

Fonte della Fata Morgana: materiali per un'analisi parametrico-strutturale

Neri BANTI, Vladimir CERISANO KOVACEVIC, Michele BETTI, Carlo BIAGINI

SOMMARIO

La memoria presenta un contributo metodologico finalizzato alla conservazione del complesso noto come “Fonte della Fata Morgana”. In una prima parte viene illustrata una procedura operativa per la gestione informativa di dati geospaziali raccolti con differenti tecniche di acquisizione mediante strumenti e metodologie di Building Information Modeling (BIM). Il modello BIM, collocandosi nella linea di sviluppo del BIM for Heritage (H-BIM), è orientato agli usi connessi alle fasi di esercizio (manutenzione, conservazione, fruibilità). In una seconda parte vengono esemplificate delle prime analisi strutturali. Nel descrivere queste analisi, che riguardano sostanzialmente l'impegno statico dei principali elementi strutturali e il comportamento dinamico-modale d'insieme, vengono al contempo delineati quegli aspetti d'indagine e di conoscenza che potrebbero risultare utili, se non necessari, per la definizione di futuri ed affidabili modelli di analisi.

ABSTRACT

The paper reports a methodological contribution aimed at preserving the complex known as “Fonte della Fata Morgana”. In a first part, an operational procedure for information management of geospatial data collected by different acquisition techniques using Building Information Modeling (BIM) tools and methodologies is illustrated. The BIM model, developed in the line of BIM for Heritage (H-BIM), is oriented to the operational phases (maintenance, preservation, usability). In a second part, preliminary structural analyses are reported. When describing the analyses, which substantially concern the static behavior of the main structural elements and the overall dynamic behavior, the aspects of investigation and knowledge that might be useful, if not necessary, for the definition of future and reliable analysis models are outlined.

INTRODUZIONE

Il complesso noto come “Fonte della Fata Morgana” è un Ninfeo tardo-cinquecentesco situato nell'abitato di Grassina, un piccolo centro del Comune di Bagno a Ripoli, alle pendici della collina di Fattucchia. La realizzazione del Ninfeo è da inserirsi all'interno di un intervento di pianificazione territoriale voluto da Bernardo Vecchietti, collezionista, mecenate e uomo politico vicino alla corte medicea e membro di una delle più antiche e influenti famiglie fiorentine.

Nel 1570, ormai al culmine della sua carriera politica, il Vecchietti decise di commissionare al Giambologna la creazione di un parco diffuso, noto come “Il Riposo”, che si estendesse nelle campagne attorno alla villa di famiglia. Il complesso fu concepito in maniera del tutto diversa rispetto ai coevi parchi fiorentini: Giambologna pensò ad un sistema di interventi mirati che permettessero una fruizione dei luoghi senza però operare una profonda alterazione del paesaggio circostante. I lavori, iniziati nei primi anni Settanta del 1500 proseguirono fino al 1590, anno della morte del Vecchietti. Il primo edificio ad essere portato a termine fu una piccola cappella (oggi scomparsa) posta nelle vicinanze della villa. Seguono poi la realizzazione del Ninfeo (1571-1574) e, sulla sommità dello stesso pendio, quella dell'“Uccellare”, un'area per la caccia di forma ovoidale ricca di essenze arboree di cui ad

oggi non resta però traccia se non nella toponomastica locale.

La famiglia Vecchietti rimase proprietaria del complesso fino al 1821 quando, dopo aver alienato gran parte delle collezioni di Bernardo, il Ninfeo ed il podere circostante vennero venduti. Nel 1877 anche la villa passa di proprietà, acquistata dalla famiglia Signorini che la possiede tuttora. Dal 1996 il Ninfeo è diventato di proprietà del Comune di Bagno a Ripoli che lo ha reso visitabile a partire dai primi anni 2000 a seguito di un lungo intervento di restauro che ha permesso il recupero delle superfici ed il consolidamento strutturale di parti seriamente compromesse da secoli di abbandono.

La presente memoria intende fornire un contributo metodologico finalizzato agli usi connessi alle fasi di esercizio e a possibili analisi strutturali di questo complesso. In una prima parte, dopo una sommaria descrizione della Fonte, viene illustrata una procedura operativa per la gestione informativa di dati geospaziali raccolti con differenti tecniche di acquisizione mediante strumenti e metodologie di Building Information Modeling (BIM). L'implementazione del modello BIM è orientata agli usi connessi alle fasi di esercizio (manutenzione, conservazione, fruibilità) e all'analisi strutturale del bene culturale, collocandosi nella linea di sviluppo del BIM for Heritage (H-BIM). In una seconda parte, la geometria (a seguito di un

processo di riduzione) viene impiegata per effettuare delle prime analisi strutturali. Nel descrivere le analisi, che riguardano sostanzialmente l'impegno statico dei principali elementi strutturali e il comportamento dinamico-modale d'insieme, vengono delineati quegli aspetti d'indagine e di conoscenza che potrebbero risultare utili, se non necessari, per la definizione di futuri ed affidabili modelli di analisi.

I CARATTERI MORFOLOGICI E COSTRUTTIVI DEL NINFEO

Il complesso si presenta oggi come un corpo unico ed isolato, articolato in tre volumi distinti disposti attorno ad un piccolo piazzale recintato (Figura. 1). Il Ninfeo vero e proprio è posto al centro, affiancato alla sua sinistra da un grande tabernacolo; perpendicolarmente ad esso è situato il grande muro contro terra, che accoglie due fonti ed un grande sedile incassato. Sullo stesso lato si trovano infine due vasche destinate ad essere utilizzate come lavatoi dalla popolazione locale.

Il Ninfeo si sviluppa su due livelli ed è imperniato sul grande vano principale, a doppia altezza, che ospita peraltro l'unico accesso all'edificio che, essendo incastonato in uno sbancamento della collina, risulta in parte interrato.

L'impianto edilizio, che planimetricamente si sviluppa a "L" su un'area quadrata di ridotte dimensioni, è costituito da due facciate contigue, diverse per tipologia, prospicienti l'area di pertinenza. Alla sinistra del portale di ingresso, in alberese come anche altre decorazioni lapidee, il grande tabernacolo accoglieva in origine l'affresco di Santi di Tito raffigurante la scena de "La samaritana alla fonte", in una particolare commistione di temi sacri e profani.

La parete che ospita le vasche esterne, una destinata all'approvvigionamento di acqua potabile e l'altra utilizzata come abbeveratoio per cavalli, presenta ad oggi numerose lacune che ospitavano un tempo bassorilievi scultorei probabilmente opera della bottega del Giambologna, tra cui lo stemma della famiglia Vecchietti ed una testa di Gorgone. Sulle chiavi di volta degli archi e sul grande tavolo monolitico in pietra è incisa, a caratteri romani, la data 1571. Questa porzione del complesso si configura come un muro contro terra realizzato con una spessa cortina muraria in pietrame disordinato, intonacata ad imitazione di una superficie in laterizio. In essa si aprono tre nicchie incorniciate in pietra alberese, le laterali ad arco ribassato e la centrale a tutto sesto. Il muro prosegue all'esterno, delimitando uno spazio verde che ospita una vasca-lavatoio.

