

Strumenti BIM e GIS per la gestione della manutenzione e salvaguardia della Fortezza veneziana di Bergamo

Virna Maria Nannei | virnamaria.nannei@unibg.it

Università degli Studi di Bergamo, Dipartimento di Ingegneria e Scienze Applicate

Vittorio Paris | vittorio.paris@unibg.it

Università degli Studi di Bergamo, Dipartimento di Ingegneria e Scienze Applicate

Giuseppe Ruscica | giuseppe.ruscica@unibg.it

Università degli Studi di Bergamo, Dipartimento di Ingegneria e Scienze Applicate

Giulio Mirabella Roberti | giulio.mirabella@unibg.it

Università degli Studi di Bergamo, Dipartimento di Ingegneria e Scienze Applicate

Abstract

The implementation of architectural heritages' information systems to collect a huge amount of data using BIM and GIS constitutes a relatively recent field of research. However, the potentiality of such an approach is clear: the systemic application of these tools to the sites belonging to the UNESCO World Heritage would allow the building of easily accessible databases to support the heritage sites' management and preservation.

As part of the collaboration between the Municipality and the University of Bergamo, an information system has been designed to support the Preservation Program of the Venetian Fortress of Bergamo. The geometrical simplicity of its elements makes the complex a suitable case study for the development of a data digitization procedure, allowing an efficient management of ordinary maintenance and, where needed, a detailed representation of the state of conservation, structural instabilities, and stratigraphic relationships, which can also be proposed in other contexts.

Keywords

Preventive conservation, Geographic Information System, Heritage Building Information Modelling, Digital archive, Venetian Fortress of Bergamo.

Introduzione

La cinta muraria, o meglio la fortezza, costruita dalla Serenissima Repubblica di Venezia nel XVI secolo e concepita come il baluardo più avanzato in terraferma dei territori veneziani verso il ducato di Milano¹, caratterizza ancora oggi il profilo della città di Bergamo (Fig. 1). L'importanza storica e culturale di quest'opera imponente e ben conservata, da sempre considerata parte integrante dell'immagine della città, è stata sancita a luglio del 2017 dall'inserimento nelle liste del patrimonio mondiale dell'umanità dell'UNESCO, con una candidatura transnazionale che comprendeva diverse città fortificate in Italia, Croazia e Montenegro nel sito "Opere di difesa veneziane tra il XVI ed il XVII secolo: Stato da Terra - Stato da Mar Occidentale". Questo riconoscimento ha rafforzato l'impegno dell'amministrazione comunale, responsabile della manutenzione ordinaria del circuito delle mura, che sono di proprietà demaniale, per lo studio e la salvaguardia di questo complesso difensivo



Fig. 1 Baluardo di Valverde, Fortezza Veneziana, Bergamo.

costituito da un sistema di cortine e bastioni, del perimetro di circa cinque chilometri, che cinge il nucleo più antico della città di Bergamo.

Già a partire dal 2015, con il supporto di Fondazione Cariplo, il Comune di Bergamo, in collaborazione con l'Università degli Studi di Bergamo e i volontari di Orobicambiente, ha condotto una serie di rilievi, campagne diagnostiche e cantieri pilota i cui risultati sono confluiti in un Piano di Conservazione, con lo scopo di favorire le operazioni di cura del bene minimali e ripetitive e prevenire così interventi più invasivi e costosi². L'obiettivo dello studio successivamente descritto è quello di sviluppare un Sistema Informativo Digitale (SID) che consenta di programmare una gestione efficiente delle operazioni di manutenzione dell'opera architettonica, rispondendo così alle sollecitazioni e alle responsabilità legate all'inserimento nella lista UNESCO.

