³, alla sicurezza degli edifici⁴, alla conservazione del patrimonio culturale⁵; queste esperienze hanno evidenziato la difficoltà di relazionare i *dataset* geometrici e semantici dei sistemi, espressi tramite

1. Lo studio presentato in questo contributo è stato elaborato nel 2023. Una disamina analitica delle ricerche svolte negli anni precedenti, suddivise in base alle fasi di applicazione dei sistemi integrati nel ciclo di vita degli edifici, è pubblicata in MA, REN 2017.

2. Vedi per esempio il progetto DIMMER (District Information Modeling and Management for Energy Reduction), sviluppato dal Politecnico di Torino, vedi: DEL GIUDICE, OSELLO, PATTI 2014; OSELLO *ET ALII* 2017.

3. Vedi: BARAZZETTI, BANFI 2017; BARAZZETTI 2021.

4. Vedi: BOGUSLAWSKI *ET ALII* 2015; AMIREBRAHIMI *ET ALII* 2016.

5. Vedi le ricerche inerenti alla Gran Torre di Oristano (VACCA *ET ALII* 2018) oppure alle chiese di S. Maria dei Miracoli a Venezia, vedi MATRONE *ET ALII* 2019; e di S. Lorenzo a Norcia, vedi COLUCCI *ET ALII* 2020.

formati nativi o *standards* aperti. Sul piano operativo, pertanto, l'integrazione fra i software BIM e GIS presenta ancora criticità evidenti, poiché richiede procedure semi-automatiche, semplificazioni o integrazioni manuali, esportazioni e importazioni di *file* che comportano spesso procedure onerose o perdite consistenti d'informazioni; sotto il profilo concettuale, l'approccio all'interoperabilità fra GIS e BIM sottende metodi differenti, orientati alla trasformazione dei dati oppure alla costruzione di un modello intermedio, volto a collegare, unificare o integrare ambedue i sistemi⁶. Alla prima strategia sono riconducibili le piattaforme d'interscambio come FME (*Feature Manipulation Engine*); traducendo le informazioni espresse dai formati supportati, fra i quali sono gli standard IFC e GML, essa è utilizzata sovente per contestualizzare le architetture storiche, restituite in ambiente BIM, nell'ambito urbano circostante, rappresentato tramite *software GIS opensource*. Le tecnologie del *web* semantico mirano invece a costituire un modello distinto, collegato a quelli di origine tramite identificativi.

L'esperienza in corso sull'area della Lungara, a Roma, è diretta a realizzare un modello BIM interoperabile con i tracciati schedografici ordinati nella sezione Centri Storici della Carta del Rischio del Ministero della Cultura attraverso le ontologie informatiche⁷; nella cornice delle ricerche dirette a realizzare sistemi integrati per la conservazione del costruito, questa iniziativa presenta alcune specificità, legate alla scala urbana della rappresentazione, al tipo di approccio nella condivisione delle informazioni, all'orientamento bidirezionale del flusso dei dati. La fase iniziale del lavoro, in particolare, è finalizzata a registrare le informazioni relative alle Unità Urbane nei progetti generati tramite Autodesk Revit e a verificare i dati che, viceversa, possono essere importati nel SIT dal modello tridimensionale; il grado d'interoperabilità ricercato è in prima istanza di tipo sintattico, poiché la sperimentazione mira a definire innanzitutto una struttura di dati comune a entrambi i modelli⁸. L'applicazione presentata in questo contributo ha sollevato questioni di natura metodologica e

6. I diversi approcci all'interoperabilità fra GIS e BIM sono sintetizzati in J. HANNA, R. PREMARATNE, *Integration of Building Information Modelling (BIM) and Geographic Information System (GIS). The GeoBIM Benchmark case study*, Master thesis of Science in Civil Engineering, supervisor C.I. D.Gaetani, co-supervisor F. Migliaccio, Politecnico di Milano A.A. 2019-20, pp. 43-71, <https://hdl.handle.net/10589/166941> (ultimo accesso 24 novembre 2023) cui si rimanda per la bibliografia di riferimento.

7. Vedi FIORANI, ACIERNO in questo volume, pp. 32-70.

8. I livelli d'interoperabilità – assente (L0), tecnica (L1), sintattica (L2), semantica (L3), pragmatica (L4), dinamica (L5) e concettuale (L6) – sono elencati in una scala che identifica, per ciascuno, la premessa, le informazioni e i contenuti definiti, il dominio, l'obiettivo, la capacità, la descrizione e i requisiti prescritti, vedi WANG, TOLK, WANG 2009.

operativa, evidenziando la complessità di relazionare sistemi utili alla gestione e alla tutela della città storica.

L'impostazione del modello a scala urbana della Lungara e la parametrizzazione delle informazioni

La rappresentazione dell'ambito urbano della Lungara si è basata, per gli aspetti geometrici, su elaborati redatti a scale diverse (figg. 1-2), perlopiù fruibili in formati vettoriali, come la Carta Tecnica Regionale Numerica della Regione Lazio⁹ (1:5000), la planimetria catastale del Comune di Roma (1:2000), i rilievi pubblicati negli studi di Maurizio Caperna¹⁰ (1:500 e 1:200). La necessità di combinare fonti grafiche eterogenee ha indotto a impostare su Autocad una pianta di riferimento unitaria¹¹, poi collegata ai progetti di Revit; la raffigurazione degli elevati è stata invece avviata tramite i prospetti disponibili. In mancanza di elaborati, le altezze sono state desunte dagli *shapefile* della CTRN del I Municipio e il modello è stato infine confrontato con le viste tridimensionali di Google Maps e Google Earth.

Nella zona in esame, estesa fra gli argini del Tevere e le pendici del Gianicolo, sono stati schedati sulla Carta del Rischio undici edifici puntuali (UU-EPRS) e ventiquattro aggregati (UU-A), distribuiti lungo l'asse viario principale e sui percorsi secondari, quasi tutti paralleli o perpendicolari a via della Lungara (fig. 3); la Salita di S. Onofrio si dispone invece con giacitura obliqua a definire la testata settentrionale dell'area compresa fra le porte Settimiana e Santo Spirito. Gli isolati, spesso articolati da numerose unità edilizie, presentano configurazioni differenti, prevalentemente lineari o con cortili, e risultano privi di vuoti edilizi o di anditi di separazione fra le fabbriche; l'unico collegamento, a sud, è costituito dalla porta urbana. Le caratteristiche del tessuto urbano hanno condizionato l'identificazione delle componenti schedate nel SIT¹² e la modellazione in ambiente BIM a queste connessa; la possibilità di scambiare dati è infatti legata a un'impostazione coerente dei due sistemi, al fine di garantire un flusso di lavoro efficace e adeguato a implementare, successivamente, le informazioni riferite alle Unità Urbane con quelle riconducibili alle Unità e ai Fronti Edilizi (UE e FE).

9. CTRN 5K, fogli nn. 374062 e 374101, <http://dati.lazio.it/catalog/it/dataset/carta-tecnica-regionale-2002-2003-5k-roma/resource/0b337b95-7949-41da-bba2-147aed798a3a> (ultimo accesso 20 ottobre 2023).

10. Vedi: CAPERNA 2013; CAPERNA 2020, in particolare pp. 133-147.

11. Il perimetro di isolati, edifici, pertinenze e assi viari è stato ricavato dalla sovrapposizione della pianta dei setti murari a quella catastale, mentre le altimetrie del terreno, specificate nella carta topografica, sono state interpolate con le quote dei fronti.

12. Vedi MARTELLO 2023; vedi anche CAPERNA, ERCOLINO, MARTELLO in questo volume, pp. 184-215.



Figura 1. Stralcio della Carta Tecnica Regionale Numerica (CTRN) relativa all'area della Lungara, Roma, <http://dati.lazio.it/catalog/it/dataset/carta-tecnica-regionale-2002-2003-5k-roma/resource/ee089059-bdec-499c-a91c-a3f2a71f32ce> (ultimo accesso 20 ottobre 2023).

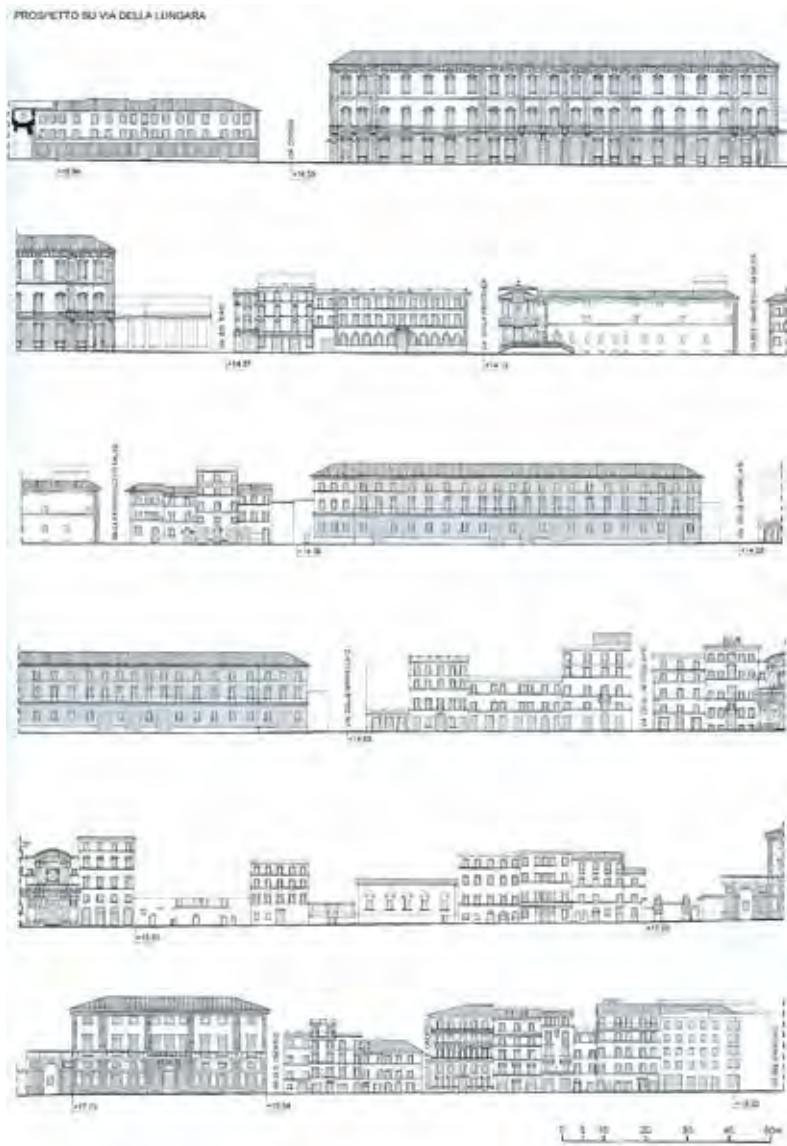


Figura 2. Rilievo del prospetto nord-est di via della Lungara (da CAPERNA 2020, p. 141).



Figura 3. Le Unità Urbane schedate nella Carta del Rischio: rappresentazione degli indici globali di modifiche e trasformazioni (da MARTELLO 2023, p. 246).

I progetti di Revit sono stati così relazionati secondo una struttura gerarchica simile ai tracciati della sezione Centri Storici della Carta del Rischio, collegati digitalmente e diretti ad approfondire la lettura del costruito con approccio interscalare¹³ (fig. 4).

La condivisione delle informazioni implica l'allineamento dei parametri delle famiglie di sistema e caricabili ai campi delle schede per consentire il trasferimento dei dati; la mappatura è diretta a esplicitare i contenuti descrittivi del GIS, registrati nelle tabelle alfanumeriche e solo in parte restituiti graficamente da forme geometriche bidimensionali. Punti, linee e poligoni georeferenziano su una base satellitare estesa a tutto il territorio nazionale i *layers* informativi inerenti a limiti amministrativi, cartografia di base, beni culturali, centri storici e siti UNESCO, vulnerabilità e rischio, pericolosità sismica, idrogeologica e ambientale-aria: i perimetri di Centri Storici, Unità Urbane, Spazi Urbani e Unità Edilizie, in particolare, individuano la posizione geografica e i rispettivi indici di vulnerabilità e trasformazione; i Fronti Edilizi, invece, sono localizzati da segmenti.

La parametrizzazione delle schede UU-A e UU-EPRS è stata avviata tramite l'analisi dei campi, enumerati in una tabella e qualificati in base a tipo, vocabolario, ripetitività, obbligatorietà ed eventuale lunghezza del testo¹⁴ (figg. 5-7); i valori numerici sono stati precisati secondo le classi di Revit, che distingue le dimensioni (lunghezza, area, volume ecc.) dai tipi generici (intero o numero, se caratterizzato da cifre decimali). Ciascuna voce è stata quindi associata alla componente fisica cui si riferisce e alla famiglia virtuale che la rappresenta per specificare le informazioni archiviate nel *database* sul modello tridimensionale.

Nonostante sembrino immediate e automatiche, queste operazioni esigono cautela, poiché coinvolgono il processo di modellazione, intesa come «lavoro concettuale di definizione del modello, astruendo i suoi dati, processi e vincoli dalla realtà»¹⁵. Esse risultano inoltre subordinate alle impostazioni del *software* e alla restituzione di dati di *output*: la creazione di abachi, etichette di testo e filtri grafici è infatti gestita su Revit in base alle categorie selezionate per parametrizzare le voci dei

13. La ricerca preliminare alla definizione dei modelli schedografici e all'ingegnerizzazione sulla Carta del Rischio è illustrata in FIORANI 2019.

14. Le caratteristiche dei parametri sono esplicitate nelle norme di compilazione delle schede (FIORANI ET ALII 2022, pp. 60-97; FIORANI ET ALII 2023, pp. 47-82). I campi dei tracciati, di tipo testuale, numerico o booleano, sono qualificati da vocabolari aperti o chiusi; essi possono essere ripetitivi e obbligatori per il salvataggio della scheda o per il calcolo degli indici di vulnerabilità e trasformazione. La lunghezza è indicata solo per le voci descritte da vocabolari aperti o da liste di termini che comprendono l'opzione "altro"; selezionando quest'ultima, infatti, si aggiunge nella scheda informatica una stringa di testo libero.

15. WANG, TOLK, WANG 2009, p. 1 (traduzione dell'autore).

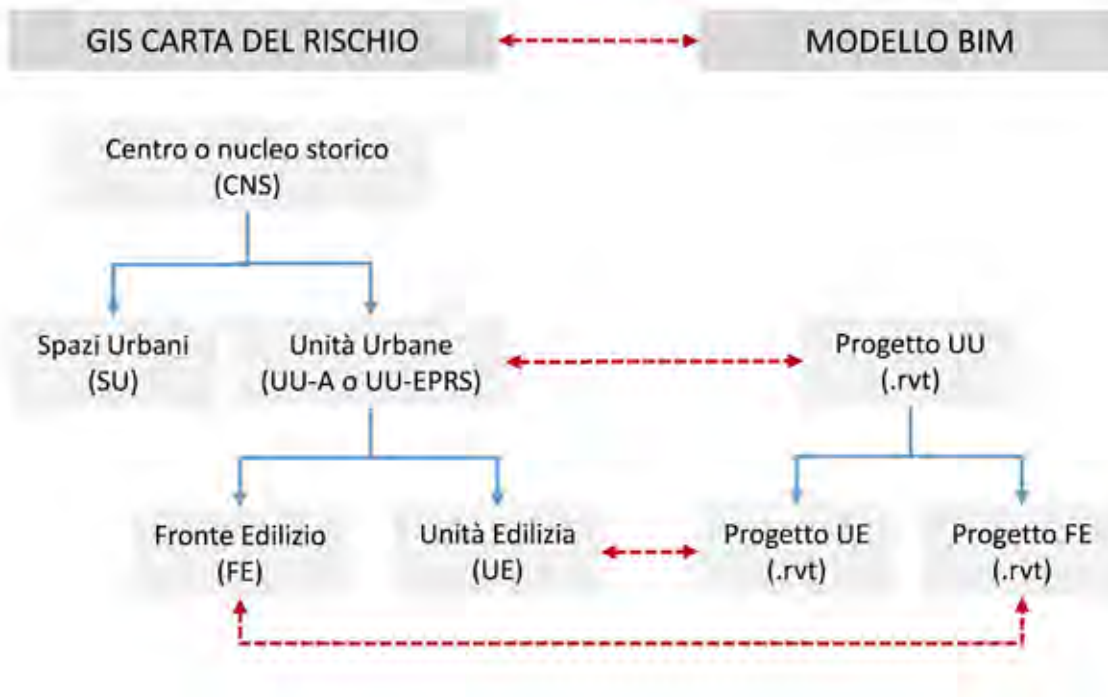


Figura 4. Grafico delle relazioni fra i tracciati della Carta del Rischio e i corrispondenti progetti elaborati su Revit (elaborazione S. Cutarelli, 2023).

tracciati; la costruzione di elenchi e computi è riservata solo a famiglie e istanze che risiedono in un progetto, mentre è consentita la visualizzazione di eventuali modelli collegati.

Dalla ricognizione dei campi delle schede UU si rileva come i soli attributi sovrapponibili fra i due sistemi siano costituiti dai dati dimensionali e dalle coordinate geografiche¹⁶; le voci prive di corrispondenze, più numerose, vanno invece inserite attraverso parametri generati *ex-novo* e associati alle famiglie di sistema o caricabili. La mancanza di categorie rappresentative delle componenti urbane dell'edificato, come gli aggregati e i relativi fronti, i collegamenti e i vuoti edilizi, induce ad assegnare i relativi attributi a famiglie di solito usate per scopi differenti; i parametri riferiti alle Unità Edilizie, pertinenti alla scala architettonica, sono invece riconducibili alle masse concettuali.

Le sezioni Localizzazione, Anagrafica e Sistema Edilizio delle schede UU-A e UU-EPRS sono costituite da campi perlopiù correlati all'intera Unità Urbana, che specificano il centro storico di riferimento, l'ubicazione, i dati catastali, l'identificazione, l'utilizzazione, l'impianto, i dati dimensionali e quantitativi generali, l'accessibilità alle informazioni. L'attribuzione di queste informazioni alla categoria dei gruppi, popolata da istanze generate tramite l'unione delle masse, riproduce in ambito virtuale una condizione aderente alla realtà costruita; nondimeno, l'ipotesi è stata esclusa perché la mancanza di filtri grafici associati a questa famiglia avrebbe pregiudicato la visualizzazione delle informazioni. I parametri delle Unità Urbane sono stati ricondotti anch'essi alle masse concettuali, così come le voci pertinenti ai collegamenti edilizi, che identificano il tipo di connessione e l'isolato collegato; per evitare la sovrapposizione di dati relativi a componenti diverse dell'edificato sono stati tuttavia generati tipi distinti, denominati masse UU-A, UU-EPRS, UE e C.

Le funzioni generiche e specifiche vengono invece espresse da campi ripetitivi e richiedono pertanto la disponibilità di istanze diverse per localizzare valori molteplici di uno stesso parametro; se gli attributi fossero assegnati a una singola entità, quale per esempio la massa UU-A, le singole stringhe di testo dovrebbero essere ripartite da un separatore. Tale condizione stabilisce una relazione biunivoca fra i due sistemi senza aggiungere informazioni ulteriori a quelle archiviate nella Carta del Rischio; assegnando i parametri ai pavimenti di massa UE, invece, le destinazioni d'uso sono state specificate in relazione ai singoli piani del modello tridimensionale.

La localizzazione dei vuoti edilizi e l'identificazione delle Unità Edilizie confinanti individuano

16. Latitudine e longitudine del centroide delle Unità Urbane, basate sul sistema di riferimento WGS84, sono automaticamente acquisite nella piattaforma a valle della perimetrazione del poligono sulla mappa satellitare; in ambiente BIM, invece, i valori delle coordinate del punto di rilevamento sono definite tramite un apposito comando (Gestisci/Posizione progetto/Coordinate/Specifica coordinate del punto) o anche attraverso il Servizio di localizzazione Internet (Gestisci/Posizione progetto/Località).

Numero	Parametro	Tipo di parametro	Lunghezza	Ripetitivo	Obbligat.	Vocabolario	Componente fisica associata	Famiglia associata UU-A	Famiglia associata UU-EPS
Localizzazione									
1	Regione	Testo	—	—	—	—	Unità urbana	Massa - UU-A	Massa - UU-EPS
2	Provincia	Testo	—	—	—	—	Unità urbana	Massa - UU-A	Massa - UU-EPS
3	Comune	Testo	—	—	—	—	Unità urbana	Massa - UU-A	Massa - UU-EPS
4	Denominazione centro storico	Testo	200	—	—	—	Unità urbana	Massa - UU-A	Massa - UU-EPS
5	Località	Testo	200	—	—	—	Unità urbana	Massa - UU-A	Massa - UU-EPS
6	Organiz. fisico-amn. di pertinenza	Testo	100	—	—	A	Unità urbana	Massa - UU-A	Massa - UU-EPS
7	Viabilità confinante	Testo	300	—	—	A	Unità urbana	Massa - UU-A	Massa - UU-EPS
8	Prospicienza	Testo	500	—	—	A	Unità urbana	Massa - UU-A	Massa - UU-EPS
9	Tipo Catasto	Testo	—	—	—	C	Unità urbana	Massa - UU-A	Massa - UU-EPS
10	Comune catastale	Testo	—	—	—	C	Unità urbana	Massa - UU-A	Massa - UU-EPS
11	Sezione	Testo	5	—	—	A	Unità urbana	Massa - UU-A	Massa - UU-EPS
12	Foglio	Testo	100	—	—	A	Unità urbana	Massa - UU-A	Massa - UU-EPS
13	Atto	Intero	4	—	—	A	Unità urbana	Massa - UU-A	Massa - UU-EPS
14	Elementi di uscite	Testo	2000	—	—	A	Unità urbana	Massa - UU-A	Massa - UU-EPS
15	Isola	Testo	250	—	—	A	Unità urbana	Massa - UU-A	Massa - UU-EPS
16	Coordinati	—	—	—	—	—	Unità urbana	Genetic/Posizione progetto/Coordinate	Genetic/Posizione progetto/Coordinate
17	Mitologia di pertinenza	Testo	2000	—	—	A	Unità urbana	Massa - UU-A	Massa - UU-EPS
Anagrafica									
18	Definizione	S/No	—	—	—	C	Unità urbana	Massa - UU-A	Massa - UU-EPS
19	Identificazione	Intero	10	—	—	A	Unità urbana	Massa - UU-A	Massa - UU-EPS
20	Identificazioni UE	Testo	10	—	—	A	Unità edilizia	Massa UE	Massa UE
21	Denominazione	Testo	100	—	—	A	Unità urbana	Massa - UU-A	Massa - UU-EPS
22	Stato di utilizzazione attuale	Testo	—	—	—	C	Unità urbana	Massa - UU-A	Massa - UU-EPS
23	Periodo di utilizzazione attuale	Testo	—	—	—	C	Unità urbana	Massa - UU-A	Massa - UU-EPS
24	Funzioni, indicazione generica	Testo	100	—	—	C	Ruoli unità edilizie	Pavimenti massa UE	Pavimenti massa UE
25	Funzioni, indicazione specifica	Testo	100	—	—	C	Ruoli unità edilizie	Pavimenti massa UE	Pavimenti massa UE
Sistema edilizio									
26	Configurazione impianto	Testo	100	—	—	C	Unità urbana	Massa - UU-A	Massa - UU-EPS
27	Attacco a terra	S/No	—	—	—	C	Unità urbana	Massa - UU-A	Massa - UU-EPS
28	Ricinto	S/No	—	—	—	C	Unità urbana	Massa - UU-A	Massa - UU-EPS
29	Andi	S/No	—	—	—	C	Unità urbana	Massa - UU-A	Massa - UU-EPS
30	Numero UU collegata	Intero	—	—	—	C	Unità urbana	Massa - UU-A da Abaco	Massa - UU-A da Abaco
31	Unità urbana collegata	Testo	—	—	—	C	Collegamento fra UU	Massa - C	Massa - C
32	Tipo collegamento	Testo	300	—	—	C	Collegamento fra UU	Massa - C	Massa - C
33	N° accessi a quota terreno	Intero	6	—	—	A	Unità edilizia	Massa - UE	Massa - UE
34	N° accessi a quota terreno UE	Intero	6	—	—	A	Unità edilizia	Massa - UE	Massa - UE
35	N° unità edilizie rilevabili	Intero	6	—	—	A	Unità edilizia	Massa - UU-A da Abaco	Massa - UU-A da Abaco
36	UE rilevabile	S/No	—	—	—	C	Unità edilizia	Massa - UE	Massa - UE
37	N° unità abitative	Intero	6	—	—	A	Unità edilizia	Massa - UE	Massa - UE
38	Numero unità abitative UE	Intero	6	—	—	A	Unità edilizia	Massa - UU-A da Abaco	Massa - UU-A da Abaco
39	N° unità non abitative	Intero	6	—	—	A	Unità edilizia	Massa - UE	Massa - UE
40	Numero unità non abitative UE	Intero	6	—	—	A	Unità edilizia	Massa - UU-A da Abaco	Massa - UU-A da Abaco
41	Altezza minima	Lunghezza	4,2	—	—	A	Unità urbana	Massa - UE	Massa - UE
42	Altezza massima	Lunghezza	4,2	—	—	A	Unità urbana	Massa - UE	Massa - UE
43	Larghezza	Lunghezza	4,2	—	—	A	Unità urbana	Massa - UE	Massa - UE
44	Lunghezza	Lunghezza	4,2	—	—	A	Unità urbana	Massa - UE	Massa - UE
45	Volume fuori terra	Volume	6,2	—	—	A	Unità urbana	Massa - UU-A	Massa - UU-EPS
46	Volume dentro terra	Volume	6,2	—	—	A	Unità urbana	Massa - UU-A	Massa - UU-EPS
47	Superficie coperta lorda	Area	6,2	—	—	A	Unità urbana	Massa - UU-A	Massa - UU-EPS
48	Superficie coperta lorda UE	Area	6,2	—	—	A	Unità edilizia	Massa - UE	Massa - UE
49	Numero volumi edilizi esistenti	Intero	10	—	—	A	Unità urbana	Massa - UU-A da Abaco	Massa - UU-A da Abaco
50	Localizzazione	Testo	150	—	—	A	Venti dell'UU	Parte delle aree	Parte delle aree
51	Unità edilizie confinanti	Testo	200	—	—	A	Venti dell'UU	Parte delle aree	Parte delle aree
52	residenza volumetrica	Testo	—	—	—	per N	Unità urbana	Massa - UU-A	Massa - UU-EPS
53	incidenza distributiva	Testo	—	—	—	per N	Unità urbana	Massa - UU-A	Massa - UU-EPS
54	incidenza anditi aperti per UE	Testo	—	—	—	per N	Unità urbana	Massa - UU-A	Massa - UU-EPS
55	Specifiche e note	Testo	2000	—	—	A	Unità urbana	Massa - UU-A	Massa - UU-EPS
56	Numero piani ipotizzati	Intero	6	—	—	A	Unità edilizia	Massa - UE	Massa - UE
57	Numero piani ipotizzati UE	Intero	6	—	—	A	Unità edilizia	Massa - UE	Massa - UE
58	Numero piani totali	Intero	6	—	—	A	Unità edilizia	Massa - UU-A da Abaco	Massa - UU-A da Abaco
59	Numero piani totali UE	Intero	6	—	—	A	Unità edilizia	Massa - UE	Massa - UE
60	fattore di confidenza/responsabilità	Numero	1,2	—	—	Automatico su CSE	Unità urbana	Massa - UU-A	Massa - UU-EPS

Sistema edilizio-fronti UE									
53	Denominazione toponomastica	Testo	200	si	si	A	Tipici edilizi A	Muri da superficie/Assemble	Muri da superficie/Assemble
57	Linea di gronda	Testo	100	si	si	C	Sezioni ad arco	Muri da superficie/Assemble	Muri da superficie/Assemble
58	Valumi cavi	Testo	100	si	si	C	Valumi cavi da fronti	Muri da superficie/Assemble	Muri da superficie/Assemble
54	Valumi emarginati	Testo	100	si	si	C	Valumi emarginati da fronti	Muri da superficie/Assemble	Muri da superficie/Assemble
55	Valumi aggettanti	Testo	100	si	si	C	Valumi aggettanti da fronti	Muri da superficie/Assemble	Muri da superficie/Assemble
56	Numero piani totale	Intero	6	si	si	A	Piani da UE o da fronti	Muri da superficie/Assemble	Muri da superficie/Assemble
57	Numero piani max f.t.	Intero	6	si	si	A	Piani da UE o da fronti	Muri da superficie/Assemble	Muri da superficie/Assemble
58	Numero piani min f.t.	Intero	6	si	si	A	Piani da UE o da fronti	Muri da superficie/Assemble	Muri da superficie/Assemble
59	Numero piani interrati	Intero	6	si	si	A	Piani da UE o da fronti	Muri da superficie/Assemble	Muri da superficie/Assemble
60	Distanza attacco a terra	Numero	3,2	si	si	A	Piani da UE o da fronti	Muri da superficie/Assemble	Muri da superficie/Assemble
61	Dalivello quote di accesso a terra min e max	Numero	3,2	si	si	A	Piani da UE o da fronti	Muri da superficie/Assemble	Muri da superficie/Assemble
62	Specifiche e note	Testo	2000	si	si	A	Unità urbana	Massa - UE-A	Massa - UE-EPR
Sistema costruttivo e di trasformazione									
63	Numero UE totali	Intero	6	si	si	A	Unità urbana	Massa - UE-A da Abaco	Massa - UE
64	UE storica	Intero	7	si	si	C	Unità edilizia	Massa - UE	Massa - UE
64	Numero UE moderne di uso	Intero	6	si	si	A	Unità urbana	Massa - UE-A da Abaco	Massa - UE-EPR
65	Incidenza delle UE moderne di uso	Testo	-	si	si	C	Unità urbana	Massa - UE-A	Massa - UE-EPR
66	Elementi costruttivi storici	Testo	100	si	si	C	Strutture in elevato	Massa - UE-A con separatore	Massa - UE-EPR con separatore
67	Elementi costruttivi moderni di trasf	Testo	100	si	si	C	Strutture in elevato	Massa - UE-A con separatore	Massa - UE-EPR con separatore
68	Incidenza ai costr. moderni di trasf	Testo	-	si	si	C	Unità urbana	Massa - UE-A	Massa - UE-EPR
68	Coperture	Testo	100	si	si	C	Elementi eterogenei	Massa - UE-A con separatore	Massa - UE-EPR con separatore
69	Superfici/superf. moderne	Testo	100	si	si	C	Elementi eterogenei	Elementi eterogenei	Elementi eterogenei
71	Livello	Intero	3	si	si	A	Elementi eterogenei	Elementi eterogenei	Elementi eterogenei
72	Incidenza superfici/superf. moderne	Testo	-	si	si	C	Unità urbana	Massa - UE-A	Massa - UE-EPR
73	Sostituzioni moderne	Testo	100	si	si	C	Elementi eterogenei	Massa - UE-A con separatore	Massa - UE-EPR con separatore
74	Incidenza sostituzioni moderne	Testo	-	si	si	C	Unità urbana	Massa - UE-A	Massa - UE-EPR
75	Risparmiatori moderni	Testo	100	si	si	C	Elementi eterogenei	Massa - UE-A con separatore	Massa - UE-EPR con separatore
76	Incidenza risparmiatori moderni	Testo	-	si	si	C	Unità urbana	Massa - UE-A	Massa - UE-EPR
77	Specifiche e note	Testo	2000	si	si	A	Unità urbana	Massa - UE-A	Massa - UE-EPR
76	Investimenti storici	Testo	100	si	si	C	Superfici di strutture in elevato	Massa - UE-A con separatore	Massa - UE-EPR con separatore
78	Decorazioni storiche	Testo	100	si	si	C	Elementi eterogenei	Massa - UE-A con separatore	Massa - UE-EPR con separatore
80	Incidenza sostituzioni moderne deriv	Testo	-	si	si	C	Unità urbana	Massa - UE-A	Massa - UE-EPR
81	Infissi storici esterni	Testo	100	si	si	C	Elementi eterogenei	Porte e Finestre	Porte e Finestre
82	Infisso storico esterno	Testo	-	si	si	C	Elementi eterogenei	Porte e Finestre	Porte e Finestre
83	Altezza vano	Lunghezza	-	si	si	A	Elementi eterogenei	Porte e Finestre	Porte e Finestre
84	Larghezza vano	Lunghezza	-	si	si	A	Elementi eterogenei	Porte e Finestre	Porte e Finestre
85	Altezza soglia	Lunghezza	-	si	si	A	Elementi eterogenei	Finestre	Finestre
87	Incidenza sostituzioni moderne infissi	Testo	-	si	si	C	Unità urbana	Massa - UE-A	Massa - UE-EPR
87	Specifiche e note	Testo	2000	si	si	A	Unità urbana	Massa - UE-A	Massa - UE-EPR
88	Impianti esterni	Testo	100	si	si	C	Eterogenei	Massa - UE-A con separatore	Massa - UE-EPR con separatore
89	Numero piani ipotizzati UE	Intero	6	si	si	A	Unità edilizia	Massa - UE-A da Abaco	Massa - UE-EPR
90	Numero piani totali	Intero	6	si	si	A	Unità edilizia	Massa - UE-A da Abaco	Massa - UE-EPR
91	Numero piani ipotizzati UE	Intero	6	si	si	A	Unità edilizia	Massa - UE	Massa - UE
92	Numero piani totali UE	Intero	6	si	si	A	Unità edilizia	Massa - UE	Massa - UE
93	Numero piani con rivestimento	Intero	6	si	si	A	Unità edilizia	Massa - UE-A da Abaco	Massa - UE-EPR
94	Numero piani con rivestimento UE	Intero	6	si	si	A	Unità edilizia	Massa - UE	Massa - UE
95	Numero piani ispezionabili	Intero	6	si	si	A	Unità edilizia	Massa - UE-A da Abaco	Massa - UE-EPR
96	Numero piani ispezionabili UE	Intero	6	si	si	A	Unità edilizia	Massa - UE	Massa - UE
97	Fattore di conf./visibilità	Numero	1,2	si	si	A	Unità edilizia	Massa - UE	Massa - UE
98	Fattore di conf./visibilità	Numero	1,2	si	si	A	Unità edilizia	Massa - UE-A	Massa - UE-EPR
99	IMT globale c/c	Numero	-	si	si	A	Unità edilizia	Massa - UE-A	Massa - UE-EPR
100	IMT globale s/c	Numero	-	si	si	A	Unità edilizia	Massa - UE-A	Massa - UE-EPR
101	IMT riv e int c/c	Numero	-	si	si	A	Unità edilizia	Massa - UE-A	Massa - UE-EPR
102	IMT riv e int s/c	Numero	-	si	si	A	Unità edilizia	Massa - UE-A	Massa - UE-EPR
103	IMT cost c/c	Numero	-	si	si	A	Unità edilizia	Massa - UE-A	Massa - UE-EPR
104	IMT cost s/c	Numero	-	si	si	A	Unità edilizia	Massa - UE-A	Massa - UE-EPR

Stato di conservazione									
92	Incidenza accostamenti verticali	Testo	---	---	per IV	C	Unità urbana	Massa - UU-A	Massa - UU-EPRS
93	Incidenza sovrapposizioni orizzontali	Testo	---	---	per IV	C	Unità urbana	Massa - UU-A	Massa - UU-EPRS
94	Incidenza discontinuità costruttive	Testo	---	---	per IV	C	Unità urbana	Massa - UU-A	Massa - UU-EPRS
95	Incidenza visuale cave	Testo	---	---	per IV	C	Unità urbana	Massa - UU-A	Massa - UU-EPRS
96	Incidenza vuoti sui piani	Testo	---	---	per IV	C	UU-come tosta	Massa - UU-A	Massa - UU-EPRS
97	Tipo di divisioni strutturali	Testo	100	si	si	C	Elementi ortogonali	Massa - UU-A con separatore	Massa - UU-EPRS con scambiatore
98	Distribuzione diastrutti	Testo	---	---	per IV	C	Unità urbana	Massa - UU-A	Massa - UU-EPRS
99	Ulc con diastrutti strutturali	Si/No	---	---	---	C	Unità edilizia	Massa - UE	Massa - UE
99	Incidenza cavi strutt.	Testo	---	---	per IV	C	Unità urbana	Massa - UU-A	Massa - UU-EPRS
100	Incidenza degrado delle superfici	Testo	---	---	per IV	C	Unità urbana	Massa - UU-A	Massa - UU-EPRS
101	Tipo di degrado delle coperture	Testo	100	si	si	C	Coperture piane	Massa - UU-A con separatore	Massa - UU-EPRS con separatore
102	Efficacia insonorizzazione acq. piov.	Testo	---	---	---	C	Unità urbana	Massa - UU-A	Massa - UU-EPRS
103	Incidenza degrado coperture	Testo	---	---	per IV	C	Unità urbana	Massa - UU-A	Massa - UU-EPRS
104	UE con coperture degradate	Si/No	---	---	---	C	Unità edilizia	Massa - UE	Massa - UE
104	Numero piani ipotizzati	Intero	6	---	---	A	Unità urbana	Massa - UU-A da Abaco	Massa - UU-EPRS
105	Numero piani ipotizzati UE	Intero	6	---	---	A	Unità edilizia	Massa - UE	Massa - UE
105	Numero piani totali	Intero	6	---	---	A	Unità urbana	Massa - UU-A da Abaco	Massa - UU-EPRS
106	Numero piani con investimento	Intero	6	---	---	A	Unità urbana	Massa - UU-A da Abaco	Massa - UU-EPRS
107	Numero piani con investimento UE	Intero	6	---	---	A	Unità edilizia	Massa - UE	Massa - UE
107	Numero piani ipotizzabili	Intero	6	---	---	A	Unità urbana	Massa - UU-A da Abaco	Massa - UU-EPRS
108	Numero piani ipotizzabili UE	Intero	6	---	---	A	Unità edilizia	Massa - UE	Massa - UE
109	Fattore di conf./visibilità	Numero	1,2	---	---	Automatico su CdR	Unità urbana	Massa - UU-A	Massa - UU-EPRS
109	Fattore di conf./visibilità	Numero	1,2	---	---	Automatico su CdR	Unità urbana	Massa - UU-A	Massa - UU-EPRS
110	IV globale c/c	Numero	---	---	---	Automatico su CdR	Unità urbana	Massa - UU-A	Massa - UU-EPRS
110	IV globale s/c	Numero	---	---	---	Automatico su CdR	Unità urbana	Massa - UU-A	Massa - UU-EPRS
110	IV finiture c/c	Numero	---	---	---	Automatico su CdR	Unità urbana	Massa - UU-A	Massa - UU-EPRS
110	IV finiture s/c	Numero	---	---	---	Automatico su CdR	Unità urbana	Massa - UU-A	Massa - UU-EPRS
110	IV strutture c/c	Numero	---	---	---	Automatico su CdR	Unità urbana	Massa - UU-A	Massa - UU-EPRS
110	IV strutture s/c	Numero	---	---	---	Automatico su CdR	Unità urbana	Massa - UU-A	Massa - UU-EPRS
Normative									
111	Rapporto proprietà pubblici/priv	Testo	50	---	---	A	Unità urbana	Massa - UU-A	Massa - UU-EPRS
112	Specifiche a note	Testo	2000	---	---	A	Unità urbana	Massa - UU-A	Massa - UU-EPRS
113_01	Provedimenti di tutela: tipo	Testo	---	si	si	C	Unità edilizia	Massa - UE	Massa - UE
113_02	Data vincolo	Testo	50	si	---	A	Unità edilizia	Massa - UE	Massa - UE
113_03	Dati catastali	Testo	100	si	---	A	Unità edilizia	Massa - UE	Massa - UE
113	Specifiche a note	Testo	2000	---	---	A	Unità urbana	Massa - UU-A	Massa - UU-EPRS

A pagina 226, figura 5. Nella pagina precedente, figura 6. In questa pagina, figura 7. Allineamento dei campi delle schede UU-A e UU-EPRS ai parametri del modello BIM; nella colonna 'Numero' sono evidenziati gli attributi sovrapponibili (verde), generati *ex-novo* (arancio) e ausiliari (rosso). I parametri numerici trascritti in rosso sono stati riclassificati secondo le impostazioni di Revit; le componenti fisiche e le famiglie associate a ciascuna voce sono caratterizzate da toni di grigio e da colori distinti (elaborazioni S. Cutarelli, 2023).

la disposizione nell'aggregato di componenti "negative" come i crolli, le demolizioni o le mancate costruzioni; l'opportunità di estrarre dal modello BIM una pianta che ne registri la distribuzione suggerisce di associare questi attributi alle aree, una famiglia impiegata per indicare le destinazioni e le superfici dei vani. Una singola vista bidimensionale consente così di esplicitare la denominazione delle Unità Edilizie e i valori dei parametri relativi ai vuoti tramite etichette di testo, ottenendo un allegato richiesto nella Carta del Rischio¹⁷.

