

H-BI(M)ON

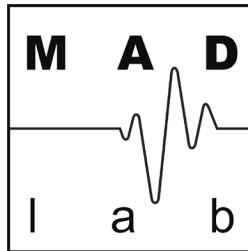
Heritage - Building Information Modelling/MONitoring

Dalla realtà al modello e ritorno



a cura di
Federica Ottoni e Nazarena Bruno

EDIZIONI
QUASAR



MADlab

Monitoraggio Analisi e Diagnosi del costruito

Direttore

Federica Ottoni
Università di Parma

Comitato scientifico

Gianni Bartoli
Università di Firenze

Carla Bartolomucci
Università dell'Aquila

Patrizia Bernardi
Università di Parma

Michele Betti
Università di Firenze

Carlo Blasi
Università di Parma

Oronzo Brunetti
Università di Napoli Federico II

Jean-François Cabestan
Université Paris 1 - Panthéon-Sorbonne

Rosario Ceravolo
Politecnico di Torino

Eva Coïsson
Università di Parma

Adalgisa Donatelli
Sapienza - Università di Roma

Daniele Ferretti
Università di Parma

Francesco Freddi
Università di Parma

Barbara Gherri
Università di Parma

Paolo Giandebiaggi
Università di Parma

Felice Giuliani
Università di Parma

Carlo Mambriani
Università di Parma

Maria Evelina Melley
Università di Parma

Elena Michelini
Università di Parma

Silvia Monchetti
Università di Firenze

Andrea Pane
Università di Napoli Federico II

Marco Pretelli
Alma Mater Studiorum - Università di Bologna

Mario Santana-Quintero
Carleton University

Andrea Segalini
Università di Parma

Emanuela Sorbo
Università IUAV Venezia

Andrea Spagnoli
Università di Parma

Cecilia Surace
Politecnico di Torino

Grazia Tucci
Università di Firenze

Chiara Vernizzi
Università di Parma

Andrea Zerbi
Università di Parma

Comitato di redazione

Sofia Celli
Politecnico di Milano

Lia Ferrari
Università di Parma

Sandra Mikolajewska
Università di Parma

Maria Parente
Università di Parma

Elena Zanazzi
Università di Parma



MADlab

Monitoraggio Analisi e Diagnosi del costruito

La collana raccoglie e diffonde i risultati di ricerche ottenuti attraverso metodi d'indagine empirico-sperimentali; metodi che, combinati a un corretto percorso di conoscenza e controllo degli edifici, garantiscono la conservazione del vasto patrimonio storico presente in Italia, in linea con la normativa per i beni culturali (DPCM 2011), allargandosi più in generale al costruito su scala architettonica.

L'approccio empirico-sperimentale per la conoscenza, il controllo e il consolidamento delle strutture storiche è basato sul contatto diretto e approfondito con la realtà fisica dell'oggetto di studio; esso, unito all'esperienza derivante dalla secolare osservazione di edifici storici simili per tecniche costruttive e manifestazioni di danno e dissesto e al moderno monitoraggio strutturale, permette di definire in modo esaustivo l'attuale livello di sicurezza del monumento e di individuare interventi di consolidamento adeguati. A fronte di un vastissimo e ricchissimo patrimonio storico-architettonico, quale è quello italiano, per lo più in precario stato di conservazione, recentemente è stata approvata la normativa sismica che chiarisce l'importanza di una "conservazione consapevole" che trova la sua massima espressione nei "limiti degli interventi di stabilità sui monumenti, in rapporto ai problemi di tutela".

H-BI(M)ON

Heritage - Building Information Modelling/MONitoring

Dalla realtà al modello e ritorno

a cura di

Federica Ottoni e Nazarena Bruno

Il presente volume raccoglie gli esiti delle Giornate di Studio "H-BI(M)ON - Heritage Building Information Modelling / Monitoring. Dalla realtà al modello, e ritorno", svoltesi il 30 e 31 gennaio 2025 presso l'Università di Parma e organizzate dal MADLab (DIA, UniPr), con il Patrocinio di SIRA, CIPA e UID, e con la partecipazione di ingenio e degli Ordini professionali degli Architetti e degli Ingegneri della Provincia di Parma.

Comitato Scientifico:

Marcello Balzani, Gianni Bartoli, Michele Betti, Nazarena Bruno, Donatella Fiorani, Federica Ottoni, Renata Picone, Fulvio Rinaudo, Riccardo Roncella, Grazia Tucci, Chiara Vernizzi

Comitato Organizzativo:

Federica Ottoni, Nazarena Bruno e Maria Parente (coordinamento)

Rafaela Borsato Belo, Massimo Cotti, Francesca De Cola, Virginia Droghetti, Lia Ferrari, Yuxin Lei, Luca Leoni, Sandra Mikolajewska, Elena Zanazzi

Progetto grafico/editor: Maria Parente

ISBN 978-88-5491-737-8

Roma 2026

Edizioni Quasar di S. Tognon srl
via Ajaccio 41-43, I-00198 Roma
www.edizioniquasar.it

INDICE

PREMESSA

- Federica Ottoni, Nazarena Bruno 13
Dalla realtà al modello, e ritorno.
Una introduzione (e una spiegazione)

INTRODUZIONE

- Fulvio Rinaudo 17
La documentazione del patrimonio culturale

SEZIONE I | QUESTIONI SEMANTICHE E OPEN BIM

- Nazarena Bruno 31
Dalla realtà al modello. Il disegno ragionato della complessità

CONTRIBUTI

- Donatella Fiorani, Silvia Cutarelli, Marta Acierno 37
Dalla modellazione BIM alla formalizzazione del CPM

Antonella di Luggo, Simona Scandurra, Emanuela Lanzara 55
Open BIM per la documentazione e la valorizzazione
del patrimonio culturale

Filippo Diara 75
HBIM *open source* e OpenAI: Revisioni e nuove analisi
sull'integrazione dei *Large Language Models* (LLMs)

SEZIONE II | GESTIONE DELLE INFORMAZIONI PER LA CONSERVAZIONE PROGRAMMATA

Chiara Vernizzi 97
Modellazione informata e conservazione programmata.
Nuovi approcci nella gestione integrata del progetto
di salvaguardia del costruito

CONTRIBUTI

Andrea Adami, Barbara Scala 103
L'Arco di Augusto ad Aosta. Dal progetto HBIM al cantiere

Andrea Adami, Luigi Fregonese, Olga Rosignoli, Daniele Treccani Modellazione e gestione integrata dei dati per la conservazione. Il modello HBIM federato e <i>multilayer</i> per il pavimento della Basilica del Santo Sepolcro	119
Federica Maietti Documentazione integrata e gestione informativa del patrimonio. Scenari di innovazione per un H-BIM adattivo	139
Francesco Fassi, Cristiana Achille Il Duomo di Milano: dal rilievo alla gestione innovativa dei dati e delle informazioni	159
Rita Vecchiattini, Margherita Valentini Sviluppo di un metodo per la stima e la valutazione dei fenomeni di degrado attraverso l'utilizzo dell'HBIM	179
Giovanni Bruschi, Francesco Coschino, Antonio Fornaciari Il modello informativo per la documentazione digitale delle attività di scavo archeologico. Applicazioni sul sito della Pieve di San Cassino in Galliciano	199

