

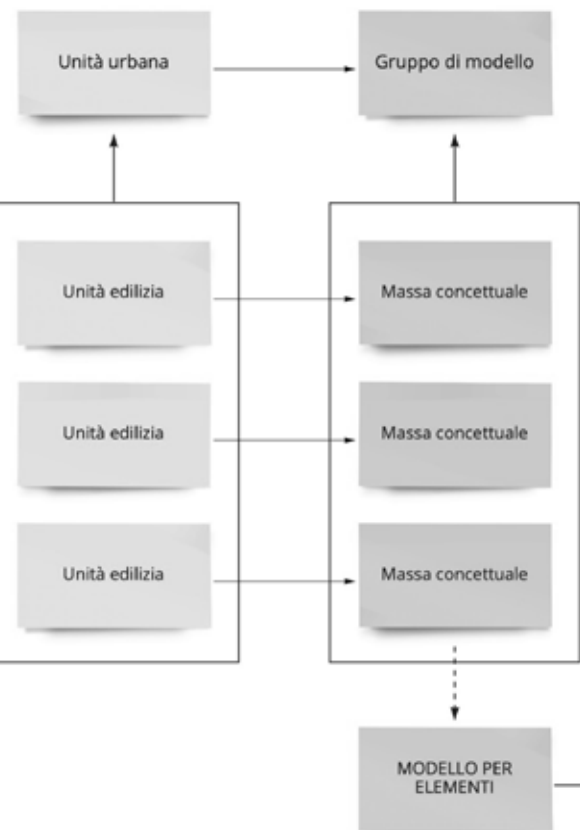


Semantic languages and HBIM models: digitization and interoperability of data for the protection of built heritage

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. Ricondurre 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.

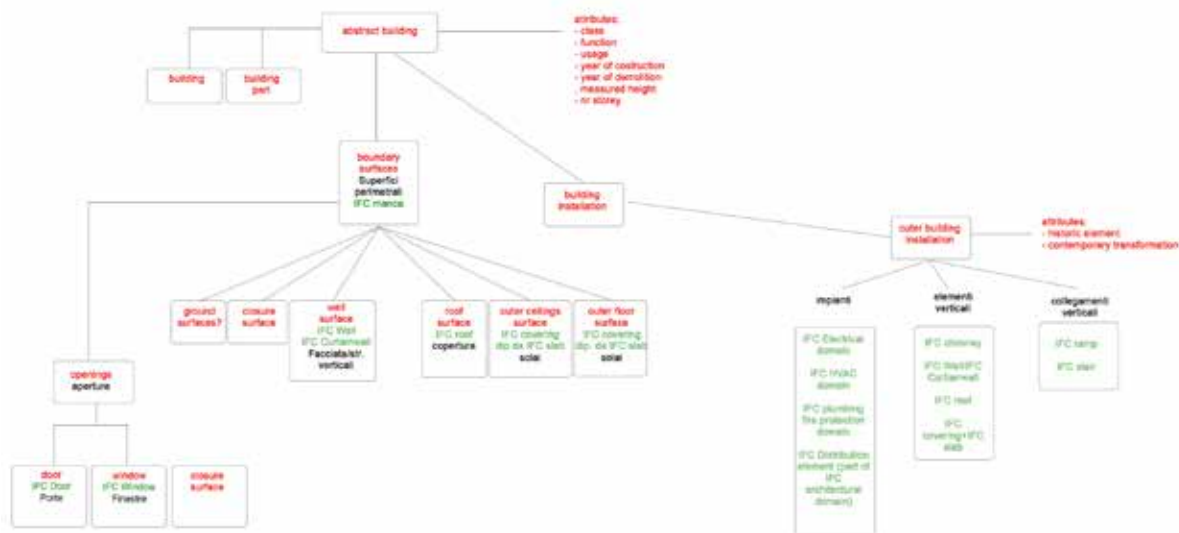


Figura 1. Schema di confronto tra linguaggi: in rosso CityGML, in nero Carta del Rischio, in verde IFC (elaborazione L. Signorelli, A. Zampini, 2024).