La modellazione per masse delle Unità Urbane consente di computare i dati dimensionali, quali per esempio l'altezza minima e massima, la superficie coperta lorda o il volume complessivo; i conteggi relativi ai collegamenti e ai vuoti edilizi si possono invece sviluppare in appositi abachi. L'aggiunta di due parametri ausiliari alle masse UE¹⁸ permette inoltre di predisporre i calcoli automatici delle Unità Edilizie rilevabili, storiche e totali, come pure di verificare l'incidenza delle UE moderne di sostituzione; per semplificare le operazioni di rilevamento e controllo delle informazioni acquisite sono stati previsti ulteriori attributi, come il numero delle unità abitative e non abitative o dei piani ipotizzati, totali, con rivestimento e ispezionabili delle Unità Edilizie.

I campi della sezione Sistema Edilizio-Fronti U.U. sono espressi nel modello BIM tramite gli assiemi; questa categoria, utile a predisporre combinazioni univoche di elementi, è stata adattata per riunire i muri da superficie delle masse UE e rappresentare le quinte stradali degli isolati.

Le voci delle sezioni Sistema Costruttivo e Stato di Conservazione sono in parte assegnate alle masse rappresentative dell'intera Unità Urbana; fra queste si annoverano per esempio le incidenze delle trasformazioni moderne, delle debolezze costruttive, dei fenomeni di degrado e dissesto. I campi relativi a elementi costruttivi storici o moderni di trasformazione, coperture, sostituzioni e riparazioni moderne, rivestimenti e decorazioni storiche, impianti esterni, tipi di danno alle strutture e alle coperture si legano invece a componenti edilizie specifiche o eterogenee, che esulano spesso da relazioni univoche o da rispondenze effettive con le famiglie del BIM. L'assegnazione di questi parametri alle famiglie di Revit è ostacolata da aspetti diversi, legati a criteri di scomposizione disomogenei o alla mancanza di categorie corrispondenti; le informazioni speditive registrate nella Carta del Rischio, d'altra parte, non sempre risultano idonee a essere tradotte nei parametri di famiglie concepite per una scala di maggiore dettaglio. Tali attributi sono stati così ricondotti genericamente

17. Le norme di compilazione delle schede UU-A prescrivono la redazione obbligatoria di una mappa generale dell'Unità Urbana con la perimetrazione e l'identificazione delle Unità Edilizie costitutive; l'elaborato va inserito negli allegati della scheda cartacea e informatica, FIORANI *ET ALII* 2023, p. 69.

18. I parametri, denominati UE rilevabile e UE storica, sono di tipo booleano.

alle masse UU, suddividendo i valori ripetitivi tramite un punto e virgola. Di contro, le sopraelevazioni e le superfetazioni moderne sono state rappresentate tramite la famiglia dei modelli generici per distinguere eventuali aggiunte dal costruito storico; questa famiglia caricabile, utilizzata per creare famiglie personalizzate, è caratterizzata in ambiente di progetto da parametri affini ai campi del GIS, come il tipo e il livello di posizionamento.

Le informazioni della sezione Normative, che esplicitano sia il rapporto complessivo fra la proprietà pubblica e privata sia i provvedimenti di tutela dei singoli edifici, sono state rispettivamente assegnate alle masse di tipo UU e UE.

Il flusso di lavoro

La modellazione in ambiente BIM delle Unità Urbane è stata sperimentata tramite due prototipi di aggregato per valutare vantaggi e problematiche nella rappresentazione, nella computazione e nella visualizzazione delle informazioni (fig. 8). Il primo modello è costituito da famiglie rappresentative di componenti volumetriche ed elementi costruttivi dell'intera Unità Urbana; porte, finestre, masse UU, UE e C, opportunamente parametrizzate, sono caricate nei progetti UU-A e UU-EPRS, ove le componenti edilizie sono restituite anche dalle famiglie di sistema come i muri, i pavimenti e i tetti. Questa soluzione consente di predisporre abachi generali relativi a tutti gli elementi costitutivi dell'aggregato, di ottenere i conteggi previsti nelle schede e riferiti per esempio al numero degli accessi o dei piani; essa consente inoltre di verificare le incidenze relative alle trasformazioni moderne o ai fenomeni di degrado e dissesto. I muri, creati in base ai livelli di ciascuna Unità Edilizia, sono infatti corredati da parametri booleani aggiuntivi, che specificano il carattere ipotizzato, ispezionabile o rivestito dell'elemento e l'eventuale presenza di trasformazioni moderne o di stati di danno. I conteggi dei valori positivi o negativi sono utili a desumere i rapporti numerici rispetto al totale e, indirettamente, a valutare le classi percentuali delle incidenze. La rappresentazione, tuttavia, risulta incongruente quando i piani – che nelle schede di Carta del Rischio costituiscono le unità di misura per il calcolo – sono caratterizzati da strutture puntuali o intelaiate oppure frazionati in “piani equivalenti”¹⁹, per esempio nel rilevamento delle case in linea o degli edifici specialistici di notevoli dimensioni. L'astrazione dell'elemento virtuale risulta eccessiva, poiché l'istanza del muro creata su Revit schematizza una componente costruttiva differente o soltanto una campata di media lunghezza, priva di una corrispondenza effettiva con l'elemento reale. Le impostazioni di questo

19. MARTELLO 2023, pp. 244-243; FIORANI ET ALII 2023, pp. 56, 62.

modello permettono quindi di localizzare puntualmente le informazioni del tracciato schedografico, di visualizzare graficamente e di computare i valori assegnati ai parametri degli elementi; il flusso dei dati dal BIM al GIS è univoco e non evidenzia particolari criticità, mentre nella direzione opposta i valori dei campi ripetitivi, come le funzioni o i tipi di coperture, devono essere assegnati manualmente alle entità corrispondenti. La rappresentazione di aggregati costituiti da numerose unità edilizie, tuttavia, risulta complessa nella gestione dei livelli e delle istanze; la disponibilità di progetti aggiornati, relativi a singoli edifici, comporterebbe inoltre una revisione separata e differita di quello dell'Unità Urbana. La soluzione risulta pertanto onerosa e per alcuni aspetti antitetica rispetto al coordinamento implicito in una rappresentazione interscalare.

Il secondo prototipo è popolato esclusivamente dalle componenti volumetriche e dalle famiglie di aggregazione, come le masse UU, UE, C, i modelli generici e gli assiemi dei muri da superficie; la modellazione degli elementi costruttivi è invece demandata alle Unità Edilizie collegate. Tale soluzione impedisce di elencare e computare automaticamente negli abachi le istanze di porte, finestre, coperture, muri e solai, che risiedono esclusivamente nei progetti UE; implica inoltre una gestione coerente dei *file* collegati a quello dell'Unità urbana e richiede un controllo attento delle componenti comuni a edifici contigui, come per esempio i muri d'ambito. La rappresentazione risulta semplificata, meno esplicativa e impegnativa della precedente; il flusso di lavoro, tuttavia, sembra più efficace, poiché la disarticolazione dei progetti consente eventuali implementazioni riferite a singoli edifici. Le famiglie degli elementi costruttivi, d'altra parte, sono più adatte a registrare le informazioni contenute nelle schede di Unità e Fronti Edilizi, che descrivono il costruito storico alla scala architettonica e propongono una classificazione più aderente alle famiglie del BIM²⁰; sebbene meno analitico nella rappresentazione, nella computazione e nella visualizzazione, pertanto, tale modello sembra più idoneo del precedente a restituire un ambito urbano esteso, anche per evitare una sovrapposizione con i contenuti archiviati nei tracciati di livello inferiore.

Il modello BIM della Lungara

La modellazione in ambiente BIM della Lungara è stata avviata con la creazione di parametri condivisi, allineati ai campi della Carta del Rischio, archiviati in un file .txt esterno e suddivisi in gruppi ordinati sulla base degli elementi fisici e delle entità astratte corrispondenti²¹ (fig. 9); sono stati poi

20. Vedi CUTARELLI 2023.

21. I parametri condivisi si possono utilizzare in famiglie e progetti distinti, come pure trascrivere in abachi ed etichette

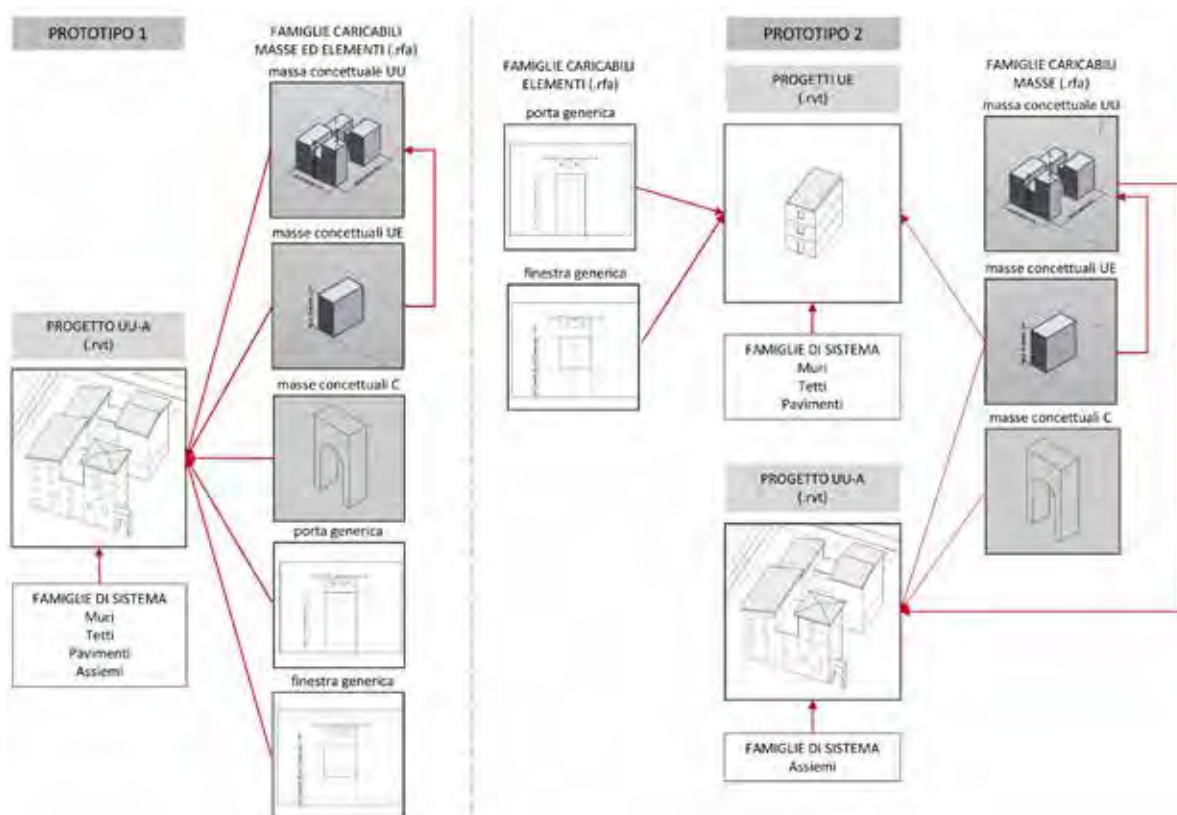


Figura 8. Schemi dei due prototipi di aggregato (elaborazione di S. Cutarelli, 2023).

generati i diversi tipi di masse, di modelli generici²² e di etichette di testo, come pure i due *templates* idonei a modellare le Unità Urbane aggregato e puntuali, aggiungendo i parametri e impostando gli abachi, i conteggi, le viste.

I modelli delle famiglie caricabili e i *templates* sono utili a disporre di riferimenti preimpostati, ripetibili e omogenei; essi aiutano a ridurre i tempi di lavorazione e indirizzano a una gestione coerente di eventuali rettifiche e integrazioni, facilitando la cooperazione fra enti e soggetti coinvolti nella rappresentazione di un ambito urbano.

I progetti, popolati da famiglie e istanze opportunamente parametrizzate, sono corredati dai dati estratti dalle schede e collegati infine in un modello federato, che comprende le Unità Urbane disposte fra la porta Settimiana e il carcere di Regina Coeli (fig. 10); le fabbriche non censite nella Carta del Rischio sono rappresentate da masse caratterizzate soltanto da informazioni geometriche. Nei progetti delle Unità Urbane schedate, invece, sono stati definiti i livelli corrispondenti ai piani dell'aggregato e generati i pavimenti di massa delle Unità Edilizie per localizzare le funzioni; al fine di posizionare i modelli generici indicativi di sopraelevazioni e superfetazioni, le differenze di quota relative ai singoli edifici sono state risolte a questa scala tramite un parametro che specifica la distanza dal livello²³. Informazioni più dettagliate, relative ai piani di ciascuna fabbrica, sono invece demandate ai progetti BIM delle Unità e dei Fronti Edilizi.

Gli abachi sono organizzati in sezioni parzialmente sovrapponibili alla Carta del Rischio per facilitare la trascrizione delle informazioni: gli elenchi relativi a dati dimensionali, collegamenti e vuoti edilizi, unità edilizie rilevabili e storiche, unità abitative e non abitative registrano i conteggi previsti nelle schede e quelli ausiliari di controllo; i soli parametri calcolati tramite formule algebriche sono i fattori di confidenza, che quantificano la possibilità di ispezionare i piani degli aggregati e di rilevarne le evidenze costruttive²⁴.

In questa fase della sperimentazione, il trasferimento unidirezionale dei dati dal GIS al BIM è stato

di testo. I gruppi di parametri, che saranno implementati con le voci delle schede UE e FE, sono Collegamenti/Masse, Fronti/Assiemei, Piani UE/Pavimenti di massa, Porte e finestre, Superfetazioni/Modelli generici, UE/Masse, UU/Masse, Vuoti/Aree.

22. I tipi di modelli generici corrispondono ai termini elencati nel vocabolario chiuso del campo "Soprelevazioni/superfetazioni moderne" (FIORANI ET ALII 2023, p. 79) piano sopraelevato, volume sopraelevato, terrazza, tamponatura di logge/terrazze, volume in aggetto balcone, tettoia.

23. L'attributo, riferito alle singole istanze della famiglia dei modelli generici, è denominato "Quota altimetrica da livello".

24. Le equazioni, che includono i parametri relativi ai piani ipotizzati, totali, ispezionabili e con rivestimento, sono state impostate nel tipo di famiglia caricabile Massa UU-A.

realizzato con modalità semiautomatiche, esportando tramite il *plug-in* Di Roots un *file* in formato .xlsx; gli abachi sono trascritti in fogli di lavoro distinti, collegati al *database* del modello. Modificando i dati e ricaricandoli nel progetto, i valori dei parametri delle singole istanze, univocamente identificate da un ID, risultano immediatamente aggiornati. La disponibilità di questo applicativo consente una connessione con i *file* Excel eventualmente estratti dal GIS e rende possibile l’inserimento delle informazioni anche da parte di operatori non specializzati nell’uso del BIM; sui fogli di calcolo, inoltre, si possono impostare funzioni matematiche e logiche oppure aggiungere elenchi di termini, uniformati ai vocabolari chiusi delle schede UU. In attesa che sia compiuto il lavoro sulle ontologie, i *file* estratti dai modelli delle Unità Urbane consentono di stabilire, con modalità artigianali, le relazioni interne fra le famiglie del BIM e quelle esterne con le classi del GIS.

La rappresentazione grafica è gestita nelle viste del modello tramite filtri assegnati per categorie; questi sono associati a regole che selezionano parametri e valori specifici oppure raggruppano attributi diversi in un unico intervallo. Campiture e colori consentono di distinguere per esempio i tipi di masse sulla base di filtri caratterizzati da un’unica regola²⁵ (fig. 11-12); il grado e il periodo di utilizzazione, come pure le incidenze relative al sistema edilizio, al sistema costruttivo e di trasformazione o allo stato di conservazione esigono invece due livelli di istruzioni per individuare le masse rappresentative delle Unità Urbane²⁶ e i valori dei parametri corrispondenti ai termini dei vocabolari chiusi²⁷. Gli indici di trasformazione e vulnerabilità sono infine visualizzati in base alle classi “alta”, “media” e “bassa” specificate nella Carta del Rischio; le regole di filtraggio consentono infatti di circoscrivere i valori numerici inferiori a 0.3, compresi fra 0.3 e 0.7, superiori a 0.7²⁸.

Il motivo assegnato ai modelli generici consente di evidenziare le sopraelevazioni e le superfetazioni

25. La regola di filtraggio attribuita alla categoria masse individua il parametro “Nome del Tipo” e l’operatore “uguale”, che consentono di selezionare rispettivamente i valori “UU-A”, “UU-EPRS” e “C”.

26. Parametro: “Nome del tipo”; operatore: “inizia per”; valore: “UU”. La presenza di masse indicative di componenti diverse – Unità Urbane, Unità Edilizie e collegamenti – esige infatti una restrizione preliminare, diretta a selezionare le istanze corredate da tali attributi.

27. FIORANI *ET ALII* 2022, pp. 60-97; FIORANI *ET ALII* 2023, pp. 47-82. Le percentuali relative al grado di utilizzazione attuale sono restituite dagli intervalli: 0-25%; 25-50%; 50-75%; 75-100%; 0-50%; 50-100%; 0-75%; 100%. I termini riferiti al periodo di utilizzazione specificano un arco temporale non precisabile, compreso fra 0-10 anni, 10-30 anni e maggiore di 30 anni. Le incidenze sono infine espresse tramite le classi percentuali: 0%; 1-20%; 21-40%; 41-60%; 61-80%; 81-100%. I nomi dei parametri associati alle Masse sono quindi variabili, mentre l’operatore utile a individuare il valore di ciascun parametro è “uguale”.

28. DONATELLI 2022, p. 130. Gli operatori idonei a delimitare i tre intervalli sono “minore di”, “maggiore o uguale a”, “minore o uguale a” e “maggiore di”.

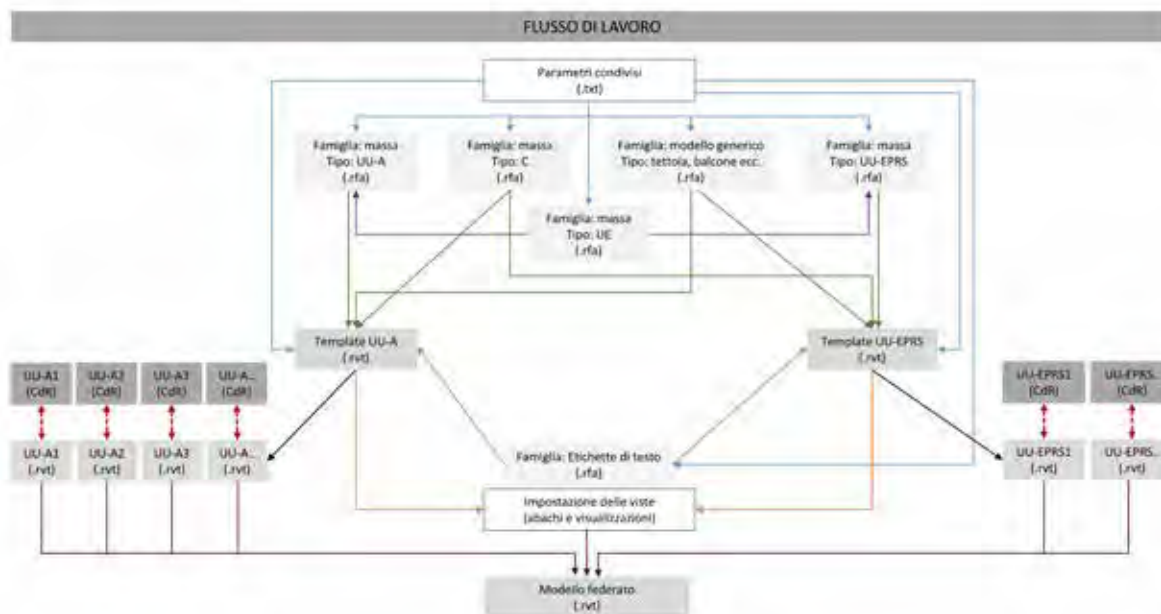


Figura 9. Grafico del flusso di lavoro adottato nel modello della Lungara (elaborazione S. Cutarelli, 2023).

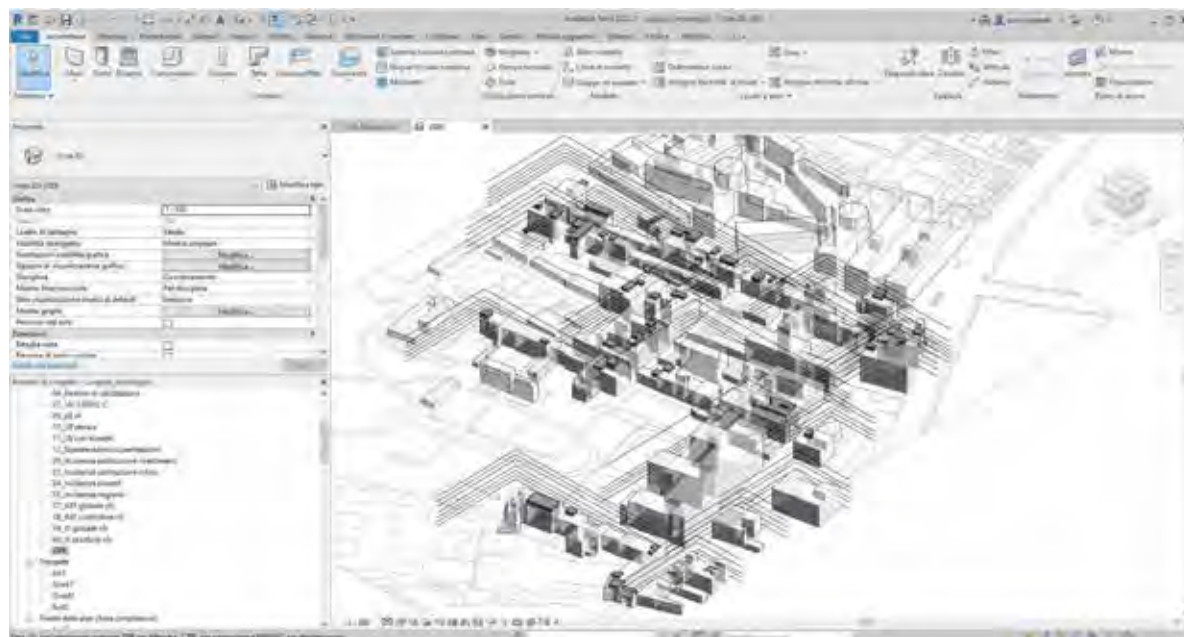


Figura 10. Vista generale del progetto federato elaborato su Revit (elaborazione S. Cutarelli, 2023).

(fig. 13), eventualmente distinguibili in base al tipo tramite filtri ulteriori. Le campiture grafiche delle Unità Edilizie esplicitano l'accessibilità, il carattere storico o di sostituzione della fabbrica, la presenza di vincoli²⁹ (fig. 14); i provvedimenti di tutela, le date e i riferimenti catastali dell'edificio sono indicati in pianta tramite etichette di testo. Le destinazioni d'uso sono infine restituite da filtri e annotazioni relativi ai pavimenti di massa UE, che identificano rispettivamente le funzioni generiche, quelle specifiche e le denominazioni delle Unità Edilizie (fig. 15).

L'impostazione delle viste palesa una corrispondenza evidente fra gli aspetti grafici e descrittivi delle rappresentazioni digitali; le informazioni registrate tramite vocabolari chiusi o parametri booleani vengono espresse sovente da campiture, elencate in legende equivalenti a liste di termini; i campi aperti sono invece visualizzati tramite etichette utili a esplicitare i dati in forma scritta.

Le viste bidimensionali e tridimensionali sono state generate nei *templates*, definite nei progetti relativi a ciascuna Unità Urbana e infine collegate a quelle corrispondenti nel modello federato; planimetrie e assonometrie della Lungara mostrano simultaneamente i valori dei parametri e i contenuti dei tracciati, restituendo un quadro di sintesi che è attualmente limitato nella Carta del Rischio ai soli indici. Le impostazioni che presiedono al collegamento delle viste prefigurano inoltre la possibilità di sovrapporre i livelli informativi del GIS tramite visualizzazioni relative alle schede di Unità e Fronti Edilizi.

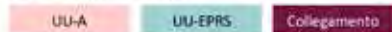
Conclusioni

L'integrazione dei dati archiviati nella Carta del Rischio e nel modello di Revit appare utile ad approfondire la conoscenza della città storica, riproducendo in ambito digitale il passaggio dalla dimensione territoriale del GIS alla scala urbana e architettonica del BIM; l'interoperabilità fra i sistemi facilita l'implementazione, la verifica e l'aggiornamento delle informazioni. Il modello tridimensionale della Lungara è utile per esempio a desumere dalle geometrie parametriche le dimensioni delle Unità Urbane ed Edilizie; la disponibilità di abachi analitici consente inoltre di verificare i conteggi previsti nei tracciati e di rilevare eventuali incongruenze, per esempio relative al numero di Unità Urbane collegate, accessi a quota terreno, unità edilizie rilevabili, totali e moderne di sostituzione, unità abitative, vuoti edilizi. L'assegnazione degli attributi a categorie rappresentative

29. I parametri booleani ausiliari "UE rilevabile" e "UE storica" sono associati a regole che escludono gli altri tipi di masse e identificano tramite l'operatore "uguale" i valori "sì" e "no". Gli edifici tutelati sono invece evidenziati in pianta tramite una campitura che seleziona, tramite l'operatore "ha un valore", tutte le masse in cui il parametro "Provvedimento di tutela: tipo" è stato compilato.



Parametro: Nome del tipo



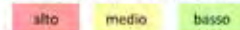
Parametro: 021_A_Grado di utilizzazione attuale



Parametro: 100_SC_Incidenza del degrado delle superfici



Parametro: 110_SC_IV globale cfc





Nella pagina precedente, in alto, figura 11 e in basso figura 12. Viste tridimensionali dei tipi di Unità Urbane e dei collegamenti, del grado di utilizzazione attuale, dell'incidenza del degrado delle superfici, dell'indice globale di vulnerabilità valutato con i fattori di confidenza. In questa pagina, figura 13. Viste tridimensionali relative a sovrelevazioni/superfetazioni e ai tipi storici o di sostituzione delle Unità Edilizie (elaborazioni S. Cutarelli, 2023).

di componenti fisiche del costruito permette infine di localizzare e di visualizzare le informazioni tramite filtri, regole, motivi grafici e viste collegate.

A fronte di evidenti vantaggi, tuttavia, lo scambio reciproco dei dati presenta alcune criticità. Le impostazioni definite in sede di parametrizzazione orientano talvolta il flusso automatico delle informazioni nel verso BIM-GIS. Il rapporto fra i campi della Carta del Rischio e i parametri del modello di Revit, infatti, è biunivoco quando una stringa di testo singola – riferita per esempio ai dati amministrativi e dimensionali dell’Unità Urbana – è ricondotta a un unico parametro di una sola entità virtuale; il trasferimento è qui assicurato da una relazione diretta, bidirezionale, fra il valore registrato nel campo della scheda e nella corrispondente proprietà dell’istanza. Di contro, i dati espressi da voci ripetitive sono distribuiti su entità differenti, al fine di restituire le funzioni, i collegamenti, i vuoti edilizi, le sopraelevazioni e le superfetazioni, i provvedimenti di tutela; la relazione esistente fra il tracciato della Carta del Rischio e il modello di Revit, di tipo 1:n, esige in questo caso che i dati siano attribuiti da un operatore a famiglie e a istanze specifiche. Questa eventualità non sembra in antitesi con gli obiettivi dell’interoperabilità, poiché rappresenta un’opportunità di mutuo perfezionamento; il flusso opposto di dati, dal BIM al GIS, è infatti caratterizzato da una relazione di tipo n:1 e non presenta pertanto difficoltà particolari. Durante la costruzione del modello tridimensionale si potrebbero così identificare componenti o caratteristiche non rilevate, implementando i campi della Carta del Rischio.

La carenza di famiglie rappresentative delle componenti urbane del costruito limita invece le potenzialità informative del modello elaborato su Revit, costringendo a selezionare categorie poco adeguate dal punto di vista semantico; i parametri assegnati alle masse concettuali UU-A e, in mancanza di famiglie corrispondenti, gestiti tramite un separatore sono per esempio archiviati nel *database* senza ulteriori specificazioni, mentre la tipizzazione finalizzata a modellare Unità Urbane, Unità Edilizie e collegamenti tramite un’unica categoria induce a ricorrere a strumenti di filtro delle informazioni. Gli adattamenti contingenti prefigurati nella modellazione della Lungara, di conseguenza, non risultano del tutto efficaci nella rappresentazione; eventuali applicazioni del BIM ai contesti urbani esigono implementazioni dirette a restituire le componenti del costruito e le relative aggregazioni, eventualmente potenziando le famiglie dedicate ai raggruppamenti delle istanze³⁰. Si evidenziano inoltre sia l’impossibilità di modellare dati difficilmente riconducibili a forme

30. Gli assiemi, per esempio, non possono riunire le masse, ma solo gli elementi costruttivi; come sopra accennato, ai gruppi non sono invece associati filtri grafici.

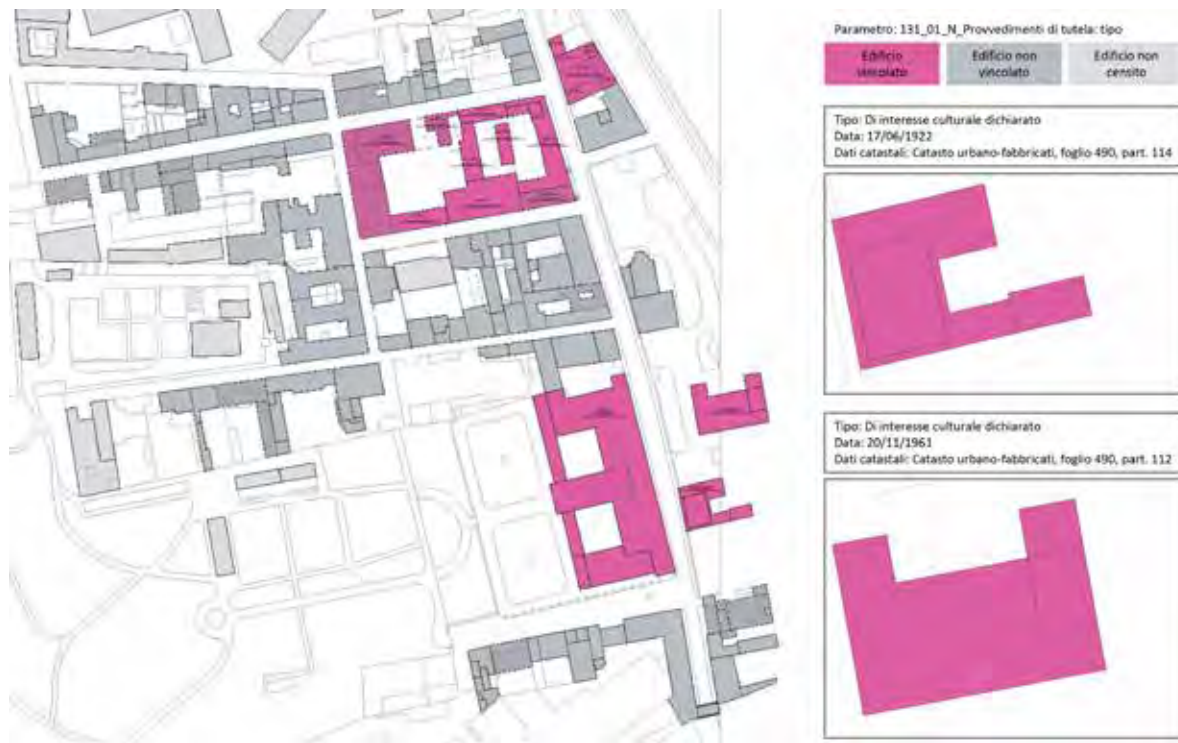


Figura 14. Planimetria degli edifici vincolati (elaborazione S. Cutarelli, 2023).

