QuAD
QUADERNI di ARCHITETTURA e DESIGN

7|2024

Knowledge and design for heritage

a cura di Francesco Defilippis e Darío Álvarez Álvarez

Paola Abbiati · Maria Cristina Addis · Vincenzo Paolo Bagnato · Alberto Attilio Bassi · Francesco Bergamo · Francisco Cotallo Blanco · Alessandra Bosco · Alessandro Brunelli · Fiorella Bulegato · Lucilla Calogero · Annapaola Carrano · Cristina Casadei · Luca Cei · Santi Centineo · Miguel Angel Chaves · Mario Ciaramitaro · Giulia Ciliberto · Sandra Coppola · Pietro Costa · Elena Dellapiana · Serena Del Puglia · Adriano Dessì · Stefania D'Eri · Loredana Ficarelli · Luigi Franciosini · Claudio Gambardella · Giacomo Girocchi · Lara Redondo Gonzàles · Laura María Làzaro San Joé ·Antonio Labalestra · Andrea Lancia · Angeles Layuno · Monica Livadiotti · Valeria Longo · Ana Muňoz López · Marco Mannino · Nicola Marzot · Jesú de los Ojos Moral · Antonio Nitti · Marina Parente · Daniele Ragno · Daniele Romagnoli · Mirco Romano · Valentina Santoro · Andrea Scalas · Marco Scotti · Giulia Anna Squeo · Mariangela Turchiarulo · Valentina Vacca · Valeria Valeriano

Edizioni Quasar

7|2024 Sommario

v Editoriale
Francesco Defilippis

Knowledge and design for heritage
Curatori: Francesco Defilippis, Darío Álvarez Álvarez
con Nicola Scardigno, Giuseppe Tupputi

Architettura

5 Restauro e valorizzazione del Complesso delle Sette Sale a Colle Oppio
Luigi Franciosini

27 Anche gli antichi erano moderni. Progetto per la *Neapolis* di Siracusa
Marco Mannino

43 Per un'idea di 'forma composita': prolegomeni ad un progetto di conservazione e valorizzazione per l'area del Pretorio a Gortyna di Creta
Monica Livadiotti, Antonio Nitti, Valentina Santoro

79 Dell'assemblare. Trasposizioni della tettonica nuragica nel progetto contemporaneo
Andrea Scalas

97 Paesaggi archeologici rinnovati.
Approcci e tecniche per una riconfigurazione critica
Giulia Anna Squeo

115 La propaganda culturale. Dal luogo reale al luogo strumento della memoria nostalgica
Cristina Casadei

127 Progetto e materialità nel paesaggio archeologico. Esperienze di intervento nelle ville romane di Castilla y León
Laura María Làzaro San Joé, Lara Redondo Gonzàles, Ana Muñoz López

145 Un patrimonio fertile. Abitare e produrre. L'architettura della produzione nei monasteri e nelle masserie
Francisco Cotallo Blanco, Jesú de los Ojos Moral

163 Post-industrial cities and landscape: three model of interventions in Segovia (Spain)
Angeles Layuno, Miguel Angel Chaves

185 Risignificare una rovina contemporanea.
La trasformazione del mercato di Braga di E.S.M.
Alessandro Brunelli

199 La bellezza di scrivere sopra. Il recupero del *moinho do papel* a Leiria di Álvaro Siza
Adriano Dessì

215 Il patrimonio militare oltre la dismissione. Il progetto per la ex Caserma Magrone di Bari
Loredana Ficarelli, Mariangela Turchiarulo, Valentina Vacca

231 Il patrimonio transitorio della "città che si rinnova". Lo spazio espositivo per il commercio tra le due guerre come indice di modernità
Antonio Labalestra, Valeria Valeriano

261 FIAT: Programma Cultura e Industria
Elena Dellapiana, Giacomo Girocchi

279 Da involucro edilizio a ordine architettonico come espressione del rapporto tra spazio e struttura. Un restauro di Peter Märkli su un edificio modernista zurighese
Daniele Ragno

299 Reinterpretare il patrimonio rurale. L'opera di Danilo Guerri tra integrazione e ricostruzione
Valeria Longo

315 L'abbandono del patrimonio edilizio. La mappatura del fenomeno come critica del concetto e premessa alla sua rigenerazione
Nicola Marzot

333 "Com'era, dov'era"... cos'era (e cos'è)? I progetti di concorso per la ricostruzione de La Fenice di Venezia
Santi Centineo

353 Ricomposizioni: dal digitale al reale. Modelli reality-based per il progetto di Restauro
Luca Cei, Daniele Romagnoli

Design

369 Memoria e identità: l'esperienza al centro dei processi di valorizzazione
Alessandra Bosco, Lucilla Calogero, Mario Ciaramitaro

389 I patrimoni della moda. Le strategie di valorizzazione de Le 19M
Sandra Coppola

399 Patrimoni culturali invisibili. Il design per l'archivio musicale digitale di Fondazione Levi
Paola Abbiati, Francesco Bergamo, Fiorella Bulegato, Pietro Costa, Stefania D'Eri, Andrea Lancia

417 Territori minori e comunità progettanti. Il design per la rigenerazione di patrimoni e valori laocali
Marina Parente

437 Il progetto di design per i paesaggi dell'estrazione. Riflessione sui criteri e le strategie di intervento di fruizione per i comprensori di cave attive
Vincenzo Paolo Bagnato

457 *Italian atmorpheres*. Punti di vista digitali per la conoscenza dei paesaggi italiani
Annapaola Carrano, Claudio Gambardella, Mirco Romano

475 Musei contemporanei e comunità. Design per la narrazione dei patrimoni. Esporre oggetti del quotidiano
Serena Del Puglia

491 Il capitale intangibile d'impresa. Patrimonio e Made in Italy, archivi-musei, ruolo del design
Alberto Attilio Bassi, Maria Cristina Addis, Giulia Ciliberto, Marco Scotti

QuAD

Quaderni di Architettura e Design

Dipartimento di Architettura, Costruzione e Design – Politecnico di Bari

www.quad-ad.eu

Direttore
Gian Paolo Consoli

Responsabile scientifico della Sezione Design
Rossana Carullo

Caporedattore
Valentina Castagnolo

Comitato scientifico
Giorgio Rocco (Presidente), Antonio Armesto, Salvatore Barba, Michele Beccu, Vincenzo Cristallo, Daniela Esposito, Riccardo Florio, Angela Garcia Codoner, Maria Pilar Garcia Cuetos, Roberto Gargiani, Imma Jansana, Loredana Ficarelli, Fabio Mangone, Nicola Martinelli, Giovanna Massari, Dieter Mertens, Carlo Moccia, Elisabetta Pallottino, Mario Piccioni, Christian Rapp, Raimonda Riccini, Augusto Roca De Amicis, Michelangelo Russo, Uwe Schröder, Cesare Sposito, Fani Mallochou-Tufano, Claudio Varagnoli