Struttura del Sistema Informativo Digitale (SID)

Come ormai da prassi comune³, il Piano di Conservazione viene articolato in tre documenti, il Manuale Tecnico, che contiene tutte le indicazioni per le operazioni di ispezione e manutenzione, il Programma di Conservazione, che definisce le tempistiche delle attività descritte dal Manuale Tecnico, e il Manuale d'Uso, che illustra le corrette modalità di fruizione del bene da parte degli utenti. Il Manuale Tecnico, in particolare, comprende una grande mole di dati eterogenei, dalla catalogazione degli elementi del manufatto, corredata da descrizioni e rappresentazioni grafiche, alla delineazione delle anomalie attese e delle procedure di manutenzione. Questi dati devono essere consultabili e aggiornabili dai tecnici in modo agile e immediato⁴, per cui il Piano richiede la costruzione di un vero e proprio Sistema Informativo, un archivio digitale interattivo che contenga tutti i dati relativi al bene e sia accessibile in contemporanea da tutti gli operatori interessati (Fig. 2).

Nel caso della Fortezza Veneziana di Bergamo, la scelta degli strumenti da utilizzare per costruire questo archivio è stata determinata da diversi fattori, il primo dei quali è la semplicità di utilizzo. Infatti, sebbene a partire dal 2025 sia previsto l'impiego della modellazione BIM per la gestione degli appalti pubblici riguardanti opere di importo superiore al milione di euro⁵, il livello di specializzazione richiesta da questo tipo di software, oltre

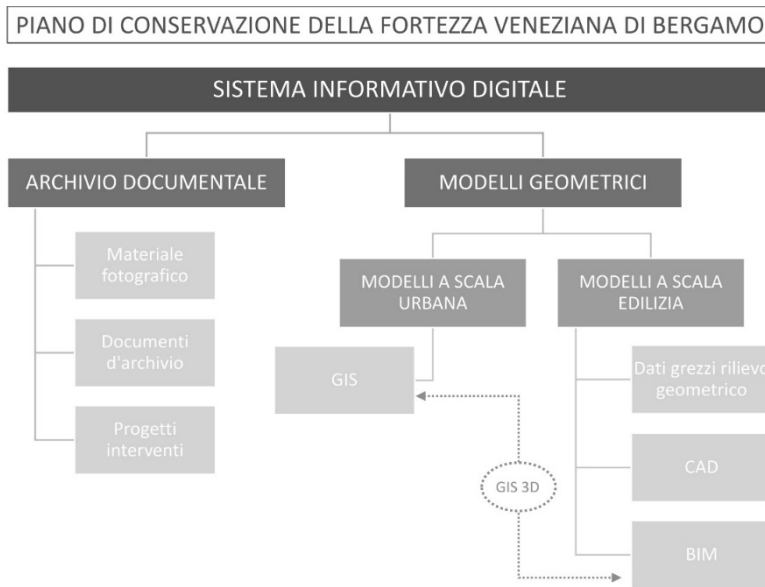


Fig. 2 Articolazione del Sistema Informativo Digitale.

al costo elevato delle licenze, suggerisce che essi non saranno utilizzabili da tutti i tecnici delle pubbliche amministrazioni in tempi brevi. Pertanto, si è ritenuto di utilizzare una piattaforma GIS, e in particolare il software *open-source* QGIS, per la gestione dei contenuti del Manuale Tecnico. Questa scelta è dovuta anche alle caratteristiche della fortezza, che è costituita, ad esclusione delle porte, da elementi ripetitivi dalla geometria elementare e di dimensioni tali da raggiungere la scala urbana. Inoltre, l'utilizzo del GIS consente una visualizzazione spaziale immediata di alcuni dati, come le informazioni catastali relative ai terreni nei pressi delle mura, l'urgenza delle attività ispettive o la gravità dei fenomeni di degrado, indispensabili all'applicazione del Piano.

Un livello di modellazione di maggiore dettaglio risulta comunque necessario in caso di interventi, come quelli di consolidamento strutturale, che esulano dalle operazioni di cura ordinarie. Per questo, i modelli BIM degli elementi della fortezza che verranno realizzati nel corso del tempo dovranno essere inseriti nell'archivio digitale, che si prevede troverà la sua collocazione in un'area riservata del sito dedicato alle Mura Veneziane. Il collegamento tra il sistema GIS e i documenti contenuti nell'archivio digitale, dai dati storici ai modelli geometrici, può avvenire quindi tramite un semplice link.