SEZIONE III | QUESTIONI STRUTTURALI E MONITORAGGIO

Federica Ottoni 223
L'elefante e la sua proboscide, o anche dei gemelli (diversi) digitali.
Sulla modellazione strutturale, l'astrazione e la 'somiglianza' alla realtà

CONTRIBUTI

Luca Sbrogiò, Maria Rosa Valluzzi 229
Un approccio HBIM basato su IFC per la valutazione della
vulnerabilità sismica degli edifici storici

Grazia Tucci, Lidia Fiorini, Alessandro Conti, Michele Betti,
Silvia Monchetti 247
Modellazione e gestione integrata dei dati per la conservazione

Giovanni Castellazzi, Antonio Maria D'Altri, Stefano de Miranda,
Francesco Ubertini 261
Dalla nuvola alla struttura:
modelli FE e BIM per la conservazione degli edifici storici

Maria Parente, Nazarena Bruno, Federica Ottoni 273
Della realtà e del suo doppio, attraverso il monitoraggio:
per un possibile 'gemello digitale' della cupola di Santa Maria del Fiore

Luigi Barazzetti, Mattia Previtali, Fabio Roncoroni 301
Visualizzazione ed elaborazione dei dati di monitoraggio strutturale
mediante *space-time cube*

Carlo Biagini 315
Approcci BIM-based per la gestione informativa dei ponti storici

Rosario Ceravolo, Valeria Cavanni, Stefania Coccimiglio, 335
Alessio Crocetti, Gaetano Miraglia
Modelli predittivi per il patrimonio architettonico.
Assimilazione dei dati di monitoraggio e *transfer learning*

CONCLUSIONI

Donatella Fiorani 359
Digitalizzazione e conoscenza per il restauro.
Per una rivoluzione nella continuità

L'ARCO DI AUGUSTO AD AOSTA Dal progetto HBIM al cantiere

Andrea Adami¹, Barbara Scala²

¹ Politecnico di Milano, Dipartimento di Architettura, Ingegneria delle Costruzioni e Ambiente Costruito

² Università degli Studi di Brescia, Dipartimento di Ingegneria Civile, Ambiente, Territorio, Architettura e Matematica

Introduzione

A partire dal 2021, la Soprintendenza per i beni e le attività culturali della Regione Autonoma Valle d'Aosta ha individuato come obiettivo strategico della propria attività di tutela il restauro dell'Arco onorario di Augusto, situato all'esterno della cinta muraria romana della città, monumento chiave per la comprensione della tecnologia costruttiva romana nella regione. L'intento era quello di realizzare l'intervento in occasione della ricorrenza dei 2050¹ anni dalla fondazione di Aosta, valorizzando contestualmente uno dei più significativi monumenti di età romana del territorio regionale.

In tale prospettiva, e con l'obiettivo di introdurre un approccio metodologicamente innovativo alla gestione dei beni architettonici, l'Ente di Tutela ha sperimentato l'applicazione del processo HBIM (*Historic Building Information Modelling*) quale strumento metodologico per la gestione integrata del progetto, dalla fase di analisi preliminare e di studio storico-materiale fino alla progettazione esecutiva e alla rendicontazione delle attività di cantiere. L'efficacia di questo approccio è anche connessa alla piena integrazione delle evidenze storiche e archivistiche, analizzate secondo criteri critici e comparativi attraverso fonti documentarie, storiografiche e resoconti di viaggio, al fine di ricostruire in maniera sistematica l'evoluzione funzionale e strutturale del monumento.

Come numerosi altri edifici di età romana, anche l'Arco, dopo la fase di massimo splendore legata alla vivace presenza della civiltà imperiale, ha conosciuto un progressivo processo di decadimento. Le attestazioni relative a tale fase di trasformazione sono documentate da fonti storiche conservate presso l'Archivio comunale e della Soprintendenza, nonché da testimonianze storiografiche e ristampe di resoconti di viaggio a partire dal XII secolo.

¹ PROMIS 1862; CORNI 2014.

Dalla lettura di tali documenti emerge come il monumento, progressivamente privato della sua originaria funzione commemorativa, sia passato in proprietà a una famiglia nobile locale, subendo successivamente una rifunzionalizzazione di carattere religioso, come attestato dalla presenza del crocifisso tuttora visibile, benché copia dell'originale. La struttura fu poi soggetta a un lento ma costante depauperamento, con particolare incidenza sulle parti di maggiore pregio, quali le insegne decorative applicate ai fronti e l'attico sommitale, quest'ultimo compromesso precocemente dall'azione alterante della vegetazione spontanea.

Soltanto a partire dal XVIII secolo il monumento tornò a destare un rinnovato interesse. Il primo intervento volto a contenere il degrado materiale consistette nella posa di una copertura in lastre di pietra, in analogia con le tipologie costruttive dell'architettura locale. Tale operazione, se da un lato contribuì a proteggere la struttura dagli agenti atmosferici, dall'altro alterò significativamente le proporzioni originarie del manufatto, conferendogli un aspetto più massiccio e tozzo rispetto all'impianto antico.

Fu soltanto nel corso del XIX secolo, con il rinnovato interesse da parte del Ministero della Pubblica Istruzione e grazie all'azione del delegato locale Alfredo d'Andrade², che ebbe inizio una fase di indagine sistematica e accurata sul monumento. Tale attività, inizialmente ostacolata dalla mancanza di fondi adeguati, venne ripresa alcuni anni più tardi sotto la direzione di Ernesto Schiaparelli³, il quale introdusse l'impiego del calcestruzzo armato, scelta che rifletteva l'interesse crescente per l'uso di materiali moderni nelle pratiche di consolidamento dei monumenti antichi⁴.

A partire da quest'ultimo intervento, risalente ormai a più di un secolo fa, non sono state eseguite ulteriori operazioni di restauro. Al contrario, il monumento è stato oggetto di numerose indagini conoscitive⁵, con particolare attenzione ai materiali costitutivi - *in primis* la puddinga⁶ - che hanno permesso di approfondirne le caratteristiche fisico-meccaniche e i processi di degrado. Le informazioni ottenute sono state integrate per produrre un quadro conoscitivo multidisciplinare, combinando dati storici, materiali e ambientali, con finalità predittive sui processi di degrado.

L'arco è stato inoltre monitorato per raccogliere dati ambientali (vento, pioggia, temperatura, polveri atmosferiche, ecc) utili alla definizione di strategie conservative più consapevoli e mirate, nell'attesa si eseguire il nuovo intervento, e validi anche per gli altri monumenti del territorio.