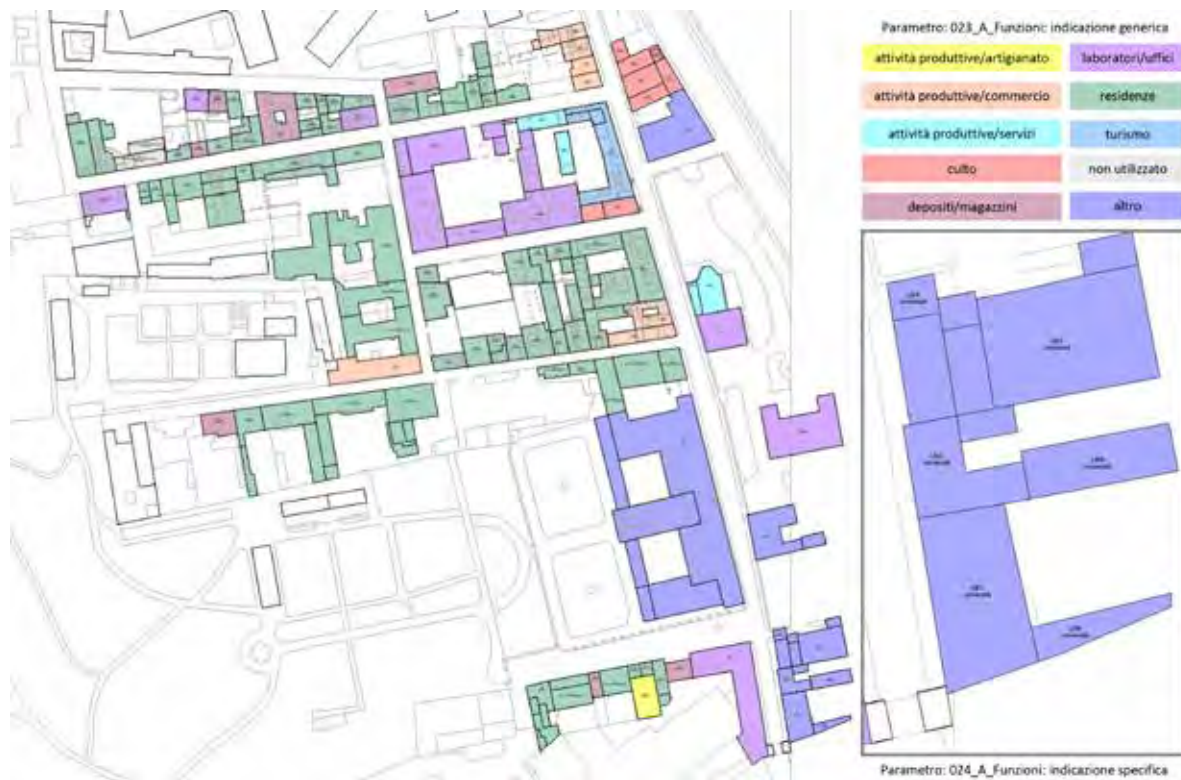


Figura 15. Planimetria delle funzioni dei piani terra (elaborazione S. Cutarelli, 2023).

parametriche, come la cronologia e la bibliografia, sia la difficoltà di gestire le informazioni territoriali restituite da strumenti urbanistici e carte tematiche.

L'impostazione del modello BIM della Lungara ha preceduto la rappresentazione geometrica e l'inserimento dei dati, che possono essere gradualmente implementati in base alle informazioni disponibili senza alterare la struttura dei *file*; tale approccio inverte le modalità di lavoro tradizionali nell'ambito disciplinare del restauro, ove la definizione dei contenuti è propedeutica all'organizzazione dei *database*. La differente metodologia è veicolata dalla modellazione parametrica, orientata a velocizzare e a semplificare le operazioni di processo geometriche, di calcolo, visualizzazione, controllo e aggiornamento; ciononostante, essa risulta poco flessibile nel recepire modifiche e adattamenti eventualmente necessari.

Impostando la modellazione del sito secondo i criteri illustrati e colmando per quanto possibile le lacune segnalate, un'ontologia condivisa fra la Carta del Rischio e il modello BIM consentirebbe di sostituire il trasferimento manuale dei dati con modalità automatiche, così da relazionare e integrare le informazioni dei due sistemi.

Bibliografia

AMIREBRAHIMI ET ALII 2016 - S. AMIREBRAHIMI, A. RAJABIFARD, P. MENDIS, T.D. NGO, *A BIM-GIS integration method in support of the assessment and 3D visualisation of flood damage to a building*, in «Journal of Spatial Science», 2016, 61, 2, pp. 317-350. DOI: 10.1080/14498596.2016.1189365.

BARAZZETTI, BANFI 2017 - L. BARAZZETTI, F. BANFI, *BIM and GIS: when Parametric Modeling meets Geospatial Data*, in «ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences», 2017, IV-5/W1, pp. 1-8. DOI: 10.5194/isprs-annals-IV-5-W1-1-2017.

BARAZZETTI 2021 - L. BARAZZETTI, *Integrazione tra BIM e GIS nel caso dei rilievi e delle verifiche delle infrastrutture*, in A. ADAMI (a cura di), *Geomatica e HBIM per i Beni Culturali*, Franco Angeli, Milano 2021, pp. 62-73.

BOGUSLAWSKI ET ALII 2015 - P. BOGUSLAWSKI, L. MAHDJOUBI, V. ZVEROVICH, F. FADLI, H. BARKI, *BIM-GIS modelling in support of emergency response applications*, in «WIT Transactions on The Built Environment», 2015, 149, pp. 381-392. DOI: 10.2495/BIM150321.

CAPERNA 2013 - M. CAPERNA, *La Lungara 1. Storia e vicende edilizie dell'area tra il Gianicolo e il Tevere*, Quasar, Roma 2013.

CAPERNA 2020 - M. CAPERNA, *La Lungara 2. Spazio urbano, conservazione e restauro*, Quasar, Roma 2020.

COLUCCI ET ALII 2020 - E. COLUCCI, V. DE RUVO, A. LINGUA, F. MATRONE, G. RIZZO, *HBIM-GIS Integration: From IFC to CityGML. Standard for Damaged Cultural Heritage in a Multiscale 3D GIS*, in «Applied Sciences», IV(2020), 10. DOI: 10.3390/app10041356.

CUTARELLI 2023 - S. CUTARELLI, *Tipo e tipologia: prospettive di ricerca a scala urbana per i sistemi HBIM*, in S. DELLA TORRE, V. RUSSO (coordinato da), *Restauro dell'architettura. Per un progetto di qualità*, vol. 7, Metodologie digitali per la gestione degli interventi, Quasar, Roma 2023, pp. 1239-1247.

DEL GIUDICE, OSELLO, PATTI 2014 - M. DEL GIUDICE, A. OSELLO, E. PATTI, *BIM and GIS for district modelling*, in A. MAHDAVI, B. MARTENS, R. SCHERER (eds.), *eWork and eBusiness in Architecture, Engineering and Construction, Proceedings of the 10th European Conference on Product and Process Modelling (Vienna, 17-19 settembre 2014)*, CRC Press, Londra 2014. DOI: 10.1201/b17396-136.

DONATELLI 2022 - A. DONATELLI, *Modelli di calcolo per le trasformazioni e modifiche moderne, per la vulnerabilità delle Unità Urbane e dei Fronti Edilizi*, in FIORANI ET ALII 2022, pp. 119-134.

FIORANI 2019 - D. FIORANI, *Il futuro dei centri storici. Digitalizzazione e strategia conservativa*, Quasar, Roma 2019.

FIORANI ET ALII 2022 - D. FIORANI, M. ACIERNO, A. DONATELLI, S. CUTARELLI, A. MARTELLO, *Centri storici, digitalizzazione e restauro. Applicazioni e prime normative della Carta del Rischio*, Sapienza Università Editrice, Roma 2022.

FIORANI ET ALII 2023 - D. FIORANI, M. ACIERNO, A. DONATELLI, A. MARTELLO, S. CUTARELLI, *Centri storici, digitalizzazione e restauro. Applicazioni e ultime normative della Carta del Rischio*, Sapienza Università Editrice, Roma 2023.

MA, REN 2017 - Z. MA, Y. REN, *Integrated Application of BIM and GIS: An Overview*, in «Procedia Engineering», 2017, 196, pp. 1072-1079, disponibile online: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877705817331910> (ultimo accesso 24 novembre 2023).

MARTELLO 2023 - A. MARTELLO, *Approfondimenti sulle Unità Urbane-Aggregato e sulle Unità Urbane-EPRS attraverso la loro applicazione a un brano del centro storico romano*, in FIORANI ET ALII 2023, pp. 235-253.

MATRONE ET ALII 2019 - F. MATRONE, E. COLUCCI, V. DE RUVO, A. LINGUA, A. SPANÒ, *HBIM in a semantic 3D GIS database*, in «The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences», 2019, XLII-2/W11, pp. 857-865. DOI: 10.5194/isprs-archives-XLII-2-W11-857-2019.

OSELLO *ET ALII* 2017 - A. OSELLO, M. DEL GIUDICE, N. RAPETTI, F. SEMERARO, *Il BIM per la gestione dei dati alla scala edilizia e urbana*, in «Costruire in Laterizio», XXX(2017), 167, pp. 74-79.

VACCA *ET ALII* 2018 - G. VACCA, E. QUQUERO, D. PILI, M. BRANDOLINI, *GIS-HBIM Integration for the Management of Historical Buildings*, in «The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences», 2018, XLII-2, pp. 1129–1135. DOI: 10.5194/isprs-archives-XLII-2-1129-2018.

WANG, TOLK, WANG 2009 - W. WANG, A. TOLK, W. WANG, *The Levels of Conceptual Interoperability Model: Applying Systems Engineering Principles to M&S*, in G. WAINER, C. SHAFFER, R. MCGRAW, (eds.), *Spring Simulation Multiconference 2009, Proceedings of the 2009 Spring Simulation Multiconference (San Diego, CA, USA, 22-27 March 2009)*, Society for Computer Simulation International, San Diego 2009, art. n. 168. DOI: proceedings/10.5555/1639809.



Management of the knowledge process from the initial analyses to the conservation site. Palazzo Belimbau, Genoa

Simonetta Acacia, Marta Casanova (Università degli Studi di Genova)

The management and exchange of information between the actors of the different phases of the knowledge and restoration process must be respectful of the peculiarities and singularities of historic buildings; it is indeed necessary to systemise information different in sources, level of detail and contents.

Starting from the premise posed by art. 29 of Legislative Decree 42/2004, this research deals with the issue of the study of tools and methods that guarantee efficient data sharing to support the decision-making process and the planning of interventions shared with the various stakeholders.

The paper illustrates the case study of Palazzo Belimbau in Genoa, owned by the University of Genoa since 2000. The building has been the subject of several diagnostic campaigns over the years, which was followed by the drafting of the final project for the restoration of the decorative apparatus of the monumental rooms. In 2019, the recently completed work on the first lot of the intervention programme for the complete reuse of the building began.

In 2019, work began on the recently completed first batch of the programme to fully reuse the asset.

As part of the PRIN2017 project, HPFC - Historic Preservation Foundation Classes, the possibility of storing and managing various data, including the 3D survey, in a central archive to which individual GIS and HBIM models can be linked was tested, evaluating their interoperability for the management of the various phases from the preliminary studies to the restoration work.

Historic Preservation Foundation Classes

Procedure e ontologie per l'interoperabilità nella tutela del patrimonio storico architettonico

www.archistor.unirc.it

ArchistoR EXTRA 12 (2024)

ISSN 2384-8898

Supplemento di ArchistoR 19/2023

ISBN 978-88-85479-39-5

DOI: 10.14633/AHR443



La gestione del processo di conoscenza dalle prime analisi al cantiere. Palazzo Belimbau a Genova

Simonetta Acacia, Marta Casanova

L'acquisizione, l'organizzazione delle informazioni e la gestione della conoscenza relative agli studi sul patrimonio architettonico nei processi di manutenzione e di restauro sono di fondamentale importanza per la conservazione di questi manufatti¹. La messa a sistema di informazioni provenienti da diverse fonti, a scale differenti e con molteplici contenuti, deve garantire un'efficiente condivisione dei dati al fine di supportare i processi decisionali e le scelte progettuali dei diversi attori coinvolti nel processo.

Inoltre, l'organizzazione e la gestione delle conoscenze deve mantenere una coerenza con il processo conoscitivo incrementale, permettendo una rappresentazione e la fruizione a partire dalle prime fasi di studio, volta a conservare il dato singolo in rapporto al contesto generale.

Il tema della digitalizzazione e informatizzazione della conoscenza è oggi molto dibattuto nell'ambito dei beni culturali². Mentre nell'ambito dei beni non architettonici le ontologie informatiche

La stesura dell'articolo risulta riferibile a entrambe le autrici per impostazione metodologica, *BIM e Data Base: collegamento e interoperabilità* e le conclusioni. A M. Casanova per l'introduzione e *Metodo e materiali*; A S. Acacia per *Il caso studio: Palazzo Belimbau a Genova*.

1. LETELLIER 2011, p. 11.

2. SIMEONE 2023, p. 103.

sono diffuse nei processi di catalogazione, nell'ambito del patrimonio costruito c'è ancora mancanza di omogeneità negli approcci di modellazione della conoscenza.

La ricerca presentata in questo articolo è stata condotta all'interno delle attività del progetto PRIN 2017 "Historic Preservation Foundation Classes: Procedure e ontologie per l'interoperabilità nella tutela del patrimonio storico architettonico"³; per lo studio a livello di edificio monumentale l'unità di ricerca di Genova ha scelto Palazzo Belimbau a Genova.

Il progetto PRIN 2017 si pone in continuità con i risultati raggiunti nel progetto PRIN 2010-11 "Modellazione e gestione delle informazioni per il patrimonio edilizio esistente – Built Heritage Information Modelling/Management – BIHMM"⁴.

Il caso studio: Palazzo Belimbau a Genova

Palazzo Belimbau, già De Ferrari, Chiavari, Cambiaso, Negrotto Cambiaso e infine Cohen, si trova a Genova, in piazza della Nunziata; dal 2000, è di proprietà dell'Ateneo genovese in virtù di un legato testamentario dell'ultima erede della famiglia. L'edificio rientrava storicamente nel cosiddetto "Sistema dei Rolli" e dal 2006 fa parte, insieme a numerosi altri palazzi rinascimentali e barocchi genovesi, del sito UNESCO "Genova, le Strade Nuove e il sistema dei Palazzi dei Rolli" (fig. 1).

Il palazzo sorge in un'area, detta del Guastato, che, in periodo medievale, costituiva un sobborgo ad ovest del centro urbano⁵; la sua storia riflette quella delle trasformazioni urbane che hanno interessato la città di Genova tra la metà del XVI e la metà del XVII secolo: in particolare, il Guastato diventa una zona di raccordo tra i nuovi assi viari di Strada Nuova (1550-1575) e di Strada Balbi (1606-1620)⁶.

Palazzo Belimbau è il risultato di una complessa evoluzione, ancora non del tutto compresa, che vede accorpamenti e trasformazioni di edifici preesistenti di origine medievale, fino alla definizione da parte della famiglia De Ferrari della facies seicentesca, ancora tutt'oggi leggibile, sebbene ulteriormente modificata.

3. Tale progetto ha visto impegnate le unità di ricerca di: Politecnico di Milano – Dipartimento ABC (PI e responsabile dell'UR Prof. Stefano Della Torre), Università degli Studi di Genova (responsabile scientifico dell'UR Prof. Stefano F. Musso), Alma Mater Studiorum - Università di Bologna (responsabile scientifico dell'UR Prof. Marco Pretelli), Università di Roma La Sapienza (responsabile scientifico dell'UR Prof.ssa Donatella Fiorani).

4. Vedi MUSSO 2017.

5. Vedi GROSSI BIANCHI, POLEGGI 1986.

6. Vedi POLEGGI, CEVINI 1981.

Alla famiglia dei Chiavari si deve invece la decorazione ad affresco degli ambienti di rappresentanza del palazzo realizzata tra il 1627 e il 1629 da Lazzaro Tavarone, allievo di Luca Cambiaso⁷: il pittore genovese interviene sulle volte dell'atrio di ingresso, di un ambiente al piano rialzato e dello scalone monumentale, oltreché nella loggia di accesso al piano nobile e nel grande salone dove raffigura la celebrazione di Cristoforo Colombo, di ritorno dalle Americhe.

Sotto la famiglia Cambiaso, a partire dal 1778, il palazzo è interessato da un significativo ampliamento su entrambi i lati corti, ad opera dell'architetto Pellegrini, che cura anche la sistemazione di alcuni ambienti interni.

Durante la Seconda guerra mondiale il palazzo è stato danneggiato da un'incursione aerea che ha rovinato in parte gli affreschi, causando ampie cadute di intonaco.

In seguito a successivi interventi di restauro, l'edificio oggi è ancora solo parzialmente in uso ed ospita alcuni uffici amministrativi dell'Università degli Studi di Genova (Unige); nel 2019 è stato avviato il primo lotto di intervento di un programma che mira al completo riutilizzo del bene.

A partire dal 2008, l'Ateneo, tramite un accordo con l'allora Dipartimento di Scienze per l'Architettura (DSA), ha avviato una serie di attività conoscitive su Palazzo Belimbau (responsabili scientifici Prof. Arch. S.F. Musso e Prof. Arch. G. Franco), consistenti nel rilievo topografico e, in un secondo tempo, con tecnologia laser scanner e con metodo Structure-from-motion, nell'analisi dello stato di conservazione e della consistenza materiale e in ricerche a carattere storico.

Tra il 2008 e il 2018 sono state inoltre condotte tre diverse campagne diagnostiche sui dipinti murali, volte a dare indicazioni per il successivo intervento di restauro degli stessi: le prime due, nel 2008 e nel 2015, hanno analizzato le pareti del salone al piano nobile rispettivamente con il metodo XRF (a cura dei restauratori della Soprintendenza locale) e con spettroscopia Raman e lampada di Wood (Prof. P. Bensi, Unige, e Prof. P. Baraldi, Università di Modena e Reggio Emilia). La terza campagna diagnostica (2018) ha interessato anche altri ambienti monumentali, quali l'atrio, lo scalone e la loggia del piano nobile, attraverso il prelievo di campioni di coloritura e strati preparatori e la successiva loro analisi⁸.

7. Vedi MAGNANI 2014.

8. Analisi al microscopio elettronico a scansione e microsonda analitica, effettuate dalla Prof.ssa Silvia Vicini (Unige, Dipartimento di Chimica e Chimica Industriale); gascromatografia su campioni di coloritura, a cura della Prof.ssa Maria Perla Colombini (Università di Pisa, Dipartimento di Chimica e Chimica Industriale); diffrazione ai raggi X (XDR) effettuata su campioni di efflorescenza salina dai Proff. Roberto Cabella e Cristina Carbone (Unige, Dipartimento di Scienze della Terra, dell'Ambiente e della Vita).

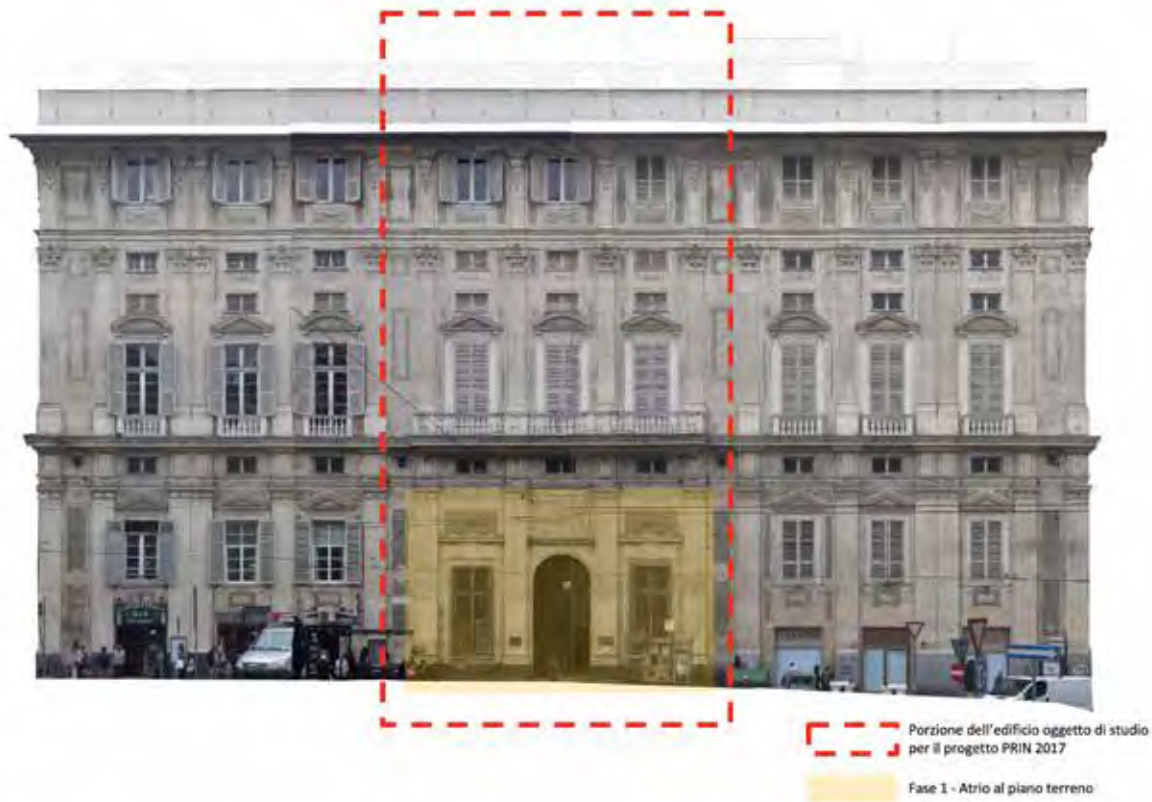


Figura 1. Prospetto principale di Palazzo Belimbau su piazza della Nunziata. Indicazione della porzione dell'edificio oggetto di studio nell'ambito della ricerca PRIN 2017 HPFC (Elaborazione Laboratorio MARSC, Dipartimento DAD, Università degli Studi di Genova, 2018).

Il Palazzo è stato inoltre il caso studio per gli studenti della Scuola di Specializzazione in Beni Architettonici e del Paesaggio (SSBAP) e del Laboratorio di Restauro nel corso di Laurea Magistrale negli anni accademici 2014-15 e 2015-16, sempre dell'Università di Genova.

Gli studi e gli accertamenti diagnostici effettuati⁹ hanno portato alla redazione di un progetto definitivo per il restauro degli apparati decorativi di atrio su strada, ninfeo, corpo scala principale, loggia di accesso al piano nobile, salone d'onore e ambienti dell'ala ovest (prima fase di un programma di intervento per il completo riutilizzo del bene).

Il primo lotto di lavori, riguardante il restauro degli apparati decorativi dell'atrio al piano terreno, di carattere conservativo si è concluso a luglio 2023 (fig. 2).

Metodo e materiali

Il caso studio scelto ha permesso di sperimentare il metodo e testare i problemi legati all'interoperabilità dei sistemi e dei processi, dagli studi preliminari alla progettazione, fino al cantiere del primo lotto di lavori di restauro.

Gli ambienti monumentali dell'edificio (atrio, scalone monumentale e parte del piano nobile) sono stati oggetto di un rilievo laser scanner, topografico, longimetrico e Structure-from-motion. I risultati di questa campagna di rilievo sono stati la creazione di una nuvola di punti utilizzata per il processo scan-to-BIM e per la restituzione di planimetrie, sezioni e prospetti e la realizzazione di fotopiani delle pareti, delle volte e dei pavimenti.

L'atrio al piano terreno, a seguito della conclusione del primo lotto di lavori di restauro, è stato oggetto di una seconda campagna di rilievo Structure-from-motion per la creazione dei fotopiani della volta e delle pareti post operam.

La ricognizione, raccolta e digitalizzazione dei materiali degli studi e delle ricerche svolti dal 2000 in poi sull'edificio¹⁰ ha portato alla definizione delle informazioni di partenza. Oltre al rilievo, già brevemente descritto, tale documentazione consiste in:

9. Più ampiamente descritti in CASANOVA, MUSSO 2022, p. 21.

10. Studi sulle strutture orizzontali e di copertura, responsabile scientifico prof. Andrea Buti (Dipartimento di Progettazione e Costruzione dell'Architettura – DIPARC), committente Unige, 2001; indagini endoscopiche sul cornicione di coronamento dell'edificio funzionali all'intervento di restauro delle facciate, responsabile scientifico prof. Stefano F. Musso in concorso con la Soprintendenza ai Beni Architettonici e Paesaggistici della Liguria, ricerca svolta in occasione dell'Anno Europeo della Cultura, 2004 (Pastor 2004); lavori di manutenzione straordinaria della copertura, 2006-2007; "Studi preliminari ai successivi interventi di restauro e riuso del Palazzo", responsabili scientifici prof. Stefano F. Musso, prof.ssa Giovanna Franco, Accordo tra Ateneo e DSA, Unige, dal 2009; Esiti delle attività didattiche della Scuola di

- rilievo delle caratteristiche costruttive dei setti murari verticali e degli orizzontamenti (sondaggi sugli orizzontamenti e sulle strutture verticali effettuati nelle porzioni est e centrale del palazzo ai piani primo e primo ammezzato: planimetrie strutturali delle strutture di orizzontamento, fotografie generali e di dettaglio);
- esiti delle indagini endoscopiche sul cornicione di gronda della facciata su Piazza della Nunziata (foto di dettaglio, dettagli costruttivi del cornicione, sezioni trasversali e longitudinali);
- schemi dell’impianto strutturale dei setti verticali e delle tipologie strutturali di orizzontamento (planimetrie con sovrapposizione delle strutture di elevazione verticale, schemi delle tipologie strutturali di orizzontamento);
- indagini diagnostiche effettuate tra il 2008 e il 2015 sugli apparati decorativi degli ambienti monumentali;
- esiti delle analisi mensiocronologica e mineralogico-petrografica su alcune unità stratigrafiche;
- fotografie generali e di dettaglio di tutti gli ambienti interni del palazzo e degli esterni (fotografie dal 2000 ad oggi);
- fotografie storiche conservate presso l’Archivio Fotografico del Comune di Genova (Centro DOCSAI) riguardanti l’atrio al piano terreno, il ninfeo e il salone al piano nobile (scansioni delle fotografie in alta definizione, anni ‘40 e ‘50);
- documentazione storico-archivistica consultata presso l’Archivio di Stato di Genova;
- informazioni riguardanti l’evoluzione storica del Palazzo, con fusioni, aggiunta di corpi, demolizioni e modiche (schemi raffiguranti la configurazione del palazzo in diversi periodi storici);
- planimetrie storiche a scala urbana e di edificio;
- elaborati progettuali relativi al progetto di restauro conservativo di atrio, scalone e parte del piano nobile (relazione tecnica e suoi allegati; risultati delle indagini scientifiche; restituzione del rilievo con foto-piani di pavimenti, soffitti e pareti; mappe dello stato di conservazione; abaco dei serramenti e loro stato di conservazione; mappe degli interventi conservativi;

Specializzazione in Beni Architettonici e del Paesaggio dell’Università degli studi di Genova, 2014 – 2017; Tesi di laurea magistrale in Architettura dal titolo “Palazzo Belimbau a Genova. Un passato da decifrare”, Shari Caviglia, relatore prof. ssa Giovanna Franco, A.A. 2016 – 2017; Progetto di restauro e risanamento conservativo degli ambienti monumentali (apparati decorativi di atrio su strada, ninfeo, corpo scala principale, salone d’onore e ambienti dell’ala ovest del piano nobile) in vista di una loro futura accessibilità pubblica, finanziato con fondi speciali della Presidenza del Consiglio dei Ministri del Governo, progettisti Arch. Monica Giovannelli con Prof. Arch. Stefano F. Musso e Prof. Arch. Giovanna Franco.



Figura 2. Fotopiani ottenuti tramite fotogrammetria *Structure-from-motion* della volta dell'atrio al piano terreno nel 2017, prima degli interventi di restauro (a sinistra), e a luglio 2023 (a destra), a seguito degli interventi di restauro dell'atrio (Elaborazione Laboratorio MARSC, Dipartimento DAD, Università degli Studi di Genova, 2017 e 2023).

interventi di restauro dei serramenti; specifiche tecniche di intervento; computo metrico estimativo).

Seguendo un workflow già sperimentato dal gruppo di ricerca¹¹, per l'archiviazione e la gestione di una tale mole di informazioni eterogenee e in vista dell'implementazione delle informazioni relative alla fase di cantiere è stato progettato un database (realizzato con il DBMS PostgreSQL¹²) al quale è stato collegato tramite l'estensione spaziale PostGIS un progetto GIS (realizzato con il software QGIS) che ha permesso la georeferenziazione delle informazioni sulle planimetrie dei diversi livelli dell'edificio (fig. 3).

Il sistema informativo è stato progettato per l'archiviazione e la gestione di dati storici, di stato attuale, progettuali e relativi all'intervento di restauro in corso nell'atrio dell'edificio.

Questo è stato scomposto in livelli (corrispondenti ai piani), sono stati individuati e definiti gli ambienti e gli elementi architettonici. Sono state georiferite le fotografie, attuali e storiche. Sono inoltre stati localizzati gli esiti delle analisi, le mappe del degrado e gli interventi previsti in progetto per ciascun elemento. L'organizzazione dei dati in diversi livelli di dettaglio (LoD) ha permesso il collegamento di informazioni puntuali riguardanti un elemento preciso e ben definito, ma anche la schedatura di documenti riguardanti l'intero edificio (fig. 4). Infine, sono state georiferite le planimetrie storiche a livello urbano e di edificio.

Parallelamente è stata avviata la costruzione di un modello HBIM (realizzato con il software Autodesk Revit 2023) della porzione centrale dell'edificio, comprendente l'atrio al piano terreno, il ninfeo, lo scalone monumentale, la loggia, il piano ammezzato e il salone al piano nobile a partire dal rilievo (topografico, laser scanner e fotogrammetrico) degli interni e degli esterni del palazzo. Nella porzione di edificio presa in analisi sono presenti volte in muratura e solai in legno con volte a struttura lignea; tutte le pareti e le volte degli ambienti monumentali presentano apparati decorativi; in particolare, è conservato l'importante ciclo di dipinti murali attribuito a Lazzaro Tavarone (fig. 5).

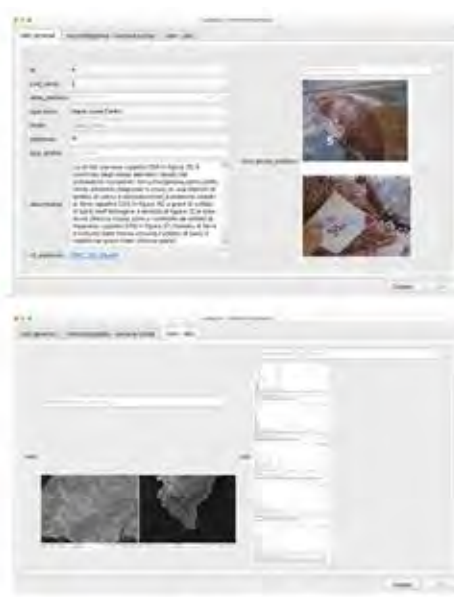
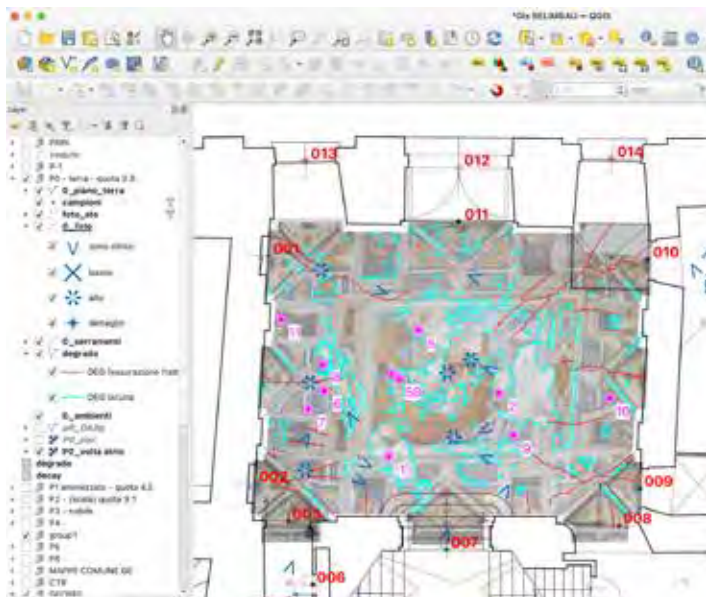
Il modello ha la finalità di valutare i livelli di interoperabilità e compatibilità con il sistema informativo in vista della creazione di diversi modelli HBIM specifici per le esigenze dei vari operatori coinvolti nel processo di conservazione (modello per la gestione del progetto di restauro e del

11. ACACIA, CASANOVA 2015, p. 187.

12. Seguendo le "Linee guida acquisizione e riuso software PA" dell'Agenzia per l'Italia Digitale per il raggiungimento degli obiettivi dell'Agenda Digitale Europea sono stati scelti software di tipo aperto ad esclusione del software Revit per la realizzazione del modello HBIM.



A sinistra, figura 3. Schema delle interazioni del sistema informativo. I dati sono archiviati e gestiti a livello centrale in un database e possono essere implementati e fruiti dai diversi operatori in ambiente GIS, Database, APP e/o HBIM (elaborazione di S. Acacia e M. Casanova, 2023). In basso, Figura 4. Schermata del progetto GIS in QGIS con visualizzazione della planimetria dell'atrio al piano terreno, con i coni ottici delle fotografie, le schede di dettaglio dei serramenti, il fotopiano della volta, la mappa del degrado e dei punti di prelievo dei campioni (a sinistra). Scheda di consultazione delle informazioni relative al campione 5: analisi SEM-EDS di un campione di tinta della volta con strato delle informazioni archiviate nel database, antepima delle immagini associate e collegamento alla relazione con i risultati delle analisi (a destra) (elaborazione di S. Acacia e M. Casanova, 2023).



cantiere, modello per lo studio degli aspetti strutturali, modello per l'analisi e la simulazione del comportamento energetico dell'edificio, modello per la gestione della manutenzione dell'edificio).

In occasione della redazione del progetto definitivo per il restauro degli ambienti monumentali, sono stati archiviati all'interno del database dati relativi ai serramenti, oggetto di un accurato studio per la loro conservazione. Le informazioni relative alle caratteristiche tecnologiche, allo stato di conservazione e agli interventi in progetto sono state collegate al progetto GIS nel quale i serramenti sono rappresentati nelle planimetrie con una geometria di tipo puntuale. Successivamente sono state realizzate diciannove famiglie di finestre nel modello HBIM corrispondenti ai tipi di serramenti individuati nell'abaco (fig. 6). Nella definizione dei parametri condivisi, oltre ai campi relativi a identificazione e localizzazione del serramento, sono stati realizzati quattro gruppi di parametri relativi alla descrizione dell'elemento (ante, ferramenta, sopra luce, telaio fisso, vetri), allo stato di conservazione (degrado ferramenta, degrado parti lignee, degrado vetri), al tipo di intervento (manutenzione in loco, restauro previo smontaggio, rimozione senza recupero) e agli interventi. La compilazione delle informazioni relative ai diversi serramenti può quindi avvenire indifferentemente nel modello HBIM, nel progetto GIS o nel database.

