



unione italiana disegno

CONNETTERE **CONNECTING**

un disegno per annodare e tessere
drawing for weaving relationships

Linguaggi Distanze Tecnologie
Languages Distances Technologies

42° CONVEGNO INTERNAZIONALE
DEI DOCENTI DELLE DISCIPLINE DELLA RAPPRESENTAZIONE
CONGRESSO DELLA UNIONE ITALIANA PER IL DISEGNO
ATTI 2021
42th INTERNATIONAL CONFERENCE
OF REPRESENTATION DISCIPLINES TEACHERS
CONGRESS OF UNIONE ITALIANA PER IL DISEGNO
PROCEEDINGS 2021

a cura di/edited by

Adriana Arena
Marinella Arena
Domenico Mediatì
Paola Raffa

FrancoAngeli OPEN  ACCESS

diségno

direttore Francesca Fatta

La Collana accoglie i volumi degli atti dei convegni annuali della Società Scientifica UID - Unione Italiana per il Disegno e gli esiti di incontri, ricerche e simposi di carattere internazionale organizzati nell'ambito delle attività promosse o patrocinate dalla UID. I temi riguardano il Settore Scientifico Disciplinare ICAR/17 Disegno con ambiti di ricerca anche interdisciplinari. I volumi degli atti sono redatti a valle di una *call* aperta a tutti e con un forte taglio internazionale.

I testi sono in italiano o nella lingua madre dell'autore (francese, inglese, portoghese, spagnolo, tedesco) con traduzione integrale in lingua inglese. Il Comitato Scientifico internazionale comprende i membri del Comitato Tecnico Scientifico della UID e numerosi altri docenti stranieri esperti nel campo della Rappresentazione.

I volumi della collana possono essere pubblicati sia a stampa che in *open access* e tutti i contributi degli autori sono sottoposti a *double blind peer review* secondo i criteri di valutazione scientifica attualmente normati.

Comitato Scientifico / Scientific Committee

Giuseppe Amoruso *Politecnico di Milano*
Paolo Belardi *Università degli Studi di Perugia*
Stefano Bertocci *Università degli Studi di Firenze*
Mario Centofanti *Università degli Studi dell'Aquila*
Enrico Cicalò *Università degli Studi di Sassari*
Antonio Conte *Università degli Studi della Basilicata*
Mario Docci *Sapienza Università di Roma*
Edoardo Dotto *Università degli Studi di Catania*
Maria Linda Falcidieno *Università degli Studi di Genova*
Francesca Fatta *Università degli Studi Mediterranea di Reggio Calabria*
Fabrizio Gay *Università IUAV di Venezia*
Andrea Giordano *Università degli Studi di Padova*
Elena Ippoliti *Sapienza Università di Roma*
Francesco Maggio *Università degli Studi di Palermo*
Anna Osello *Politecnico di Torino*
Caterina Palestini *Università degli Studi "G. d'Annunzio" di Chieti-Pescara*
Lia Maria Papa *Università degli Studi di Napoli "Federico II"*
Rossella Salerno *Politecnico di Milano*
Alberto Sdegno *Università degli Studi di Udine*
Chiara Vernizzi *Università degli Studi di Parma*
Ornella Zerlenga *Università degli Studi della Campania "Luigi Vanvitelli"*

Componenti di strutture straniere

Caroline Astrid Bruzelius *Duke University - USA*
Pilar Chfás *Universidad de Alcalá - Spagna*
Frank Ching *University of Washington - USA*
Livio De Luca *UMR CNRS/MCC MAP Marseille - Francia*
Roberto Ferraris *Universidad Nacional de Córdoba - Argentina*
Glaucia Augusto Fonseca *Universidade Federal do Rio de Janeiro - Brasile*
Pedro Antonio Janeiro *Universidade de Lisboa - Portogallo*
Jacques Laubscher *Tshwane University of Technology - Sudafrica*
Cornelie Leopold *Technische Universität Kaiserslautern - Germania*
Juan José Fernández Martín *Universidad de Valladolid - Spagna*
Carlos Montes Serrano *Universidad de Valladolid - Spagna*
César Otero *Universidad de Cantabria - Spagna*
Guillermo Peris Fajarnes *Universitat Politècnica de València - Spagna*
José Antonio Franco Taboada *Universidade da Coruña - Spagna*
Michael John Kirk Walsh *Nanyang Technological University - Singapore*

FrancoAngeli

OPEN ACCESS

Il presente volume è pubblicato in open access, ossia il file dell'intero lavoro è liberamente scaricabile dalla piattaforma FrancoAngeli Open Access (<http://bit.ly/francoangeli-oa>). FrancoAngeli Open Access è la piattaforma per pubblicare articoli e monografie, rispettando gli standard etici e qualitativi e la messa a disposizione dei contenuti ad accesso aperto. Oltre a garantire il deposito nei maggiori archivi e repository internazionali OA, la sua integrazione con tutto il ricco catalogo di riviste e collane FrancoAngeli ne massimizza la visibilità e favorisce la facilità di ricerca per l'utente e la possibilità di impatto per l'autore.

Per saperne di più:

http://www.francoangeli.it/come_pubblicare/pubblicare_19.asp

I lettori che desiderano informarsi sui libri e le riviste da noi pubblicati possono consultare il nostro sito Internet: www.francoangeli.it e iscriversi nella home page al servizio "Informatemi" per ricevere via e-mail le segnalazioni delle novità.

CONNETTERE CONNECTING un disegno per annodare e tessere drawing for weaving relationships

Linguaggi Distanze Tecnologie
Languages Distances Technologies

42° CONVEGNO INTERNAZIONALE
DEI DOCENTI DELLE DISCIPLINE DELLA RAPPRESENTAZIONE
CONGRESSO DELLA UNIONE ITALIANA PER IL DISEGNO
ATTI 2021
42th INTERNATIONAL CONFERENCE
OF REPRESENTATION DISCIPLINES TEACHERS
CONGRESS OF UNIONE ITALIANA PER IL DISEGNO
PROCEEDINGS 2021

Reggio Calabria | Messina 16-17-18 settembre 2021

a cura di/edited by

Adriana Arena
Marinella Arena
Domenico Mediatì
Paola Raffa



Comitato Scientifico / Scientific Committee

Giuseppe Amoruso Politecnico di Milano
Fabio Basile Università di Messina
Paolo Belardi Università di Perugia
Stefano Bertocci Università di Firenze
Mario Centofanti Università dell'Aquila
Enrico Cicalò Università di Sassari
Daniele Colistra Università Mediterranea di Reggio Calabria
Antonio Conte Università della Basilicata
Gabriel Defranco Universidad Nacional de La Plata
Mario Docci Sapienza Università di Roma
Edoardo Dotto Università di Catania
Maria Linda Falcidieno Università di Genova
Francesca Fatta Università Mediterranea di Reggio Calabria
Ángela García Codoñer Universitat Politècnica de València
Juan Francisco García Nofuentes Universidad de Granada
Fabrizio Gay Università IUAV di Venezia
Gaetano Ginex Università Mediterranea di Reggio Calabria
Andrea Giordano Università di Padova
Massimo Giovannini Università Mediterranea di Reggio Calabria
Marc Hemmerling Technology Arts Science Köln
Mona Hess University of Bamberg
Elena Ippoliti Sapienza Università di Roma
Pedro Antonio Janeiro Universidade de Lisboa
Fakher Kharrat Ecole Nationale d'Architecture de Tunis
Cornelie Leopold Technische Universität Kaiserslautern
Francesco Maggio Università di Palermo
Roser Martínez Ramos Iruela Universidad de Granada
Carlos Montes Serrano Universidad de Valladolid
Pilar Chías Navarro Universidad de Alcalá
Pablo José Navarro Esteve Universitat Politècnica de València
Anna Osello Politecnico di Torino
Spiros Papadopoulos University of Thessaly
Caterina Palestini Università di Chieti-Pescara
Lia Maria Papa Università di Napoli "Federico II"
Rossella Salerno Politecnico di Milano
Alberto Sdegno Università di Udine
José Antonio Franco Taboada Universidad da Coruña
Chiara Vernizzi Università di Parma
Ornella Zerlenga Università della Campania "Luigi Vanvitelli"

Coordinamento Scientifico / Scientific Coordination

Gaetano Ginex Università Mediterranea di Reggio Calabria
Daniele Colistra Università Mediterranea di Reggio Calabria

Coordinamento Editoriale / Editorial Coordination

Paola Raffa Università Mediterranea di Reggio Calabria

Comitato Editoriale / Editorial Committee

Alessio Altadonna Università di Messina
Adriana Arena Università di Messina
Marinella Arena Università Mediterranea di Reggio Calabria
Domenico Mediatì Università Mediterranea di Reggio Calabria
Antonino Nastasi Università di Messina

I testi e le relative traduzioni oltre che tutte le immagini pubblicate sono stati forniti dai singoli autori per la pubblicazione con copyright e responsabilità scientifica e verso terzi. La revisione e redazione è dei curatori del volume.

The texts as well as all published images have been provided by the authors for publication with copyright and scientific responsibility towards third parties. The revision and editing is by the editors of the book.

ISBN digital version 9788835125891

Revisori / Peer Reviewers

Fabrizio Agnello Università di Palermo
Piero Albisinni Sapienza Università di Roma
Luis Agustin Hernandez Universidad de Zaragoza
Giuseppe Amoruso Politecnico di Milano
Adriana Arena Università di Messina
Marinella Arena Università Mediterranea di Reggio Calabria
Pasquale Argenziano Università della Campania "Luigi Vanvitelli"
Barbara Aterini Università di Firenze
Fabrizio Avella Università di Palermo
Alessandra Avella Università della Campania "Luigi Vanvitelli"
Vincenzo Bagnolo Università di Cagliari
Marcello Balzani Università di Firenze
Laura Baratin Università di Urbino "Carlo Bo"
Salvatore Barba Università di Salerno
José Antonio Barrera Vera Universidad de Sevilla
Cristiana Bartolomei Università di Bologna
Carlo Battini Università di Genova
Paolo Belardi Università di Perugia
Stefano Bertocci Università di Firenze
Marco Giorgio Bevilacqua Università di Pisa
Carlo Biagini Università di Firenze
Alessandro Bianchi Politecnico di Milano
Carlo Bianchini Sapienza Università di Roma
Fabio Bianconi Università di Perugia
Enrica Bistagnino Università di Genova
Antonio Bixio Università della Basilicata
Maurizio Marco Bocconino Politecnico di Torino
Cecilia Bolognesi Politecnico di Milano
Stefano Brusaporci Università dell'Aquila
Massimiliano Campi Università di Napoli "Federico II"
Marco Canciani Università di Roma Tre
Cristina Cándito Università di Genova
Mara Capone Università di Napoli "Federico II"
Laura Carlevaris Sapienza Università di Roma
Laura Carnevali Sapienza Università di Roma
Marco Carpicci Sapienza Università di Roma
Andrea Casale Sapienza Università di Roma
Stefano Chiarenza Università di Napoli "Federico II"
Pilar Chías Universidad de Alcalá
Emanuela Chivoni Sapienza Università di Roma
Massimiliano Ciammaichella Università IUAV di Venezia
Maria Grazia Cianci Università di Roma Tre
Enrico Cicalò Università di Sassari
Giuseppina Cinque Università di Roma "Tor Vergata"
Paolo Cini Università dell'Aquila
Luigi Cocchiarella Politecnico di Milano
Daniele Colistra Università Mediterranea di Reggio Calabria
Antonio Conte Università della Basilicata
Carmela Crescenzi Università di Firenze
Giuseppe D'Acunto Università IUAV di Venezia
Pierpaolo D'Agostino Università di Napoli "Federico II"
Mario Docci Sapienza Università di Roma
Antonella di Luggo Università di Napoli "Federico II"
Edoardo Dotto Università di Catania
Tommaso Empler Sapienza Università di Roma
Maria Linda Falcidieno Università di Genova
Federico Fallavollita Università di Bologna
Marco Fasolo Sapienza Università di Roma
Francesca Fatta Università Mediterranea di Reggio Calabria
Maria Teresa Galizia Università di Catania
Noelia Galvan Universidad de Valladolid
Juan Francisco García Nofuentes Universidad de Granada
Giorgio Garzino Politecnico di Torino
Paolo Giandebaggi Università di Parma
Gaetano Ginex Università Mediterranea di Reggio Calabria
Andrea Giordano Università di Padova

Massimo Giovannini Università Mediterranea di Reggio Calabria
Maria Pompeiana Iarossi Politecnico di Milano
Manuela Incerti Università di Ferrara
Carlo Inglese Sapienza Università di Roma
Pedro Antonio Janeiro Universidade de Lisboa
Sereno Marco Innocenti Università di Brescia
Elena Ippoliti Sapienza Università di Roma
Alfonso Ippolito Sapienza Università di Roma
Fabio Lanfranchi Sapienza Università di Roma
Mariangela Liuzzo Università di Enna "Kore"
Massimiliano Lo Turco Politecnico di Torino
Alessandro Luigini Libera Università di Bolzano
Carlos Marcos Alba Universidad de Alicante
Francesco Maggio Università di Palermo
Federica Maietti Università di Ferrara
Massimo Malagugini Università di Genova
Maria Martone Sapienza Università di Roma
Giovanna A. Massari Università di Trento
Domenico Mediatì Università Mediterranea di Reggio Calabria
Giampiero Mele Università eCampus
Valeria Menchetelli Università di Perugia
Alessandro Merlo Università di Firenze
Barbara Messina Università di Salerno
Giuseppe Moglia Politecnico di Torino
Cosimo Monteleone Università di Padova
Carlos Montes Serrano Universidad de Valladolid
Marco Muscoguri Politecnico di Milano
Anna Osello Politecnico di Torino
Alessandra Pagliano Università di Napoli "Federico II"
Caterina Palestini Università di Chieti-Pescara
Lia Maria Papa Università di Napoli "Federico II"
Leonardo Paris Sapienza Università di Roma
Sandro Parrinello Università di Pavia
Maria Ines Pascariello Università di Napoli "Federico II"
Giulia Pellegri Università di Genova
Nicola Pisacane Università della Campania "Luigi Vanvitelli"
Manuela Piscitelli Università della Campania "Luigi Vanvitelli"
Paolo Piumatti Politecnico di Torino
Paola Puma Università di Firenze
Ramona Quattrini Università dell'Aquila
Paola Raffa Università Mediterranea di Reggio Calabria
Luca Ribichini Sapienza Università di Roma
Andrea Rolando Politecnico di Milano
Adriana Rossi Università della Campania "Luigi Vanvitelli"
Daniele Rossi Università di Camerino
Gabriele Rossi Politecnico di Bari
Michela Rossi Politecnico di Milano
Maria Elisabetta Ruggiero Università di Genova
Michele Russo Sapienza Università di Roma
Rossella Salerno Politecnico di Milano
Antonella Salucci Università di Chieti-Pescara
Cettina Santagati Università di Catania
Salvatore Santuccio Università di Camerino
Nicolò Sardo Università di Camerino
Alberto Sdegno Università di Udine
Giovanna Spadafora Università di Roma Tre
Roberta Spallone Politecnico di Torino
Maurizio Unali Università di Chieti-Pescara
Graziano Mario Valenti Sapienza Università di Roma
Rita Valenti Università di Catania
Victor Hugo Velasquez Universidad Nacional de Colombia
Chiara Vernizzi Università di Parma
Daniele Villa Politecnico di Milano
Marco Vitali Politecnico di Torino
Andrea Zerbi Università di Parma
Ornella Zerlenga Università della Campania "Luigi Vanvitelli"

Copyright © 2021 by FrancoAngeli s.r.l., Milano, Italy.