Comitato Editoriale
Roberta Belli Pasqua, Francesco Benelli, Guglielmo Bilancioni, Fiorella Bulegato, Luigi Maria Caliò, Rossella de Cadilhac, Luisa Chimenz, Fabrizio Di Marco, Elena Della Piana, Fernando Errico, Federica Gotta, Francesco Guida, Gianluca Grigatti, Luciana Gunetti, Matteo Ieva, Antonio Labalestra, Massimo Leserri, Monica Livadiotti, Marco Maretto, Anna Bruna Menghini, Giulia Annalinda Neglia, Valeria Pagnini, Marco Pietrosante, Vittorio Pizzigoni, Beniamino Polimeni, Gabriele Rossi, Dario Russo, Rita Sassu, Francesca Scalisi, Lucia Serafini

Redazione
Mariella Annese, Marco Chiricallo, Roberta Di Bari, Nicoletta Faccitondo, Antonello Fino, Giuseppe Fraddosio, Tania Leone, Marco Muafò, Domenico Pastore, Vito Quadrato, Valentina Santoro, Nicola Scardigno, Giuseppe Tupputi, Valeria Valeriano

Anno di fondazione 2017

Luca Cei, Daniele Romagnoli
Ricomposizioni: dal digitale al reale. Modelli reality-based *per il progetto di Restauro*

Il contenuto risponde alle norme della legislazione italiana in materia di proprietà intellettuale ed è di proprietà esclusiva dell'Editore ed è soggetta a copyright. Le opere che figurano nel sito possono essere consultate e riprodotte su supporto cartaceo o elettronico con la riserva che l'uso sia strettamente personale, sia scientifico che didattico, escludendo qualsiasi uso di tipo commerciale. La riproduzione e la citazione dovranno obbligatoriamente menzionare l'editore, il nome della rivista, l'autore e il riferimento al documento. Qualsiasi altro tipo di riproduzione è vietato, salvo accordi preliminari con l'Editore.

Edizioni Quasar di Severino Tognon s.r.l., via Ajaccio 41-43, 00198 Roma (Italia)
http://www.edizioniquasar.it/

ISSN 2611-4437 - eISBN 978-88-5491-444-5

Tutti i diritti riservati

Luca Cei, Daniele Romagnoli, *Ricomposizioni: dal digitale al reale. Modelli reality-based per il progetto di Restauro,* QuAD, 7, 2024, pp. 353-368.

Gli articoli pubblicati nella Rivista sono sottoposti a referee nel sistema a doppio cieco.

Ricomposizioni: dal digitale al reale

Modelli *reality-based* per il progetto di Restauro

Luca Cei, Daniele Romagnoli

Università degli Studi di Ferrara | Dipartimento di Architettura -
ceilcu@unife.it, rmgdnl@unife.it

Reassembling architectural fragments or sculptural models has always been particularly impotant in the case of restoration projects of heritage damaged by traumatic events. This process, based on a recognition of the recovered fragments, usually relies on two-dimensional graphics as well as on a series of on-site reassembly attempts aimed at identifying the most coherent placement of the elements and the amount of reintegration. Verifying in advance the design outcomes through the possibilities offered by 3D models originated by automatic processes (photogrammetry and 3D detail scanner), allow the optimization of the site process by limiting potentially deleterious handling actions and eventually achieving an economic computation specifying often arbitrary 'lump sum' quantifications. Through the description of some case studies related to stone artifacts damaged by seismic events, collapsed due to static deficiencies or disgregative phenomena, the article aims to describe a methodology that uses the virtual reassembly of fragments to formulate a reasoned design that facilitates on-site operations.

La ricomposizione di frammenti architettonici o modellati scultorei riveste da sempre una particolare importanza in caso di progetti di restauro relativi a beni danneggiati da eventi traumatici. Tale processo, basato su una ricognizione dei frammenti recuperati, è solitamente affidato, oltre che a elaborati grafici bidimensionali, ad una serie di tentativi di rimontaggio a piè d'opera funzionali ad identificare la collocazione più coerente degli elementi e l'entità delle reintegrazioni necessarie. Verificare in anticipo gli esiti progettuali attraverso le possibilità offerte dai modelli tridimensionali originati da processi automatici (fotogrammetria e scanner 3D di dettaglio), può consentire di ottimizzare il processo di cantiere limitando al minimo le azioni di movimentazione potenzialmente deleterie e giungendo infine ad una computazione economica che dettagli quantificazioni 'a corpo' spesso arbitrarie. Attraverso la descrizione di alcuni casi studio relativi a manufatti lapidei danneggiati da eventi sismici, crollati a causa di deficienze statiche o di fenomeni disgregativi l'articolo intende descrivere una metodologia che sfrutti il rimontaggio virtuale dei frammenti per formulare un progetto ragionato che agevoli le operazioni in fase di cantiere.

Keywords: *reassembling, digital photogrammetry, 3D scanner, simulation, fragments*
Parole chiave: *rimontaggio, fotogrammetria digitale, scanner 3D, simulazione, frammenti*

▪ *Introduzione*

Il restauro, inteso come «intervento volto a conservare e a trasmettere al futuro ... le opere di interesse storico, artistico e ambientale»[1], si confronta da sempre con il tema della risoluzione del testo architettonico. L'obiettivo è quello di riconoscere i valori dell'architettura storica e, conseguentemente, di ritrovare la coerenza di un testo architettonico qualora «mutilo o dissestato o manomesso o degradato»[2]. Per sua natura questo intervento si distingue dalle opere di manutenzione, costanti e continuative nel tempo, assumendo tendenzialmente un carattere di eccezionalità che si rende ancor più doveroso in occasione di eventi traumatici legati a disastri derivanti da fenomeni naturali, come eventi idrometeorologici o sismici. Va notato, tra l'altro, come l'incidenza di questi fenomeni sia in aumento a causa della crescita della pericolosità (ovvero per i cambiamenti climatici) oltre che dall'incremento di vulnerabilità ed esposizione del patrimonio[3]. Vanno inoltre annoverati tra gli eventi traumatici i danni di tipo antropico causati da azioni belliche o terroristiche. Se in un contesto europeo i conflitti bellici sembravano scomparsi dopo la Seconda Guerra Mondiale, i fronti aperti dimostrano purtroppo l'attualità di questi fenomeni. Inoltre, fuori dal contesto Europeo, esistono aree a forte valenza storico-culturale (Medio Oriente, Asia, Africa, etc.) dove le guerre sono ancora una realtà attuale[4]. Ugualmente di natura traumatica sono da considerarsi i crolli ed i danni causati dall'incuria prolungata e dall'abbandono, che generano spesso lacune di estensione analoga a quella dei traumi di natura naturale e antropica.