In una seconda fase, prima dell'inizio del cantiere di restauro, è stato implementato il collegamento del progetto GIS con l'applicazione per smartphone QField al fine di permettere l'aggiornamento della documentazione prodotta in cantiere, che può essere direttamente compilata nel database anche da parte di operatori non esperti di GIS o BIM. Tramite questa applicazione è possibile identificare la corretta localizzazione degli elementi presenti nella mappa di base caricata¹³, senza utilizzare il GPS integrato nei dispositivi mobile che negli ambienti interni restituirebbe una localizzazione imprecisa; gli operatori possono compilare le tabelle associate ai diversi elementi e relative agli interventi e collegare di volta in volta delle fotografie.

BIM e Data Base: collegamento e interoperabilità

Uno degli scopi di questa sperimentazione è la valutazione della integrabilità e della interoperabilità di diversi sistemi GIS e BIM con un database centrale.

La maggior parte degli studi che hanno sperimentato la connessione di sistemi GIS a sistemi BIM¹⁴ hanno collegato al GIS le informazioni territoriali e del contesto e nel BIM le informazioni a livello di

13. Nel caso di Palazzo Belimbau sono state utilizzate le planimetrie dei diversi piani.

14. Vedi: SACCUCCI, PELLICCIO 2018, p. 224; SAMMARTANO ET ALII 2022.

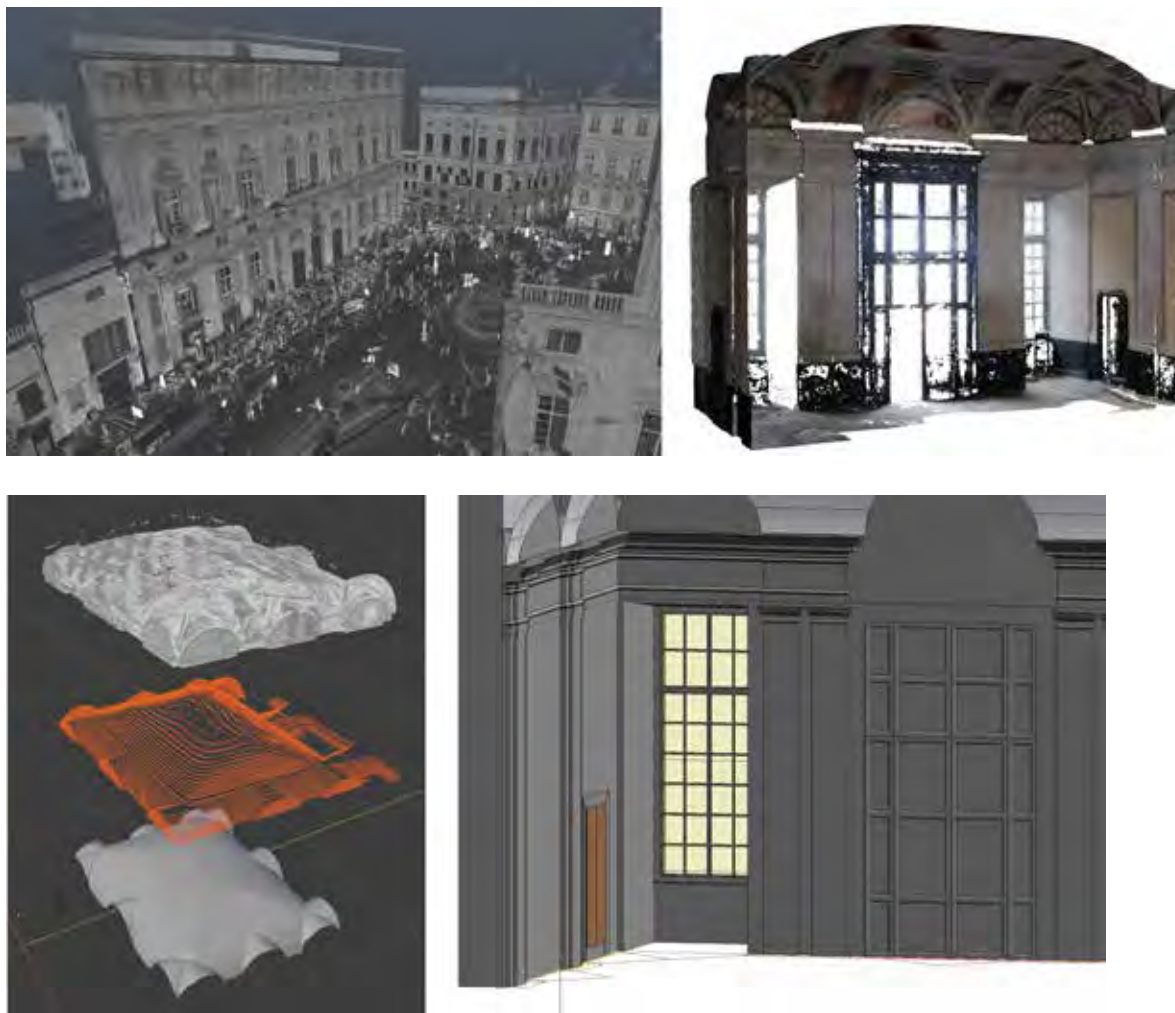


Figura 5. Processo di generazione del modello HBIM dell'atrio al piano terreno. Nuvola di punti derivante dal rilievo laser scanner e nuvola di punti fotogrammetrica; modellazione dell'intradosso della volta in Blender dalla nuvola di punti e dalle curve di livello; modellazione in Revit dell'atrio al piano terreno (elaborazioni S. Acacia e M. Casanova, 2023).

edificio e relative agli elementi architettonici con una sovrapposizione e condivisione dei dati molto limitata¹⁵. Alcune ricerche hanno portato alla realizzazione di piattaforme ad hoc per l'integrazione tra GIS e BIM e tra BIM e database; in particolare si ricorda il progetto "Man10ance" nel quale è stata creata una piattaforma web che fornisce strumenti operativi utili a supportare i professionisti nella gestione delle attività del piano di manutenzione programmata¹⁶.

Questa sperimentazione, invece, è volta all'integrazione dei dati nei due sistemi GIS e BIM a livello di edificio¹⁷. L'organizzazione dei dati è centralizzata in un sistema informativo appositamente progettato per la gestione delle informazioni derivanti dalle diverse fasi e dai molteplici attori del processo di conservazione del bene architettonico.

La scomposizione dell'edificio in elementi costruttivi, all'interno del sistema informativo, è coerente con quella del modello BIM; l'individuazione di un codice univoco alfanumerico permette di individuare tali elementi nei diversi ambienti operativi.

Dal punto di vista operativo, il collegamento tra il sistema informativo e il database del modello HBIM in Revit è possibile attraverso il plugin Revit DB Link che consente di esportare i dati di un modello di Revit in un database dove è possibile modificarli e quindi reimportarli nel modello¹⁸. Con questo plugin è possibile il collegamento diretto solamente con due tipi di database (Microsoft Access e SQL Server); questo limite può essere superato tramite un driver ODBC (Open DataBase Connectivity) per PostgreSQL. In questo modo i parametri definiti nelle tabelle esportate dal modello HBIM possono essere aggiornati, modificati e implementati in ambiente GIS o PostgreSQL per poi essere importati nuovamente in Revit. Il flusso dei dati è quindi limitato a momenti definiti di collegamento tra i due database PostgreSQL e Revit.

Conclusioni

Lo studio ancora in corso, cerca di affrontare e valutare, in un caso concreto, la gestione di una notevole quantità di informazioni, di diversa origine e natura, sempre implementabili e mutevoli nel tempo. Mira, inoltre, a gestire la conoscenza e la variabilità della stessa durante le fasi di studio, di progettazione, in cantiere e nella gestione successiva dell'edificio.

15. Vedi ACACIA, BABBETTO, CASANOVA 2017.

16. Vedi: COLUCCI *ET ALII* 2022, pp. 182-194; MATRONE *ET ALII* 2023.

17. Sull'applicazione del GIS a livello di edificio vedi: ACACIA, CASANOVA 2015, p. 187.

18. Vedi ACACIA, BABBETTO, CASANOVA 2017.

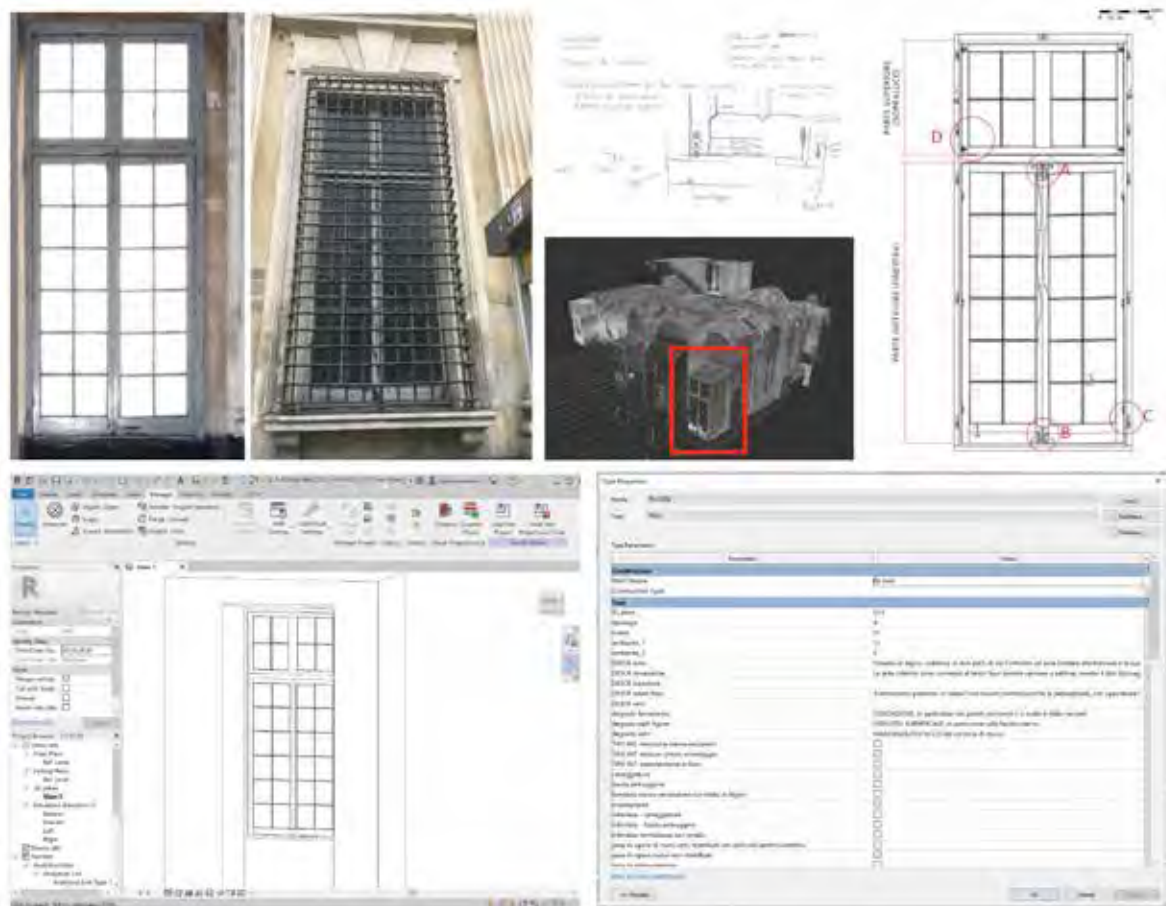


Figura 6. Finestra n. 13, atrio al piano terreno. Dai primi rilievi e studi *in situ* alla definizione della famiglia nel modello HBIM con i parametri condivisi per la descrizione dell'elemento, del suo stato di conservazione e degli interventi previsti (elaborazioni S. Acacia e M. Casanova, 2023).

La ricerca ha indagato la possibilità di archiviare e riferire le diverse informazioni alla loro esatta collocazione all'interno dell'edificio (quando possibile), di registrare le variazioni che il progetto e il successivo cantiere inducono sull'edificio senza perdere il dato storico e la fruibilità, nonché l'implementazione e il riutilizzo delle informazioni da parte degli operatori¹⁹ coinvolti nei processi decisionali.

La gestione dei dati derivanti dallo studio di un edificio monumentale, nelle prime fasi, deve prescindere dai tempi di realizzazione di modelli HBIM complessi e accurati, che per essere realizzati, necessitano di informazioni geometriche che raramente sono disponibili nelle primissime fasi di studio. Il workflow proposto permette di archiviare, gestire e fruire le informazioni eterogenee all'interno del database già dalle fasi iniziali.

Inoltre, la natura, la quantità, la complessità e l'indeterminatezza di alcuni dati in genere devono essere molto semplificate per poter essere archiviate in un progetto HBIM.

Un ulteriore punto da considerare è l'accessibilità delle informazioni da parte degli operatori coinvolti. La struttura, con un database centrale in PostgreSQL, permette la connessione per la compilazione, la fruizione e l'analisi delle informazioni con diversi applicativi²⁰.

La ricerca ha privilegiato flussi di lavoro basati su software free e open source per la parte database, GIS e l'applicazione per smartphone, mentre in questa prima fase è stata testata l'interoperabilità del processo con il software commerciale Autodesk Revit per la creazione del modello BIM; tale scelta è stata dettata dalla volontà di sperimentare un workflow facilmente replicabile con il software BIM commerciale più utilizzato nel settore.

Nelle prossime fasi si intende testare il collegamento a modelli BIM sviluppati con il software open source FreeCAD²¹, al fine di ottenere un workflow totalmente open source²² e favorire la piena integrazione tra modelli.

19. Tenendo conto delle differenti competenze degli operatori che prendono parte ai processi di studio, progettazione, conservazione, manutenzione e gestione di un edificio storico come Palazzo Belimbau.

20. È stata testata la connessione del database a LibreOffice Base, QGIS e Qfield.

21. Vedi <https://www.freecad.org/>. I primi tentativi di modellazione di superfici complesse e irregolari, derivanti da nuvole di punti in FreeCAD hanno evidenziato diverse criticità, vedi PILI, CASANOVA, PREVITALI 2023.

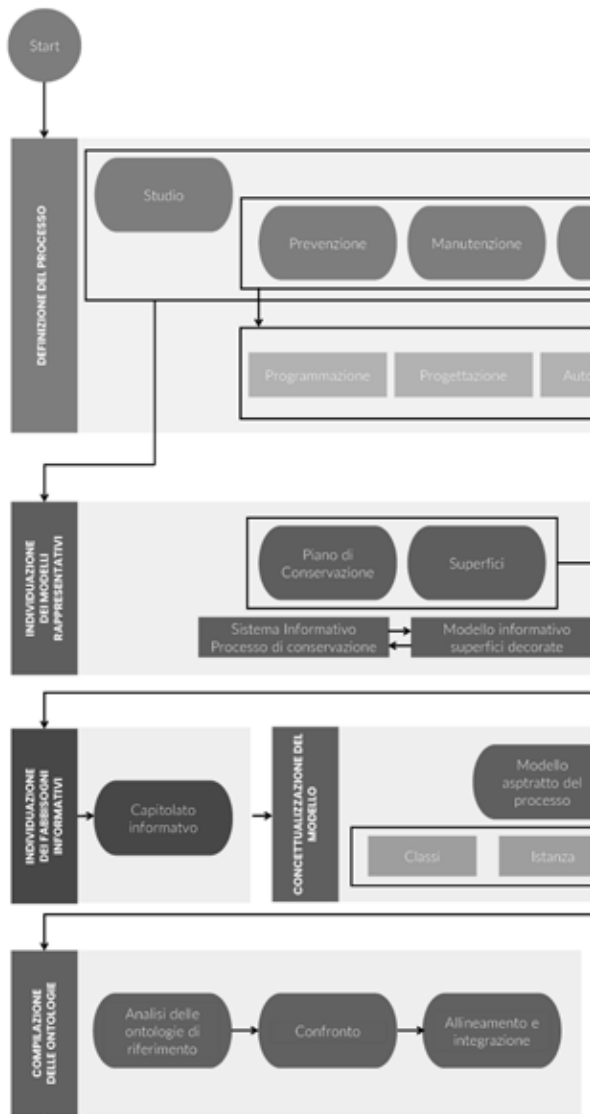
22. In accordo con quanto indicato all'art. 68 del Codice dell'amministrazione digitale (D.Lgs. n. 82/2005).

Bibliografia

- ACACIA, CASANOVA 2015 - S. ACACIA, M. CASANOVA, *Un sistema informativo per l'Albergo dei Poveri di Genova*, in «ilProgettoSostenibile», XIII(2015), 36-37, pp. 184-191.
- ACACIA, BABBETTO, CASANOVA 2017 - S. ACACIA, R. BABBETTO, M. CASANOVA, *Condivisione di dati ed informazioni tra BIM e sistemi informativi. Connessioni tra BIM, GIS e database per la gestione di informazioni su vasti complessi monumentali*, in S. DELLA TORRE (a cura di), *Built Heritage Information Modelling/Management – BHIMM. Modellazione e gestione delle informazioni per il patrimonio edilizio esistente*, Atti del Convegno (Milano, 21-22 giugno 2016), Edizioni MREADY – Ingenio, Milano 2017, pp. 42-50.
- CASANOVA, MUSSO 2022 - M. CASANOVA, S.F. MUSSO, *Palazzo Belimbau a Genova: rilievi, studi e progetto di restauro*, in «Recupero e Conservazione», 2022, 171, pp. 16-23.
- COLUCCI ET ALII 2022 - E. COLUCCI, E. IACONO, F. MATRONE, G.M. VENTURA, *A BIM-GIS Integrated Database to Support Planned Maintenance Activities of Historical Built Heritage*, in E. BORGOGNO MONDINO, P. ZAMPERLIN (a cura di), *Geomatics and Geospatial Technologies, 24th Italian Conference, ASITA 2021. Series: Communications in Computer and Information Science n.1507*. Springer, Cham 2022. DOI: 10.1007/978-3-030-94426-1.
- GROSSI BIANCHI, POLEGGI 1986 - L. GROSSI BIANCHI, E. POLEGGI, *Una città portuale nel medioevo*, SAGEP, Genova 1986.
- LETELLIER 2011 - R. LETELLIER, *Recording, Documentation, and Information Management for the Conservation of Heritage Places*, The Getty Conservation Institute, Routledge 2011.
- MAGNANI 2014 - L. MAGNANI, *Città Ateneo Immagine*, Genova University Press, Genova 2014.
- MATRONE ET ALII 2023 - F. MATRONE, E. COLUCCI, E. IACONO, G.M. VENTURA, *The HBIM-GIS Main10ance Platform to Enhance the Maintenance and Conservation of Historical Built Heritage*, in «Sensors», 2023, 23, 8112. DOI: 10.3390/s23198112.
- MUSSO 2017 - S.F. MUSSO, *Architectural Restoration, I.C.T. and B.I.M. at The “Albergo dei Poveri” in Genoa as a case study*, in S. DELLA TORRE (eds.), *Built Heritage Information Modelling/Management – BHIMM. Modellazione e gestione delle informazioni per il patrimonio edilizio esistente*, Atti del Convegno (Milano, 21-22 giugno 2016), Edizioni MREADY – Ingenio, Milano 2017.
- PASTOR 2004 - C. PASTOR, *Palazzo Francesco De Ferrari*, in *Il restauro dei palazzi dei Rolli*, supplemento di «ARKOS», 2024, 7, pp. 134-139.
- PILI, CASANOVA, PREVITALI 2023 - A. PILI, M. CASANOVA, M. PREVITALI, *Innovazione digitale per la conservazione: la gestione di dati e informazioni delle superfici architettoniche*, in G. DRIUSSI (a cura di), *L'intervento sulle superfici del costruito storico. Quale innovazione?*, Atti del Convegno Internazionale Scienza e Beni Culturali (Bressanone, 27-30 giugno 2023), Arcadia Ricerche, Venezia 2023, pp. 85-96.
- POLEGGI, CEVINI 1981 - E. POLEGGI, P. CEVINI, *Le città nella storia d'Italia. Genova*. Laterza, Roma-Bari 1981.
- SIMEONE 2023 - D. SIMEONE, *Patrimonio costruito e modellazione della conoscenza. Nuove strategie di documentazione digitale del manufatto e dei suoi materiali*, in «Recupero e Conservazione», 2023, 175-176, pp. 102-111.
- SACCUCCI, PELLICCIO 2018 - M. SACCUCCI, A. PELLICCIO, *Integrated BIM-GIS system for the enhancement of urban heritage*, in *2018 Metrology for Archaeology and Cultural Heritage (MetroArchaeo)*, IEEE, Cassino 2018, pp. 222-226. DOI: 10.1109/MetroArchaeo43810.2018.13625.
- SAMMARTANO ET ALII 2023 - SAMMARTANO, M. AVENA, E. FILLIA, A. SPANÒ, *Integrated HBIM-GIS Models for Multi-Scale Seismic Vulnerability Assessment of Historical Buildings*, in «Remote Sensing» 2023, 15, 3, 833. DOI: 10.3390/rs15030833.

Historic Preservation Foundation Classes

a cura di Marco Pretelli
e Alessia Zampini



Knowledge management: ontologies and practical tools for the preservation of cultural heritage

Alessandra Pili (Politecnico di Milano)

The digitalization process started in Italy has given a further boost to the already active scientific research about the use of information tools for the cultural heritage sector. Among the innovations launched, one provides the mandatory use of BIM for the public procurement sector, finding further confirmation and definition in the latest version of the Public Contracts Code. Similarly, the approach according to preventive and planned conservation is confirmed within the same regulatory text.

Information modeling in the new construction sector has reached very high levels. While, for the cultural heritage sector, scientific research has revealed that the use of such tools is not adequate for managing the complexity that characterizes historical buildings.

The crucial issue is the recognition of the need to have multiple interoperable models to manage the information complexity that characterizes cultural heritage. The definition of specific ontologies for cultural heritage is the basis of interoperability.

The contribution illustrates a method of defining ontologies to describe the conservation process activities; furthermore, it develops an operational tool capable of managing such data and information using free and open-source software.

Historic Preservation Foundation Classes

Procedure e ontologie per l'interoperabilità nella tutela del patrimonio storico architettonico

www.archistor.unirc.it

ArchistoR EXTRA 12 (2024)

ISSN 2384-8898

Supplemento di ArchistoR 19/2023

ISBN 978-88-85479-39-5

DOI: 10.14633/AHR444



Gestire la conoscenza: ontologie e strumenti operativi per la conservazione del patrimonio culturale

Alessandra Pili

Il contributo affronta il tema della gestione della conoscenza, in quanto fondamento di una efficace conservazione, che come ormai condiviso nei testi di legge non può che pensarsi come “conservazione programmata”. Perché le attività conservative siano coerenti, coordinate e programmate devono essere superate barriere procedurali e cognitive, il che può avvenire soltanto attraverso la digitalizzazione del processo, ovvero attraverso la definizione di strumenti innovativi digitali.

In particolare, viene illustrato il metodo utilizzato per la definizione di ontologie specifiche per il processo di conservazione del patrimonio culturale e la creazione di uno strumento operativo per la gestione delle informazioni relative alle attività di conservazione sviluppato mediato l'utilizzo di software free e open-source.

Nel 2005 in Italia si è dato avvio al processo di digitalizzazione della Pubblica Amministrazione attraverso la pubblicazione del D.L. 82 – Codice dell'Amministrazione Digitale (CAD). L'obiettivo primario è la creazione di nuove strategie per la gestione delle attività della Pubblica Amministrazione attraverso l'utilizzo di infrastrutture innovative e digitali capaci di semplificare e rendere maggiormente sicuro l'accesso alle informazioni. L'ente preposto a garantire il raggiungimento degli obiettivi è l'Agenzia per l'Italia Digitale (AgID) la quale si occupa di contribuire alla diffusione delle tecnologie di scambio attraverso l'uso di strumenti e procedure innovative. La sua attività si sviluppa anche attraverso

l’emanazione di linee guida. In particolare, nelle “Linee guida acquisizione e riuso software PA” sono contenuti gli indirizzi per un utilizzo esteso di tecnologie *software free* e *open-source* (FOSS). L’obiettivo è generare un flusso virtuoso di scambio di strumenti aperti e riutilizzabili tra le amministrazioni, mettendo a fattor comune le risorse impegnate e gli investimenti, incrementando così la sostenibilità economica del processo. Tra le innovazioni indicate dal processo di digitalizzazione, una in particolare interessa il settore degli appalti pubblici, con l’introduzione graduale dell’obbligatorietà dell’uso del BIM. Tale procedura ha trovato ulteriore conferma e definizione nell’ultima versione del Codice dei contratti pubblici (D. Lgs 36/2023), il quale nell’art. 3 comma 2 dell’allegato I.7 sancisce che il Capitolato Informativo è parte sostanziale del Documento di Indirizzo alla Progettazione.

Il tema della conservazione preventiva e programmata è argomento che affonda le radici teoriche negli anni Settanta del secolo scorso e si è affermato in ambito legislativo nel 2004 nel Codice dei beni culturali e del paesaggio, trovando conferma anche nell’ultimo aggiornamento del Codice dei contratti pubblici nell’art. 3 dell’All. II.18, il quale definisce che i lavori sui beni culturali devono essere eseguiti secondo i tempi, le priorità e le altre indicazioni derivanti dal criterio della conservazione programmata.

Relativamente più recente è, invece, il fermento scientifico in ambito nazionale e internazionale sull’uso di strumenti digitali per la modellazione informativa (*Building Information Modeling*) in applicazione al patrimonio culturale.

Se da un lato è accertato l’alto livello raggiunto dall’uso della modellazione informativa nel settore delle nuove costruzioni, dall’altro lato la ricerca scientifica ha rivelato che l’uso di tali strumenti nell’ambito del patrimonio culturale non è adeguato alla gestione della complessità che caratterizza il costruito storico, riducendo la modellazione e la gestione delle informazioni ad essa correlata a forzati adeguamenti. Il risultato è la creazione di prodotti finali che si caratterizzano come surrogati, sviluppati cercando di adattare le esigenze del patrimonio culturale architettonico agli strumenti disponibili. L’obiettivo da raggiungere è il ribaltamento di questa condizione, ovvero l’adeguamento degli strumenti alle esigenze del patrimonio culturale. Il superamento di tale limite sarà possibile solo risolvendo il problema dello scambio delle informazioni tra i differenti soggetti coinvolti nel processo di conservazione, in altri termini, quando sarà realizzata l’interoperabilità tra i modelli informativi che concorrono alla rappresentazione dell’entità reale e che scambiano i dati all’interno di un ambiente comune di condivisione.

Il punto cruciale è quindi il riconoscimento della necessità di avere più modelli informativi per i diversi aspetti, compresi, quindi, quelli che caratterizzano il patrimonio culturale, tra i quali avviene

un continuo scambio di dati e informazioni. Il flusso di dati e informazioni si svolge correttamente se ogni modello è in grado di comprendere ed essere compreso correttamente, cioè se i modelli sono interoperabili tra loro.

L'interoperabilità nel settore delle costruzioni e del Facility è garantita dagli standard IFC (*Industry Foundation Classes*) rilasciati ufficialmente da *buildingSMART International*. La mancanza, all'interno di tali standard, dei contenuti specifici e caratterizzanti il patrimonio storico, decreta l'incapacità di scambiare e comprendere correttamente tali informazioni e dunque l'inadeguatezza degli strumenti. Dove le informazioni e i dati interessano tanto la modellazione geometrica quanto quella non geometrica presente in altri modelli e/o sistemi informativi esterni, comprendendo quindi la gestione dei dati derivanti dalle attività di conservazione che presentano differenze sostanziali rispetto al nuovo costruito. Risulta quindi necessario il riconoscimento e la standardizzazione di tali dati da parte degli enti preposti, facendo chiaramente riferimento a *buildingSMART International* al fine di integrare in maniera totale ed efficace i differenti apporti informativi.

Affinché sia raggiunto un effettivo ed efficace scambio di informazioni tra diversi modelli all'interno di un *Common Data Environment* (CDE), occorre definire in maniera univoca i significati semantici dei dati scambiati.

Nel settore informatico le ontologie hanno un ruolo primario nel processo di rappresentazione della conoscenza. Diversi autori hanno fornito una definizione di ontologie, come ad esempio Borst¹, Guarino², Neches³, Bernars⁴; quella elaborata da Gruber⁵ nel 1993 è probabilmente la più chiara. Gruber definisce che "*Ontology is a formal and explicit specification of a shared conceptualization*". Ovvero, attraverso la concettualizzazione vengono creati dei modelli astratti di un determinato dominio di conoscenza per rappresentare la realtà attraverso delle classi, istanze, funzioni, relazioni e assiomi che rispettano regole strutturali e significati comuni a più sistemi. È proprio la condivisione delle regole e dei significati che rende i sistemi interoperabili.

Appare chiaro, dunque, come il concetto di interoperabilità sia fortemente legato alla definizione di ontologie in grado di descrivere in maniera univoca entità e concetti reali.

Il contributo proposto illustra le attività svolte nel dottorato di ricerca "Integrate BIM process for

1. Vedi BORST 1997.

2. Vedi GUARINO 1998.

3. NECHES ET ALII 1991, pp. 35-56.

4. BERNARAS, LARESGOITI, CORERA 1996, pp. 298-302.

5. Vedi GRUBER 1993.

Cultural Heritage: Ontologies and Interoperability for information interchange”⁶ e all’interno delle attività dell’unità di ricerca del Politecnico di Milano nel progetto PRIN 2017 “Historic Preservation Foundation Classes: Procedure e ontologie per l’interoperabilità nella tutela del patrimonio storico architettonico”⁷.

Entrambi i progetti ereditavano le esperienze scientifiche sviluppate in ambito nazionale e internazionale negli anni precedenti, come ad esempio il progetto BHIMM⁸ dalle quali sono nati interessanti sperimentazioni, e dove, anche le difficoltà riscontrate, sono state di rilevante importanza per capire quale fosse la via giusta da percorrere per il raggiungimento degli obiettivi. Numerosi sono attualmente i contributi scientifici sul tema delle ontologie e degli strumenti di gestione e scambio di dati nell’ambito del patrimonio culturale⁹.

Nell’ottica di una coerenza di metodo e di ottimizzazione del lavoro, il punto di partenza delle attività svolte è quanto già sviluppato per il settore delle costruzioni e del patrimonio culturale.

Relativamente al settore delle costruzioni, sono stati considerati gli standard IFC¹⁰ e il metodo di definizione dei contenuti informativi come indicato all’interno delle norme UNI e ISO¹¹. Gli standard IFC presentano una struttura gerarchica divisa in quattro livelli denominati Dominio, Interoperabilità, Core e Risorse. All’interno del Dominio (il livello più alto che non afferisce a nessun altro livello superiore) sono contenuti, appunto, i domini di definizione che rappresentano gli ambiti disciplinari, in sostanza quei modelli eterogenei che, messi in relazione, concorrono alla descrizione della complessità dell’oggetto reale. Osservando la rappresentazione grafica della struttura degli IFC (fig. 1) emerge l’assenza di un dominio specifico e dei livelli gerarchici sottostanti dedicati alla gestione di dati relativi al costruito storico. Pertanto, per il raggiungimento della ricercata interoperabilità tra i modelli all’interno di un processo di gestione della conservazione del costruito storico, occorre implementare la struttura degli standard con i contenuti specifici del settore culturale. Attività propedeutica alla scrittura dei codici di interoperabilità, che il progetto di ricerca qui presentato

6. Vedi PILI 2023.

7. Politecnico di Milano – Dipartimento ABC (PI e responsabile dell’UR Prof. Stefano Della Torre), Università degli Studi di Genova (responsabile scientifico dell’UR Prof. Stefano F. Musso), Alma Mater Studiorum - Università di Bologna (responsabile scientifico dell’UR Prof. Marco Pretelli), Università di Roma La Sapienza (responsabile scientifico dell’UR Prof. ssa Donatella Fiorani).

8. Vedi DELLA TORRE 2017.

9. Vedi MOYANO *ET ALII* 2023.

10. Vedi ISO 16739-1: 2020.

11. Vedi: UNI EN ISO 19650; UNI 11337; UNI EN 17412.

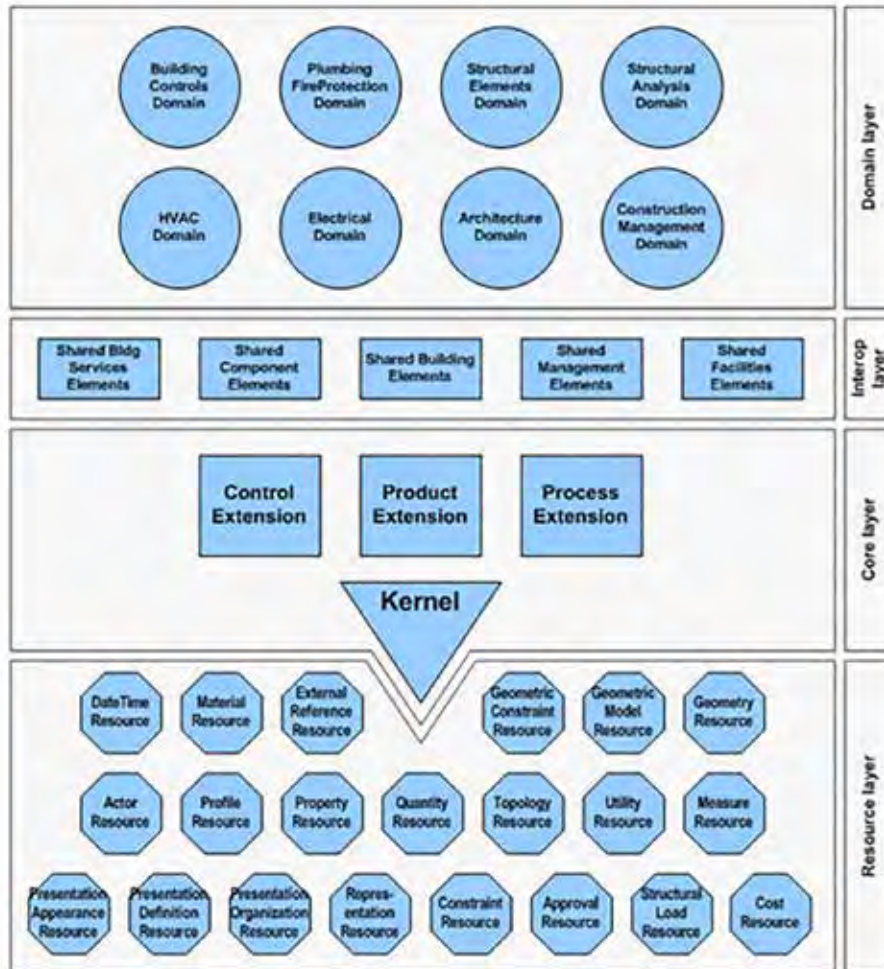


Figura 1. Struttura gerarchica e livelli concettuali degli standard IFC (fonte: buildingSMART).

ha chiamato HPFC (*Historic Preservation Foundation Classes*) specificando così la differenziazione dall'Industry degli IFC, è la compilazione di ontologie semantiche in grado di rappresentare la conoscenza.