Publicato con licenza Creative Commons Attribuzione-Non Commerciale-Non opere derivate
4.0 Internazionale (CC-BY-NC-ND 4.0)

L'opera, comprese tutte le sue parti, è tutelata dalla legge sul diritto d'autore. L'utente nel momento in cui effettua il download dell'opera accetta tutte le condizioni della licenza d'uso dell'opera previste e comunicate sul sito <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/deed.it>

11

Francesca Fatta
Prefazione | Preface

LINGUAGGI LANGUAGES

19

Sabrina Acquaviva
Documentare la memoria storica.
Linguaggi digitali per la gestione del patrimonio archeologico
Documenting Historical Memory. Digital Languages to Manage
the Archaeological Heritage

37

Alessio Altadonna, Adriana Arena
I linguaggi della rappresentazione: i disegni della fontana di Orione a Messina
tra il XVI e il XXI secolo
The Languages of the Representation: the Drawings of the Orion Fountain
in Messina between the 16th and the 21st Century

61

Marinella Arena, Daniele Colistra, Domenico Mediatì
Arte e architettura. Teoria e prassi del meme dominante
Art and Architecture. Theory and Practice of the Dominant Meme

85

Pasquale Argenziano
Il disegno della città nelle tavole del De Nola.
Metodi della rappresentazione e della tipografia
City Drawing in De Nola's Tables.
The Representation Methods and Typographic Analysis

103

Greta Attademo
La rappresentazione dello spazio nei videogiochi
The Representation of Space in Videogames

123

Martina Attenni, Alfonso Ippolito, Claudia Palmadessa
Indispensabili Utopie: Jakov Georgievič Černichov
Indispensable Utopias: Jakov Georgievič Černichov

141

Alessandra Avella
Il disegno della città nelle tavole del De Nola.
Analisi geometrico-dimensionale delle iconografie
City Drawing in De Nola's Tables.
Geometric-Dimensional Analysis of the Iconographies

159

Leonardo Baglioni, Marco Fasolo, Matteo Flavio Mancini, Sofia Menconero
I sistemi evolutivisti nella ricerca della forma ideale
Evolutionary Algorithms in the Search for the Ideal Form

179

Leonardo Baglioni, Marta Salvatore
Andrea Pozzo e l'arte dei linguaggi scenici
Andrea Pozzo and the Art of Scenic Languages

197

Piero Barlozzini, Laura Carnevali, Fabio Lanfranchi
Dal rilievo all'analisi grafica della basilica
di Santa Maria in Foro Claudio a Ventaroli
From Surveying to Graphical Analysis of the Basilica
of Santa Maria in Foro Claudio in Ventaroli

215

Cristiana Bartolomei, Cecilia Mazzoli, Caterina Morganti
The Language of Rendering in Architectural Visualisations

225

Rachele Angela Bernardello, Andrea Momolo
Connessioni figurative e informative tra lo spazio costruito
e lo spazio pittorico
Figurative and Informative Relations between the Built Space
and the Pictorial Space

245

Paolo Barin, Devid Campagnolo, Alberto Langhin
Testo, modello, diagramma: continuità e aggiornamento
dei linguaggi per la rappresentazione
Text, Model, Diagram: Representation as a Changing Language

261

Giovanni Caffio
Atlante dei borghi solitari: il disegno per le micro-città d'Abruzzo
Atlas of Lonely Towns: the Drawing for Abruzzo's Micro-Cities

285

Marco Canciani, Giovanna Spadafora, Paola Brunori, Francesca Laganà
Il lessico formale dell'architettura storica:
il caso del centro storico di Sambiasi
The Formal Lexicon of Historic Architecture:
the Case of the Historic Center of Sambiasi

307

Marco Canciani, Francesca Romana Stabile, Valentina Apostoli
Linguaggi architettonici tra presente e passato:
la borgata giardino del Pigneto
Architectural Languages between Past and Present:
the Garden City of Pigneto

329

Davide Carleo, Martina Gargiulo, Luigi Corniello, Michelangelo Scorpio,
Giovanni Ciampi, Pilar Chías Navarro
Il linguaggio dell'architettura funzionale e della memoria
nel Parco del Retiro a Madrid
The Language of Functional Architecture and Memory
in the Retiro Park in Madrid

353

Marco Carpi, Antonio Schiavo
La facciata della Basilica di San Pietro:
connessioni tra Luigi Moretti e Alberto Carpi
The Façade of St. Peter's Basilica:
Connections between Luigi Moretti and Alberto Carpi

371

Matteo Cavaglià, Luigi Cocchiarella, Veronica Fazzina, Simone Porro
Tracking Future Graphics Education through Virtual Dystopian Spaces

378

Gerardo Maria Cennamo
Ermeneutica della rappresentazione:
la preminenza del disegno nel confronto pluridisciplinare
Representation's Hermeneutics:
the Supremacy of the Drawing in the Multidisciplinary Comparison

394

Santi Centineo
Da selezione a elezione: sintesi, antitesi e tesi
nell'ideazione grafica di Buzzi
From Selection to Election: Synthesis, Antithesis and Thesis
in Buzzi's Graphic Ideation

414

Stefano Chiarenza
L'illustrazione di moda tra arte, comunicazione e progetto
Fashion Illustration between Art, Communication and Project

432

Pilar Chías Navarro, Tomás Abad
La construcción de los paisajes del Palacio Real de Madrid,
Siglos XVI-XX
Planned and Built Landscapes Around the Palacio Real in Madrid,
16th to 20th Centuries

- 452
Emanuela Chiavani, Sara Colaceci, Federico Rebecchini
Un disegno più vasto. Linguaggi, distanze & psicologie
A Wider Drawing. Languages, Distances & Psychologies
- 472
Maria Grazia Cianci, Daniele Calisi, Sara Colaceci, Matteo Molinari
Nuove e vecchie immagini della didattica: reale e virtuale
New and Old Images of Teaching: Real and Virtual
- 490
Margherita Cicala
Approcci metodologici finalizzati alla conoscenza geometrica di torri e campanili
Methodological Approaches Aimed at the Geometric Knowledge of Towers and Bell Towers
- 510
Enrico Cicalò, Marta Pileri, Michele Valentino
Connessione tra saperi. Il contributo delle scienze grafiche nella ricerca in ambito medico
Connecting Knowledge. The Contribution of Graphic Sciences to Medical Research
- 528
Paolo Clini, Ramona Quattrini, Romina Nespeca, Renato Angeloni, Mirco D'Alessio
L'Adriatico come accesso alla cultura tangibile e intangibile dei porti: il Virtual Museum di Ancona
Adriatic Sea as an Access to the Tangible and Intangible Culture of Ports: the Ancona Virtual Museum
- 548
Sara Conte, Valentina Marchetti
Progettisti a fumetti: quando la nona arte parla di progetto
Designers in Comics: When the Ninth Art Talks about Design
- 566
Luigi Corniello, Gennaro Pio Lento, Angelo De Cicco
Codici, spazi, processi. I monasteri del Monte Athos
Codex, Spaces, Processes. The Monasteries of Mount Athos
- 590
Domenico Crispino, Luigi Corniello
L'armonia del linguaggio dei Giardini Paesaggistici nell'Europa di fine '700
The Harmony of Language in Landscape Gardens in Late 18th Century Europe
- 608
Valeria Croce, Gabriella Caroti, Livio De Luca, Andrea Piemonte, Philippe Véron, Marco Giorgio Bevilacqua
Tra Intelligenza Artificiale e H-BIM per la descrizione semantica dei beni culturali: la Certosa di Pisa
Artificial Intelligence and H-BIM for the Semantic Description of Cultural Heritage: the Pisa Charterhouse
- 626
Caterina Cumino, Martino Pavignano, Ursula Zich
Proposta di un catalogo visuale di modelli per lo studio della forma architettonica tra Matematica e Disegno
Visual Catalog of Models for the Study of Architectural Shapes between Mathematics and Drawing: a New Proposal
- 646
Gabriella Curti
Sul linguaggio grafico di sintesi: segni e simboli nel mondo reale e virtuale
Innovation in Language: Signs and Symbols in the Real World and Virtual Reality
- 662
Massimo De Paoli, Luca Ercolin
I Colomba e i Reti: la decorazione a stucco nella chiesa delle Grazie in Brescia
The Colomba and the Reti: Plaster Decorations in the Church of Delle Grazie in Brescia
- 680
Tommaso Empler, Adriana Caldarone, Elena D'Angelo
Una Roma in cui giocare: ricostruzioni 3D e serious games dalla pianta del Nolli
A Rome to Play in: 3D Reconstructions and Serious Games from Nolli Plant
- 700
Cristian Farinella, Raissa Garozzo, Lorena Greca, Martino Pavignano, Jessica Romor
Connettere per conoscere e comunicare: sviluppi dell'applicazione UID 3.0
Connecting to Know and Communicate: Development of the UID 3.0 Application
- 722
Cristian Farinella, Lorena Greco
Il linguaggio grafico di Hugh Ferriss tra chiaroscuro e illustrazione 3D
The Graphic Language of Hugh Ferriss between Chiaroscuro and 3D Illustration
- 740
Mariateresa Galizia, Graziana D'Agostino, Andrés Payà Rico, Giuseppe Maria Spera
The Castle of Mussomeli (CL) and its Stables: an Educational and Connecting Space between Local Historical Heritage Sites
- 749
Francesca Gasparetto, Laura Baratin
Open Conservation: tecniche di rappresentazione a supporto dell'iter conservativo
Open Conservation: Representation Techniques to Support the Conservative Process
- 765
Paolo Giordano
Il disegno di restauro
The Restoration Drawing
- 783
Manuela Incerti, Paola Foschi
Pietro Fiorini e la prospettiva su Bologna
Pietro Fiorini and the Perspective on Bologna
- 805
Carlo Inglese, Roberto Barni, Marika Griffò
3D Archeolandscape. Pantalica rupestre
3D Archeolandscape. Rupestrian Pantalica
- 825
Sereno Innocenti
"Abitare con sé stessi". Dalla stanza sull'albero al Casello RAV (Reparto Alta Velocità) di Manerba del Garda (BS)
"Living With Yourself". From the Tree Room to the Toll Booth RAV (High Speed Department) in Manerba del Garda (BS)
- 841
Pedro António Janeiro
A Heurística do Desenho e a sua Aparente Lateralidade à Arquitectura: Meadas, nós e novelos
The Heuristic of Drawing and its Apparent Laterality to Architecture: Hanks, Knots and Balls of Yarn
- 859
Gennaro Pio Lento, Fabiana Guerriero, Luigi Corniello, Pedro António Janeiro
Linguaggi architettonici ed esoterici per la rappresentazione della Quinta da Regaleira a Sintra
Architectural and Esoteric Languages for the Representation of the Quinta da Regaleira in Sintra
- 879
Alessandro Luigini
Riviste scientifiche nel settore ICAR17: analisi quantitativa delle keywords e dei temi di ricerca
Scientific Journals in ICAR17: Quantitative Analysis of Keywords and Research Topics
- 901
Manuela Milone
From Detail to Project: House Caiozzo-Facciola
- 909
Vincenzo Moschetti
Imago Sylvae. Strumenti di attraversamento e rappresentazione dello spazio selvatico
Imago Sylvae. Instruments for Navigating and Representing the Wilderness
- 925
Daniela Palomba, Simona Scandurra
La linea curva che avvolge lo spazio
The Curved Line that Envelops the Space
- 945
Domenico Pastore
Dalla superficie al volume. Un'indagine grafica del progetto Solidi di Cesare Leonardi
From Surface to Solid. A Close Reading about Cesare Leonardi's Project Solids
- 963
Anna Lisa Pecora
Il linguaggio grafico e gli indizi pittorici per una comunicazione inclusiva dello spazio
Graphic Language and Pictorial Clues for an Inclusive Communication of Space
- 979
Javier Peña Gonzalvo, Luis Agustín Hernández
Análisis y composición geométrica del frente norte de la capilla de San Miguel, la seo de Zaragoza
Analysis and Geometric Composition of the North Front of the San Miguel Chapel, the Seo of Zaragoza
- 995
Giulia Pettoello
Quando l'architettura è illustrazione: la comunicazione del progetto
When Architecture is Illustration: Communicating the Project
- 1013
Nicola Pisacane
Il disegno della città nelle tavole del De Nola.
Analisi degli aspetti geografici e cartografici
City Drawing in De Nola's Tables.
Geographical and Cartographical Analysis Features

1029

Manuela Piscitelli

Il linguaggio grafico modernista nelle pagine di *Pencil Points*
The Modernist Graphic Language in the Pages of *Pencil Points*

1047

Fabiana Raco

Le intenzioni di progetto. Disegno, rilievo e documentazione di luoghi della rappresentazione
The Purpose of Design. Drawing, Survey and Documentation of the Places of Performance

1063

Luca Ribichini, Vito Rocco Panetta, Antonio Schiavo, Lorenzo Tarquini, Ivan Valcerca

Exedra: il disegno dello spazio romano tra geometria e percezione
Exedra: Designing Space in Rome. Geometry and Perception

1085

Daniele Rossi

Closer Than We Think: visioni del futuro dell'alimentazione nelle illustrazioni di Arthur Radebaugh
Closer Than We Think: Visions of the Future of Food in the Illustrations of Arthur Radebaugh

1105

Michele Russo

La prospettiva curiosa in acqua: un nuovo linguaggio anamorfico
The Curious Perspective in Water: a New Anamorphic Language

1123

Marcello Scalzo

Riflessioni sul linguaggio grafico nei poster di Savignac
Reflections on the Graphic Language of Savignac's Poster

1143

Alberto Sdegno, Silvia Masserano, Veronica Riavis

Tre chiese a Trieste: per un'analisi grafica comparativa
Three Churches in Trieste: for a Comparative Graphic Analysis

1161

Francesco Stilo, Crystel Mamazza

Architettura sacra lungo le sponde del fiume Eufrate.
Dura-Europos, il primo edificio di culto cristiano
Sacred Architecture Along the Banks of the Euphrates River.
Dura Europos, the First Building for Christian Worship

1179

Ana Tagliari, Wilson Florio

Le Corbusier's *Maisons Sans Lieu*. Reconstructive Redrawing.
Digital and Physical Model of Unbuilt Architecture

1188

Ana Tagliari, Wilson Florio, Luca Rossato

The Representation of Staircases in the Architecture of Lina Bo Bardi

1198

Ilaria Trizio, Adriana Marra, Francesca Savini, Andrea Ruggieri

L'architettura vernacolare e i suoi linguaggi:
verso un'ontologia dei centri storici minori
The Vernacular Architecture and its Languages:
Towards an Ontology of the Minor Historic Centres

1216

Pasquale Tunzi

La vulgarizzazione del disegno tecnico
The Vulgarisation of Technical Drawing

1228

Francesca Maria Ugliotti, Anna Osello

Il disegno riscopre la sua intrinseca resilienza multidisciplinare
Drawing Rediscovered its Intrinsic Multidisciplinary Resilience

1242

Maurizio Unali

Rappresentare significa innescare ibridazioni culturali: il caso *Light Show '60*
To Represent Means Triggering Cultural Hybridizations: the Case *Light Show '60*

1256

Starlight Vattano

Distanze digitali nella danza disegnata. Schemi sulle coreografie dei *Ballets Russes*
Digital Distances in the Drawn Dance. Schemas on the *Ballets Russes* Performances

1274

Marco Vitali, Concepción López González, Giulia Bertola, Fabrizio Natta

Percorsi cerimoniali e organizzazione distributiva nei palazzi barocchi torinesi.
Palazzo Capris di Ciglié
Ceremonial Ways and Distribution in the Baroque Palaces of Turin.
Palazzo Capris di Ciglié

