

IL DISEGNO FURIOSO FURIOUS DRAWING

47° CONVEGNO INTERNAZIONALE
DEI DOCENTI DELLE DISCIPLINE DELLA RAPPRESENTAZIONE
CONGRESSO DELLA UNIONE ITALIANA PER IL DISEGNO
ATTI 2026

47° INTERNATIONAL CONFERENCE
OF REPRESENTATION DISCIPLINES TEACHERS
CONGRESS OF UNIONE ITALIANA PER IL DISEGNO
PROCEEDINGS 2026

a cura di

curated by

Marcello Balzani, Manuela Incerti, Federica Maietti, Luca Rossato, Fabiana Raco

proceedings

IL DISEGNO FURIOSO FURIOUS DRAWING

47° Convegno Internazionale dei Docenti delle Discipline della Rappresentazione
Congresso per la Unione Italiana per il Disegno
47° International Conference of Representation Disciplines Teachers
Congress of Unione Italiana per il Disegno

Ferrara | 10 - 11 - 12 settembre 2026
Ferrara | September 10th - 11th - 12th 2026

a cura di / curated by
Marcello Balzani, Manuela Incerti, Federica Maietti, Luca Rossato, Fabiana Raco

Isbn e-book Open Access: 9791282811040

Copyright © 2026 by UID press

Publicato con licenza Creative Commons

Attribuzione-Non Commerciale-Non opere derivate 4.0 Internazionale (CC-BY-NC-ND 4.0).

Sono riservati i diritti per Text and Data Mining (TDM), AI training e tutte le tecnologie simili.

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
comunicare sul sito <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/deed.it>

ORGANIZZAZIONE E GESTIONE ATTI DEL CONVEGNO ORGANIZATION AND MANAGEMENT OF CONFERENCE PROCEEDINGS

Atti - Coordinamento editoriale /
Conference Proceedings - Editorial Coordination

Editor-in-Chief
Marcello Balzani, Manuela Incerti, Federica Maietti, Luca
Rossato, Fabiana Raco

Piattaforma Open Journal System /
Open Journal System platform
Domenico Paglia, Luca Rossato (architettura e
amministrazione)
Manuela Incerti, Federica Maietti, Luca Rossato, Fabiana Raco
(Journal Manager)
Martina Suppa (email Manager)

Atti - Comitato editoriale /
Conference Proceedings - Editorial Committee

Marcello Balzani, Manuela Incerti, Federica Maietti, Luca
Rossato, Fabiana Raco, Greta Montanari, Alessandra Perez
Amitrano, Giulia Ursino, Chiara Marcantonio

Revisori / Peer Reviewers

Fabrizio Agnello
Piero Albinini
Giuseppe Amoruso
Adriana Arena
Marinella Arena
Pasquale Argenziano
Martina Attenni
Alessandra Avella
Leonardo Baglioni
Vincenzo Bagnolo
Fabrizio Banfi
Laura Baratin
Piero Barlozzini
Cristiana Bartolomei
Alessandro Basso
Carlo Battini
Francesco Bergamo
Marco Giorgio Bevilacqua
Fabio Bianconi
Matteo Bigongiarì
Marco Bini
Cecilia Bolognesi
Stefano Brusaporci
Giovanni Caffio
Adriana Caldarone
Marianna Calia
Michele Calvano
Cristina Candito
Mirco Cannella
Mara Capone
Alessio Cardaci
Laura Carlevaris
Camilla Casonato
Valentina Castagnolo
Valeria Cera
Stefano Chiarenza

Emanuela Chiavoni
Enrico Cicalò
Alessandra Cirafici
Vincenzo Cirillo
Luigi Cocchiarella
Daniele Colistra
Luigi Corniello
Graziana D'Agostino
Pierpaolo D'Agostino
Saverio D'Auria
Domenico D'Uva
Pia Davico
Antonella di Luggo
Francesco Di Paola
Edoardo Dotto
Tommaso Empler
Maria Linda Falcidieno
Marika Falcone
Laura Farroni
Marco Fasolo
Francesca Fatta
Marco Filippucci
Fausta Fiorillo
Isabella Friso
Amedeo Ganciu
Vincenza Garofalo
Alessia Garozzo
Fabrizio Gay
Andrea Giordano
Elisabetta Caterina Giovannini
Sara Gonizzi Barsanti
Marika Griffo
Maria Pompeiana Iarossi
Carlo Inglese
Elena Ippoliti
Alfonso Ippolito

Emanuela Lanzara
Massimo Leseri
Gabriella Liva
Massimiliano Lo Turco
Alessandro Luigini
Cecilia Luschi
Francesco Maggio
Francesco Maglioccola
Giovanna Massari
Alessandro Meloni
Valeria Menchetelli
Alessandro Merlo
Alessandra Meschini
Barbara Messina
Davide Mezzino
Sandra Mikolajewska
Cosimo Monteleone
Sara Morena
Isidro Navarro Delgado
Romina Nespeca
Daniela Oreni
Anna Osello
Alessandra Pagliano
Caterina Palestini
Alice Palmieri
Lia Maria Papa
Rosaria Parente
Sandro Parrinello
Martino Pavignano
Assunta Pelliccio
Francesca Picchio
Barbara E. A. Piga
Andrea Pirinu
Nicola Pisacane
Manuela Piscitelli
Francesca Porfiri

Ramona Quattrini
Paola Raffa
Veronica Riavis
Jessica Romor
Adriana Rossi
Daniele Rossi
Michela Rossi
Maria Elisabetta Ruggiero
Michele Russo
Rossella Salerno
Marta Salvatore
Anna Sanseverino
Cettina Santagati
Marcello Scalzo
Alessandro Scandiffio
Simona Scandurra
Alberto Sdegno
Giovanna Spadafora
Roberta Spallone
Gabriele Stancato
Barbara Tramelli
Ilaria Trizio
Francesca Maria Ugliotti
Graziano Mario Valenti
Rita Maria Francesca Valenti
Michele Valentino
Starlight Vattano
Chiara Vernizzi
Marco Vitali
Mariapaola Vozzola
Andrea Zerbi



unione
italiana
disegno



**Il Disegno
Furioso**

IL DISEGNO FURIOSO **FURIOUS DRAWING**

**47° CONVEGNO INTERNAZIONALE
DEI DOCENTI DELLE DISCIPLINE DELLA RAPPRESENTAZIONE
CONGRESSO DELLA UNIONE ITALIANA PER IL DISEGNO
ATTI 2026**

47° INTERNATIONAL CONFERENCE
OF REPRESENTATION DISCIPLINES TEACHERS
CONGRESS OF UNIONE ITALIANA PER IL DISEGNO
PROCEEDINGS 2026

PARTE II

PART II

Focus 1 | Visibile e invisibile (il castello di Atlante)

Focus 1 | Visible and invisible (The castle of Atlante)

a cura di

curated by

Marcello Balzani, Manuela Incerti, Federica Maietti, Luca Rossato, Fabiana Raco

proceedings

Comitato Scientifico / Scientific Committee

Marcello Balzani *Università degli Studi di Ferrara*
Carlo Bianchini *Sapienza Università di Roma*
Marco Giorgio Bevilacqua *Università degli Studi di Pisa*
Stefano Brusaporci *Università degli Studi dell'Aquila*
Stefano Chiarenza *Università Telematica San Raffaele Roma*
Emanuela Chiavoni *Sapienza Università di Roma*
Enrico Cicalò *Università degli Studi di Sassari*
Luigi Cocchiarella *Politecnico di Milano*
Mario Docci *Sapienza Università di Roma*
Laura Farroni *Università degli Studi di Roma Tre*
Francesca Fatta *Università degli Studi Mediterranea di Reggio Calabria*
Andrea Giordano *Università degli Studi di Padova*
Vincenza Garofalo *Università degli Studi di Palermo*
Alessandro Luigini *Libera Università di Bolzano*
Valeria Menchetelli *Università degli Studi di Perugia*
Anna Osello *Politecnico di Torino*
Caterina Palestini *Università degli Studi "G. d'Annunzio" di Chieti-Pescara*
Sandro Parrinello *Università degli Studi di Firenze*
Cettina Santagati *Università degli Studi di Catania*
Graziano Mario Valenti *Sapienza Università di Roma*
Ornella Zerlenga *Università degli Studi della Campania "Luigi Vanvitelli"*

Componenti di strutture straniere / Foreign institutions components

Marta Alonso *Universidad de Valladolid*
Atxu Amann y Alcocer *Universidad Politécnica de Madrid*
Matthew Butcher *University College London*
João Cabeleira *Universidade do Minho*
Eduardo Carazo *Universidad de Valladolid*
Alexandra Castro *Universidade do Porto*
Pilar Chías *Universidad de Alcalá*
Angela García Codoner *Universidad Politécnica de Valencia*
Noelia Galván Desvaux *Universidad de Valladolid*
Juan Francisco García Nofuentes *Universidad de Granada*
Pedro António Janeiro *Universidade de Lisboa*
Roser Martínez-Ramos e Iruela *Universidad de Granada*
Carlos Montes Serrano *Universidad de Valladolid*
Gabriele Pierluisi *Ecole nationale supérieure d'architecture de Versailles*
Jousé Antonio Franco Taboada *Universidade da Coruña*
Annalisa Viati Navone *Ecole nationale supérieure d'architecture de Versailles*
Kim Williams *Emeritus Founding Editor Nexus Network Journal*

Comitato Organizzativo / Organisation Committee

Martina Suppa, Gabriele Giau, Fabio Planu, Dario Rizzi, Greta Montanari,
Chiara Marcantonio, Giulia Ursino, Giulia Albini, Lorenzo Del Chierico, Lucia
Antognozzi, Alessandra Perez Amitrano, Francesco Viroli, Guido Galvani

I testi e le relative traduzioni oltre che tutte le immagini pubblicate sono
stati forniti da singole/i autrici e autori per la pubblicazione con copyright,
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.

Con il patrocinio di / With the patronage of



Coordinamento Scientifico / Scientific Coordination

Marcello Balzani, Manuela Incerti, Federica Maietti, Luca Rossato, Fabiana Raco

Identità visiva e sito web / Visual identity and website

Gregorio Giannini, Dario Rizzi

Eventi e Mostre / Events and Exhibitions

IL FURIOSO DISEGNO (ovvero alla ricerca di Angelica)

THE FURIOUS DRAWING (or, In Search of Angelica)

Università degli Studi di Ferrara | corridoi del Dipartimento di Architettura | via Quartieri,
8 | 10-12 settembre 2026

Curatori / Curators: Marcello Balzani, Manuela Incerti, Federica Maietti, Luca Rossato,
Fabiana Raco

Progetto Grafico / Graphic Project: Luca Rossato, Martina Suppa, Chiara Marcantonio,
Giulia Albini

Allestimento / Installation: Francesco Viroli, Martina Suppa, Giulia Albini, Gabriele Giau,
Greta Montanari

L'OGGETTO FURIOSO

THE FURIOUS OBJECT

Università degli Studi di Ferrara | aule LC1/LC2 del Dipartimento di Architettura | via
Quartieri, 8 | 10-12 settembre 2026

Curatori / Curators: Marcello Balzani, Federica Maietti, Fabiana Raco, Francesco Viroli
Progetto Grafico / Graphic Project: Gregorio Giannini, Martina Suppa, Gabriele Giau
Allestimento / Installation: Francesco Viroli