CIDOC-CRM (*Conceptual Reference Model*)¹² è il modello concettuale ontologico di riferimento per i beni culturali. In Italia, l'Istituto Centrale per il Catalogo e la Documentazione in collaborazione con l'Istituto di scienze e tecnologie della cognizione del CNR ha sviluppato un sistema ontologico denominato ArCo (Architettura della Conoscenza), in grado di descrivere l'oggetto culturale nella sua complessità garantendo l'interoperabilità attraverso l'allineamento con altre ontologie specifiche del settore, tra cui le ontologie CIDOC. Le ontologie ArCo presentano al loro interno contenuti semantici (classi e relazioni) affini a quelli del processo di conservazione come definito nell'art. 29 del codice dei Beni Culturali, costituendo dunque un'ottima base di partenza per la compilazione delle ontologie qui presentate.

Flusso di lavoro

Le attività svolte sono suddivise in fasi di lavoro che possono essere così sintetizzate: definizione del processo e dei suoi contenuti; individuazione dei modelli rappresentativi; individuazione dei fabbisogni informativi; concettualizzazione del modello specifico per il settore culturale; compilazione delle ontologie; sviluppo dello strumento di gestione dei dati (fig. 2).



Figura 2. Flusso di lavoro: specifica delle attività e dei contenuti (elaborazione A. Pili, 2024).

12. Vedi ISO 21127: 2014

Dalla definizione del processo alle ontologie (fig. 3)

Il processo di conservazione è definito dall'art. 29 del Codice di Beni Culturali e del Paesaggio come un «coerente coordinata e programmata attività di studio, prevenzione, manutenzione e restauro». La fase di studio comprende attività finalizzate alla conoscenza quali: ricerca, rilievo e rappresentazione/modellazione. In un primo momento, la fase di studio consente di conoscere l'edificio, mentre nelle fasi successive del processo, la fase di studio consente la stratificazione delle informazioni. Prevenzione, manutenzione e restauro rappresentano diversi livelli di attività: la prevenzione rappresenta attività a basso impatto, la manutenzione limita l'attivazione di condizioni potenzialmente dannose, il restauro comporta attività più incisive e dirette sul bene¹³. Prevenzione, manutenzione e restauro sono costituiti da analisi, programmazione, progettazione, autorizzazione, esecuzione e collaudo. Per ogni livello di scomposizione del processo di conservazione sono individuati gli obiettivi che consentono l'individuazione dei modelli informativi necessari per la gestione integrale di dati e informazioni. Confermando la valenza di modelli e sistemi informativi già in uso per il settore delle costruzioni (come strutture, impianti, facility e property management, ...), è emersa la necessità di avere due modelli informativi specifici per il settore culturale che sono stati denominati Piano di Conservazione e Superfici. Il primo gestisce e condivide i dati relativi al processo di conservazione, il secondo quelli più specifici e di dettaglio relativi alle superfici decorate. I due modelli sono intrinsecamente correlati tra loro.

Successivamente all'individuazione dei modelli rappresentativi, per ognuno di essi sono stati definiti gli usi e gli obiettivi sviluppati secondo gli ambiti disciplinari coinvolti e individuati i fabbisogni informativi che i modelli devono soddisfare. Il sistema dei fabbisogni informativi fornisce la base di selezione per la definizione del Capitolato Informativo precedentemente citato.

La definizione del modello concettuale consente di creare un modello astratto (definito da classi, istanze, funzioni, relazioni e assiomi) capace di rappresentare la conoscenza di un determinato dominio reale. L'operazione di scomposizione in livelli del processo di conservazione (dominio principale) ha consentito di individuare i sottodomini del modello ontologico. Dal modello concettuale del processo di conservazione è stato sviluppato il modello concettuale del Piano di Conservazione, precedentemente individuato tra i modelli necessari per la gestione delle informazioni secondo la definizione delle attività elencate nell'art. 29 del codice dei beni culturali. Il piano di conservazione è lo strumento operativo della conservazione preventiva e programmata; pertanto, il passaggio dal

13. Vedi DELLA TORRE 2003.

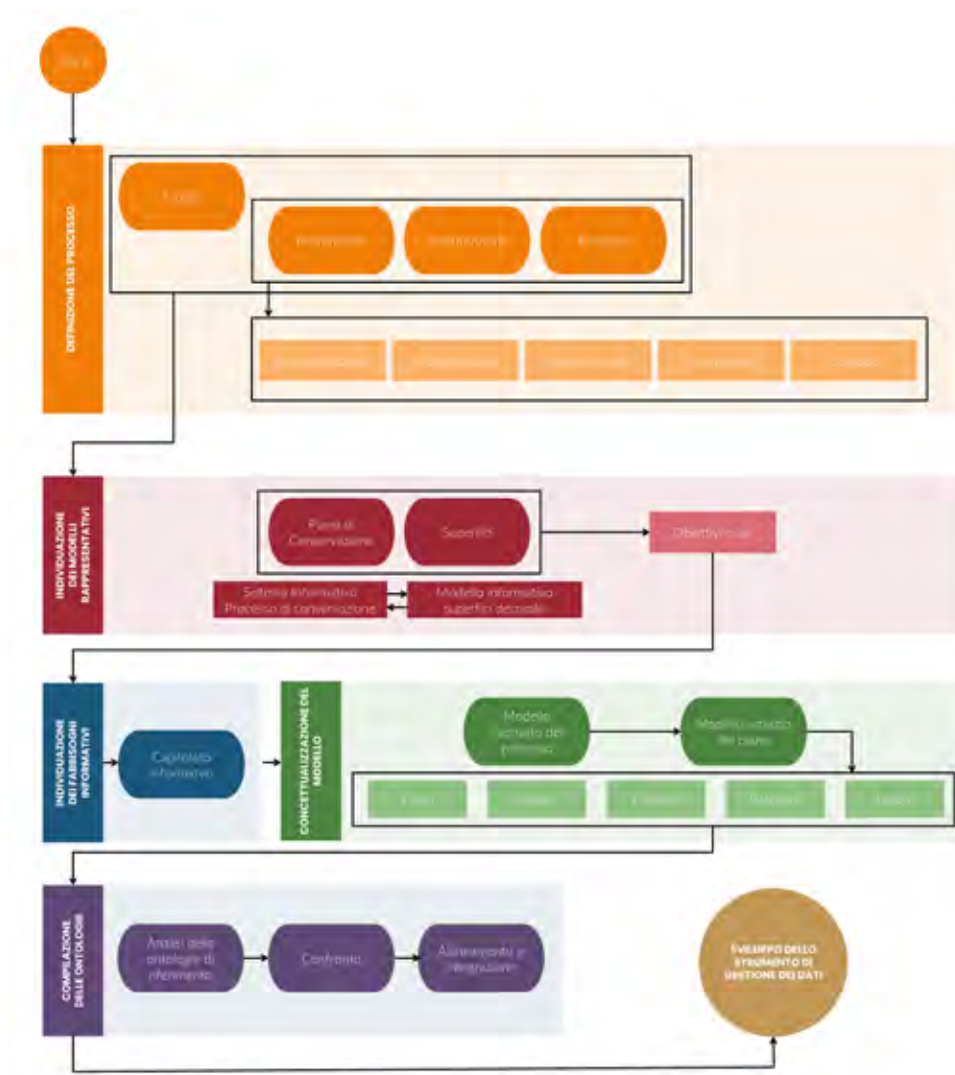


Figura 3. Flusso di lavoro: specifica delle attività e dei contenuti (elaborazione A. Pili, 2024).

modello concettuale del processo di conservazione al modello concettuale del piano ha consentito la riorganizzazione dei contenuti informativi secondo i documenti che costituiscono il piano di conservazione (figg. 4-5).

L'ultima fase relativa alla compilazione delle ontologie si sviluppa in tre sottofasi che prevedono: l'analisi delle ontologie di riferimento; il confronto; infine, l'allineamento e integrazione, i quali costituiscono la compilazione vera e propria delle ontologie per il processo di conservazione che sono state chiamate *Conservation Process Ontology* (CPO). Per lo svolgimento di questa parte di attività è stata utilizzata la piattaforma *FOSS Protégé* sviluppata dalla Stanford University School of Medicine per costruire modelli di dominio e consente la creazione, visualizzazione e gestione di ontologie.

Considerare ontologie come riferimento significa che altre ontologie (o parti di esse) già predisposte sono riutilizzate. Tra i vantaggi del riuso c'è sicuramente l'ottimizzazione di tempo e lavoro, ma richiede una attenta analisi per comprendere correttamente la struttura, le relazioni tra le entità e i significati al fine di individuare eventuali disallineamenti semantici e di sintassi tra le ontologie di riferimento (reciprocamente, se sono più di una) e di queste con le nuove ontologie.

Come accennato precedentemente, la compilazione delle CPO ha previsto il riutilizzo delle ontologie CIDOC, ArCo (già allineate con le CIDOC) e degli standard IFC.

Operativamente si è proceduto con la creazione all'interno di Protégé di un nuovo file dove sono state richiamate le ontologie di riferimento ed è stata creata la struttura del modello concettuale delle CPO.

Relativamente alla struttura delle CPO, si è proceduto con la definizione delle classi del modello concettuale del piano di conservazione definito secondo domini e sottodomini (elemento, materiali, degni, valutazione del rischio, diagnostica e monitoraggio, attività, costi, ...).

Conclusa la parte di definizione della struttura delle CPO, e la relativa compilazione della descrizione semantica delle classi, si è proceduto con la definizione delle relazioni sia con le ontologie di riferimento sia all'interno delle stesse CPO. L'analisi delle ontologie di riferimento ha consentito di individuare le classi che presentano corrispondenza semantica con le classi del processo di conservazione. In particolare, per le CIDOC sono state individuate le classi E14, E24, E29, E35, E39, E57, E58; per le ontologie ArCo le classi "Descrizione Bene Culturale", "Specifiche del Bene Culturale", "Uso", "Oggetto spaziale", "Bibliografia"; per gli standard IFC le classi *ifcBuildingElement*, *ifcActor*, *ifcSchedulingTime*. In alcuni casi è stato necessario definire delle sottoclassi per meglio definire concetti semantici differenti come nel caso della classe "bene architettonico e del paesaggio" delle ontologie ArCo che è stata divisa nelle due subclassi "CPO_architectural_heritage" e "CPO_landscape_

heritage"; la classe 'indagini' è stata definita con le subclassi "CPO_Survey", "CPO_Research", "CPO_Modeling/Representation", e "CPO_diagnostic_monitoring"; la classe "ispezioni" è stata specificata con le subclassi "CPO_visual_inspection", "CPO_empirical_control", e "CPO_instrumental_control"; e, infine, la classe "interventi ai fini conservativi" è stata specificata con le subclassi "CPO_preventive_actions", "CPO_maintenance_intervention", e "CPO_restoration_intervention".

Altre integrazioni hanno riguardato le istanze delle classi delle ontologie di riferimento, come per esempio l'inserimento della figura del "restauratore" all'interno della classe "ifcRoleEnum" degli standard IFC la quale contiene l'elenco dei soggetti coinvolti nel processo e dove, evidentemente, la presenza di tale figura non è prevista per le nuove costruzioni.

Uno strumento free e open source per la conservazione

Affinché le ontologie siano effettivamente operative, è necessario dotarsi di uno strumento che sia in grado di gestire i dati e le informazioni che definiscono i contenuti informativi di un modello.

Come precedentemente detto, gli attuali strumenti di modellazione informativa non consentono la gestione delle informazioni relative al processo di conservazione.

In accordo con i principi dell'innovazione digitale in atto che incentiva l'uso di formati aperti e di FOSS, per lo sviluppo dello strumento operativo è stato utilizzato FreeCAD. FreeCAD è un modellatore parametrico FOSS utilizzato in diversi ambiti disciplinari. Le funzioni variano a seconda del settore di utilizzo e sono definite all'interno di moduli applicativi chiamati *workbenches*. Il software è dotato di moduli base e moduli aggiuntivi sviluppati dagli utenti della community in base alle proprie esigenze di utilizzo. La programmazione dei *workbenches* è sviluppata in ambiente Python.

Oltre ai moduli base utilizzati per la modellazione parametrica, tra i moduli aggiuntivi disponibili c'è il *workbench* BIM che fa riferimento agli standard IFC e consente l'importazione e l'esportazione in formato ".ifc".

È stato dunque creato il modulo denominato "ConservationProcess" all'interno del quale sono state generate le funzioni per l'implementazione dei dati e informazioni inerenti al processo di conservazione precedentemente definiti nelle ontologie sviluppate.

L'immagine (fig. 6) mostra la compilazione del file "InitGUI.py" che contiene le istruzioni per la creazione del *workbench* e richiama i file di programmazione delle funzioni specifiche. L'immagine (fig. 7) mostra il modulo e le relative funzioni all'interno del programma FreeCAD. L'interfaccia grafica è stata sviluppata mediante progettazione di *widget* in ambiente Qt (figg. 8-9).

```

InitGui.py
File Edit View Selection Find Packages Help

class ConservationProcess(FreeCADMod, workbench):
    def __init__(self):
        self.__class__.__base__ = FreeCAD.PartWorkbench
        self.__class__.__name__ = "ConservationProcess"
        self.__class__.__doc__ = "ConservationProcess: Tools focused on Conservation Process activities according to Italian Law"

    def initialize(self):
        """This function is executed when FreeCAD starts"""

        import GeneralInformation
        import Base
        import Element
        import MaterialTechnology
        import Design
        import Relationship
        import Diagrams
        import Activities
        import TechnicalDescription

        self.__class__.icons = ["GeneralInformation",
                               "Base",
                               "Element",
                               "MaterialTechnology",
                               "Design",
                               "Relationship",
                               "Diagrams",
                               "Activities",
                               "TechnicalDescription"]

        self.addPreference("ConservationProcess (commands)", self.__class__)
        self.addPreference("ConservationProcess", self.__class__)

    def activate(self):
        """This function is executed when the workbench is activated"""
        return

    def deactivate(self):
        """This function is executed when the workbench is deactivated"""
        return

    def iconActivated(self, position):
        """This is executed whenever the user right-clicks on screen"""
        self.openCommandFromMenu("My commands", self.__class__)

    def activateIcon(self):
        return "lib://pythonworkbench"

FreeCADMod.addWorkbench(ConservationProcess)

```

Figura 6. Codici di programmazione del workbench ConservationProcess. (elaborazione A. Pili, 2024).

Lavori in corso e futuri

Attualmente è in corso lo sviluppo di un Sistema Informativo Integrato (S.I.I.) basato sulle ontologie CPO, capace quindi di gestire efficacemente i dati del processo di conservazione. Il sistema è definito integrato in virtù dell'integrazione, appunto, di questo con modelli BIM e GIS. L'integrazione sarà realizzata mediante relazione di corrispondenza tra l'ID dell'oggetto nel modello e l'ID dell'oggetto nel S.I.I. Al termine dello sviluppo del S.I.I. sarà possibile procedere con la verifica delle funzionalità del sistema. È evidente che l'interoperabilità tra il Sistema Informativo e altri modelli sarà effettiva solo nel momento in cui saranno resi disponibili degli standard al pari degli IFC. La soluzione di integrazione che si sta portando avanti, per quanto non perfettamente rispondente ai criteri di interoperabilità, consentirà non solo di verificare le funzionalità del sistema, ma anche di validare le ontologie CPO che hanno definito la struttura del sistema.

Conclusioni

La gestione della conoscenza, intesa come stratificazione di dati e informazioni, è requisito fondamentale per la conservazione del patrimonio culturale. L'interdisciplinarietà che caratterizza il processo di conservazione richiede la definizione di concetti specifici univocamente compresi dai differenti soggetti che partecipano al processo e dai modelli che rappresentano l'entità reale. Dotarsi di ontologie specifiche per il patrimonio culturale si configura come condizione propedeutica per raggiungere l'interoperabilità tra modelli informativi che scambiano informazioni all'interno di un ambiente comune di condivisione e archiviazione dei dati.

Il lavoro qui presentato ha affrontato il tema della definizione di strumenti (nella duplice valenza concettuale e operativa) per la gestione del processo di conservazione, in accordo con i principi della conservazione preventiva e programmata definita dal codice dei beni culturali e del paesaggio, e fornendo al tempo stesso risposta alle spingenti esigenze derivanti transizione digitale.

Il lavoro pone le basi per le attività future di compilazione di standard aperti e condivisi dedicati al patrimonio culturale ai quali i modelli informativi dovranno fare riferimento al fine di raggiungere la necessaria interoperabilità. Lo sviluppo del Sistema Informativo Integrato è un punto di partenza e si auspica di poter avviare in futuro il processo di standardizzazione e quindi il raggiungimento dell'effettiva interoperabilità anche per i dati e informazioni specifici per il patrimonio culturale.

Bibliografia

- BERNARAS, LARESGOITI, CORERA 1996 - A. BERNARAS, I. LARESGOITI, J. CORERA, *Building and Reusing Ontologies for Electrical Network Applications. 12th European Conference on Artificial Intelligence*, John Wiley Sons, Chichester (England) 1996.
- BORST 1997 - W. BORST, *Construction of Engineering Ontologies*, PhD thesis, University of Twente, Institute for Telematica and Information Technology, Enschede 1997.
- DELLA TORRE 2003 - S. DELLA TORRE, *La conservazione programmata del patrimonio storico architettonico. Linee guida per il piano di manutenzione e il consuntivo scientifico*, Angelo Guerini e associati, Milano 2003.
- DELLA TORRE 2017 - S. DELLA TORRE, *Un bilancio per il progetto BHIMM. Built Heritage Information Modelling/Management - BHIMM - PRIN 2010-2011*, Atti del convegno, Milano, 21-22 giugno 2016, Milano 2017.
- GRUBER 1993 - T. GRUBER, *A Translation Approach to Portable Ontology Specifications*, Stanford University, Computer Science Department, Stanford, California 1993.
- GUARINO 1998 - N. GUARINO, *Formal Ontology in Information Systems*, IOS Press, Amsterdam 1998.
- MOYANO ET ALII 2023 - J. MOYANO, A. PILI, J. NIETO, S. DELLA TORRE, S. BRUNO, *Semantic interoperability for cultural heritage conservation: Workflow from ontologies to a tool for managing and sharing data*, in «Journal of Building Engineering», 2023, 80. DOI: 10.1016/j.job.2023.107965.
- NECHES ET ALII 1991 - R. NECHES, R. FIKES, T. FININ, T. GRUBER, R. PATIL, T. SENATOR, W. SWARTOUT, *Enabling Technology for Knowledge Sharing and Reuse*, in «AI Magazine», 1991, 12, 3, pp. 36-56. DOI: 10.1609/aimag.v12i3.902.
- PILI 2023 - A. PILI, *Integrated BIM process for Cultural Heritage: Ontologies and Interoperability for information interchange*, Tesi di dottorato, XXXIV ciclo, Politecnico di Milano - Dipartimento di Architettura, Ingegneria delle Costruzioni e Ambiente Costruito, Milano 2023.

PARTE II - ESPERIENZE



PART II - EXPERIENCES



From Materiality to Immateriality and Vice Versa. Digitisation for Built Heritage

Roberto Di Giulio (Università degli Studi di Ferrara), Giulia Favaretto (Università di Bologna), Danila Longo (Università di Bologna), Marco Medici (Università degli Studi di Ferrara)

Although the materiality of built heritage constitutes a crucial aspect to interface with in order to act effectively for its protection, the field of immateriality has witnessed a progressive advancement registered in recent decades. Beyond the various “forms” of intangible cultural heritage, as well as the intangible components linked to the tangible works, it is precisely immateriality that can be considered for its “instrumental nature” for cultural heritage assets. Hence, the topic of digital applied to the built heritage.

In the context of digitisation, with which we will increasingly have to deal in the future, this contribution intends to present possible fields of action that are revealing their potential in terms of conservation and valorisation of the existing heritage. Starting from operational examples implemented in this sense, the investigation focuses attention on the experience related to the 4CH Project for the establishment of a Competence Centre for the Conservation of Cultural Heritage, in the framework of which modelling and semantic enrichment issues through ontologies and HBIM models are also addressed.

What it is outlined contributes to highlighting the perspectives for heritage that digital is able to enable, underlining how, with reference to the built heritage, these frontiers, although endowed with new potential, require a path “from materiality to immateriality and vice versa” in order to continue to pay attention to the material substance of architecture, in its stratified consistency, as the only one that allows the effective transmission to the future of the asset inherited from the past.

Historic Preservation Foundation Classes

Procedure e ontologie per l'interoperabilità nella tutela del patrimonio storico architettonico

www.archistor.unirc.it

ArchHistoR EXTRA 12 (2024)

ISSN 2384-8898

Supplemento di ArchHistoR 19/2023

ISBN 978-88-85479-39-5

DOI: 10.14633/AHR445



Dalla materialità all'immaterialità e viceversa. Il digitale per il patrimonio costruito

Roberto Di Giulio, Giulia Favaretto, Danila Longo, Marco Medici

Dalla materialità all'immaterialità

Perno nodale attorno al quale ruota la cultura del restauro fin dagli albori della nascita della disciplina, il patrimonio costruito costituisce una risorsa di cui la contemporaneità ha il compito di prendersi cura, nell'ottica della sua tutela, valorizzazione e trasmissione al futuro. Garantire la permanenza in essere dell'esistente, individuando mezzi e strumenti utili a massimizzarne la conservazione, rappresenta un punto di attenzione ineludibile all'interno di tale contesto e dei sopracitati orizzonti.

Sebbene la materialità del patrimonio costruito sia dunque un aspetto cruciale con cui interfacciarsi per agire fattivamente per la sua protezione, il campo dell'immaterialità ha assistito a un progressivo avanzare registratosi negli ultimi decenni a partire dalla stesura, nel 1979, della Carta di Burra. È infatti a tale documento che si deve il tentativo di «definire una sintesi fra un'ottica consolidata, saldamente ancorata sul valore centrale dell'architettura e della materia, e le esigenze di mondi che vedevano nella tradizione – gestuale, rituale, narrativa – il fulcro della propria dimensione culturale»¹.

La stesura dell'articolo risulta riferibile a G. Favaretto per *Dalla materialità all'immaterialità, Linguaggi semantici, ontologie e modelli HBIM*, e Dall'immaterialità alla materialità. A G. Favaretto e D. Longo per *L'esperienza del Progetto 4CH* e R. di Giulio e M. Medici per *Procedure di modellazione e arricchimento semantico*.

1. FIORANI 2014, p. 9.

Al di là delle varie “forme” di patrimonio culturale immateriale, nonché delle componenti intangibili legate alle opere tangibili, l’immaterialità può essere guardata anche con riferimento alla sua “natura strumentale”² per i beni culturali. Da qui, il tema del digitale applicato al patrimonio costruito.

Nell’ambito della digitalizzazione, con cui sempre più si avrà a che fare nel prossimo futuro, un campo di azione che sta rivelando le proprie potenzialità in termini di valorizzazione del patrimonio e di coinvolgimento della società civile, dalle comunità locali al turista, è quello delle nuove strumentazioni digitali e immersive per e nel patrimonio esistente. Al riguardo, esperienza significativa è quella offerta da Casa Batlló a Barcellona dove, grazie al ricorso all’arte digitale e al coinvolgimento dell’artista Refik Anadol, la proiezione di un *video mapping* sulla facciata del manufatto arricchisce l’architettura e il panorama urbano tramite l’opera *Living Architecture*, mentre negli interni dell’edificio è il lavoro *In the Mind of Gaudí* ad offrire un’esperienza pionieristica di immersione digitale a 360°, per un potenziamento della conoscenza, favorendo il coinvolgimento dell’utente (figg. 1-2). Sempre in quest’ottica, è la realtà aumentata ad essere stata adottata per consentire una visita interattiva nel capolavoro di Antoni Gaudí, attraverso dispositivi quali *smartphone* e *tablet* utili all’integrazione di una *smart guide* all’interno del percorso, per facilitare la comprensione dell’opera e rendere il fruitore un attore attivo nella scoperta della stessa. In questo senso, una ulteriore significativa esperienza è quella offerta dal Museo degli Innocenti a Firenze, nel quale non solo diversi livelli di approfondimento di conoscenza sono stati tarati sulla base all’utente, dal professionista ed operatore al cittadino e visitatore, ma visori VR – *Virtual Reality* favoriscono l’interattività, come nel caso di quelli predisposti per la mostra *Olafur Eliasson*. Nel tuo tempo (Museo degli Innocenti, Firenze, 22 settembre 2022 - 22 gennaio 2023) (figg. 3-4).

Una ulteriore frontiera del digitale può essere considerata quella relativa allo sviluppo di applicazioni, come l’*app StreetMuseum*, utilizzabile negli spazi urbani di Londra per la diffusione della conoscenza del trascorso della città e del suo patrimonio, nonché di piattaforme digitali per offrire servizi di informazione e divulgazione all’interno di sistemi turistici culturali integrati del territorio. Al riguardo, degno di nota è il Grande Progetto Pompei, nell’ambito del quale a integrazione di applicazioni specificatamente predisposte per le visite è stato ideato un portale attraverso il quale presentare e pubblicizzare a residenti, visitatori e soggetti operanti sul territorio iniziative ed eventi finalizzati ad ampliare l’offerta turistica e il coinvolgimento dell’utente in un quadro di servizi e itinerari suggeriti in relazione a differenti disponibilità temporali ed economiche. Itinerari dedicati al

2. *Ivi*, p. 11.



Figura 1. Casa Batlló, Barcellona. La facciata dell'edificio con video mapping in proiezione ad opera dell'artista Refik Anadol, <https://www.casabatllo.es/it/si-di-noi/>, (ultimo accesso 11 dicembre 2023).



Figura 2. Casa Batlló, Barcellona. *In the Mind of Gaudí*, installazione immersiva dell'artista digitale Refik Anadol, <https://www.artribune.com/television/2022/01/video-nella-mente-di-antoni-gaudi-con-installazione-immersiva-di-refik-anadol/> (ultimo accesso 29 agosto 2025).



In alto, figura 3. Museo degli Innocenti, Firenze. Il digitale per lo sviluppo di percorsi basati sull'utente, <https://ec.europa.eu/research/participants/documents/downloadPublic?documentIds=080166e5c487bf10&appId=PPGMS> (ultimo accesso 24 ottobre 2023). A sinistra, figura 4. Museo degli Innocenti, Firenze. Impiego di visori VR nel percorso della mostra *Olafur Eliasson. Nel tuo tempo* (foto G. Favaretto 2022).

patrimonio del Novecento, e approfondimenti su singole architetture lungo i percorsi, sono invece proposti da siti *web* e *app* come *Come In! Forlì*, sviluppato nell'ambito del programma europeo URBACT, o *MemoriApp*, promossa dalla rotta culturale ATRIUM – *Architecture of Totalitarian Regimes of the XX Century in Europe's Urban Memory* (figg. 5-6).

Non secondaria è inoltre la possibilità di archiviazione, catalogazione, gestione e messa a sistema di quantità – anche notevoli – di documenti e di dati per la conoscenza del bene culturale, nonché per la definizione di progetti orientati alla salvaguardia del medesimo. Tra gli spazi che il digitale può abilitare, vi sono infatti le infrastrutture per la digitalizzazione del patrimonio culturale. A livello nazionale, è l'Istituto Centrale per la Digitalizzazione del Patrimonio Culturale – *Digital Library* del Ministero della Cultura ad avere redatto il Piano Nazionale di Digitalizzazione del patrimonio culturale (PND). Rivolto a musei, archivi, biblioteche, soprintendenze, istituti e luoghi della cultura pubblici che conservano, tutelano, gestiscono e valorizzano beni di interesse culturale, il PND rappresenta una visione strategica per l'organizzazione e la promozione del processo di trasformazione digitale nei settori dell'ecosistema culturale nel quinquennio 2022-2026³. Sempre nell'ottica di preservare storia, identità e memoria, iniziative quali l'operazione SUM – *Save the Ukraine Monuments* consentono, grazie alla raccolta e alla digitalizzazione di documentazione, di evitare la possibile perdita di informazioni in situazioni di rischio, nonché di supportare interventi di restauro successivi a danni, tra cui quelli bellici⁴ (figg. 7-8).

Vi è inoltre la sfera della modellazione integrata a quella della digitalizzazione delle informazioni. Al riguardo, è l'adozione di modelli HBIM – *Heritage Building Information Modelling* a consentire, mediante l'adozione di ontologie e linguaggi semantici, di gestire e porre a sistema dati e informazioni utili al raggiungimento del duplice obiettivo della conservazione e dell'uso contemporaneo del patrimonio costruito.

3. Vedi MINISTERO DELLA CULTURA, *Piano Nazionale di Digitalizzazione del Patrimonio Culturale*, Versione 1.1, 2022-2023, https://digitallibrary.cultura.gov.it/wp-content/uploads/2023/10/PND_V1_1_2023-1.pdf (ultimo accesso 13 dicembre 2023).

4. L'iniziativa, approvata dalla Commissione Europea e portata avanti con la collaborazione e il supporto di istituzioni e organizzazioni culturali europee, è stata promossa dal Progetto 4CH, <https://www.4ch-project.eu/sum/> (ultimo accesso 13 dicembre 2023).

L'esperienza del Progetto 4CH

I temi sopra enunciati si riferiscono a questioni che sono state richiamate e trattate dal Progetto 4CH – *Competence Centre for the Conservation of Cultural Heritage*⁵. A partire dalla definizione del quadro metodologico, procedurale e organizzativo di un Centro di Competenza (CC) europeo per la conservazione del patrimonio culturale, tale progetto si è proposto, nello specifico, di gettare le basi per la costituzione di un centro finalizzato a fornire conoscenze, consulenza, attività di supporto e servizi rivolti alla salvaguardia del patrimonio esistente. L'intento è stato dunque quello non solo di progettare e svilupparne la struttura e il funzionamento, ma anche di offrire servizi orientati a fornire supporto su strumenti e tecnologie integrate all'avanguardia, come soluzioni di Tecnologie dell'Informazione e della Comunicazione (TIC), modellazione 3D e HBIM, consulenza su opportunità di finanziamento, offerte di piani di formazione e accesso ad archivi di dati, documenti, riferimenti ed esempi di pratiche virtuose, per costituire un supporto utile a migliorare i processi conoscitivi e decisionali relativi al patrimonio. Supportato da una piattaforma operativa informatica, il CC è stato pensato per la costituzione di un nucleo centrale e di nodi nazionali per rivolgersi a istituzioni nazionali, regionali e locali, nonché a professionisti, operatori e cittadini.

Ponendo in evidenza i molteplici benefici che, in un'ottica di sviluppo sostenibile, il patrimonio

5. Finanziato dalla Commissione Europea (Grant Agreement n. 101004468) nell'ambito del Programma SOCIETAL CHALLENGES – *Europe In A Changing World - Inclusive, Innovative And Reflective Societies*, 4CH, Call: H2020-SC6-DT-TRANSFORMATIONS-20-2020, Horizon 2020 – *Competence Centre for the Conservation of Cultural Heritage* è un progetto Horizon 2020 (2021-2023). Coordinato dall'Istituto Nazionale di Fisica Nucleare (INFN, Italia), 4CH coinvolge un consorzio costituito da 19 *partner*, comprendenti enti di ricerca e formazione (INFN; PIN Srl – Servizi Didattici e Scientifici per l'Università di Firenze – PIN, con Associazione Culturale PRISMA – PRISMA, Italia; Fundación Tecnalia Research & Innovation – TECNALIA, Spagna; Koninklijke Nederlandse Akademie Van Wetenschappen – KNAW, Paesi Bassi; Alma Mater Studiorum - Università di Bologna – UNIBO, Italia; Athina Erevnitiko Kentro Kainotomias Stis Technologies Tis Pliroforias, Ton Epikoinonion Kai Tis Gnosis – ATHENA RC, Grecia; Laboratório Nacional de Engenharia Civil – LNEC, Portogallo; The Cyprus Institute – CYI, Cipro; Idryma Technologias Kai Erevnas – FORTH, Grecia; Université de Tours – UNI-TOURS, Francia), piccole e medie imprese (INCEPTION SRL – INCEPTION, Italia; Visual Dimension BVBA – VD, Belgio; RDF OOD AR DI EF – RDF, Bulgaria; IRON WILL LLC – Iron Will, Moldavia), associazioni di comunità (Connecting Archaeology and Architecture in Europe – CARARE, Irlanda; Michael Culture – MICHAEL, Belgio), agenzie governative (Istituto Centrale per il Catalogo Unico delle Biblioteche Italiane e per le Informazioni Bibliografiche – ICCU, con Istituto Centrale per il Catalogo e la Documentazione – ICCD, Italia; Institutul National al Patrimoniului - INP, Romania) e grandi aziende (Leica Geosystems AG – LEICA, Svizzera). Vedi: <https://cordis.europa.eu/project/id/101004468/it>; <https://www.4ch-project.eu> (ultimo accesso 13 dicembre 2023).



Figura 5. *StreetMuseum*, Londra. Impiego della realtà aumentata per documentare il trascorso della città e del suo patrimonio (da: PANCIROLI, MACAUDA, RUSSO 2017, p. 7).

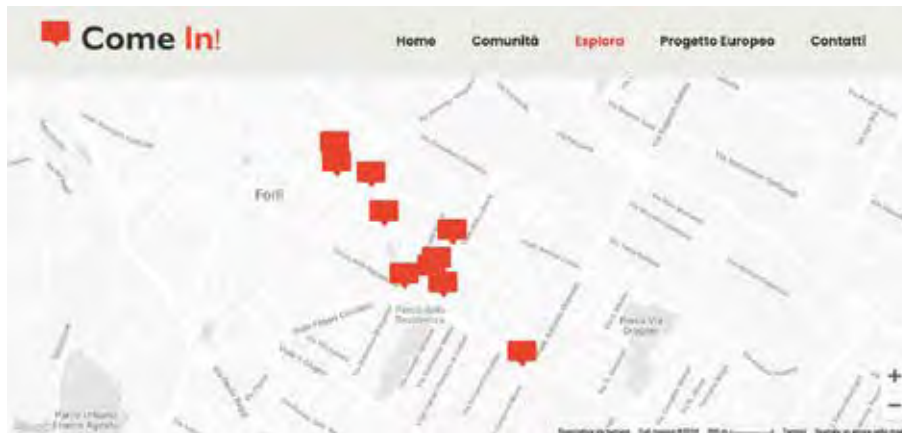


Figura 6. *Come In! Forlì*. Estratto da una pagina del sito web (da: <https://comeinforli.it/esplora>, ultimo accesso 5 gennaio 2024).

culturale è in grado di generare, da quelli culturali e sociali, a quelli economici ed ambientali⁶, un primo momento di indagine ha riguardato l'adozione di un lessico condiviso, definito sulla base di terminologie adottate da enti quali l'ICOMOS⁷ e ritenuto essenziale per ragionare in termini di salvaguardia dell'esistente non solo tra diverse realtà internazionali, ma anche tra attori con specializzazioni differenti.

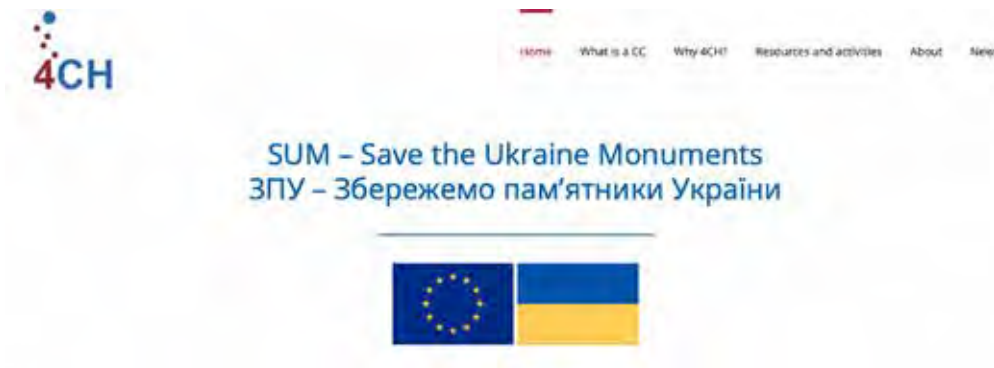
Un ulteriore *focus* di indagine ha riguardato l'individuazione e l'analisi di interventi virtuosi condotti sul patrimonio costruito, selezionati per l'eccellenza scientifica – garantita da parametri tra cui la pubblicazione in monografie dedicate, il ricevimento di premi e il coinvolgimento dell'università – e/o il proprio potenziale applicativo – in termini metodologici, tecnologici, sociali e gestionali – nell'ottica di redigere un censimento parziale, potenzialmente infinito e implementabile nel tempo, di pratiche connotate da un carattere esemplare riferibile a una o più attività inerenti alla conservazione, al restauro e/o alla valorizzazione del patrimonio esistente. La strutturazione, nell'ambito del progetto, di ulteriori *database* consente al contempo la ricerca, per parole ed elementi chiave, di Carte del Restauro, documenti e progetti di ricerca dedicati al patrimonio culturale. Nell'ambito delle attività

6. A sottolinearlo è, tra gli altri, il Progetto CHCFE – *Cultural Heritage Counts for Europe*, cofinanziato dall'Unione Europea. Vedi: CHCFE, Full Report, 2015, <https://www.europanostra.org/our-work/policy/cultural-heritage-counts-europe/> (ultimo accesso 14 dicembre 2023).