2 BAROCELLI 1975; GALLO 1999; IDONE 2007; PONZIANI 2008.

3 BOTTI 1941.

4 Il dato è stato verificato durante il cantiere: durante ispezioni con il metal detector sono stati rilevati ferri di armatura in più aree rifinite con intonaco. L'indagine è stata svolta con il tecnico di laboratorio della Soprintendenza Giorgio Avati (indagini eseguite durante il mese di agosto 2025). L'intonaco e anche la malta di profondità localizzata nelle zone individuate come di rifacimento sono cementizie come indicato dai risultati di laboratorio PalladioLab Srl con relazione Ns. Rif. 25CO0764 del 15/9/2025.

5 DI GREGORIO, UGAGLIA 2005.

6 BORGHI 2017.

La sperimentazione dell'approccio HBIM nel progetto di restauro

Il progetto di restauro dell'Arco d'Augusto ha pertanto costituito una occasione operativa per testare l'approccio HBIM nella progettazione di un intervento su un edificio storico. Il modello HBIM è stato concepito come piattaforma integrativa per la gestione dei dati storici, materiali, geometrici e conservativi, secondo principi di tracciabilità e riproducibilità scientifica⁷. È noto come, secondo la normativa italiana (art. 43, comma 1 del Codice dei contratti pubblici), dal 2025 tutti i progetti pubblici (sopra i due milioni di euro e, comunque, con particolari condizioni per i Beni Culturali) sono necessariamente affrontati con questo tipo di processo che, tenendo al centro il monumento, si pone come obiettivo quello di raccogliere le informazioni, favorire il coordinamento tra tutti i progettisti coinvolti e le imprese che eseguiranno i lavori, porre le basi per proseguire la cura del manufatto nel tempo da parte degli enti proprietari. Si tratta di una occasione di evoluzione nel modo di concepire e organizzare un progetto e la futura gestione del manufatto, attraverso un percorso che vuole ridurre le occasioni di perdita di risorse e tempi a discapito degli obiettivi, nel caso specifico, conservativi. Con una visione lungimirante, la Soprintendenza regionale nell'autunno del 2022 ha attivato una convenzione con l'Università degli Studi di Brescia affinché si iniziasse a valutare un possibile approccio innovativo su un primo caso studio che, nella programmazione dei lavori dell'ente, è stato identificato nell'Arco d'Augusto. La modellazione eseguita con il software Autodesk Revit è stata anche l'occasione per eseguire dei test di applicazione finalizzati a implementare e comprendere le potenzialità del programma in un caso architettonico abbastanza complesso considerando le rigidità tecniche del software⁸.

Contemporaneamente alla valutazione sulle modalità di elaborazione del modello, sono state raccolte nei vari settori della Soprintendenza regionale le informazioni disponibili sul manufatto sia di tipo storico che di tipo scientifico, coinvolgendo tutti gli uffici presenti sul territorio e anche fuori dalla Valle, che potessero avere dati sul monumento oggetto della ricerca (biblioteca, archivi comunale, regionale e fotografico, laboratorio analisi scientifiche, ecc.). Al termine di questa prima raccolta di informazioni, si è valutato di scegliere di modellare l'arco dando valore all'elemento costruttivo che più lo caratterizzava: il concio in pietra. Questo è stato considerato unità minima di analisi, a cui collegare dati georeferenziati e parametri quantitativi misurabili, per garantire la replicabilità dei rilievi e delle osservazioni.

⁷ SCALA, ADAMI 2022.

⁸ SCALA, ADAMI, APPOLONIA 2021.

La modellazione del concio è avvenuta acquisendo nel software una nuvola di punti, fornita a seguito della scansione eseguita con *laser scanner* nel 2021⁹, (Fig. 1) che è stata integrata con un rilievo fotogrammetrico realizzato mediante macchina fotografica a terra e su drone.

Le patologie riscontrate sono state classificate secondo criteri standardizzati di alterazione lapidea, con riferimento alla letteratura specialistica sul degrado dei materiali storici.

L'esecuzione di una nuova campagna di rilievo è stata finalizzata a consentire un confronto tra i dati acquisiti nel corso dell'ultimo decennio, al fine di evidenziare l'evoluzione temporale delle principali patologie del materiale lapideo - in particolare la formazione di patine biologiche, i fenomeni di erosione e i depositi superficiali - e di fornire un quadro aggiornato dello stato di conservazione complessivo del monumento, nonché della deriva e dell'intensificazione delle patologie già in atto. I dati acquisiti hanno altresì

⁹ DELPOZZO 2021.

Figura 1

Modello BIM dell'arco di Augusto e individuazione dei conci con forme identificabili come originarie. La comparazione tra la nuvola di punti e il modello in Revit mette in evidenza soprattutto le mancanze legate alla perdita di materiale.



Rilievo integrato:
topografia, Laser scanner,
Fotogrammetria da terra e da drone.

Modellazione HBIM concio per concio, per
ottenere un modello concettuale

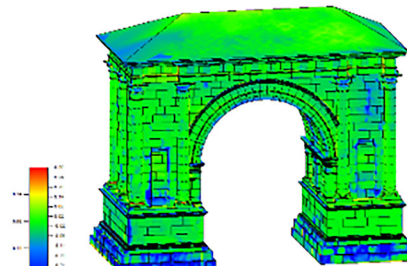
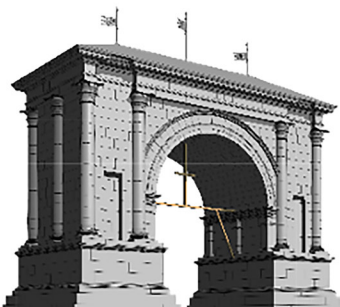
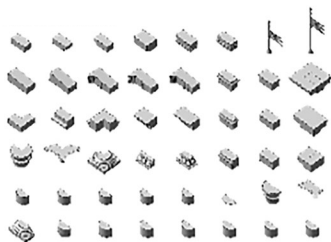
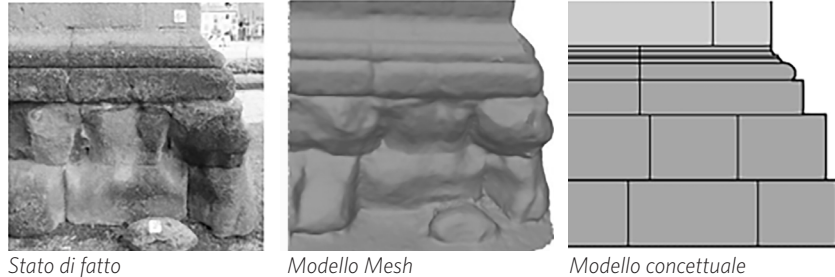


Figura 2

Dettaglio del basamento dell'arco con evidenza della situazione reale (foto a sinistra), della mesh (al centro) e del modello parametrico (a destra).



permesso di avviare una modellazione predittiva del degrado, finalizzata a individuare le aree più vulnerabili e a stimare l'andamento futuro dei processi di alterazione, fornendo così uno strumento di supporto alla pianificazione di interventi conservativi mirati.