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

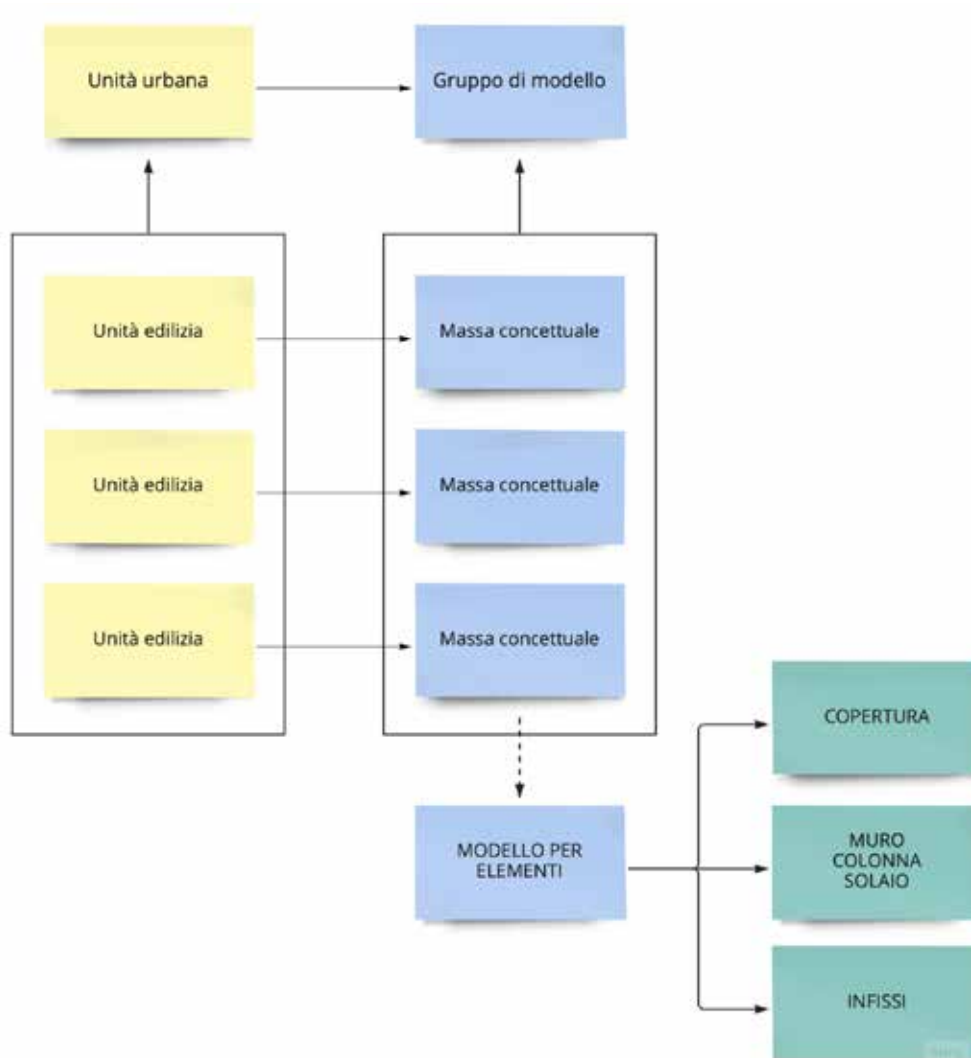


Figura 3. Corrispondenza tra struttura del modello HBIM realizzato mediante Revit ed elementi di Carta del Rischio (elaborazione A. Zampini, 2023).

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
Visibilità confinante	Testo campo aperto
DATI CATASTALI	
Tipe cataste	Testo campo aperto
Comune	Testo campo aperto
Sezione	Testo campo aperto
Foglio/Togli	Testo campo aperto
Anno	Testo campo aperto
ANAGRAFICA	
Definizione	Testo campo chiuso
Identificazione	numero
Denominazione	Testo campo aperto
SISTEMA EDILIZIO	
IMPIANTO	
Configurazione impianto	Testo campo chiuso
Recinto	si/no
Attacco a terra	Testo campo chiuso
Anditi	si/no
Incidenza anditi aperti per numero di U.E. complessive	Testo campo chiuso
COLLEGAMENTI EDILIZI	
Numero unità urbane collegate	Numero
Unità urbana collegata	Testo campo aperto
Tipe di collegamento	Testo campo chiuso
VUOTI EDILIZI	
N. vuoti edilizi esistenti	Numero
Localizzazione	Testo campo chiuso
Incidenza volumetrica dei vuoti edilizi	Testo campo chiuso
Incidenza distributiva dei vuoti edilizi	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 sopraelevazioni/superfacciate moderne	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 terrena	Numero
N. unità abitative	Numero
N. unità non abitative	Numero
Altezza minima	
Altezza massima	
Volume fuori terra	
Volume dentro terra	
Superficie coperta 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 ipotizzati	Numero
N. fronti interni ed esterni totali	Numero
N. fronti interni ed esterni ipotizzati	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
SOLAIO	
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
Efficacia impianto 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
Dialineo 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

