

POLITECNICO DI TORINO  
Repository ISTITUZIONALE

Manutenzione programmata per il patrimonio architettonico storico. Esperienze in corso (dal rilievo 3D ai programmi di intervento).

*Original*

Manutenzione programmata per il patrimonio architettonico storico. Esperienze in corso (dal rilievo 3D ai programmi di intervento) / Zerbinatti, Marco; Lingua, Andrea Maria; Matrone, Francesca. - ELETTRONICO. - (2019), pp. 28-37. ( Colloqui.AT.e 2019. Ingegno e costruzione nell'epoca della complessità. Torino 25-27 settembre 2019).

*Availability:*

This version is available at: 11583/2816352 since: 2020-04-24T23:27:26Z

*Publisher:*

Politecnico di Torino

*Published*

DOI:

*Terms of use:*

This article is made available under terms and conditions as specified in the corresponding bibliographic description in the repository

*Publisher copyright*

(Article begins on next page)



# Colloqui.AT.e 2019

**Ingegno e costruzione nell'epoca della complessità**  
Forma urbana e individualità architettonica

## Atti del Congresso

Torino, 25-28 settembre 2019

*a cura di Emilia Garda, Caterina Mele, Paolo Piantanida*



**POLITECNICO  
DI TORINO**

Dipartimento di Ingegneria  
Strutturale, Edile e Geotecnica

**artec** Associazione Scientifica  
per la Promozione dei Rapporti  
tra Architettura e Tecniche dell'Edilizia

Edizioni Politecnico di Torino

Colloqui.AT.e 2019

**Ingegno e costruzione  
nell'epoca della complessità**

atti del congresso  
Torino, 25-27 settembre 2019

a cura di  
Emilia Garda, Caterina Mele, Paolo Piantanida

edizioni Politecnico di Torino

Colloqui.AT.e 2019

## Ingegno e costruzione nell'epoca della complessità

atti del congresso

Torino, 25-27 settembre 2019

a cura di

Emilia Garda, Caterina Mele, Paolo Piantanida

© Politecnico di Torino

ISBN: 978-88-85745-31-5

coordinamento editoriale: Cristiana Chiorino

progetto grafico: Giuliana Di Mari e Antonio Vottari

È vietata la riproduzione anche parziale se non espressamente autorizzata.

*I contributi sono stati selezionati con doppia revisione anonima.*

*Ciascun contributo riflette unicamente il punto di vista degli Autori e*

*i Curatori non possono essere ritenuti responsabili delle informazioni contenute.*

### Comitato Scientifico

Rossano ALBATICI

Frida BAZZOCCHI

Carlo CALDERA

Santi Maria CASCONI

Giorgio CROATTO

Marco D'ORAZIO

Enrico DASSORI

Enrico DE ANGELIS

Pierluigi DE BERARDINIS

Flavia FASCIA

Fabio FATIGUSO

Giovanni FATTA

Marina FUMO

Ilaria GAROFOLO

Maria Paola GATTI

Claudio GERMAK

(Presidente SID)

Manuela GRECCHI

Antonella GUIDA

Riccardo GULLI

(Presidente Ar.Tec.)

Tullia IORI

Raffaella LIONE

Maria Teresa LUCARELLI

(Presidente SITdA)

Angelo LUCCHINI

Saverio MECCA

(Presidente ISTeA)

Marco MORANDOTTI

Renato MORGANTI

Stefania MORNATI

Placido MUNAFÒ

Emilio PIZZI

Francesco POLVERINO

Enrico QUAGLIARINI

Angelo SALEMI

Antonello SANNA

Enrico SICIGNANO

Gabriele TAGLIAVENTI

### Giunta Ar.Tec.

Riccardo GULLI

Marco D'ORAZIO

Antonella GUIDA

Manuela GRECCHI

Raffaella LIONE

Francesco POLVERINO

(Presidente)

(Vicepresidente)

(Tesoriere)

### Comitato Organizzativo

Carlo CALDERA

(Coordinatore)

Sara FASANA

Caterina FRANCHINI

Emilia GARDA

Marika MANGOSIO

Fabio MANZONE

Caterina MELE

Carlo OSTORERO

Paolo PIANTANIDA

Roberto VANCETTI

Valentina VILLA

Marco ZERBINATTI

### Segreteria

Emiliano CEREDA

Giuliana DI MARI

Emmanuele IACONO

Umberto MECCA

Alessandra RENZULLI

Alessio SCHEPISI

Federico VECCHIO

Gianvito VENTURA

Antonio VOTTARI

## Prefazione

Nel mondo contemporaneo dominato dalla velocità, dalla liquidità, dalla digitalizzazione, dall'impermanenza e dalla trasformazione rapida delle conoscenze, l'ambizioso richiamo all'ingegno del titolo del convegno, riferito alla Costruzione può forse apparire antiquato e per certi versi contraddittorio. Il rimando alla forma urbana e all'individualità architettonica se relazionato alla complessità delle problematiche urbane, all'eterogeneità e alla frammentazione dei tessuti urbani ed edilizi delle città contemporanee può allo stesso modo apparire di primo acchito poco pertinente.

Eppure se questo nostro tempo è dominato dalla complessità e dall'incertezza il riferirsi alla capacità umana primaria, l'ingegno, significa riportare tutte le questioni tecniche e architettoniche alla loro essenza. Sgombrato il campo dal rumore di fondo generato dall'immensa mole di informazioni visive, uditive, materiali e immateriali che assalgono i nostri sensi in ogni momento, restano le testimonianze materiche, gli edifici, i monumenti, i territori, i paesaggi che sono in attesa di essere vivificati, ricomposti, riconnessi in nuove realtà per dare risposta ai problemi complessi del nostro tempo. Porre in evidenza l'ingegno significa anche richiamarsi ai fondamenti della nostra disciplina, l'architettura

tecnica e ridare valore al metodo scientifico saldamente radicato nella cultura tecnica dell'ingegneria. Significa anche rimettere al centro la cultura progettuale, riflettere e interrogarsi sulle prospettive e sulle sfide che come progettisti, costruttori, formatori ci attendono nel prossimo futuro.