Con La partecipazione di / With the participation of: Luca Rossato, Nicole Maria Bogdani-
ch, Marta Moscardi, Lucia Antognozzi, Alessandra Perez Amitrano, Dario Rizzi, Giulia Ursino
Studenti del / Students of "Laboratorio del Disegno - LAD", A.A. 2025-2026: Leonardo
Aguari, Marco Albasini, Cecilia Albertani, Anna Albini, Camilla Aramino, Beatrice Argelli,
Chiara Arnone, Maria Adelina Baci, Filippo Baggiani, Francesco Baldassarre, Sara Benatti,
Chiara Betti, Matthias Berto, Linh Bertoldo, Giulia Bertolingo, Gianni Biasi, Alberto
Giuseppe Botturi, Giulia Brunelli, Monica Cacciari, Sara Cattin, Ilania Cecchetti, Giada De
Luca, Dario De Pascalis, Francesca Di Nardo, Greta Di Stefano, Samuel Falletta, Carlo Ferraro,
Alessandro Ferro, Eleonora Fontana, Valentina Forghieri, Federico Franz, Vittoria Fregni,
Filippo Galliera, Pietro Gadaleta, Eleonora Georgiana Garofa, Noemi Ghinassi, Alessandro
Giordani, Giada Giorgi, Camilla Giovannini, Pietro Gnutti, Sofia Gotti, Hameet Kaur, Stefano
La Rosa, Ilaria Lauditi, Sofia Manfredini, Ujin Manaljav, Nico Marinelli, Erika Marrone, Soraya
Martini, Francesco Maria Menegatti, Margherita Micheli, Andrea Mirri, Sofia Molinari, Laura
Moretti, Alessia Nanni, Ilaria Novara, Alessandro Paglia, Eros Panebianco Tomasi, Federica
Paragallo, Antonella Pascale, Rachele Pellegrino, Desirè Peverati, Diana Pienieva, Giorgia Pie-
rone, Enrico Piva, Linda Pizzol, Julia Raka, Matteo Ricci, Ana Vanoostende Rico, Matilda Roda,
Lenny Rondina, Emanuela Sabato, Thomas Santoro, Carlotta Sartori, Serena Scaramuzzi, Elia
Lorenzo Scarpato, Matteo Gheorghe Serba, Mia Lucilla Sideri, Antonio Fabrizio Signorile,
Alessio Spanò, Andrea Spinsanti, Narmandah Soronzonbold, Carlotta Storari, Emma Storari,
Sara Tassinari, Perla Temelini, Viola Tirini, Giulia Tonelli, Ludovica Torres, Roberta Torri, Lucre-
zia Travagli, Claudia Valrosso, Andrea Vecchi, Chiara Veronesi, Mattia Vignocchi, Sofia Zanin,
Rachele Zappaterra, Beatrice Zecchel, Eleonora Zuccheri

RAPPRESENTARE E COMUNICARE IL PATRIMONIO. IMMAGINI, MODELLI E LIN- GUAGGI MULTISENSORIALI

REPRESENTING AND COMMUNICATING HERITAGE. IMAGES, MODELS AND
MULTISENSORY LANGUAGES

Università degli Studi di Ferrara | aula C1 del Dipartimento di Architettura | via Quartieri,
8 | 10-12 settembre 2026

Curatori / Curators: Manuela Incerti

Progetto Grafico / Graphic Project: Martina Suppa, Gabriele Giau, Francesco Viroli

Con La partecipazione di / With the participation of: Stefano Costantini, Raffaella Vitale,
Paolo Lenisa, Enrica Domenicali, Anna Maragno, Stefania Iurilli

RICONOSCERE, RICOSTRUIRE, RACCONTARE LA BELLEZZA. ARTE E ARCHITET- TURA IN MAGNA GRECIA. PHD UID SUMMER SCHOOL 2026

RECOGNISING, RECONSTRUCTING, NARRATING BEAUTY. ART AND ARCHI-
TECTURE IN MAGNA GRAECIA. UID PHD SUMMER SCHOOL 2026

Università degli Studi di Ferrara | aula C2 del Dipartimento di Architettura | via Quartieri,
8 | 10-12 settembre 2026

Curatori / Curators: Daniele Colistra, Nicola La Vitola, Sonia Mercurio, Sonia Mollica, Lorella
Pizzonia, Francesco Stilo

Con La partecipazione di / With the participation of: Anna Arcudi, Carlotta Bin, Giovanna
Cassano, Giulia Catena, Alessia Chillemi, Gianluca Ciuca, Andrea Di Santo, Carlo Di Rienzo,
Wegdan Faydullah, Valeria Fiordimalva, Gianluca Gioioso, Stefano Iacovissi, Eleonora La
Fauci, Martina La Mela, Fabrizio Lanza, Davide Pecilli, Anja Reljić, Ferdinand Rexhaj, Matilde
Ridella, Francesco Sartore, Elena Simeoni, Elisa Stradiotto, Martina Tagliaferri, Mariachiara
Troise, Chiara Zuddas

RICONOSCERE, RICOSTRUIRE, RACCONTARE LA BELLEZZA. ARTE E ARCHITET- TURA IN MAGNA GRECIA. PHD UID SUMMER SCHOOL 2026

RECOGNISING, RECONSTRUCTING, NARRATING BEAUTY. ART AND ARCHI-
TECTURE IN MAGNA GRAECIA. UID PHD SUMMER SCHOOL 2026

Università degli Studi di Ferrara | atrio centrale del Dipartimento di Architettura | via
Quartieri, 8 | 10-12 settembre 2026

Curatori / Curators: Marcello Balzani, Alessandra Perez Amitrano

Progetto Grafico / Graphic Project: Alessandra Perez Amitrano, Gabriele Giau, Martina Suppa
Allestimento / Installation: Alessandra Perez Amitrano, Martina Suppa, Elena Tasson, France-
sco Viroli, Gabriele Giau

Con La partecipazione di / With the participation of: Marcello Balzani, Federica Maietti,
Luca Rossato, Fabiana Raco, Francesco Viroli, Alessandra Perez Amitrano, Giulia Albini, Lucia
Antognozzi, Greta Montanari, Martina Suppa, Gabriele Giau, Dario Rizzi, Giulia Ursino,
Chiara Marcantonio

Indice Index

PARTE II PART II

Focus I | Visibile e invisibile (il castello di Atlante) Focus I | Visible and invisible (the castle of Atlante)

7

Gaia Leandri

Lines of enchantment and disenchantment

19

Manuela Piscitelli

La narrazione visiva del Furioso nelle illustrazioni di Gustave Doré

The Visual Narrative of the Furioso in the Illustrations of Gustave Doré

43

Cristina Cándito

Delirio di possesso e di occultamento nell'opera di Dorothea Tanning

Delirium of possession and concealment in the artwork of Dorothea Tanning

63

Alessia Segalerba

La Promenade di Atlante. L'anamorfose come dispositivo di rivelazione spaziale

The Promenade of Atlante. Anamorphosis as a spatial detection device

83

Sara Peña Fernández, Carlos Montes Serrano

The Impatient Drawing: Mies van der Rohe's Project Drawings

93

Francesco Cotana

La Galleria delle Carceri alla Scarzuola di Tomaso Buzzì. La prospettiva accelerata 'doppia' come dispositivo simbolico e percettivo

Representing the sound: toward an Expanded Perceptual Framework for Architectural Drawing

121

Adriana Caldarone, Carlos Campos, Martina Empler, Tommaso Empler, Pasquale Micelli, Silvia Ridolfi

Rappresentare il suono. Per una estensione percettiva del disegno architettonico

Representing the sound: toward an Expanded Perceptual Framework for Architectural Drawing

145

Valeria Menchetelli

"Fingendo la sua imago". L'allucinazione nella cultura visuale

"Fingendo la sua imago". Hallucination in visual culture

173

Adriana Arena

Strategie di disegno e modelli di rappresentazione nelle xilografie dell'Orlando Furioso di Vincenzo Valgrisi

Drawing strategies and representation models in Vincenzo Valgrisi's woodcuts for the Orlando Furioso

193

Vincenzo Cirillo, Domenico Iovane, Rosina Iaderosa

Furia fra segno e significato. La geometria dei simboli Adinkra come significato di pensiero

Fury Between Sign and Meaning. The Geometry of Adinkra Symbols as a Language of Thought

213

Luiza Paes de Barros C. L. Beltrami, Ana Tagliari

Il dialogo tra schizzi e testi esplicativi nell'architettura di Decio Tozzi

Dialogues between sketches and explanatory texts in Decio Tozzi architecture

231

Edoardo Dotto, Fabio Quici

La distanza necessaria. Derealizzazione come dispositivo critico

The Necessary Distance: Derealization as a Critical Device

255

Alexandra Castro, José Pedro Sousa, João Pedro Xavier

Dentro la scatola: reinterpretare la scatola prospettica con strumenti digitali nella didattica dell'architettura

Inside the box: Reinterpreting the Perspective Box with Digital Tools in Architectural Education

277

Raquel Álvarez Arce, María Lucia Balboa Domínguez, Pablo Llamazares Blanco

El dibujo insistente. Carlo Scarpa y el pabellón de la meditación en la tumba Brion

The insistent drawing. Carlo Scarpa and the meditation pavilion in the Brion Tomb

293

Giorgio Garzino, Maurizio Marco Bocconino, Mariapaola Vazzola, Larisa Semis

Rappresentare l'invisibile: il disegno come strumento di sintesi per l'edilizia ospedaliera

Representing the invisible: drawing as a synthesis tool for hospital building design

313

Anna Golikova, Francesco Bergamo, Luigi Latini, Michele Tobia, Luca Zilio

[Un]seen Sound. A sonic investigation and project for the Sile river landscape

323

Caterina Morganti, Cristiana Bartolomei

Figure del Furioso. La rappresentazione pittorica dell'Orlando Furioso tra visibile e invisibile

Figures of the Furioso. The pictorial representation of the Orlando Furioso between the visible and the invisible

347

Starlight Vattano

Guerriere, incantatrici e amazzoni: visualità protofemministe

Warriors, enchantresses and Amazons: proto-feminist imagery

367

Mari Luisa Landolfi

La furia di un dente di leone nella leggiadria del volo di un soffione

The fury of a dandelion in the graceful flight of a puffball

383

Pablo Cendón-Segovia, Noelia Galván Desvaux, Álvaro Moral García

Silver Lake: dal progetto al disegno

Silver Lake: from project to drawing

399

Barbara E. A. Piga, Gabriele Stancato, Nicola Rainisio, Marco Boffi

Spatial and 3D Representations of Urban Experience: Integrating Emotional Responses and Thermal Stress in Urban Space

411

Cecilia Maria Roberta Luschi, Novella Lecci, Alessandra Vezzi, Marta Zerbini

Disegno dell'onirico per la torre di Siedlęcin (PL): il progetto LANCE-LOT

A dreamlike drawing for the tower in Siedlęcin, Poland: the LANCE-LOT project

435

Fabrizio Banfi, Sara Prometti, Alberta Cazzani, Marco Pela, Jacopo Alberto Bonini, Antonio de Trizio

Hybrid Heritage Spaces: HBIM, Embodiment, Human-Centric WebVR, and Accessibility in Browser-Based 3D Game Engines

445

Giancarlo Sanna, Andrea Pirinu

Il progetto dell'invisibilità: analisi grafica del camouflage nei bunker della WWII in Sardegna

The Project of Invisibility: Graphic Analysis of Camouflage in WWII Bunkers in Sardinia

469

Marco Fasola, Elisa Guarino, Flavia Camagni

Dare forma all'illusione: le finestre prospettiche di Palazzo Barberini

Shaping the illusion: the perspective windows of Palazzo Barberini

492

Ángel Allepuz Pedreño, Carlos L. Marcos

Are Borromini's Drawings Furious?

