

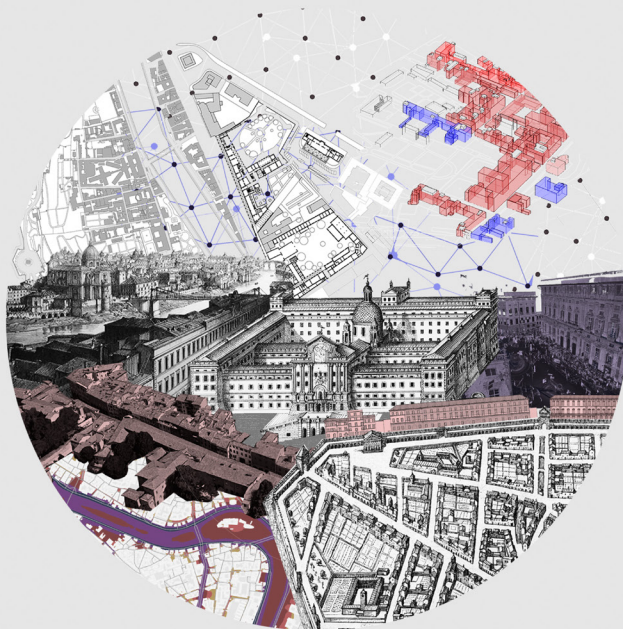
2024 | 13

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](http://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



Scopus®



Clarivate  
Web of Science™



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>Marco Pretelli, Andrea Ugolini, <i>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>Leila Signorelli, Alessia Zampini, <i>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>Maurizio Caperna, Maria Grazia Ercolino, Annarita Martello, <i>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>Silvia Cutarelli, <i>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>Simonetta Acacia, Marta Casanova, <i>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>Alessandra Pili, <i>Knowledge management: ontologies and practical tools for the preservation of cultural heritage</i></p>	262
<p>PARTE II - ESPERIENZE</p> <p>PART II - EXPERIENCES</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>Roberto di Giulio, Giulia Favaretto, Danila Longo, Marco Medici, <i>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>Achille Felicetti, Franco Niccolucci, <i>Digital twins and ontological models for digital historic architectural documentation</i></p>	310

**ArchistoR EXTRA 12 (2024)**

**ISSN 2384-8898**

**ISBN 978-88-85479-39-5**

**[www.archistor.unirc.it](http://www.archistor.unirc.it)**

# 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](http://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 riscontrato<sup>1</sup>. 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/modifiche<sup>2</sup>.

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 schedati<sup>3</sup>. 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»<sup>4</sup>.

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 storica<sup>5</sup>.

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 tridimensionale<sup>6</sup>.

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)<sup>7</sup>. 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 tempo<sup>8</sup>. 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'edificio<sup>9</sup>.

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 piattaforme<sup>10</sup>.

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 BIM<sup>11</sup>.

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 algoritmiche<sup>12</sup>. 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 cultura<sup>13</sup>.

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»<sup>14</sup> 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 intervento<sup>15</sup>.

Per adempiere al requisito di spedività 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 conservazione<sup>16</sup>. 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 reali<sup>17</sup>.

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 storici<sup>18</sup>.

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 rilevanza<sup>19</sup>.

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 totali<sup>20</sup>.

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 progettuali<sup>21</sup>.

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 degrado<sup>22</sup>.

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 sistemi<sup>23</sup>.

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 specifiche<sup>24</sup>.

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.