Sulla base delle potenzialità offerte dal software e delle informazioni dettagliate acquisite durante la campagna di rilievo, si è deciso di creare dei conci ideali che riproducessero la forma originaria utilizzata nella costruzione dell'arco, privi delle erosioni, delle mancanze e delle altre problematiche conservative rilevate.

Con questa visione le mancanze sono state identificate tramite la differenza del concio originale e quello nello stato conservativo attuale (Fig. 2). Sono stati realizzati diversi conci 'tipo', successivamente assemblati l'uno sull'altro secondo un approccio modulare, come se fossero dei 'pezzi Lego', ricostruendo virtualmente l'intera struttura dell'arco. Tra i conci speciali figurano quelli rappresentanti capitelli, cornici, angolari, paraste semicircolari e le bandiere sommitali del tetto, ciascuno dei quali è stato modellato con attenzione alle specificità morfologiche e costruttive originali. Nella modellazione di ciascun elemento unitario, oltre alle informazioni geometriche, sono state integrate le caratteristiche del materiale costitutivo - la puddinga - e tutti i dati disponibili fino a quel momento, comprese le mappature bidimensionali eseguite nelle due soglie storiche del 2006 e del 2018, nonché le informazioni scientifiche relative allo stato di conservazione, garantendo così un legame diretto tra forma, materiale e patologia rilevata.

Il modello tridimensionale è stato progressivamente arricchito con i dati derivanti dai rilievi condotti dai progettisti dell'intervento di restauro, comprendenti mesh fotogrammetriche ad alta risoluzione, opportunamente codificate cromaticamente in funzione della tipologia e dell'entità delle alterazioni osservate.

Per la mappatura direttamente sulle *mesh* è stato utilizzato il *software* Procreate (Fig. 3), strumento indicato dai progettisti come da loro abitualmente utilizzato nell'ambito del rilievo delle superfici ma soprattutto conosciuto tra i restauratori (aspetto costituente un valore aggiunto), che ha permesso di combinare precisione operativa e immediatezza di registrazione. L'operazione è stata eseguita direttamente dai progettisti su iPad, mentre si trovavano sulla piattaforma elevatrice appositamente noleggiata per il rilievo. Questa modalità di lavoro ha consentito loro di avvicinarsi alle superfici del monumento, osservando e documentando con estrema accuratezza i dettagli delle alterazioni e dei fenomeni di degrado in tempo reale.

L'uso di parametri istanza e codici tipologici introdotti nella classificazione del degrado punta ad uniformare le informazioni, nell'idea di testare possibili protocolli di gestione digitale, comunque, conformi agli standard per la documentazione dei beni culturali. Tra i rilievi sono stati inclusi anche elementi documentanti interventi precedenti, quali stuccature storiche, elementi metallici come chiodi di diverse dimensioni e forme, incisioni e buche puntaie. La registrazione di questi dati non solo preserva la memoria operativa del monumento, ma permette di integrarla con la nuova documentazione, creando un archivio stratificato delle azioni di conservazione compiute nel tempo. Tale attenzione alla storicità degli interventi costituisce un supporto prezioso per la pianificazione delle operazioni, facilitando la comprensione delle tecniche adottate in passato e delle loro conseguenze sullo stato di conservazione.

L'approccio adottato ha comportato la produzione di *file* digitali (Fig. 4), sostituendo le tradizionali tavole cartacee e rappresentando così un significativo valore aggiunto in termini di efficienza e qualità della documentazione, oltre che di sostenibilità e interoperabilità. La possibilità di operare direttamente sul campo ha ridotto al minimo le approssimazioni nella valutazione delle estensioni delle superfici degradate, migliorando la precisione delle osservazioni e permettendo una registrazione puntuale delle caratteristiche delle problematiche conservative degli elementi architettonici. Ciò è stato particolarmente rilevante in corrispondenza di elementi complessi come cornici e soprattutto capitelli, nonché sporgenze o superfici non proiettabili verticalmente, dove le metodologie tradizionali spesso richiedono stime approssimative o calcoli percentuali indicativi. I dati raccolti sono stati successivamente integrati nel modello digitale e rielaborati attraverso software complementari, volti ad armonizzare i diversi *dataset* e a garantire coerenza sia geometrica sia informativa. La

Figura 3

Mappatura del degrado sulla mesh caricata in Procreate.



La rappresentazione tridimensionale ottenuta ha consentito, non solo di visualizzare fedelmente lo sviluppo reale delle superfici del monumento, ma anche di computare con precisione le aree oggetto di intervento, fornendo un supporto analitico preciso per la valutazione economica degli interventi di restauro. In questa fase, la modellazione basata sulle mesh reali ha costituito un elemento di affidabilità e contestabilità minima: nel programma di calcolo

Identificazione in situ dei degradi

Annotazione grafica on site tramite modello mesh semplificato visualizzato su Ipad

Preparazione mesh per ogni singolo degrado e per ogni facciata

In «Meshlab» ritaglio singola mappatura, calcolo superficie e esportazione obj del singolo degrado

Graficizzazione degradi in Revit

«Revit» importazione obj e costruzione di «elementi volumetrici da superficie»

Definizione parametri tipo di degrado, area,

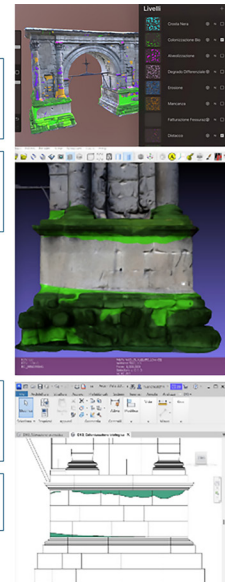


Figura 4

Passaggio dalla mappatura nel modello di Procreate al modello Revit.

successivamente utilizzato per la valutazione delle superfici, si è proceduto alla selezione del colore utilizzato nella mappatura sul campo ricavando l'area per il computo, rendendo il processo trasparente e verificabile. Per il calcolo delle superfici, Fusion 360, testato nelle prime fasi della sperimentazione, si è rivelato uno strumento particolarmente efficace, consentendo di determinare con precisione l'area di singole facce o di gruppi di facce. Questo livello di accuratezza ha permesso di computare con rigore le superfici effettivamente interessate dai degradi e conseguentemente dagli interventi, garantendo trasparenza e verificabilità del computo metrico. Successivamente, MeshLab è stato utilizzato come strumento complementare, più semplice e dinamico, adatto per il controllo rapido delle mesh e la verifica visiva delle superfici. MeshLab ha confermato in fase di contabilità finale quanto previsto dal computo iniziale. L'impiego combinato dei due *software* ha dunque permesso di conciliare precisione analitica e flessibilità operativa. In questo modo, il *workflow* integrato ha assicurato una gestione efficace delle superfici irregolari e complesse, minimizzando le approssimazioni e aumentando l'affidabilità della documentazione digitale.