503

Pierpaolo D'Agostino

La teoria espressa nel tratto grafico. L'esempio di Claude Parent
Theory expressed through graphic form. The example of Claude Parent

519

Gjergj Islami, Denada Veizaj, Blerina Tabaku, Saimira Arapi, Edmond Pergega, Gianluca Gioioso, Andrea Maliqari, Luigi Corniello
Furious Drawing and Architectures of the Invisible: Maki Veli between Political Constraint and Graphic Necessity

529

Alessio Cardaci, Pietro Azzola

Le nuvole di punti come disegno concettuale: analisi differenziale e campi derivativi tra visibile e invisibile
Point clouds as conceptual drawing: differential analysis and derived fields between the visible and the invisible

557

Marco Saccucci, Giuseppe Staffieri, Assunta Pelliccio

La rovina come "archivio rovescio". Rilievo integrato e interpretazione critica del caso di Roccaravindola
The Ruin as an "Inverted Archive". Integrated Surveying and Critical Interpretation of the Roccaravindola Case

573

Francesca Maria Ugliotti

Cartografie del disorientamento: il Disegno Furioso tra mappe instabili e progetto contemporaneo.
Cartographies of disorientation: Furious Drawing between unstable maps and contemporary design

597

Francesco Di Paola, Pietro Pedone

Il castello di Atlante come paradigma d'illusione. Prototipo anamorfico riflettente tra digitale e costruzione
The Castle of Atlante as a Paradigm of Illusion. Reflective Anamorphic Prototype between Digital Processes and Construction

617

Veronica Riavis, Alberto Sdegno

Tra malinconia e inquietudine: analisi prospettica, modellazione e comparazione di due abitazioni iconiche dell'immaginario pittorico e cinematografico
Between Melancholy and Unease: Prospective Analysis, Modeling, and Comparison of Two Iconic Dwellings in the Painterly and Cinematic Imaginary

637

Laura Carlevaris

Il modello furioso: la bambola di Alma Mahler tra Modello e Analog Twin
The Enraged Model: Alma Mahler's Doll between Model and Analog Twin

657

Martina Suppa, Gabriele Giau, Guido Galvani

Morfologie corporee e dinamiche della moltitudine
Bodily morphologies and dynamics of multitude

671

Giulia Lazzaretto

Svelare nuove relazioni formali: il progetto Vitra Fire Station di Zaha Hadid
Unveiling new formal relationships: Zaha Hadid's Vitra Fire Station project

691

Fabiana Carbonari, Emanuela Chiovoni, Eduardo Gentile, Fernando Gandolfi, Ana Ottavianelli

La Fiat, veloce e furiosa. Torre Mirafiori a Buenos Aires, 1961/64
Fiat, Fast and Furious. Torre Mirafiori in Buenos Aires, 1961-64

709

Alessandro Luigini

Come fuggire dal Castello di Atlante. Rappresentazione architettonica e finzione negli albi illustrati
How to Escape from Atlante's Castle. Architectural Representation and Fiction in Picturebooks

737

Marta Magagnini, Nicolò Sardo

Tra visibile e visionario: la fotografia di Ico Parisi, dal Razionalismo all'Utopia
Between the visible and the visionary: the photography of Ico Parisi, from Rationalism to Utopia

765

Caterina Palestini, Laura Farroni, Alessandro Basso, Matteo Flavio Mancini

Il disegno illusorio degli apparati effimeri, dalle immagini d'archivio alla rappresentazione AI
The Illusory Drawing of Ephemeral Systems, from Archival Images to AI Representations

789

Elena Ippoliti, Noemi Tomasella, Martina Tagliaferri

Geografie selettive. Visibile e invisibile nelle carte portolaniche medievali
Selective Geographies. Visibility and Invisibility in Medieval Portolan Charts

817

Francesco Maggio, Alessandra Ferro

Unbuilt. Un progetto per Palermo
Unbuilt. A project for Palermo

841

Carlo Biagini, Andrea Bongini, Valerio D'Andrea

From digital survey to structural analysis via H-BIM: the case study of the "Sagrestia Nuova" in the monumental complex of San Lorenzo in Florence

853

Lucrezia Di Marzio, Valeria Fiordimalva

Attraverso lo spazio immaginato da Hans Vredeman de Vries: una proposta di indagine del trattato Perspective
Inside the imagined space of Hans Vredeman de Vries: a proposed investigation on the Perspective treatise

875

Barbara Messina, Salvatore Barba

Disegnare l'invisibile. Il "furioso" come paradigma nelle ricerche di Vito Cardone sulla rappresentazione dell'immateriale
Visualising the Invisible. The 'Furioso' Paradigm in Vito Cardone's Research on Immaterial Representation

895

Luca Martelli

La rappresentazione dell'equilibrio nella Statica grafica, tra segmenti orientati e reciprocità
Representation of equilibrium in Graphical Statics, between oriented line segments and reciprocity

919

Sandro Parrinello, Giovanni Pancani, Alberto Pettineo

Traiettorie riflesse tra Oriente e Occidente nella Fortezza di Kenitra in Marocco
Crossing Paths between East and West at the Fortress of Kenitra, Morocco

Le nuvole di punti come disegno concettuale: analisi differenziale e campi derivativi tra visibile e invisibile

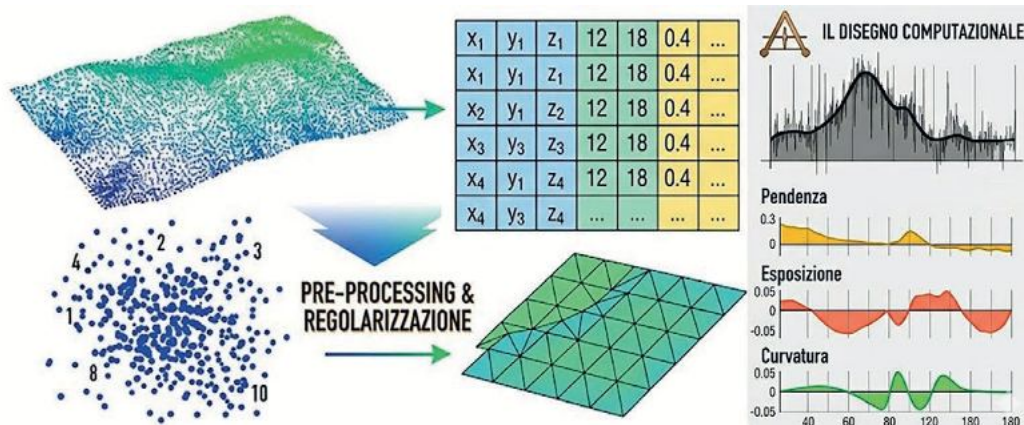
Alessio Cardaci
Pietro Azzola

Abstract

Le nuvole di punti restituiscono la superficie degli oggetti rilevati ma possono anche generare rappresentazioni che non coincidono con la loro fisicità. Assunte come struttura interrogabile, esse diventano un supporto computazionale: convertendo il campionamento discreto in una matrice numerica, la geometria si trasforma in dominio di calcolo. Attraverso la stima di normali locali e l'applicazione di derivate prime e seconde si ricavano campi di pendenza, esposizione e curvatura, capaci di rendere figurabili concetti astratti – intensità e direzione della variazione, flessione, transizioni e discontinuità – che la sola “pelle” lascia invisibili. Il contributo propone un workflow replicabile: pre-processing e regolarizzazione del dato, calcolo delle normali su intorni controllati, mappe di orientamento e analisi direzionale per sezioni mediante smoothing. La procedura è applicata a tre contesti eterogenei per scala (manufatto storico, infrastruttura, modello sperimentale), evidenziando come le “nuvole derivate” trasformino valori funzionali in immagini e permettano letture comparabili tra dataset e nel tempo. Il Disegno opera come mediazione critica, definendo scala d'intorno e codifica grafica per rendere leggibili anomalie, rotazioni locali e micro-deformazioni. La rappresentazione derivata non sostituisce l'oggetto, ma lo rifonda, separando riferimento metrico e comportamento geometrico, con una catena di trasformazioni dichiarata e verificabile a fini diagnostici.

Parole chiave

Rilievo 3D, rappresentazione diagnostica, normali di superficie, pendenza, curvatura.



*Tu déi saper che non si muove fronda
là giú, che segno qui non se ne faccia.
Ogni effetto convien che corrisponda
in terra e in ciel, ma con diversa faccia.*

Ludovico Ariosto, Orlando Furioso, XXXV, 18.

Introduzione

L'analisi numerica delle nuvole di punti sta divenendo una delle componenti centrali del rilievo digitale e della rappresentazione tridimensionale in ambito architettonico e nell'ingegneria delle costruzioni. Nei modelli 3D contemporanei, caratterizzati da una elevata densità informativa, da un controllo metrico sempre più accurato e da una crescente coerenza interna, l'informazione spaziale non rappresenta più soltanto una descrizione geometrica del reale, ma si configura come una risorsa informativa per la lettura e l'interpretazione della morfologia. La nuvola di punti è frequentemente assunta come esito finale della rappresentazione e come migliore "immagine" della realtà; tuttavia, se considerata come una struttura interrogabile, capace di sostenere operazioni di indagine che superano la mera funzione figurativa, essa consente una lettura più ampia dell'ambiente costruito. In questo senso, il campionamento puntuale tridimensionale abilita nuove rappresentazioni, prodotte attraverso un atto di trasformazione e di costruzione: un dispositivo capace di generare ulteriori visibilità, non riducibili alla sola materialità dell'oggetto. La nuvola di punti non serve solo a descrivere la superficie, ma a rendere indagabili aspetti strutturali e morfologici non immediatamente evidenti; nel paradigma del rapporto tra visibile e invisibile, ciò significa chiedersi quali dimensioni dell'ambiente costruito (regole costruttive, regimi di variazione, soglie, transizioni) restino celate e impercettibili se la lettura si limita alla sua "pelle". La nuvola è dunque assunta come materia prima di una trasduzione controllata: un passaggio tra registri (discreto/continuo, geometrico/metrico, oggettuale/concettuale) che genera nuove figurazioni e nuove modalità di lettura.

L'obiettivo della ricerca è dimostrare come, a partire da una struttura che restituisce la forma fisica, sia possibile produrre rappresentazioni orientate alla visualizzazione di grandezze matematiche astratte, ricavate mediante calcolo differenziale e, dunque, non immediatamente riconducibili alla materialità dell'ambiente rilevato. La superficie assume il ruolo di dominio su cui rendere leggibili gradienti, direzioni, flessioni, transizioni e discontinuità: entità che esistono primariamente come relazioni e non come materia. La geometria differenziale offre un lessico coerente per questo passaggio, perché sposta l'attenzione dalla descrizione globale alla variazione locale. Carl Friedrich Gauss pone al centro la curvatura come proprietà intrinseca: una superficie si conosce attraverso il modo in cui cambia nell'intorno, cioè nella relazione tra elementi vicini [Gauss 1827]. Bernhard Riemann rafforza l'idea che le proprietà metriche emergano dalle relazioni infinitesimali tra elementi contigui e che la misura dipenda dalla struttura locale dello spazio [Riemann 1867]. Felix Klein, infine, riconduce la geometria a invarianti rispetto alle trasformazioni, enfatizzando che ciò che conta non è la figura come oggetto statico, ma il comportamento che resta stabile attraverso cambi di rappresentazione [Klein 1872]. Questo paradigma, pur maturato in un contesto astratto, è particolarmente significativo nel rilievo digitale, perché consente di trattare il campionamento discreto non come mera restituzione della superficie, ma come supporto computazionale. Attraverso il calcolo di descrittori quali pendenza, esposizione e curvatura, la descrizione geometrica si trasforma in un'analisi delle dinamiche formali (fig. 1). La nuvola di punti può essere intesa come una forma di notazione prefigurativa: non ancora immagine compiuta o modello interpretato, ma deposito di relazioni che attende di essere attivato attraverso procedure di lettura. La sua forza non consiste soltanto nella fedeltà metrica, bensì nella possibilità di costituirsi come dominio numerico di informazioni non direttamente geometriche. Quantità differenziali come direzioni e normali vettoriali, pendenza e curvature non sono dati "contenuti" nella nuvola, ma risultati di una costruzione

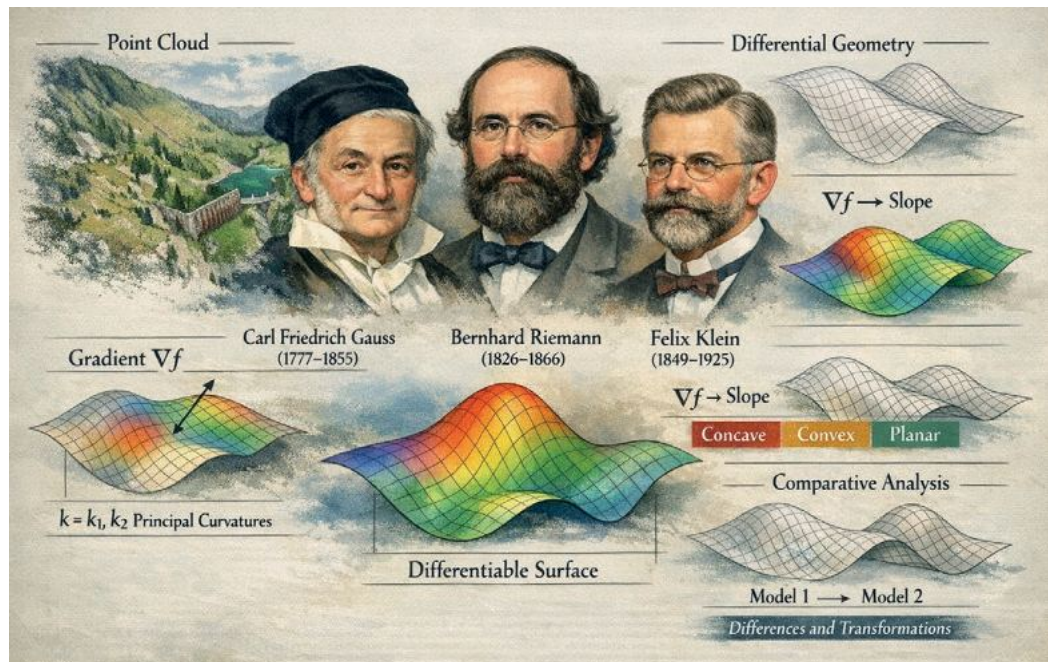


Fig. 1. La geometria differenziale e i suoi principali riferimenti teorici: Gauss, Riemann e Klein

matematica che dipende dal comportamento locale della superficie [Cazals, Pouget 2005]. Le recenti tecniche di segmentazione e classificazione delle nuvole di punti, insieme alla loro elaborazione in ambienti di calcolo matematico, hanno evidenziato la possibilità di costruire un lessico grafico-matematico capace di rendere esplicite le transizioni tra stabilità e variazione, continuità e discontinuità, uniformità e perturbazione [Grilli, Menna, Remondino 2017].