La varietà e l'eterogeneità dei contributi presentati nelle tre sessioni tematiche : Construction history and preservation; Construction and building performance, Design and building technologies, con una preponderanza di studi nella prima sessione, fortemente incentrata sugli aspetti conoscitivi storici, tecnologici, della costruzione, nei suoi singoli episodi o nei complessi urbani e territoriali, denota una ricca e vivace articolazione di spunti e interessi dell'ambito disciplinare e la sua attualità malgrado la difficoltà poste dalle continue sfide e trasformazioni della nostra società. Riaffermare la centralità del progetto nell'epoca della complessità significa in ultima analisi la capacità di affrontare le sfide e le opportunità contemporanee attraverso i valori e le competenze provenienti dalle comuni radici dalla cultura progettuale dell'ingegneria e dell'architettura.

Il convegno si configura come spazio privilegiato per l'analisi, la discussione, il confronto (locale e globale) tra tutti gli operatori del settore delle costruzioni, per suggerire soluzioni e percorsi sul solido della tradizione, innovativi, sperimentali per rinnovare e riconfigurare la cultura della Progettazione.

Emilia Garda, Caterina Mele, Paolo Piantanida

## SOMMARIO GENERALE



**A** CONSTRUCTION HISTORY  
AND PRESERVATION

6



**B** CONSTRUCTION AND  
BUILDING PERFORMANCE

599



**C** DESIGN AND BUILDING  
TECHNOLOGIES

1001



A



**CONSTRUCTION HISTORY  
AND PRESERVATION**



## Construction history and preservation

Se quella che stiamo vivendo è l'epoca della complessità, la memoria e la conoscenza del nostro passato sono strumenti fondamentali per poter leggere e tentare di interpretare questa complessità. Se questo è vero per la Storia della nostra società, lo è altrettanto e forse ancora di più per quella del Costruito.

Le nostre città, i nostri edifici sono la rappresentazione fisica della somma e delle stratificazioni materiali e relazionali dello sviluppo della nostra civiltà, profondamente incise in vari modi nei territori e nei tessuti urbani ed edilizi. Lo sviluppo che ha caratterizzato la seconda metà del Novecento dei paesi industrializzati ha dato vita alla città contemporanea e in Italia, più che in altri paesi, ha costituito una cesura netta con la cultura costruttiva consolidata. Non è certo questo il luogo per una trattazione esauriente di questi fenomeni ma, pur semplificando molto, si può affermare che la necessità di dare una casa agli italiani dopo le distruzioni della seconda guerra mondiale e il boom economico ed edilizio nelle due decadi tra il 1950 e il 1970, è stato indubbiamente uno dei principali veicoli di trasformazione radicale dei nostri centri urbani grandi e piccoli. Le grandi città si sono dilatate nella campagna spinte dalla costruzione di enormi quartieri periferici, nei quali, dopo la stagione delle realizzazioni della prima INA Casa ancora legata ai metodi costruttivi tradizionali, si sono imposti, per ragioni prevalentemente economiche, i sistemi costruttivi industrializzati, con esiti difficili da valutare ancora oggi, soprattutto per quanto riguarda la qualità complessiva dei manufatti. In ogni caso lo sviluppo edilizio e urbano, rapido e tumultuoso di quegli anni ha comportato uno stravolgimento di assetti ed equilibri secolari nei territori e nelle campagne, ha dato vita alle attuali periferie urbane, ha reso molto spesso irriconoscibili i caratteri peculiari dei luoghi e ha modificato profondamente il paesaggio. Anche dopo, quando la spinta

della crescita economica e demografica si era ormai esaurita, le nostre città hanno continuato ad espandersi dando vita a quel continuum urbanizzato indifferenziato, che gli anglosassoni chiamano urban sprawl e che ha finito per inglobare quanto restava delle testimonianze del passato costruttivo dei luoghi.

Oggi ci troviamo a dover fare i conti con la necessità di reintrecciare (o ritrovare) un filo conduttore tra la storia e la contemporaneità, per cercare di riannodare tessuti e trame a volte spezzati e spesso molto diversi tra loro, per consistenza materica ed esito architettonico. E dunque diviene necessario ricostruire le memorie dei diversi episodi costruttivi e dei loro contesti urbani e territoriali, le microstorie e i singoli casi di studio, analizzarne gli elementi connotanti fino alla scala del dettaglio, valendosi di tutti gli strumenti conoscitivi che le tecniche e gli strumenti odierni, anche digitali, ci mettono a disposizione. Recupero, riqualificazione, rigenerazione, agopuntura urbana sono alcune delle parole che hanno a che fare con la ricomposizione e la riconnessione delle trame e delle memorie, non per nostalgiche operazioni di ritorno al passato ma per tentare di costruire una diversa e nuova contemporaneità, coniugando la storia con il presente per affrontare un futuro multiforme e caratterizzato a sua volta da nuovi imperativi come la sostenibilità e la resilienza.

In questa sessione la varietà dei casi analizzati alle diverse scale e nei diversi contesti è indice della ricchezza, ma anche del bisogno insito nei diversi apporti disciplinari dell'architettura tecnica, di indagare il fatto costruttivo nei suoi singoli aspetti, materiali, tecnologici, prestazionali o nella sua globalità, dal punto di vista del progetto e della costruzione, con rigore scientifico e visione sistemica e multidisciplinare. Emerge inoltre che, se l'orizzonte conoscitivo dei singoli casi è generalmente finalizzato direttamente o indirettamente all'intervento di recupero o di riqualificazione, considerato prevalentemente nei suoi aspetti e componenti tecnologici, diagnostici e prestazionali, ancor più rilevanti e strategici sono divenuti oggi gli aspetti legati agli strumenti di gestione e valorizzazione del patrimonio e dell'intero processo edilizio.