7. Tra i principali glossari di riferimento vedi ICOMOS, *Heritage Conservation Terminology*, 2021, http://ip51.icomos.org/~fleblanc/documents/terminology/doc_terminology_e.html (ultimo accesso 12 dicembre 2023).



A sinistra, figura 7. Linee guida, visione e strategie del PND (da: <https://digitallibrary.cultura.gov.it/il-piano/>, ultimo accesso 5 gennaio 2024). In basso, figura 8. Estratto dalla *home page* di 4CH con rimando all'operazione SUM (da: <https://www.4ch-project.eu>, ultimo accesso 5 gennaio 2024).



di 4CH, i risultati di tali analisi sono stati inoltre restituiti attraverso sintesi parallele e complementari. Da un lato, la comparazione attraverso una lettura critica e trasversale di interventi virtuosi condotti su e per il patrimonio esistente ha permesso di presentare buone pratiche e di individuare le relative abilità. Dall'altro lato, la stesura di un quadro comune ha consentito la lettura dell'evoluzione delle pratiche operative analizzate in relazione tanto ai progetti europei in ambito di tutela del patrimonio avviati nel tempo, quanto ai documenti finalizzati alla sua salvaguardia.

Come anticipato, tale lavoro ha altresì costituito la base per l'identificazione di abilità, consolidate ed emergenti, individuate a partire dall'analisi di buone pratiche, assieme a quella di documenti di indirizzo e programmi di formazione, con l'obiettivo di definire attraverso quali attività il futuro CC potrà contribuire per migliorarne lo sviluppo. Ancora una volta, la definizione del lessico ha costituito un perno centrale, necessario per approfondire la differenza di significato e le relative connotazioni dei termini competenza, abilità e conoscenza, tra loro strettamente connessi eppure diversificati⁸.

Tutto ciò ha dimostrato la crescente complessità del patrimonio dovuta a diverse ragioni, tra cui quella legata al fatto che le discipline connesse alla sua tutela sono in costante evoluzione, così come i beni da salvaguardare, sottolineando l'importanza della presenza di figure specialistiche e, al contempo, l'esigenza di una cooperazione tra esse, nonché la necessità della sussistenza di punti di riferimento, come quello proposto dal CC europeo per la conservazione del patrimonio culturale, alla cui istituzione ha lavorato il Progetto 4CH⁹.

Linguaggi semantici, ontologie e modelli HBIM

Tra le abilità in grado di offrire un contributo utile alla conservazione e alla valorizzazione del patrimonio costruito, vi sono quelle inerenti al campo della digitalizzazione, nell'ambito del quale si inserisce anche lo sviluppo di modelli HBIM che, come anticipato, costituisce uno degli aspetti su cui ruoteranno i servizi offerti dal futuro CC per la conservazione del patrimonio culturale.

L'HBIM, uno degli spazi che il digitale può abilitare, richiede oggi approfondimenti e nuove sfide conoscitive rese necessarie da norme che ne impongono l'adozione: in ambito nazionale, è il nuovo Codice degli Appalti, introdotto dal D.Lgs. 31 marzo 2023, n. 36 "Codice dei contratti pubblici in attuazione dell'articolo 1 della legge 21 giugno 2022, n. 78, recante delega al Governo in materia di contratti pubblici", a rendere obbligatoria l'adozione di sistemi digitali procedendo con modalità BIM

8. Per un riferimento chiave vedi EUROPEAN PARLIAMENT COUNCIL 2008.

9. Su questi temi vedi anche: FAVARETTO *ET ALII* 2022; FAVARETTO *ET ALII* 2023; LONGO *ET ALII* 2024.

nel caso di interventi superiori a 1 milione di euro. L'importanza della conoscenza di tale strumento non è tuttavia legata soltanto a mere questioni di necessità, ma anche al fatto che esso può costituire un prezioso ausilio in termini di raccolta e interoperabilità di dati, qualora opportunamente gestito.

Proprio la possibilità di coniugare, all'interno di un unico strumento, la rappresentazione tridimensionale di un bene architettonico con l'associazione di dati di natura diversa, interrelabili fra loro e trasmissibili in modo agevolato ad attori diversificati costituisce una notevole potenzialità. Al contempo, è evidente come ciò richieda l'adozione di lessici per la condivisione di linguaggi utili a rispondere a questioni di natura semantica, nonché di tipo relazionale. Da qui, le ontologie per studiare, descrivere e porre in relazione sistemi complessi, dove l'oggetto è concepito come una entità connotata da molteplici proprietà, definite da concetti e rappresentabili in un grafico che struttura la conoscenza mediante relazioni logiche¹⁰.

Riferendosi al patrimonio costruito e all'impiego di modelli HBIM per il restauro architettonico, alle potenzialità di tale strumento si affiancano, però, maggiori complessità e limiti intrinseci: se il palinsesto stratificato di un'architettura esistente amplifica l'onerosità di dati, informazioni e relativi nessi relazionali, l'utilizzo di modelli digitali deve porsi il problema di individuare modi e sistemi per restituire la caratterizzazione del bene patrimoniale, inevitabilmente trasformatosi nel tempo e di certo non riducibile a un "semplice" modello 3D.

Per affrontare tali temi, l'indagine presentata in questo contributo riguarda una sperimentazione su Villa Muggia a Imola, applicando le metodologie di modellazione e arricchimento semantico sviluppate nel Progetto 4CH¹¹. Capolavoro di Piero Bottoni, progettato in collaborazione con Alberto Mario Pucci, Villa Muggia costituisce l'esito di un intervento condotto tra il 1936 e il 1937 su un casino di caccia risalente al XVIII secolo. Bombardata nel 1944, la villa – tutelata a distanza di 50 anni dalla sua realizzazione¹² – permane ancora oggi allo stato di rudere, condizione che va aggravandosi nel tempo (figg. 9-12).

Varie sono le ricerche già condotte su Villa Muggia, ma l'identificazione dei materiali autarchici adottati per tale opera e dei relativi problemi di conservazione non appare ancora affrontata. Al contempo, sebbene varie siano ormai le esperienze in ambito di HBIM ed ontologie, il taglio della sopracitata sperimentazione è improntato su una sua inedita applicazione, orientata allo sviluppo

10. FIORANI 2014, p. 12.

11. Su questa sperimentazione vedi anche DI GIULIO *ET ALII* 2023.

12. Villa Muggia è una architettura tutelata con Decreto Ministeriale del 23 dicembre 1994, <https://www.patrimonioculturale-er.it/webgis/> (ultimo accesso 16 settembre 2023).

di una metodologia tesa alla messa a sistema, referenziata e in formato digitale, di informazioni sui materiali, anche autarchici¹³, sui relativi rischi e sul loro stato di conservazione. In questo senso, lo sviluppo di un modello HBIM di tale architettura è finalizzato, da un lato, a documentare e a descrivere tali informazioni – preziose per la conoscenza, il riconoscimento di valore e la conservazione dei materiali che hanno consentito il raggiungimento di determinati esiti formali e linguistici – e, dall’altro lato, a fornire un contributo utile alla definizione di modelli, arricchiti da linguaggi semantici, di opere architettoniche del XX secolo, per l’individuazione di operazioni orientate alla trasmissione al futuro delle stesse.

Per la modellazione e la digitalizzazione delle informazioni di Villa Muggia, la definizione del percorso di indagine ha preso avvio dalla scelta di adottare un *workflow* in grado di garantire la possibilità di lavorare su un modello 3D complesso, dove l’applicazione dell’HBIM offra la possibilità di adottare uno standard aperto, come l’IFC – *Industry Foundation Classes*, integrabile ed espandibile mediante la definizione di *property set* personalizzati. Tra i diversi strumenti *software* proprietari disponibili sul mercato e in grado di supportare pienamente lo *standard* aperto sviluppato dal consorzio buildingSMART, un’analisi sulla facilità d’uso per lo scopo specifico ha portato all’individuazione di ArchiCAD¹⁴ come programma BIM.

Al fine di “rafforzare” tale modello mediante il ricorso a ontologie e linguaggi semantici specificatamente predisposti, un ulteriore passaggio ha riguardato la mappatura delle ontologie esistenti e il loro studio trasversale e adattamento all’obiettivo specifico, mediante l’interpolazione e l’integrazione di dati. L’obiettivo è quello di ottenere un modello HBIM dotato di una struttura semantica che, attraverso un lavoro integrato di messa a sistema ed implementazione, sia in grado di raccogliere dati finalizzati alla documentazione dei materiali autarchici, e non solo, dei relativi rischi e dello stato di conservazione di un’opera architettonica appartenente al patrimonio del XX secolo.

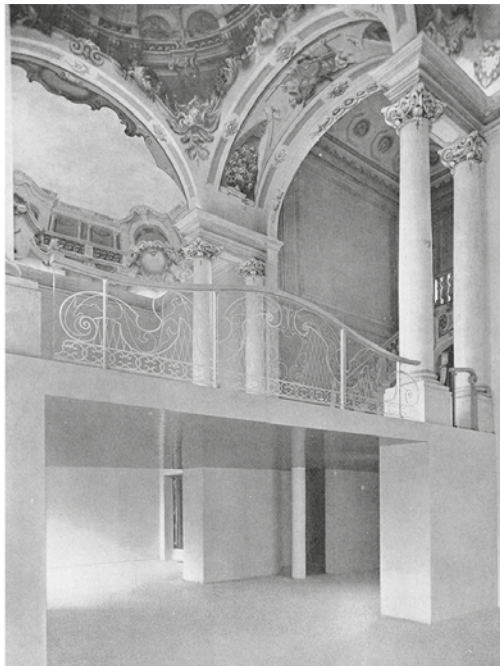
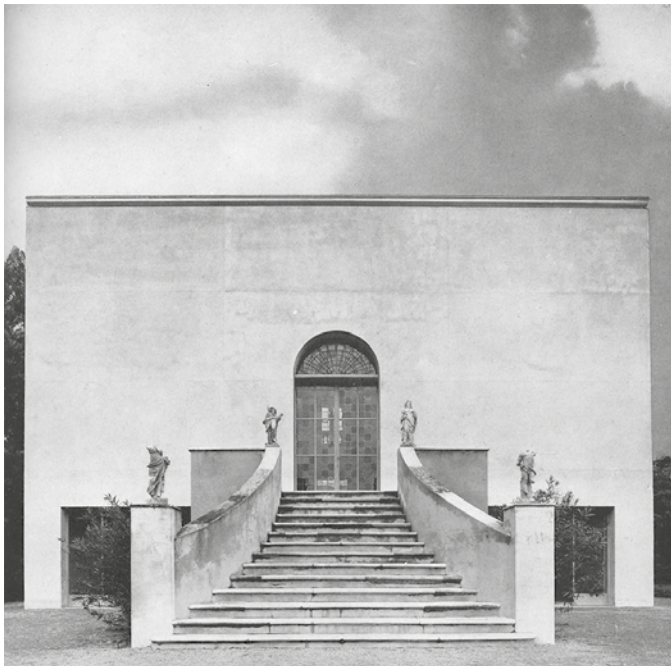
A partire dagli studi relativi allo sviluppo di modelli BIM e ontologie per rappresentare e gestire la conoscenza nell’ottica della conservazione del patrimonio esistente¹⁵, riferimenti essenziali

13. Vedi DI RESTA, FAVARETTO, PRETELLI 2021.

14. La scelta di ArchiCAD non è motivata da una presunta esclusività del *software*, ma dalla possibilità di gestire *property set* personalizzati in modo flessibile, garantendo al contempo compatibilità con i formati IFC aperti. È importante sottolineare che analoghi *workflow* potrebbero essere implementati anche con altri *software* BIM, purché consentano la definizione e l’esportazione di attributi strutturati secondo *standard* condivisi.

15. Vedi: DOERR 2009; DELLA TORRE, MIRARCHI, PAVAN 2017; VAN BALEN, VANDESANDE 2018.





Nella pagina precedente, figura 9. Villa Muggia, Imola. Il casino di caccia settecentesco prima dell'intervento condotto negli anni Trenta, progettato da Piero Bottoni in collaborazione con Alberto Mario Pucci (da BOLOGNESI *ET ALII* 1996, p. 32). In questa pagina, figura 10. Villa Muggia, Imola. Da sinistra: la facciata reinterpretata dell'edificio con la scalinata barocca; il salone barocco dopo l'intervento di Bottoni e Pucci (da PONTI 1940, pp. 67-68).



Figura 11. Villa Muggia, Imola. La sala da pranzo con materiali autarchici e il tavolo ellittico Fenice, il primo tavolo moderno a gamba centrale, gettato in opera per formare una struttura in prosecuzione del calcestruzzo armato di fondazione (da PONTI 1940, p. 76).



Figura 12. Villa Muggia, Imola. Proposta progettuale per “vivere il moderno al tempo della rovina” (elaborazione M. SENESE, 2013).

sono risultati il Progetto BHIMM – *Built Heritage Information Modelling/Management*¹⁶ e il CPM – Conservation Process Model, che costituisce la proposta di un modello applicabile al patrimonio culturale connotato da una struttura che segue lo schema del CRM – *Conceptual Reference Model* predisposto dal CIDOC – *International Committee for Documentation*¹⁷. Con riferimento all'aspetto riguardante la caratterizzazione dei materiali impiegati, una ulteriore ontologia studiata e presa in considerazione è stata la *Material Properties Ontology*, una ontologia descrittiva dei materiali e delle loro caratteristiche sviluppata nell'ambito del Progetto BIMERR – *BIM-based holistic tools for Energy-driven Renovation of existing Residences*, mentre una *Document Ontology* contribuisce a consentire il collegamento della parte documentale al modello tridimensionale (figg. 13-15).

Tale processo metodologico e operativo pone particolare attenzione al percorso di conoscenza del patrimonio costruito che, come noto, non culmina nella redazione del progetto di restauro, ma prosegue e caratterizza anche la fase di cantiere per via delle nuove acquisizioni provenienti dallo stesso. In quest'ottica, le frontiere dell'HBIM risiedono proprio anche nella possibilità di lavorare su un modello utile non solo alla gestione delle informazioni e alla definizione dell'intervento e delle attività di conservazione programmata, ma anche alla costante possibilità di integrazione di nuovi dati.

In questo senso, la documentazione e l'interoperabilità di dati perseguita attraverso l'arricchimento semantico del modello HBIM mira a essere applicata in vista del processo progettuale, nonché di una gestione a lungo termine, al fine di massimizzare la conservazione, in questo caso di un'opera architettonica significativa del XX secolo.

Procedure di modellazione e arricchimento semantico

Le metodologie e gli strumenti di digitalizzazione tridimensionale dei siti del patrimonio culturale e le procedure di arricchimento semantico dei modelli 3D costituiscono una parte rilevante dei risultati conseguiti dal progetto di ricerca 4CH. Il "Report on standards, procedures and protocols"¹⁸ analizza il complesso processo di digitalizzazione tridimensionale partendo dai criteri di pianificazione delle attività per poi esaminare le fasi principali nelle quali esso viene generalmente scomposto – acquisizione, elaborazione, archiviazione e accesso ai dati – e per definire gli standard e le linee guida

16. Vedi: DELLA TORRE 2017; DELLA TORRE, PILI 2020.

17. Vedi: ACIERNO ET ALII 2017; ACIERNO, FIORANI 2017; FIORANI, ACIERNO 2017a; FIORANI 2019.

18. Vedi <https://zenodo.org/records/7701529> (ultimo accesso 19 ottobre 2023).

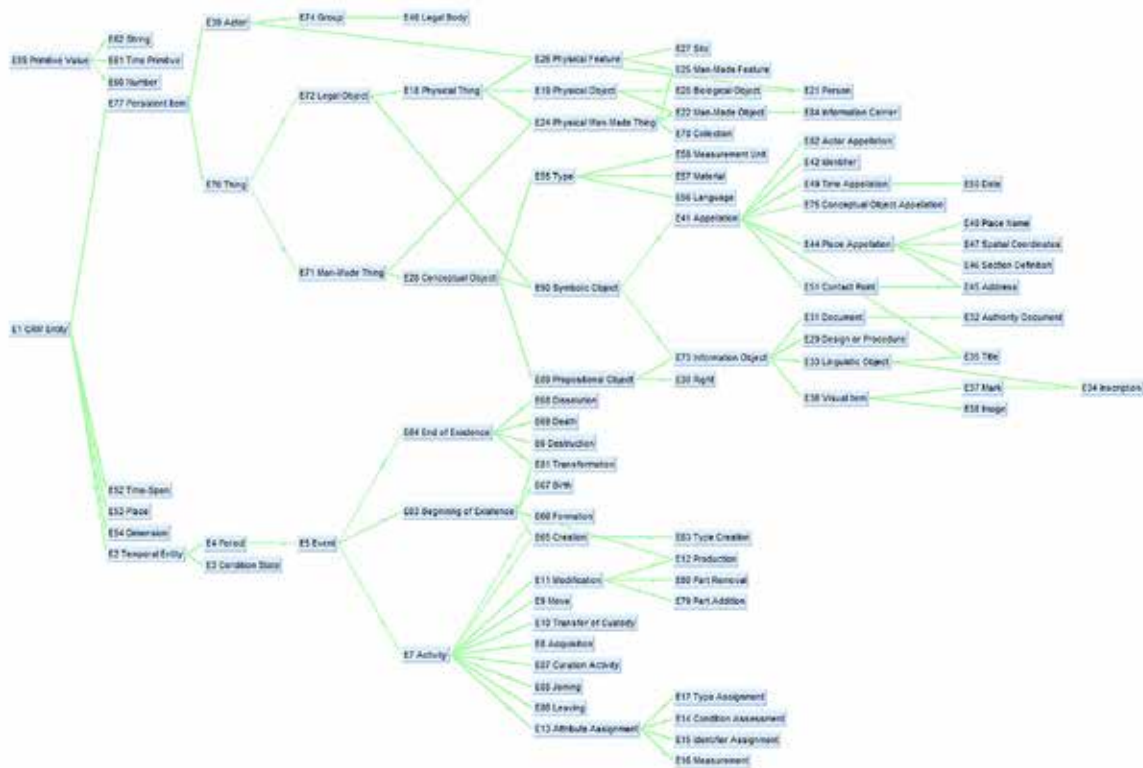


Figura 13. Gerarchia di classi ed entità del CIDOC CRM, <https://www.cidoc-crm.org/sites/default/files/CIDOC-501.PNG> (ultimo accesso 16 settembre 2023).

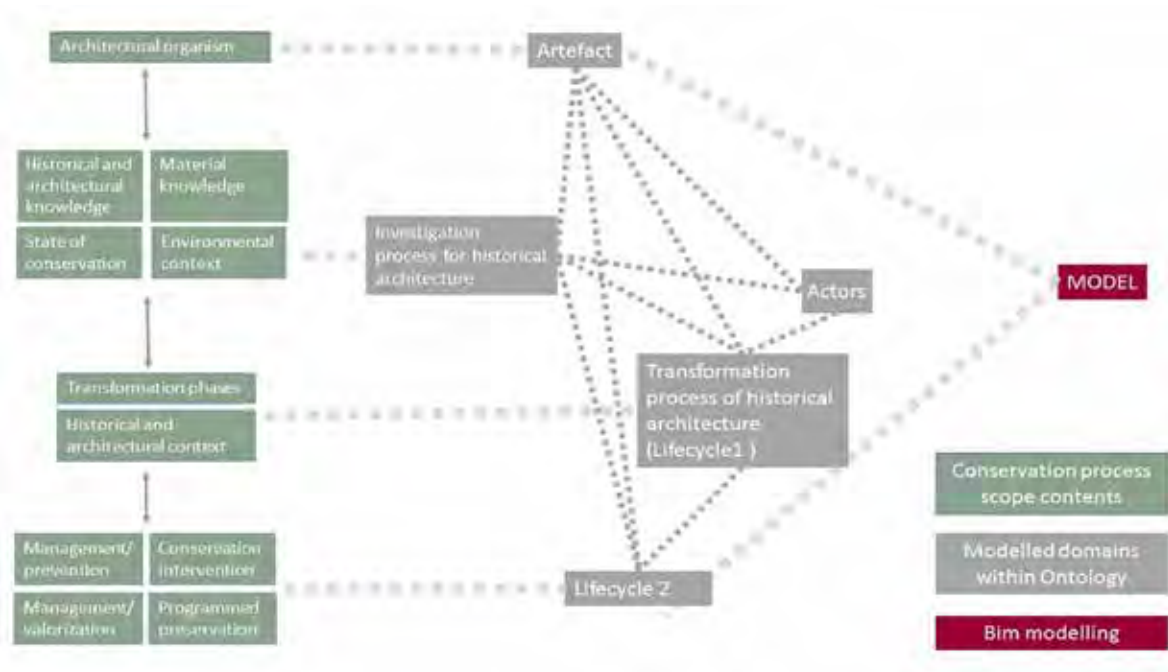


Figura 14. Struttura del CPM (da FIORANI, ACIERNO 2017, p. 284).

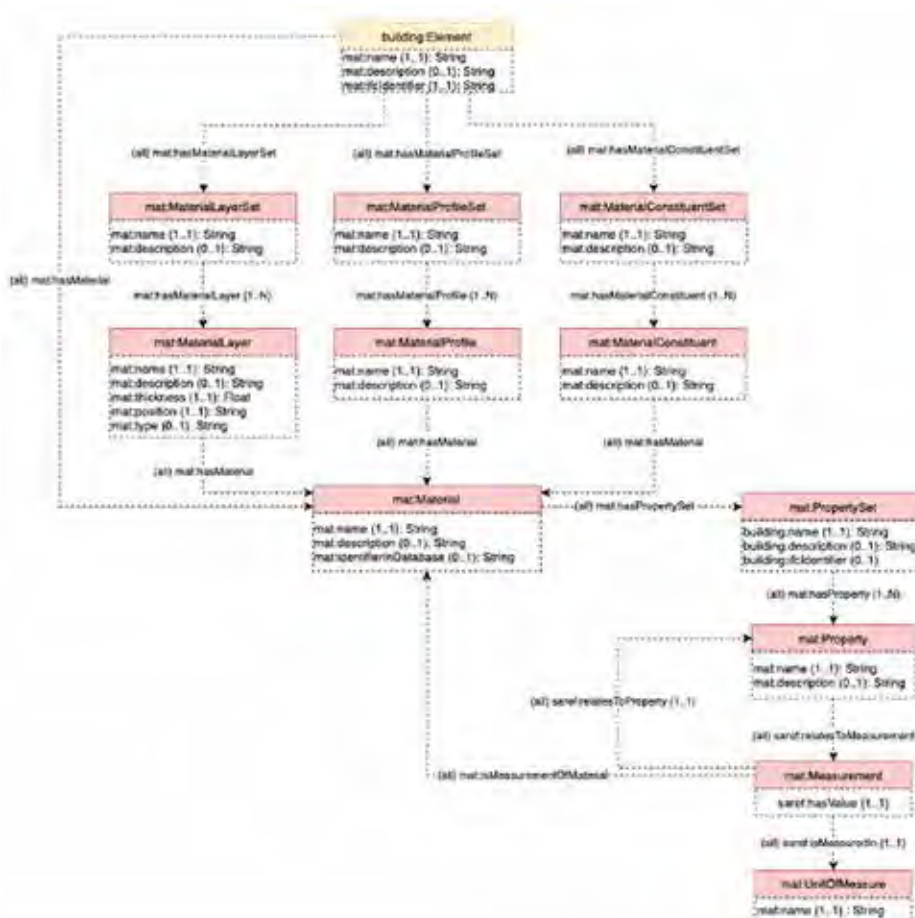


Figura 15. BIMERR, *Material Properties Ontology*, <https://github.com/oeg-upm/bimerr-material-properties/blob/master/diagrams/diagram.svg> (ultimo accesso 16 settembre 2023).

relativi a ogni passaggio. La digitalizzazione 3D di un bene, in particolare se di interesse culturale, è generalmente intesa come la produzione di un modello digitale tridimensionale che rappresenta una specifica istanza della realtà, basata su informazioni raccolte in maniera più o meno diretta dall'originale. In tutti i casi le informazioni devono essere però in qualche modo interpretate: la copia perfetta ed esatta di un oggetto reale infatti non esiste. Questo può avvicinarsi il più possibile alla realtà ma conterrà sempre una deviazione dovuta a errori strumentali, approssimazioni o interpretazioni effettuate dall'utente nelle fasi di acquisizione o modellazione.

È importante inoltre distinguere tra modelli 3D *reality-captured* e modelli *digital born*. I primi derivano direttamente da rilievi effettuati sui beni reali e mantengono quindi un alto grado di fedeltà geometrica con l'oggetto originario. I secondi, invece, sono vere e proprie ricostruzioni digitali: modelli generati ex novo mediante tecniche di modellazione, nei quali la componente interpretativa risulta molto più marcata. In questi casi le geometrie possono basarsi su ipotesi critiche e documenti storici, permettendo di rappresentare configurazioni appartenenti a epoche diverse, che solo in parte corrispondono allo stato attuale del bene.

Tenere in considerazione tali elementi, in fase di pianificazione delle procedure da adottare, rappresenta un passaggio fondamentale ai fini di uno svolgimento del processo di modellazione adeguato agli scopi e definire di conseguenza gli *standard* e le specifiche del progetto. Si devono cioè determinare i requisiti minimi di qualità per l'acquisizione e l'elaborazione dei dati, definire i formati e delineare i metadati e i paradata necessari, da tradurre poi in specifici *property set* quando la modellazione è svolta secondo metodologie BIM.

Nel complesso processo di modellazione, finalizzato a trasformare i set di dati grezzi in modelli 3D, ogni azione influenza significativamente la qualità finale complessiva e definisce il modo in cui i dati saranno gestiti per il loro uso previsto. Il corretto e completo svolgimento delle fasi di elaborazione e modellazione è decisivo per la creazione di modelli idonei allo scopo al quale sono destinati. In ogni caso, quando i dati originali rilevati sono disponibili e correttamente documentati, il flusso di lavoro per la loro elaborazione può essere applicato più volte e per molteplici scopi, anche molto tempo dopo la fase di acquisizione dei dati. Quindi, eseguire una corretta elaborazione dei dati significa consegnare dati utilizzabili nel modo migliore possibile, minimizzando le perdite e raggiungendo i requisiti specifici per l'uso previsto. In questa direzione, la fase di elaborazione dei dati coinvolge tecniche di computer grafica che devono essere bilanciate sui requisiti derivati dall'esperienza tecnica sulla conservazione e il restauro. La varietà di scopi d'uso dei dati 3D grezzi consente inoltre diverse modalità di elaborazione, mirate alla produzione di modelli 3D con caratteristiche diverse.

Infine, la digitalizzazione 3D di un edificio è generalmente intesa come la produzione di un modello tridimensionale che rappresenta una replica della realtà, basata su informazioni raccolte direttamente o derivate dall'originale ma in qualche modo interpretate. Questo divario tra la realtà e il modello può essere efficacemente ridotto raccogliendo metadati che tracciano tutti questi aspetti, aiutando nell'interpretazione corretta del modello 3D creato.

Infatti, la distinzione tra modelli creati sulla base di un rilievo dell'edificio reale e modelli *digital born*, anche se teoricamente valida, può diventare meno netta nel flusso di lavoro del processo di elaborazione dati.

Nel caso studio di Villa Muggia è stata dunque prevista l'applicazione delle procedure di modellazione e arricchimento semantico basate sulle linee guida sviluppate nel Progetto 4CH. Per garantire una completa interoperabilità e aderenza agli standard aperti IFC, è essenziale, come detto, sviluppare in ArchiCAD *property set* ben definiti. Questi includono, ma non sono limitati a, informazioni sulla materialità degli elementi, dettagli costruttivi, aspetti storici e cronologici, nonché parametri specifici relativi alla conservazione e alla manutenzione, così come dovrebbero essere in grado di esplicitare tutte le eventuali ipotesi ricostruttive o definire il grado di certezza delle informazioni aggregate. Per esempio, i *property set* dovrebbero comprendere dati come la composizione dei materiali, l'epoca di costruzione, le documentazioni storiche raccolte e riconducibili a specifici elementi, eventuali interventi di restauro effettuati e le condizioni attuali di ciascun elemento architettonico.

Il modello, così strutturato, può essere poi esportato nel formato IFC aperto, versione 2x3 o 4, e successivamente caricato su una piattaforma che, utilizzando in particolare lo strumento SOLID-ICE, fornisce i servizi di accesso ai dati e visualizzazione dei modelli 3D.

SOLID-ICE è uno degli strumenti basati sul motore centrale di INCEPTION (ICE). Lo strumento si fonda su un approccio semantico che prevede la trasformazione di tutte le geometrie di un determinato modello BIM, così come della loro parte informativa, in triple semantiche. Le triple semantiche sono strutture logiche composte da tre parti: soggetto-predicato-oggetto. In questo contesto, il soggetto rappresenta un elemento del modello, l'oggetto può essere un altro elemento o un attributo, mentre il predicato definisce il tipo di relazione che li collega. Queste relazioni non sono arbitrarie, ma si basano su un'ontologia semantica dedicata, cioè un insieme strutturato di concetti e regole che definisce in maniera condivisa il significato degli elementi e dei loro rapporti. L'ontologia funge da "vocabolario comune" che garantisce coerenza e interoperabilità. Grazie a questo approccio, i dati BIM non rimangono isolati nel loro formato proprietario, ma diventano parte di una rete di conoscenza interrogabile, in cui è possibile formulare *query* semantiche avanzate. Questo rende

il modello molto più potente e flessibile, consentendo non solo la rappresentazione geometrica e informativa, ma anche la connessione semantica con altri dataset e domini di conoscenza. Infatti, in questa fase, le informazioni precedentemente inserite come *property set* possono essere interpretate e strutturate anche grazie all'impiego delle ontologie precedentemente citate (es. CIDOC CRM e *Material Properties Ontology*).

Le triple semantiche generate vengono archiviate in un Triple Store, cioè un *database* ottimizzato per la gestione di dati strutturati secondo il modello "soggetto-predicato-oggetto". L'accesso a questi dati avviene tramite protocollo HTTP, grazie a un server SPARQL (nel caso specifico, Apache Fuseki), che consente di eseguire *query* semantiche e di estrarre informazioni complesse dal modello. Per rendere però questi dati accessibili a un pubblico ampio, il *client* SOLID-ICE offre anche un'applicazione *web* dotata di un visualizzatore 3D basato su WebGL, che permette all'utente di esplorare il modello e di interagire con le informazioni semantiche ad esso collegate. In questo modo, non solo è possibile visualizzare le geometrie, ma anche navigare graficamente nei dati e nelle relazioni definite dall'ontologia.

Per ottimizzare il caricamento come risorsa online e rendere la navigazione *web* più fluida, possono inoltre essere effettuate decimazioni geometriche preliminari all'esportazione IFC, nonché ottimizzazioni e compressioni del file *standard* per renderlo il più leggero possibile. Il risultato è un sistema che combina la potenza della rappresentazione semantica (ricerche avanzate, interoperabilità, collegamenti con altri *dataset*) con l'efficienza della visualizzazione 3D *online*.

In sintesi, il *workflow* complessivo, che va dalla modellazione 3D fino al trasferimento del modello su piattaforma digitale per consentirne la visualizzazione e l'accesso ai metadati, può quindi essere sintetizzato in tre passaggi principali:

- Modellazione geometrica (acquisizione documentale e rilievi, generazione del modello 3D, pulizia e ottimizzazione delle geometrie);
- Arricchimento semantico (definizione dei *property set*, associazione di dati storici e tecnici);
- Interoperabilità e pubblicazione (esportazione in formato IFC, conversione in triple semantiche, caricamento su piattaforme web come SOLID-ICE per la consultazione, il collegamento a ontologie di riferimento e l'integrazione con *linked open data*).

Gli strumenti della piattaforma possono dunque permettere di visualizzare il modello digitale di Villa Muggia e aggregare diverse fonti di dati, sintetizzando il processo documentale. Gli utenti possono navigare nel modello tridimensionale in diverse modalità: IFC, *texture* e ibrida. La modalità

IFC permette di interagire con gli elementi geometrici e i loro metadati, mentre la modalità *texture* fornisce una visione materica del modello. La modalità ibrida combina le due, permettendo una visualizzazione più completa e intuitiva degli elementi.

Ogni elemento può avere metadati accessibili, tra cui l'identificativo univoco Global-ID, nome, IFCType, note e commenti. È anche possibile navigare tra categorie, parametri e valori attribuiti durante la modellazione. Inoltre, l'inclusione tra questi, durante la fase di modellazione BIM, del codice di identificazione univoca secondo Nuovo Catalogo Digitale dei Beni Culturali permette un arricchimento automatico con ulteriori informazioni documentali. Infatti, per ogni elemento collegabile a una risorsa online descrittiva, tale codice permette di effettuare automaticamente una SPARQL Query grazie a una funzione della piattaforma INCEPTION che opera automaticamente una interrogazione dei dati RDF – *Resource Description Framework* (formato *standard* per rappresentare informazioni e metadati sul *web* semantico) disponibili *online* tramite una SPARQL Query sull'EndPoint Virtuoso collocato all'indirizzo <http://dati.beniculturali.it/sparql>.

I dati recuperati da un endpoint SPARQL sono conformi all'approccio Linked Data per la pubblicazione nel contesto del Semantic Web. Anche se i dati in RDF sono rappresentati come liste di triple semantiche, vengono visualizzati nel grafo come se fossero inseriti direttamente durante la modellazione, garantendo una lettura senza interruzioni.

La generalità dell'approccio semantico consente di rappresentare sia informazioni tangibili che intangibili. Per esempio, un singolo componente del modello può essere collegato a documenti tecnici, metadati o informazioni esterne sul web, usando solo triple semantiche. L'intero edificio o parti specifiche possono essere arricchite con documenti collegati sia all'intero modello che a singoli oggetti al suo interno.

I dati così prodotti vengono resi fruibili tramite la loro pubblicazione con le tecnologie INCEPTION, sviluppate nell'omonimo progetto di ricerca e alla base dei futuri servizi 3D dell'*European Competence Centre for Cultural Heritage*, in grado di coniugare la visualizzazione del modello tridimensionale con l'apparato informativo collegato.

Dall'immaterialità alla materialità

Quanto enucleato concorre a evidenziare le prospettive per il patrimonio che il digitale è in grado di aprire e abilitare. Nuove strumentazioni digitali e immersive per e nel patrimonio esistente, realtà virtuale e aumentata, siti web e applicazioni per la diffusione della conoscenza di beni del patrimonio e la proposta di itinerari culturali, infrastrutture digitali per l'archiviazione, la catalogazione, la

gestione e la messa a sistema di documenti e di dati e la modellazione delle informazioni mediante l'impiego dell'HBIM, arricchito dal ricorso a ontologie e linguaggi semantici, costituiscono soltanto alcuni degli aspetti che rendono evidente il prezioso ausilio che la sfera della digitalizzazione è in grado di offrire al patrimonio culturale.