Il corpo centrale del Ninfeo si presenta come un semplice vano delimitato da spesse pareti, della stessa tipologia descritta precedentemente. La parete di fondo del vano (Figura 2) ospita ancora oggi una fontana

costituita da una conca in pietra serena, sostenuta da un basamento grezzo la cui forma zoomorfa ricorda la coda di un mostro marino. Come tutti gli altri bacini presenti nel complesso, la fontana è alimentata da una grande cisterna interrata che si trova alle sue spalle e in cui viene convogliata, con un articolato sistema di gallerie, l'acqua captata dalla fonte sulla sommità della collina.



Fig. 1. Viste esterne del Ninfeo



Fig. 2. Vista interna: parete di fondo con la Fonte e l'accesso al piano primo

Ai lati della fontana, completano la scenografia due portali simmetrici: da quello di sinistra si accede, tramite una piccola scala con copertura a volte, a piccoli ambienti del primo piano pavimentati in pietra. Da quello di maggiori dimensioni, dove presumibilmente si trovava un grande camino, si accede ad uno stretto corridoio che consente l'affaccio sul vano centrale. I locali presentano una copertura a volta ribassata in laterizio, non leggibile dall'esterno che invece offre al visitatore un semplice tetto a capanna a due falde rivestito con coppi ed embrici. Le mensole in pietra serena aggettanti in facciata sono quindi solo un motivo ornamentale che vuole richiamare alla mente una struttura, più ricorrente, a travetti lignei.

UN WORKFLOW PER L'IMPLEMENTAZIONE DI H-BIM

La gestione informativa del costruito storico mediante strumenti e metodologie BIM si caratterizza per il particolare momento di avvio, che avviene sempre in una fase avanzata del ciclo di vita dell'organismo architettonico e presuppone non solo la raccolta di dati geospaziali e informazioni tecniche sugli elementi costitutivi, ma più in generale il riconoscimento dei quei valori semantici, che lo rendono parte significativa del patrimonio storico-culturale condiviso in uno specifico contesto.

In particolare l'implementazione di un modello informativo H-BIM deve sempre affrontare due problematiche fondamentali, a cui corrispondono differenti fasi operative. In primo luogo è necessario assicurare lo sviluppo di robusti processi di raccolta del dato geometrico digitale, attraverso tecniche tradizionali

di rilievo e/o di acquisizione massiva con strumenti a scansione laser o di 3D Imaging, da effettuare con un adeguato livello di affidabilità e accuratezza geometrica in rapporto alla strumentazione utilizzata. In secondo luogo il processo di conversione dei dati geospaziali in elementi parametrici tridimensionali deve confrontarsi con la complessità della scomposizione semantica del patrimonio costruito storico, che pone ancora oggi notevoli difficoltà nell'estrazione di componenti sintattiche significanti da nuvole di punti e nella gestione di geometrie 3D per la rappresentazione di manufatti caratterizzati spesso da superfici di estrema irregolarità.

Benché questi due aspetti siano tra loro strettamente correlati, presentano spesso esigenze contrapposte, la cui sintesi costituisce oggi la vera sfida del BIM nel campo dei beni culturali.

La richiesta di una precisione geometrica molto elevata del modello digitale rispetto all'edificio fisico, spinge infatti sempre di più la ricerca verso metodi di implementazione di oggetti BIM basati su processi di 3D Imaging / Scan-to-BIM in grado di conservare la massima ricchezza del dato spaziale contenuto nella nuvola di punti. Viceversa il modello geometrico per una sua efficace ed efficiente gestione richiede spesso una semplificazione di tale dato calibrata sugli usi e obiettivi del BIM stabiliti dal programma di modellazione. In particolare nel presente studio l'esigenza di una adeguata interoperabilità dei formati di scambio nativi con i codici di calcolo specialistici impiegati per la simulazione della risposta strutturale dell'edificio, ha richiesto la messa a punto di uno specifico processo di semplificazione geometrica del modello BIM finalizzato alla creazione di un modello numerico del complesso strutturale elaborabile dal software di analisi scelto.

Acquisizione del dato geo-spaziale - È stata svolta una campagna di rilievo per l'acquisizione di misure dirette, indirette e prese fotografiche, finalizzata alla restituzione morfometrica del complesso architettonico e alla raccolta di informazioni relative alle tecniche costruttive storiche, i dettagli architettonici e strutturali, le caratteristiche dei materiali. Per queste operazioni si è avuto accesso sia agli spazi esterni che ai locali interni del Ninfeo.

Per il prelievo di misure dirette è stato utilizzato un distanziometro laser HD 40 m Tacklife insieme ai tradizionali longimetri. Per la campagna fotografica sono state impiegate una camera digitale Reflex CANON EOS 1000D e una Nikon Coolpix P310; la scelta di utilizzare due differenti apparecchiature è stata dettata dalla presenza di locali di ridotte dimensione e difficilmente accessibili, per i quali è stato necessario ricorrere a una camera di dimensioni più contenute e maggior praticità di utilizzo. Nei punti più significativi del complesso sono state inoltre applicate mire

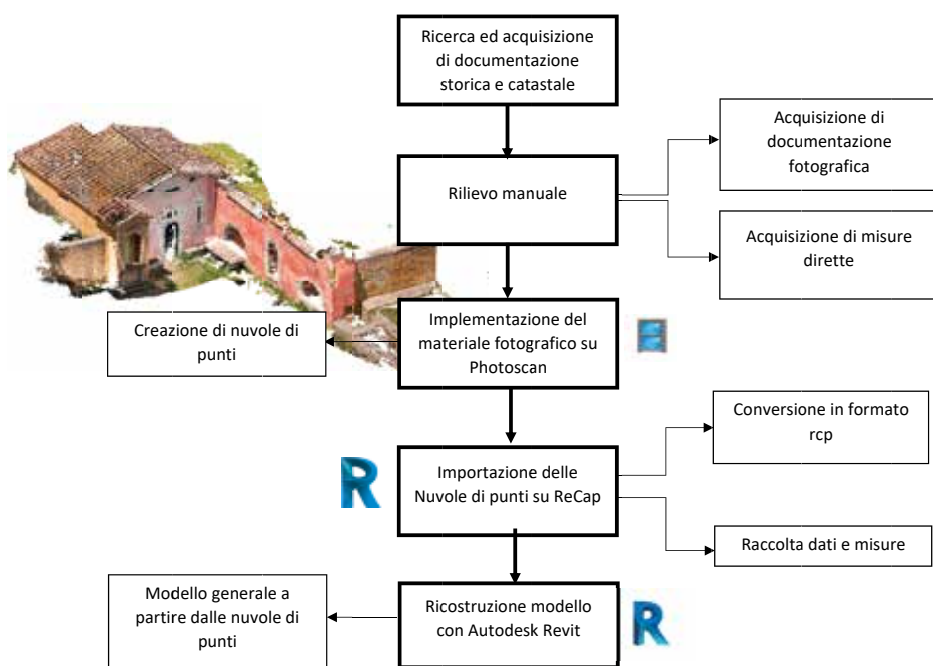


Fig. 3. Workflow adottato per la ricostruzione della geometria tridimensionale

topografiche per ottenere una miglior corrispondenza nella fase di allineamento della nuvola di punti. Il workflow adottato per la ricostruzione della geometria tridimensionale del complesso architettonico è riportato in [Figura 3](#).

