

# **Portails en 3D**

## **Le relevé laser au service du patrimoine**

**Actes du colloque international  
25-26 novembre 2014**

Ausonius - UMR 5607  
Maison de l'Archéologie  
Université Bordeaux Montaigne  
F - 33607 Pessac cedex  
<http://ausoniuseditions.u-bordeaux-montaigne.fr>



Directeur des publications : Olivier Devillers  
Secrétaire des publications : Nathalie Tran  
Graphisme de couverture : Stéphanie Vincent

Arts et Métiers ParisTech  
Institut Image  
2, rue Thomas Dumorey  
71100 Chalon-sur-Saône



Éditeurs scientifiques : Juliette Rollier - Ambre Vilain  
Directeur de la publication "Portails en 3D" : Juliette Rollier  
Directeur de la collection Archéovision : Jean-François Bernard

Imprimerie : Cap Collectif  
Z.I. Maignon  
45 route de Pitoys  
F - 64600 Anglet

© AUSONIUS 2016  
ISSN : 1771-5911  
ISBN : 978-2-35613-158-4



# Portails romans et gothiques menacés par les intempéries

Le relevé laser au service du patrimoine

Collection Archéovision  
Volume 7

---

AUSONIUS ÉDITIONS

*Ouvrage publié avec le concours de l'HeSAM (Hautes Études-Sorbonne, Arts et Métiers ParisTech), INHA (Institut National d'Histoire de l'art) et INP (Institut National du Patrimoine)*

— Bordeaux 2016 —



# Sommaire

J. ROLLIER, A. VILAIN <i>Préface</i>	7
J.-F. BERNARD <i>Avant-propos</i>	8
B. WIGNIOLLE, J. ROLLIER, A. VILAIN, S. ZONGHERO <i>Introduction</i>	9
<b>Section 1 : Historiographie et mise en perspective</b>	
C. ULLMANN <i>La place du relevé laser dans la restauration des portails d'Autun et de Vézelay : "annoter, révéler, illustrer"</i>	15
A. MAZUIR, J. ROLLIER <i>Étude et numérisation 3D des portails de Vézelay</i>	25
L. HUANG <i>Pour une histoire de la restauration et de la conservation : un autre regard sur le portail occidental de Sainte-Foy de Conques</i>	39
M. CASTIÑEIRAS <i>La reconstitution en 3D de la Porte de France de la cathédrale de Saint-Jacques-de-Compostelle. un défi pour la connaissance du développement des portails romans sur les chemins de Saint-Jacques</i>	49
S. LOMARTIRE <i>Les portails et les sculptures de la cathédrale de Modène : problèmes d'histoire de l'art, de documentation, de conservation</i>	65
L. BARATIN, A. CATTANEO <i>Problématiques de conservation de la sculpture monumentale en Italie : de la documentation à l'intervention</i>	77
<b>Section 2 : Méthodologie de numérisation</b>	
P. BRUNET <i>A virtual Reconstruction of the Entrance of the Ripoll Monastery</i>	91
J. ROLLIER, A. MAZUIR <i>Méthodologie de numérisation de quinze tympans menacés par les aléas climatiques</i>	99
P. BELLANGER <i>Analyse et choix scientifiques pour l'archivage numérique d'appui en 3D du patrimoine sculpté à des fins d'interventions physiques</i>	111
R. RIVOLA, E. BERTACCHINI, C. CASTANGETTI, A. CAPRA <i>Les portails et les sculptures de la cathédrale de Modène : II. Le relevé 3D</i>	119
J.-M. SANCHEZ <i>Présentation du film en 3D, "Révélation" sur le tympan du portail de la cathédrale d'Autun</i>	123

---

**Section 3 : Numérisation au service de la conservation et de l'archéologie**

S. PIOTROWSKI, A. ROGER, T. BECHONNET

*L'apport de l'archéologie et du relevé laser dans l'étude des façades romanes : les cas de Charlieu, d'Anzy-le-Duc et de Semur-en-Brionnais* **131**

J. ROLLIER, M. TOKITA, J. LABARRE

*Perrecy-les-Forges : un chef-d'œuvre en péril* **145**

J. ROLLIER, A. GAILLARD, A. MAZUIR

*Le relevé laser comme outil pour l'étude de la façade de Conques* **159**

J. DE ROY, L. FONTAINE

*Les portails romans de la cathédrale Notre-Dame de Tournai (Belgique). Résultats de l'étude matérielle et technique en vue de la conservation* **173**