L'immaterialità legata al digitale inteso come mezzo strumentale per la salvaguardia e la valorizzazione del patrimonio esistente si affianca così a ulteriori "forme" di immaterialità legate al patrimonio culturale intangibile, nonché alle componenti intangibili delle opere materiali stesse.

Proprio riferendosi al patrimonio costruito, le frontiere aperte dal digitale, per quanto dotate di nuove potenzialità, richiedono tuttavia un percorso "dalla materialità all'immaterialità e viceversa", continuando a prestare attenzione alla sostanza materiale dell'architettura, nella sua consistenza stratificata, in quanto l'unica a consentire l'effettiva trasmissione al futuro del bene ricevuto in eredità dal passato.

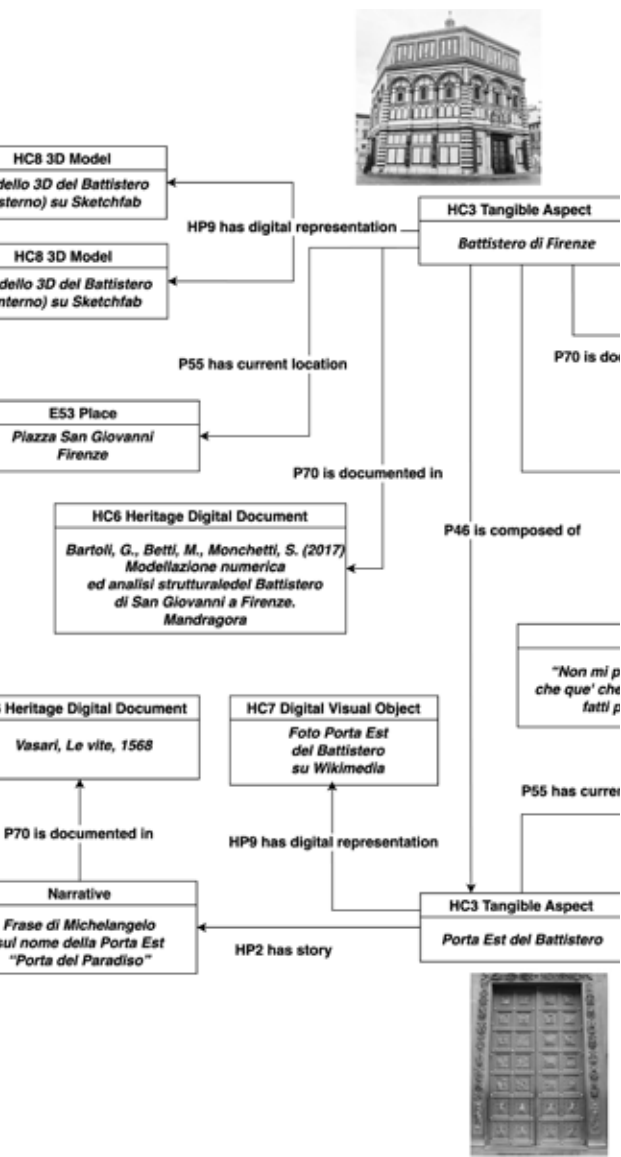
Bibliografia

- ACIERNO, FIORANI 2017 - M. ACIERNO, D. FIORANI, *Cpm: un'ontologia per il restauro*, in «Ananke», 2017, n. speciale Geores, pp. 147-152.
- ACIERNO ET ALII 2017 - M. ACIERNO, D. SIMEONE, S. CURSI, D. FIORANI, *Architectural Heritage Knowledge Modelling: An Ontology-Based Framework for Conservation Process*, in «Journal of Architectural Heritage», 2017, 24, pp. 124-133.
- BOLOGNESI 2016 - G. BOLOGNESI (a cura di), *Villa Muggia al Bel Poggio di Imola. Una storia incompiuta*, Thèodolite, Imola 2016.
- BOLOGNESI ET ALII 1996 - G. BOLOGNESI, C. CALAMELLI, F. CASTELLARI, L. MARINO, M. PASOTTI, *Anatomia di una rovina del moderno: Villa Muggia a Imola*, in «Parametro», XXVII(1996), 214.
- DELLA TORRE 2017 - S. DELLA TORRE, *Un bilancio del progetto BHIMM*, in S. DELLA TORRE (a cura di), *Modellazione e gestione delle informazioni per il patrimonio edilizio esistente*, Ingenio-Web, 2017, pp. 1-6.
- DELLA TORRE, PILI 2020 - S. DELLA TORRE, A. PILI, *Built Heritage Information Modelling/Management. Research Perspectives*, in B. DANIOTTI, M. GIANINETTO, S. DELLA TORRE (eds.), *Digital Transformation of the Design, Construction and Management Processes of the Built Environment*, Springer, 2020, pp. 231-241.
- DELLA TORRE, MIRARCHI, PAVAN 2017 - S. DELLA TORRE, C. MIRARCHI, A. PAVAN, *Il BIM per la conservazione. Rappresentare e gestire la conoscenza*, in «Ananke», 2017, 82, pp. 108-115.
- DI GIULIO ET ALII 2023 - R. DI GIULIO, G. FAVARETTO, D. LONGO, M. MEDICI, M. PRETELLI, A. UGOLINI, *Villa Muggia a Imola: modellazione e digitalizzazione delle informazioni di "una rovina del moderno"*, in S. DELLA TORRE (a cura di), *Restauro dell'architettura. Per un progetto di qualità - 7. Metodologie digitali per la gestione degli interventi*, Edizioni Quasar, Roma 2023, pp. 1254-1262.
- DI RESTA, FAVARETTO, PRETELLI 2021 - S. DI RESTA, G. FAVARETTO, M. PRETELLI, *Materiali autarchici. Conservare l'innovazione*, Il Poligrafo, Padova 2021.
- DOERR 2009 - M. DOERR, *Ontologies for cultural heritage*, in S. STAAB, R. STUDER (eds.), *Handbook on ontologies*, Springer, Berlin 2009, pp. 463-486.
- EUROPEAN PARLIAMENT COUNCIL 2008 - EUROPEAN PARLIAMENT COUNCIL, *Recommendations of the European Parliament and of the Council on the establishment of the European Qualifications Framework for lifelong learning*, in «Official Journal of the European Union», 6 maggio 2008, C111, disponibile online: <https://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:C:2008:111:0001:0007:EN:PDF> (ultimo accesso 14 dicembre 2023).
- FAVARETTO ET ALII 2023 - G. FAVARETTO, D. LONGO, S. ORLANDI, R. ROVERSI, L. SIGNORELLI, B. TURILLAZZI, *Abilità tradizionali ed emergenti per un Centro di Competenza per la Conservazione del Patrimonio Culturale*, in «Recupero e Conservazione», 2023, 178, pp. 38-45.
- FAVARETTO ET ALII 2022 - G. FAVARETTO, D. LONGO, S. ORLANDI, R. ROVERSI, B. TURILLAZZI, *Il Progetto 4CH per un Centro di Competenza per la Conservazione del Patrimonio Culturale: nuove tecnologie a supporto della tutela*, in «Restauro Archeologico», 2022, special issue 1, pp. 274-281.
- FIORANI 2014 - D. FIORANI, *Materiale/immateriale: frontiere del restauro*, in «Materiali e Strutture. Problemi di conservazione», 2014, 5-6, pp. 9-23.
- FIORANI 2019 - D. FIORANI, *Il futuro dei centri storici. Digitalizzazione e strategia conservativa*, Edizioni Quasar, Roma 2019.
- FIORANI, ACIERNO 2017 - D. FIORANI, M. ACIERNO, *Conservation Process Model (CPM): a Twofold Scientific Research Scope in the Information Modelling for Cultural Heritage*, in «The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences», 2017, XLII-5/W1, pp. 283-290.

- IADANZA ET ALII 2019 - E. IADANZA, F. MAIETTI, A.E. ZIRI, R. DI GIULIO, M. MEDICI, F. FERRARI, P. BONSMAS, B. TURILLAZZI, *Semantic Web Technologies Meet BIM for Accessing and Understanding Cultural Heritage*, in «The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences», 2019, 42, pp. 381-388.
- LONGO ET ALII 2024 - D. LONGO, B. TURILLAZZI, L. SIGNORELLI, G. FAVARETTO, *Dagli aspetti strutturali e giuridici al funzionamento organizzativo: il progetto 4CH per la formazione di un Centro di Competenza per la Conservazione del Patrimonio Culturale*, in M. CAIANELLO, N. AICARDI, E. BARONCINI, V. MANES, P. MANZINI (a cura di), A. QUARTA (con la collaborazione di), *L'impatto della Convenzione UNESCO del 1972 sui sistemi giuridici nazionali e internazionali e il rapporto con l'Unione europea*, Alma Mater Studiorum Università di Bologna, Bologna 2024, pp. 136-145.
- MAIETTI ET ALII 2021 - F. MAIETTI, R. DI GIULIO, M. MEDICI, F. FERRARI, E. PIAIA, S. BRUNORO, *Accessing and Understanding Heritage Buildings through ICT. The INCEPTION Methodology Applied to the Istituto degli Innocenti*, in «International Journal of Architectural Heritage», 2021, 15, pp. 921-930.
- MAIETTI ET ALII 2022 - F. MAIETTI, M. MEDICI, P. BONSMAS, P.M. LERONES, F. FERRARI, *Digital Technologies Towards Extended and Advanced Approaches to Heritage Knowledge and Accessibility*, in F.M. UGLIOTTI, A. OSELLO (eds.), *Handbook of Research on Implementing Digital Reality and Interactive Technologies to Achieve Society 5.0*, IGI Global, Hershey 2022, pp. 295-317.
- MEDICI, DI GIULIO, TURILLAZZI 2023 - M. MEDICI, R. DI GIULIO, B. TURILLAZZI, *ICT and Semantic BIM technologies for the advanced documentation and condition assessment of Cultural Heritage sites*, in A. MOROPOULOU, A. GEORGIOPOULOS, M. IOANNIDES, A. DOULAMIS, K. LAMPROPOULOS, A. RONCHI (eds), *Transdisciplinary Multispectral Modeling and Cooperation for the Preservation of Cultural Heritage*, Serie: Communications in Computer and Information Science, vol 1889, Springer, Cham 2023. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-031-42300-0_28.
- MEDICI, FERRARI, STERPIN 2022 - M. MEDICI, F. FERRARI, A. STERPIN, *H-BIM semantico come strumento di documentazione inclusiva e accesso al Nuovo Catalogo Digitale dei Beni Culturali: il caso studio di Santa Maria delle Vergini a Macerata*, in C. BATTINI, E. BISTAGNINO (a cura di), *Dialoghi. Visioni e visualità. Testimoniare Comunicare Sperimentare*, Atti del 43° Convegno Internazionale dei Docenti delle Discipline della Rappresentazione, FrancoAngeli, Milano 2022, pp. 2661-2679.
- MEDICI, MAIETTI 2023 - M. MEDICI, F. MAIETTI, *Digital Transitions for a Comprehensive 3D Documentation: European Trends for Heritage Preservation*, in M. CANNELLA, A. GAROZZO, S. MORENA (eds.), *Transitions, Proceedings of the 44th International Conference of Representation Disciplines Teachers*, FrancoAngeli, Milano 2023, pp. 2939-2946.
- PANCIROLI, MACAUDA, RUSSO 2017 - C. PANCIROLI, A. MACAUDA, V. RUSSO, *Educating about Art by Augmented Reality: New Didactic Mediation Perspectives at School and in Museums*, in «Proceedings», 2017, 1, 1107, pp. 1-11. DOI: 10.3390/proceedings1091107.
- PONTI 1940 - G. PONTI, *Una intelligente trasformazione e l'ampliamento d'una antica villa a Imola*, in «Domus», 1940, 153, pp. 65-80.
- VAN BALEN, VANDESANDE 2018 - K. VAN BALEN, A. VANDESANDE (eds.), *Innovative built heritage models – reflections on cultural heritage theories and practices*, CRC Press – Taylor and Francis Group, London 2018.



a cura di Marco Pretelli
e Alessia Zampini



Digital twins and ontological models for digital historic architectural documentation

Franco Niccolucci, Achille Felicetti (Università degli Studi di Firenze)

Digital Twins are complex systems, created in the industrial sector as digital replicas of real objects and recently extended to the documentation for the conservation and restoration of cultural heritage based on 3D models, organizing their structural and functional data. To manage this information, ontologies offer a more flexible and efficient tool for organizing knowledge. Models such as CRMba, the extension of CIDOC CRM for buildings, allow to document their components, spatial and functional relationships, construction aspects and their placement in spatial, historical and cultural contexts. The present contribution proposes an innovative approach for digital historical-architectural documentation, introducing a model, the Heritage Digital Twin, which guarantees the optimal management of all information aspects and ensures compatibility with the most used data models, for example those based on BIM and HBIM.

Historic Preservation Foundation Classes

Procedure e ontologie per l'interoperabilità nella tutela del patrimonio storico architettonico

www.archistor.unirc.it

ArchistoR EXTRA 12 (2024)

ISSN 2384-8898

Supplemento di ArchistoR 19/2023

ISBN 978-88-85479-39-5

DOI: 10.14633/AHR446



Gemelli digitali e modelli ontologici per la documentazione storico-architettonica digitale

Franco Niccolucci, Achille Felicetti

Come in tutti i campi della ricerca sui beni culturali, la documentazione riveste un ruolo di fondamentale importanza anche nel campo storico-architettonico e in questa direzione le tecnologie digitali assumono particolare valore. Se inizialmente la produzione di dati ha rivestito il ruolo più importante creando una documentazione più facilmente utilizzabile, formata da dati provenienti dalla digitalizzazione di documenti analogici e da nativi digitali, anche in questo campo si è assistito al cosiddetto *data deluge*, cioè alla disponibilità di una quantità crescente di dati impossibile da maneggiare senza supporto tecnologico. Una volta che la digitalizzazione della documentazione è divenuta una prassi corrente, la loro organizzazione è quindi diventata una priorità assoluta. Inizialmente, negli anni Settanta del secolo scorso, si è risolto il problema predisponendo delle schede in un formato rigidamente codificato come ad esempio quelle del SIGEC, create in Italia per la gestione dei beni culturali dal ministero competente. Nonostante questo fosse un passo in avanti nell'organizzazione dei dati la rigidità di questi sistemi di catalogazione si è presto rivelata un fattore negativo che ha portato, ad esempio, a un uso eccessivo dei campi a testo libero (le "note") accessibili solo con una lettura diretta, e quindi riaprendo il problema di una gestione efficiente dei dati documentari. Impossibile poi gestire con questi sistemi dati grafici o risultanti da digitalizzazione di documenti storici, trattati soltanto come allegati. Il problema è stato affrontato e (parzialmente) risolto con i metadati, informazioni che descrivono i dati, e le parole chiave (*keyword*), informazioni

succinte del contenuto di un testo. Ogni base di dati, cioè un insieme di dati organizzato secondo una precisa struttura, utilizza al proprio interno lo stesso sistema di metadati. Resta il problema dell'interoperabilità semantica fra basi di dati diverse, organizzate in modo differente, e quindi la necessità di introdurre degli standard accettati se non da tutti perlomeno da molti, e quello di correlare internamente a una base di dati documenti diversi ma in qualche modo legati fra di loro, come ad esempio le schede personali degli autori di un testo con il documento che lo contiene, affrontato con il concetto di relazione fra dati, espresso attraverso una locuzione verbale, nell'esempio "è autore di". Si viene così a creare una rete astratta di concetti e relazioni che individua i dati di un sistema e le loro relazioni interne, da ripetere nello stesso modo per tutti i dati e le rispettive relazioni, utilizzando i concetti e le relazioni pertinenti. I dati di una stessa base sono così organizzati nello stesso modo, specificando per ognuno il valore che assume il concetto generale. Un tale sistema di concetti e relazioni prende, com'è noto, il nome di ontologia, che è quindi costituita da concetti (tecnicamente chiamati *classi*) e relazioni che li collegano (chiamate *proprietà*). Le classi sono quindi categorie generali, a cui appartengono gli oggetti specifici (denominati *istanze* della classe): per esempio, la classe "chiesa" ha come istanze "Duomo di Firenze", "San Pietro", "Sant'Ambrogio" e così via. All'interno di un'ontologia, le classi possono essere specificazioni di altre classi, e in questo caso sono definite come loro sottoclassi: così la classe "edificio" può avere come sottoclassi "chiesa", "castello", "grattacielo", e altre ancora a secondo delle necessità. Come si può vedere da questi esempi, la denominazione di una classe è usata al singolare. Invece le proprietà si esprimono con un'espressione verbale, per esempio, "si trova a": "edificio" si trova a "città". Questa espressione generale si declina rispetto alle istanze delle due classi: "San Pietro" si trova a "Roma". L'uso dell'inglese favorisce l'uso e la comprensione internazionale.

Nel caso dei beni storico-architettonici l'estrema complessità dei dati rilevanti richiede un'ontologia efficiente e dettagliata. Per quanto riguarda i testi, si va infatti da documenti di carattere storico, comprese le digitalizzazioni di documenti originali d'archivio, alle pubblicazioni di settore: articoli, rapporti, libri. I dati grafici comprendono disegni, mappe, piante, alzati, fotografie e – in misura sempre crescente – modelli tridimensionali. I dati tecnici riguardano i materiali costruttivi, la statica, le analisi sulle condizioni fisiche e chimiche. I dati topologici riguardano le relazioni fra ambienti e la mereologia, cioè le relazioni delle parti fra di loro e con il tutto. I dati personali riguardano le persone (architetti, artisti, ingegneri, e così via) e gli enti collegati all'oggetto architettonico (committente, proprietario, gestore). Infine, sono necessarie le informazioni relative alle condizioni dell'oggetto e agli interventi di conservazione e restauro.

Il sommario elenco precedente riguarda informazioni relative alla componente materiale dell'oggetto architettonico: il progetto, le fotografie, i materiali, chi l'ha progettato, le sue condizioni di conservazione, e così via. Mancano ancora però le categorie di concetti, e le loro relazioni, che riguardano la componente intangibile, immateriale. Questa componente è stata da tempo riconosciuta come indispensabile a caratterizzare un bene come culturale. Come ricordato da Mounir Bouchenaki, allora vicedirettore dell'UNESCO, nel suo intervento di apertura¹ all'assemblea generale di ICOMOS nel 2003, esiste una relazione simbiotica fra materiale e immateriale. Quest'ultima componente deve essere considerata il contesto in cui la componente materiale prende forma e significato. I dati che riguardano la componente immateriale devono quindi fare parte di un sistema olistico che racchiude entrambi gli aspetti. È una considerazione ormai largamente condivisa e presente in molti documenti internazionali che integrano ed estendono i concetti della Carta di Venezia².

Gli standard internazionali di classificazione

Basi di dati diverse potranno essere integrate fra di loro se usano la stessa ontologia. Nasce così la soluzione al problema dell'interoperabilità, risolto con l'adozione preferenziale di standard condivisi. Per i beni culturali il sistema oggi universalmente accettato come standard si chiama, in breve, CIDOC CRM. La sigla CIDOC si riferisce alla sua nascita, promossa oltre 20 anni fa dal *Comité International pour la Documentation* dell'ICOM (*International Council for Museums*), quindi il sistema nasce in ambiente museale. La sigla CRM sta invece per *Conceptual Reference Model* – Modello concettuale di riferimento, e viene usata ormai da sola per indicare “il” modello, cioè l'ontologia³.

Il CRM consiste di 99 classi e 199 proprietà che le collegano. Il CRM è ormai svincolato da CIDOC ed è gestito da uno speciale gruppo di interesse, il SIG (*Special Interest Group*) in cui sono rappresentati esperti di diversi interessi scientifici che fanno riferimento al CRM. Le sue classi e proprietà cercano di rispondere a tutte le esigenze di gestione dati del settore dei beni culturali. Tale sistema prende, più specificamente, il nome di CRM base per distinguerlo dalle estensioni descritte di seguito.

È chiaro che ogni settore (musei, biblioteche, beni architettonici) ha proprie esigenze specifiche di documentazione, a cui il CRM risponde con la propria estensibilità, che consiste nella possibilità di definire specializzazioni del sistema base concepite per le esigenze di un settore specifico,

1. Vedi BOUCHENAKI 2003.

2. AA. VV. 1964.

3. Vedi <https://cidoc-crm.org/> (ultimo accesso 30 novembre 2023).

aggiungendo sottoclassi (e sottoproprietà) tipiche del settore in considerazione. Per esempio, la classe del CRM base denominata “oggetto creato da un individuo” (traduzione del nome effettivo *human-made object*) può venire specializzata introducendo le sottoclassi “dipinto”, “scultura” e così via se si devono gestire dati relativi a musei, e altre sottoclassi come “edificio”, “ponte”, eccetera, per il settore beni architettonici. Le sottoclassi “ereditano” le proprietà della loro superclasse, cioè della classe di cui sono una specializzazione: ad esempio la proprietà “ha come dimensione” che si applica agli oggetti in generale può essere applicata agli oggetti creati dall’uomo, che sono una sottoclasse della precedente.

Le classi e le proprietà del CRM base e delle sue estensioni di settore sono individuate da un codice formato da una (o più) lettere seguite da un numero, “E” e rispettivamente “P” per le classi e le proprietà del CRM base. Sfortunatamente alcuni hanno scelto di non seguire questa regola e nel seguito incontreremo anche noi uno di questi casi in cui una classe viene indicata in modo diverso.

Questa codifica agevola l’internazionalità della denominazione e l’elaborazione dei dati. Per facilitare l’utente umano, comunque, il codice alfanumerico è generalmente accompagnato anche da un nome in inglese. Così, per esempio, la denominazione completa dell’esempio sopracitato è: “E22 Human-Made Object”, o semplicemente E22.

Per motivi di uniformità ci atterremo anche qui alle regole editoriali stabilite per il CRM, che richiedono di usare l’iniziale maiuscola per tutte le parole che compongono il nome della classe senza tradurlo dall’inglese né modificare il carattere utilizzato che è sempre tondo. Per le proprietà valgono le stesse regole ma le lettere iniziali sono sempre in minuscolo, ad esempio “P55 has current location”.

L’interoperabilità fra basi di dati relativi a settori diversi, che perciò utilizzano specificazioni differenti del CRM base, è preservata usando la classe generale del CRM base di cui le classi aggiunte sono sottoclassi. Per esempio, in una base di dati dedicata ai provvedimenti di tutela, che integra quindi informazioni eterogenee relative a beni museali, architettonici, archeologici ed altri ancora, si potrà fare riferimento alla superclasse comune “oggetto creato da un individuo”, cioè la classe CRM “E71 Human-Made Thing”, di cui “dipinto”, “scultura”, eccetera sono sottoclassi per il settore dei musei mentre “edificio”, “ponte” e così via lo sono per il settore dei beni architettonici.

La definizione di specializzazioni dedicate a settori specifici è basata sul rasoio di Occam: *entia non sunt multiplicanda praeter necessitatem*. Per garantire una standardizzazione internazionale, l’introduzione di una nuova ontologia che specializza il CRM base è sottoposta al vaglio del SIG, che, dopo un’approfondita verifica e l’eventuale richiesta di modifiche, la approva come sistema

compatibile con lo standard. L'elenco delle estensioni attualmente approvate è pubblicato sul sito già ricordato del CRM. Un'estensione può, ovviamente, essere proposta e pubblicata anche prima di tale approvazione in modo da allargare la discussione all'interno della comunità scientifica di riferimento. In questo modo sono nati quelli che vengono chiamati modelli compatibili, cioè le estensioni dedicate all'archeologia, alle analisi scientifiche, ai testi antichi, e così via. Va notato che mancano ancora le estensioni ufficiali dedicate all'architettura, alla conservazione e restauro, e a diversi altri settori. La sempre maggiore diffusione del CRM fra gli specialisti dei beni culturali e l'uso sempre più diffuso delle tecnologie digitali sta comunque spingendo verso la consapevolezza della necessità di provvedere a colmare queste lacune. D'altro canto, è necessario evitare una frammentazione eccessiva richiamandosi al principio di Occam sopra ricordato.

Gemelli digitali

Nel presente contributo non proporremo un'ulteriore specializzazione del CRM dedicata a uno specifico settore. Ne suggeriremo invece un'estensione che rafforzi le caratteristiche olistiche, permetta di documentare e collocare nella giusta prospettiva sviluppi sempre più importanti della tecnologia informatica come la modellazione 3D, prenda in considerazione la necessità prima ricordata di collegare i dati sulla componente tangibile degli oggetti a quelli sulla loro componente immateriale e si possa utilizzare per integrare settori diversi ma correlati quali la documentazione storico-architettonica, la conservazione e il restauro.

Lo sviluppo di questo approccio nasce dall'esperienza fatta all'interno di progetti applicativi su cui abbiamo lavorato negli ultimi anni. I più importanti a questo riguardo sono i progetti ARIADNE e 4CH.

ARIADNE, sviluppato in due fasi distinte ARIADNE (*Advanced Research Infrastructure for Archaeological Data Networking in Europe, 2013-2016*) e la sua prosecuzione ARIADNEplus (2017-2022) chiamati collettivamente ARIADNE per brevità, è finalizzato a creare un catalogo consultabile online dei dati archeologici di ricerca, che rinvia attraverso un link al deposito specifico contenente i dati e le informazioni di dettaglio desiderate. Esso attualmente contiene oltre 4.000.000 di voci ed è gestito da un'associazione internazionale senza fine di lucro (AISBL) di diritto belga con sede a Bruxelles, denominata ARIADNE Research Infrastructure AISBL⁴. Il secondo progetto è 4CH⁵ (*Competence Centre for the Conservation of Cultural Heritage*) che sta disegnando la struttura di un

4. Vedi <https://www.ariadne-research-infrastructure.eu/> (ultimo accesso 30 novembre 2023).

5. Vedi <https://www.4ch-project.eu/> (ultimo accesso 30 novembre 2023).

centro di competenza europeo sulla conservazione del patrimonio culturale materiale. Tale Centro comprende la creazione di un catalogo di dati su monumenti e siti all'interno di un sistema digitale di gestione, denominato base della conoscenza, organizzandovi le informazioni relative a condizioni e interventi di conservazione e restauro: è la definizione di questo sistema che ci ha portato ai risultati che presentiamo in questo contributo.

Il nuovo modello si basa sul concetto di gemello digitale, o *digital twin*. A seconda del contesto in cui viene usato, il gemello digitale riceve definizioni diverse che accentuano alcune delle sue caratteristiche rispetto ad altre, meno rilevanti per il suo uso specifico. L'origine dei gemelli digitali è in campo industriale, per simulare il comportamento di sistemi o apparati complessi. In queste applicazioni l'organizzazione dei dati è più semplice che nella nostra, mentre l'accento è sulla simulazione del comportamento del sistema. Le definizioni di gemello digitale risentono perciò dell'uso che si intende farne, ponendone in evidenza le caratteristiche più rilevanti per lo scopo desiderato. Una definizione abbastanza generale di *digital twin*, contenuta in una ricognizione della letteratura corrente⁶, è la seguente: un *gemello digitale* – o *digital twin* – è la *rappresentazione virtuale di un sistema fisico continuamente aggiornata attraverso lo scambio di informazioni fra tale sistema fisico e quello virtuale*. Questa definizione include i tre aspetti del gemello digitale: l'organizzazione dei dati che lo formano, rappresentando diverse caratteristiche del sistema reale; l'aggiornamento di tali dati; la simulazione del comportamento del sistema reale a fronte di circostanze esterne. Si noti che abbiamo sostituito il termine “sistema fisico” usato nella precedente definizione con quello più ampio di “sistema reale” per incorporarvi anche le componenti immateriali del sistema. Per quanto riguarda i gemelli digitali qui proposti, ne sarà descritta solo l'organizzazione dei dati, già complessa di suo rispetto ad altre applicazioni, riservando a futuri sviluppi l'aggiornamento e la simulazione. Tra le applicazioni in aree prossime a quelle dei beni culturali val la pena di citare i gemelli digitali di città usati nelle applicazioni di *smart cities*, cioè di città “intelligenti”, i cui parametri principali sono continuamente monitorati per garantire l'efficienza e la qualità dei servizi. Un esempio efficiente di queste città con un digital twin in attività è Singapore. In Italia, Bologna ha progettato di dotarsene progettando di completarlo entro qualche anno.

Le caratteristiche che interessano per le nostre applicazioni sono in primo luogo l'organizzazione olistica dei dati, su cui potremo successivamente sviluppare gli altri aspetti di modellazione di risposta agli stimoli esterni. È necessario, a nostro avviso, realizzare un sistema in grado di integrare

6. Vedi CRESPI, DROBOT, MINERVA 2023.

informazioni della più diversa natura, la cui complessità rispecchia la natura sfaccettata del concetto di bene culturale.

Occorre perciò fare una precisazione rispetto a un uso quantomeno improprio del termine *digital twin*. Ci si imbatte spesso in applicazioni che sottintendono – o peggio, esplicitamente affermano – che il *digital twin* di un oggetto fisico, in particolare di un bene culturale materiale, consiste nel modello 3D realizzato con varie tecniche, modalità e approcci scientifici. Quest’affermazione equivale, in sostanza, a dire che la fotografia di una persona sulla sua carta d’identità (digitale) è il suo gemello digitale, arricchito dagli scarni dati presenti sulla carta stessa, come il nome, la data di nascita e così via. È chiaro che invece il gemello digitale deve essere una struttura che raccoglie quante più informazioni possibili sul soggetto, incluse naturalmente quelle grafiche e modellistiche. In altri termini, il gemello digitale è il complesso delle informazioni, e non soltanto una (il modello 3D) a cui sarebbero “appese” – eventualmente in suoi punti o parti specifiche – altri dati ausiliari.

Anche se la differenza fra le due impostazioni può sembrare un cavillo, si tratta invece di due approcci sostanzialmente diversi. Nel nostro, il modello 3D può esserci o (come spesso accade) non esserci. Le altre informazioni presenti possono riferirsi all’oggetto nella sua totalità e non necessariamente a un suo dettaglio fisico. Quest’ultimo caso si presenta specialmente per informazioni di carattere generale, oppure riferite a più oggetti o – come nel caso della componente immateriale – a nessun dettaglio in particolare.

Per esempio, si consideri la Cattedrale di Siviglia. Si può visualizzare su Sketchfab⁷ un modello 3D dell’esterno della chiesa insieme al suo campanile noto come la Giralda. La chiesa è stata costruita in fasi successive iniziate nel XV secolo e completate solo nel secolo scorso, sostituendo una moschea risalente al XII secolo. Ne fanno parte un chiostro, noto come *Patio de los Naranjos* (Giardino degli Aranci) e il campanile chiamato la Giralda. Le informazioni relative a questo complesso richiedono così un sistema articolato di suddivisione del modello 3D per individuare a che oggetto o parte dell’edificio ogni singola informazione si riferisce. La documentazione sullo stato di conservazione e sui restauri effettuati, che possono riferirsi a parti complesse della chiesa, prevede un’ulteriore scomposizione del suo modello che può sovrapporsi a quella necessaria per la documentazione storico-artistica e che comunque cambia di caso in caso, a seconda delle parti coinvolte in ciascun intervento. L’importanza della Cattedrale deriva anche dai Riti della Settimana Santa, durante la quale numerose processioni sfilano per la città per concludersi alla Cattedrale. Essa fa parte, insieme

7. Sketchfab (<https://sketchfab.com/>) è un archivio commerciale online di modelli 3D, molti dei quali sono visibili gratuitamente. Il modello 3D citato di seguito può essere visualizzato mediante la funzione di ricerca del sito.

ad altri monumenti, del sito Patrimonio UNESCO di Siviglia, mentre i Riti sono parte del patrimonio immateriale di Siviglia e quindi della componente immateriale della Cattedrale dove si svolgono nelle loro fasi finali. Questi esempi mostrano come sia improprio considerare il modello 3D l'equivalente digitale dell'oggetto culturale, perché si perdono le connessioni di quest'ultimo con altri aspetti ugualmente importanti, *in primis* la sua componente immateriale.

Fra le applicazioni al restauro spicca quella per Notre Dame⁸ dopo il disastroso incendio del 2019. L'iniziativa, di indubbio prestigio, ha prodotto un modello di grande qualità per documentarne il restauro, che rimane tuttavia essenzialmente geometrico, con tutte le implicazioni che ciò comporta sul piano dell'organizzazione della conoscenza. Uno dei limiti più evidenti, di questo come di altri modelli simili, risiede infatti nella difficoltà, tipica del 3D, di integrare in modo strutturato, relazionale e durevole elementi di natura semantica. L'approccio comunemente adottato, fondato sull'aggiunta di annotazioni, si rivela inadeguato e concettualmente fragile: le annotazioni consistono per lo più in etichette informative associate a singoli frammenti della geometria, prive della capacità di esprimere relazioni complesse e significative né tra loro né con entità esterne. Così, ad esempio, un'annotazione riferita a una colonna non stabilisce alcun legame formale con quella apposta al capitello che la sovrasta, né con il documento storico che ne descrive l'intervento di restauro. Informazioni di questo tipo, non essendo radicate in una struttura logica sottostante, risultano fragili, vincolate al modello e al software che le ha generate, e fortemente esposte al rischio di perdita durante conversioni di formato o migrazioni dei dati. Inoltre, un sistema basato su annotazioni non consente interrogazioni avanzate: non è possibile formulare *query* che attraversino relazioni multiple né integrare il modello in modo nativo con altre basi di conoscenza. Ne deriva un'isola informativa, un sistema chiuso, incapace di partecipare a quell'ecosistema di conoscenza ampio e interconnesso che costituisce invece il vero obiettivo e il principale punto di forza di un approccio ontologico.

Le altre caratteristiche tipiche del gemello digitale come la sua evoluzione cronologica e la risposta a stimoli esterni restano ancora sviluppi futuri del modello. Nel caso di un edificio, il gemello digitale dovrebbe infatti essere in grado di contenerne tutte le informazioni rilevanti, fra di loro collegate, comprese quelle relative alla componente immateriale; di includerne i cambiamenti nel tempo e nello spazio; di modellarne le reazioni a stimoli esterni. Il nostro gemello digitale rappresenta invece (per ora) solo il modello statico di un oggetto a un certo stadio della sua "vita", ma ancora non ne comprende l'evoluzione né è capace di rappresentare le sue reazioni rispetto a stimoli esterni. Vi abbiamo inserito (o meglio, iniziato a inserire) le informazioni rilevanti e i loro collegamenti attraverso

8. Vedi DE LUCA 2023.

proprietà; abbiamo considerato informazioni cronologiche e spaziali; non abbiamo ancora sviluppato la modellazione del comportamento del gemello digitale rispetto a stimoli esterni o interni al sistema. Nel caso di un edificio, per esempio, si inseriscono nel suo gemello digitale digitale tutti i dati ad esso relativi disponibili, collegati fra di loro mediante opportune proprietà; sono naturalmente compresi fra questi le rappresentazioni grafiche e i modelli 3D. Per considerare lo sviluppo cronologico, i dati possono essere dotati di una marca temporale che consente di rappresentarne l'evoluzione. Tale organizzazione dei dati ovviamente prevede di considerare anche la componente immateriale dell'oggetto in questione.

Ci proponiamo di sviluppare anche la modellistica delle reazioni a fenomeni esterni, per esempio per valutare le condizioni della facciata di un edificio storico conoscendone le condizioni attuali, i meccanismi di degrado e, parallelamente, la previsione delle condizioni esterne meteorologiche, ambientali e di ogni altro genere che possa avere un impatto sulla facciata. Un altro esempio riguarda un edificio storico posto in un'area a rischio sismico conoscendone la struttura; oppure i possibili danni, in base alla configurazione dell'edificio, alla sua collocazione, alle previsioni meteo e il conseguente rischio di allagamento. Quest'ultimo caso è stato considerato nel progetto 4CH sopra ricordato in quanto relativamente facile da implementare perché si basa su semplici dati dell'edificio (localizzazione, struttura, uso, caratteristiche costruttive) e sulle previsioni meteorologiche ormai disponibili su grande scala.