Definizione del workflow - L'implementazione del modello parametrico della Fonte si è articolata nelle seguenti 6 fasi operative, che identificano le attività e i controlli di validazione dell'intero processo:

1. *Acquisizione dei dati* - Le tecniche tradizionali di rilievo (distanziometro laser, longimetri, ecc.) sono integrate con tecniche di acquisizione massiva dei dati come l'imaging 3D o la scansione laser. I dati spaziali vengono opportunamente selezionati e filtrati per ottenere una nuvola di punti evitando le ridondanze. In questa fase le ricerche d'archivio ottengono informazioni sulle trasformazioni storiche, le antiche tecniche e i materiali da costruzione.
2. *Selezione dei dati* - La grande quantità di dati deve essere gestita e opportunamente filtrata per individuare quelli strettamente necessari alla creazione del modello. In questa fase si devono decidere gli scopi dell'H-BIM e gli usi del BIM in relazione agli obiettivi stabiliti.
3. *Elaborazione dei dati* - I dati raccolti vengono suddivisi in componenti geometriche e informative per definire il livello di sviluppo degli oggetti parametrici nella fase di modellazione. Si noti che il grado di accuratezza geometrica e di completezza informativa deve essere correlato agli scopi precedentemente stabiliti.
4. *Creazione del modello* - La creazione del modello digitale comporta un'analisi preliminare e la scomposizione dell'edificio in elementi caratterizzanti, che saranno modellati come oggetti parametrici; a volte è necessario ricorrere ad "artifici" di modellazione, dipendenti dal software utilizzato, per creare entità che rispondano alle forme del costruito storico. In questa fase l'abilità del modellatore è fondamentale per garantire il massimo grado di corrispondenza geometrica con l'edificio reale.
5. *Validazione del modello* - Il modello geometrico dell'edificio viene confrontato con i dati spaziali iniziali attraverso l'analisi delle deviazioni standard. In questo modo è possibile individuare l'errore di modellazione, che viene generalmente visualizzato attraverso grafici a distribuzione gaussiana. La lettura di questo errore esprime una valutazione immediata della bontà della modellazione.
6. *Registrazione e archiviazione del modello* - Il modello BIM deve essere memorizzato e reso accessibile in uno speciale formato aperto non proprietario. Il formato IFC può rappresentare una valida opzione, tuttavia non è ancora pienamente conforme alle caratteristiche e alle proprietà possedute dagli elementi dell'edilizia storica.

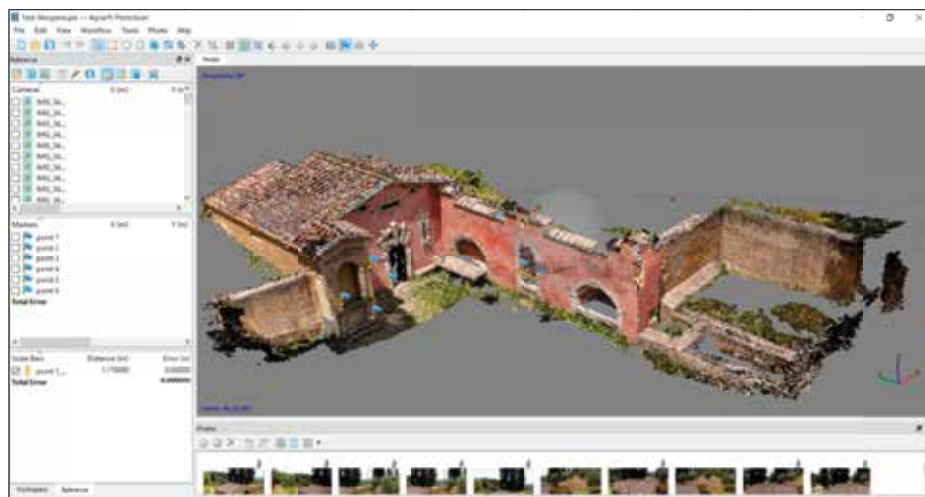


Fig. 4. Schermata di Photoscan con la nuvola di punti risultato del procedimento

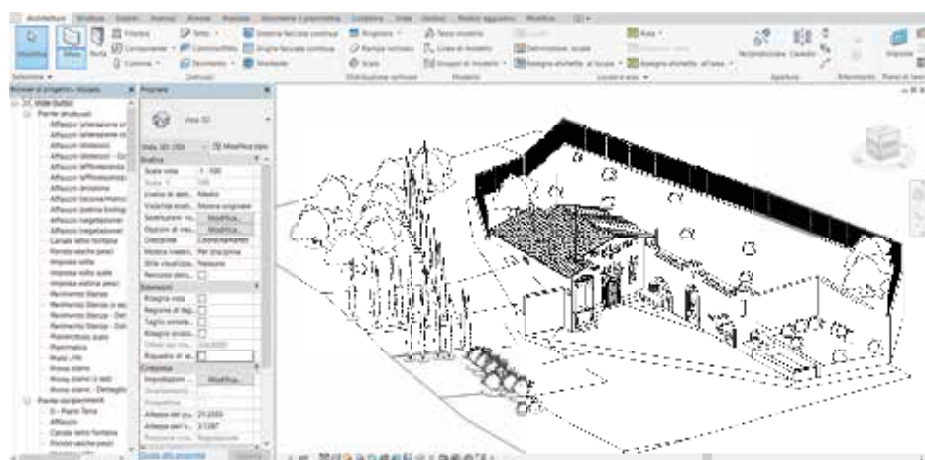


Fig. 5. Schermata di lavoro di Revit

Implementazione del modello H-BIM - La ricostruzione digitale della nuvola di punti a partire da fotografie in formato digitale è stata effettuata tramite il software Agisoft Photoscan ([Figura 4](#)).

Una volta realizzata la nuvola di punti, questa è stata convertita tramite il software Autodesk ReCap, in un formato leggibile dal software di BIM authoring, Autodesk Revit (utilizzato per la modellazione parametrica), ottenendo così un modello numerico 3D, da cui poter estrarre dettagli e annotazioni di misure. Una volta importate le nuvole di punti è possibile ricostruire il modello informativo dell'intero complesso ([Figura 5](#)).

Il modello BIM è stato quindi sottoposto a un processo di validazione basato sul confronto tra nuvole di punti, utilizzando il software *open source* Cloud Compare. Questa operazione, unita al popolamento negli oggetti BIM delle informazioni sui materiali, permette di validare la modellazione effettuata. Il confronto tiene ovviamente conto di un possibile range di errore geometrico che in questo caso si aggira intorno ai 3/4 cm, mentre per quanto riguarda le informazioni sui materiali è stato raggiunto un elevato livello di svilup-

po informativo, in quanto attraverso le indagini archi-
vistiche e ispettive in loco è stato possibile risalire con
precisione alla composizione degli elementi edilizi. Le
discrepanze più significative sono attribuibili allo sta-
to di degrado di varie parti del complesso: nella fase
di modellazione non si è ritenuto infatti dover repli-
care fedelmente l'alterazione superficiale dei profili,
in quanto trattasi di un'informazione non necessaria
in rapporto agli usi e obiettivi del BIM stabiliti. Per
completezza, si segnalano scostamenti significativi

in corrispondenza di porzioni non direttamente inda-
gabili a causa della conformazione del sito (la parte
posteriore è parzialmente interrata) e dell'assenza di
dati nelle aree subacquee.

Dal modello tridimensionale realizzato con Autodesk
Revit è stato infine possibile derivare gli elaborati in-
formativi relativi a piante, sezioni e prospetti del com-
plesso architettonico per consentire anche una lettura
più tradizionale di spazi e ambienti attraverso i codici
del disegno tecnico (Figura 6 ÷ Figura 8).