All'interno del modello digitale, ciascuna entità di degrado è stata associata a un differente 'tipo', permettendo di attribuire uniformemente una stessa serie di parametri a tutti gli elementi che presentano problematiche analoghe. Quando si è reso necessario adattare le informazioni di un parametro in funzione della posizione specifica dell'alterazione sulla superficie dell'arco, si è fatto ricorso ai cosiddetti 'parametri istanza', il cui contenuto può essere personalizzato per ciascun elemento, garantendo così flessibilità e dettaglio nella gestione dei dati.

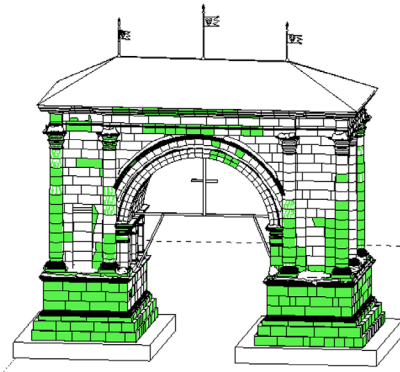
Grazie a questa struttura parametrica, è stato possibile osservare come le alterazioni rilevate corrispondano strettamente alle operazioni di intervento previste. La piattaforma digitale ha consentito di operare secondo due modalità complementari: una corrispondenza 'biunivoca', in cui ogni alterazione è associata a una specifica azione conservativa, e una corrispondenza 'molti a uno', in cui più alterazioni simili vengono trattate con la medesima metodologia.

Nel caso in esame, le situazioni rilevate comprendevano sia alterazioni di singola tipologia, risolvibili con interventi specifici, sia gruppi di alterazioni trattabili con procedure uniformi (si pensi all'intervento di pulitura diffuso su ogni tipologia di degrado). Dal modello tridimensionale sono state poi estratte le tradizionali tavole bidimensionali, ancora necessarie per la consegna del progetto e per la comunicazione tecnica in cantiere (Fig. 5).

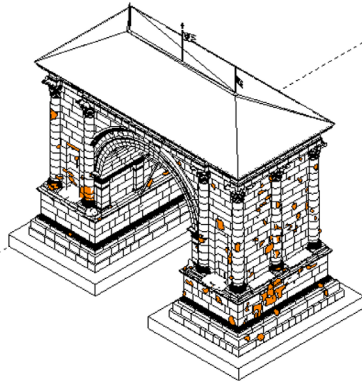
Figura 5

A destra, rilievo del degrado e progetto di conservazione delle superfici: elaborati grafici. In alto, visualizzazione delle singole tipologie di degrado in HBIM. In basso, predisposizione in Revit delle tavole bidimensionali.

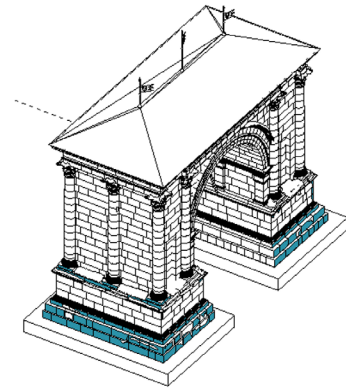
L'Arco di Augusto ad Aosta. Dal progetto HBIM al cantiere



Disgregazione



Distacco lieve



Aree bagnate in caso di pioggia

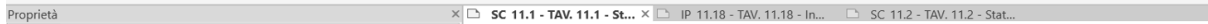
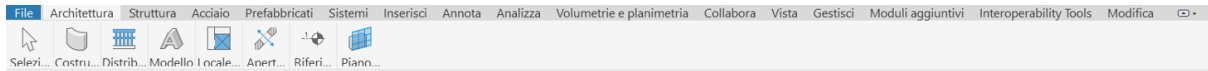


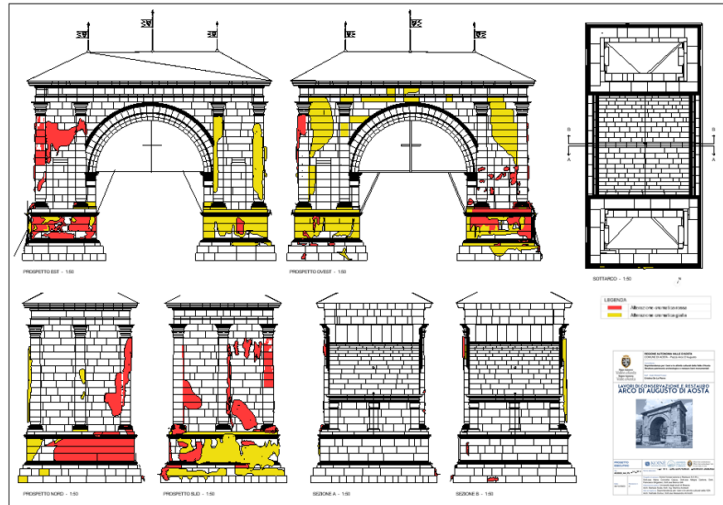
Tavola: TAV. 11.1 - Stato conservativo - Alterazione cromatica

Grafica Sostituzioni visibilità/grafica Modifica...

Scala 1:50

Browser di progetto - Arco 3.rvt

- Q Cerca
- + D_SC_11.1 - TAV. 11.1 - Stato conservativo - Alterazione cromatica
- + JP_11.18 - TAV. 11.18 - Interventi precedenti - Armatura
- + JP_11.19 - TAV. 11.19 - Interventi precedenti - Rifacimenti
- + JP_11.20 - TAV. 11.20 - Interventi precedenti - Stuccature
- + JP_11.21 - TAV. 11.21 - Interventi precedenti - Elementi metallici
- + JP_11.22 - TAV. 11.22 - Interventi precedenti - Incisioni
- + JP_11.23 - TAV. 11.23 - Interventi precedenti - Pittura
- + JP_11.24 - TAV. 11.24 - Interventi precedenti - Tasselli
- + JP_11.25 - TAV. 11.25 - Interventi precedenti - Tasselli di pulitura
- + JPR_11.26 - TAV. 11.26 - Interventi previsti - B.1a/b - Disinfezione e disinfezta
- + JPR_11.27 - TAV. 11.27 - Interventi previsti - B.2 - Rimozione di depositi super
- + JPR_11.28 - TAV. 11.28 - Interventi previsti - B.3 - Rimozione di elementi meta
- + JPR_11.29 - TAV. 11.29 - Interventi previsti - B.4 - Sigillatura temporanea
- + JPR_11.30 - TAV. 11.30 - Interventi previsti - B.5 - Ristabilimento della coesio
- + JPR_11.31 - TAV. 11.31 - Interventi previsti - B.6a/b - Pulitura di croste nere
- + JPR_11.32 - TAV. 11.32 - Interventi previsti - B.7 - Trattamento per l'arresto del
- + JPR_11.33 - TAV. 11.33 - Interventi previsti - B.8 - Estrazione dei sali solubili
- + JPR_11.34 - TAV. 11.34 - Interventi previsti - B.9a/b/c - Rimozione di stuccatur
- + JPR_11.35 - TAV. 11.35 - Interventi previsti - B.10a/b/c - Stuccatura di fessure,
- + JPR_11.36 - TAV. 11.36 - Interventi previsti - B.10d - Microstuccatura
- + JPR_11.37 - TAV. 11.37 - Interventi previsti - B.11 e B.12a/c/d/e/f/g/h - Scavo c
- + JPR_11.38 - TAV. 11.38 - Interventi previsti - B.12i - Stuccatura di mancanze