J. ROLLIER, M. DURIEZ, M. AULAS

*Nouvelle lecture des portails de Saint-Pierre-le-Moutier et Saint-Benoît-sur-Loire et premières approches pour la médiation culturelle* **191**

# Les portails et les sculptures de la cathédrale de Modène : problèmes d'histoire de l'art, de documentation, de conservation

## II. Le relevé 3D

Riccardo Rivola, Eleonara Bertacchini, Cristina Castagnetti, Alessandro Capra  
DIEF – UniMORE Università di Modena e Reggio Emilia et GEIS srl – Geomatics Engineering Innovative Solutions; Rossella Cadignani - Servizio Edilizia Storica del Comune di Modena; Francesca Piccinini - Museo Civico d'Arte del Comune di Modena; Elena Silvestri - Studio Tecnico Silvestri  
[riccardo.rivola@gmail.com](mailto:riccardo.rivola@gmail.com)

**Résumé :** Les portails de la cathédrale de Modène, ainsi que l'ensemble de l'architecture et de la sculpture de cet important monument de l'art roman en Italie, ont reçu depuis longtemps l'attention des chercheurs qui se sont intéressés aux différents aspects historiques, structurels, stylistiques et iconographiques. Depuis le XIX<sup>e</sup> siècle, des relevés de la structure et des portails ont été effectués, travaux qui ont été poursuivis au XX<sup>e</sup> siècle avec des études approfondies du monument, grâce à des campagnes de relevés photogrammétriques, et plus récemment des relevés au scanner laser. L'ensemble du bâtiment, avec son clocher (Torre "Ghirlandina"), a bénéficié d'une campagne de numérisation au laser menée par l'Université de Modène et Reggio Emilia, qui a produit des relevés en haute résolution des sculptures. Ces relevés ont été effectués à des fins de documentation, mais aussi de contrôle de l'état de conservation des sculptures et des structures architecturales.

**Mots-clés :** portail, sculpture, conservation, relevé laser, Italie, Émilie Romagne, Toscane

**Abstract :** The portals of the Cathedral of Modena, as well as the complex of architecture and sculpture of this important monument of Romanesque art in Italy, has long attracted the interest of several scholars in regard to various aspects: historical, structural, stylistic, iconographical. In the nineteenth century there were also partial surveys of the structure and the portals. During the twentieth century, in-depth studies on the architecture and sculpture have produced some campaigns of photogrammetry mapping and more recently laser-scanner measurements. In recent years the entire building and its bell tower (Torre "Ghirlandina") were involved in a campaign of laser-scanning conducted by the University of Modena and Reggio Emilia, which produced high-resolution surveys especially of the sculptures. These measurements were taken for documentation purposes, but also to control the state of conservation and monitoring of the sculptures and architectural structures.

**Keywords :** portal, sculpture, conservation, laser scanning, Italy, Emilia Romagna, Tuscany

L'utilizzo delle tecniche di rilievo messe a disposizione dalle discipline geomatiche si dimostra sempre più un prezioso supporto per gli interventi di valorizzazione, restauro e conservazione dell'immenso patrimonio culturale che ci circonda. La tecnica di rilevamento laser scanning rappresenta un efficiente metodo per la digitalizzazione e la modellazione tridimensionale di oggetti complessi, in particolar modo nell'ambito dei beni culturali per il quale rappresenta una metodologia consolidata per effettuare analisi geometrico/strutturali con accuratezza centimetrica, relative sia alla struttura considerata nel suo complesso, sia al comportamento di sue specifiche parti (Bertacchini *et al.* 2011; Capra *et al.* 2011; Castagnetti *et al.* 2011).

Il rilievo metrico strutturale del sito UNESCO di Piazza Grande a Modena è stato condotto a partire dal 2008 con una strumentazione laser scanner a tempo di volo in grado di acquisire fino a 300 m di distanza garantendo una risoluzione e un'accuratezza centimetrica delle misure. La disponibilità del modello tridimensionale della struttura ha permesso di indagare e descrivere in modo accurato le sue principali caratteristiche geometriche, consentendo anche l'analisi di particolari difficilmente rilevabili con tecniche tradizionali. Le caratteristiche geometriche dedotte hanno costituito un fondamentale supporto per le analisi condotte durante gli anni di restauro, relativamente sia all'aspetto geometrico che a quello afferente la storia costruttiva dell'edificio. In particolare, per la Torre Civica, detta Ghirlandina, è stato possibile ricavare l'altezza della struttura, l'inclinazione media dell'asse baricentrico e il fuori piombo totale; per il Duomo di Modena è stato possibile estrarre le anomalie geometriche a verifica delle nuove ipotesi sulle fasi costruttive e sulla storia del monumento (Silvestri 2013).