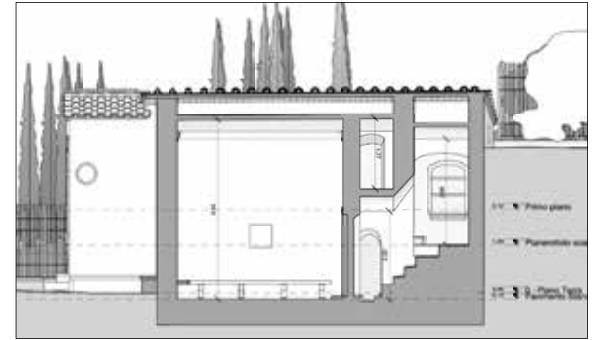
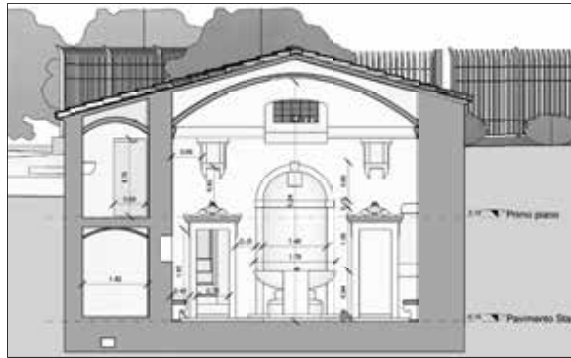


Fig. 6. Sezioni trasversali

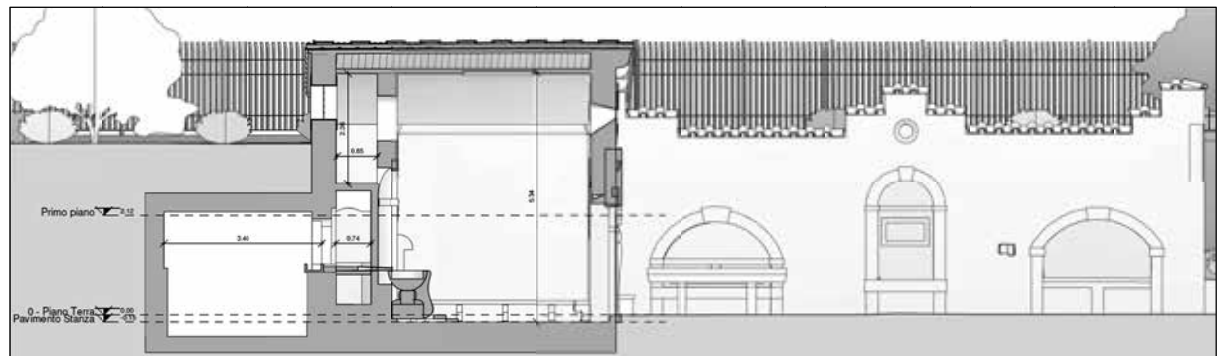


Fig. 7. Sezione longitudinale

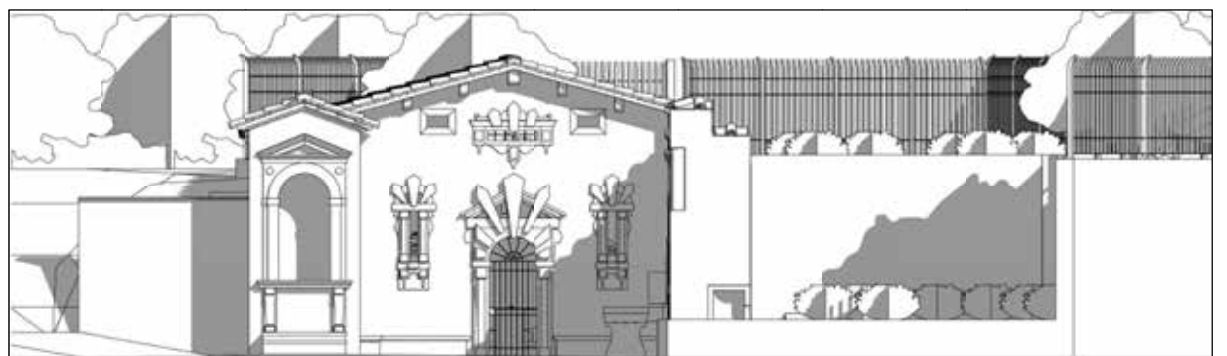
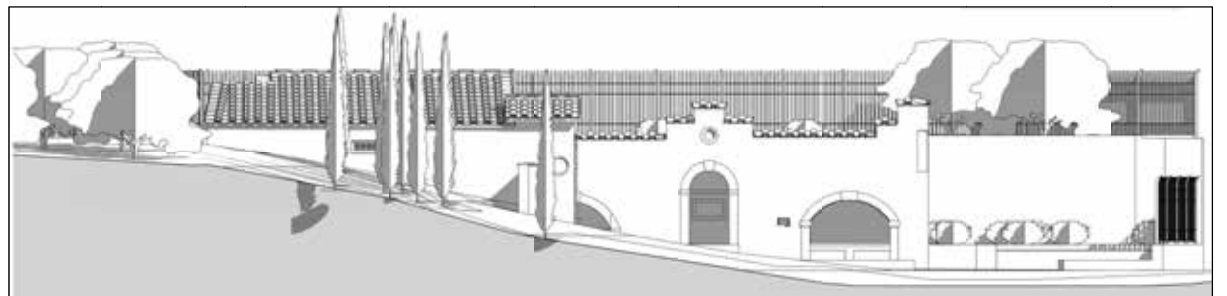


Fig. 8. Prospetti

MODELLAZIONE NUMERICA

L'analisi della struttura è condotta utilizzando il solutore `code_aster`, sfruttando l'interfaccia offerta da `salome_meca`.

`salome_meca` - Salome-Meca (<http://www.salome-platform.org/>) è una piattaforma, di uso generale, impiegata in ambiente Open Source come pre e post processing da diversi codici di modellazione numerica multifisica. La piattaforma è rilasciata sotto licenza GNU e dunque tanto il codice sorgente che gli esecutivi sono disponibili liberamente nella pagina ufficiale. La piattaforma dispone di un'interfaccia grafica e di un'interfaccia testuale basata sul linguaggio python (<http://www.python.org/>). L'interfaccia grafica dispone di un CAD interno per la costruzione geometrica dei modelli (oltre a supportare file di importazione / esportazione con gli strumenti CAD tradizionali in diversi formati di interscambio), ed offre strumenti sufficientemente semplici per l'integrazione di nuove componenti (sistemi di calcolo numerico) organizzando inoltre in modo efficace l'accoppiamento di problemi fisici di diversa natura.