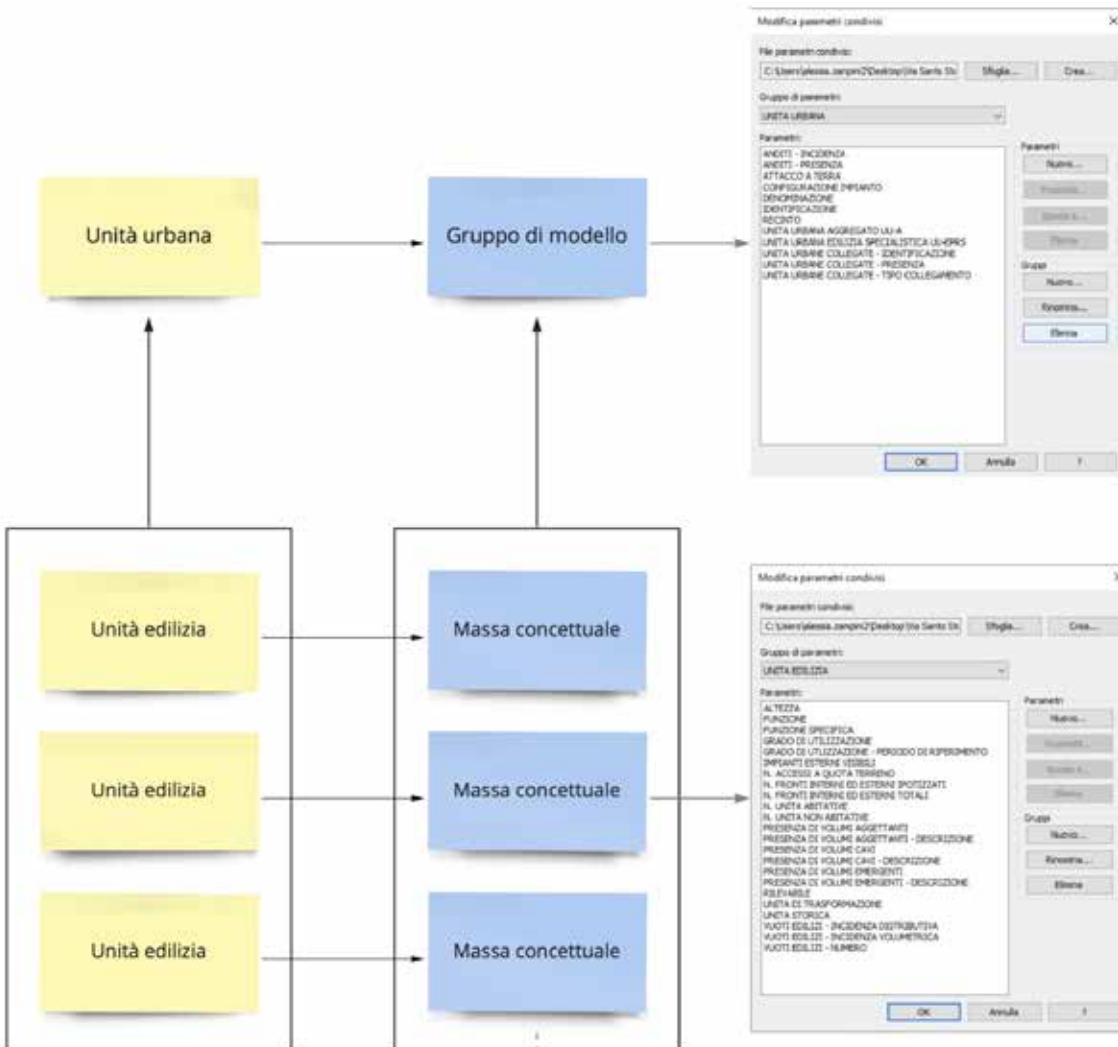


Figura 5. Associazione dei parametri agli elementi di modello (elaborazione A. Zampini, 2023).