LEGENDA

- Interventi in corso
- Interventi in progetto



Nonostante in sede di gara fosse stato fatto esplicito riferimento alla gestione del cantiere in BIM, l'esperienza ha evidenziato come un utilizzo consapevole e pienamente operativo del software, soprattutto nei settori più specificamente legati al restauro delle superfici (OS2), risulti ancora distante dalla prassi consolidata. Ciò ha implicato la necessità di un periodo di adeguamento per tutti gli operatori coinvolti, al fine di garantire che le informazioni digitali potessero essere raccolte in modo completo e integrato lungo l'intero ciclo progettuale, dalla fase preliminare fino alla gestione delle operazioni in cantiere.

Workflow digitale e gestione parametrica degli interventi di restauro

All'avvio del cantiere sono emerse immediatamente alcune complicanze non prevedibili in fase di rilievo. Nonostante l'accuratezza della documentazione preliminare, i depositi superficiali, particolarmente tenaci e coprenti, hanno celato informazioni importanti, non rintracciabili nelle fonti d'archivio. Le verifiche dirette hanno infatti evidenziato che, durante i restauri eseguiti nei primi anni del Novecento, alcuni conci e cornici originariamente in pietra erano stati rimossi e sostituiti con murature in ciottoli, successivamente rivestite da uno spesso strato di intonaco cementizio inciso per simulare un paramento a conci, generando un effetto di finta muratura. Le osservazioni condotte a pulitura ultimata sui capitelli, hanno inoltre confermato che tali elementi erano realizzati similmente al cemento decorativo con anima interna in ferro, modellati per riprodurre l'aspetto delle forme originarie (Figg. 6-7).

Queste scoperte hanno reso necessario una riflessione in merito al modello geometrico, ovvero se aggiornarlo introducendo una nuova 'fase' di progetto nel sistema Revit, distinta da quella del rilievo e del restauro ipotizzato. Al momento si sta proseguendo nella gestione del modello originario, non essendo ancora concluso il cantiere, ma si prevede un successivo aggiornamento secondo le modalità sopra descritte, con l'obiettivo di integrare le nuove informazioni rilevate e definire una 'fase' dedicata alla documentazione dello stato post-intervento¹⁰.

Al fine di agevolare l'impresa esecutrice, è stato istituito un flusso di lavoro collaborativo con l'Università, che procede con l'implementazione progressiva della mappatura delle lavorazioni nel modello digitale originario. Le mappature sono fornite dalla ditta appaltante che dopo una breve formazione, prosegue nella loro elaborazione con lo stesso *software* impiegato in fase di progettazione (Procreate). La gestione delle informazioni in cantiere

**Figura 6**

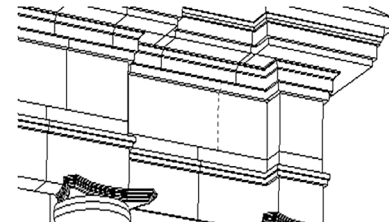
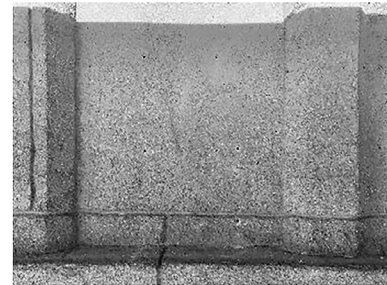
Ritrovamento dei ferri di armatura durante le ispezioni con metaldetector: il nuovo dato relativo alla presenza di cemento armato ha imposto una riflessione metodologica in merito al modello che porta alla creazione di fasi operative.

è supportata da un giornale digitale, sviluppato su piattaforma Microsoft Access, che consente di garantire la tracciabilità puntuale delle operazioni grazie alla numerazione univoca dei conci, elemento chiave per associare ogni intervento ad essi. Tale approccio consente di registrare quotidianamente tutte le lavorazioni eseguite, aggiornando in maniera coerente il modello Revit con i parametri di progetto corrispondenti a ciascun conco. Il flusso di lavoro digitale consente di registrare dati quantitativi e qualitativi sulle lavorazioni, rendendo possibile, in futuro, analisi statistiche e valutazioni metodologiche sull'efficacia degli interventi.

L'organizzazione delle operazioni in cantiere è stata strutturata in maniera tale da favorire un avanzamento dall'alto verso il basso, completando ad ogni livello tutto il perimetro (solo la sabbiatura è stata eseguita dall'alto verso il basso su più livelli in un unico prospetto prima di ricominciare dall'alto nel fronte successivo) consentendo di collegare ogni operazione alla data di esecuzione e all'operatore responsabile.

In questo modo, ciascun operatore, impiegato nelle attività di maggiore competenza, ripete sistematicamente le stesse operazioni sui conci successivi, favorendo uniformità esecutiva e continuità metodologica. Il giornale di cantiere è strutturato in moduli tematici, ognuno dei quali raccoglie informazioni dettagliate e codificate attraverso parametri di progetto definiti

I conci restaurati alla fine del XIX secolo risultano, ad un'attenta analisi da vicino, solo incisi a simulare i conci nella loro configurazione pre-intervento. Materiale da confermare (malta di calce armata).