Il rapporto tra visibile e invisibile non coincide più con l'opposizione tra dato osservabile e significato nascosto, ma con la distanza tra ciò che la superficie mostra immediatamente e ciò che può essere inferito dalle sue variazioni. La point cloud, dunque, non è soltanto una traccia ottica o metrica dell'oggetto, ma un archivio di comportamenti geometrici e un dispositivo analitico capace di trasformare il dato rilevato in conoscenza morfologica.

Metodologia: dal campionamento discreto ai campi derivativi

L'analisi differenziale diventa pienamente operativa quando la superficie rilevata viene tradotta in un'espressione analitica. Le grandezze differenziali non dipendono dal singolo punto isolato, ma dalla configurazione di quelli circostanti; esse sono influenzate dalla geometria locale e risentono sia dell'ampiezza dell'intorno considerato sia del livello di approssimazione adottato. Il calcolo differenziale applicato alle nuvole di punti costituisce quindi una trasposizione numerica controllata, influenzata dalla scala di analisi e dall'estensione della regione di indagine. Esso è inoltre fortemente condizionato dalla densità del campionamento, dal rumore, dalla presenza di outlier e dai criteri di regolarizzazione.

La geomorfometria, disciplina che descrive quantitativamente le forme del paesaggio tramite indici morfologici, costituisce un antecedente importante [Xiong et al. 2022]. Tra gli anni Settanta e Ottanta del XX secolo, essa ha elaborato operatori per l'analisi delle forme, applicando procedure numeriche a dati campionati [Evans 1972; Zevenbergen, Thorne 1987; Pike 1988]. Tale tradizione ha definito un impianto metodologico inizialmente pensato per il paesaggio naturale, ma oggi estendibile anche al patrimonio costruito.

I primi modelli di calcolo si basavano su griglie regolari impostate su restituzioni cartografiche; in una fase successiva, le procedure di analisi hanno iniziato a considerare anche il vicinato locale dei vertici, stimando da esso la giacitura del piano tangente e la direzione del vettore normale. L'elaborazione, oggi, si fonda sull'approssimazione della superficie mediante una

funzione scalare definita su un dominio 2D o 2.5D; a partire da tale rappresentazione, le derivate spaziali permettono di ricavare descrittori morfometrici capaci di caratterizzare la forma. Questi descrittori si distinguono in due categorie principali: descrittori derivati, pendenza, esposizione, curvatura, e indici morfometrici, ottenuti mediante combinazioni analitiche di altre grandezze. Le derivate prime restituiscono i descrittori di pendenza ed esposizione, entrambi riconducibili al gradiente locale. La pendenza misura l'intensità della variazione altimetrica; in termini geometrici, corrisponde al modulo del gradiente ed esprime quindi l'entità del mutamento locale rispetto al piano tangente. L'esposizione descrive invece la direzione del massimo gradiente e individua l'orientamento prevalente della variazione. La loro applicazione al patrimonio costruito assume un rilevante valore diagnostico, poiché consente di determinare discontinuità e cambi di orientamento. Tali condizioni possono essere intenzionali, come nel caso di spigoli, modanature e giunti, oppure casuali o legate all'invecchiamento, come deformazioni e irregolarità derivate da assestamenti e/o fenomeni di degrado. La scelta dell'intorno è decisiva: se troppo ridotto, rende la stima instabile e sensibile al rumore; se troppo esteso, tende invece a filtrare i dettagli e a produrre una descrizione eccessivamente mediata della forma. Le derivate seconde restituiscono misure di curvatura, una grandezza che, come la pendenza, varia in funzione della direzione considerata sulla superficie e permette di evidenziare flessioni, transizioni e cambi di regime morfologico, distinguendo regioni concave, convesse o prossime alla planarità. La curvatura, pertanto, non è univoca e può essere assunta come descrittore operativo del comportamento locale secondo specifiche direzioni di analisi; essa deve essere interpretata sempre in relazione all'ampiezza dell'intorno e al grado di approssimazione adottato. La robustezza della stima dipende anche dalla qualità del dato: rumore e outlier possono compromettere significativamente la stabilità delle derivate seconde, che risultano più sensibili delle derivate prime. Nell'applicazione all'architettura e all'ingegneria, i descrittori di curvatura consentono l'individuazione di variazioni minute della geometria superficiale e risultano fondamentali per riconoscere rugosità, perdita di materiale, deformazioni localizzate e discontinuità tra porzioni a comportamento omogeneo (fig. 2). La geomorfometria considera anche gli indici morfometrici, ottenuti da relazioni analitiche tra grandezze di base. Essi sono particolarmente importanti perché facilitano la comparazione tra superfici e supportano la segmentazione in classi [Koenderink, van Doorn 1992]. La recente introduzione di metodi per la stima delle normali locali direttamente sulle nuvole di punti, basati sulla decomposizione della matrice di covarianza calcolata sull'intorno,

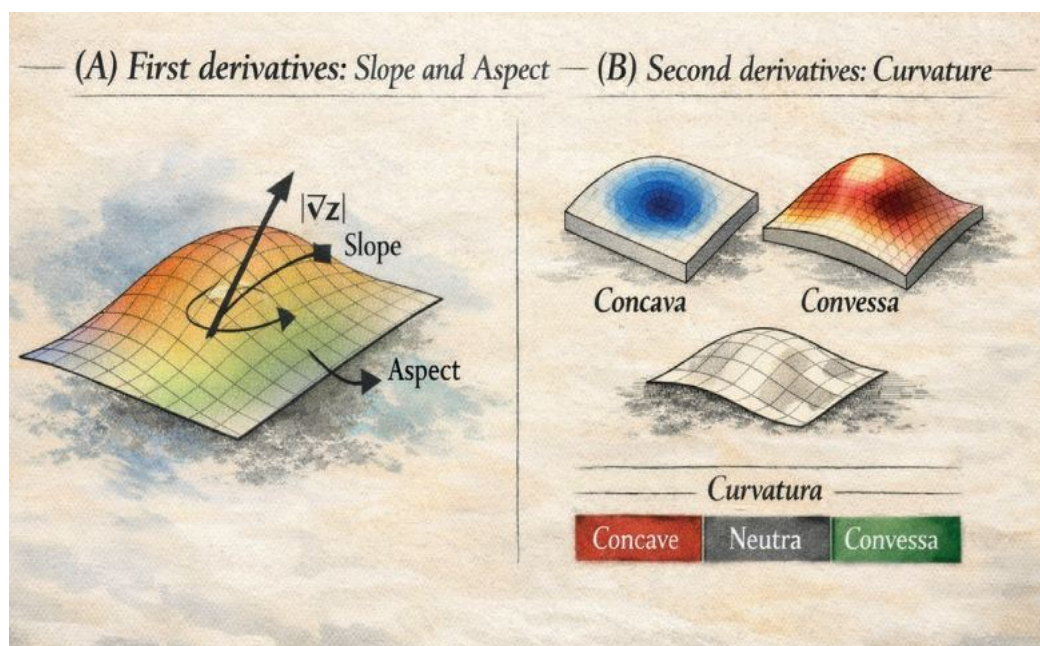


Fig. 2. I descrittori di pendenza-esposizione (derivate prime) e curvatura (derivate seconde) per interpretare gradienti, concavità, convessità e transizioni.

consente di convertire l'orientamento del piano in due grandezze scalari: il Dip e il Dip Direction. In termini geometrici, il Dip rappresenta l'angolo di inclinazione che il piano tangente forma rispetto all'orizzontale, misurato lungo la linea di massima pendenza; il Dip Direction è invece l'azimut della direzione di immersione, cioè la direzione in cui il piano "scende" più rapidamente [Mitra, Nguyen, Guibas 2004].

Nel caso specifico del patrimonio costruito, i descrittori Dip e Dip Direction consentono di misurare e visualizzare in modo continuo scostamenti e deformazioni rispetto a un modello di riferimento: fuori piombo, fuori livello, inflessioni locali, deformazioni e disallineamenti tra porzioni nominalmente complanari. Essi facilitano sia la segmentazione in superfici a comportamento omogeneo sia il confronto quantitativo con un modello di progetto. Il confronto tra dati acquisiti in epoche diverse aggiunge inoltre una dimensione temporale all'analisi morfologica, consentendo di individuare variazioni progressive, direzioni prevalenti di deformazione e traiettorie di degrado nel tempo. Un nodo decisivo riguarda l'estensione dell'intorno locale, che va commisurata alla densità del campionamento, alla scala dell'oggetto e al tipo di fenomeno da osservare. La stessa geometria può apparire lineare, planare o volumetrica al variare dell'ampiezza di analisi; di conseguenza, la selezione della scala costituisce una scelta propriamente interpretativa [Demantké et al. 2011]. La robustezza del risultato dipende quindi dalla coerenza tra problema conoscitivo, qualità del campionamento e scala di osservazione adottata. Nelle analisi differenziali applicate alle nuvole di punti, rumore, irregolarità di densità e presenza di spigoli vivi non costituiscono soltanto elementi perturbativi da eliminare. Essi sono piuttosto condizioni da distinguere criticamente, poiché possono derivare tanto dai limiti dell'acquisizione quanto dalle proprietà dell'oggetto. La stima delle derivate è particolarmente sensibile a tale ambiguità: una brusca variazione della pendenza o della curvatura può corrispondere a una reale discontinuità costruttiva, a un degrado localizzato, ma anche a una disomogeneità del campionamento o a un intorno mal calibrato. Il valore numerico acquista significato solo all'interno di una procedura esplicita di approssimazione locale [Cazals, Pouget 2005]. I descrittori geometrici, pertanto, non agiscono semplicemente come misure isolate, ma come dispositivi di riduzione e confronto; i parametri derivati dalla matrice di covarianza, dall'assetto locale e dalla distribuzione dei punti sono efficaci non solo per classificare automaticamente le scene, ma anche per comprendere quali variabili risultino davvero rilevanti rispetto al compito interpretativo.

Queste considerazioni, applicate al rilievo architettonico, suggeriscono che pendenza, orientamento e curvatura non debbano essere assunti come indicatori universali e autosufficienti, ma selezionati in funzione della domanda critica: fuori piombo e fuori livello richiedono campi diversi rispetto all'individuazione di rugosità, flessi o soglie di discontinuità. L'efficacia della procedura dipende quindi dalla capacità di costruire un set limitato ma pertinente di descrittori, evitando sia l'eccesso di parametri poco leggibili, sia l'appiattimento della complessità geometrica in un unico indice sintetico.

Analisi differenziale delle nuvole di punti: protocollo e strategie di visualizzazione

La definizione di un protocollo specifico e replicabile per il trattamento "differenziale" delle nuvole di punti, finalizzato all'integrazione dei dati in software di calcolo numerico, ha richiesto la progettazione di un flusso di lavoro strutturato, controllato e replicabile. Il passaggio metodologico centrale consiste nella trasformazione dal dominio geometrico a quello numerico. Le nuvole di punti sono state campionate e regolarizzate per garantire una densità omogenea, una distribuzione più controllata della distanza tra i punti e la riduzione del rumore [Pesci et al. 2022]. Tale obiettivo è stato perseguito mediante l'ottimizzazione dei parametri di selezione, degli errori di proiezione e dell'accuratezza della ricostruzione; la procedura ha inoltre assicurato la coerenza tra dati provenienti da sistemi di 3D laser scanning e da acquisizioni fotogrammetriche.