Emilia Garda, Caterina Mele, Paolo Piantanida

- CONOSCERE E CONSERVARE I CARATTERI ARCHITETTONICI DEL SITO UNESCO DI MAIORI (SA)  
 NELL'EPOCA DEI CONFLITTI TURISTICI E DELLA FRAMMENTAZIONE** 18  
*Knowing and preserving the architectural features of the UNESCO site of Maiori (Sa) in the age of tourist conflicts and fragmentation*  
**Federica Ribera\***, **Pasquale Cucco\***  
 \*UNIVERSITÀ DI SALERNO (SALERNO, ITALIA) – FRIBERA@UNISA.IT - PCUCCO@UNISA.IT
- MANUTENZIONE PROGRAMMATA PER IL PATRIMONIO ARCHITETTONICO STORICO. ESPERIENZE IN CORSO  
 (DAL RILIEVO 3D AI PROGRAMMI DI INTERVENTO)** 28  
*Planned maintenance for architectural heritage. Experiences in progress (from 3D survey to intervention programs)*  
**Marco Zerbinatti\***, **Andrea Maria Lingua\*\***, **Francesca Matrone\*\***  
 \*DISEG \*\*DIATI - POLITECNICO DI TORINO (TORINO, ITALIA) – MARCO.ZERBINATTI@POLITO.IT – ANDREA.LINGUA@POLITO.IT – FRANCESCA.MATRONE@POLITO.IT
- LEGNO E LATERIZIO NELLA COSTRUZIONE TRADIZIONALE CINESE** 38  
*Wood and bricks in traditional Chinese construction*  
**Maria Vittoria Fratini\***, **Luca Guardigli\***, **Anna Chiara Benedetti\***  
 \*DIPARTIMENTO DI ARCHITETTURA, UNIVERSITÀ DI BOLOGNA (BOLOGNA, ITALIA) – MARIA.FRATINI@STUDIO.UNIBO.IT - LUCA.GUARDIGLI@UNIBO.IT – ANNAC.BENEDETTI@UNIBO.IT
- MURATURE IN PARALLELO. PER UN ATLANTE SINOTTICO DELLE TECNICHE COSTRUTTIVE STORICHE  
 NELL'AREA DEL SISMA DEL CENTRO ITALIA 2016** 48  
*Masonry in parallel: for a synoptic map of the constructive technics in the area of 2016 Central Italy earthquake*  
**Chiara Braucher\***, **Edoardo Currà\***  
 \*UNIVERSITÀ LA SAPIENZA DI ROMA (ROMA, ITALIA) – CHIARA.BRAUCHER@UNIROMA1.IT - EDOARDO.CURRA@UNIROMA1.IT
- LE FACCIATE DI PIETRA ARTIFICIALE NELL'AVENIDA SÃO JOÃO, SÃO PAULO-BRASILE** 56  
*The facades of artificial stone rendering in the avenida São João, São Paulo-Brazil*  
**Regina Helena Vieira Santos\***  
 \*FACULDADE DE ARQUITETURA E URBANISMO – UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO (SÃO PAULO, BRASIL)- DIPARTIMENTO DI ARCHITETTURA – UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI FIRENZE; RHVS@USP.BR
- ARCHITETTURE PER LE ACQUE SOTTERRANEE. CONSERVAZIONE E VALORIZZAZIONE DEL PATRIMONIO CAVO A PALERMO** 64  
*Architectures for the groundwater. Conservation and enhancement of the underground heritage in Palermo*  
**Calogero Vinci\***  
 \*UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PALERMO (PALERMO, ITALIA) – CALOGERO.VINCI@UNIIPA.IT

## MANUTENZIONE PROGRAMMATA PER IL PATRIMONIO ARCHITETTONICO STORICO. ESPERIENZE IN CORSO (DAL RILIEVO 3D AI PROGRAMMI DI INTERVENTO).

*Planned maintenance for architectural heritage. Experiences in progress (from 3D survey to intervention programs).*

Marco Zerbinatti\*, Andrea Maria Lingua\*\*, Francesca Matrone\*\*

\* DISEG \*\* DLATI - Politecnico di Torino (Torino, Italia)

marco.zerbinatti@polito.it – andrea.lingua@polito.it – francesca.matrone@polito.it

**Keywords:** beni culturali, rilievo metrico integrato, HBIM, manutenzione programmata

### Riassunto

La continua evoluzione delle tecniche di rilievo e modellazione 3D mediante strumenti e applicazioni sempre più performanti evidenzia il valore aggiunto dato da tali metodiche nell'ambito del rilevamento urbano e architettonico. Nel caso proposto l'attenzione è rivolta, in particolare, verso applicazioni utili alla manutenzione programmata di beni culturali: se tali strumenti e metodi hanno grande peso nella fase interpretativa e di conoscenza "fisica", essi possono altresì fornire un apporto determinante per il completamento di modelli non solo geometrici, ma anche semantici e informativi, necessari appunto per una programmazione a 360 gradi della

manutenzione del patrimonio architettonico storico. Sull'argomento è in fase di avvio un progetto di ricerca di durata triennale (Interreg Italia-Svizzera "MAIN.10.ANCE", 2019 - 2021), di cui il Politecnico di Torino è *partner* e che ha per oggetto un patrimonio iscritto negli elenchi UNESCO: i Sacri Monti italiani e del Canton Ticino.

### Abstract

*The continuous development of 3D surveying and modelling techniques through increasingly performing tools and applications underlines the added value given by these methods in urban and architectural surveying. In the suggested case the attention is particularly turned towards applications useful for the planned maintenance of cultural heritage; if such tools and methods have great relevance in the interpretative phase and "physical" knowledge, they can also provide a decisive contribution to the completion of information base (on platforms based on the interoperability of databases) necessary for a 360-degree maintenance planning of the architectural heritage.*

*An international three-year research project (Interreg Italy-Switzerland "MAIN.10.ANCE") is in a start-up phase and the Politecnico di Torino is a partner of this project. The object of the study is a UNESCO listed Heritage: the Sacri Monti of North-Western Italy and Canton Ticino.*

## Introduzione

La gestione di un complesso di operazioni manutentive ordinarie su beni di rilevante interesse architettonico, artistico e culturale è spesso molto difficoltosa e richiede talvolta sforzi straordinari, in evidente contraddizione con il carattere di “ordinarietà” della manutenzione cui si vorrebbe (o, meglio, dovrebbe) tendere.

Le ragioni possono essere molteplici; nell’ambito dell’intervento e degli argomenti qui proposti, ne sono volutamente evidenziate soltanto due.

La prima è la cronica carenza di adeguate risorse economiche, di risorse umane e di figure tecnicamente adeguate che gli Enti gestori del patrimonio in questione affrontano quotidianamente. La seconda è riconducibile a un problema di ordine culturale: infatti, chi possiede un manufatto architettonico storico (Comune, Ente locale, Parrocchia, per esempio), di qualunque rilevanza esso sia mai troverà un organo territoriale di governo (a qualsiasi livello), un Ente di tutela o una Fondazione (pubblica o privata) che elargirà contributi economici per attuare la manutenzione ordinaria. Invece, troverà un apprezzabile numero di possibilità (bandi di Fondazioni bancarie, per esempio) ovvero dei chiari riferimenti legislativi<sup>1</sup> per gli interventi di restauro e/o conservativi.