In questo quadro, l'intervento di restauro trova spesso motivo di confrontarsi con processi di reintegrazione e ricostituzione di apparati architettonici che può avvenire in modalità differenti a seconda del tipo e dell'estensione del danno, ovvero del materiale con cui si deve operare, nonché dell'approccio metodologico legato ad una visione di "scuola". In tale processo, quando l'evento traumatico è particolarmente rilevante, si deve spesso gestire da un lato un corpo architettonico fortemente danneggiato e talvolta in rovina, e dall'altro le macerie risultanti dai crolli e dalle demolizioni[5]. Posta la necessità di effettuare una cernita di queste seconde, prevedendo il loro accantonamento, si pone il tema del loro riutilizzo, che sarà valutato in maniera differente a seconda della riconducibilità o meno dell'elemento. Se spesso le macerie non sono che materiale incoerente di poca utilità per il processo ricostruttivo, è anche vero che con buona frequenza sono presenti manufatti in pietra scolpita (sono rarissimi casi di altri materiali)[6] che consentono processi di ricomposizione assimilabili all'anastilosi. Questo termine, mutuato dal campo archeologico, indica un ri-assemblaggio degli elementi per semplice giustapposizione, con un limitato apporto di materia nuova per le parti mancanti. Tale processo, definibile in maniera più ampia come "ricomposizione", è spesso parte integrante dei progetti di restauro e può investire singoli manufatti statuari fino a complesse porzioni architettoniche, necessitando spesso di un'approfondita ricerca teorica in merito alla riconducibilità o meno dei frammenti e al trattamen-

to delle lacune da svolgersi in relazione alla consistenza materiale degli elementi. Il presente articolo intende valutare le possibilità offerte per il controllo di tale processo dagli strumenti digitali, ed in particolare da processi di modellazione automatizzati come fotogrammetria e laser di precisione. In particolare, si intende analizzare attraverso l'applicazione ad alcuni casi studio, l'efficacia dei modelli *reality-based* nel fornire un valido apporto alla ricomposizione di manufatti lapidei frammentati, consentendo di analizzare *ex-ante* i margini di rottura degli elementi, prefigurare assemblaggi (anche in varie versioni) e valutare l'effettiva consistenza dei frammenti. Ciò consente di rendere più efficace l'assemblaggio, riducendo gli spostamenti di frammenti talvolta pesanti o fragili, e migliorare computazioni economiche spesso eseguite a corpo, anticipando operazioni progettuali che, se demandate alla fase di cantiere, potrebbero invece richiedere modifiche in corso d'opera, alla luce della effettiva consistenza e ricomponibilità dei frammenti.

▪ *Stato dell'arte*

Il processo di ricomposizione di elementi architettonici frammentati in ambiente digitale è un tema che viene indagato dalla letteratura scientifica ormai da più di un decennio[7], sebbene le ricerche abbiano subito una grande accelerazione con il miglioramento dei *software* fotogrammetrici negli ultimi anni. Al momento, tale ricerca è però comunque legata ad un ambito sperimentale, con ricadute sul piano della prassi operativa ancora limitate. Le operazioni di ricomposizione sono perlopiù affidate a tecnici restauratori che, per successivi tentativi, riallineano fisicamente i conci. Attraverso tale procedura si è giunti ad esiti encomiabili tra i quali vale la pena citare, solo per menzionare alcuni esempi recenti, la transenna ed il rosone di San Salvatore a Campi di Norcia o il portale della chiesa di Sant'Antonio Abate di Frascaro di Norcia, smembrati con il sisma del 2016. Le operazioni, svolte presso idonei ambienti fuori dal cantiere[8], comportano un notevole impegno da parte di vere e proprie équipe di restauratori che, contestualmente al preconsolidamento delle opere, ricompongono il delicato puzzle architettonico (*fig. 1*). Nello specifico, il processo[9] prevede la movimentazione finalizzata al riconoscimento dei frammenti con contestuale catalogazione e schedatura. A ciò segue il rilievo dei singoli frammenti e del loro degrado. Gli elementi vengono poi puliti dai depositi più grossolani, per procedere con la ricerca delle superfici di attacco dei pezzi. Viene così ricomposto a terra l'elemento architettonico, per procedere con il restauro delle singole parti e il progetto della reintegrazione. Ciò comporta un notevole sforzo in termini economici, nonché di impegno di figure professionali, il quale, nei casi sopra citati, è stato sostenuto grazie all'apporto di capitale privato tramite l'Art Bonus.

Tale flusso di lavoro implica una notevole movimentazione dei pezzi alternata a fasi conoscitive che richiedono una serie di differenti professionalità. Questo processo, se non viene finalizzato prima dell'inizio del cantiere relati-

Fig. 1. Spoleto (PG), Deposito di Santo Chiodo, alcune ricomposizioni effettuate a seguito del sisma del 2016 (foto di Massimo Achilli), pubblicate nel 2019-2021 sui canali social del Deposito di Opere d'Arte di Santo Chiodo, gestito dalla Soprintendenza Archeologia Belle Arti e Paesaggio dell'Umbria). A sinistra la transenna ed il rosone della chiesa di San Salvatore a Campi di Norcia, a destra il portale di Sant'Antonio Abate a Frascaro.

vo alla fabbrica, eventualmente attraverso una linea separata di finanziamento, può comportare un ritardo nella conclusione dei lavori, nonché un ampio margine di incertezza in fase progettuale, dove risulta difficile stimare la mole di elementi da ricomporre e, di conseguenza, la natura delle reintegrazioni.

▪ *Approcci tridimensionali per il progetto di conservazione e di ricomposizione*

Il settore dell'edilizia manifesta ormai da tempo l'esigenza di gestire l'insieme dei processi legati al costruire attraverso dati tridimensionali. Sintomatici di questa tendenza sono sicuramente la modellazione BiM (*Building Information Modeling*) e i database GIS (*Geographic Information System*), che da qualche anno supportano la terza dimensione. Non sfugge a tutto questo il restauro, anche se storicamente più inerziale degli altri settori edilizi: *laser scanner* a tempo di volo, droni o *scanner* ancora più sofisticati, come quelli a luce strutturata, ormai si presentano come strumenti indispensabili alla redazione di un progetto conservativo al passo con i tempi. Da queste premesse muove la presente ricerca, che mira a proporre un metodo di acquisizione ed elaborazione del dato capace di fornire agli esecutori in cantiere elaborati in tre dimensioni, più aderenti alla realtà, indefinitamente interrogabili e forieri di informazioni e significati finora imprevisti.