`code_aster` - CodeAster (<http://www.code-aster.org/>) è un software libero di simulazione basato sulla tecnica degli elementi finiti sviluppato principalmente dal dipartimento "Analyses Mécaniques et Acoustiques" del servizio R&D (Ricerca & Sviluppo) di EDF, Électricité de France. ASTER è l'acronimo di "Analyses des Structures et Thermo-mécanique pour des Études et des Recherches". La realizzazione del codice è iniziata nel 1989 per rispondere alle necessità interne di EDF, ed è stato reso disponibile sotto la licenza GNU GPL nel 2001. Nella versione in ambiente CAELinux (<http://www.caelinux.com>) Code Aster è direttamente integrato con la piattaforma Salome-Meca. Il codice è particolarmente robusto, contiene circa 1,500,000 linee di codice (scritte sia in fortran sia in python) ed è, come nella logica degli Open Source, in continuo sviluppo ed aggiornamento. Il codice, come detto, è stato originariamente implementato da EDF per rispondere alle proprie esigenze nel settore dell'industria nucleare e dunque risponde a richieste di affidabilità piuttosto severe. La parte di validazione è estremamente curata (con molti confronti con risultati sperimentali e benchmarks con altri codici), ed è stata svolta da organismi indipendenti da EDF. La documentazione consta di oltre 14,000 pagine (perlopiù in lingua francese).

Il modello geometrico, realizzato con l'impiego del software Autodesk Revit, seppur fedele e particolareggiato, non risulta utilizzabile in maniera diretta ai fini dell'analisi strutturale. Per automatizzare il processo di generazione del modello numerico, che necessita di un'operazione di filtro dei dettagli architettonici, le piante e sezioni del complesso sono state elaborate

mediante il codice Rhinoceros (Figura 9). Sono stati rimossi gli elementi decorativi e sono state introdotte alcune semplificazioni della geometria. Si è in questo modo voluto regolarizzare la struttura pur nel rispetto delle principali peculiarità che caratterizzano l'edificio. L'analisi viene inoltre condotta trascurando la natura parzialmente interrata dell'edificio, che viene dunque ipotizzato interamente fuori terra. Il modello numerico è così generato importando direttamente il modello geometrico realizzato tramite Rhinoceros usando il formato STEP come formato di interscambio (Figura 10).

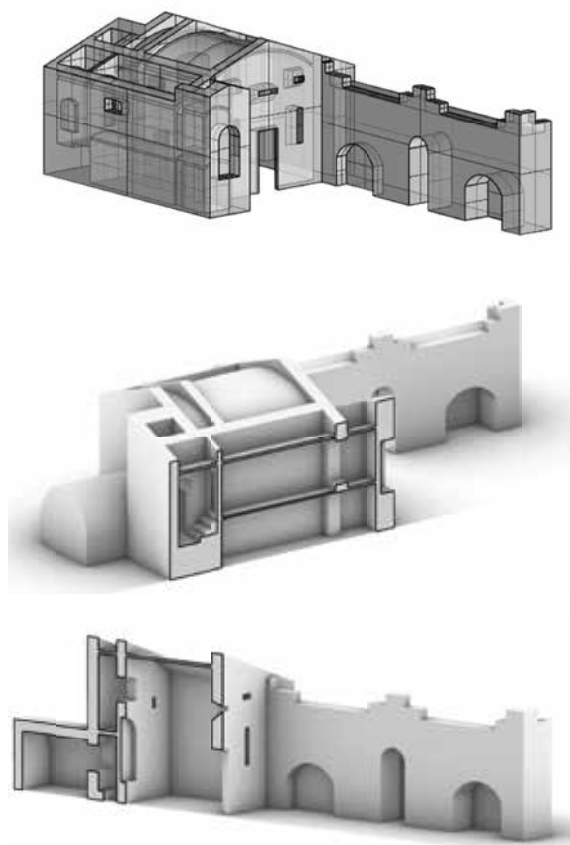


Fig. 9. Modello geometrico 3D realizzato con Rhinoceros, e sezioni

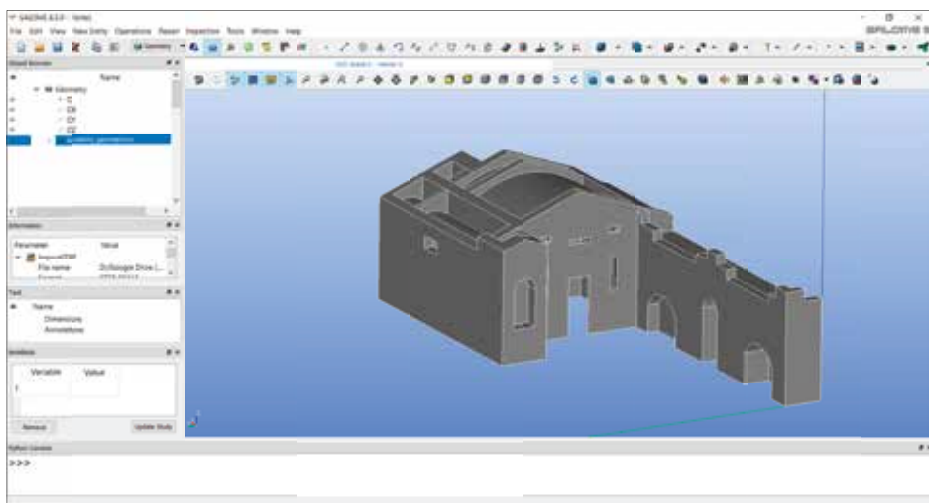


Fig. 10. Importazione Geometria

Per differenziare le varie parti del complesso, sia in termini di proprietà meccaniche dei materiali sia di condizioni di carico, si è reso necessario partizionare il modello. L'operazione ha riguardato di fatto le parti delle volte, realizzate in laterizio e soggette ai carichi distribuiti di massetti, pavimentazioni e manti di copertura.

Definiti gli enti geometrici necessari ai fini dell'analisi sono stati creati vari gruppi. In particolare: "Volte", vi confluiscono tutte le sub-shapes delle parti voltate realizzate in laterizio; "Pareti", comprendente tutti gli elementi verticali e realizzati con muratura a sacco; "Base", contenente la superficie di base e a cui assegnare poi le condizioni di incastro.

Completate le operazioni sulla geometria, il modulo SMESH di Salome_meca consente la discretizzazione del modello geometrico (Figura 11). È stata adottata la Automatic Tetrahedralization, con il valore della lunghezza massima impostato a 200 mm, sulla quale è stato effettuato un controllo di qualità complessiva attraverso lo strumento "Overall mesh quality".

La gestione delle analisi (un'analisi statica e un'analisi modali lineare, in particolare) è stata effettuata impiegando il modulo AsterStudy di salome_meca che rimanda al solutore code_aster impiegando una modellazione 3D per fenomeni meccanici. Le caratteristiche dei materiali, stimate sulla base dei riferimenti di normativa, sono state così assegnate ai relativi gruppi della mesh.

Sulla base dell'osservazione visiva della tipologia costruttiva effettuata nel corso della campagna di rilievo, è stato possibile individuare due principali tecniche costruttive, una adottata per la realizzazione delle pareti portanti della struttura ed un'altra impiegata per le volte che coprono i vari ambienti. Per le pareti verticali, anche in virtù dei loro notevoli spessori, si è ipotizzato delle murature a sacco, per le volte si è osservato una tessitura muraria in laterizio. Gli elementi decorativi, non introdotti nel modello strutturale, sono realizzati in pietra serena e alberese locale.