Contestualmente alle fasi finali degli interventi di consolidamento e valorizzazione dei due monumenti del sito UNESCO (dal 2011 al 2013), è stato poi eseguito il rilievo

metrico tridimensionale degli elementi scultorei decorativi restaurati con sistemi a scansione laser basati sul principio della triangolazione (Boehler *et al.* 2001). Questa tipologia di strumentazione consente di ottenere precisioni molto elevate (sub-millimetriche) a scapito di portate limitate (generalmente inferiori al metro) e tempi di acquisizione mediamente elevati, risultando quindi particolarmente idoneo al rilievo di soli oggetti di piccole dimensioni per i quali i dettagli sono di fondamentale importanza. Il rilievo 3D dell'interessante e raffinato apparato decorativo esterno della Torre Civica (Cadignani 2009 e 2010) ha interessato quattro diverse tipologie scultoree – sculture angolari, mensole degli archetti pensili, bassorilievi romani di reimpiego, capitelli delle bifore e delle trifore – per un totale di 130 elementi. Quello della Cattedrale ha riguardato quasi 160 elementi, tra capitelli, semicapitelli, mensole e altorilievi; a cui va aggiunto il rilievo delle strutture e dei bassorilievi delle Porte dei Principi e della Pescheria e della Porta Regia (fig. 1). La possibilità di usufruire delle impalcature metalliche del ponteggio utilizzate per i lavori di restauro dei due monumenti ha permesso di raggiungere agevolmente le altezze necessarie per il rilievo di ogni elemento scultoreo. Tuttavia, il contemporaneo svolgimento di differenti attività ha richiesto un'adeguata collaborazione tra i professionisti coinvolti e un'attenta programmazione dei lavori principalmente finalizzata alla riduzione delle vibrazioni dovute a diversi fattori, tra cui movimenti del montacarichi, spostamenti di operatori sull'impalcatura e presenza di vento. Allo scopo di ridurre il più possibile tali vibrazioni durante le attività di rilievo è stato necessario osservare alcune precauzioni al fine di consentire di raggiungere una risoluzione di restituzione finale degli elementi idonea allo scopo del lavoro (dell'ordine di grandezza di 0.1 mm).

Il risultato della fase di acquisizione di ciascun elemento scultoreo è un insieme di nuvole di punti, di numero variabile in funzione della complessità dell'oggetto da rilevare (fig. 2). Al termine di una prima fase di elaborazione, per ogni elemento scultoreo è stata ottenuta un'unica nuvola di punti costituita dai 400mila agli oltre 11 milioni di punti, in funzione della complessità e dimensione dell'elemento. Allo scopo di rappresentare geometricamente ciascun elemento acquisito è stato necessario generare, a partire dalla nuvola di punti, il modello tridimensionale a superfici tramite la descrizione della superficie dell'oggetto mediante un congruo numero di superfici piane triangolari. Dopo una laboriosa e attenta fase di eliminazione delle difettologie residue, tra cui in particolare le zone d'ombra per le quali non era stato possibile acquisire il dato metrico, sono stati ottenuti gli elementi sotto forma di file numerici in un formato adatto (.stl) per essere letto dalle macchine a controllo numerico per la prototipazione rapida (fig. 3). Infine, per conferire un aspetto fotorealistico ad alcuni dei modelli tridimensionali generati e completare così gli stessi con informazioni di tipo radiometrico (RGB) ad integrazione di quelle geometriche, è stato applicato un tessuto (texture) prelevato da immagini fotografiche ad alta risoluzione acquisite contestualmente al rilievo.



Fig. 1. Fase del rilevamento 3D ad altissima risoluzione dei bassorilievi della Porta della Pescheria del Duomo di Modena. Il laser scanner a triangolazione Range7 di Konica Minolta assicura un'accuratezza di digitalizzazione pari 0.04 mm (© UniMORE - GEIS).



Fig. 2. Modello 3D a nuvola di punti (risoluzione media 3 mm) della struttura della Porta della Pescheria del Duomo di Modena a cui è sovrapposto il modello 3D a mesh dei bassorilievi (risoluzione media 0.3 mm) (© UniMORE - GEIS).



Fig. 3. Dettaglio del modello 3D a mesh dei bassorilievi della Porta della Pescheria, ottenuto dalle acquisizioni con laser scanner ad altissima risoluzione (Range7 di Konica Minolta) (© UniMORE - GEIS).