L'obiettivo del flusso operativo è misurare e rendere confrontabili, secondo criteri di standardizzazione, tracciabilità e replicabilità, variazioni di assetto, irregolarità e possibili deformazioni [Yang et al. 2017]. In coerenza con il quadro teorico precedentemente delineato, il protocollo si articola in due livelli complementari: l'analisi di superficie in 3D e

l'analisi direzionale per sezioni (fig. 3). L'analisi tridimensionale fornisce una diagnosi globale dell'assetto e delle discontinuità, mentre l'analisi per sezioni consente verifiche mirate e confronti di dettaglio.

Il primo livello consiste in una lettura tridimensionale della superficie, finalizzata a ottenere una diagnosi globale dell'orientamento e delle discontinuità locali. In termini concettuali, la geometria viene interrogata stimando l'assetto locale della superficie a partire da intorni di punti; ciò consente di produrre mappe sintetiche dell'orientamento e di evidenziare rapidamente rotazioni, cambi di assetto e zone in cui la superficie mostra comportamenti anomali o differenziati. In questa fase, strumenti di elaborazione e visualizzazione delle nuvole di punti, come CloudCompare, sono impiegati per l'ispezione, il controllo e il pre-processing, oltre che per il calcolo delle normali e per la produzione di mappe di orientamento a supporto della diagnosi e della segmentazione [Antova, Peev 2024].

Il secondo livello è costituito dall'analisi basata su sezioni estratte lungo gli assi principali o secondo direzioni particolarmente rappresentative. La scelta è motivata da un'esigenza operativa: in molti contesti tecnici, la sezione planare costituisce uno strumento efficace sia per le verifiche dimensionali sia per la comunicazione dei risultati. La sezione consente una lettura "a profilo" più controllata e leggibile, riducendo alcune ambiguità interpretative tipiche delle sole mappe tridimensionali. Inoltre, vincolando l'analisi a una traccia definita, si limita l'influenza di porzioni adiacenti della nuvola che potrebbero introdurre disturbi non pertinenti, quali elementi laterali, rumore o componenti fuori piano. In questo senso, la lettura per sezioni non sostituisce quella tridimensionale, ma la integra: la prima rende più rigorosa la comparazione lungo una direzione scelta, mentre la seconda mantiene una visione globale della superficie.

Sul piano operativo, l'analisi lungo sezione viene eseguita tramite uno script MATLAB che seleziona i punti appartenenti a una fascia ristretta, li ordina lungo la direzione del profilo e ricostruisce un andamento continuo mediante una curva smussata. Un nodo fondamentale riguarda la smussatura, o smoothing, introdotta per garantire maggiore robustezza: quando si ricavano indicatori di variazione locale, il rumore può essere amplificato e tradursi in instabilità interpretative; pertanto, lo smoothing è adottato come procedura di regolarizzazione coerente e controllata. Il metodo presenta comunque limiti intrinseci: gli indicatori lungo sezione dipendono dalla qualità del profilo ricostruito e dalle scelte di smussatura; inoltre, la curvatura va intesa come indicatore operativo della variazione

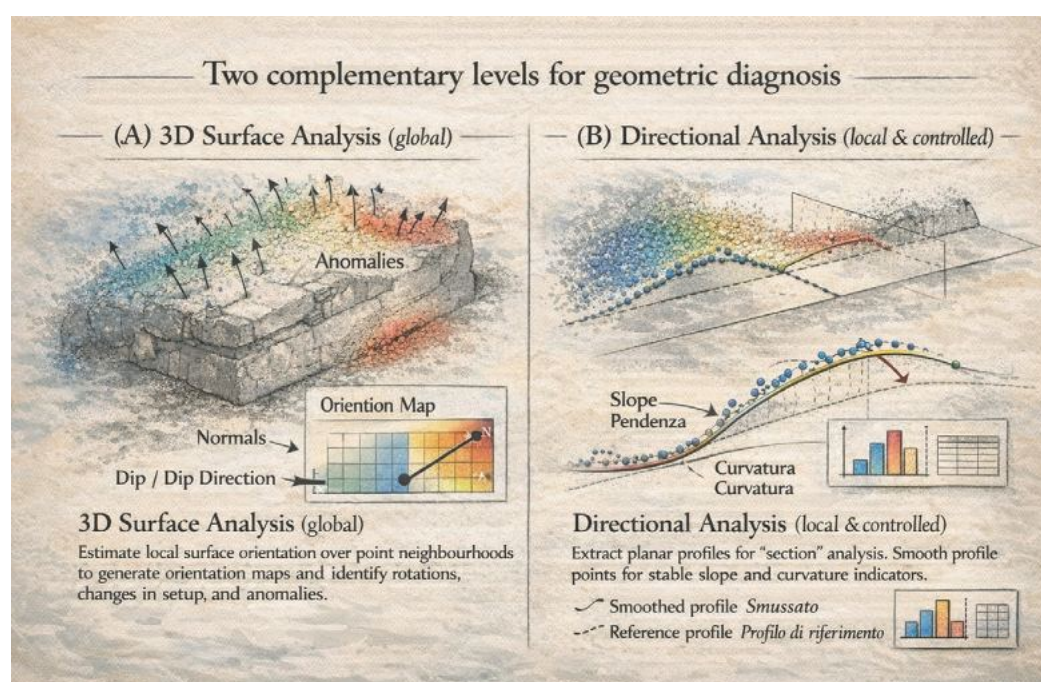


Fig. 3. Analisi globale delle superfici mediante mappe di orientamento e verifiche locali attraverso sezioni piane controllate.

del profilo, utile a evidenziare zone critiche, ma da interpretare con cautela qualora si intendano trarre conclusioni più generali sulla superficie nel suo complesso. La dichiarazione di questi vincoli, insieme alla standardizzazione delle scelte operative e alla possibilità di ripetere il flusso operativo in condizioni controllate, costituisce una parte essenziale del valore metodologico dell'impianto proposto. Al fine di verificare la trasferibilità e la capacità interpretativa della procedura, il protocollo è stato applicato a tre contesti differenti per scala e natura del dato: un manufatto storico, la Diga del Gleno; un'infrastruttura, il ponte sul torrente Carso a Nembro; e un modello di un pendio sabbioso approntato per una prova in centrifuga geotecnica.

Nel primo caso, pendenza ed esposizione rendono leggibili cambi di assetto e soglie locali, distinguendo con maggiore chiarezza le regioni a comportamento omogeneo dalle aree caratterizzate da discontinuità di orientamento; tali descrittori consentono di individuare le porzioni della superficie che mantengono una giacitura coerente e, al tempo stesso, di riconoscere le zone in cui si verificano rotazioni, inflessioni o bruschi cambiamenti morfologici. La curvatura, inoltre, permette di discriminare le transizioni continue dalle variazioni più repentine, rendendo visibili flessi, inversioni e cambi di regime che l'ispezione della sola nuvola di punti può nascondere (figg. 4-6).

Nel secondo caso, il confronto tra un profilo teorico e il profilo as-built mostra che una curva attesa può essere realizzata come concatenazione di tratti quasi rettilinei: l'inversione di curvatura evidenzia punti di flesso interpretabili come elementi rappresentativi autonomi,



Fig. 4. Diga del Gleno: modello geometrico e valori morfometrici, espressi in termini di Dip e Dip Direction, per l'analisi dell'orientamento delle superfici e delle relative variazioni.

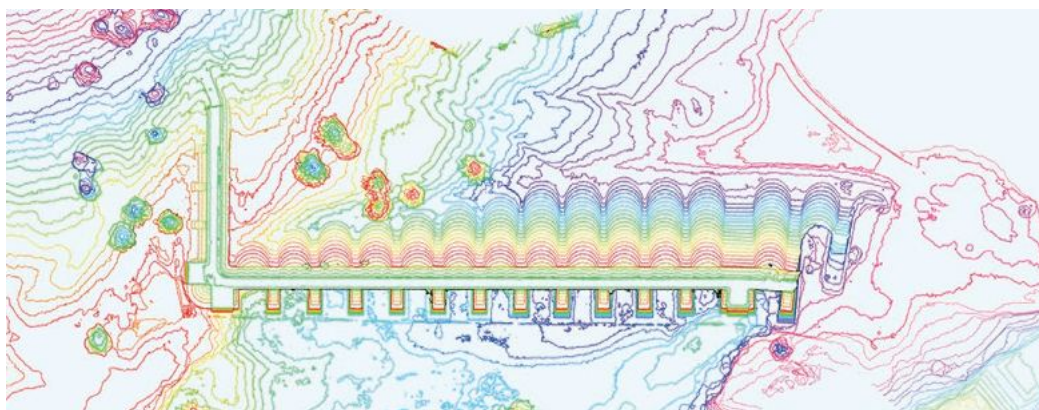


Fig. 5, Diga del Gleno: mappa di elevazione con isolinee e rappresentazione cromatica dei campi derivativi, finalizzata all'individuazione di soglie, transizioni e regioni geometricamente omogenee.

Zona	Pendenza (classe)	Curvatura (classe)	Indice pendenza (media)	Indice pendenza (max)	Curvatura/c omplexità (media)	Linearità (R mediana)	Posizione	Relazioni proporzionali e geometriche
Z1 Inset Nord-Ovest (alto sinistra)	Media	Media	0.0279	0.0665	0.9776	0.0214	Riquadro/inset con curve "disagiate"	Drenaggi: pattern a V/U → assi di deflusso. Geometria: drenaggio segue massima pendenza, ortogonale alle curve.
Z2 Testata-Plateau Nord (alto centro)	Media	Media	0.0262	0.0642	0.9770	0.0194	Parte alta con superfici articolate	Pendenza media: curve discretamente fitte. Geometria: alternanza concavità/convessità (terrazzi e raccordi).
Z3 Settore Est-Nord (alto destra)	Bassa	Alta	0.0078	0.0113	0.9817	0.0164	Area più "quieta" e meno inoisa	Bassa pendenza: curve rare. Curvatura relativa alta → ondulations locali con basso dislivello.
Z4 Fascia centrale lungo la diga (archi)	Bassa	Alta	0.0137	0.0658	0.9861	0.0117	Intorno al manufatto: cambi direzione, rotture di terrazzo	Curvatura alta, molte direzioni nello stesso intorno → breaklines/interferenza costruito-naturale. Asse diga direttrice dominante.
Z5 Versante valle Sud-Centro	Alta	Bassa	0.0455	0.1506	0.9472	0.0327	Settore più ripido (curve molto fitte)	Massima pendenza: densità massima. Curvatura bassa → linearità alta → superfici inclinate continue.
Z6 Conoidi / versante Sud-Est	Alta	Bassa	0.0476	0.1500	0.9754	0.0101	Ventaglio a valle con molte curve ravvicinate	Pendenza alta: spaziatura minima tra curve → slope 1/50. Geometria: curve quasi parallele → versante regolare, gradiente uniforme.

più informativi della sola differenza metrica (figg. 7-9).

Nel terzo caso, relativo al confronto pre/post prova, le variazioni dei campi derivativi descrivono direzioni prevalenti di deformazione e localizzazioni del cambiamento: non si osserva solo "quanto" la superficie sia cambiata, ma "come" sia cambiata, dove il cambiamento si concentri e quale direzione risulti dominante (figg. 10-12).