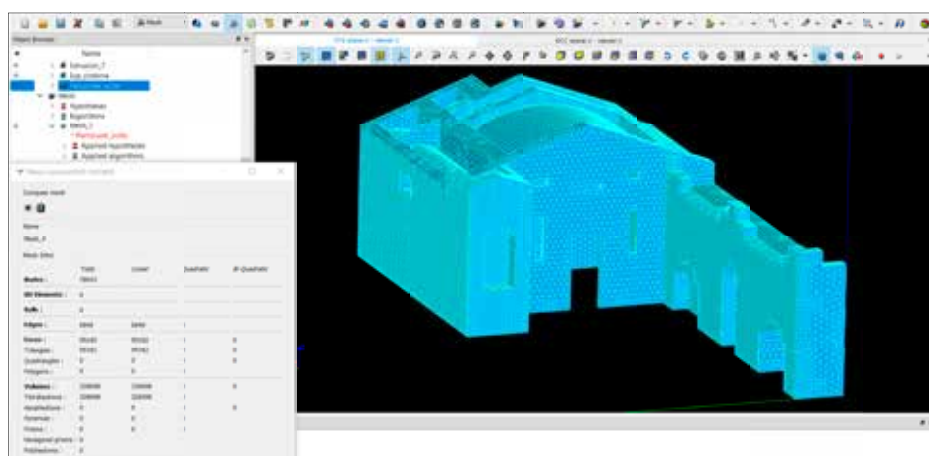


Fig. 11. Computazione della mesh

Per le murature degli elementi verticali delle pareti perimetrali, e per alcune partizioni interne, si è quindi fatto riferimento alle caratteristiche meccaniche indicate in Normativa per le murature a sacco. La presenza del rivestimento intonacato non consente una lettura esaustiva della tessitura muraria, fatta eccezione per quelle esigue porzioni in cui siano presenti lacune o si siano verificati distacchi. Le pareti verticali presentano elementi lapidei disordinati e molto eterogenei sia per qualità sia per la forma. I notevoli spessori (oltre i 50 cm) lasciano supporre la presenza di materiale interno di riempimento della muratura a sacco, oppure una tecnica costruttiva multistrato. La malta risulta di scarsa qualità e, in molte porzioni, mal conservata. Pertanto, è stato ragionevole assumere, tra le categorie proposte in normativa, la tipologia "muratura in pietrame disordinata". Le volte che realizzano le coperture dei locali sono invece realizzate in laterizio. I ricorsi di malta, stando alle osservazioni possibili, risultano di notevole spessore e ben oltre i 10 mm previsti come limite per poterli considerare giunti sottili. Per queste è stata presa a riferimento la classe "muratura in mattoni pieni e malta di calce".

Per quanto riguarda i carichi agenti, si evidenzia come la copertura del complesso sia realizzata attraverso un manto di coppi e marsigliesi. Lo spazio tra l'estradosso delle volte e lo strato superficiale è riempito con inerti che fungono da piano di appoggio per la copertura stessa. I carichi agenti per unità di superficie sono stati

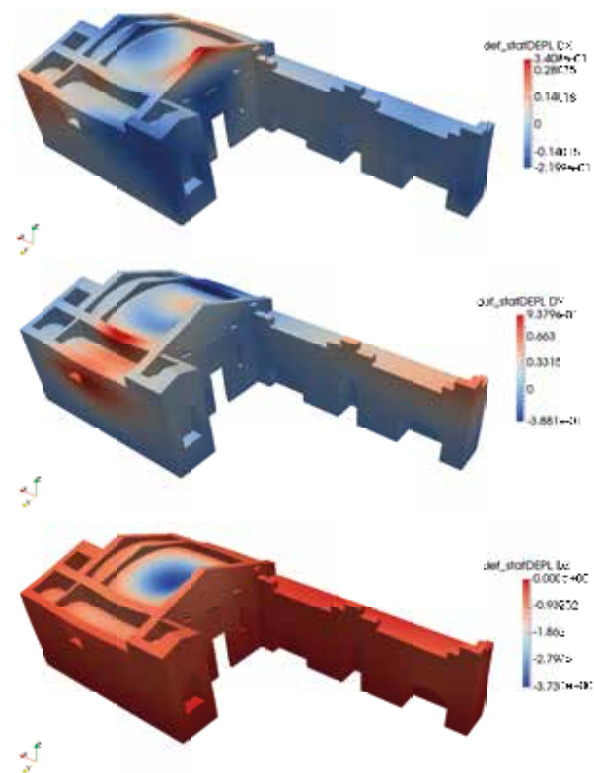


Fig. 12. Campo di spostamento nelle direzioni x, y e z (mm)

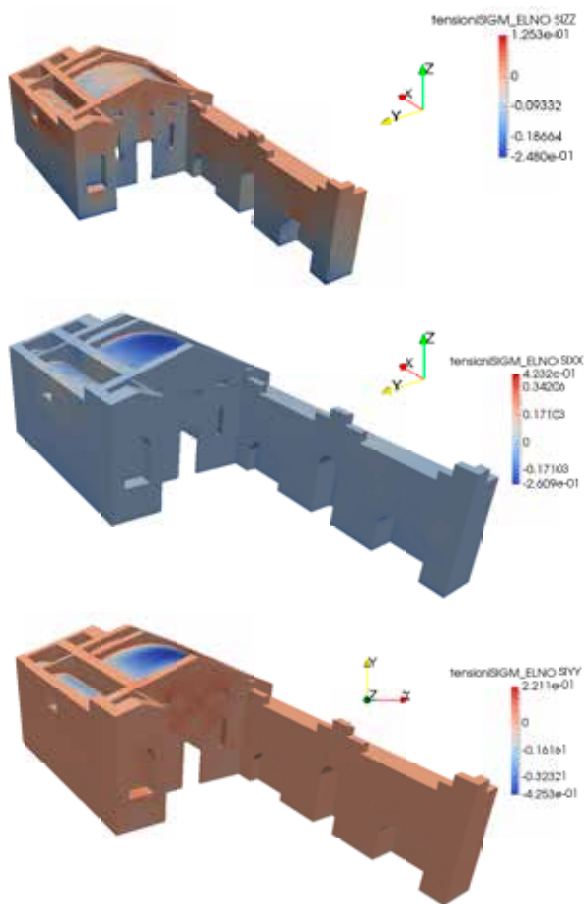


Fig. 13. Campo di tensione nelle direzioni x,y e z (mm)

calcolati dividendo il carico dei volumi di riempimento per la superficie estradossale delle volte. Le pavimentazioni degli ambienti al primo piano sono costituite da lastre di pietra arenaria locale dello spessore di circa 3 cm. Per quanto riguarda le condizioni di vincolo è stato assunto un vincolo di incastro alla base delle fondazioni, modellate mediante un ingrossamento della porzione basamentale e supposte di profondità pari a circa 50 cm. A titolo esemplificativo, la Figura 12 e la Figura 13 riportano il campo di spostamento e l'impegno tensionale nelle strutture murarie della Fonte dovuto ai carichi statici mentre la Figura 14 riporta le prime 10 forme (e frequenze) modali ottenute con il modello numerico. In assenza di una specifica campagna diagnostica finalizzata ad acquisire quegli elementi necessari ad identificare il modello numerico ed accertare tipologia ed estensione del sistema di fondazione e, i risultati debbono essere interpretati come un primo avvicinamento a carattere metodologico all'analisi del comportamento strutturale del complesso. Nondimeno, pur con le limitazioni evidenziate, il modello consente di ottenere un quadro preliminare circa l'impegno statico dei setti murari e il comportamento dinamico del complesso utile per futuri approfondimenti.