Aggiornamento del Piano di Conservazione in ambiente GIS

Le operazioni di manutenzione ordinaria della fortezza riguardano in prevalenza la rimozione periodica della vegetazione infestante che cresce sulle murature e nei terreni al piede. Se la vegetazione non viene tempestivamente rimossa, infatti, le radici si inseriscono negli interstizi tra le pietre e provocano l'allargamento delle fessure, fino a causare la sconnessione e l'espulsione dei blocchi del paramento. Considerata l'estensione della struttura e il fatto che molti dei terreni che la circondano sono di proprietà privata, l'aspetto più complesso della gestione del Piano di Manutenzione è la programmazione delle ispezioni, per verificare lo stato di conservazione dei tratti della cinta, e della pulizia da parte dei volontari, che richiede almeno un paio di anni per l'intero perimetro.

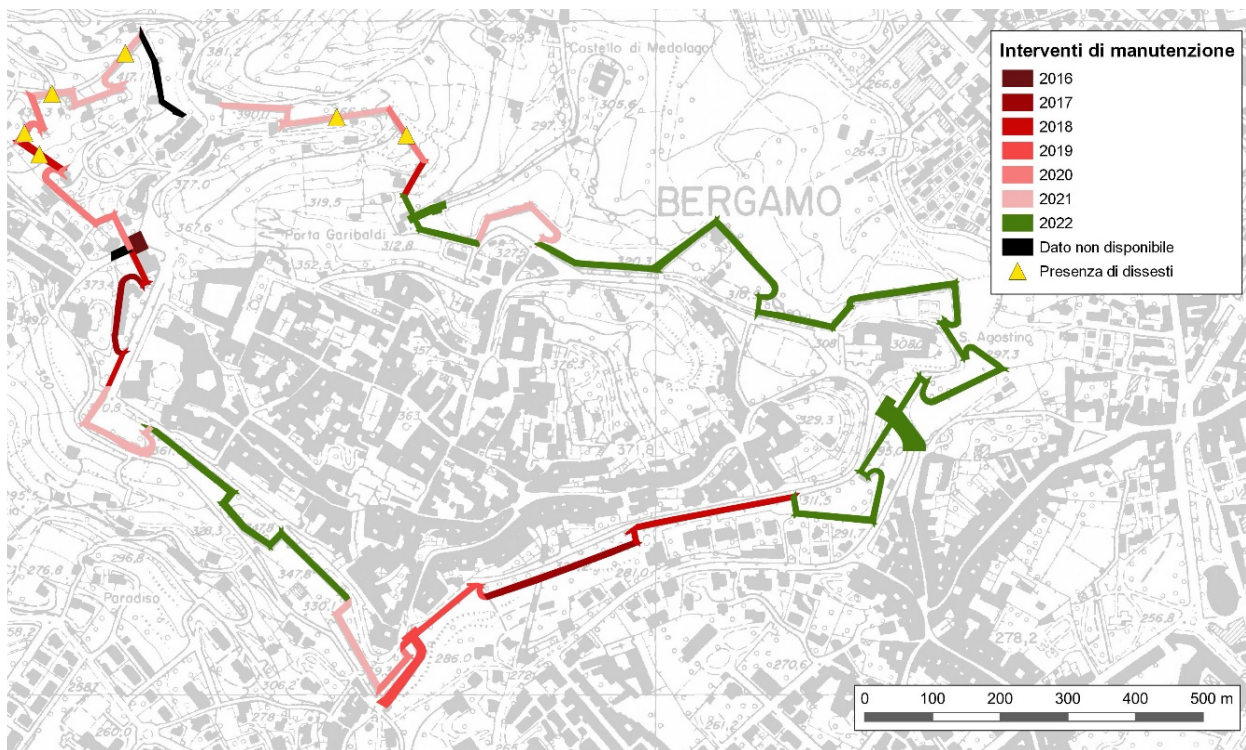


Fig. 3 Fortezza Veneziana di Bergamo, mappa degli ultimi interventi di pulizia e manutenzione.