In altri termini, assistiamo a un inveterato “ribaltamento” del problema di fondo, che mai troverà una soluzione concreta se non si radicherà culturalmente il reale convincimento che occorre cambiare paradigma: la manutenzione ordinaria (ma anche quella straordinaria, in determinati casi) è da favorire attraverso adeguate azioni programmate, protocolli sistematici e anche attraverso canali di cofinanziamento, mentre il restauro dovrebbe arrivare a rivestire carattere di eccezionalità. Giuseppe

Rocchi ricordava già nel 1994 che il “principio etico del restauro è quello di auto-estinguersi”. [1]

La rilevanza della manutenzione programmata *ope legis*, indotta attraverso i “Piani di manutenzione” e “Programmi di manutenzione” previsti dal Codice degli Appalti<sup>2</sup> è irrisoria rispetto al problema reale. È noto che gli Enti prima citati non hanno fondi adeguati per attuarli.

Di conseguenza, molto è affidato alla sensibilità e alla preparazione delle persone che operano negli stessi Enti, alle quali spetta l’arduo compito di concertare e programmare azioni (tecniche) con volontà differenti (politiche) e disponibilità di risorse (umane e finanziarie).

Nel seguito, il contributo illustra il lavoro che è *in fieri* nell’ambito di un programma di ricerca internazionale, in cui il gruppo di lavoro del Politecnico di Torino<sup>3</sup> riveste un ruolo determinante per contribuire a evolvere un esistente programma di manutenzione (attuato in via “sperimentale” al Sacro Monte di Varallo Sesia) in un “modello” esportabile in differenti realtà territoriali per manufatti o complessi analoghi, ma anche per manufatti singoli del patrimonio diffuso sul territorio.

Il progetto di ricerca ha l’obiettivo di mettere a sistema procedure e protocolli manutentivi già validamente testati con modelli informativi e programmi di gestione degli interventi che tengano conto della complessità del contesto e della variegata molteplicità di informazioni.

L’obiettivo appare ambizioso perché sarà determinante riuscire a coniugare istanze diverse (quando non contrastanti), enormi moli di informazioni (per esempio, tutte quelle derivanti: dai rilievi LIDAR per la modellazione tridimensionale; dai nomi di ogni elemento, sistema o sub-sistema che connota la *polimatericità* dei manufatti indagati; dalle tecniche costruttive; dalle fonti storiche, archivistiche e iconografiche; dalle attività

1. Per esempio, il Decreto Legislativo 24 gennaio 2004, n. 42, Codice dei beni culturali e del paesaggio, ai sensi dell’art. 10 della Legge 6 luglio 2002, n. 137, all’articolo 35 stabilisce che “[...] il Ministero ha facoltà di concorrere alla spesa sostenuta dal proprietario, possessore o detentore del bene culturale per l’esecuzione degli interventi previsti dall’art. 31 [...]”, tra i quali la manutenzione ordinaria non è citata. Analogamente, le Istituzioni bancarie, per un evidente ritorno di immagine più rilevante, privilegiano le azioni di restauro, meglio se articolate e complesse, perché destano certamente una maggiore attenzione del pubblico.

2. Decreto Legislativo 18 aprile 2016, n. 50, aggiornato alle Leggi 55/2019 e 59/2019.

3. Programma di cooperazione transfrontaliera Interreg ITA-CH 2014 – 2020. Il gruppo di lavoro del Politecnico è così composto: M. Zerbinatti (coordinatore), G. Lacidogna, A. Osello, A. Lingua, S. Fasana, A. Grazzini, M. Gomez Serito, F. Matrone.

manutentive pregresse, con la loro periodicità diacronica). Il tutto in un quadro dove la necessità di affrontare adeguatamente la gestione degli aspetti semantici è nodale per allestire uno strumento efficace e dinamico.

## 1. Metodologia

La particolare disposizione delle quarantacinque cappelle del Sacro Monte di Varallo Sesia, su uno sperone roccioso a circa 600 m s.l.m. ha reso necessario, per il rilievo del complesso, l'utilizzo di un approccio "multisensore" [2, 3] con tecniche sia *image-based* che *range-based*.

Il sistema di posizionamento GPS/GNSS (*Global Positioning System/Global Navigation Satellite System*) e la stazione totale hanno consentito la definizione della rete d'inquadramento e di dettaglio, con le misure topografiche di precisione, gli APR (Aeromobili a Pilotaggio Remoto) sono stati impiegati per l'acquisizione dei dati fotogrammetrici aerei delle zone altrimenti difficilmente raggiungibili e, infine, i sistemi *laser scanner* terrestri *Time of Flight* sono stati utili per le parti più accessibili del sito e per gli interni delle cappelle. Inoltre, in quest'ambito, è stato anche sperimentato l'utilizzo di tecnologie SLAM (*Simultaneous Localization and Mapping*), non ancora consolidate nel campo della geomatica, e di sensori *low-cost* e COTS<sup>4</sup> (*Commercial Off The Shelf*) che consentono di ridurre i tempi di acquisizione e velocizzare le operazioni di rilievo [4, 5].

I risultati di tali rilievi e delle successive fasi di elaborazione dati sono stati la creazione delle nuvole di punti di alcune cappelle, importabili in un ambiente di modellazione *object-oriented* e utilizzabili come base per le seguenti fasi di modellazione geometrica tridimensionale. I prodotti HBIM così realizzati sono stati arricchiti con diverse tipologie di informazioni quali: aspetti tecnico-costruttivi (materiali, forme di alterazione e di degrado)<sup>5</sup> storici, documentari ecc. e infine tali informazioni sono state esportate per consentire la strutturazione di un

database relazionale esterno, disponibile per l'Ente gestore dei Sacri Monti.

### 1.1 Il rilievo metrico integrato

L'attività di acquisizione dati si è svolta in più campagne di rilievo iniziate nel 2015 e ancora in corso. Più in particolare, i dati qui presentati fanno riferimento alle campagne svoltesi nel 2016 e 2017 con oggetto d'interesse il Palazzo di Pilato, le cappelle 24 e 16 (Gesù al tribunale di



Fig. 1. In alto il Palazzo di Pilato, con l'affaccio su Piazza della Basilica, e le cappelle 24 e 16 su Piazza dei Tribunali. In basso la cappella 28 e il complesso di Nazareth.