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'ammagliamento 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 (elaboazione 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).

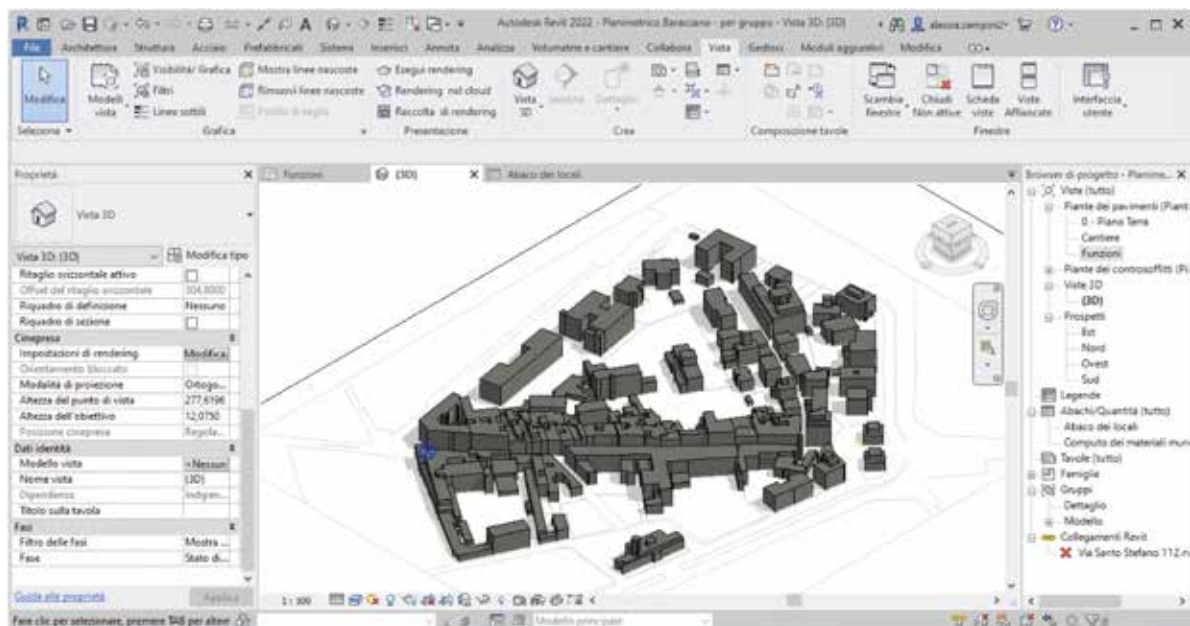


Figura 8. Visualizzazione del modello per volumi in Revit (elaborazione A. Zampini, 2023).