La rappresentazione derivata non sostituisce la nuvola: la rifonda sul piano interpretativo, perché rende confrontabili comportamenti, ossia regimi di variazione, che la sola "pelle"

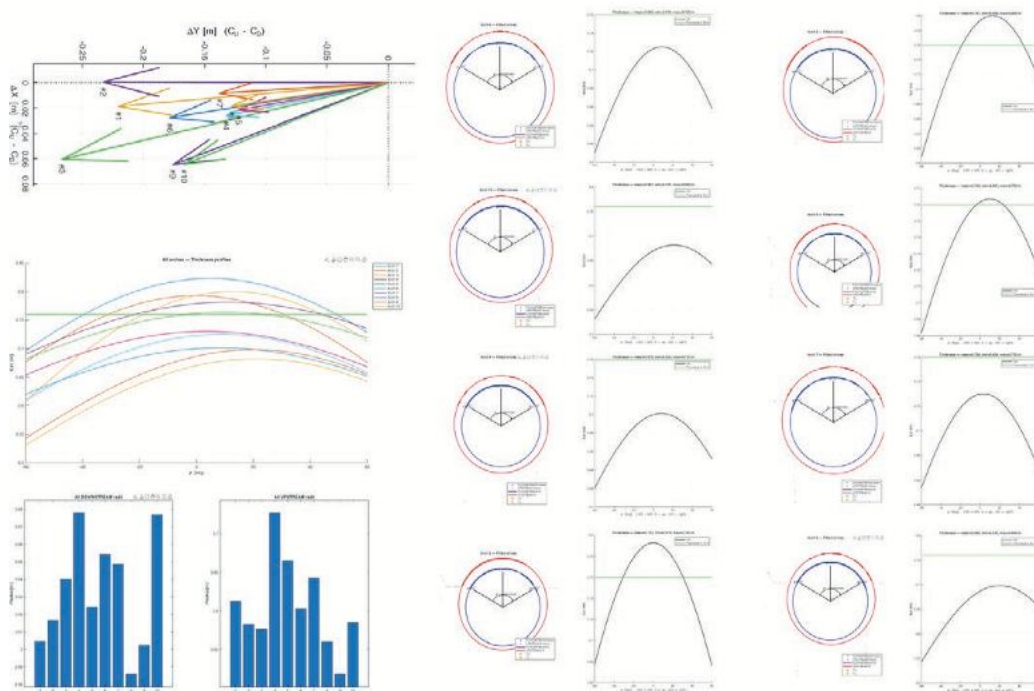


Fig. 6, Diga del Gleno: grafici e istogrammi per l'analisi delle variazioni locali, mediante calcolo delle derivate, e per l'individuazione di anomalie non identificabili nel modello geometrico.

fisica lascia impliciti. Se l'obiettivo è rappresentare concetti, il progetto della visualizzazione diventa parte integrante del metodo: un campo derivativo può essere reso visibile attraverso variabili grafiche diverse, quali colore, altezza/estrazione 2.5D, densità o combinazioni che separano informazione geometrica e informazione concettuale. Mantenere le coordinate originali e colorare la nuvola per curvatura conserva il riferimento all'oggetto e rende riconoscibili zone di flessione e transizione; sostituire la quota con il valore del campo produce invece una nuvola derivata che "abbandona" parzialmente la fisicità dell'oggetto e rende la funzione stessa un oggetto spaziale.

Queste scelte producono effetti cognitivi differenti: una mappa 2D privilegia la comparazione globale, una sezione enfatizza il verso di lettura, una nuvola 3D derivata esalta la natura concettuale del dato. La rappresentazione non è neutra, e ogni codifica costruisce un diverso regime di visibilità e, quindi, un diverso accesso all'invisibile matematico. Nel campo della rappresentazione, ciò implica che la visualizzazione non sia un momento finale e illustrativo, ma un'operazione analitica a pieno titolo. La stessa grandezza può generare esiti cognitivamente differenti a seconda della codifica adottata: una mappa cromatica continua favorisce il riconoscimento di gradienti e soglie; l'uso di isolinee rende più evidente l'articolazione per fasce di comportamento; un'estrazione 2.5D enfatizza invece l'andamento della funzione, sottraendo la lettura alla sola aderenza mimetica con l'oggetto. Affinché tali immagini siano confrontabili, è però necessario stabilire regole di normalizzazione, intervalli di classe, soglie e convenzioni cromatiche stabili. In assenza di questo controllo, la nuvola derivata rischia di produrre immagini persuasive ma non comparabili. Il Disegno assume qui una responsabilità metodologica precisa: non decorare il dato, ma disciplinarne la leggibilità, costruendo equivalenze visive tra casi diversi e rendendo verificabile il rapporto tra variazione numerica e figura. Un ulteriore aspetto riguarda la riproducibilità inter-operativa del flusso operativo. La comparabilità tra dati da TLS e fotogrammetria, già discussa nella letteratura sul rilievo integrato del patrimonio [Fassi et al. 2013], non può limitarsi al confronto delle accuratèzze metriche o della densità di punti, ma deve estendersi anche ai descrittori derivati. Affinché un campo di pendenza o di curvatura sia riutilizzabile in campagne diverse, occorre registrare in modo sistematico il sistema di riferimento, le procedure di pulizia e downsampling, i parametri di stima delle normali, le funzioni di smoothing e le soglie adottate per la visualizzazione. Solo una tracciabilità di questo tipo consente di attribuire



Fig. 7. Ponte di Nembro: schizzi di studio e ricostruzioni assistite da AI basate sui dati del rilievo tridimensionale.

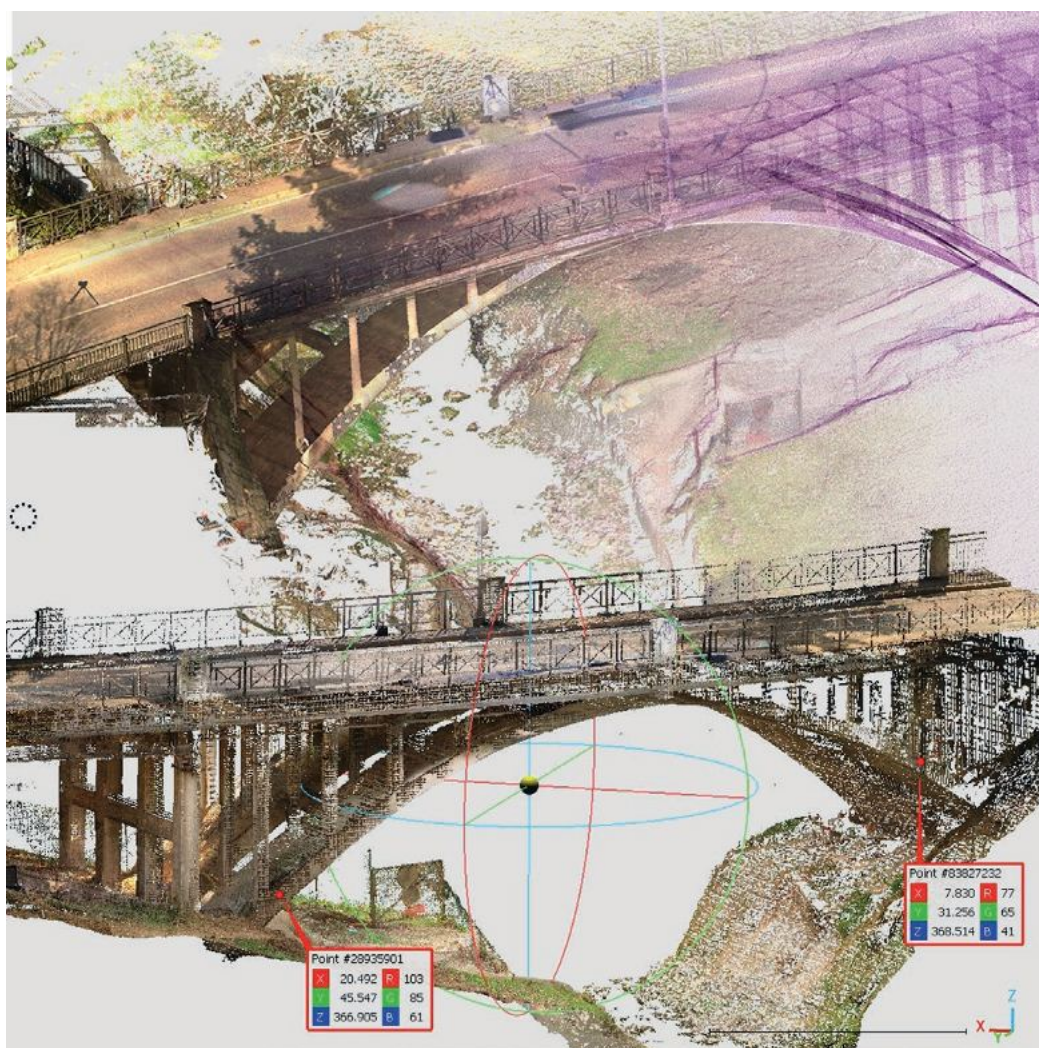


Fig. 8, Ponte di Nembro: adattamento del sistema di riferimento locale per il calcolo dei vettori di orientamento e delle normali.

a eventuali differenze osservate un significato diagnostico, distinguendo le trasformazioni dell'oggetto dalle variazioni introdotte dal processo di trattamento. La standardizzazione del protocollo diventa quindi parte integrante del valore conoscitivo delle immagini prodotte. Nelle pratiche correnti di monitoraggio, il confronto tra campagne successive viene spesso affidato a misure di distanza tra superfici o a mappe di scarto rispetto a un modello di riferimento. Tali strumenti restano fondamentali, ma descrivono principalmente l'entità dello spostamento. I campi derivativi, invece, consentono di qualificare il cambiamento: indicano se una superficie stia ruotando, irrigidendosi, inflessendosi o frammentandosi; se la variazione sia diffusa oppure concentrata; se si distribuisca secondo traiettorie coerenti o secondo pattern irregolari. Anche gli studi multi-scala e di classificazione dimostrano che il comportamento locale della geometria muta al variare della scala e che l'osservazione di tali mutamenti costituisce, di per sé, un'informazione significativa. Per il patrimonio e per le infrastrutture, ciò apre a una rappresentazione del degrado non limitata alla perdita di corrispondenza metrico-formale, ma orientata alla comprensione dei regimi di trasformazione.

L'analisi per sezioni, infine, può essere letta non come semplice riduzione della complessità tridimensionale, ma come dispositivo ermeneutico che seleziona un asse privilegiato di osservazione. Se la lettura di superficie restituisce la distribuzione spaziale dei comportamenti, la sezione costruisce una lettura direzionale della variazione: ordina i punti, esplicita il verso di percorrenza e mette in sequenza soglie, inversioni e flessi.

Questa duplice natura (sinottica nella vista 3D, lineare nella sezione) è particolarmente utile

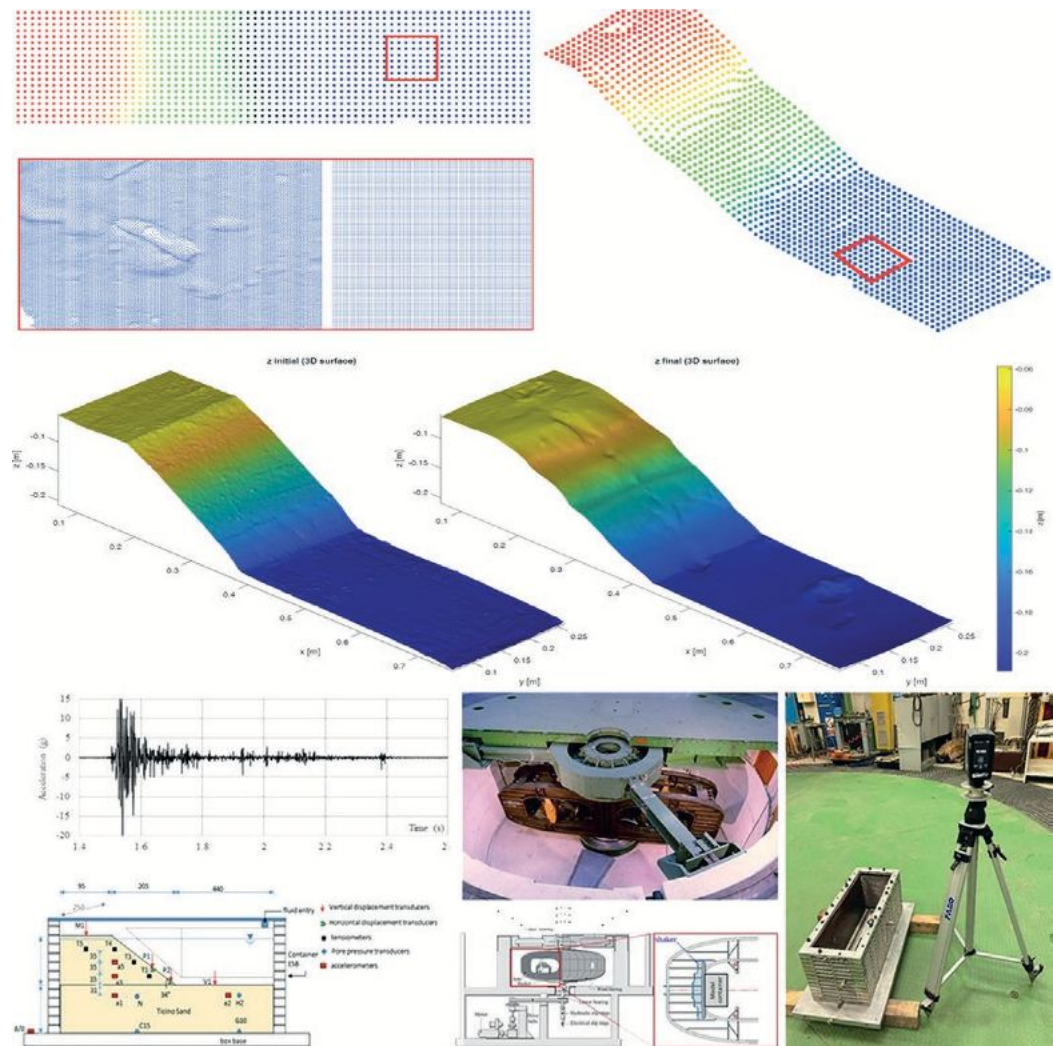


Fig. 10. Slope Testing: apparato sperimentale, acquisizione dei dati, campionamento e modellazione 3D della superficie prima e dopo il test in "centrifuga geotecnica".