4. Più in particolare, il sensore COTS qui testato è la *steadycam* OSMO di DJI: una camera in grado di registrare video 4K in MP4 o MOV e acquisire immagini a 12Mpx. Il sensore è montato su una sospensione cardanica a 2 assi che stabilizza il dispositivo ed è una tecnologia avanzata pensata per acquisire video e frame senza le criticità derivanti da eventuali scosse o movimenti [3].

5. Per il lessico relativo alle forme di alterazione e degrado è stato fatto riferimento alla Norma UNI 11182:2006 *Beni Culturali – Materiali lapidei naturali ed artificiali – Descrizione della forma di alterazione – Termini e definizioni*.

Anna e Gesù risuscita il figlio della vedova di Naim), 28 (Gesù al tribunale di Erode) e il Complesso di Nazareth (Fig. 1).

Come detto in precedenza, durante le campagne di rilievo, una parte dei punti della rete planimetrica è stata rilevata con tecnica GPS/GNSS in modalità statica, mentre alcuni punti di raffittimento, non rilevabili a causa della scarsa copertura satellitare o dell'angustia dei luoghi, sono stati misurati con tecnica topografica classica. Una volta acquisiti i dati della rete d'inquadramento e di raffittimento, si è proceduto con la collimazione dei punti della rete di dettaglio.

Per l'ottenimento di dati metrici densi sono state eseguite delle scansioni *laser* sia in ambienti interni (sottotetto, zone porticate, loggiati e cappelle) che esterni. In totale sono state effettuate circa 80 scansioni (Fig. 2a) con una risoluzione di 1 punto ogni 5 mm. Tuttavia, dal momento che alcune zone non sono pienamente accessibili a causa dell'orografia del territorio e della posizione prominente in cui sorge questo complesso, è stato necessario ricorrere all'utilizzo di APR, più comunemente definiti "droni", per rilevare non solo tutte le coperture, ma anche tutte quelle parti di edifici altrimenti non raggiungibili. A tale scopo sono stati pianificati diversi voli nadirali (90°) (Fig. 2b) e obliqui (45°) per un'area di presa > 38.000 m<sup>2</sup> e una quota del terreno variabile tra i 499 e i 642 m. I droni utilizzati sono stati: nel caso delle due piazze, un esacottero sviluppato all'interno del DIATI del Politecnico di Torino con montata una fotocamera SONY da 24,7 Mpixel e dimensioni del fotogramma di 4.000 x 6.000 pixel e, nel caso del complesso di Nazareth, il drone commerciale Phantom 4 Pro della DJI, equipaggiato con una camera stabilizzata sui 3 assi da 20 Mpixel e un sensore da 1 pollice.

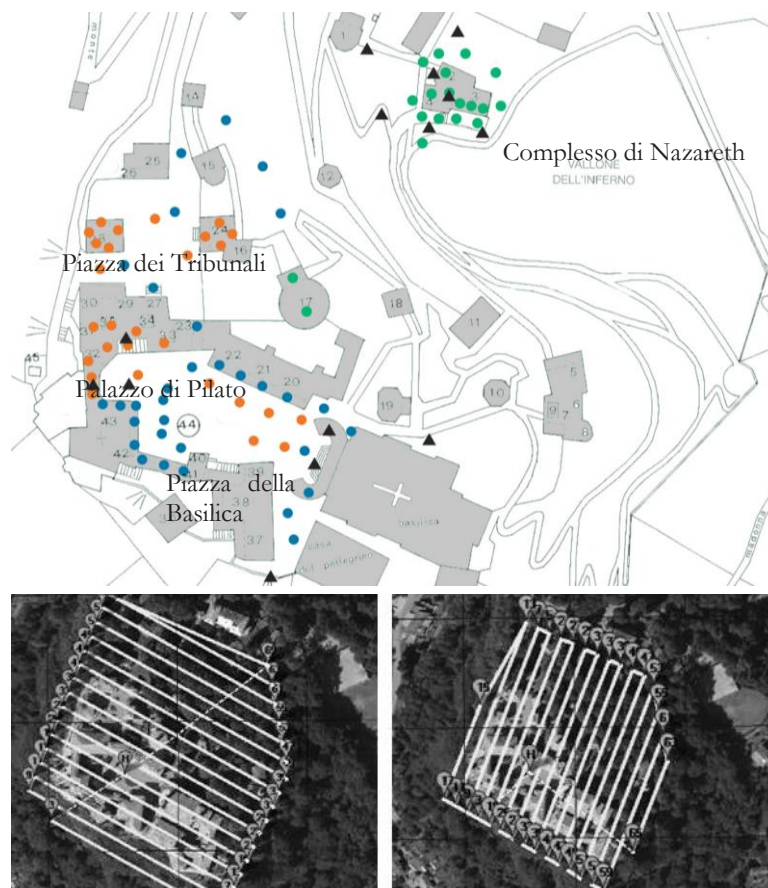


Fig. 2a e b. In alto, vertici delle reti d'inquadramento (triangoli) e scansioni laser effettuate. In basso, piani di volo su tutto il complesso eseguiti con APR.

6. Tali punti (marker) sono obiettivi a elevato contrasto cromatico facilmente riconoscibili all'interno di immagini o scansioni laser e sono stati posizionati sulle pareti degli edifici (15 x 15 cm) e a terra (50 x 50 cm). Essi sono stati rilevati con stazione totale nel caso delle superfici murarie e con una tecnica di rilievo cinematico in tempo reale (Real Time Kinematic), raggiungendo una precisione centimetrica, nel caso dei marker a terra utili per le acquisizioni da drone.

## 1.2 L'elaborazione dei dati: le nuvole di punti e i modelli HBIM

A seguito delle fasi di acquisizione, sono stati elaborati i dati fotogrammetrici e le scansioni laser, prestando attenzione che i residui sui *marker* fossero inferiori ai 10 mm. Tale soglia è stata fissata sulla base della scala di rappresentazione finale voluta, infatti, avendo deciso di raggiungere una scala di rappresentazione 1:100, la precisione entro cui mantenere questa tensione, considerati gli errori di graficismo, è pari a  $\sigma = 100 * 0,2 \text{ mm} = \pm 20 \text{ mm}$ , con un limite di circa la metà per aumentarne l'accuratezza.