1294

Ornella Zerlenga, Vincenzo Cirillo

La tecnologia *Polaroid* fra linguaggi e distanze.
Una suggestione videografica per i tempi di Covid-19
Polaroid Technology between Languages and Distances.
A Video-Graphic Suggestion for the Covid-19 Times

DISTANZE DISTANCES

1318

Marta Alonso Rodríguez, Noelia Galván Desvaux, Raquel Álvarez Arce

Apprendendo a mirar. La copia come metodologia de enseñanza en las asignaturas de dibujo durante el confinamiento
Learning How to Watch. Copying as Learning Methodology in Drawing Courses During Confinement

1334

Paolo Belardi, Valeria Menchetelli, Giovanna Ramaccini

diDaD - disegno e Didattica a Distanza. Tre esperienze di rimediazione
diDaD - Drawing and Distance Learning. Three Remediation Experiences

1352

Stefano Bertocci, Anastasia Cottini

Itinerari di Architettura Moderna a São Paulo, Brasile
Modern Architecture Itineraries in São Paulo, Brazil

1370

Alessandra Bianchi

Ecosystems and Green Connections:
Representation and Strategy for Cremona Landscape

1381

Rosario Giovanni Brandolino, Paola Raffa

L'ultra-distanza e l'epifenomeno della finitezza, tra distanza e Distanza
Ultra-Distance and the Epiphenomenon of Finitude, between 'distance' and Distance

1397

Stefano Brusaporci, Pamela Maiezza, Alessandra Tata, Mario Centofanti

Ricostruire per riscoprire storie: la chiesa di S. Francesco a Piazza Palazzo all'Aquila
Rebuilding to Rediscover Stories: the Church of S. Francesco in Piazza Palazzo, L'Aquila

1415

Cristina Cándito, Alessandro Meloni

Il contributo della rappresentazione alla percezione dell'architettura.
Orientamento, connessioni spaziali e accessibilità
The Contribution of Representation to the Perception of Architecture.
Orientation, Spatial Connections and Accessibility

1435

Alessio Cardaci

Il disegno per l'infanzia al tempo della pandemia:
l'esperienza del C.I. di Disegno, Arte e Musica di UniBg
Drawing for Children in Pandemic Era:
the Experience of the C.I. of Drawing, Art and Music of UniBg

1451

Laura Carnevali, Fabio Colonnese

Insegnare il disegno di architettura tra pandemia e semestralizzazione
Teaching Architecture Drawing between Pandemic and Semi-Annualization

1471

Massimiliano Ciammaichella

Il disegno della danza. Notazione e controllo dello spazio performativo
Drawing of the Dance. Notation and Performative Space Control

1489

Federico Gioli, Roberta Ferretti

L'asse urbano dal Duomo a Ponte Vecchio a Firenze:
sistemi di attività affini e commercio su suolo pubblico
The Urban Axis from Duomo to Ponte Vecchio in Florence:
Commercial Activities Systems and Street Trading

1507

Alessandra Cirafici, Carlos Campos

L'occhio immobile di *Quad* che ferma il mondo
Quad's Motionless Gaze that Stops the World

1525

Giuseppe D'Acunzio, Antonio Calandriello

Un 'disegno' alternativo: linguaggi, strumenti e metodologie di un'esperienza didattica ai tempi del Covid-19
An Alternative 'Drawing': Languages, Tools and Methodologies of a Teaching Experience at the Time of Covid-19

1545

Saverio D'Auria, Lia Maria Papa

Connessioni (im)materiali per una rigenerazione sostenibile
(IM)Material Connections for a Sustainable Regeneration

1563

Pia Davico

Connessioni tra città e immagini per tessere inediti legami sociali
Connections between Cities and Images to Weave Unprecedented Social Links

1581

Eleonora Di Mauro, Salvatore Damiano

Disegnare il non costruito: la Caserma-Teatro G.I.L. di Luigi Moretti a Piacenza
Drawing the Unbuilt: the Caserma-Teatro G.I.L. by Luigi Moretti in Piacenza

1601

Edoardo Dotto

Fuori luogo. Contatti uditivi tra Ottocento e Novecento
Out of Place. Auditory Contacts between
the Nineteenth and Twentieth Centuries

1615

Maria Linda Falcidieno, Enrica Bistagnino, Alessandro Castellano,

Massimo Malagugini, Ruggero Torti, Maria Elisabetta Ruggiero

Modus in rebus
Modus in Rebus

1633

Isabella Friso, Gabriella Liva

Allentare le distanze: una esperienza didattica di fruizione espositiva virtuale
Loosening Distances: an Educational Experience of Virtual Exhibition Fruition

1649

Raissa Garozzo, Cettina Santagati

Nuove prospettive sulla ferrovia Circumetnea:
un viaggio tra archivi e rappresentazione digitale
Novel Perspectives on the Circumetnea Railway:
a Journey Across Archives and Digital Representation

1669

Gaetano Ginex, Francesco Trimboli, Sonia Mercurio

Il caso della città di Shibam nello Yemen del Sud.
Conoscenza e monitoraggio avanzato del patrimonio culturale
The Case of the City of Shibam in South Yemen.
Knowledge and Advanced Monitoring of Cultural Heritage

1689

Massimiliano Lo Turco, Elisabetta Caterina Giovannini, Andrea Tomalini

Valorizzazione del patrimonio immateriale attraverso le tecnologie
digitali: la Passione di Sordevolo
Enhancing Intangible Heritage through Digital Technologies:
La Passione di Sordevolo

1709

Cecilia Luschi

Il disegno che supera linguaggi e distanze.
La missione archeologica italiana di AskGate
The Design Transcending Languages and Distances.
The Italian Archaeological Mission of AskGate

1725

Federica Maietti, Andrea Zattini

Between Survey and Communication. On Distance Experiences

1734

Rosario Marrocco

I disegni della Luna e di Marte di Galileo e Schiaparelli.
Analisi sui disegni e sulle immagini di un altro mondo
Drawings of the Moon and Mars by Galileo and Schiaparelli.
Analysis on Drawings and Images of Another World

1760

Sofia Menconero

Distanze illusorie: l'uso della prospettiva aerea nelle Carceri piranesiane
Illusory Distances: the Use of Aerial Perspective in Piranesi's Carceri

1780

Daniele Giovanni Papi

La campagna d'Egitto: il contributo essenziale
di Bonaparte e Monge alla moderna egittologia
The Egypt Campaign: the Essential Contribution
of Bonaparte and Monge to Modern Egyptology

1796

Claudio Patanè, Dario Calderone

L'invisibile rivelato. Disamina e progetto per un itinerario
museale diffuso dell'antica Contea di Mascali
The Invisible Revealed. Analysis and Plan for a Widespread
Museum Itinerary of the Ancient County of Mascali

1814

Anna Sanseverino, Victoria Ferraris, Davide Barbato, Barbara Messina

Un approccio collaborativo di tipo BIM per colmare
distanze fisiche, sociali e culturali
A BIM Collaborative Approach to Overcome
Physical, Social and Cultural Distances

1832

Michele Valentini, Enrico Cicalò, Marta Pileri

Dalla didattica epistolare alla didattica digitale. Tradizione e attualità dell'appren-
dimento a distanza del disegno
From Epistolary to Digital Teaching. Tradition and Relevance of Distance
Learning of Drawing

1848

Marta Zerbini

Tempo e Spazio negli itinerari di viaggio: la costa mediterranea di levante
Time and Space in Travel Itinerary: the East Coast of Mediterranean Sea

TECNOLOGIE TECHNOLOGIES

1866

Fabrizio Agnello, Mirco Cannella

Sperimentazione di una procedura per la creazione
di un atlante digitale per la documentazione dei soffitti lignei dipinti di Sicilia
A Workflow for the Creation of a Digital Atlas
for the Documentation of the Painted Wooden Ceilings of Sicily

1884

Laura Aiello

I disegni di viaggio di Étienne Gravier.
Restituzioni prospettiche e ipotesi ricostruttive
Travel Drawings by Étienne Gravier.
Perspective Restitution and Reconstructive Hypotheses

1902

Giuseppe Amoruso, Sara Conte, Polina Mironenko

Rappresentazione dell'intangibile, cultura beduina e tecnologie per connettere
Representation of the Intangible, Bedouin Culture and Technologies to Connect

1922

Sara Antinozzi, Diego Ronchi, Salvatore Barba

3Dino System, come accorciare le distanze nei rilievi di precisione
3Dino System, Shortening Distances in Precision Surveys

1942

Giuseppe Antuono

Sistemi e modelli integrati di conoscenza e visualizzazione.
Il 'Bosco' del Real Sito di Portici
Integrated Systems and Knowledge and Visualisation Models.
The 'Woods' of the Royal Site of Portici

1962

Marco Aprea, Giovanna Cacudi, Gabriele Rossi, Francesca Sisci

Rilievo dell'ex Ospedale dello Spirito Santo a Lecce
per la valutazione e riduzione del rischio sismico
Survey of Ex Ospedale dello Spirito Santo in Lecce
for Seismic Risk Assessment and Reduction

1978

Fabrizio Avella

Il secondo concorso per il Parlamento di Ernesto Basile.
Criteri di modellazione e stampa 3D
The Second Competition for the Parliament Building in Rome
by Ernesto Basile. 3D Modelling and Printing Criteria

1998

Fabrizio Banfi

Modelli dinamici interattivi per il patrimonio costruito
Dynamic Interactive Models for Built Heritage

2014

Carlo Battini, Marcella Mancusi, Mauro Stallone

Rilievo tridimensionale e virtualizzazione di sculture in marmo
del Museo Archeologico Nazionale di Luni
Three-dimensional Survey and Virtualization of Marble Sculptures
from the National Archaeological Museum of Luni

2036

Carlo Bianchini, Alekos Diacodimitri, Marika Griffò

Lost in conversion. Gli archivi fotografici tra analogico e digitale
Lost in Conversion. Photographic Archives between Analogue and Digital

2062

Fabio Bianconi, Marco Filippucci, Lara Anniboletti, Tiziana Caponi

Eredità archeologiche. Linguaggi, distanze,
tecnologie dal rilievo classico ai modelli digitali immersivi
Archaeological Heritage. Languages, Distances,
Technologies from Classic Architectural Survey to Immersive 3D-Modeling

2092

Matteo Bigongiarì

Il rilievo digitale di una fabbrica del Quattrocento:
la Sagrestia Vecchia di San Lorenzo
Digital Survey of a Building Site of the Fifteenth Century:
the Sagrestia Vecchia in San Lorenzo

- 2110
Stefano Brusaporci, Alessandra Tata, Pamela Maiezza
The "LoH - Level of History" for an Aware HBIM Process
- 2119
Mara Capone, Emanuela Lanzara
Artefatti cognitivi interattivi web-based:
edutainment per il patrimonio culturale
Web-based Interactive Cognitive Artifacts:
Edutainment for Cultural Heritage
- 2137
Eduardo Carazo, Álvaro Moral, David Mahamud
Restitución de las villas no construidas de Le Corbusier
en India mediante la mirada de Lucien Hervé
Restitution of Le Corbusier's Unbuilt Villas
in India through the Eyes of Lucien Hervé
- 2151
Alessio Cardaci, Francesco Sala
La Pala del Moretto della Chiesa di Sant'Andrea:
una traduzione 3D per la fruizione di soggetti con disabilità visiva
The Pala del Moretto of the Church of Sant'Andrea:
a 3D Translation for People with Visual Disabilities
- 2173
Lorenzo Ceccon, Virginia Vecchi
Weaving Thoughts and Reality through Drawing:
New Technologies and Emerging Cognitive and Epistemological Paradigms
- 2181
Valeria Cera
L'interoperabilità tra software BIM e gaming.
Una sperimentazione aperta per l'architettura storica
Interoperability between BIM and Gaming Software.
An Open Experimentation for Historical Architecture
- 2199
Pierpaolo D'Agostino
La rappresentazione grafico-tecnica al tempo del 4.0.
Una riflessione sulla transizione digitale
Technical Graphic Representation in the 4.0 Era.
A Reflection about the Digital Transition
- 2211
Giuseppe Di Gregorio
Il disegno dei mosaici dell'ambulacro della Grande Caccia
nella villa Philosophiana di Piazza Armerina
The Drawing of the Mosaic Ambulatory of the Great Hunt
in the Philosophiana Villa in Piazza Armerina
- 2231
Alekos Diacodimitri
Virtual Plein Air. Quando il disegno dal vero diventa virtuale:
l'esperienza del Parco del Colle Oppio di Roma
Virtual Plein Air. When Life Drawing Becomes Virtual:
the Experience of Colle Oppio Park in Rome
- 2247
Vincenzo Donato, Carlo Biagini, Alessandro Merlo
H-BIM per il progetto di recupero della Facoltà di Arte Teatrale della Havana
H-BIM for the Faculty of Theatral Art of Havana
- 2265
Tommaso Empler, Alexandra Fusinetti
Dal rilievo strumentale ai pannelli informativi tattili per un'utenza ampliata
From Instrumental Surveys to Tactile Information Panels for Visually Impaired
- 2283
Marika Falcone, Massimiliano Campi
Il Quadriportico della Cattedrale di S. Matteo:
sensori low cost per rilievi di rapid mapping
The Quadriportico of the Cathedral of S. Matteo:
Low-Cost Sensors for Rapid Mapping Surveys
- 2301
Laura Farroni, Giulia Tarei
Lo sguardo connettivo: le macchine per disegnare in prospettiva
tra XVI e XVII secolo
Connective Eyesight: Tools for Perspective Drawings
between XVI e XVII Century
- 2319
Fausta Fiorillo, Marco Limongiello, Cecilia Bolognesi
Integrazione dei dati acquisiti con sistemi image-based e range-based
per una rappresentazione 3D efficiente
Image-Based and Range-Based Dataset Integration
for an Efficient 3D Representation
- 2337
Mara Gallo
Le 'fonti' delle connessioni
The 'Sources' of Connections
- 2353
Sara Gonizzi Barsanti, Adriana Rossi
Scan-to-HBIM e Gis per la documentazione dei beni culturali:
un'utile integrazione
Scan-to-HBIM and Gis Technologies for the Documentation of Cultural Heritage:
a Useful Integration
- 2367
Manuela Incerti, Gianmarco Mei, Anna Castagnoli
Ubaldo Castagnoli e la piscina pensile del Palazzo dei Telefoni di Torino
Ubaldo Castagnoli and the Hanging Swimming Pool of the Palazzo dei Telefoni
in Turin
- 2385
Federico Mario La Russa, Cettina Santagati
Rilievo Urbano e City Information Modelling
per la valutazione della vulnerabilità sismica
Urban Survey and City Information Modelling
for Seismic Vulnerability Assessment
- 2403
Victor-Antonio Lafuente Sánchez, Daniel López Bragado
Videomapping arquitectónico:
la tecnología al servicio de la renovación del espacio
Architectural Videomapping: Technology at the Service of Space Renovation
- 2421
Gaia Lavoratti
Nelle Terre del Ghiberti.
Virtual Installation for Cultural Heritage Valorization
Through the Lands of Ghiberti.
Virtual Installation for Cultural Heritage Valorization
- 2437
Giulia Lazzari, Alessandro Manghi
Modelli interpretativi per la fruizione digitale delle architetture wideninghe
Interpretative Models for the Digital Fruition of Wideninghe Architectures
- 2455
Luca Masiello, Daniela Oreni, Mauro Severi
Un modello HBIM per la catalogazione dei restauri e la gestione degli interventi:
la Rocca estense di San Martino in Rio
A HBIM Model to Catalogue the Restorations and to Manage the Interventions:
the Rocca Estense of San Martino in Rio
- 2471
Marco Medici, Federico Ferrari
Realtà Virtuale e Aumentata per la valorizzazione
dell'Historical Archives Museum di Hydra
Virtual and Augmented Reality Applications
for Enhancement of the Historical Archives Museum of Hydra
- 2493
Alessandro Merlo, Matteo Bartoli
Modelli interpretativi a servizio dell'arte:
la porta del paradiso di Lorenzo Ghiberti
Interpretative Models Employed by Art:
the Gates of Paradise by Lorenzo Ghiberti
- 2513
Caterina Palestini, Alessandro Basso
Rilevamento a distanza: una metonimia per sperimentazioni
tra didattica e ricerca
Remote Sensing: a Metonym for Experimentation
between Teaching and Research
- 2535
Alice Palmieri
Paesaggi urbani tra tradizione e fruizione virtuale:
un viaggio tra sperimentazioni di estetica digitale
Urban Landscapes between Tradition and Virtual Fruition:
a Journey through Experiments in Digital Aesthetics
- 2549
Rosaria Parente
Disegno di rilievo fondativo di una ricerca multidisciplinare
presso il Complesso degli Incurabili
Design of Originating Survey of a Multidisciplinary Research
at the Complex of the Incurables
- 2571
Maurizio Peticarini, Valeria Marzocchella, Giovanni Mataloni
A Cycle Path for the Safeguard of Cultural Heritage:
Augmented Reality and New LiDAR Technologies