Gemelli digitali culturali e ontologie

Da quanto sopra descritto appare chiaro che la costruzione del gemello digitale culturale, tanto di un oggetto artistico o archeologico quanto di un edificio storico, non può che fondarsi su una gestione efficiente di tutti i dati disponibili che lo riguardano. Si tratta di informazioni presenti in documenti di varia natura, quali fonti letterarie, giornalistiche, storiche, relazioni tecniche e altre testimonianze testuali, ma anche di fotografie, mappe, disegni, audiovisivi e altro materiale d'archivio, che occorre selezionare, digitalizzare e rendere consultabile. La documentazione sulla conservazione di edifici e monumenti si avvale inoltre del contributo della ricerca scientifica e risulta impegnativa poiché le analisi, le osservazioni, le misurazioni e le indagini strumentali tipiche delle scienze applicate generano grandi quantità di dati che richiedono un'adeguata organizzazione e analisi. Il complesso di tutte queste informazioni costituisce l'essenza stessa del gemello digitale culturale, poiché di fatto offre una replica digitale completa della forma, della sostanza e della storia dell'edificio oggetto di studio.

I modelli 3D e quelli BIM⁹ offrono strumenti potenti e particolarmente adatti per riprodurre e visualizzare le caratteristiche fisiche e materiali degli oggetti culturali, specialmente in termini di dimensioni, forme, colori, orientamento ecc. In particolari condizioni, modelli di questo genere possono fungere da piattaforma per l'integrazione di informazioni anche complesse di edifici e monumenti. Tuttavia, essi risultano poco efficaci nella rappresentazione di eventi storici, valenze artistiche, significati culturali e sociali, così come di tutti gli altri aspetti immateriali non direttamente traducibili in termini geometrici o visivi. Questi elementi, infatti, richiedono strumenti di codifica pertinenti all'ambito delle ontologie e della semantica più che ai sistemi di progettazione e modellazione grafica.

In quest'ottica, le ontologie si configurano come strumenti privilegiati per rappresentare i beni culturali ed esprimere la rete di conoscenza che li riguarda¹⁰. Esse, infatti, forniscono una struttura concettuale flessibile e adatta ad organizzare l'informazione, rendendola non solo accessibile ma anche interpretabile sia da utenti umani sia da sistemi informatici evoluti. L'uso di vocabolari standardizzati, inoltre, garantisce la coerenza e l'uniformità dei dati, aspetto essenziale per assicurare l'interoperabilità tra diversi sistemi e piattaforme e facilitare lo scambio di informazioni tra enti e istituzioni che operano nel campo della conservazione e della valorizzazione del patrimonio culturale. Grazie a queste caratteristiche e alla capacità di orchestrare efficacemente l'utilizzo della documentazione aggregata, le ontologie possono fungere da "motore" dei gemelli digitali culturali in ogni loro fase operativa.

CIDOC CRM, come già detto, riveste una particolare importanza nel panorama attuale delle ontologie, poiché offre un contesto estremamente versatile per l'integrazione, la mediazione e l'interscambio di informazioni legate al patrimonio culturale. La sua applicabilità nel campo dell'architettura è particolarmente significativa, data la complessità e la ricchezza di dati che caratterizzano questa disciplina. Estensioni¹¹ quali CRMba e CRMarchaeo, ad esempio, permettono di modellare in modo dettagliato le informazioni relative a edifici storici, strutture urbane, contesti architettonici e archeologici, trasformandole in descrizioni semantiche strutturate. Il paradigma del

9. BIM (*Building Information Modelling*) è un metodo per la gestione dei dati relativi alla pianificazione, realizzazione e gestione di costruzioni attraverso un modello 3D realizzato in CAD. BIM è uno standard internazionale ISO 16739:2013, organizzato mediante l'ontologia IFC (*International Foundation Classes*). Viene anche utilizzato per i beni culturali con un'estensione denominata HBIM, dove H sta per *heritage*.

10. Vedi TIBAUT, KAUČIČ, DVORNIK PERHAVEC 2018.

11. Per una definizione completa di questi modelli si veda il sito del CRM già citato alla nota 3.

CRM, basato su eventi, semplifica inoltre la rappresentazione di dati cronologici, aspetti funzionali, interventi di restauro, evoluzione di stili costruttivi e tecniche architettoniche, rendendo possibile un'analisi dinamica e diacronica dei dati acquisiti. La scelta di aderire a questa filosofia per lo sviluppo del nostro modello ontologico è dunque motivata dalla solidità che il CIDOC CRM e il suo ecosistema garantiscono in ogni fase della modellazione della conoscenza.

L'ontologia Heritage Digital Twin

L'ontologia *Heritage Digital Twin* (in sigla, HDT) che stiamo sviluppando¹² rappresenta una soluzione innovativa per gestire e interconnettere l'ampio spettro di dati che formano il nucleo informativo del gemello digitale di un bene culturale. La scelta metodologica di progettare quest'ontologia come estensione del CIDOC CRM deriva dall'assoluta novità del concetto di gemello digitale culturale e della struttura logica che lo descrive. L'ontologia HDT, infatti, definisce ex novo le entità necessarie a descrivere gli elementi specifici di questo dominio e a modellarli in modo adeguato, mantenendo la coerenza col modello principale (il CRM base) e le sue altre estensioni, utilizzati per modellare entità quali tempi, luoghi, eventi, agenti e oggetti fisici, e le loro mutue correlazioni. Questa sinergia implementa un alto grado di interoperabilità nella documentazione e nell'analisi del patrimonio architettonico, poiché permette di allineare la struttura dell'ontologia HDT con quelle utilizzate in altri ambiti della ricerca sui beni culturali (quali, ad esempio, quello archeologico e storico-artistico). Essa consente ad esempio di identificare e classificare elementi architettonici secondo periodi storici specifici, stili, tecniche costruttive e materiali utilizzati, e di definire in diacronia le destinazioni e l'uso di specifici spazi o elementi di un determinato edificio.

L'ontologia HDT è pensata principalmente come strumento per catturare la duplice natura del patrimonio culturale, quella tangibile e quella intangibile, e per fornire, attraverso specifiche classi e proprietà, un meccanismo per documentare e analizzare dinamicamente le loro mutue relazioni. È progettata inoltre per modellare le loro controparti digitali e i meccanismi che le rendono interoperabili come elementi interconnessi del gemello digitale culturale.

Le classi e le proprietà di questa ontologia sono individuate da una sigla formata dalle lettere HC per le classi e HP per le proprietà, seguite da un numero.

La classe "HC1 Heritage Entity" rappresenta entità del mondo reale rilevanti per il loro contributo alla società, alla conoscenza e alla cultura. È una classe di livello generale che include entità sia

12. Vedi: NICCOLUCCI *ET ALII* 2023; NICCOLUCCI, FELICETTI 2023; FELICETTI, NICCOLUCCI 2024.

materiali che immateriali, a loro volta modellate per mezzo delle sue due sottoclassi “HC3 Tangible Aspect” e “HC4 Intangible Aspect”. Quest’ultima in particolare è destinata alla modellazione degli eventi storici e culturali, delle tradizioni, dei culti e delle pratiche tipiche del patrimonio immateriale. La nuova classe “HC2 Heritage Digital Twin” rappresenta invece i gemelli digitali culturali come la rete delle informazioni che li caratterizzano, configurandoli di fatto come repliche digitali informative delle entità del mondo reale.

L’ontologia prevede nuove classi come ulteriori componenti dei gemelli digitali, usate per la modellazione delle rappresentazioni digitali iconografiche e multimediali (“HC5 Digital Representation”, “HC7 Digital Visual Object”, “HC8 3D Model”). Classi specifiche esistono anche per esprimere gli elementi della documentazione digitale (“HC6 Digital Heritage Document”) che concorrono a definire l’identità e la storia degli oggetti culturali descritti. Una classe particolare (“HC9 Heritage Activity”) è dedicata ad una specifica tipologia di attività legati allo studio, l’indagine scientifica e la riproduzione digitale di entità culturali. La stessa classe può essere usata per qualunque altra attività pertinente ai fini della creazione e gestione del gemello digitale.

Per modellare le storie, cioè quei frammenti di conoscenza derivati direttamente dalla documentazione o dalla tradizione orale, e posti in forma narrativa ad arricchire il patrimonio intangibile degli oggetti culturali descritti abbiamo usato alcune classi definite nella *Narrative Ontology* (NOnt), un modello ontologico¹³ sviluppato nell’ambito del progetto MINGEI e compatibile con CIDOC CRM. La classe “Narrative” di questa ontologia si adatta perfettamente al concetto di storia che abbiamo formulato. Ugualmente interessante è il caso dello *storytelling*, che è invece il modo in cui i fatti che compongono una storia vengono presentati e condivisi, in forma scritta o orale, e con modalità idonee a diffondere le storie e a preservarne i valori sociali e culturali. Abbiamo preferito utilizzare per ora direttamente come nomi delle classi “Narrative” (il contenuto del racconto) e “Narration” (l’azione di raccontarlo) introdotte nella *Narrative Ontology* anziché sviluppare nuove classi equivalenti nel nostro modello. Come già detto, però, il mancato adeguamento al sistema standard di notazione delle classi può risultare fastidioso ed è possibile che questa nostra scelta sia modificata in futuro.

La nostra ontologia prevede che le istanze di tutte le classi utilizzate siano sempre dotate delle modalità necessarie per essere poste in mutua correlazione. Questo si realizza sia attraverso l’utilizzo delle proprietà ereditate dalle classi del CIDOC CRM, sia per mezzo di nuove proprietà appositamente predisposte per esprimere i complessi legami che intercorrono fra le entità culturali, la loro storia, la

13. Vedi MEGHINI, BARTALESI, METILLI 2019.

documentazione ad esse relativa e la loro rappresentazione digitale. Fra le nuove proprietà introdotte, segnaliamo la “HP1 has digital twin”, predisposta per indicare la relazione fra entità culturali (HC1) e i loro gemelli digitali (HC2); “HP5 has intangible aspect”, pensata per associare aspetti materiali (HC2) e immateriali (HC4); “HP3 has story”, per legare le entità culturali (HC1) con le storie (“Narrative”) in cui esse sono menzionate; e “HP4 is narrated through”, per indicare le modalità di storytelling con le quali una storia (“Narrative”) è raccontata (“Narration”). Ciò consente la creazione di grafi della conoscenza particolarmente dettagliati ed estesi, e al tempo stesso perfettamente compatibili con ogni altro archivio costruito secondo gli stessi criteri. Questo inoltre garantisce una perfetta interoperabilità fra le informazioni sugli edifici e quelle relative ai siti che li ospitano, agli oggetti che essi contengono, ai complessi di cui fanno parte e così via, oltre all’estensibilità futura della rete informativa, in caso di disponibilità di nuovi dati.

Sviluppi più recenti hanno arricchito l’architettura del gemello digitale di una componente reattiva, essenziale per l’interazione con gli oggetti fisici attraverso una rete di sensori, decisori e attuatori, che fungono da mediatori fra il mondo digitale e quello reale. Grazie a questa infrastruttura, il digital twin integra rappresentazioni dinamiche e interattive del bene culturale, capaci di restituirne le condizioni attuali e di anticiparne le possibili evoluzioni. La simulazione di scenari futuri e l’analisi critica dei rischi consentono di trasformare la conservazione da disciplina essenzialmente reattiva a scienza predittiva, offrendo ai ricercatori strumenti per sviluppare strategie preventive mirate e interventi tempestivi, così da garantire una trasmissione più sicura e consapevole del patrimonio culturale.

Per modellare la complessità di un tale sistema, l’ontologia HDTO (divenuta RHDT grazie alla sua nuova componente reattiva) introduce classi specifiche per la rappresentazione semantica di tutte le componenti in gioco. La classe “HC9 Sensor”, ad esempio, è impiegata per descrivere i dispositivi di rilevamento (sensori, dispositivi IoT e quant’altro) dedicati al monitoraggio degli oggetti culturali, mentre la classe “HC10 Decider” rappresenta i componenti incaricati di analizzare gli input da essi inviati e generare istruzioni operative. Il processo decisionale è formalizzato come evento attraverso la classe “HC14 Activation Event”. Le istruzioni elaborate vengono poi eseguite dagli attuatori, modellati come “HC11 Activator”, che intervengono direttamente sul mondo reale.

L’ontologia RHDT consente inoltre di descrivere con precisione aspetti peculiari delle attività di monitoraggio, come il posizionamento dei sensori (“HP15 is positioned on”), il software di controllo (“HP11 is operated by”), le misurazioni effettuate (“HC13 Sensor Measurement”) e i segnali prodotti (“HC12 Signal”).

Infine, l'ontologia introduce specifiche classi per documentare formalmente il ruolo dell'IA nel processo decisionale. La classe "HC15 AI Component", ad esempio, è concepita per rappresentare i sistemi di intelligenza artificiale integrati nel gemello digitale, delegati ad effettuare simulazioni e formulare ipotesi per potenziare attività quali l'analisi dei dati e la simulazione predittiva. Queste operazioni svolte dall'IA sono formalizzate come eventi mediante la classe "HC16 Simulation or Prediction", sottoclasse di "E5 Event" del CIDOC CRM, che consente la registrazione, l'analisi e il riutilizzo dei dati sulle attività svolte dagli agenti digitali in scenari futuri. Centrale rimane comunque l'interazione con gli operatori umani, modellati tramite la classe "E39 Actor" del CIDOC CRM, alla cui esperienza è delegata ogni decisione ultima circa la sicurezza del patrimonio culturale. Le caratteristiche tecniche complete dell'ontologia HDT sono descritte dettagliatamente nei tre articoli già citati¹⁴, pubblicati dagli autori in collaborazione con altri ricercatori.

Metodi evoluti di utilizzo

È interessante notare come alcuni meccanismi offerti dalle ontologie in generale e dall'ecosistema CIDOC CRM in particolare, possano essere impiegati per rendere particolarmente ricca e articolata la formulazione della conoscenza di oggetti complessi come i beni architettonici. Ad esempio, l'estensione CRMba, progettata per la descrizione di edifici storici, fornisce classi quali "B1 Built Work" e "B2 Morphological Building Section", con le relative proprietà, per descrivere le componenti strutturali degli edifici e delle loro parti. Ma se un particolare edificio riveste anche un interesse storico o artistico, è possibile arricchire la sua descrizione attraverso la tecnica dell'istanziamento multipla, spesso utilizzata nella modellazione semantica, che consente di rappresentare ontologicamente un oggetto come istanza di due classi di un certo ecosistema. Con questa tecnica è possibile, ad esempio, classificare un determinato edificio come istanza di "Built Work" (classe di CRMba) e "Heritage Entity" (classe della nostra ontologia HDT) allo stesso tempo, in modo da evidenziarne la natura strutturale oltre a quella culturale. Fatto questo, il meccanismo dell'ereditarietà fra classi e proprietà, tipico delle ontologie, permette successivamente di utilizzare le proprietà di tutte le classi istanziate per definire relazioni di vario genere. La ricchezza semantica garantita da metodologie di questo genere dimostra con evidenza le grandi potenzialità dei sistemi ontologici quando si renda necessario codificare in

14. Vedi nota 12.

modo capillare e quanto più fedelmente possibile al vero la natura e le caratteristiche degli oggetti culturali.

Un esempio di utilizzo dell'ontologia RHDT

Per illustrare le caratteristiche di RHDT svilupperemo un semplice esempio riferito al Battistero di Firenze e alle sue famose Porte, di grande rilievo artistico. I modelli costruiti su un'ontologia sono destinati all'uso da parte di sistemi informatici e quindi sono verbosi e risultano lunghi e forse anche noiosi per un utente umano. Ci limiteremo perciò a elencare solo alcune informazioni come esempi di possibili contenuti del modello, istanze delle classi sopra ricordate. Anche le relazioni fra di loro e il grafo della conoscenza risultante sono qui rappresentate in modo abbreviato e a solo titolo esemplificativo.

Lo schema mostrato (fig. 1) illustra come gli aspetti materiali e intangibili del Battistero siano stati rappresentati combinando le classi e le proprietà dell'ontologia RHDT con quelle di CIDOC CRM. Il Battistero può essere descritto per mezzo della classe "HC3 Tangible Aspect" di RHDT. È composto da molteplici elementi, fra i quali di particolare rilievo è la porta orientale, detta "Porta del Paradiso", opera di Lorenzo Ghiberti. Anch'esso si può rappresentare per mezzo della classe HC3. La pertinenza della porta al Battistero si esplicita con la proprietà "P46 is composed of" del CRM, che mette in relazione diretta gli oggetti fisici con le loro componenti. Le rispettive collocazioni dei due manufatti (HC3) sono espresse tramite la proprietà "P55 has current location" del CIDOC CRM. Il Battistero e le sue parti sono citate in un gran numero di opere letterarie descritte nel modello con la classe "Narrative" dell'ontologia NOnt. Fra queste sono citate la frase di Michelangelo relativa alla Porta e le terzine di Dante per il Battistero. La relazione tra le istanze di HC3 e le opere che ad esse si riferiscono può essere espressa per mezzo della proprietà "HP2 has story". La proprietà "P70 is documented in" collega il Battistero alla sua documentazione, di cui sono citati vari esempi. Il Battistero di Firenze e le sue componenti sono, inoltre, raffigurati in numerose fotografie ("HC7 Digital Visual Object") e riproduzioni digitali, oltre ad essere riprodotte in vari modelli tridimensionali ("HC8 3D Model"). Questi elementi possono essere messi in relazione con l'oggetto culturale rappresentato attraverso la proprietà "HP9 has digital representation". Infine, il legame tra i vari HC3 e la loro replica nel mondo digitale ("HC2 Heritage Digital Twin") viene espresso tramite la relazione "HP1 has digital twin". La stessa relazione che lega il monumento e le sue componenti nel mondo reale può essere riprodotta anche per le loro rappresentazioni digitali, per cui il digital twin del Battistero (HC2) è legato al digital twin della porta orientale (HC2) tramite la proprietà "HP3 has digital twin component".

Integrazione fra ontologie e BIM / H-BIM

La possibilità di integrare i sistemi costruiti su base ontologica con i sistemi BIM/HBIM rappresenta un tema di ricerca particolarmente rilevante per la documentazione dei beni storico-architettonici. La definizione di metodologie di integrazione fra queste informazioni apparentemente diverse potrebbe infatti apportare un notevole contributo aggiuntivo alla costruzione di basi di conoscenza più complesse e, di conseguenza, di gemelli digitali più completi. Se da un lato è possibile, almeno in linea di principio, sviluppare strumenti per includere dati semantici nei modelli HBIM, sembra d'altra parte più promettente, e per certi versi più interessante, la possibilità di derivare informazioni dai modelli stessi codificati in tale sistema in modo da collegarli o incorporarli nel gemello digitale, per implementare sistemi di gestione dati più efficienti e una migliore comprensione degli edifici nel loro complesso. In virtù di tali benefici, stiamo investigando la possibilità di derivare conoscenza dai modelli BIM/HBIM o dai software utilizzati per crearli, estraendo dal loro contenuto informazioni sulla struttura degli edifici rappresentati.

In un lavoro precedente¹⁵, abbiamo già descritto un esperimento simile condotto per esaminare la possibilità di dotare modelli 3D di metadati aggiuntivi, anche sotto forma di annotazione, per una più completa documentazione di siti e scavi archeologici. A questo riguardo, abbiamo anche sviluppato un plugin per dotare software come Blender¹⁶ e altri simili applicativi Open Source della capacità di aggiungere funzioni per interagire con i modelli 3D e incorporare informazioni semantiche direttamente nella loro struttura digitale. Un approccio di questo tipo potrebbe trovare un'applicazione ancora più agevole in ambiti procedurali, specialmente per arricchire modelli di siti, edifici e monumenti creati utilizzando tecnologie e software BIM. Sarebbe infatti possibile dotare i modelli di livelli aggiuntivi di conoscenza relativa ai dati storici, culturali e intangibili derivati dalla documentazione, un'operazione che favorirebbe una gestione sostenibile del patrimonio storico e avrebbe un notevole impatto sulla preservazione delle informazioni sul lungo periodo. I modelli HBIM arricchiti con dati ontologici potrebbero infatti essere utilizzati non solo per monitorare lo stato di conservazione degli edifici nel tempo e pianificare interventi di manutenzione, ma anche per

15. Vedi FELICETTI, LORENZINI 2011.

16. Blender è un software Open Source per la modellazione 3D, <https://www.blender.org/> (ultimo accesso 30 novembre 2023).

conservare e trasmettere alle generazioni future una documentazione digitale dettagliata di ogni loro aspetto, non solo di quello strutturale¹⁷.

Più interessante per il nostro ambito di ricerca è l'operazione inversa, quella cioè di estrarre informazioni strutturali e materiali dai modelli BIM e trasformarle in altrettanti nodi dei grafi della conoscenza implementati attraverso le ontologie. Una grande quantità di dati può essere infatti derivata dal formato di scambio IFC, utilizzato in ambito BIM, per essere poi ricodificata e trasformata in metadati semantici. Operazioni di questo tipo sono già state sperimentate più volte in passato¹⁸ e sono rese agevoli dal fatto che IFC utilizza principalmente lo standard ISO EXPRESS, un linguaggio di specifica dei dati in grado di descrivere ogni aspetto degli edifici rappresentati in 3D, inclusi gli elementi strutturali e funzionali e le reciproche relazioni tra i loro componenti. Sebbene non sia completamente compatibile con i linguaggi semantici più comunemente usati per esprimere le ontologie, la sintassi di EXPRESS può essere agevolmente convertita, attraverso opportune operazioni di mappatura e ricodifica, in formati standard come RDF, OWL, JSON-LD¹⁹. Tale procedimento può rendere possibile l'identificazione di elementi caratteristici o rilevanti per lo studio di siti e monumenti culturali e la definizione di nuove istanze per le classi e proprietà dell'ecosistema ontologico, in modo da descrivere le relazioni che questi elementi possiedono all'interno dei modelli 3D e da compararli e collegarli con quelli del mondo reale, documentati, ad esempio, per mezzo di CRMba e RHDT. Da elementi IFC quali *ifcSite*, *ifcBuilding*, *ifcWall*, *ifcSpace* sarebbe infatti possibile ottenere, in modo semi-automatico, istanze per classi quali "E27 Site" di CIDOC CRM, "B1 Built Work", "B2 Morphological Building Section" e "B4 Empty Morphological Building Section" di CRMba, per poi utilizzare le tecniche sopra descritte dell'istanziatura multipla – cioè considerare gli oggetti contemporaneamente come istanze di classi diverse – e dell'ereditarietà per aggiungere livelli di conoscenza riguardo la valenza culturale degli elementi rappresentati in BIM. Questo avrebbe un enorme impatto sull'integrazione fra documentazione e modelli digitali all'interno dell'infrastruttura dei gemelli culturali, un motivo più che sufficiente per convincerci a proseguire questa sperimentazione nell'immediato futuro.

Per illustrare concretamente le potenzialità di questo approccio, si delinea di seguito una metodologia di integrazione che dimostra come l'ontologia RHDT possa arricchire semanticamente i modelli H-BIM, superando la mera rappresentazione geometrica e contribuendo alla costruzione di un autentico gemello digitale culturale. Un riferimento metodologico interessante in questo campo

17. Vedi MESSAOUDI, VÉRON, HALIN 2018.

18. Vedi: ACIERNO ET ALII 2017; PREVITALI ET ALII 2020.

19. Vedi: BEETZ, VAN LEUVEN, DE VRIES 2009; ZHANG, EL-GOHARY 2020.

è offerto da recenti studi sull'integrazione tra modelli dell'ecosistema CIDOC CRM e lo schema IFC, fra i quali ad esempio quello condotto sul Teatro Romano di Adrianopoli in Albania²⁰. In questa ricerca l'ontologia CRMba è stata mappata direttamente sullo schema IFC. Sfruttando al meglio le classi "IfcSpace" e "IfcSpatialZone", è stato possibile gestire l'analisi spaziale e la scomposizione funzionale dei resti archeologici senza ricorrere a conversioni intermedie, che spesso comportano una perdita di informazione. Il processo logico seguito e la validazione sul campo offrono un modello operativo direttamente trasferibile e applicabile alla nostra ontologia RHDT e definiscono un percorso per tradurre la ricchezza concettuale del nostro modello in un formato interoperabile e standardizzato. Il processo si fonda su una mappatura sistematica in cui, ad esempio, un'entità IFC come "IfcBuilding" viene classificata simultaneamente come istanza della classe "B1 Built Work" di CRMba e della classe "HC1 Heritage Entity" di RHDT. Attraverso il meccanismo dell'istanziamento multipla, l'oggetto eredita le proprietà di entrambe, descrivendone con un unico atto sia la natura strutturale sia la valenza culturale. Questa metodologia non rappresenta una semplice trasposizione tecnica, bensì il fondamento per la costruzione di grafi della conoscenza densi e articolati, attraverso i quali il paradigma del gemello digitale culturale si realizza pienamente. L'operazione di mappatura trasforma in relazioni ontologiche i costrutti IFC, creando una rete semantica in cui ogni nodo del modello H-BIM è connesso agli altri attraverso legami espliciti, al tempo stesso human- e machine-readable. La relazione "HP5 has intangible aspect", ad esempio, trova una precisa corrispondenza nella relazione "IfcRelDefinesByProperties", che permette di associare a un elemento fisico ("IfcBuildingElement") un set di proprietà ("IfcPropertySet") personalizzato che ne veicola gli attributi immateriali. Analogamente, le componenti narrative, modellate tramite la classe "Narrative" della Narrative Ontology, possono essere collegate all'entità principale attraverso la relazione "IfcRelAssociatesDocument".

A complemento di questa strategia, esperimenti preliminari condotti dal nostro gruppo di ricerca²¹ hanno investigato la possibilità di sviluppare un'estensione ontologica per BIM/H-BIM capace di generare automaticamente istanze a partire da entità IFC. Tramite script di mappatura e conversione, è infatti possibile definire nuove classi che rappresentino esplicitamente gli ambienti 3D (ad esempio, "3DEx_Site", "3DEx_Building", "3DEx_Space") e popolarle con istanze derivate da elementi IFC quali "IfcSite", "IfcBuilding" e "IfcSpace". Successivamente, utilizzando proprietà del CIDOC-CRM come "P138 represents" o "P67 refers to", sarà possibile collegare queste entità digitali alle istanze delle

20. Vedi MUNOZ-CÁDIZ *ET ALII* 2025.

21. Vedi AMICO, FELICETTI 2021.

classi che descrivono il mondo reale (come “E27 Site”, “B1 Built Work” o “B2 Morphological Building Section”). Questo approccio permette di stabilire una corrispondenza semantica precisa e non ambigua tra il dominio digitale e quello fisico, con un enorme impatto potenziale sull'integrazione profonda dei modelli 3D all'interno di grandi archivi digitali del patrimonio culturale. È attraverso questi grafi che il paradigma del gemello digitale culturale si realizza pienamente. L'operazione di mappatura trasforma le relazioni ontologiche in costrutti IFC, creando una rete semantica in cui ogni nodo del modello H-BIM è connesso agli altri attraverso legami espliciti e machine-readable. In tal modo, il dato strutturale derivato dall'IFC e il dato semantico-culturale espresso dal CRM e da RHDT non sono più entità separate, ma nodi interconnessi di un unico, coerente grafo informativo che costituisce il cuore stesso del sistema. Il gemello digitale cessa in tal modo di essere una replica geometrica per evolvere in una base di conoscenza olistica e dinamica in cui la documentazione strutturale, gestita dalle classi di CRMba, si fonde con quella storica, narrativa e culturale. Questo non solo valida il potenziale del nostro modello, ma traccia un percorso concreto per la creazione di infrastrutture informative realmente integrate, pronte a supportare la gestione, la conservazione programmata e la valorizzazione dei beni nel lungo periodo.

Conclusioni: la costruzione del gemello digitale

La parte teorica di definizione dei gemelli digitali su base ontologica offre una panoramica sulla natura e le funzionalità che un gemello digitale culturale costruito secondo il nostro paradigma potrebbe garantire. D'altro canto, l'implementazione tecnologica di questo paradigma richiede l'impiego di varie tecnologie e l'integrazione di diverse infrastrutture digitali come reti, servizi cloud e altre piattaforme di archiviazione e gestione della conoscenza. La prima operazione consiste nella raccolta e nella strutturazione dei dati sul bene culturale o architettonico del quale si intende creare una riproduzione digitale, quali modelli 3D, fotografie, documentazione storica e informazioni sulla struttura fisica e sullo stato di conservazione dell'oggetto reale. La preparazione e l'acquisizione dati richiede, per ognuna di queste tipologie, un'accurata pianificazione e una serie di strumenti per la creazione di metadati descrittivi. I dati modellati secondo l'ontologia RHDT dovranno poi essere archiviati in un database a grafo²² ospitato su un'infrastruttura robusta e affidabile, come un server

22. Un database a grafo è una struttura informatica basata sui concetti di nodo (le classi) e gli archi (le relazioni) per rappresentare e archiviare le informazioni. È cioè la struttura operativa corrispondente al diagramma rappresentato in figura 1.

in cloud o piattaforme dedicate, che ne consentano un facile accesso e una gestione efficiente. La scelta della piattaforma di archiviazione è cruciale e deve tenere conto di fattori come la capacità di storage, la velocità di accesso ai dati e la sicurezza informatica. Il progetto 4CH sopra menzionato sta sperimentando questo tipo di approccio, realizzando una base della conoscenza (cioè un sistema informativo) finalizzato alla conservazione e al restauro.

L'implementazione dell'interoperabilità del sistema è la fase successiva, che consentirà al gemello digitale di interfacciarsi con altri servizi (per esempio il monitoraggio di eventi dannosi o distruttivi) e database esterni con cui scambiare informazioni. L'impiego di ontologie e standard favorirà inoltre la collaborazione con piattaforme di altri settori e collegare ai dati architettonici informazioni derivanti, ad esempio, dalla ricerca storica e dall'archeologia.

Infine, attraverso l'infrastruttura e le opportune interfacce, il gemello digitale culturale potrà essere impiegato come strumento di ricerca per lo studio e la conservazione del patrimonio culturale, come il monitoraggio dello stato di conservazione, la pianificazione di interventi di restauro, la simulazione e l'analisi predittiva dei rischi, con l'ausilio di meccanismi di *reasoning* sui dati, facilitati dall'utilizzo delle ontologie e resi efficienti dall'applicazioni di tecniche di *machine learning* e intelligenza artificiale.

Bibliografia

- AA.VV. 1964 - AA.VV., *International Charter for the Conservation and Restoration of Monuments and Sites*, ICOMOS, Parigi, 1964.
- ACIERNO ET ALII 2017 - M. ACIERNO, S. CURSI, D. SIMEONE, D. FIORANI,, *Architectural heritage knowledge modelling: An ontology-based framework for conservation process*, in «Journal of Cultural Heritage», 2017, 24, pp. 124-133. DOI: 0.1016/j.culher.2016.09.010.
- AMICO, FELICETTI 2021 - N. AMICO, A. FELICETTI, *Ontological Entities for Planning and Describing Cultural Heritage 3D Models Creation*, in «arxiv», 2021, 2106.07277. DOI: 10.48550/arXiv.2106.07277.
- BEETZ, VAN LEUVEN, DE VRIES 2009 - J. BEETZ, J. VAN LEUVEN, B. DE VRIES, *IfcOWL: A Case of Transforming EXPRESS Schemas into Ontologies*, in «AI EDAM», I(2009), 23, pp. 89-101. DOI: 10.1017/S0890060409000122.
- BOUCHENAKI 2003 - M. BOUCHENAKI, *The Interdependency of the Tangible and Intangible Cultural Heritage Keynote address*, in *ICOMOS 14th General Assembly and Scientific Symposium: Place, memory, meaning: preserving intangible values in monuments and sites*, 27-31 oct 2003, Victoria Falls, Zimbabwe 2003.
- CRESPI, DROBOT, MINERVA 2023 - N. CRESPI, A.T. DROBOT, R. MINERVA (eds.), *The Digital Twin*, Springer International Publishing , Cham 2023. DOI: 10.1007/978-3-031-21343-4.
- DE LUCA 2023 - L. DE LUCA, *A digital ecosystem for the multidisciplinary study of Notre-Dame de Paris*, in «Journal of Cultural Heritage», 2023, 65. DOI: 10.1016/j.culher.2023.09.011.
- FELICETTI, LORENZINI 2011 - A. FELICETTI, M. LORENZINI, *Metadata and tools for integration and preservation of cultural heritage 3D information*, in «Geoinformatics FCE CTU», 6, 2011, pp. 118-124. DOI: 10.14311/gi.6.16.
- JONES ET ALII 2020 - D. JONES, C. SNIDER, A. NASSEHI, J. YON, B. HICKS, *Characterising the Digital Twin: A systematic literature review*, in «CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology», 2020, 229, pp. 36-52.
- FELICETTI, NICCOLUCCI 2024 - A. FELICETTI, F. NICCOLUCCI, *Artificial Intelligence and Ontologies for the Management of Heritage Digital Twins Data*, in «Data», I(2024), 10. DOI: 10.3390/data10010001.
- MEGHINI, BARTALESI, METILLI 2019 - C. MAGHINI, V. BARTALEI, D. METILLI, *Representing Narratives in Digital Libraries: The Narrative Ontology*, in «Semantic Web Journal», 2019, 12, 2, disponibile online: <https://www.semantic-web-journal.net/content/representing-narratives-digital-libraries-narrative-ontology-1> (ultimo accesso 30 novembre 2023)
- MESSAOUDI, VÉRON, HALIN 2018 - T. MESSAOUDI, P. VÉRON, G. HALIN, *An ontological model for the reality-based 3D annotation of heritage building conservation state*, in «Journal of Cultural Heritage», 2018, 29, pp. 100-112. DOI: doi.org/10.1016/j.culher.2017.05.017.
- MUNOZ-CÁDIZ ET ALII 2025 - J. MUNOZ-CÁDIZ, C. MARIOTTI, R. NESPECA, L. BOLOGNESE, *A Methodology for Integrating CIDOC-CRMba Ontology into the IFC Schema to Support the Spatial Analysis in Archaeological Heritage. Digital Applications*, in «Archaeology and Cultural Heritage», 2025, e00431. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.daach.2025.e00431>.
- NICCOLUCCI, FELICETTI 2024 - F. NICCOLUCCI, A. FELICETTI, *Digital Twin Sensors in Cultural Heritage Ontology Applications*, in «Sensors», 2024, 24, 12, 3978. DOI: 10.3390/s24123978.
- NICCOLUCCI, FELICETTI 2025 - F. NICCOLUCCI, A. FELICETTI, *Digital Twins and the Stendhal Syndrome*, in «Computers», 2025, 14, 4, 136. DOI: 10.3390/computers14040136.
- PREVITALI ET ALII. 2020 - M. PREVITALI, R. BRUMANA, C. STANGA, F. BANFI, *An Ontology-Based Representation of Vaulted System for HBIM*, in «Applied Sciences», 2020, 4, 1377. DOI: 10.3390/app10041377.

TIBAUT, KAUČIČ, DVORNIK PERHAVEC 2018 - A. TIBAUT, K.B. KAUČIČ, P. DVORNIK PERHAVEC, *Ontology-Based Data Collection for Heritage Buildings*, in M. IOANNIDES (eds.), *Digital Cultural Heritage*, Springer, Cham 2018. DOI: 10.1007/978-3-319-75826-8_6.

VANDERHORN, SANKARAN 2021 - E. VANDERHORN, M. SANKARAN, *Digital Twin: Generalization, characterization and implementation*, in «Decision Support Systems», 2021, 145, 113524. DOI: 10.1016/j.dss.2021.113524.

ZHANG, EL-GOHARY 2020 - L. ZHANG, N.M. EL-GOHARY, *Automated IFC-based building information modelling and extraction for supporting value analysis of buildings*, in «International Journal of Construction Management», 2020, 20, 4, pp. 269-288. DOI: 10.1080/15623599.2018.1484850.

ArchistoR EXTRA 12 (2024)

ISSN 2384-8898

ISBN 978-88-85479-39-5

www.archistor.unirc.it