Per ciò che concerne i dati fotogrammetrici, sono stati testati diversi software e le nuvole di punti risultanti sono state messe a confronto (C2C – *Cloud to Cloud*, e densità) per stabilire quale fosse la soluzione migliore: i vantaggi e gli svantaggi di ciascun programma. Più in particolare sono stati utilizzati *Context Capture* della Bentley System, *Agisoft Photoscan* (ora *Metashape*), *Visual SFM*, *Pix4D* e *MicMac*. In ogni caso, dopo l'elaborazione delle nuvole di punti, i confronti, la pulitura e il filtraggio delle stesse, è stato eseguito il processo di *data fusion* che ha consentito di integrare le nuvole *laser* con le parti mancanti (coperture o zone non accessibili) derivanti da quelle fotogrammetriche (Fig. 3).

Oltre all'elaborazione delle nuvole di punti, è stato anche realizzato il DTM (*Digital Terrain Model*), un modello della superficie terrestre che esclude tutti gli elementi antropici o vegetazionali. Questo consente, una volta iniziata la modellazione tridimensionale *object-oriented*, di avere una superficie topografica su cui “appoggiare” gli edifici, basata sulle reali pendenze e curve di livello del terreno. Per fare ciò è stato utilizzato il software *Envi LiDAR* che impiega la nuvola di punti fotogrammetrica precedentemente generata. Nel caso del complesso di Nazareth, sempre a scopo comparativo, si è anche deciso di realizzare tale DTM direttamente

all'interno del software *Autodesk Revit*. Sebbene il risultato della seconda soluzione sia accettabile, è da evidenziare come esso sia meno affidabile rispetto al precedente e come il procedimento sia più lento, infatti è necessario inserire manualmente ciascuna quota dei punti delle curve di livello, lasciando margine per eventuali errori dell'operatore e prolungando i tempi di elaborazione, mentre nel primo il riconoscimento delle altezze della superficie topografica avviene in modo automatico.

Infine, una volta generato anche il DTM, le nuvole di punti delle singole cappelle sono state segmentate in componenti architettoniche, per una più facile gestione all'interno di *Revit*, e sono state esportate tramite *ReCap 360 (Reality capture)* in *.rvt*, un formato riconoscibile e supportato dal software *object oriented*. La suddivisione di tali nuvole in componenti architettoniche è avvenuta in maniera totalmente autonoma da parte dell'operatore, poiché le modalità di suddivisione non influiscono sul risultato finale, ma hanno il semplice scopo di facilitare la seguente modellazione.

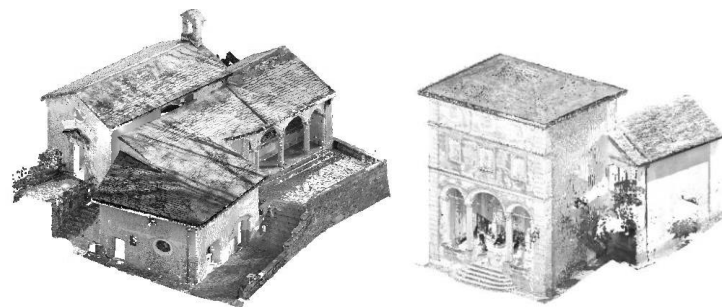


Fig. 3. Nuvole di punti integrate (fotogrammetrica e *laser scanner*) del complesso di Nazareth, a sinistra, e delle cappelle 24 e 16 a destra.

Terminata l'elaborazione delle nuvole di punti, è stato possibile procedere con la loro importazione in *Revit* e la modellazione parametrica.

Ciò che contraddistingue la modellazione parametrica e la metodologia BIM dalla più comune modellazione tridimensionale del patrimonio architettonico è la possibilità di integrare non solo parametri e dati quali la geometria (coordinate e superfici), la topologia (relazione di connessione tra gli elementi) o la fotometria (caratteristiche visive delle superfici), appunto già ricavabili da molti modelli 3D non BIM, ma anche parametri della composizione interna, dell'anno di costruzione o degli interventi di restauro e di manutenzione, informazioni sui materiali, da documenti d'archivio, ecc..

La modellazione di un edificio storico, a differenza di uno nuovo, comporta però la creazione di una libreria con componenti *ad hoc* per descrivere gli elementi che la compongono, infatti ad oggi, purtroppo, la metodologia HBIM è fortemente limitato dall'irrelevanza delle "librerie" di oggetti, in cui non si può fare affidamento su elementi standardizzati, e dall'impossibilità di determinare automaticamente dalle scansioni 3D le strutture degli edifici di diverse epoche storiche e di costruzione [6]. Proprio per questo motivo, la modellazione parametrica delle cappelle e dei loro elementi architettonici, da un lato si è basata sui dati delle nuvole di punti, dall'altro ha comportato una necessaria semplificazione geometrica. Infatti, dal momento che i *software object-oriented* non sono ancora in grado di gestire in maniera compiuta geometrie complesse quali gli elementi architettonici storici di forme e volumi differenti gli uni dagli altri, si è ritenuto più importante modellare oggetti architettonici che, seppur semplificati, consentono comunque la creazione di un *database* con le relative informazioni associate, utili per i piani di manutenzione programmata. Il raggiungimento di un elevato livello di dettaglio e di una piena corrispondenza con le geometrie effettive ha pertanto assunto una rilevanza minore rispetto alla componente semantica del modello. In

quest'ottica, particolari quali le rastremature dei muri, l'entasi delle colonne o il differente rapporto tra alzata e pedata delle scalinate storiche non sono stati volutamente rappresentati. Ciononostante, parametri più generici propri dell'architettura storica, come per esempio le dimensioni del basamento, collarino, echino, fusto, toro, ecc., delle colonne sono stati comunque considerati nella realizzazione delle famiglie specifiche, sulla base di alcuni Manuali dell'architettura [7].

Nelle prime fasi della modellazione sono stati testati alcuni *plug-in* per il riconoscimento semi-automatico degli elementi dalle nuvole di punti (muri, colonne, serramenti, infissi e ortofoto) e uno di questi, *FARO As-built*, è stato anche utilizzato nelle fasi finali per il confronto della congruenza metrica tra la nuvola di punti e il modello HBIM.