2580

Barbara Piga, Gabriele Stancato, Nicola Rainisio, Marco Boffi, Giulio Faccenda
Emotions and Places. An Investigation through Virtual Reality

2587

Giorgia Potestà

**Modellazione BIM parametrica e Trattati:
analogie nella rappresentazione dell'ordine architettonico**
**Parametric BIM Modeling and Treatises:
Analogies in the Representation of the Architectural Order**

2607

Marta Quintilla

Desarrollo de un Web-GIS para el patrimonio arquitectónico Mudéjar
Development of a Web-GIS for the Mudéjar Architectural Heritage

2621

Adriana Rossi, Lucas Fabian Olivero, António Bandeira Araújo

Spazi digitali e modelli immersivi: applicazioni di prospettiva cubica
Digital Environments and Immersive Models: Applications of Cubical Perspective

2643

Miguel Sancho Mir, Beatriz Martín Domínguez, Angélica Fernández-Morales
**Relaciones entre la muralla y la forma urbana a través de la cartografía:
el caso de Teruel**
**Relations between the Wall and Urban Form through Cartography:
the Case of Teruel**

2659

*Roberta Spallone, Fabrizio Lamberti, Marco Guglielminotti Trivel,
Francesca Ronco, Serena Tamantini*

**AR e VR per la comunicazione e fruizione del patrimonio
al Museo d'Arte Orientale di Torino**
**AR and VR for Heritage Communication and Fruition
at the Museo d'Arte Orientale of Turin**

2677

Marco Vedoà

**Combining Digital and Traditional Representation Techniques
to Promote Everyday Cultural Landscapes**

2686

Cesare Verdoscia, Antonella Musicco, Michele Buldo, Riccardo Tavalare, Naemi Pepe

**La documentazione digitale del patrimonio costruito attraverso l'A-BIM.
Il caso studio delle Terme di Diocleziano, Roma**
**The Digital Documentation of Cultural Heritage through A-BIM.
The Case Study of the Baths of Diocletian, Rome**

2704

Chiara Vernizzi, Roberto Mazzi

Dal reale al virtuale: quando la tecnologia accorcia le distanze
From Real to Virtual: when Technology Shortens Distances

2722

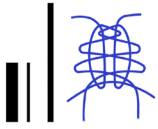
Alessandra Vezzi, Beatrice Stefanini

**Strategie di musealizzazione dinamica per nuovi ambiti di memoria:
il progetto DHoMus**
**Dynamic Musealization Strategies for New Areas of Memory:
the DHoMus Project**

2740

Gianluca Emilio Ennio Vita

Disegno, Paradigma Informatico e Intelligenza Artificiale
Drawing, Computer Science Paradigm and Artificial Intelligence



Tra Intelligenza Artificiale e H-BIM per la descrizione semantica dei beni culturali: la Certosa di Pisa

Valeria Croce
Gabriella Caroti
Livio De Luca
Andrea Piemonte
Philippe Véron
Marco Giorgio Bevilacqua

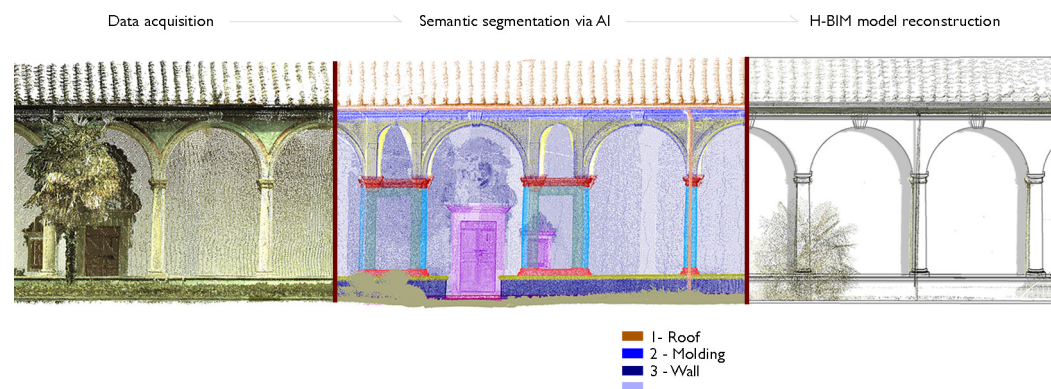
Abstract

L'applicazione dell'Intelligenza Artificiale (IA) ai beni architettonici introduce promettenti evoluzioni nel settore del Disegno: tecniche più automatizzate di segmentazione semantica possono essere estese al modello digitale e numerico per l'interpretazione dei dati di rilievo e per la conseguente ricostruzione di rappresentazioni 3D concettuali e parametriche.

Nuovi sistemi per la descrizione e la classificazione di dati 3D sono effettivamente sempre più richiesti, anche in vista dell'ottimizzazione di processi del tipo Scan-to-BIM. In questo contesto, il presente contributo illustra un approccio metodologico semi-automatico volto alla costruzione di rappresentazioni semanticamente ricche e intelligibili a partire da dati di rilievo. Tale approccio si basa su due nuclei fondanti: *in primis*, la classificazione e successiva propagazione di tipologie architettoniche, attraverso algoritmi di IA applicati alla nuvola di punti; quindi, la ricostruzione in ambiente *Building Information Modelling* (BIM) delle classi di elementi individuate tramite meccanismi di trasmissione delle informazioni e linguaggi di programmazioni visuale. La metodologia proposta è studiata in riferimento a casi studio rappresentativi relativi ad alcuni ambienti della Certosa Monumentale di Pisa.

Parole chiave

classificazione semantica, intelligenza artificiale, H-BIM, patrimonio architettonico, nuvola di punti.



Introduzione

Nelle discipline del disegno, il rilievo 3D per la documentazione digitale dei beni culturali è oggi sempre più diffuso. L'evoluzione di tecniche di acquisizione come il laser scanner e la fotogrammetria ha permesso un impiego sempre maggiore di nuvole di punti e mesh quali dati di partenza per applicazioni di conservazione, valorizzazione e disseminazione del patrimonio storico e architettonico. Così, ad esempio, i moderni processi Scan-to-BIM si basano sull'utilizzo di dati 3D per la creazione di modelli digitali informativi.

Seppure le nuvole di punti rappresentino un dato di input metricamente controllabile, la ricostruzione di modelli parametrici del tipo H-BIM (*Heritage-Building Information Modelling*) a partire da tali dati rappresenta oggi un procedimento lungo e laborioso, che richiede procedure complesse di interpretazione, riconoscimento e successiva modellazione degli elementi 3D e che impone quindi un consistente intervento umano.

In questo scenario, lo sviluppo nell'utilizzo di algoritmi di IA ha aperto la strada a sistemi più automatizzati per la segmentazione semantica di dati 3D, quest'ultima intesa come la suddivisione del dato di rilievo in gruppi di elementi tipologici (ad esempio: muro, solaio, volta, colonna, copertura...), individuati sulla base di caratteristiche geometriche e colorimetriche (*feature*) comuni.

L'automazione dell'operazione di segmentazione semantica consentirebbe di caratterizzare e descrivere la scena rilevata, inserendo degli attributi semantici, cioè legati alla conoscenza diretta del bene. Nell'affrontare questo tema, obiettivo del presente lavoro è illustrare un approccio semi-automatico per la ricostruzione di rappresentazioni intelligibili a partire dal rilievo 3D, anche in vista di una ottimizzazione dei processi del tipo Scan-to-BIM. La metodologia proposta si applica al caso di edifici che presentino tipologie architettoniche ricorrenti e si basa su (fig. 1):

- Tecniche semi-automatiche di identificazione, classificazione e successiva propagazione di elementi tipologici, attraverso algoritmi di IA;
- Una ricostruzione 3D delle geometrie individuate, attraverso linguaggi di programmazione visuale implementati in piattaforme BIM.

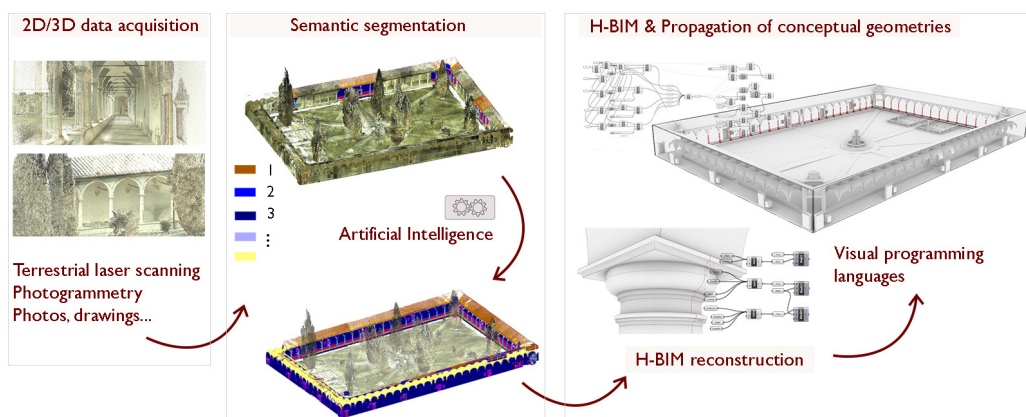


Fig. 1. Workflow dell'approccio metodologico proposto.

Stato dell'arte

I modelli digitali informativi dei beni architettonici costituiscono uno strumento fondamentale di supporto alle attività di conservazione e tutela dei beni architettonici. Attraverso il meccanismo dell'annotazione semantica [Croce et al. 2020], i sistemi H-BIM consentono di collegare alla rappresentazione geometrica degli attributi descrittivi [López et al. 2018, Murphy et al. 2009], che possono riguardare, ad esempio, la mappatura dei materiali, del degrado [Bacci et al. 2019], di superfici affrescate [Robleda-Prieto et al. 2016], le relazioni tra le diverse parti che compongono un edificio [De Luca et al. 2007] o ancora il collegamento a risorse documentarie e informazioni storiche [Roussel et al. 2019].

Il processo di documentazione digitale 3D del patrimonio architettonico si articola nelle rispettive fasi di [Hichri et al. 2013]: a) acquisizione dei dati di rilievo, b) segmentazione semantica, e c) costruzione del modello informativo in ambiente BIM. Di queste, la segmentazione semantica è la fase più lunga e meno automatizzata: si richiede ai disegnatori di interpretare una grande mole di dati non strutturati, per individuare, riconoscere e quindi ricostruire manualmente, a partire dalla nuvola di punti, le diverse geometrie di un edificio. L'intervento umano necessario è pertanto considerevole, e il procedimento può portare alla perdita di informazioni significative [Macher et al. 2017, Rocha et al. 2020; 2017; Rocha et al. 2020].

Nell'ottica di migliorare questa fase interpretativa del rilievo, rendendo il processo più oggettivo e ripetibile, sono state sperimentate tecniche più automatizzate di segmentazione semantica, basate sul *Machine Learning* (ML) e sul *Deep Learning* (DL), sottocategorie dell'IA. Nel ML supervisionato, si parte dall'annotazione manuale di una porzione della nuvola di punti e si identificano delle *feature*, che consentono di differenziare in maniera opportuna classi di elementi sulla base delle loro proprietà, ad esempio geometriche e colorimetriche. Quindi, si addestra il sistema a classificare nuovi dati sulla base delle *feature* individuate. Nel caso del DL, a partire da una mole più elevata di dati annotati forniti, è il sistema stesso che identifica le caratteristiche distintive adeguate, tramite reti neurali artificiali *multi-layer*.

Su un algoritmo di ML supervisionato, il *Random Forest* (RF), si sono basati alcuni studi recenti [Grilli et al. 2019; Teruggi et al. 2020], che hanno mostrato come la classificazione delle nuvole di punti 3D basata sulla scelta di *feature* geometriche ad hoc possa essere applicata efficacemente anche al caso dei beni culturali, per distinguere elementi architettonici ricorrenti.

Per quanto riguarda il DL, invece, le applicazioni ai beni culturali restano a oggi molto limitate [Matrone et al. 2020a], da una parte a causa della difficoltà di estendere il riconoscimento di classi di elementi a *dataset* diversi, vista la complessità morfologica e tipologica di ogni edificio storico, e dall'altra per via della scarsa disponibilità di una mole sufficiente di dati annotati per l'allenamento dei modelli predittivi [Matrone et al. 2020b].

Gli studi di segmentazione tramite ML risultano per questo i più promettenti, ma manca in generale una maggiore attenzione alle effettive possibilità di utilizzo del dato 3D segmentato, ad esempio, per arricchire modelli H-BIM; inserendosi in questo contesto, il presente studio mira ad approfondire il momento di passaggio dalla nuvola di punti semantica alla rappresentazione parametrica del tipo H-BIM.

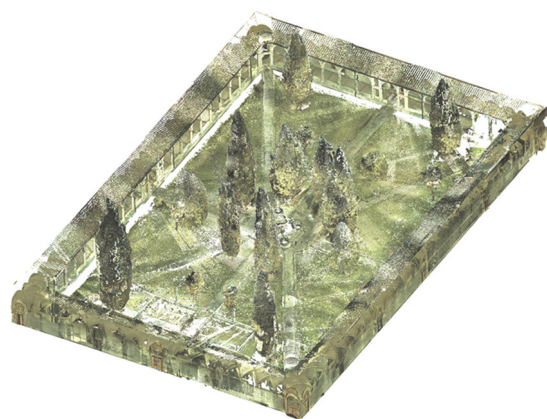
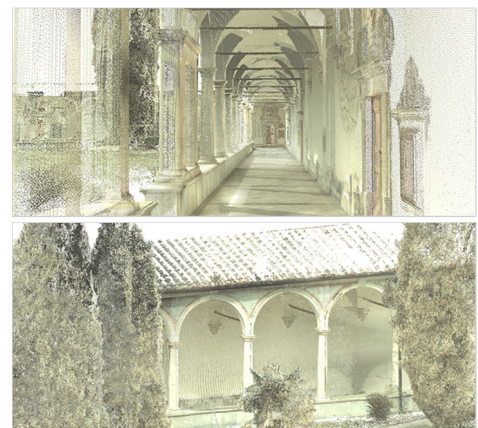


Fig. 2. Chiostro grande della Certosa: la nuvola di punti acquisita tramite laser scanner.