della procedura proposta risiede, in definitiva, nel fatto che essa non aggiunge semplicemente ulteriori immagini alla nuvola di punti, ma ridefinisce lo statuto stesso dell'immagine prodotta dal rilievo; là dove la nuvola "diretta" sembra coincidere con l'evidenza dell'oggetto, la nuvola derivata introduce una distanza critica: obbliga a esplicitare scala, metrica, regole di calcolo e convenzioni di visualizzazione. È in questo scarto che l'invisibile diventa rappresentabile. Non perché venga svelata una realtà nascosta in senso assoluto, ma perché vengono costruite condizioni operative per rendere leggibili relazioni che, senza un opportuno trattamento, rimarrebbero indistinte. Il passaggio dal visibile all'invisibile è quindi meno una rivelazione che una formalizzazione: un processo in cui il Disegno, sostenuto dal calcolo, trasforma la superficie da dato figurativo a campo di conoscenza. In questa chiave, l'immagine finale non conclude il rilievo, ma ne rende discutibili, verificabili e condivisibili le ipotesi interpretative. Lo studio è ancora nella sua fase iniziale; la prospettiva futura della ricerca e l'ulteriore sviluppo del metodo potranno orientarsi verso procedure aperte, trasparenti e pienamente riproducibili, capaci di integrare strumenti di interpretazione assistita senza sostituire la lettura critica e il controllo scientifico del ricercatore. In questo quadro, il valore della pipeline non risiede soltanto nell'identificazione dei pattern, ma nella possibilità di rendere esplicita, verificabile e controllabile l'intera catena di trasformazioni che conduce dal dato rilevato alla rappresentazione spaziale della sua interpretazione matematica e concettuale, favorendo una più chiara comprensione dei passaggi analitici e delle relazioni tra dato, modello e lettura critica.

Slope Testing: Charts Numerical Analysis

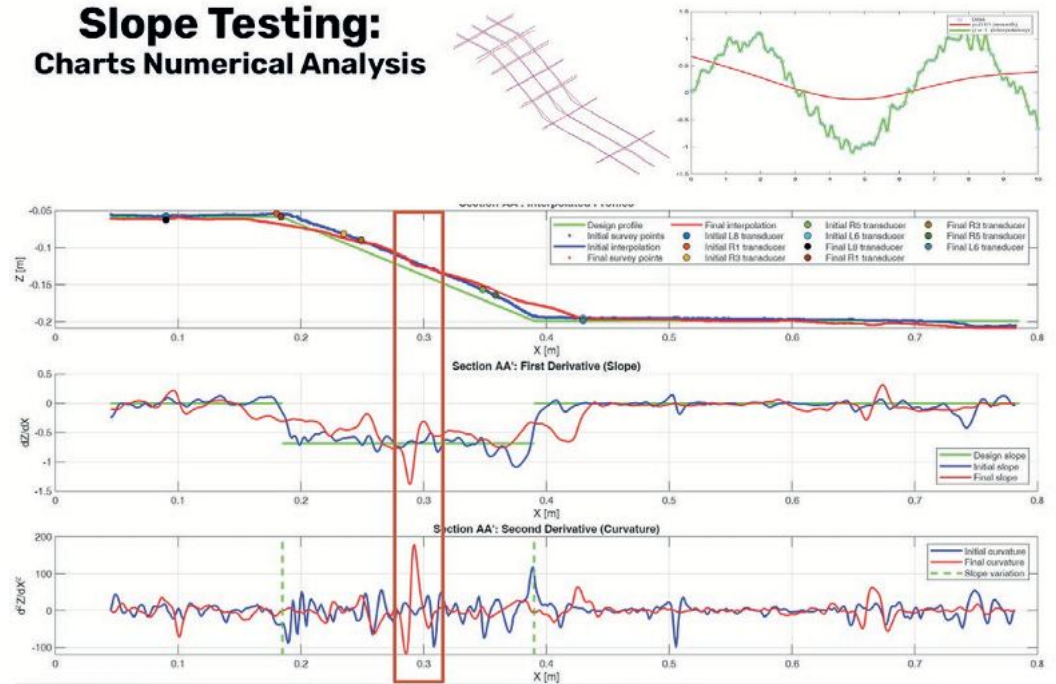


Fig. 11. Slope Testing: confronto pre/post-test lungo sezioni controllate. Le derivate prime e seconde, relative a pendenza e curvatura, evidenziano lo scostamento del profilo rispetto alla configurazione ideale

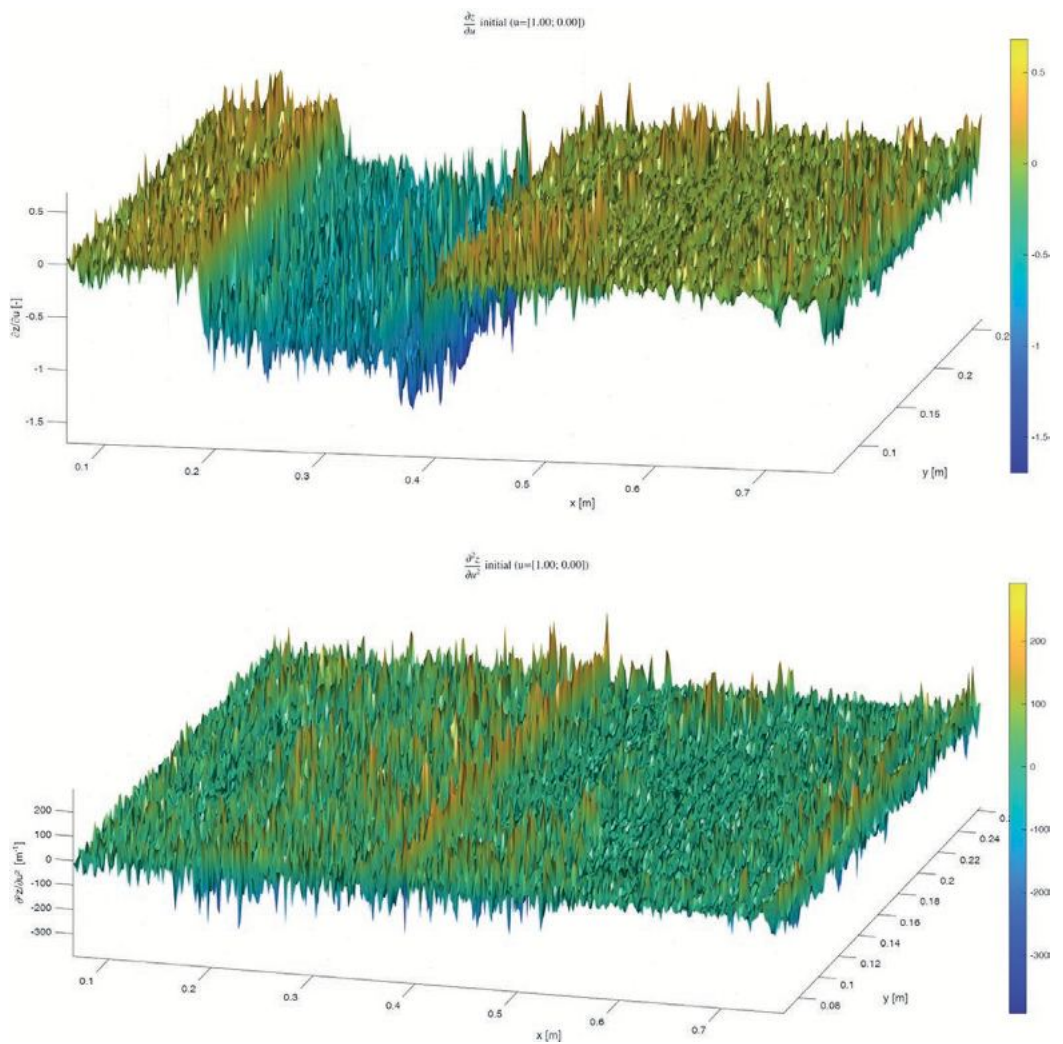


Fig. 12. Slope Testing: nuvole di valori derivati, intese come rappresentazioni tridimensionali non della geometria materiale, ma dei valori analitici di pendenza e curvatura.

Dichiarazione di trasparenza

Gli autori dichiarano che gli strumenti di intelligenza artificiale ChatGPT (OpenAI) e DeepL Write (DeepL) sono stati utilizzati esclusivamente per interventi minimi di revisione linguistica (grammatica, ortografia e leggibilità) e che tutte le modifiche sono state verificate e approvate dagli autori. Nessun contenuto scientifico, analisi, risultati o interpretazioni è stato generato dall'IA. Essi si assumono la piena responsabilità dell'integrità e dell'accuratezza del manoscritto. Alcune figure e immagini sono state generate utilizzando DALL-E (OpenAI) e Nano Banana Pro (Google Gemini); gli autori hanno curato i prompt, selezionato gli esiti e garantito che le immagini generate non introducano affermazioni scientifiche né alterino l'interpretazione dei risultati.