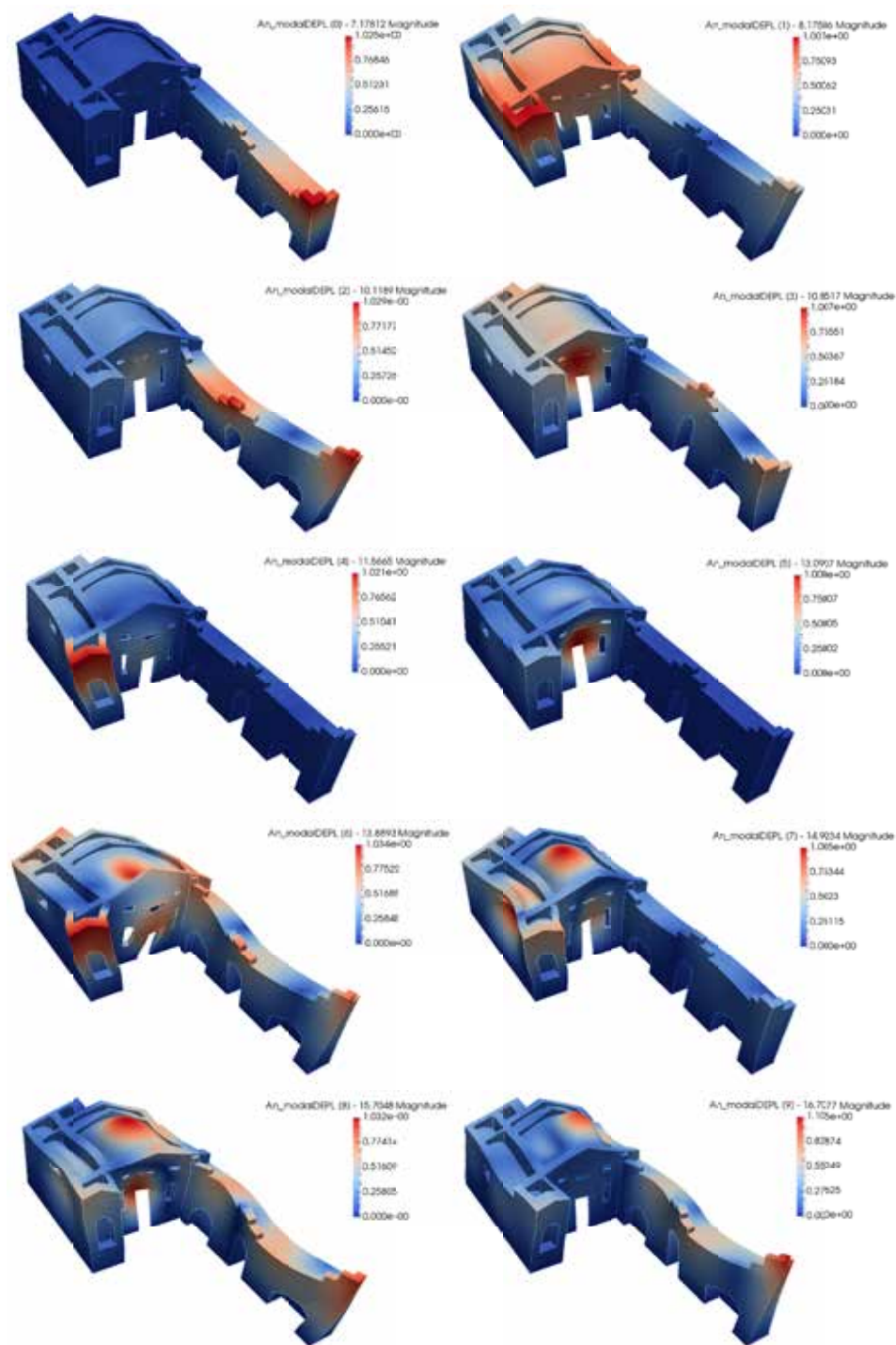


Fig. 14. Forme modali e frequenze

CONCLUSIONI

La presente memoria ha inteso fornire un contributo metodologico finalizzato alla conservazione e all'analisi strutturale del complesso "Fonte della Fata Morgana". La creazione di un modello H-BIM per il patrimonio storico-culturale richiede lo sviluppo di un articolato processo di gestione delle informazioni in grado di includere le fasi di implementazione dei dati sia geometrici che informativi. Questo deve essere poi integrato con le esigenze di semplificazione geo-

metrica connesse alle fasi di modellazione numerica. In una prima parte il contributo ha cercato di porre attenzione alla definizione dei flussi informativi e al controllo delle fasi operative coinvolte nella modellazione informativa, considerando la validazione del processo di gestione delle informazioni (uno degli aspetti più critici nell'implementazione del modello), che può dar luogo a significative perdite di dati nella transizione delle fasi. Successivamente viene presentata una prima modellazione numerica del complesso con lo sviluppo di alcune prime semplici analisi. Data l'assenza di una specifica campagna sperimentale volta a caratterizzare le proprietà meccaniche dei materiali e ad approfondire la tecnica costruttiva, le analisi qui riportate sono esposte a solo titolo esemplificativo. Presentando il caso studio del complesso "Fonte della Fata Morgana", il contributo ha inteso fornire alcuni primi elementi di natura metodologica e informativa per successivi approfondimenti.

RINGRAZIAMENTI E RICONOSCIMENTI

Si ringrazia il Comune di Bagno a Ripoli per avere consentito l'accesso alla Fonte della Fata Morgana. Il modello H-BIM del Ninfeo è stato eseguito da Neri Banti, Andrea Bongini e Chiara Bonini con la supervisione di Paolo Ottobri e Carlo Biagini. Il modello FEM del Ninfeo è stato realizzato da Neri Banti e Leonardo Corsetti con la supervisione di Michele Betti e Vladimir Cerisano Kovacevic.

BIBLIOGRAFIA DI RIFERIMENTO

- Benevento M. L., Fanelli G. Un'architettura del Giambologna: il ninfeo della villa Il riposo nei dintorni di Firenze. Editrice tecnica fiorentina, Firenze, 1961.
- Bernardi C., Bertonelli F. HYDOR AULÒS: L'ACQUA, I CONDOTTI, IL RESTAURO DELLA FONTE DELLA FATA MORGANA. Tesi di Laurea in Architettura, 2017. Relatori: M. Di Benedetto, V. Vaccaro, L. Zangheri.
- Betti M., Bartoli G., Corazzi R., Kovačević V. (2012). Strumenti Open Source per l'ingegneria strutturale. Modellazione meccanica non lineare di edifici in muratura. Bollettino Ingegneri, Vol. LX (12), pp. 3-15.
- Biagini C., Capone P., Donato V., Facchini N. (2015). "IT Procedures for simulation of historical building restoration site". Proceeding of 32nd ISARC, Oulu, Finland, 15-18 June 2015, pp. 1-8.
- Biagini C., Ottobri P., Banti N., Bongini A. (2020). Validation processes of H-BIM models: a case study. IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering, Vol. 949, pp. 1-10.
- Borghini R. Il Riposo. Marescotti, Firenze, 1584.
- Ceccanti C. (2014). Il Riposo presso Grassina: Giambologna e un "parco diffuso" del secondo Cinquecento. Bollettino della Società Toscana di Orticultura, Vol. 1, pp. 8-15.