Il caso studio della Certosa di Calci

Fondata nel 1366 su iniziativa di alcune famiglie nobiliari pisane, la Certosa di Pisa a Calci rappresenta uno dei più importanti complessi monastici della Toscana. L'assetto attuale, frutto di continui interventi di ampliamento e ristrutturazione, risponde agli schemi tipologici della regola certosina, in cui vita eremitica e cenobitica sono fuse armonicamente. Case basse, corte

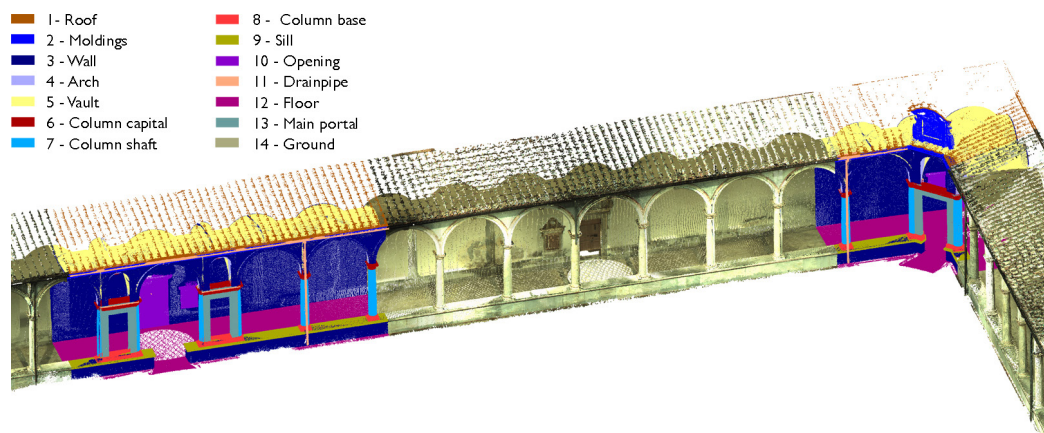


Fig. 3. Classi di elementi individuate a partire dal dato di rilievo. Il training set.

d'onore, chiesa, cenobio definiscono una progressiva ascesa verso il *desertum* e il cuore del complesso: il chiostro dei Padri.

La costruzione del chiostro risale al 1375, con la realizzazione della prima cella destinata al Priore. I lavori proseguono probabilmente fino al 1384. Nel XVII secolo, si registrano importanti lavori di ammodernamento, dovuti principalmente alla necessità di sanare gli spazi delle celle da fenomeni di umidità. Gli interventi contemplano un innalzamento dei pavimenti delle celle e del portico, oltre a un generale riammodernamento stilistico del chiostro [Manghi 1910].

Ottanta colonne di marmo si dispongono lungo il perimetro del chiostro a sostenere il sistema di volte a crociera dell'ambulacro; quattro serliane interrompono il ritmo delle colonne marcando i due assi principali del sistema compositivo; dipinti a secco raffiguranti scene sacre e iconografie di santi decorano le porte di accesso alle celle; al centro del chiostro, la fontana monumentale in pietra riccamente decorata completa l'assetto scenografico dello spazio.

Da allora, il chiostro non ha subito successive modifiche sostanziali, nemmeno durante i grandi lavori di ristrutturazione promossi dal priore Maggi durante la fine del XVIII secolo, lavori ai quali sostanzialmente si deve l'assetto attuale dell'intero complesso.

Sul finire del XIX secolo e fino alla metà del XX secolo, si registrano infatti solo interventi di coloritura delle superfici, determinati dalla necessità di uniformare l'aspetto cromatico degli intonaci e, successivamente, per ragioni di manutenzione ordinaria [Benassi 2005].

Sciolta dall'ordine generale di Grenoble, nel 1962 la comunità religiosa lascia la certosa, che viene gradualmente destinata ad attività museali. Dal 1972, infatti, il complesso ospita il Museo Nazionale della Certosa Monumentale di Calci, sotto il controllo del Ministero dei Beni e delle Attività Culturali e del Turismo – MiBACT, e, dal 1978, il Museo di Storia Naturale dell'Università di Pisa.

A partire dal 2018 l'Università di Pisa ha finanziato un progetto di ricerca multidisciplinare volto alla conservazione, restauro e valorizzazione dell'intero complesso; la ricerca qui proposta, rientra all'interno di queste attività (fig. 2).

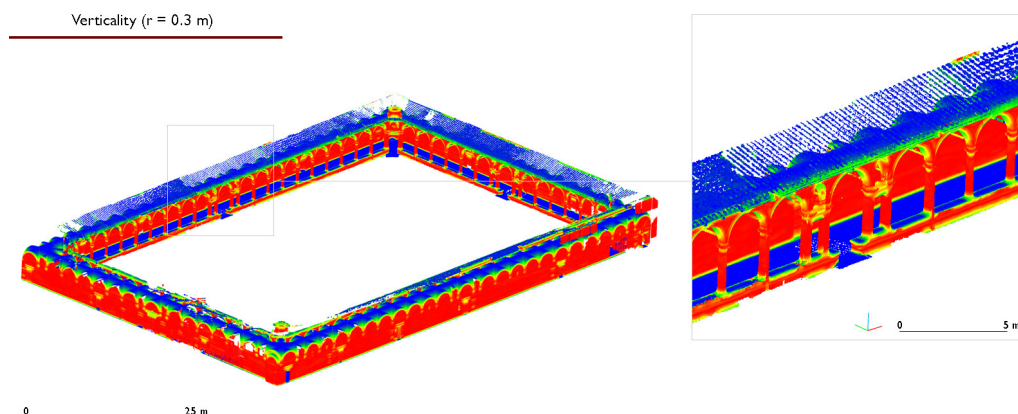


Fig. 4. Feature geometriche: verticalità.

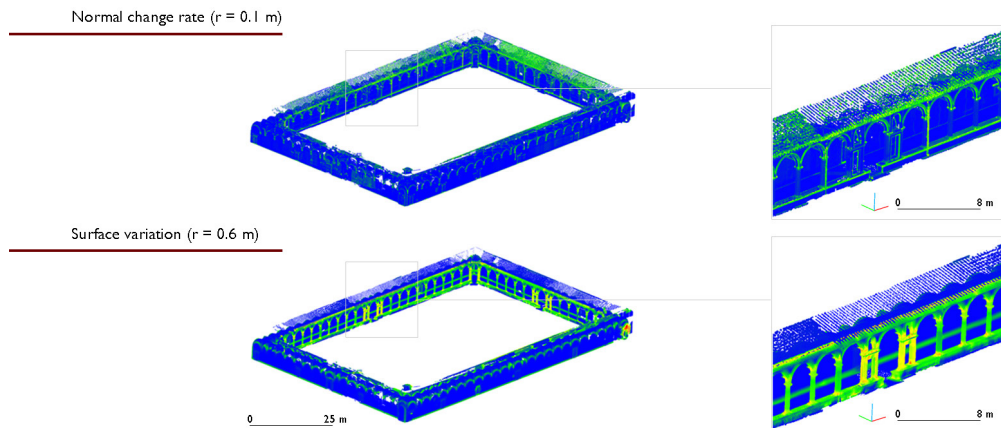


Fig. 5. Esempio di feature geometriche: *normal change rate* e *surface variation*.

Metodologia: dalla nuvola di punti semantica all'H-BIM

Il presente lavoro scaturisce dalla considerazione che è possibile riconoscere, nella complessità morfologica e costruttiva degli edifici storici, forme e tipologie architettoniche ricorrenti. Questo consente di distinguerle e, di conseguenza, rappresentarle, ricostruendo la grammatica delle loro forme (*shape grammar*). Il procedimento di 'segmentazione semantica', in effetti, è lo stesso che ha portato Vitruvio e i grandi trattatisti a studiare e tramandare le caratteristiche proporzionali degli ordini architettonici, codificando linguaggi e modelli dell'architettura classica.

Nell'approccio metodologico proposto:

- dapprima, si esegue la segmentazione semantica del set di dati 3D, tramite algoritmi di apprendimento supervisionato derivati dall'IA;
- quindi, la nuvola di punti contenente la suddivisione in classi di elementi tipologici (muro, colonna, solaio, copertura...) è sfruttata per generare e organizzare in maniera più efficace modelli H-BIM.

Nella prima fase (a), si annota una parte ridotta della nuvola di punti, identificando le classi. Questa operazione, insieme alla scelta di opportune *feature*, consente di fornire al sistema di apprendimento un numero adeguato di esempi 'annotati' per classificare correttamente la parte restante del *dataset*.

Nel ML supervisionato, le feature sono identificate e scelte di volta in volta in relazione al caso studio, e possono essere:

- colorimetriche, ovvero relative al dato di colore associato a ogni punto 3D;
- geometriche, che descrivono la disposizione spaziale reciproca dei punti della nuvola.

Ad esempio, in un certo intorno locale dei punti 3D, si possono estrarre caratteristiche geometriche come la linearità, la planarità, la sfericità, la variazione superficiale e così via [Croce et al. 2021; Grilli, Farella et al. 2019].

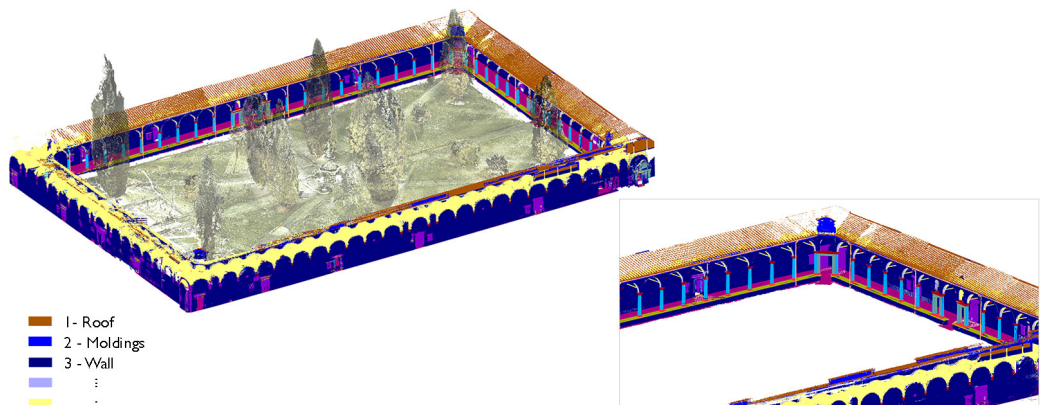


Fig. 6. Risultato della classificazione tramite IA.

Sulla base di questi dati di *input*, viene costruito il modello predittivo, che consente di associare un'etichetta semantica (la *label*) alla restante porzione della nuvola di punti, non precedentemente annotata.

Tale procedura viene eseguita attraverso costruzione di un classificatore RF e porta ad avere in ultima istanza un dato 3D semanticamente ricco, in cui è possibile distinguere, riconoscere, e di conseguenza anche isolare, tutti gli elementi architettonici presenti. Per la valutazione del modello di ML ottenuto, infine, si confrontano le previsioni restituite dal classificatore con la classe effettiva di destinazione.

La segmentazione semantica tramite IA consente di suddividere di volta in volta il dato iniziale di rilievo secondo la logica di ciò che vi è rappresentato; in altre parole, è possibile trattare ciascuna classe di elementi in maniera separata. Per la seconda fase (b), si sfrutta la nuvola di punti semanticamente annotata per ricostruire un modello H-BIM composto da 'famiglie' di elementi parametrici, create classe per classe.

Questo avviene definendo delle geometrie concettuali a priori per ciascuna categoria di elementi, sulla base di regole proporzionali e costruttive derivate dalle fonti storiche. Si identificano cioè le entità atomiche e si formalizzano le primitive architettoniche alla base della rappresentazione [De Luca et al. 2007], ricostruendo la natura geometrica degli elementi e interpretando per essi la forma originaria di progetto. Così, si individua e si modella per ciascuna classe (o 'famiglia parametrica') una geometria ideale di riferimento.

Alla fine del processo, le tecniche di *visual programming* consentono la propagazione e il confronto dimensionale di elementi ripetitivi.

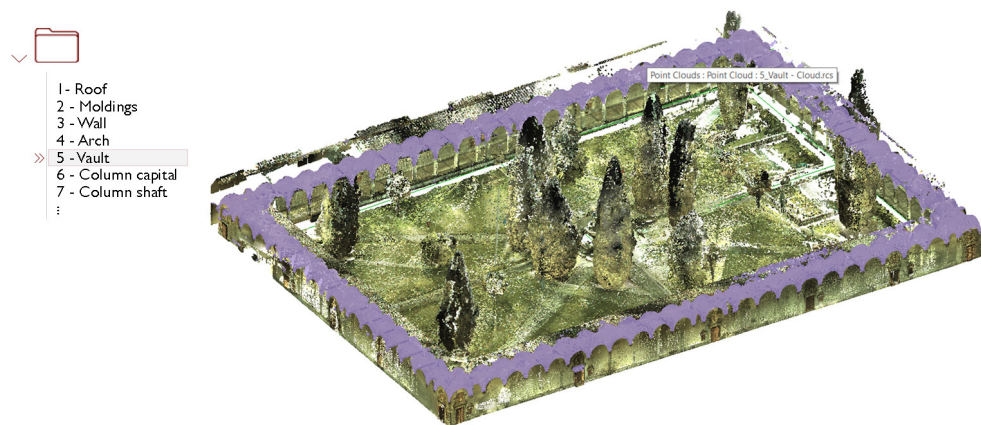


Fig. 7. Importazione della nuvola di punti segmentata. Visualizzazione della classe 'volte'.

Risultati

Il patrimonio delle certose è di fondamentale importanza per le prime significative sperimentazioni della metodologia proposta. Per esso, infatti, la collocazione spaziale degli ambienti segue le pratiche e gli usi dei monaci certosini, e c'è per questo una grande ripetizione di elementi archetipici: il chiostro principale, i chiostri minori, le celle dei padri e la chiesa, con portici, gallerie, volte affrescate.

Nel caso del Chiostro Grande, a partire dalla nuvola di punti iniziale, sono manualmente annotate su una porzione ridotta le 14 classi di elementi di fig. 3, riconosciute a partire da trattati di architettura. Quindi, sono estratte e selezionate le feature geometriche (figg. 4, 5). L'annotazione manuale del cosiddetto training set, insieme alla selezione delle feature, permette di allenare un classificatore RF, che estende la segmentazione semantica all'intero dataset del chiostro. Il risultato della classificazione è illustrato in fig. 6 e costituisce la base per la successiva costruzione del modello H-BIM. La nuvola di punti, segmentata e isolata per classi di elementi, è dunque trasferita in ambiente di modellazione H-BIM (fig. 7).

Qui, per ciascuna classe, la ricostruzione della forma parametrica concettuale segue l'approccio di formalizzazione proposto da [De Luca et al. 2007], che si basa su: interpretazione

della conoscenza relativa alla forma, individuazione dei metodi di modellazione e, infine, identificazione delle relazioni tra le parti costitutive della forma (figg. 8, 9).

Una volta ricomposta una geometria concettuale a partire dal rilievo, questa è propagata alle altre parti della nuvola di punti, che sono state identificate come appartenenti alla stessa classe semantica (fig. 9). L'approccio di ricostruzione e propagazione delle geometrie 3D sfrutta i linguaggi di programmazione visuale e, se ripetuto per ciascuna categoria, consente di ottenere alla fine del processo un modello virtuale parametrico, un *digital twin* che può essere arricchito di informazioni su materiali, interventi restaurativi e di consolidamento, struttura portante e analisi termiche (figg. 10, 11).