Nell'ambito di un contesto monumentale danneggiato da evento traumatico, sfruttare una ricognizione preventiva per rilevare gli elementi crollati, limitando al minimo gli spostamenti, al fine di produrre una serie di "gemelli digitali" dei frammenti, può consentire di riconoscere a priori le superfici di rottura e, di conseguenza, potrebbe snellire il lavoro dei restauratori, fornendo una guida preliminare al rimontaggio fisico *in situ*. Ciò, vista la limitatezza delle risorse in relazione alla grande vastità di beni danneggiati in situazioni come quelle di scenari post-sisma, potrebbe contribuire a semplificare il lavoro dei depositi preposti, accelerando il percorso di ricostruzione.

Fig. 2. Norcia (PG), Chiesa di Santa Maria Argentea, portale laterale. A sinistra foto prima del sisma, come appariva sul sito www.norcia.net/norcia-maria-argentea.html (foto senza data e autore, ultima consultazione 13/11/2024). Al centro una foto immediatamente dopo il sisma (cortesia di Andrea Giannantoni, 2017). A destra un'ortoimmagine dello stato post-messa in sicurezza nel quale sono stati rimossi graficamente i puntelli.

Fuori da tale contesto, la metodologia si dimostra ugualmente valida per la sua capacità di prefigurare l'intervento prima dell'inizio di cantiere, fornendo un utile strumento per valutare a priori l'entità delle mancanze, consentendo di ragionare preventivamente sull'approccio da utilizzare per risolvere le lacune del testo architettonico e precisare la quantificazione economica in gioco. Infine, limitare le manovre di elementi che hanno già subito traumi, urti e fenomeni disgregativi attribuibili a varie patologie di degrado, può risultare in alcuni casi essenziale per evitare di apportare ulteriore danno agli elementi in fase di restauro (*fig. 2*).

▪ *Il portale della chiesa di Santa Maria Argentea*

La chiesa di Santa Maria Argentea, nel centro storico di Norcia, è una tra i tanti edifici religiosi colpiti duramente dal sisma del 2016. L'edificio, data la storia sismica della zona, ha subito nel tempo una lunga serie di rimaneggiamenti storicizzati, che l'hanno portata a configurarsi come un articolato palinsesto dove convivono apparati interni settecenteschi, con un esterno Cinquecentesco, e il campanile ricostruito nel XIX secolo. La chiesa presenta sul fianco laterale un portale secondario strombato ad arco acuto di chiara fattura medievale. Tale elemento scultoreo risale alla più antica configurazione della pieve, demolita nel 1556 per fare posto alla fortezza della Castellina[10]. Il portale sarebbe stato quindi smontato e ricollocato nella parete laterale della nuova chiesa, come ricordo della precedente dotata della medesima dedicazione. L'aula presentava prima del terremoto un soffitto piano rifatto negli anni sessanta in sostituzione dell'originale decorato a stucco. A tale elemento, unitamente alle coperture realizzate contestualmente in calcestruzzo armato, è riconducibile il crollo di tutta parte superiore della fabbrica in conseguenza del sisma del 2016[11]. Al momento rimangono in essere solo le murature perimetrali ed il presbiterio, comunque fortemente danneggiati. Il portale medievale è stato coinvolto nell'espulsione del paramento in conci squadrati della parete e molti elementi sono rovinati a

Fig. 3. Norcia (PG), Chiesa di Santa Maria Argentea, portale laterale. Schematizzazione dell'operazione di catalogazione e riassemblaggio. A sinistra le foto dei tre bancali di frammenti presenti al Deposito di Santo Chiodo. Gli elementi sono stati catalogati (tabelle in alto a destra), per poi essere ricollocati sul modello fotogrammetrico dell'imbotte murario (in basso a destra) (foto ed elaborazione grafica di Daniele Romagnoli, 2023).

terra. Dato lo stato di decoesione del sacco interno della muratura, si è inoltre proceduto, in fase di messa in sicurezza, a smontare ulteriori elementi, lasciando in situ solo le basi e parte dei fusti delle colonnine. Gli elementi smontati del portale sono stati disposti in tre bancali e trasportati al deposito di Santo Chiodo a Spoleto (*fig. 3*), mentre i conci della parete sono stati accantonati parte *in situ* e parte nel deposito nursino di Santa Scolastica, dove sono stati portati anche i conci della parte superiore della facciata principale, che fortunatamente ha ricevuto danni rilevanti ma non tali da smembrare la parte più riccamente modellata.

Nel 2023 è stato consegnato il progetto esecutivo per il restauro della chiesa[12], che prevede il consolidamento delle murature esistenti, la ricostituzione delle parti crollate rimontando su un nuovo nucleo in muratura armata i conci recuperati (debitamente reintegrati), nonché il rifacimento di tutte le coperture ed una riconfigurazione del soffitto in assonanza con il contesto, data la totale perdita di quello originale. Si è dunque dovuto affrontare il tema del restauro del portale, del quale in loco rimaneva veramente ben poco. Si è dunque dovuto affrontare il tema del restauro del portale, del quale in loco rimaneva veramente ben poco. Gli elementi *in situ* sono stati rilevati mediante una campagna fotografica da terra, attraverso il ponteggio, che ha permesso di produrre un modello fotogrammetrico di inquadramento che è stato scalato sulle dimensioni della nuvola di punti[13] mediante georeferenziazione per punti omologhi.