- Murphy M., McGovern E., Pavia S. (2013). Historic Building Information Modelling - Adding intelligence to laser and image based surveys of European classical architecture. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, Vol. 76, pp. 89-102.
- Volk R., Stengel J., Schultmann F. (2014). Building Information Modeling (BIM) for existing buildings - Literature review and future needs. Automation in Construction, Vol. 38, pp. 109-127.

Neri BANTI ha conseguito la laurea magistrale in Ingegneria Edile presso l'Università degli Studi di Firenze nel 2020. Ingegnere, è stato titolare di borsa di ricerca sul tema "Gestione di asset immobiliari attraverso l'utilizzo di metodologie e strumenti BIM" presso il Dipartimento di Architettura dell'Università di Firenze. A partire dal 2020 è dottorando del XXVI ciclo dell'International Doctorate in Civil and Environmental Engineering della medesima Università. La sua attività di ricercar verte sul tema della riqualificazione integrata del patrimonio costruito esistente, con particolare attenzione al tema dell'edificato prefabbricato di natura industriale, e all'impiego di sistemi attivi di produzione di energia da fonti rinnovabili.

Vladimir CERISANO KOVACEVIC, consegue la laurea Magistrale in Ingegneria Civile nel 2012 presso la Facoltà d'Ingegneria dell'Ateneo Fiorentino. Attualmente è CEO dello spin-off universitario Kobe Innovation Engineering, che ha come obiettivo il trasferimento di metodologie scientifiche in ambito applicativo e professionale, e promuove l'utilizzo di strumenti open source per la modellazione numerica. Tra gli interessi si ricordano l'ottimizzazione strutturale, la ricerca di forma, la modellazione numerica avanzata e il monitoraggio strutturale oltre allo sviluppo di codici per applicazioni ingegneristiche nel settore civile.

Michele BETTI, laureato in Ingegneria Civile nel 1996, è Professore Associato di Scienza delle Costruzioni presso la Scuola di Ingegneria dell'Università di Firenze. Tra i suoi interessi di ricerca si segnalano l'identificazione strutturale e le tematiche inerenti la vulnerabilità sismica di edifici esistenti in muratura. È autore nel 2019, con Luciano Galano, del volume "Elementi di statica delle costruzioni storiche in muratura" pubblicato da Esculapio Editore.

Carlo BIAGINI, ingegnere civile, è professore associato di Disegno presso il Dipartimento di Architettura dell'Università di Firenze, ove svolge attività di ricerca sui temi del rilievo di architettura e del Building Information Modeling. Dal 2018 è Coordinatore del Master di II livello, "BIM per la gestione dei processi progettuali collaborativi in edifici nuovi ed esistenti". Fino al giugno 2022 è stato Presidente dell'Ordine degli Ingegneri della Provincia di Arezzo.

Il Ninfeo del Giambologna: una fonte in cerca di nuovi mecenati fra pubblico e privato

Silvia DIACCIATI

Proprietà di privati per tanti secoli, il Ninfeo del Giambologna o Fonte della fata Morgana è stato donato al Comune di Bagno a Ripoli nel 1996. Tra fine anni Novanta e primi anni Duemila, è stato oggetto di un accurato restauro, che tuttavia mostra ormai i segni del rinnovato trascorrere del tempo. L'edificio necessita di interventi di manutenzione di varia natura, ma anche di valorizzazione. È così che negli ultimi anni l'amministrazione comunale ha cercato di attivare più canali possibili per richiamare l'attenzione su quel pregevole e curioso manufatto e coinvolgere i soggetti, pubblici e privati, potenzialmente interessati a contribuire alla sua conservazione e restauro.

Nel maggio 2018 un invito a manifestare la disponibilità a sostenere interventi in favore del Ninfeo, mediante sponsorizzazione economica o tecnica, è stato indirizzato a società, imprese e privati, mentre all'anno seguente risale la sigla della collaborazione con l'Associazione Giardino Corsini: la raccolta fondi organizzata in occasione della XXVI edizione della mostra *Artigianato e Palazzo: botteghe artigiane e loro committenze*, tenutasi nel Giardino Corsini a Firenze nel settembre 2020, è stata così dedicata al Ninfeo. Il progetto, *Giambologna e la fata Morgana*, ha consentito la realizzazione di una copia fedele della *Statua di fata Morgana* (l'originale fu appositamente creato per la fonte dallo scultore fiammingo, ma da secoli è in mano privata), oltre alla raccolta di donazioni per il recupero e la valorizzazione dell'edificio e del suo apparato decorativo.

Nello stesso anno la giunta comunale ha provveduto all'approvazione dello studio di fattibilità tecnico-economica a tutela del Ninfeo del Giambologna per il ripristino degli antichi acquidotti e la creazione di nuove trincee drenanti, un intervento per la cui realizzazione è stato stimato un costo di 250mila euro, cifra inserita nelle previsioni di bilancio per l'annualità 2023. Nel dicembre del 2020, infine, tra Soprintendenza Archeologia, belle Arti e Paesaggio della Città metropolitana di Firenze e delle province di Pistoia e Prato e Comune di Bagno a Ripoli è stato sottoscritto un protocollo d'intesa finalizzato alla promozione e all'esecuzione di un intervento organico di conservazione e restauro della Fonte, all'attuazione di iniziative

congiunte per un'efficace opera di tutela e valorizzazione, e alla restituzione del monumento alla fruizione della collettività. Con la sigla del protocollo Comune e Soprintendenza si impegnavano anche nella ricerca dei finanziamenti necessari agli interventi, stimabili in circa 500mila euro.

Nel 2021 il Comune di Bagno a Ripoli ha quindi presentato domanda di partecipazione al bando della Fondazione CR Firenze "Tutela e valorizzazione del patrimonio storico-artistico", risultando tra i progetti vincitori meritevoli di finanziamento. Ha provveduto altresì a attivare la procedura di art bonus per 'Interventi di manutenzione, protezione e restauro di beni culturali pubblici': collegandosi al sito di riferimento, qualsiasi privato può oggi decidere di sostenere 'MORGANA. Progetto per interventi di restauro e valorizzazione del complesso detto Ninfeo del Giambologna o Fonte della Fata Morgana'.

Grazie alla partecipazione al Bando Ambiente 2021 di Publiacqua S.p.A e al contributo riconosciuto a titolo di sponsorizzazione, il Comune ha recentemente realizzato il progetto "Il sentiero di Morgana. Acqua dell'utile e di delizie": un itinerario segnato da apposita cartellonistica, che dal centro di Grassina giunge fino al Ninfeo, conducendo il visitatore nei luoghi di maggior interesse, illustrati tramite una webapp utilizzabile da dispositivo mobile con tre tipologie diverse di visita (classica, per non udenti e per non vedenti). L'obiettivo è ancora una volta quello di incentivare la conoscenza del patrimonio storico, ambientale, artistico e culturale presente lungo il percorso.

Silvia DIACCIATI è dottore di ricerca in Storia medievale. Ha pubblicato libri e saggi di storia dell'Italia comunale, in particolare Popolani e magnati. Società e politica nella Firenze del Duecento (Spoleto 2011), Come albero fiorito. Firenze tra Medioevo e Rinascimento (con E. Faini, L. Tanzini, S. Tognetti, Firenze 2016), Il Barone. Corso Donati nella Firenze di Dante (Palermo 2021) e Bagno a Ripoli. Il giardino di Firenze (con Andrea Rontini, Firenze 2022). È responsabile dell'ufficio cultura del Comune di Bagno a Ripoli.