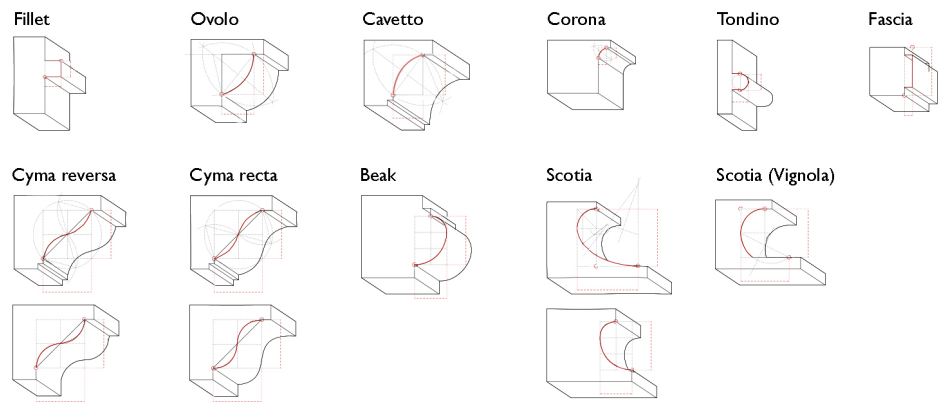


Fig. 8. Costruzione delle modanature su atomi geometrici a partire da: De Luca et al. 2007.

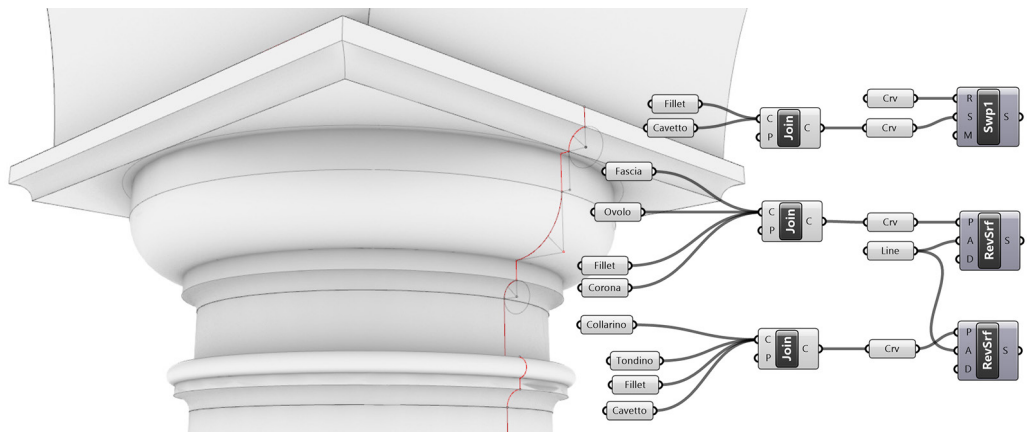


Fig. 9. Costruzione geometrica di un capitello con il linguaggio di programmazione visuale.

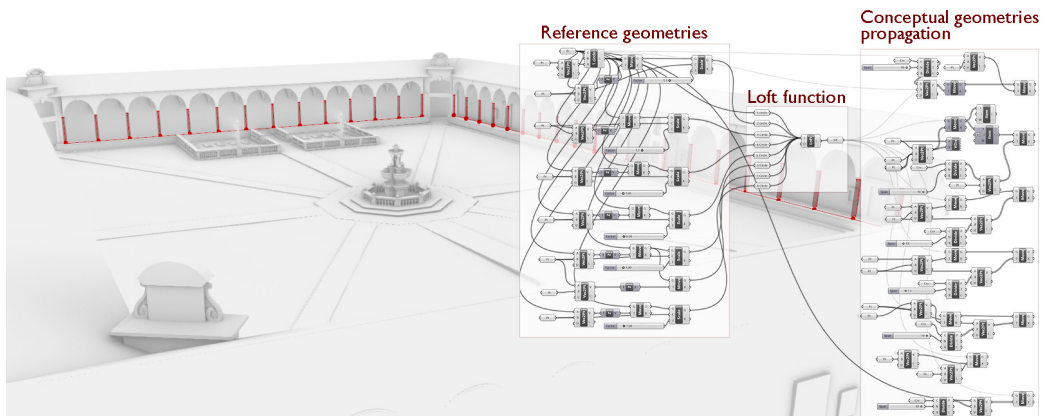


Fig. 10. Modello H-BIM costruito tramite propagazione di geometrie concettuali. Esempio del fusto della colonna.

Conclusioni

Le tecniche di IA applicate ai beni culturali aprono la strada a nuovi modi di interpretare, conoscere e rappresentare il dato geometrico, 2D o 3D, ottenuto dal rilievo. Si acquisisce così un più diretto collegamento, formale e 'ontologico', tra dati metrici e modelli digitali integrati, come quelli del tipo H-BIM, per la documentazione del costruito storico. Ulteriori sperimentazioni vanno nella direzione del miglioramento del processo di costruzione della replica digitale e dell'estensione della metodologia proposta ad altri dataset. Così, si prevede di applicare l'approccio presentato a vari casi studio, relativi a edifici storici e beni culturali che siano stati costruiti in epoche diverse, o che si presentino in condizioni differenti di conservazione, per valutare le specificità di ogni nuovo contesto. Infine, l'applicazione dell'IA per la mappatura semantica di elementi di degrado o per la restituzione materica delle superfici, a partire da dati di rilievo 2D/3D, è a oggi studiata come sviluppo ulteriore del presente lavoro.

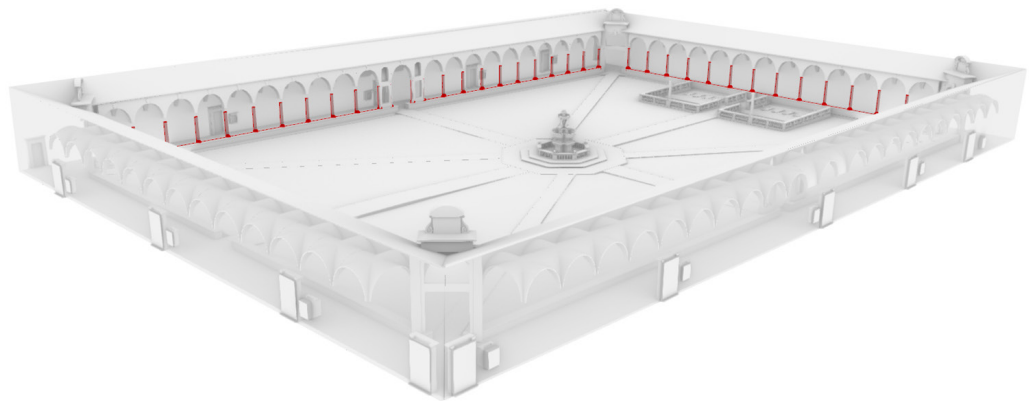


Fig. 11. Modello H-BIM, propagazione del fusto della colonna.

Ringraziamenti

Il presente studio rientra nell'ambito del progetto *Studi conoscitivi e ricerche per la conservazione e la valorizzazione del Complesso della Certosa di Calci e dei suoi Poli Museali*, finanziato dall'Università di Pisa. Si ringraziano pertanto tutti i ricercatori e collaboratori coinvolti nel progetto. La ricerca è in parte finanziata dall'Université Franco-Italienne, nell'ambito del progetto Vinci 2019 – Contributi di mobilità per tesi di dottorato in co-tutela, che promuove la collaborazione tra unità di ricerca italiane e francesi.

Riferimenti bibliografici

- Bacci G. et al. (2019). HBIM methodologies for the architectural restoration. The case of the ex-church of San Quirico all'Olivo in Lucca, Tuscany. In *ISPRS - International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XLII-2/W11, pp. 121-126.
- Benassi L. (2005). *Il chiostro grande della Certosa di Calci: storia, paesaggio, architettura*. Pisa: Primula Multimedia, 2005, pp. 25-29.
- Croce V. et al. (2020). Semantic annotations on heritage models: 2D/3D approaches and future research challenges. In *ISPRS - International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XLIII-B2-2020, pp. 829-836.
- Croce V. et al. (2021). From the Semantic Point Cloud to Heritage-Building Information Modeling: A Semiautomatic Approach Exploiting Machine Learning. In *Remote Sensing*, 13 (3), p. 461.
- De Luca L., Véron P., Florenzano M. (2007). A generic formalism for the semantic modeling and representation of architectural elements. In *The Visual Computer*, 23 (3), pp. 181-205.
- Grilli E. et al. (2019). Geometric features analysis for the classification of Cultural Heritage point clouds. In *ISPRS - International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XLII-2/W15, pp. 541-548.

- Grilli E., Özdemir E., Remondino F. (2019). Application of machine and deep learning strategies for the classification of heritage point clouds. In *ISPRS - International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XLII-4/W18, pp. 447-454.
- Hichri N. et al. (2013). From point cloud to BIM: A survey of existing approaches. In *ISPRS - International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XL-5/W2, pp. 343-348.
- López F. et al. (2018). A Review of Heritage Building Information Modeling (H-BIM). In *Multimodal Technologies and Interaction*, 2 (2), p. 21.
- Macher H., Landes T., Grussenmeyer P. (2017). From Point Clouds to Building Information Models: 3D Semi-Automatic Reconstruction of Indoors of Existing Buildings. In *Applied Sciences*, 7 (10), p. 1030.
- Manghi A. (1910). *Il Gran Chostro della Certosa di Pisa*. Pisa: Mariotti.
- Matrone F., Grilli E. et al. (2020). Comparing Machine and Deep Learning Methods for Large 3D Heritage Semantic Segmentation. In *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 9 (9), p. 535.
- Matrone F., Lingua A. et al. (2020). A benchmark for large-scale heritage point cloud semantic segmentation. In *ISPRS - International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XLIII-B2-2020, pp. 1419–1426.
- Murphy M., McGovern E., Pavia S. (2009). Historic building information modelling (HBIM). In *ISPRS - International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 27 (4), pp. 311-327.
- Robleda P.G. et al. (2016). Computational vision in UV-mapping of textured meshes coming from photogrammetric recovery: Unwrapping frescoed vaults. In *ISPRS - International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XLI-B5, pp. 391-398.
- Rocha G. et al. (2020). A Scan-to-BIM Methodology Applied to Heritage Buildings. In *Heritage*, 3 (1), pp. 47-67.
- Roussel R. et al. (2019). A digital diagnosis for the “autumn” statue (Marseille, France): Photogrammetry, digital cartography and construction of a thesaurus. In *ISPRS - International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XLII-2/W15, pp. 1039-1046.
- Teruggi S. et al. (2020). A Hierarchical Machine Learning Approach for Multi-Level and Multi-Resolution 3D Point Cloud Classification. In *Remote Sensing*, 12 (16), p. 2598.

Autori

Valeria Croce, Università di Pisa, valeria.croce@unifi.it

Gabriella Caroti, Università di Pisa, gabriella.caroti@unipi.it

Livio De Luca, Modèles et Simulations pour l'Architecture et le Patrimoine, UMR 3495 CNRS/MC, Marsiglia, livio.deluca@map.cnrs.fr

Andrea Piemonte, Università di Pisa, andrea.piemonte@unipi.it

Philippe Véron, LISPEN EA 7515, Arts et Métiers ParisTech, Aix-en-Provence, philippe.veron@ensam.eu

Marco Giorgio Bevilacqua, Università di Pisa, marco.giorgio.bevilacqua@unipi.it

Per citare questo capitolo: Croce Valeria, Caroti Gabriella, De Luca Livio, Piemonte Andrea, Véron Philippe, Bevilacqua Marco Giorgio (2021). Tra Intelligenza Artificiale e H-BIM per la descrizione semantica dei beni culturali: la Certosa di Pisa/Artificial Intelligence and H-BIM for the semantic description of cultural heritage: the Pisa Charterhouse. In Arena A., Arena M., Mediat D., Raffa P. (a cura di). *Connettere. Un disegno per annodare e tessere. Linguaggi Distanze Tecnologie. Atti del 42° Convegno Internazionale dei Docenti delle Discipline della Rappresentazione/Connecting. Drawing for weaving relationship. Languages Distances Technologies. Proceedings of the 42th International Conference of Representation Disciplines Teachers*. Milano: FrancoAngeli, pp. 608-625.



Artificial Intelligence and H-BIM for the Semantic Description of Cultural Heritage: the Pisa Charterhouse

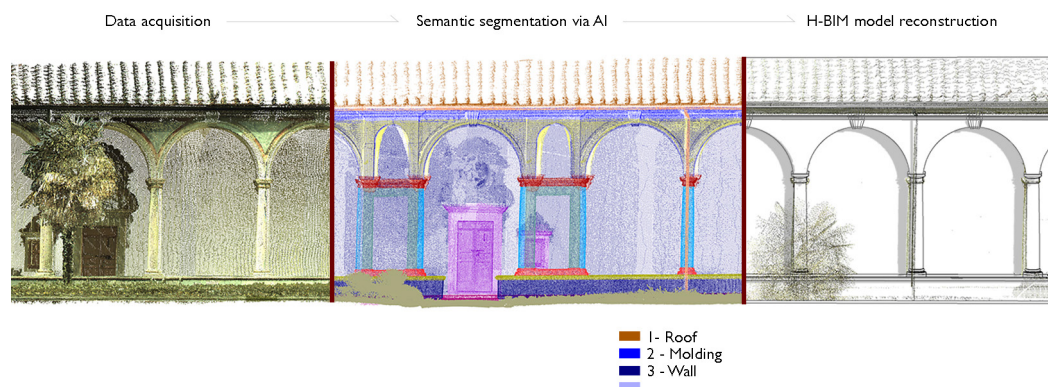
Valeria Croce
Gabriella Caroti
Livio De Luca
Andrea Piemonte
Philippe Véron
Marco Giorgio Bevilacqua

Abstract

Artificial Intelligence (AI) applications to architectural heritage user promising evolutions in the Graphic arts and design field, as increasingly automated segmentation techniques can be applied to digital and numeric models for the semantic interpretation of survey data and subsequent reconstruction of conceptual and parametric 3D representations. Increasingly automated systems for the semantic description and classification of 3D data are indeed in ever-growing demand, also in view of optimizing Scan-to-BIM processes. In this context, the present contribution describes a semi-automated methodological approach aimed at building semantically rich and intelligible representations starting from survey data. This approach features two core foundations: firstly, the classification and subsequent propagation of architectural types, by means of Artificial Intelligence (AI) algorithms applied to the point clouds; secondly, the reconstruction, in Building Information Modelling (BIM) environment, of the detected element classes, via information transmission procedures and visual programming languages. The analysis of the proposed methodology applies to representative case studies referring to selected settings of the Pisa Charterhouse.

Keywords

semantic classification, artificial intelligence, H-BIM, architectural heritage, point clouds.



Steps of the proposed
methodological approach.

Introduction

Drafting and representation are to date making increasing use of 3D surveying for digital documentation of cultural heritage. The evolution of data collecting techniques, such as laser scanning and photogrammetry, has in fact allowed for ever wider use of point clouds and meshes as starting points in applications for preservation, enhancement and dissemination of historical and architectural heritage. Indeed, modern Scan-to-BIM processes make use of 3D data to create digital information models.

Although point clouds provide metrically verifiable input data, the reconstruction of H-BIM (Heritage-Building Information Modelling) parametric models based on these is to date a lengthy and cumbersome process, involving complex procedures of interpreting, detecting and subsequent modelling of 3D elements, therefore requiring substantial user interaction.

In this scenario, developments in the use of AI-based algorithms have paved the way to higher automation levels for the semantic segmentation of 3D data, i.e. partitioning survey data in groups of recurring architectural types (e.g. wall, floor; vault, column, roof etc.), detected by means of shared geometric and colorimetric features.