Grazie al rilievo 3D ad altissima risoluzione è stato creato un importante archivio metrico digitale dell'apparato scultoreo decorativo del sito UNESCO, facilmente fruibile, che pone le basi per interessanti studi ed utilizzi futuri a scopo di musealizzazione, ricerca e didattica. Oltre alla riproduzione materica non invasiva, i dati metrici raccolti potranno essere utilizzati per lo studio approfondito degli elementi acquisiti (analisi del degrado, delle tecniche costruttive, delle caratteristiche materiche, radiometriche e geometriche, ecc.), oltre alla ricostruzione virtuale delle loro parti mancanti e/o rovinata. In vista della generazione futura di un ambiente virtuale tridimensionale e fotorealistico dell'intero complesso monumentale del sito UNESCO di Modena, sono in fase di studio l'individuazione di percorsi turistici tematici e la ricostruzione virtuale delle antiche fasi costruttive, volti alla fruizione e divulgazione delle opere.

A seguito del terremoto che a Maggio 2012 ha colpito la Pianura Emiliana, sebbene la struttura della Torre Civica non abbia riportato danni o lesioni evidenti, è stato possibile riscontrare anche visivamente danneggiamenti su alcuni elementi dell'apparato scultoreo-decorativo. Disponendo del preziosissimo archivio digitale, è stato effettuato un secondo rilievo di una scultura angolare visivamente danneggiata in quell'occasione allo scopo di aggiornare i dati dell'archivio e quantificare con precisione l'entità dei danni provocati dal sisma (fig. 4).



Fig. 4. Modello 3D della scultura angolare della Torre Civica danneggiata dal sisma del 2012. La particolare colorazione in funzione delle direzioni normali alle superfici rilevate permette di individuare agevolmente la linea di fratturazione diagonale (© UniMORE - GEIS).

#### RINGRAZIAMENTI

L'intero progetto è stato reso possibile dai contributi del Ministero dei Beni e delle Attività Culturali e del Turismo con la Legge 20 febbraio 2006, n. 77 "Misure speciali di tutela e fruizione dei siti italiani di interesse culturale, paesaggistico e ambientale, inseriti nella "lista del patrimonio mondiale", posti sotto tutela dell'Unesco" – E.F. 2008 e E.F. 2011. Tra i referenti del progetto si ringrazia inoltre Mons. Giacomo Morandi, Arciprete del Capitolo Metropolitano di Modena.

#### Bibliografia

- Albertz, J., M. Petzet e J. Haspel, ed. (2001): *Surveying and Documentation of Historic Buildings – Monuments – Sites. Traditional and Modern Methods. Proceedings of the 18<sup>th</sup> International Symposium of CIPA, Potsdam, 18-21 September 2001.*
- Bertacchini, E., A. Capra, C. Castangetti, M. Dubbini e E. Boni (2010): "I dati del monitoraggio per la comprensione dei movimenti verticali della Torre Ghirlandina", in: Cadignani 2010, 22-26.
- Bertacchini, E., A. Capra, C. Castangetti, M. Dubbini, R. Rivola e I. Toschi (2011): "Utilizzo del laser scanner per i beni culturali: analisi dell'assetto geometrico strutturale e di specifiche anomalie geometriche", in: *Atti della Conferenza ASITA, Reggio di Colorno-Parma 15-18 novembre 2011, Parma, 315-322.*

- Boehler, W., G. Heinz e A. Marbs (2001): "The potential of non-contact close range laser scanners for cultural heritage recording", in: Albertz *et al.* 2001.
- Cadignani, R., ed. (2010): *La Torre Ghirlandina. Storia e restauro*, Roma.
- Capra, A., E. Bertacchini, C. Castagnetti, M. Dubbini, R. Rivola e I. Toschi (2011): "Rilievi laser scanner per l'analisi geometrica delle torri degli Asinelli e Garisenda", *Inarcos*, 4, 35-42.
- Castagnetti, C., E. Bertacchini, A. Capra e M. Dubbini (2011): "Il laser scanning terrestre per l'analisi di edifici di interesse storico ed artistico", in: Manzino & Spalla 2011, 99-108.
- Giandebiaggi, P., A. Zerbi e A. Capra (2009): "Il rilevamento della Torre Ghirlandina", in: Cadignani 2009, 78-87.
- Manzino, A. e A. Spalla, ed. (2011): *Geomatica - le radici del futuro (tributo a Sergio Dequal e Riccardo Galetto)*, Cagliari.
- Silvestri, E. (2013): "Una rilettura delle fasi costruttive del Duomo di Modena", *Atti e memorie della Deputazione di Storia Patria per le Antiche Provincie Modenesi*, s. XI, XXXV, 117-149.