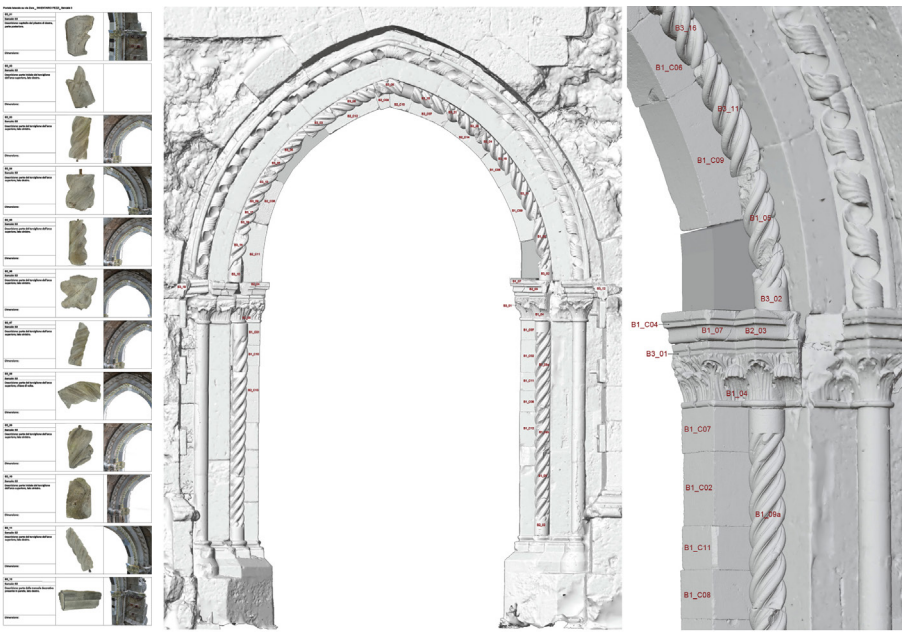

Fig. 4. Norcia (PG), Chiesa di Santa Maria Argentea, portale laterale. Esemplificazione del riassemblaggio digitale. A sinistra i frammenti catalogati e identificati in maniera fotografica. Al centro il riassemblaggio dei vari elementi (identificati dai codici alfanumerici in rosso). A destra una vista di dettaglio (elaborazione grafica di Daniele Romagnoli, 2023).

Successivamente sono stati rilevati i frammenti depositati al Santo Chiodo, differenziando l'approccio tra le parti riccamente modellate (capitelli e colonne) e quelle semplicemente sagomate (fondi e pilastri).

Per la prima categoria di elementi si è optato per un rilievo di dettaglio eseguito tramite *scanner* a luce strutturata, mentre gli altri frammenti sono stati posizionati su un piedistallo e sono state scattate alcune decine di foto per ogni elemento[14]. Queste immagini hanno permesso di produrre una *mesh* fotogrammetrica di ogni concio, che è stata scalata grazie ad alcuni target di distanza nota posizionati sul piedistallo.

Tutti gli elementi sono poi stati importati in un ambiente di modellazione, in questo caso *Blender*, e sono stati catalogati, identificando ciascun elemento con un codice univoco e la collocazione sul bancale, fornendo inoltre una descrizione e delle misure di massima. I modelli, all'incirca una cinquantina, esportati in *.obj*, prima di essere importati in *Blender*, sono stati collocati in un sistema ordinato di cartelle, e sono stati rinominati secondo la codifica individuata (*fig. 4*).

In ambiente *Blender*, tutti i modelli *mesh* sono stati inseriti verificando che mantenessero la nomenclatura corrispondente al codice identificativo, al fine di facilitare la loro individuazione. Il modello *mesh*, grazie alla rispondenza nel descrivere geometrie reali, è stato determinante per riconoscere i margini di adesione tra gli elementi frammentati o tra i vari elementi originariamente imperniati. La corrispondenza morfologica dei blocchi è stata affiancata alla caratterizzazione fotografica della *texture* che, consentendo di identificare elementi cromatici di degrado (colature, patine biologiche) o la presenza di patine ad ossalati, è ri-

sultata fondamentale per riconoscere i margini di adesione tra i vari frammenti. Effettuando tale rimontaggio virtuale si è potuto verificare che la lacuna visibile *in situ* in realtà risultava pienamente riconducibile: alla fine del processo sono risultati assenti solo due conci (su cinquantatré) mentre era presente quasi tutto l'impaginato del portale. Il progetto ha quindi previsto l'inserimento di nuovi perni per ri-ancorare alla parete gli elementi, progettando un risarcimento delle piccole lacune con dei modellati lapidei leggermente semplificati. Il file *Blende*r verrà poi passato in fase di cantiere ai restauratori che si occuperanno di ricollocare gli elementi, agevolando tale processo e costituendo anche per loro una possibile base di lavoro. Tuttavia, al fine di consentire un dialogo con tutti i protagonisti del progetto di restauro, nonché per consentire la conservazione della documentazione, si sono esportate dal *software* alcune viste impaginate in elaborati bidimensionali finalizzati alla stampa.

▪ *La fontana a muro del parco di Villa Durazzo*

Il parco di Villa Durazzo a Santa Margherita Ligure (GE) rappresenta uno dei tanti giardini otto-novecenteschi che costellano la Riviera di Levante. Il sito della attuale villa è di antico insediamento: già frequentato in epoca imperiale romana, accolse strutture difensive nel corso del XVI secolo, poi sostituite dall'attuale elegante costruzione seicentesca. Il parco che intorno ad essa si sviluppa, avvolgendo il promontorio che degrada verso il mare, consta dell'accorpamento di settori distinti e testimonia l'evolversi del gusto paesaggistico tra XIX (Giardino all'Italiana) e XX secolo (Bosco Romantico all'Inglese). Il bosco in particolare è popolato da innumerevoli elementi scultorei e architettonici, molti dei quali di antiquariato e perciò precedenti all'impianto del giardino[15]. In corrispondenza del forte dislivello che si trova tra la terrazza frontale della villa e il parco romantico è collocata una piccola fontana a muro, evidentemente composta da elementi lapidei non coerenti tra loro (testimonianza del gusto eclettico in voga al momento dell'allestimento). La composizione è sostenuta da un piccolo basamento e costituita da quattro elementi: una larga vasca semicircolare, un "capitello" di raccordo ornato di grandi foglie d'acanto, un plinto con mascherone circondato da due sirene e una piccola cimasa a forma di drago alato. Già prima del 2021 la fontana aveva iniziato a manifestare un principio di ribaltamento, probabilmente innescato dallo scivolamento del terreno verso valle e per niente contrastato dalle inesistenti connessioni tra la la fontana e il muraglione della terrazza. Il crollo, avvenuto nel corso dello stesso anno, ha generato pochi danni nei pezzi inferiori, basamento, vasca e capitello, e nel drago, semplicemente adagiati a terra; ben diversa è stata la sorte del plinto con sirene, che si è frantumato in almeno quattordici pezzi riconoscibili e altri frammenti e polveri ormai non più recuperabili[16].

Fig. 5. Santa Margherita Ligure (GE), Villa Durazzo. In senso orario da sinistra: la fontana prima del crollo definitivo ma già in fase di ribaltamento; i frammenti crollati a terra prima del ricovero; la scoperta della plausibile superficie di contatto tra due frammenti non comunicanti in configurazione pre-crollo (foto di Luca Cei, 2021).