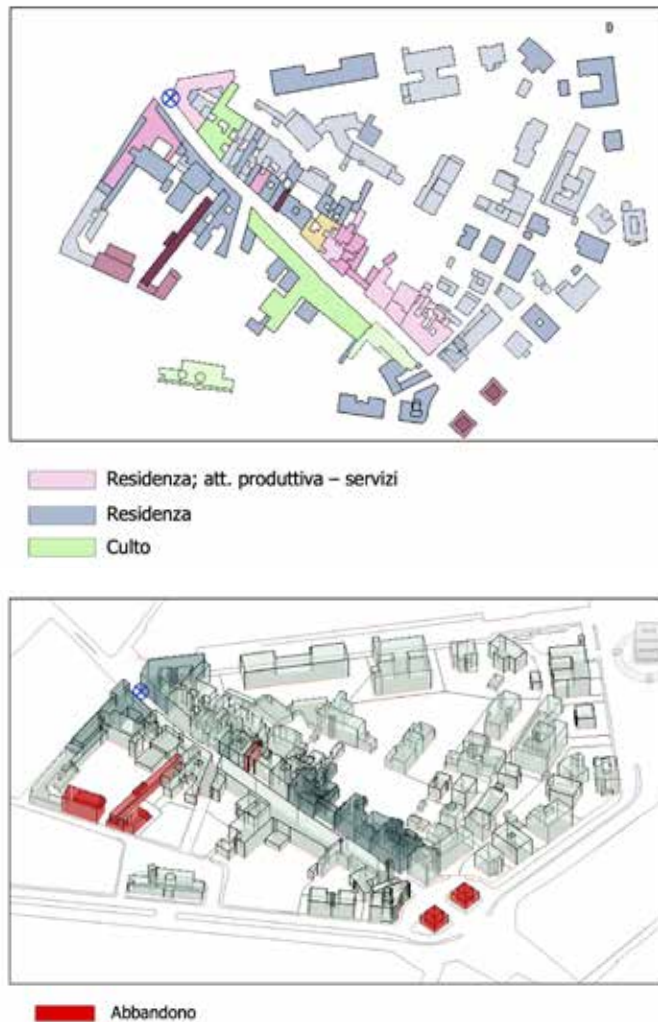


Figura 9. Esempi di interrogazione del modello in Revit (elaboazione A. Zampini, 2023).

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.

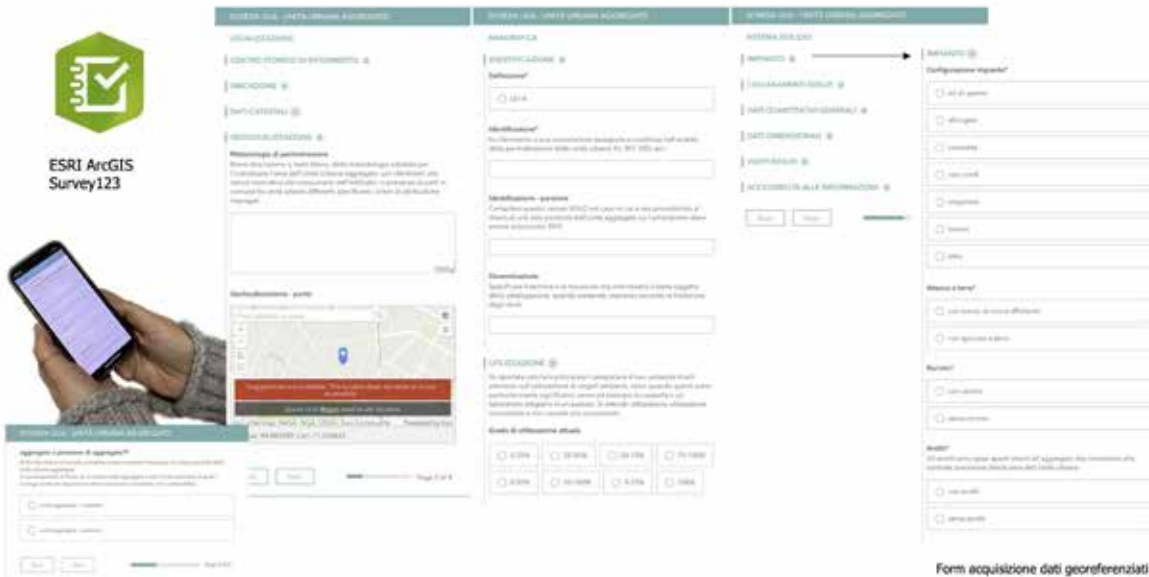


Figura 10. Interfaccia dell'applicativo ArcGIS Survey123 messo a punto per digitalizzare il processo di acquisizione dati necessari per la compilazione della Scheda Unità Urbana di Carta del Rischio (elaborazione A. Zampini, 2023).



ESRI ArcGIS
Survey123

ArcGIS Survey123 - My surveys Help

SCHEDA U... Overview **Design** Collaborate Analyze Data Settings

Modify Schema

All survey data is stored in a feature layer associated with your survey. Use the settings below to control the field names of your feature layer as well as the values stored for choices in your survey. Once published, changes are not allowed on existing questions.