Date le caratteristiche del manufatto e la sua estensione, nella stesura del Piano è stato utilizzato un livello di catalogazione per corpi di fabbrica, secondo la suddivisione in porte, viadotti, baluardi, piattaforme e cortine. La suddivisione dei corpi di fabbrica in elementi, nel caso delle mura di Bergamo, riguarda più gli interventi straordinari, pertanto, pur facendo parte del Piano, è demandata a un livello di dettaglio maggiore che è proprio della modellazione BIM e che verrà illustrato nel paragrafo successivo. Le informazioni principali relative ai corpi di fabbrica, come le date dell'ultima ispezione o dell'ultimo intervento di pulizia, possono invece essere agevolmente visualizzate in una mappa GIS (Fig. 3).

Per semplicità, i dati sono stati organizzati all'interno di due diversi *shapefile*: il primo, a carattere generale, contiene i dati identificativi dei corpi di fabbrica, le date dell'ultima ispezione, dell'ultimo rilievo strumentale e dell'ultimo intervento di manutenzione e la presenza di danni strutturali, oltre ai link che rimandano alle cartelle con i documenti completi del piano di conservazione. Il secondo file raccoglie i dati relativi all'ultima ispezione condotta, con l'elenco delle anomalie riscontrate e una valutazione della loro gravità.

Attualmente, il software prescelto, QGIS, non consente un'integrazione dei modelli BIM; è possibile visualizzare nel programma oggetti tridimensionali come *mesh* o nuvole di punti, ma per poterli modificare è necessario utilizzare altri codici e formati⁶. In futuro, integrando i modelli tridimensionali in ambiente GIS sarà possibile gestire informazioni fino almeno alla scala 1:50, che è la scala più adeguata alla mappatura e all'analisi dei fenomeni di degrado, in vista di interventi che esulano dalla manutenzione ordinaria, in particolare quelli che riguardano il consolidamento delle strutture.

Modellazione di dettaglio del manufatto in ambiente CAD e BIM

Come già detto, il SID contiene anche le informazioni geometriche necessarie per la descrizione del manufatto, al fine di salvaguardare l'opera e facilitarne la gestione. In esso, perciò, sono inclusi almeno i dati grezzi di rilievo, i modelli di tipo *BIM* e quelli di tipo *CAD*.

I primi, i dati grezzi di rilievo, descrivono lo stato dell'opera in modo analitico e sono fondamentali per la costruzione sia dei modelli *BIM* sia di quelli *CAD*. Inoltre, la comparazione di dati grezzi di rilievi effettuati in differenti periodi temporali può evidenziare fenomeni difficilmente rappresentabili da modelli geometrici, come, ad esempio, la proliferazione della vegetazione infestante o azioni cicliche usuranti. I modelli *BIM* e *CAD*, invece, forniscono una descrizione dettagliata dell'opera in analisi, degli elementi costruttivi e tipologici, dei materiali impiegati e delle modifiche avvenute nel tempo⁷. Essi sono fondamentali per la costruzione dei piani di manutenzione e restauro. In particolare, i modelli *CAD* inclusi nel SID sono stati realizzati in *Rhinoceros* di *Robert McNeel & Associates*® (Figura 4) e ottenuti implementando algoritmi semi-automatici sviluppati *ad hoc*. Essi rappresentano l'opera con una discrepanza inferiore ai 30 mm rispetto all'architettura reale e descrivono la tessitura del paramento faccia a vista, individuando i singoli conci lapidei, la loro posizione e il loro stato. Tali modelli hanno lo scopo di fornire una base per le indagini sulla stabilità dell'opera, in quanto elaborati per lo sviluppo di simulazioni numeriche, e costituiscono le geometrie iniziali per la costruzione di modelli *BIM*.