Increasingly automated procedures of semantic segmentation could allow for more effective characterization and description of the survey scene, by adding semantic, i.e. related to direct object acquaintance, attributes.

In dealing with this issue, the current investigation aims at describing a semi-automated approach to reconstruct intelligible representations starting from 3D survey data, also in view of the optimization of Scan-to-BIM processes. The proposed methodology refers to buildings with recurring architectural elements, and includes (fig. 1):

- Semi-automated detection, classification and subsequent propagation of typological elements, by means of AI algorithms;
- 3D reconstruction of the detected geometries, via visual programming languages implemented on BIM platforms.

Both these steps are crucial for the construction of information models, in which the 3D representation is linked to external information referring to the investigation and acquaintance of the architectural object. The proposed procedure is investigated referring to selected environments of the Pisa Charterhouse.

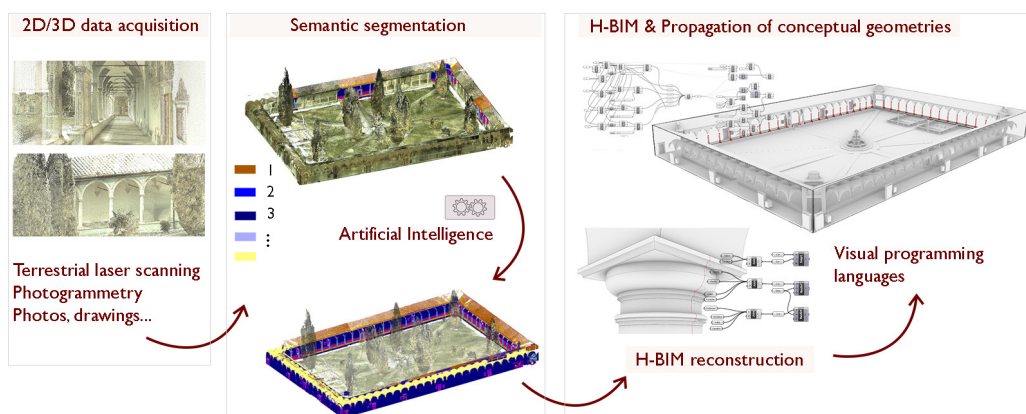


Fig. 1. Workflow of the proposed methodological approach.

State of the art

Digital information models provide a primary supporting tool for architectural heritage preservation and protection. Through semantic annotation [Croce et al. 2020], H-BIM systems allow to link geometric representations with descriptive attributes [López et al., 2018, Murphy et al., 2009] involving e.g. mapping of materials, decay [Bacci et al. 2019] and frescoed surfaces [Robleda-Prieto et al. 2016], relations between different sections of the same building [De Luca et al. 2007] or documental resources and historic information [Roussel et al. 2019].

As previously stated [Hichri et al. 2013], the process of 3D digital documentation of architectural heritage includes the following steps: i) survey data collection, ii) semantic segmentation, and iii) construction of the information model in BIM environment. Among these, ii) is the lengthiest and least automated step: designers are in fact required to interpret a massive amount of unstructured data, in order to isolate, detect and manually reconstruct the different geometries of a building, starting from a point cloud. Besides requiring sizeable user interaction, the process may also lead to significant information loss [Macher et al. 2017, Rocha et al. 2020].

To improve this interpretive step, by making it more objective and repeatable, increasingly automated techniques of semantic segmentation have been tested, based on Machine Learning (ML) and Deep Learning (DL), both being AI subcategories.

Supervised ML starts off by manually annotating a section of the point cloud, and detecting features which allow for appropriate differentiation of element classes based on their properties, e.g. geometric and colorimetric features. Subsequently, the system is trained for the classification of new data, based on the detected features. In DL contexts, the system in itself detects the appropriate distinctive features, by means of multi-layer artificial neural networks.

A supervised ML algorithm, the Random Forest (RF), provided the basis for some recent investigations [Grilli et al. 2019; Teruggi et al. 2020], that showed that classification of 3D point clouds based on specific geometric features can be effectively applied to cultural heritage, providing distinction of recurring architectural elements.

Conversely, DL applications for cultural heritage are to date quite restricted [Matrone et al. 2020a], due on one hand to the difficulty to extend recognition of element classes to different datasets, given the morphological and typological complexity of each historical building, and on the other hand to the still inadequate availability of a critical mass of annotated data needed to train the predictive models [Matrone et al. 2020b].

For these reasons, investigation on ML-based segmentation provide to date the best outlook; anyway, proper attention to the effective use potential of 3D segmented data is still scarce, e.g. for enhancing H-BIM models. By fitting in this context, the present investigation aims at focusing on the transition from semantic point cloud to parametric H-BIM representations.

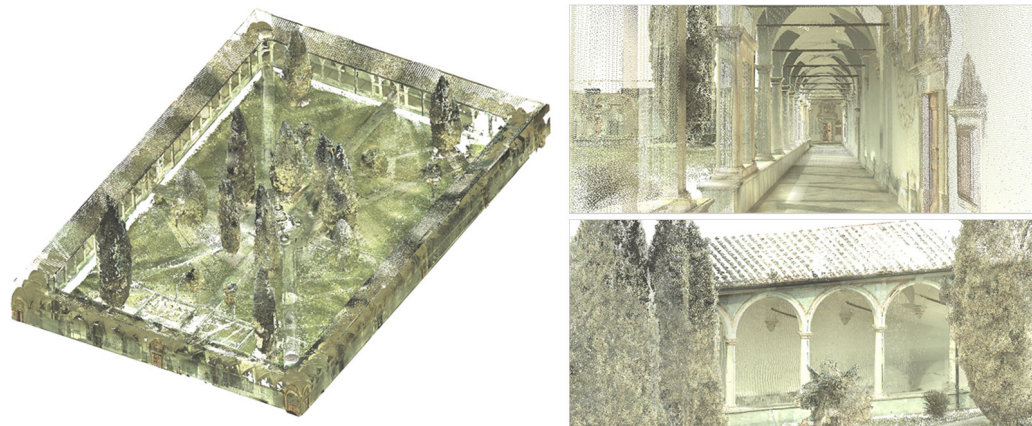


Fig. 2. The main cloister (Chiostro grande) of the Pisa Charterhouse: point cloud acquired by laser scanner.

The case study of Pisa Charterhouse

Founded in 1366 on the initiative of selected patrician families, Pisa Charterhouse in Calci is one of the most prominent monastic complexes in Tuscany. Its current layout, resulting from the ceaseless expansion and renovation taking place since its very foundation, meets the typical Carthusian rules, where hermitical and coenobitical life are harmoniously fused together. *Correria* (low houses), *courtyard of honour* (main courtyard), church and cenoby

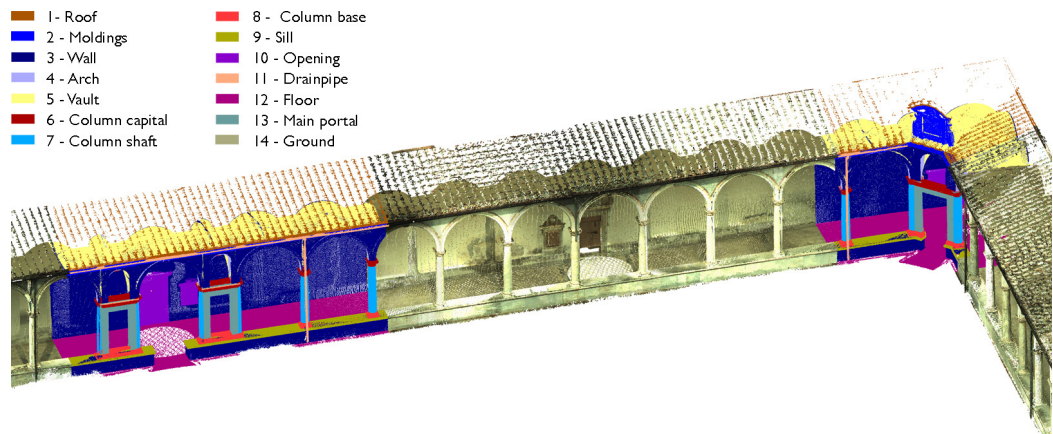


Fig. 3. Classification of the identified typological elements starting from survey data. The 'training set'.

define a progressive ascent towards the *desertum* and the heart of the complex: the cloister of the Fathers.

The construction of the cloister began in 1375, when the first cell, intended for the prior, was first built, with works continuing until 1384.

During the 17th century, major modernization works took place, mainly to alleviate excessive humidity in the cells. To these purposes, interventions included raising the floor of the cells and the colonnade, along with a general redesigning of the cloister [Manghi 1910].

Eighty marble columns, punctuating the perimeter of the cloister, support the cross-vault system of the ambulatory, whose floors feature white and blue marble tiles; four Venetian windows break the succession of the columns marking the two main axes of the composition system; dry paintings, depicting holy scenes and iconographies of the Saints, grace the access doors of the cells; at the center of the cloister, the monumental, highly ornamented stone fountain supplements the overall visual impact.

No other remarkable modifications of the cloister have taken place since then, even on occasion of the major renovation works promoted by Prior Maggi in late 18th century, which have substantially shaped the current layout of the whole complex.

Starting in late 19th century through mid-20th century, only minor paint works have taken place, at first to uniform plaster appearance and eventually for ordinary maintenance purposes [Benassi 2005].

Following its dissolution by the order Motherhouse in Grenoble, in 1962 the monk community began to abandon the Charterhouse, which was subsequently allocated for different museum activities.

Since 1972, in fact, the complex hosts the Nazional Museum of the Calci Monumental Charterhouse (National Museum of the Monumental Calci Charterhouse), controlled by the Italian Ministry for Cultural Heritage and Activities and for Tourism (Ministry of Culture

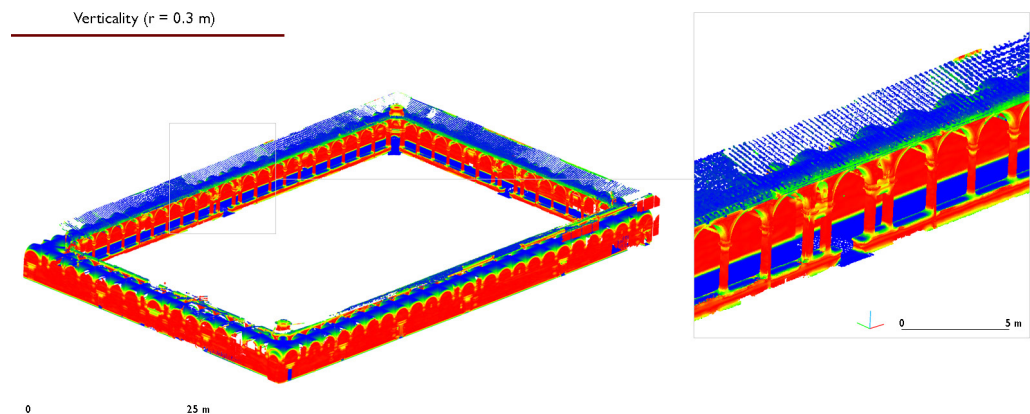


Fig. 4. Geometric feature: verticality.

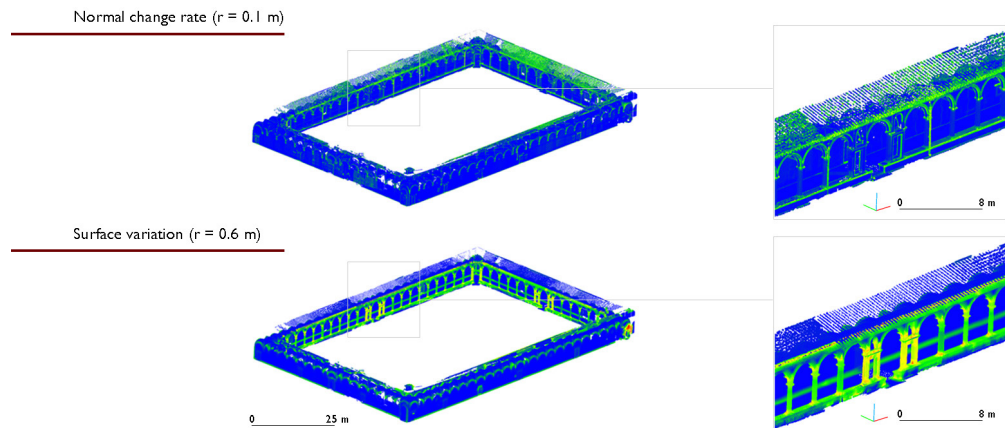


Fig. 5. Geometric feature: Normal change rate and surface variation.

– MiBACT), and, since 1978, the Natural History Museum of the University of Pisa (Pisa University Museum of Natural History).

Since 2018, the University of Pisa has provided financial backing for a multidisciplinary research project aimed at the preservation, restoration and enhancement of the whole complex, to which the current investigation relates (fig. 2).

The current work stems from the consideration that, in the morphological and constructive complexity of historical buildings, some recurring architectural typologies and shapes are still recognizable. This allows for effective differentiation and, as a result, representation by reconstructing their 'shape grammar'.

The process of semantic segmentation is in fact the very one that led Vitruvius and other major essayists to investigate, and pass on, the typical proportions of architectural orders, thus codifying languages and models of classical architecture.

In the proposed methodological approach:

a) firstly, semantic segmentation of 3D datasets is performed, by means of AI-derived algorithms of supervised learning;

b) secondly, point clouds carrying the partitions for classes of typological elements (e.g. wall, column, floor, roof etc.) are exploited to generate and more effectively manage H-BIM models.

In step a), classes are identified by annotating point cloud portions. This operation, along with the proper feature selection, allows for providing the learning system with an adequate number of annotated samples for the subsequent correct classification of the remaining part of the dataset.

In the supervised ML approach, features are from time to time identified and selected, based on the related case study. They may be:

- colorimetric, i.e. relating to colour data associated to each 3D point;

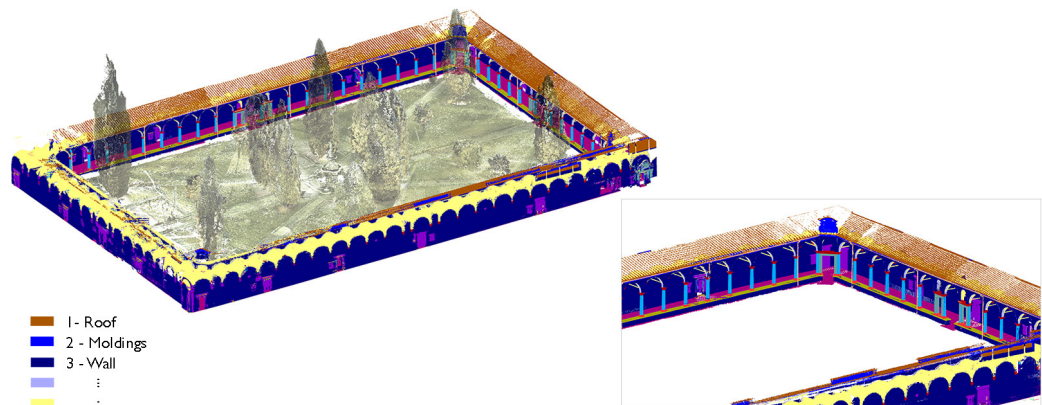


Fig. 6. Result of the classification via AI.