Il processo di acquisizione degli elementi ha dovuto fare i conti con due diverse esigenze: da una parte i pezzi più pesanti, ancora in loco, non potevano essere movimentati per consentire una scansione anche delle porzioni a contatto con il terreno, dall'altra i frammenti delle sirene erano stati portati al riparo insieme a tutto il materiale irriconoscibile derivato dal collasso. Gli elementi ancora in "posizione di crollo" sono stati difficoltosamente rilevati[17], demandando alle successive lavorazioni il completamento plausibile delle facce non esposte[18], mentre i frammenti già ricoverati sono stati acquisiti in ambiente interno. Il dato è stato successivamente pulito e trasformato in maglia tridimensionale (*mesh*), strutturato in elementi corredati di codice univoco e quindi importato in ambiente *Blender* per la ricomposizione. Già in questa fase sono state notate alcune incongruenze legate al montaggio degli elementi nella redazione pre-crollo: in primo luogo la sproporzione degli aggetti nel contatto tra l'esile basamento e la grande vasca, e secondariamente la sagomatura semicircolare presente sul fondo del plinto con le sirene, perfettamente compatibile con il bordo superiore della vasca (*fig. 5*). Si è quindi capito che la fontana stessa aveva subito nel tempo varie configurazioni, dovute a crolli o manutenzioni dell'idraulica, e che il progetto di ricomposizione avrebbe potuto modificare l'ultimo assetto ereditato a favore di un montaggio tettonicamente più coerente. È stata quindi proposta una riconfigurazione che tenesse di conto di queste osservazioni, posizionando il capitello fogliato a raccordo tra il basamento e la vasca (*fig. 6*).

Per quanto riguarda il plinto delle sirene, si è proceduto in analogia a quanto detto nel precedente caso studio, confrontando le superfici di rottura sia dal punto di vista morfologico che materico e constatando una perdita di materiale

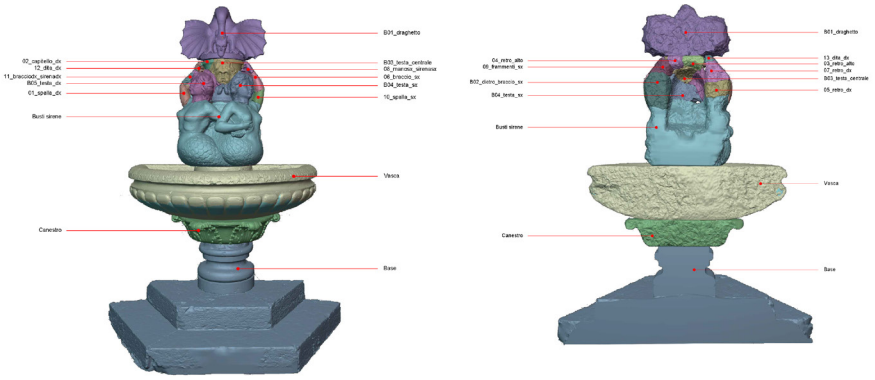

Fig. 6. Santa Margherita Ligure (GE), Villa Durazzo. Progetto di rimontaggio dei frammenti con rimando alla numerazione dei pezzi, vista frontale e del retro (elaborazioni grafiche di Luca Cei e Claudia Panfoli, 2021).

minima e collocata prevalentemente sul retro. La presenza di uno stato di progetto tridimensionale ha poi permesso ad altre figure, come strutturisti e ingegneri idraulici, di progettare e dimensionare correttamente il nuovo sistema di ancoraggio della fontana e, per i secondi, di riconfigurare il disegno degli zampilli in base al nuovo ordine di montaggio.

▪ *La collezione statuaria moderna del Giardino di Boboli*

Il Giardino di Boboli, situato a Firenze e celebre esempio di parco storico, conserva tra viali, radure e scale una cospicua collezione di statuaria antica e moderna[19]. Molti degli elementi scultorei sono in pietra serena, un tipo di arenaria grigia particolarmente sensibile agli agenti atmosferici, mentre alcune statue sono in marmo e in bronzo. Le varietà di condizioni al contorno e quelle legate al materiale stesso delle opere hanno portato a situazioni conservative molto differenziate: manufatti perfettamente conservati, alcuni affetti da consistente patina biologica, statue con parti mancanti o trasportate in frammenti in magazzino a seguito di importanti fenomeni disgregativi o ribaltamenti. L'operazione di acquisizione, relativa ad un accordo di ricerca tra Gallerie degli Uffizi e Dipartimento di Architettura dell'Università degli Studi di Ferrara[20], ha avuto come obiettivo la schedatura delle opere scultoree e architettoniche del giardino e la redazione di elaborati finalizzati alle scelte conservative[21]. Il rilievo della collezione moderna (XVI-XVIII sec.) ha visto l'acquisizione di tutte le opere all'aperto e in magazzino tramite *scanner* a luce strutturata e fotogrammetria (sia aerea con drone che da terra con camera a mano). Durante il lavoro sono emerse due casistiche particolarmente problematiche: un consistente gruppo di manufatti è affetto da patine biologiche superficiali (alghe e licheni) e volumetriche (muschi) e presenta un limitato repertorio di mancanze e fratture; in secondo luogo alcune opere sono state ricoverate in magazzino perché ridotte in frammenti a seguito di collassi statici (disgregazione del materiale) o dinamici (vento o atti vandalici).

Fig. 7. Firenze, Giardino di Boboli. A sinistra, immagine della Grottesca in pietra serena allo stato attuale. A destra un confronto tra (in alto) il modello tridimensionale allo stato di fatto e (in basso) il tentativo di restauro virtuale delle superfici in vista di una possibile copia (foto e elaborazioni grafiche di Luca Cei e Claudia Panfoli, 2022).

Per quanto riguarda il primo gruppo la problematicità è sorta in quei casi in cui era prevista una sostituzione con copia. Vista l'impossibilità di usare la tecnica del calco direttamente sull'originale, l'unica strada perseguibile è stata la creazione del modello tridimensionale a servizio di una prototipazione in materiali plastici, da utilizzare successivamente come primo positivo per farne il calco e infine riprodurre l'opera in materiali compositi[22]. Predisposto tale processo, è stato subito evidente che la maglia tridimensionale rilevata tramite *scanner* presentava una serie di degradi volumetrici, muschi e mancanze su tutti, che non potevano apparire anche nella copia; si è quindi optato per un "restauro virtuale" delle *mesh* tramite operazioni di *sculpting*, ovvero modifiche tridimensionali della maglia triangolare (*fig. 7*). Questo tipo di operazione necessita, come un restauro effettivo, di scelte critiche consapevoli che non possono essere demandate al singolo operatore incaricato del meccanico lavoro di modifica, ma agli stessi progettisti che si occupano del restauro dell'opera originale, di modo che le reintegrazione e le rimozioni siano le stesse sulla copia in giardino e sulla statua musealizzata.