In particolare, nel corso della ricerca, sono state effettuate investigazioni sullo sperone nord del baluardo di Valverde, gravemente dissestato, (Fig. 4 e 5), per il quale è stato sviluppato un modello *BIM* concio per concio, dunque *Grade of Generation 10 (GOG 10)*⁸, all'interno dell'ambiente *Revit* di *Autodesk*®. Sempre in *Revit*, sono state

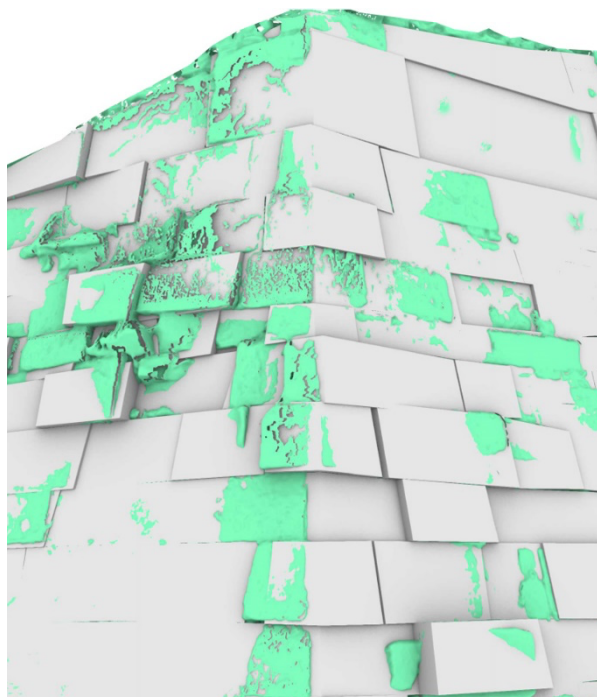


Fig. 4 Modello CAD dello sperone di Valverde e sovrapposizione con la *mesh* elaborata nel corso della campagna di rilievo a cura del Laboratorio SABE dell'Università di Bergamo, i cui risultati sono in corso di pubblicazione.

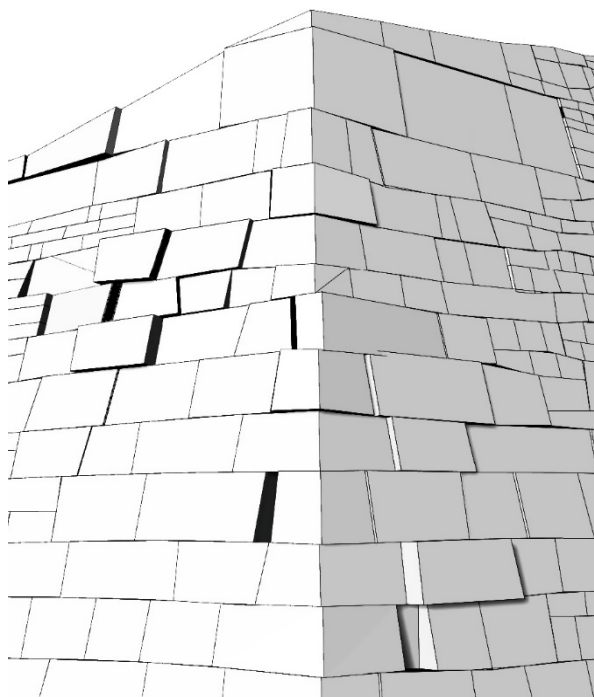


Fig. 5 Modello BIM dello sperone di Valverde (*GOG 10*).

implementate le geometrie di tutti elementi architettonici del baluardo, quali ad esempio gli speroni e il corpo delle mura. In accordo con quanto ampiamente approfondito in letteratura⁹, la questione di un'adeguata scelta del *Level Of Detail (LOD)* utile a supportare i processi decisionali futuri è stata oggetto di discussione. In particolare, tenendo conto dello scopo della ricerca, si è deciso di adottare un *Level Of Geometry 500 (LOG 500)*¹⁰ ovvero con un livello di dettaglio geometrico pari a quello *as-built*.