Una volta generata la geometria generale dell'edificio con le famiglie di sistema, è stato necessario utilizzare dei modelli generici metrici adattivi<sup>7</sup> per modellare gli elementi complessi quali volta a botte lunettata, volte a crociera e volte a vela; per i restanti elementi architettonici, come colonne, balaustre, grate delle cappelle, i portali d'ingresso e alcune colonne in pietra, sono stati invece utilizzati i modelli generici metrici<sup>8</sup>.

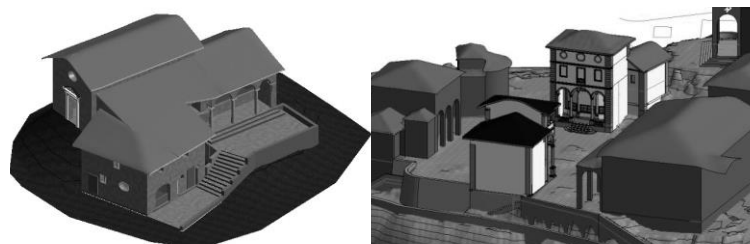


Fig. 4. Modelli HBIM del complesso di Nazareth, a sinistra, e delle cappelle 28, 24 e 16, a destra. Si può inoltre notare il DTM e l'inserimento nel contesto urbano, con la modellazione per massa delle restanti cappelle non ancora rilevate.

7. Il modello generico metrico adattivo è un file di modello di Famiglia (tutto ciò che può essere creato o inserito nel modello è suddiviso in Famiglie di sistema, caricabili e locali) che dà la possibilità di "creare componenti flessibili in grado di adattarsi a diversi scenari di progettazione" [8]. Tali componenti adattive hanno il pregio di poter essere utilizzate in sistemi ripetuti, rispettando però una serie di vincoli impostati dall'utente.

8. I modelli generici metrici hanno il vantaggio di poter modellare qualsiasi elemento con le misure desiderate, ma, a differenza del modello generico metrico adattivo, non consentono la modifica dei parametri della geometria, una volta inserita nel progetto.

Infine, sono stati anche effettuati delle verifiche sugli scostamenti metrici tra il modello e la nuvola di punti, per valutare l'accuratezza di quanto realizzato [8].

### 1.3 La gestione di un database per la manutenzione programmata

Lo scopo principale dell'applicazione della metodologia BIM a questo tipo di patrimonio culturale è la strutturazione di un *database* in grado di fornire uno strumento di supporto per la gestione e manutenzione non solamente di un singolo bene architettonico, ma di un intero complesso con un'estensione urbana, inserito inoltre in un più ampio sistema territoriale sovraregionale.

La strutturazione di tale *database*, associato ai modelli HBIM, ha dovuto dapprima interfacciarsi con la problematica della gestione di una notevole quantità di dati storici e tecnici, da organizzare, aggiornare e rendere disponibili nel modo più semplice possibile agli organi preposti alla tutela, successivamente con la necessità di creare un modello dati standardizzabile e sufficientemente versatile da poter essere impiegato, anche solo parzialmente, nel contesto più ampio dei beni culturali 'diffusi' e della loro conservazione.

Nelle prime fasi del lavoro si è proceduto con uno schema entità-relazione (E-R), partendo dal modello concettuale e traducendolo poi in un modello logico (Fig. 5). Le entità rappresentano concetti complessi con un'esistenza autonoma, al cui interno si trovano le istanze, ossia singoli oggetti della classe rappresentata. Le relazioni, invece, rappresentano i legami logici tra due o più entità.

Tale database è collegato al modello HBIM tramite il *plug-in* di Revit DB-Link e viene integrato con le tabelle generate automaticamente dal software e quelle aggiunte manualmente una volta esportato. Per poter correlare il database estratto da Revit con le nuove tabelle è necessario aggiungere dei *parametri condivisi*, resi poi di *progetto*, riguardanti gli identificativi del complesso e delle cappelle, i loro nomi, le attività di

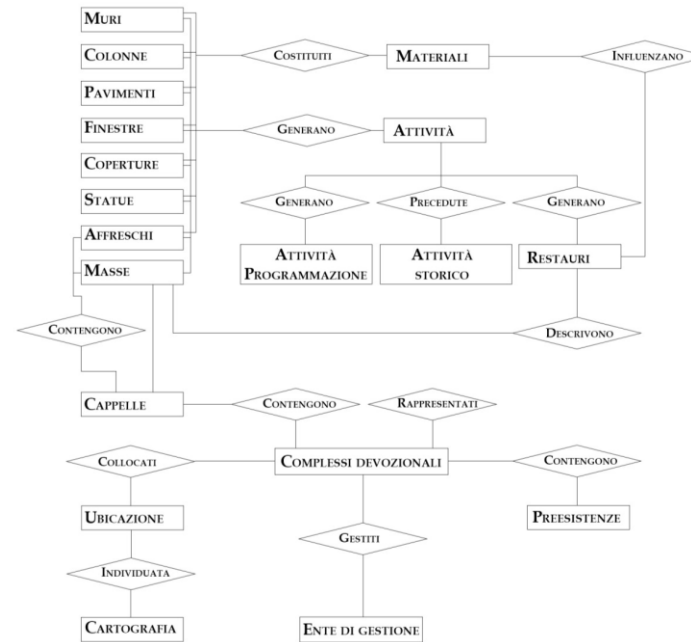


Fig. 5. Schema Entità-Relazioni con la programmazione delle attività e le componenti architettoniche.

restauro effettuate, i materiali delle strutture, ecc.. Qualora a un edificio corrispondano più cappelle, come nel caso del Palazzo di Pilato, sono state generate delle masse a cui sono state associate le informazioni delle singole cappelle e i medesimi parametri di progetto, assegnati alle categorie corrispondenti agli elementi geometrici del modello: elementi di dettaglio, finestre, massa, materiali, modelli generici, muri, pavimenti, scale e tetti.

Tutti i dati inseriti nei modelli HBIM sono stati così esportati per essere consultati con il *software MS Access*, un'interfaccia appositamente allestita per la gestione di basi di dati di tipo relazionale (*RDBMS – Relational Database Management System*) che permette di coordinare e utilizzare le tabelle dati.

All'interno di *Access*, oltre ad aggiungere manualmente diverse tipologie di dati, sono state create anche delle maschere di consultazione: una schermata di visualizzazione che permette all'utente di inserire il codice di un elemento, visualizzarne tutte le informazioni associate e aggiornarle.