Label	Name	Field type	Field length
↳ Sezione	sezione	esriFieldTypeString	255
↳ Paga	paga	esriFieldTypeString	255
↳ Anno	anno	esriFieldTypeDate	353
↳ Elementi di cantiere	elementi_di_cantiere	esriFieldTypeString	255
↳ Area	area	esriFieldTypeString	1000
↳ CATEGORIE			
↳ Identificatore di geometria	identificatore_di_geometria	esriFieldTypeString	1000
↳ Identificatore di punto	identificatore_di_punto	esriFieldTypeString	1000
↳ Pagina di			
↳ Aggregato a sezione di aggregato?	aggregato_a_sezione	esriFieldTypeString	255
↳ con aggregato - corretto	con_aggregato_corretto	esriFieldTypeString	255
↳ con aggregato - posizione	con_aggregato_posizione	esriFieldTypeString	255
↳ Pagina di			
↳ CATEGORIA			
↳ Definizione	con_definizione	esriFieldTypeString	255
↳ IDA	IDA	esriFieldTypeString	255
↳ Identificatore	con_identificatore	esriFieldTypeString	255
↳ Identificatore - sezione	con_identificatore_posizione	esriFieldTypeString	255

Publish Survey

Changes made to the survey will be available for all users that the survey is shared with. Are you sure you want to publish the survey?

Allineamento del «field name»
- Univoco
- Corrispondenza parametri Revit

Modify schema Publish Back

Figura 11. Applicativo ArcGIS Survey123: scheda di controllo per l'allineamento dei campi del rilevamento con i parametri del modello HBIM (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.

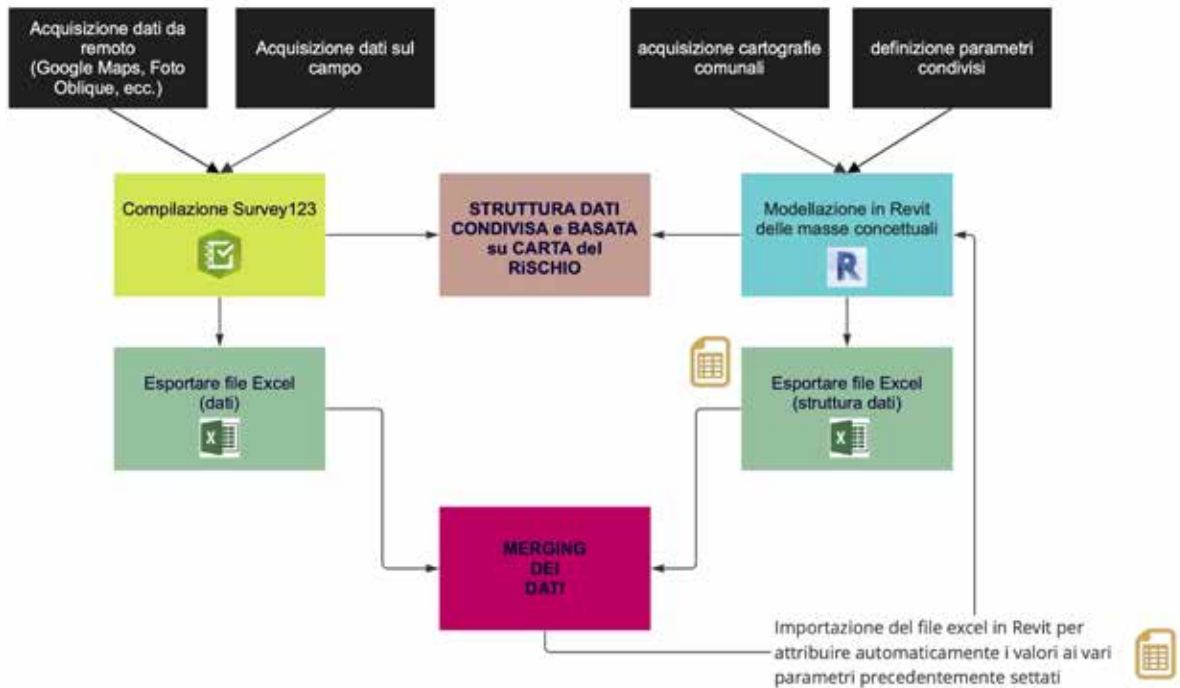


Figura 12. Schema del flusso di lavoro messo a punto (elaboazione A. Zampini, 2023).

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-restauroarchitettonico.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

ORIOLI *ET ALII* 2019 – V. ORIOLI, 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.