- geometric, i.e. providing a description of mutual spatial layout of cloud points. In a given neighbourhood of each 3D point, it is possible to extract geometric features such as linearity, planarity, sphericity, surface variation and so on. The methodology of feature extraction and selection has already been documented [Croce et al. 2021; Grilli, Farella et al. 2019]. These input data provide the basis for the construction of a predictive model, allowing to associate a semantic label to the remaining, unannotated point cloud portions. This procedure is performed by means of a RF classifier; ultimately yielding semantically rich 3D data, in which it is possible to detect, recognize and therefore isolate each and every included architectural element. In order to validate the ML model as achieved, provisions of the classifier are eventually checked against the actual destination class. AI-based semantic segmentation allows for custom partitioning of the initial survey data based on the represented object; in other words it is possible to separately process each element class. For phase b), therefore, the semantically annotated point cloud provides the basis for the reconstruction of H-BIM models composed of families of parametric elements, created class by class. This is possible by previously defining ideal conceptual geometries for each element category, based on proportional and building rules as derived from historical sources, i.e. identifying the elementary entities (atoms) and formalizing architectural primitives on which the representation is based [De Luca et al. 2007]. As a result, the geometric nature of the elements can be reconstructed, the original planned shape is interpreted and, eventually, a reference geometry is identified and modelled for each class (parametric family). Upon completion of the process, visual programming techniques allow for propagation and dimensional comparison of repetitive elements.

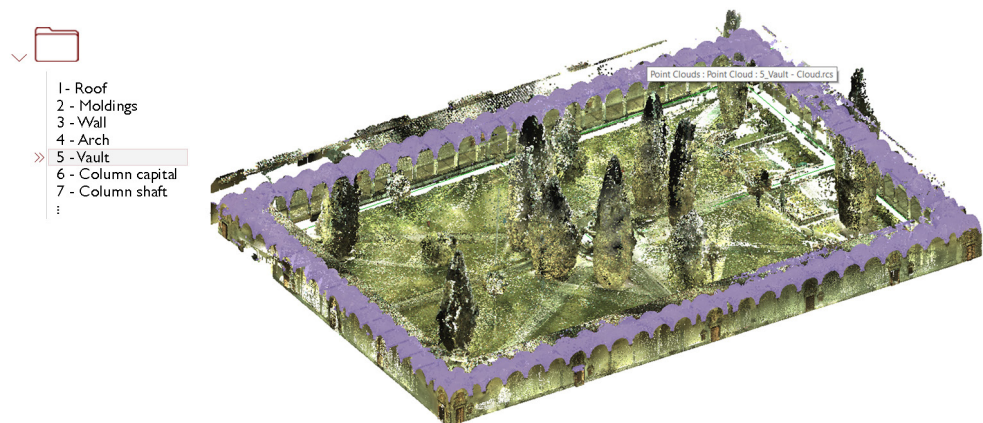


Fig. 7. Segmented point cloud import. Visualization of the class 'vaults'.

Results

The heritage of the Charterhouse is essential for the first significant tests of the proposed methodology. In fact, here the spaces are laid out in accord with Carthusian practices and customs, which entail massive repetition of archetypal elements: the main cloister, the lesser cloister, the cells of the Fathers and the church, with colonnades, galleries and frescoed vaults.

For the main cloister of the Pisa Charterhouse, starting from the initial cloud, 14 element classes, as per architectural treatises, are manually annotated on a small portion (fig. 3). Geometric features are then extracted and selected (figs. 4, 5).

The manual annotation of the so-called 'training set' allows to train a RF classifier, so as to extend the semantic segmentation to the whole cloister dataset. Fig. 6 shows the classification result, that provides the initial data for subsequent construction of the H-BIM model.

Each element class, upon segmentation and isolation from the complete cloister dataset, is separately imported in H-BIM environment (fig. 7).

For each class, the reconstruction of the conceptual parametric shape follows the formalization approach [De Luca et al. 2007] based on: interpretation of any knowledge referring to

the shape; detection of the modelling methods; identification of the relations between the different shape constituents (figs. 8, 9).

Upon defining an ideal conceptual geometry, the latter is propagated to other point cloud sections identified as belonging to the same class, according to a reconstruction approach based on visual programming languages.

When applied to each category, this approach allows to achieve the parametric virtual model, a 'digital twin' which can be augmented with information on materials, restoration and consolidation interventions, thermal and energy performances, and so forth.

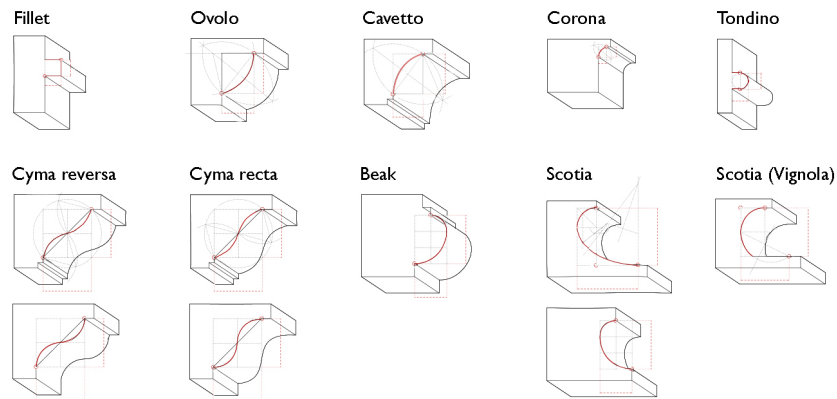


Fig. 8. Moldings construction on geometrical atoms based on the work by: De Luca et al. 2007.

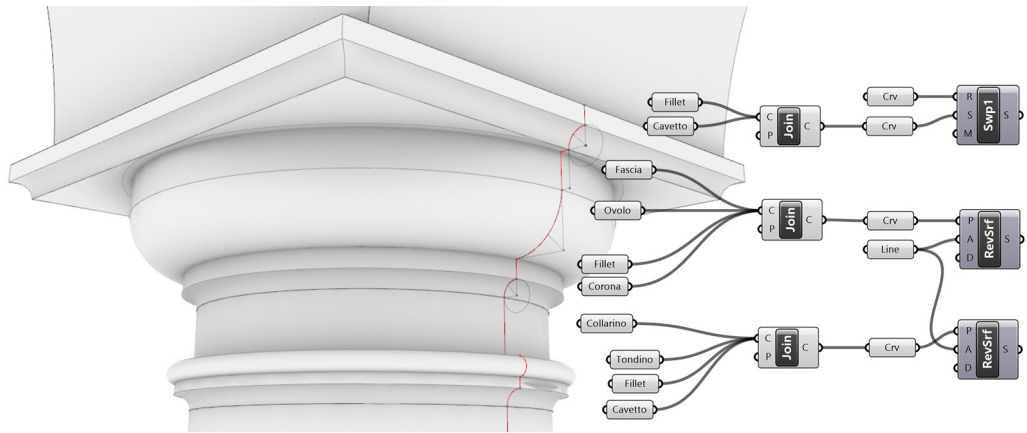


Fig. 9. Geometric construction of a capital through visual programming language.

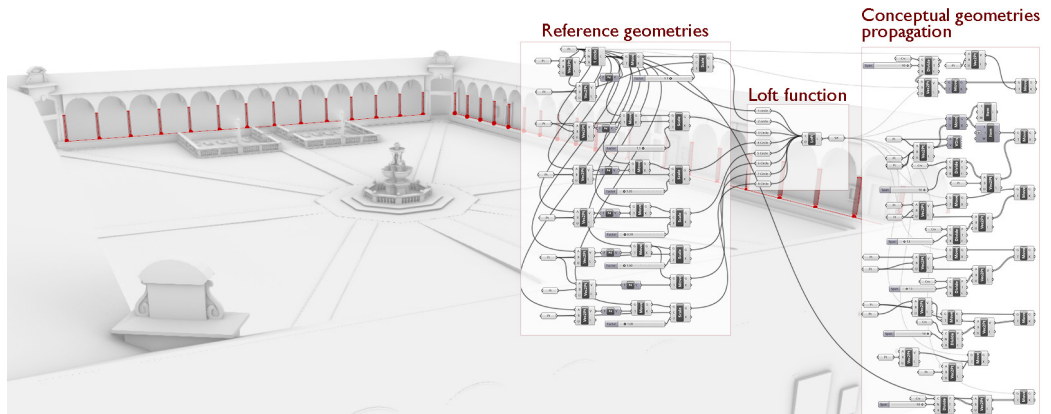


Fig. 10. H-BIM model built by propagation of conceptual geometries. Example of the column shaft.

Conclusions

AI techniques applied to cultural heritage lay the foundations for innovative ways of interpreting, recognizing and representing geometric data derived from surveying, both 2- and 3-D, establishing a stronger formal and ontological link between metric data and integrated digital models such as H-BIM, for more effective documentation of the built heritage (figs. 10, 11).

Further testing will aim at improving the construction of the digital twin and extending the proposed methodology to other datasets, applying the same approach to other case studies, involving historical buildings and cultural heritage from different construction periods or under different preservation conditions, so to assess the specificity of each new context. Lastly, AI applications for semantic mapping of decay levels or surface material restitution from 2D/3D survey data are currently investigated as further development of the present work.

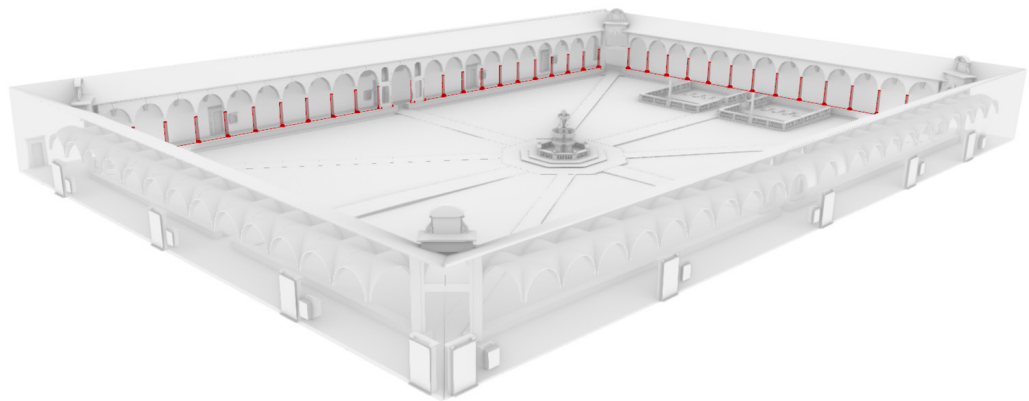


Fig. 11. H-BIM model, propagation of the column shaft's geometry.

Acknowledgement

This study is part of the project *Studi conoscitivi e ricerche per la conservazione e la valorizzazione del Complesso della Certosa di Calci e dei suoi Poli Museali*, promoted by the University of Pisa. We therefore thank all the researchers and collaborators involved in the project. The research is partly funded by the Université Franco-Italienne, within the framework of the Vinci 2019 project – Mobility grants for co-supervised Ph.D. theses, which promotes collaboration between Italian and French research units.

References

- Bacci G. et al. (2019). HBIM methodologies for the architectural restoration. The case of the ex-church of San Quirico all'Olivo in Lucca, Tuscany. In *ISPRS - International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XLII-2/W11, pp. 121-126.
- Benassi L. (2005). *Il chiostro grande della Certosa di Calci: storia, paesaggio, architettura*. Pisa: Primula Multimedia, 2005, pp. 25-29.
- Croce V. et al. (2020). Semantic annotations on heritage models: 2D/3D approaches and future research challenges. In *ISPRS - International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XLIII-B2-2020, pp. 829-836.
- Croce V. et al. (2021). From the Semantic Point Cloud to Heritage-Building Information Modeling: A Semiautomatic Approach Exploiting Machine Learning. In *Remote Sensing*, 13 (3), p. 461.
- De Luca L., Véron P., Florenzano M. (2007). A generic formalism for the semantic modeling and representation of architectural elements. In *The Visual Computer*, 23 (3), pp. 181-205.
- Grilli E. et al. (2019). Geometric features analysis for the classification of Cultural Heritage point clouds. In *ISPRS - International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XLII-2/W15, pp. 541-548.

- Grilli E., Özdemir E., Remondino F. (2019). Application of machine and deep learning strategies for the classification of heritage point clouds. In *ISPRS - International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XLII-4/W18, pp. 447-454.
- Hichri N. et al. (2013). From point cloud to BIM: A survey of existing approaches. In *ISPRS - International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XL-5/W2, pp. 343-348.
- López F. et al. (2018). A Review of Heritage Building Information Modeling (H-BIM). In *Multimodal Technologies and Interaction*, 2 (2), p. 21.
- Macher H., Landes T., Grussenmeyer P. (2017). From Point Clouds to Building Information Models: 3D Semi-Automatic Reconstruction of Indoors of Existing Buildings. In *Applied Sciences*, 7 (10), p. 1030.
- Manghi A. (1910). *Il Gran Chostro della Certosa di Pisa*. Pisa: Mariotti.
- Matrone F., Grilli E. et al. (2020). Comparing Machine and Deep Learning Methods for Large 3D Heritage Semantic Segmentation. In *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 9 (9), p. 535.
- Matrone F., Lingua A. et al. (2020). A benchmark for large-scale heritage point cloud semantic segmentation. In *ISPRS - International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XLIII-B2-2020, pp. 1419–1426.
- Murphy M., McGovern E., Pavia S. (2009). Historic building information modelling (HBIM). In *ISPRS - International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 27 (4), pp. 311-327.
- Robleda P.G. et al. (2016). Computational vision in UV-mapping of textured meshes coming from photogrammetric recovery: Unwrapping frescoed vaults. In *ISPRS - International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XLI-B5, pp. 391-398.
- Rocha G. et al. (2020). A Scan-to-BIM Methodology Applied to Heritage Buildings. In *Heritage*, 3 (1), pp. 47-67.
- Roussel R. et al. (2019). A digital diagnosis for the “autumn” statue (Marseille, France): Photogrammetry, digital cartography and construction of a thesaurus. In *ISPRS - International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XLII-2/W15, pp. 1039-1046.
- Teruggi S. et al. (2020). A Hierarchical Machine Learning Approach for Multi-Level and Multi-Resolution 3D Point Cloud Classification. In *Remote Sensing*, 12 (16), p. 2598.

Autohrs

Valeria Croce, Università di Pisa, valeria.croce@unifi.it
 Gabriella Caroti, Università di Pisa, gabriella.caroti@unipi.it
 Livio De Luca, Modèles et Simulations pour l'Architecture et le Patrimoine, UMR 3495 CNRS/MC, Marsiglia, livio.deluca@map.cnrs.fr
 Andrea Piemonte, Università di Pisa, andrea.piemonte@unipi.it
 Philippe Véron, LISPEN EA 7515, Arts et Métiers ParisTech, Aix-en-Provence, philippe.veron@ensam.eu
 Marco Giorgio Bevilacqua, Università di Pisa, marco.giorgio.bevilacqua@unipi.it

To cite this chapter: Croce Valeria, Caroti Gabriella, De Luca Livio, Piemonte Andrea, Véron Philippe, Bevilacqua Marco Giorgio (2021). Tra Intelligenza Artificiale e H-BIM per la descrizione semantica dei beni culturali: la Certosa di Pisa/Artificial Intelligence and H-BIM for the semantic description of cultural heritage: the Pisa Charterhouse. In Arena A., Arena M., Mediat D., Raffa P. (a cura di). *Connettere. Un disegno per annodare e tessere. Linguaggi Distanze Tecnologie. Atti del 42° Convegno Internazionale dei Docenti delle Discipline della Rappresentazione/Connecting. Drawing for weaving relationship. Languages Distances Technologies. Proceedings of the 42th International Conference of Representation Disciplines Teachers*. Milano: FrancoAngeli, pp. 608-625.