La struttura di queste maschere è semplificata e flessibile, possono essere modificate e personalizzate a seconda delle esigenze.

Per il database dei Sacri Monti, in diversi test, sono state costruite differenti maschere di consultazione: alcune relative a singoli elementi o attività, come murature o restauri (Fig. 6), e altre più generali per restituire informazioni relative al sistema dei Sacri Monti della Regione Prealpina.

In questo modo è stato predisposto un 'modello' di strumento di facile gestione, con un flusso di lavoro che consente di modificare automaticamente i dati nel *database* a partire direttamente dal modello digitale HBIM. Inoltre, essendo gestito con un *software* facilmente installabile su qualsiasi dispositivo portatile, come *smartphone* e *tablet*, garantisce la disponibilità delle informazioni anche durante i sopralluoghi,



Fig. 6. Maschera di consultazione dati per le attività di restauro del Palazzo di Pilato.

le fasi di cantiere e tutte le attività di manutenzione ordinaria e straordinaria. Essendo sempre aggiornato e connesso con le geometrie del modello tridimensionale, è anche idoneo alla redazione di cronoprogrammi, computi metrici estimativi e realizzazione di abachi degli elementi architettonici. Sono perciò semplificate sia le operazioni di manutenzione programmata che eventuali interventi straordinari, i cui dati potrebbero comunque essere inseriti nel *database* ed essere utilizzati a loro volta per la pianificazione di azioni future, andando così ad integrare e aggiornare quelli già presenti.

## 2. Conclusioni e sviluppi futuri

In conclusione è possibile affermare che l'utilizzo di modelli HBIM per la gestione del patrimonio costruito sia utile per allestire strumenti operativi di ausilio e supporto alle attività di conservazione e per la redazione dei piani di manutenzione programmata.

Nonostante le numerose potenzialità di tale strumento, oggi permangono però ancora molte criticità legate soprattutto all'utilizzo dei *software object-oriented*, ideati per la progettazione di edifici *ex-novo* e non adatti per la modellazione di elementi storici del patrimonio costruito, sostanzialmente differenti gli uni dagli altri e con geometrie curve complesse, come volte, capitelli, loggiati o balaustre. Tale caratteristica, sommata alla mancanza di librerie *ad hoc* per i beni culturali, rende difficoltosa e lunga la modellazione, oltre a non sfruttare appieno le potenzialità di questi *software*. Infatti, il più delle volte, gli elementi complessi sono elaborati in ambienti appositi per la modellazione tridimensionale o con modelli locali; poi, una volta importati nei *software object-oriented*, il riconoscimento e l'inserimento di queste geometrie nelle opportune famiglie non avviene e, di conseguenza, non vengono loro associati automaticamente i parametri della famiglia stessa.

Inoltre, anche l'interoperabilità tra i diversi *software* non è ancora pienamente assicurata. A tal proposito, si prevede, tra gli sviluppi futuri del progetto Interreg *MAIN.10.ANCE*, di modificare lo schema entità-relazioni e strutturarli seguendo alcuni *standard*, nomenclature e classificazioni già esistenti, in modo tale da essere effettivamente interoperabile e il suo schema facilmente integrabile con altri *database*. L'utilizzo di dizionari quali l'*Art and Architecture Thesaurus* (ATT) della *Getty Foundation*, conforme con gli standard ISO e NISO per la creazione di Dizionari, o lo studio e l'applicazione di modelli ontologici [9–11] potrebbero fornire una soluzione in tal senso e nuove prospettive di

ricerca. Infine, la peculiarità di questo caso studio, inserito in un sistema più ampio gestibile a livello territoriale, rende particolarmente interessante l'inserimento dei modelli HBIM delle cappelle, georiferiti, in un ambiente GIS che consentirebbe anche la gestione di dati geospaziali, oltre che architettonici, organizzati secondo diversi livelli di dettaglio e utili per analisi multiscala.

## Bibliografia

1. Rocchi G, Istituzioni di restauro dei beni architettonici e ambientali, Milano, Hoepli, 1994
2. Russo M, Guidi G, Remondino F (2011) Principali tecniche e strumenti per il rilievo tridimensionale in ambito archeologico. *Archeol e Calc* 169–198
3. Aicardi I, Boccardo P, Chiabrando F, et al (2015) Modelli 3d multi sensore per l'acropoli segusina. *Segusium* 2:195–216
4. Calantropio A, Colucci E, Teppati Losè L (2017) Rapid mapping for built heritage at risk using low-cost and cots sensors. A test in the duomo vecchio of san severino marche. *Int Arch Photogramm Remote Sens Spat Inf Sci - ISPRS Arch* 42:59–66. <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLII-2-W8-59-2017>
5. Calantropio A, Patrucco G, Sammartano G, Teppati Losè L (2018) Low-cost sensors for rapid mapping of cultural heritage: first tests using a COTS Steadicamera. *Appl Geomatics* 10:31–45. <https://doi.org/10.1007/s12518-017-0199-6>
6. Prizeman OEC (2015) HBIM and matching techniques: Considerations for late nineteenth- and early twentieth-century buildings. *J Archit Conserv* 21:145–159. <https://doi.org/10.1080/13556207.2016.1139852>
7. Musso G, Copperi G (1885) Particolari di costruzioni murali e finimenti di fabbricati.

8. Matrone F (2018) Modelli HBIM da nuvola di punti: la verifica metrica dei dati e la valutazione dei risultati. Boll SIFET 1–9
9. Acierno M, Cursi S, Simeone D, Fiorani D (2017) Architectural heritage knowledge modelling: An ontology-based framework for conservation process. J Cult Herit 24:124–133. <https://doi.org/10.1016/j.culher.2016.09.010>
10. Quattrini R, Pierdicca R, Morbidoni C (2017) Knowledge-based data enrichment for HBIM: Exploring high-quality models using the semantic-web. J Cult Herit 28:129–139. <https://doi.org/10.1016/j.culher.2017.05.004>
11. Quattrini R, Pierdicca R, Morbidoni C, Malinverni ES (2017) Conservation-oriented hbim. The bimexplorer web tool. Int Arch Photogramm Remote Sens Spat Inf Sci - ISPRS Arch 42:275–281. <https://doi.org/10.5194/isprs-Archives-XLII-5-W1-275-2017>