Per quanto riguarda la seconda casistica, le modalità di rilievo sono state del tutto analoghe a quelle presentate nei primi due casi studio. In un singolo caso, ovvero la statua del *Cacciatore Turco* o *Moro*, datata anni venti del XVII secolo e attribuita a Domenico Pieratti[23], la condizione disperata dei frammenti, in forte fase disgregativa e a prima vista di entità inferiore rispetto alla quantità di materia perduta, ha suggerito il semplice ricovero dei pezzi e non un tentativo di ricomposizione. Tentando tuttavia di fare una ricognizione degli elementi presenti in magazzino, anche quelli non direttamente collegati alla statua in questione, è stato possibile riconfigurare un "intero" che per comunicare la sua figura non abbisogna di reintegrazioni (*fig. 8*).

Fig. 8. Firenze, Giardino di Boboli. A sinistra, fotografia storica del Cacciatore Turco ancora presente nel parco (foto pubblicata sul Catalogo Generale dei Beni Culturali, licenza Creative Commons – BY 4.0). A destra (in alto) i frammenti rilevati in deposito, (in basso) l'esito della ricostruzione virtuale (elaborazioni grafiche di Luca Cei, 2022).

Il rilievo tridimensionale dei frammenti è stato pertanto strumento indispensabile alla valutazione sulle possibilità di ricomposizione e valorizzazione di un importante episodio della scultura fiorentina del XVII secolo.

▪ *Conclusioni*

La frontiera aperta dalle tecnologie di fotomodellazione e di *scanning* a luce strutturata permette, come dimostrato dagli oggetti di studio, di acquisire tridimensionalmente e ad alta definizione ciò che fino a qualche decennio fa era elaborato in due dimensioni o con scarso dettaglio. Come già evidente dopo il sisma del 2009[24], l'acquisizione dei frammenti di un manufatto permette delle prefigurazioni progettuali che limitano grandemente il succedersi di numerosi tentativi di ricomposizione *in situ*, avendo un controllo sugli esiti figurativi e sull'impatto delle reintegrazioni e infine consentendo una gestione economica più aderente alla realtà. Nell'affrontare i casi studio menzionati precedentemente, sono però emersi dei risultati inattesi: nel caso della fontana di Villa Durazzo l'acquisizione ha permesso di valutare una ricomposizione diversa dallo stato pre-crollo attraverso uno studio critico-costruttivo, mentre per quanto riguarda il *Cacciatore Turco*, la ricognizione dei frammenti ha confermato la possibilità di un rimontaggio fino a quel momento insperato.

Infine lo strumento del modello *reality-based* risulta fondamentale di fronte alla necessità di sostituire con una copia un manufatto vulnerabile posto in contesti ad alta pericolosità: accantonando (per insostenibilità economica) l'affidamento dell'opera a scalpellini esperti che compiano il lavoro in modo total-

mente analogico, la realizzazione di un prototipo plastico per le operazioni di calco e colatura è sicuramente il processo più rispettoso della materia originale e della sua forma. Come già evidenziato, tale procedimento necessita tuttavia di un restauro virtuale della *mesh* che soddisfi gli stessi requisiti di consapevolezza critica del restauro reale.

Tuttavia tali strumenti presentano alcune criticità legate soprattutto alle modalità di gestione e montaggio dei frammenti: una volta importate in ambiente *Blender* o *Rhinoceros*, le singole *mesh* devono essere confrontate in coppie al fine di stabilirne l'attiguità o meno nell'ipotesi ricostruttiva, e appare ancora macchinosa la gestione dei movimenti rototraslatori necessari ad un buon avvicinamento delle superfici di rottura. Per questo crediamo che la naturale evoluzione della metodologia finora esemplificata risieda in strumenti capaci di individuare automaticamente i più probabili profili di rottura, di allineare tali bordi e generare ipotesi reintegrative più o meno semplificate.

▪ Note

[1] Carbonara 2005, p. 25.

[2] Dalla Negra 2022, p. 7.

[3] Bignami 2010, pp. 34-36.

[4] Zuppiroli 2019, p. 2271.

[5] *Ibidem*.

[6] Gli elementi lapidei, sia naturali che artificiali, sono, infatti, tra i pochi che, grazie alla loro natura, consentono la possibilità di riassemblare parti crollate riconoscendo margini di adesione in maniera univoca, cosa che non si può dire per i laterizi (dove la presenza della malta risulta condizionante) nè tanto meno per gli elementi in stucco che si frantumano senza possibilità di recupero. Talvolta le strutture lignee possono consentire rimontaggi tra gli elementi, benché in casi molto gravi è frequente che gli elementi si spezzino, sfibrandosi e deformandosi, impedendo dunque l'accostamento di due elementi originariamente unitari.

[7] si vedano a titolo esemplificativo Thuswaldner, Flory, Kalasek 2009; Canciani, Falcolini, Buonfiglio 2013; Arbace, Sonnino, Callieri 2013, Angulo 2017; Zuppiroli 2019.

[8] Negli esempi citati si è lavorato presso il deposito di Santo Chiodo, dove sono state trasportate tutte le opere mobili danneggiate dal sisma del 2016 relativamente al contesto umbro. Nel caso citato della transenna di S. Salvatore è stato coinvolto direttamente l'ICR (Istituto Centrale per il Restauro).

[9] MIC 2022.

[10] Severini 1993, pp. 75-76.

[11] Augenti 2023.

[12] Il processo di rilievo, il riassemblaggio digitale e la redazione degli elaborati si sono svolti tra il 2022 e il 2023.

[13] La campagna di rilievo ha visto l'acquisizione totale della chiesa tramite laser scanner, fotogrammetria da drone e foto sferiche.

[14] Secondo la metodologia descritta in Zuppiroli 2019, p. 2280.

[15] Bellardi 2009

[16] Il rilievo, la modellazione e la redazione del progetto complessivo si sono svolti nella seconda parte del 2021.

[17] La luce diurna e materiali di colore bianco costituiscono un forte impedimento alla ripresa dello scanner. Lo strumento è ottimizzato per ambienti interni o acquisizioni in notturna.