**Figura 7**

Dettaglio del finto bugnato della cornice sommitale.

in diversi formati (booleani, testuali, immagini, elenchi precompilati, URL). In particolare, i moduli comprendono:

- Lavorazione: data, descrizione, operatori coinvolti, durata e dispositivi di protezione individuale. Ogni attività è correlata a codici identificativi univoci, consentendo la tracciabilità analitica delle operazioni e l'analisi quantitativa dei tempi e delle risorse impiegate.
- Condizioni climatiche: temperatura minima e massima, precipitazioni, vento e fenomeni meteorologici significativi. I dati climatici vengono utilizzati per correlare le condizioni ambientali con l'evoluzione dei processi di degrado, fornendo basi empiriche per studi predittivi.
- Materiali utilizzati: materiale previsto, eventuali varianti, schede tecniche e di sicurezza, lotto di produzione, quantità impiegata, modalità di applicazione, conservazione, stoccaggio e campionatura.
- Strumenti utilizzati: tipologia, marca, modello, note operative e indicazioni sulla manutenzione.
- Fotografie in corso d'opera: immagini generali e di dettaglio, commenti e sequenze temporali documentative. Le immagini sono georeferenziate e integrate nel modello HBIM, consentendo confronti cronologici e studi sul degrado visivo dei materiali.
- Individuazione grafica: schizzi, sovrapposizioni digitali e schemi di localizzazione delle lavorazioni sui conci. Tale documentazione favorisce l'analisi spaziale delle alterazioni e la pianificazione mirata degli interventi.
- Report periodici di controllo: integrazione con le osservazioni di impresa, Direttore dei Lavori e Direttore Artistico, stato di avanzamento dei lavori, verifica di materiali e tecniche applicate, eventuali difformità riscontrate.
- Report di controllo della qualità: descrizione delle lavorazioni verificate, confronto con il progetto iniziale, analisi della corretta applicazione dei materiali, valutazione tecnica delle superfici trattate, controllo dello stato di consolidamento, puliture o integrazioni, test non distruttivi, annotazioni su eventuali problematiche e azioni correttive.
- Campionature: descrizione dettagliata dei campioni prelevati, documentazione fotografica prima, durante e dopo il prelievo, analisi preliminari visive e tecniche, modalità di raccolta, condizioni di conservazione e trasporto, risultati di analisi chimiche, fisiche e stratigrafiche, conclusioni sull'applicabilità dei materiali o delle tecniche.
- Documentazione tecnica costruttiva storica: analisi delle aree individuate, fotografie, descrizione delle tecniche costruttive e degli strumenti impiegati in passato.

I dati raccolti dal giornale si correlano alla numerazione dei conci così che il modello HBIM aggiornato in tempo reale funge da archivio stratificato, integrando rilievi, interventi, materiali, condizioni ambientali e dati di monitoraggio puntualmente.

La combinazione tra *workflow* digitale, rilevamento *in situ*, analisi materiali e gestione parametrica costituisce un modello replicabile per interventi analoghi su altri beni storici, offrendo un contributo metodologico significativo alla disciplina del restauro architettonico.

Conclusioni

La registrazione sistematica degli interventi storici e dei materiali impiegati rappresenta non soltanto un archivio della memoria operativa del monumento, ma un dispositivo conoscitivo a tutti gli effetti. Essa consente di integrare, in un sistema coerente, i dati storici, materici e ambientali, restituendo una visione stratificata dell'evoluzione strutturale, funzionale e conservativa dell'Arco di Augusto. Tale documentazione, interpretata come 'test operativo', permette di verificare in situ l'efficacia delle tecniche conservative adottate in passato, di identificare processi di degrado ancora in atto e di calibrare futuri protocolli di intervento sulla base di evidenze empiriche e comparabili. L'Arco diviene così un laboratorio sperimentale, nel quale l'osservazione diretta e la documentazione sistematica generano conoscenza applicata e aggiornamento metodologico continuo.

Per gli uffici della Soprintendenza¹¹, la possibilità di disporre di un caso operativo di tale complessità comporta molteplici ricadute positive. L'esperienza consente di testare in contesto reale strumenti di monitoraggio, procedure di analisi, tecniche di rilievo e modelli di gestione integrata dei dati. Essa favorisce un processo decisionale fondato su informazioni oggettive e verificabili, rafforzando la capacità di programmare gli interventi, stabilire priorità, e definire strategie conservative specifiche ma trasferibili a contesti analoghi. In prospettiva, la costruzione di un archivio strutturato dei dati, continuamente aggiornabile, permette di consolidare un sistema di conoscenza istituzionale e incrementale, a supporto delle politiche di tutela e della gestione programmata del patrimonio.

La condivisione sistematica delle informazioni con i restauratori operanti in cantiere ha generato un importante valore aggiunto in termini di comunicazione tecnico-scientifica. La creazione di un linguaggio comune tra le diverse competenze ha consentito di migliorare la coerenza tra le intenzioni

progettuali e le modalità esecutive, garantendo l'allineamento tra la strategia conservativa e la realtà materica del monumento.

Tale interazione diretta tra fase conoscitiva e operatività costituisce uno degli elementi più innovativi del processo, in quanto consente la validazione empirica delle ipotesi di progetto e la revisione dei protocolli d'intervento in corso d'opera.

Dal punto di vista accademico e formativo, la presenza di un test operativo di questo tipo rappresenta un'opportunità di straordinario rilievo. Essa consente alle università di disporre di un contesto reale per la sperimentazione di metodi e strumenti digitali, per l'osservazione diretta delle pratiche conservative e per l'elaborazione di modelli interpretativi basati sull'esperienza concreta. L'integrazione tra attività di ricerca, formazione e sperimentazione in situ contribuisce a costruire una cultura del restauro fondata sull'interazione tra teoria e prassi, favorendo la formazione di competenze tecniche e critiche di alto livello.

Dal punto di vista normativo e gestionale, casi come quello dell'Arco di Augusto assumono valore paradigmatico. Essi offrono un riferimento metodologico utile alla definizione di linee guida e protocolli tecnici, contribuendo al perfezionamento della normativa di settore attraverso l'evidenza empirica e la riproducibilità delle procedure. L'applicazione di strumenti digitali come l'HBIM, in un contesto di ricerca operativa e di cantiere, permette di tradurre la conoscenza scientifica in parametri normativi più precisi, aggiornabili e basati su dati misurabili, favorendo l'armonizzazione tra prassi conservativa e quadro legislativo.

In questa prospettiva, la convergenza tra documentazione sistematica, sperimentazione diretta, collaborazione interdisciplinare e riflessione normativa trasforma il monumento in un dispositivo di ricerca e governance del patrimonio culturale. L'Arco di Augusto diviene, così, non solo oggetto di tutela, ma piattaforma sperimentale per l'evoluzione disciplinare, in cui la conoscenza storica, l'analisi scientifica, la pratica di cantiere e la regolamentazione si integrano per costruire strategie di conservazione sostenibili, verificabili e replicabili nel tempo. Tale approccio valorizza simultaneamente il bene, le competenze professionali coinvolte, il sistema formativo e la capacità regolatoria, configurando un modello virtuoso di gestione della conoscenza nel restauro architettonico contemporaneo.

Riferimenti bibliografici

BAROCELLI 1975: P. Barocelli, *L'arco di Augusto ad Aosta: I restauri del 1912-1913*, in «Rivista di Studi Liguri», XLI-XLII, 1975-1976, p. 283.