Conclusioni

L'organizzazione di una grande mole di dati di diversa natura è un aspetto fondamentale della gestione dei beni culturali architettonici, in cui l'utilizzo di strumenti in grado di associare informazioni relative a materiali e stato di conservazione al modello geometrico permette una programmazione efficiente delle operazioni di manutenzione ordinaria, facilitando la tutela del costruito storico.

In quest'ottica, l'elaborazione di un Sistema Informativo Digitale per il Piano di Conservazione della Fortezza Veneziana di Bergamo si configura come cantiere per l'elaborazione di un metodo di gestione dei beni culturali che non solo potrà essere applicato dall'amministrazione comunale al resto del suo patrimonio, ma potrà essere proposto come strumento di collaborazione nella gestione degli altri elementi del sito transnazionale UNESCO sulle Opere di difesa veneziane.

Ringraziamenti

Il Piano di Conservazione della Fortezza Veneziana di Bergamo è stato realizzato in collaborazione con l'amministrazione comunale di Bergamo con il contributo finanziario di Fondazione Cariplo, nell'ambito dei bandi n. 2037-2015 "Buone prassi di conservazione del patrimonio" e n. 3068-2019 "Beni al sicuro".

¹ ALBERTO FUMAGALLI, *Fortificazioni Venete a Bergamo*, in *Le Mura di Bergamo*, a cura di S. Angelini, Bergamo, Azienda Autonoma di Turismo, 1977

² GIULIO MIRABELLA ROBERTI, VIRNA MARIA NANNEI ET ALII, *Preserving the Venetian Fortress of Bergamo: quick photogrammetric survey for conservation planning*, «The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences», XLII-2/W11, 2019, pp. 873-879. <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLII-2-W11-873-2019>

³ STEFANO DELLA TORRE, *La conservazione programmata del patrimonio storico-architettonico. Linee guida per il piano di manutenzione e consultivo scientifico*, Milano, Guerini e Associati, 2003

⁴ CARLOTTA COCCOLI, GIAMPAOLO TRECCANI ET ALII, *GIS e conservazione programmata: un caso applicativo. Il piano di manutenzione della Parrocchiale di Vilminore di Scalve (BG)*, in «MondoGIS», XXXVII, 2003, pp. 22-25.

⁵ Decreto del Ministero delle infrastrutture e della mobilità sostenibile n. 312 del 2 agosto 2021

⁶ STELIOS VITALIS, KEN ARROYO OHORI E JANTIEN STOTER, *CityJSON in QGIS: Development of an open-source plugin*, «Transactions in GIS», XXIV(5), 2020, pp. 1147-1164. <https://doi.org/10.1111/tgis.12657>

⁷ MAURICE MURPHY, EUGENE MCGOVERN E SARA PAVIA, *Historic Building Information Modelling. Adding intelligence to laser and image based surveys of European classical architecture*, «ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing», LXXVI, 2013, pp. 89-102. <http://dx.doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2012.11.006>

⁸ FABRIZIO BANFI, *BIM orientation: Grades of generation and information for different type of analysis and management process*, «The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences», XLII-2/W5, 2017, pp. 57-64. <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLII-2-W5-57-2017>

⁹ RAFFAELLA BRUMANA, STEFANO DELLA TORRE ET ALII, *Generative HBIM modelling to embody complexity (LOD, LOG, LOA, LOI): surveying, preservation, site intervention – the Basilica di Collemaggio (L'Aquila)*, «Applied Geomatics», X, 2018, pp. 545-567. <https://doi.org/10.1007/s12518-018-0233-3>

¹⁰ Ivi