[18] Casistica documentata anche nel caso oggetto di studio in Angulo 2017, p. 35

[19] Medri 2003

[20] L'accordo di collaborazione è stato stipulato nel 2020 tra Gallerie degli Uffizi, nella persona del direttore Eike Schmidt, e Dipartimento di Architettura dell'Università degli Studi di Ferrara, nella persona del direttore Alessandro Ippoliti. Il progetto di ricerca è finalizzato, da una parte, alla verifica ed al monitoraggio nel tempo dei fenomeni di degrado che interessano gli elementi architettonici e scultorei in materiale lapideo naturale collocati in ambiente aperto (non protetto) e, dall'altra, all'individuazione delle migliori strategie operative per la loro conservazione preventiva e programmata. Soggetto referente e responsabile scientifico per il Dipartimento di Architettura è il prof. Marco Zuppiroli, per Gallerie degli Uffizi è l'arch. Paola Ruggieri. Le operazioni di rilievo e di redazione degli elaborati si sono svolte tra la fine del 2020 e l'inizio del 2023.

[21] Scelta tra restauro in loco e sostituzione con copia. Nel circuito della cosiddetta Isola sono presenti già due copie di statue seicentesche in arenaria, realizzate in resina e polvere di pietra serena su armatura metallica. Il risultato di questi prototipi risulta figurativamente soddisfacente, anche nella risposta alle condizioni esterne particolarmente avverse (umidità e vicinanza con gli utenti visitatori).

[22] Resina, polvere di pietra e armatura metallica, in analogia alle copie già poste nel parco.

[23] Capecchi 2008.

[24] Arbace, Sonnino, Callieri 2013 e Hackemer 2024

▪ Bibliografia

Angulo, Pinto, Rodríguez 2017
Angulo R., Pinto F., Rodríguez J., Palomino A., *Digital anastylosis of the remains of a portal by master builder Hernán Ruiz: Knowledge strategies, methods and modelling results.* in «Digital applications in archaeology and cultural heritage», 7, 2017, pp. 32-41

Arbace, Sonnino, Callieri 2013
Arbace, L., Sonnino, E., Callieri, M., Dellepiane, M., Fabbri, M., Idelson, A. I., Scopigno, R., *Innovative uses of 3D digital technologies to assist the restoration of a fragmented terracotta statue*, in «Journal of Cultural Heritage», 14(4), 2013, pp. 332-345

Augenti 2023
Augenti N., *Indagini sulle costruzioni di Norcia danneggiate dal sisma del 2016*, in *IF CRASC '23: V Convegno di Ingegneria Forense*, Atti del VIII Convegno di Bologna, 15-17 giugno 2023, Palermo, 2023

Bignami 2010
Bignami D. F., *Protezione civile e riduzione del rischio disastri. Metodi e strumenti di governo della sicurezza territoriale e ambientale*, Santarcangelo di Romagna (RN), Maggioli Editore, 2010, pp. 34-36

Bellardi 2009
Bellardi M. G., *Villa Durazzo-Centurione*, in «FLORTECNICA», 4, 2009, pp. 1-11

Canciani, Falcolini, Buonfiglio 2013
Canciani M., Falcolini C., Buonfiglio M., Pergola S., Saccone M., Mammì B., Romito G., *A method for virtual anastylosis: the case of the Arch of Titus at the Circus Maximus in Rome,* in «ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences», 2, 2013, pp. 61-66

Capecchi 2008
Capecchi G., *Cosimo II e le arti a Boboli. Committenza, iconografia e scultura*, Firenze, 2008

Carbonara 2005
Carbonara G., in *Che cos'è il restauro? Nove studiosi a confronto*, a cura di Torsello P. B., Venezia, 2005, pp. 25-28

Dalla Negra 2012
Dalla Negra R., *Eventi eccezionali e principi conservativi: il terremoto emiliano*. in «Materiali e strutture. Problemi di conservazione», Nuova serie, anno I, n. 1 e 2, 2012, pp. 32-41

Dalla Negra 2022
Dalla Negra R., *Il restauro architettonico come ricerca della coerenza testuale*, in «Paesaggio Urbano», 1, 2022, pp. 4-7

Fiorani 2004
Fiorani, D., *Restauro architettonico e strumento informatico. Guida agli elaborati grafici*, Napoli, 2004

Fiorani 2021
Fiorani, D., *Conservazione vs Innovazione? Insegnare (ancora) restauro in architettura*, «ArcHistoR», 9(16), 2021, pp. 42-57

Foschi 2015
Foschi, R., *La fotomodellazione per il rilievo architettonico: metodologie, potenzialità e criticità*, in «Ingenio», 36, 2015

Hackemer 2024
Hackemer, F., *Romanesque portal from Olbin - 3D digital recomposition*, in «Digital Applications in Archaeology and Cultural Heritage», 33, 2024

Limoncelli 2011
Limoncelli, M., *Applicazioni Digitali per l'Archeologia: il Restauro Virtuale*, in «DigItalia», 6(1), 2011, pp. 42–59

Medri 2003
Medri L. M., a cura di, *Il giardino di Boboli*, 2003

Mic 2022
MIC, USS-Sisma 2016, Norcia (PG), Chiesa Di San Salvatore In Campi, Restauro dei frammenti crollati dell'iconostasi, Roma, 2022
<https://uss-sisma2016.cultura.gov.it/art-bonus/iconostasi-chiesa-di-san-salvatore-in-campi-norcia/>

Rasheed, Nordin 2020
Rasheed, N. A., Nordin, M. J., *Reconstruction algorithm for archaeological fragments using slope features*, in «ETRI Journal», 42(3), 2020, 420-432.

Severini 1993
Severini E., *La chiesa di S. Maria Argentea di Norcia. Pieve Collegiata Cattedrale*, Norcia, 1993

Thuswaldner, Flöry, Kalasek 2009
Thuswaldner B., Flöry S., Kalasek R., Hofer M., Huang Q. X., Thür H., *Digital anastylosis of the octagon in ephesos*, in «ACM Journal on Computing and Cultural Heritage», 2009, 2, pp. 2-30

Verdiani et al. 2024
Verdiani, G., Marchi, D., Picchiarelli, A., Zappasodi, E., Corsini, F., *Un esercizio di anastilosi digitale nella basilica inferiore di San Francesco ad Assisi* in *Il Maestro di San Francesco e lo stil novo del Duecento umbro*, Cinisello Balsamo 2024, pp. 192-211

Zuppiroli 2019
Zuppiroli M., Eventi traumatici e gestione delle macerie: indicazioni operative per il patrimonio culturale costruito, in *ReUso Matera*, a cura di Conte A., Guida A., Roma, 2019, pp. 2271-2282