BORGHI 2017: Borghi, *Le Pietre ornamentali storiche e contemporanee della Città di Aosta*, in «Geologia dell'Ambiente», Periodico trimestrale della SIGEA Società Italiana di Geologia Ambientale, Supplemento al n. 2/2017, pp.34-40. Consultabile in: www.sigeaweb.it/documenti/gda-supplemento-2-2017.pdf (ultimo accesso 21/09/2025).

BOTTI 1941: G. Botti, *Ernesto Schiapparelli, Ricordando il maestro nel tredicesimo-anno dalla sua morte*, in «Illustrazione Biellese», XI, 2, febbraio 1941, pp. 9-23. Consultabile in: www.polobibliotecario.biella.it/sebinaBO/repository/catalogazione/immagini/PDF/1941%20feb-2.pdf (ultimo accesso 21/09/2025).

CORNI 2014: F. Corni, *Aosta Romana. Aoste, ville romaine*, Ink Line, Strambino, 2014.

DELPOZZO 2021: D. Delpozzo, *HBIM for the preservation project of Augusto's Arch in Aosta. HBIM per il progetto di conservazione dell'Arco di Augusto ad Aosta*, tesi di laurea magistrale, Politecnico di Milano, 2020-2021.

DI GREGORIO, UGAGLIA 2005: A. Di Gregorio, P. Ugaglia, *L'Arco di Augusto ad Aosta*, Tesi di Laurea Specialistica del Corso di Laurea Specialistica in Architettura per il restauro e la Valorizzazione dei Beni Architettonici e Ambientali - Facoltà di Architettura II del Politecnico di Torino - a.a. 2004/2005.

GALLO 1999: L. Gallo, *L'Arco di Augusto di Aosta*, Tesi di Specializzazione della Scuola di Specializzazione in Storia, Valutazione e Analisi dei Beni Architettonici e Ambientali - Facoltà di Architettura del Politecnico di Torino - a.a. 1998/1999.

IDONE 2007: A. Idone, *L'Arco di Augusto in Aosta: un esempio di percorso programmato tra progettazione e diagnostica*, Tesi di laurea triennale, Università degli studi di Torino, Facoltà di scienze matematiche fisiche e naturali, corso di laurea in scienza e tecnologia per i beni culturali, a. a. 2006/2007.

PONZIANI 2008: D. Ponziani, *L'Arco di Augusto in Aosta: Un esempio di monitoraggio microclimatico finalizzato alla conservazione*, Tesi master presso l'Università degli Studi di Pisa, Facoltà di Chimica e Chimica Industriale,

Master in “Materiali e Tecniche Diagnostiche nel Settore dei Beni Culturali”, a.a. 2007/2008.

PROMIS 1862: C. Promis, *Le antichità di Aosta Augusta Prætorum Salassorum*, Stamperia Reale, Torino, 1862, consultabile in: play.google.com/books/reader?id=XthSAAAACAAJ&pg=GBS.PP4&hl=it (ultimo accesso 21/09/2025).

SCALA 2023: B. Scala, *Gli Enti di tutela nel passaggio della gestione dei beni con il digitale per una maggiore qualità*, in S. Della Torre, V. Russo (a cura di), *Restauro dell'architettura. Per un progetto di qualità*, Sezione 7: Metodologie digitali per la gestione degli interventi, Quasar, Roma, 2023, pp. 1284-1290.

SCALA et al. 2025: B. Scala, M. C. Capua, N. Dufour, A. Armirotti, L. Appolonia, A. Mazziotta, G. Regoli, *La conservazione dell'Arco di Augusto di Aosta: restauro, documentazione BIM e riscoperta storica di un unicum lapideo*, in XXIII Congresso Nazionale IGIIIC – Lo Stato dell'Arte, 9-10-11 ottobre 2025, MegaMuseo, Area Megalitica, Aosta, 2025, pp. 105-112.

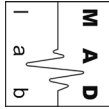
SCALA, ADAMI 2022: B. Scala, A. Adami, *Modelli federati per la gestione BIM del progetto di conservazione*, in G. Driussi (a cura di), *La qualità dell'intervento sui beni culturali. Attualità, problemi e prospettive*, Atti del XXXVI Convegno di Studi “Scienza e Beni Culturali”, Bressanone, 5-7 luglio 2022, Arcadia edizioni ricerche, Marghera, Venezia, 2022, pp. 327-336.

SCALA, ADAMI, APOLLONIA 2021: B. Scala, A. Adami, L. Appolonia, *The Arch of Augustus in Aosta: data and analysis reuse for a conservation project*, in Proceedings of the joint international event 9th ARQUEOLÓGICA 2.0 & 3rd GEORES, Valencia (Spain). 26-28 April 2021, pp. 522-525.

H-BI(M)ON

Heritage - Building Information Modelling/MONitoring

Dalla realtà al modello e ritorno



MADLab



**UNIVERSITÀ
DI PARMA**

Il volume, a carattere collettaneo, riporta gli esiti delle Giornate di studio H-BI(M)ON, organizzate a Parma nel gennaio 2025, che hanno visto i tanti studiosi coinvolti confrontarsi sul difficile tema della modellazione degli edifici storici, mirata alla loro conoscenza, documentazione e interpretazione. Unendo i linguaggi.

Il volume raccoglie i contributi di:

Cristiana Achille, Marta Acierno, Andrea Adami, Luigi Barazzetti, Michele Betti, Carlo Biagini, Nazarena Bruno, Giovanni Bruschi, Giovanni Castellazzi, Valeria Cavanni, Rosario Ceravolo, Stefania Coccimiglio, Alessandro Conti, Francesco Coschino, Alessio Crocetti, Silvia Cutarelli, Antonio Maria D'Altri, Stefano de Miranda, Filippo Diara, Antonella di Luggo, Francesco Fassi, Donatella Fiorani, Lidia Fiorini, Antonio Fornaciari, Luigi Fregonese, Emanuela Lanzara, Federica Maietti, Gaetano Miraglia, Silvia Monchetti, Federica Ottoni, Maria Parente, Mattia Previtali, Fulvio Rinaudo, Fabio Roncoroni, Olga Rosignoli, Luca Sbrogiò, Barbara Scala, Simona Scandurra, Daniele Treccani, Grazia Tucci, Francesco Ubertini, Margherita Valentini, Maria Rosa Valluzzi, Rita Vecchiattini, Chiara Vernizzi.

Federica Ottoni, Professore Associato di Restauro (Università di Parma), Responsabile Scientifico MADLab (DIA). Il suo principale interesse di ricerca è lo studio dei dissesti degli edifici storici, in relazione ai principi dimensionali, e il monitoraggio statico strutturale.

Nazarena Bruno, Ricercatrice in Tenure Track (RTT) in Geomatica (Università di Parma), membro del MADLab (DIA). Tra le principali tematiche di ricerca figurano l'Historic Building Information Modelling (HBIM), con particolare attenzione alla gestione informativa, e le tecniche avanzate di rilievo applicate al patrimonio culturale.

38,00 euro

ISBN 978-88-5491-737-8