Riferimenti bibliografici

- Antova, G., Peev, I. (2024). Comparison on commercial and free software for point cloud processing. In *Inżynieria Mineralna*, 1(1), pp. 511–519. <https://doi.org/10.29227/IIM-2024-01-57>
- Cazals, F., Pouget, M. (2005). Estimating differential quantities using polynomial fitting of osculating jets. In *Computer Aided Geometric Design*, 22(2), pp. 121–146. <https://doi.org/10.1016/j.cagd.2004.09.004>
- Demantké, J., Mallet, C., David, N., Vallet, B. (2011). Dimensionality based scale selection in 3D LiDAR point clouds. In *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XXXVIII-5/W12, pp. 97–102. <https://doi.org/10.5194/isprsarchives-XXXVIII-5-W12-97-2011>
- Evans, I. S. (1972). General geomorphometry, derivatives of altitude, and descriptive statistics. In R. J. Chorley (Ed.). *Spatial analysis in geomorphology*, pp. 17–90. Methuen.
- Fassi, F., Fregonese, L., Ackermann, S., De Troia, V. (2013). Comparison between laser scanning and automated 3D modelling techniques to reconstruct complex and extensive cultural heritage areas. In *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XL-5/W1, pp. 73–80. <https://doi.org/10.5194/isprsarchives-XL-5-W1-73-2013>
- Gauss, C. F. (1827). *Disquisitiones generales circa superficies curvas*. Commentationes Societatis Regiae Scientiarum Gottingensis Recentiores, 6. Retrieved December 17, 2025, from <https://archive.org/details/gaussdisquisitio1828>
- Grilli, E., Menna, F., Remondino, F. (2017). A review of point clouds segmentation and classification algorithms. In *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XLII-2/W3, pp. 339–344. <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLII-2-W3-339-2017>
- Klein, F. (1872). *Vergleichende Betrachtungen über neuere geometrische Forschungen*. Universität Erlangen. Visualizzato il 17 Dicembre 2025 da <https://www.gutenberg.org/ebooks/38033>.
- Koenderink, J. J., van Doorn, A. J. (1992). Surface shape and curvature scales. In *Image and Vision Computing*, 10(8), pp. 557–564. [https://doi.org/10.1016/0262-8856\(92\)90076-F](https://doi.org/10.1016/0262-8856(92)90076-F)
- Mitra, N. J., Nguyen, A., Guibas, L. J. (2004). Estimating surface normals in noisy point cloud data. In *International Journal of Computational Geometry & Applications*, 14(4–5), pp. 261–276. <https://doi.org/10.1142/S0218195904001470>
- Pesci, A., Teza, G., Loddo, F., Fabris, M., Monego, M., Amoroso, S. (2022). Studio di possibili effetti sistematici nelle nuvole di punti SfM da APR: Confronti con TLS, distorsioni e metodi di mitigazione. In *Quaderni di Geofisica*, 177, pp. 1–26.
- Pike, R. J. (1988). The geometric signature: Quantifying landslide-terrain types from digital elevation models. In *Mathematical Geology*, 20(5), pp. 491–511. <https://doi.org/10.1007/BF00890333>
- Riemann, B. (1867). Über die Hypothesen, welche der Geometrie zu Grunde liegen. In *Abhandlungen der Königlichen Gesellschaft der Wissenschaften zu Göttingen*, 13, pp. 133–152. Visualizzato il 17 Dicembre 2025 da <https://emis.de/classics/Riemann/Hypothesen.pdf>
- Xiong, L., Li, S., Tang, G., Strobl, J. (2022). Geomorphometry and terrain analysis: Data, methods, platforms and applications. In *Earth-Science Reviews*, 233, Article 104191. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2022.104191>
- Yang, H., Omidiazarandi, M., Xu, X., Neumann, I. (2017). Terrestrial laser scanning technology for deformation monitoring and surface modeling of arch structures. In *Composite Structures*, 169, pp. 173–179. <https://doi.org/10.1016/j.compstruct.2016.10.095>
- Zevenbergen, L. W., Thorne, C. R. (1987). Quantitative analysis of land surface topography. In *Earth Surface Processes and Landforms*, 12(1), pp. 47–56. <https://doi.org/10.1002/esp.3290120107>

Autori

Alessio Cardaci, Università degli studi di Bergamo, alessio.cardaci@unibg.it
Pietro Azzola, Università degli studi di Bergamo, pietro.azzola@unibg.it

Per citare questo capitolo: Alessio Cardaci, Pietro Azzola (2026). Le nuvole di punti come disegno concettuale: analisi differenziale e campi derivativi tra visibile e invisibile. In M. Balzani, M. Incerti, F. Maietti, L. Rossato, F. Raco (a cura di) *Disegno furioso. Atti del 47° Convegno Internazionale dei Docenti delle Discipline della Rappresentazione/Furious Drawing. Proceedings of the 47th International Conference of Representation Disciplines Teachers*. Roma: UID Press, pp. 529–556.

Point clouds as conceptual drawing: differential analysis and derived fields between the visible and the invisible

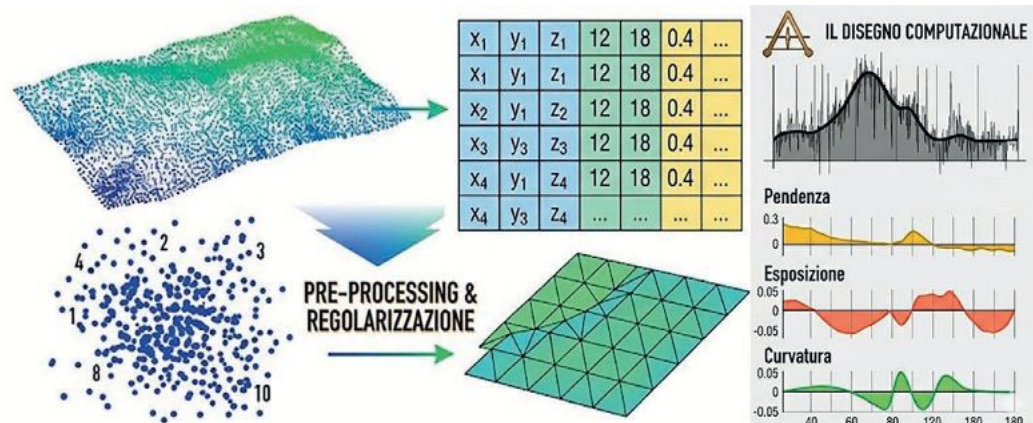
Alessio Cardaci
Pietro Azzola

Abstract

Point clouds reproduce the surfaces of surveyed objects, yet they can also generate representations that exceed physical materiality. When treated as interrogable structures, they become a computational substrate: discrete sampling is converted into a numerical matrix and geometry into a domain for analysis. By estimating local normals and applying first- and second-order derivatives, fields of slope, aspect and curvature can be produced. These fields make visible hidden phenomena: intensity and direction of variation, bending, transitions and discontinuities that the object's surface alone does not reveal. The paper presents a replicable workflow based on data pre-processing and regularisation, calculation of normals within controlled neighbourhoods, orientation maps, and directional section-based analysis supported by smoothing. The method is tested on three case studies differing in scale and nature: a historical artefact, an infrastructure and an experimental model. The results show that "derived point clouds" translate functional values into images and enable comparable readings across datasets and over time. Drawing acts as a critical mediation, defining the neighbourhood scale and graphic coding through which anomalies, local rotations and micro-deformations become legible. Derived representation does not replace the object; it redefines it by separating metric reference from geometric behaviour through a verifiable chain of transformations for diagnostic use.

Keywords

3D survey; diagnostic representation; surface normals; slope mapping; curvature assessment.



The "point cloud" as a
numerical matrix and
computational domain.

*Tu déi saper che non si muove fronda
là giú, che segno qui non se ne faccia.
Ogni effetto convien che corrisponda
in terra e in ciel, ma con diversa faccia.*

Ludovico Ariosto, Orlando Furioso, XXXV, 18.

Introduction

The numerical analysis of point clouds is becoming one of the central components of digital survey and three-dimensional representation in architecture and construction engineering. In contemporary 3D models, characterised by high information density, increasingly accurate metric control and growing internal consistency, spatial information is no longer merely a geometric description of reality, but constitutes an information resource for reading and interpreting morphology. The point cloud is frequently regarded as the final outcome of representation and as the most accurate 'image' of reality; however, when considered as an interrogable structure capable of supporting investigative operations that go beyond a merely figurative function, it enables a broader reading of the built environment. In this sense, three-dimensional point sampling enables new representations, produced through an act of transformation and construction: a device capable of generating further forms of visibility that cannot be reduced to the materiality of the object alone. The point cloud does not simply describe the surface, but makes it possible to investigate structural and morphological aspects that are not immediately evident. Within the paradigm of the relationship between the visible and the invisible, this means asking which dimensions of the built environment, construction rules, regimes of variation, thresholds and transitions, remain concealed and imperceptible when interpretation is limited to its 'skin'. The point cloud is therefore understood as the raw material of a controlled transduction: a passage between registers, discrete/continuous, geometric/metric, object-based/conceptual, generating new figurations and new modes of reading.

The aim of the research is to demonstrate how, starting from a structure that reproduces physical form, it is possible to produce representations oriented towards the visualisation of abstract mathematical quantities, derived through differential calculation and therefore not immediately attributable to the materiality of the surveyed environment. The surface assumes the role of a domain on which gradients, directions, bending, transitions and discontinuities can be made legible: entities that exist primarily as relations rather than as matter. Differential geometry provides a coherent vocabulary for this transition, because it shifts attention from global description to local variation. Carl Friedrich Gauss placed curvature at the centre as an intrinsic property: a surface is known through the way it changes within its neighbourhood, that is, through the relationship between adjacent elements [Gauss 1827]. Bernhard Riemann reinforced the idea that metric properties emerge from infinitesimal relations between contiguous elements, and that measurement depends on the local structure of space [Riemann 1867]. Felix Klein, finally, related geometry to invariants under transformations, emphasising that what matters is not the figure as a static object, but the behaviour that remains stable through changes of representation [Klein 1872]. Although developed in an abstract context, this paradigm is particularly significant for digital survey, because it allows discrete sampling to be treated not as the mere restitution of a surface, but as a computational substrate. Through the calculation of descriptors such as slope, aspect and curvature, geometric description is transformed into an analysis of formal dynamics (fig. 1). The point cloud may be understood as a form of prefigurative notation: not yet a completed image or an interpreted model, but a repository of relations waiting to be activated through procedures of reading. Its strength lies not only in metric fidelity, but also in its capacity to constitute a numerical domain of information that is not directly geometric. Differential quantities such as vector directions and normals, slope and curvatures are not data 'contained' in the cloud, but the results of a mathematical construction that de-

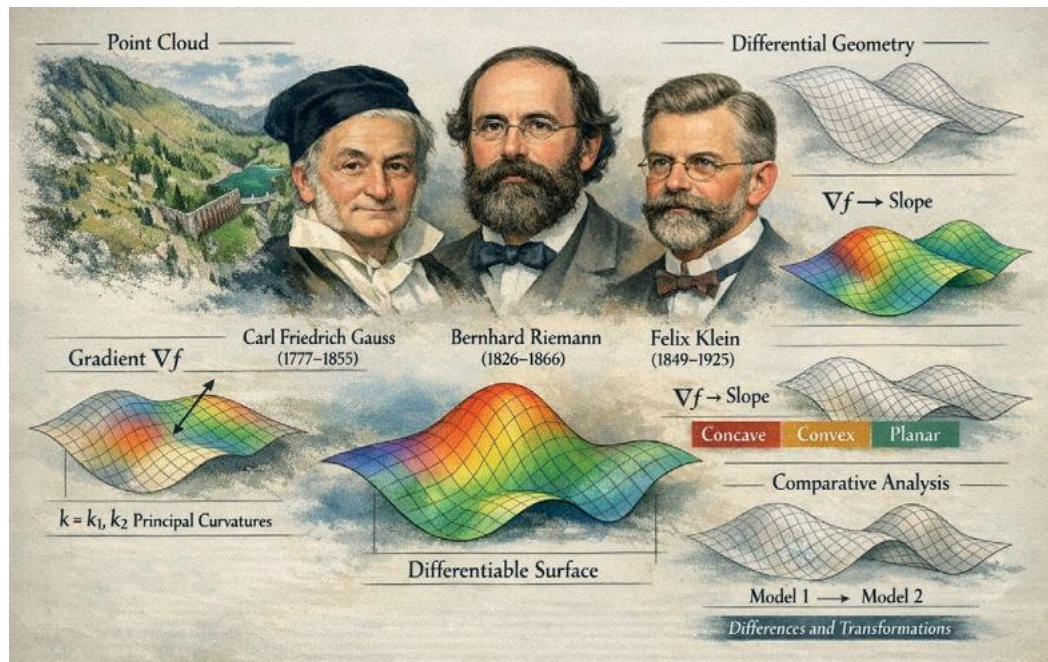


Fig. 1. Differential geometry and its main theoretical references: Gauss, Riemann and Klein.

depends on the local behaviour of the surface [Cazals & Pouget 2005]. Recent techniques for point-cloud segmentation and classification, together with their processing in mathematical computing environments, have shown the possibility of constructing a graphic-mathematical vocabulary capable of making explicit the transitions between stability and variation, continuity and discontinuity, uniformity and perturbation [Grilli et al. 2017].

The relationship between the visible and the invisible no longer coincides with the opposition between observable data and hidden meaning, but with the distance between what the surface immediately shows and what can be inferred from its variations. The point cloud is therefore not only an optical or metric trace of the object, but an archive of geometric behaviours and an analytical device capable of transforming surveyed data into morphological knowledge.

Methodology: from discrete sampling to derived fields

Differential analysis becomes fully operational when the surveyed surface is translated into an analytical expression. Differential quantities do not depend on an isolated point, but on the configuration of the surrounding points; they are influenced by local geometry and are affected both by the size of the neighbourhood considered and by the level of approximation adopted. Differential calculation applied to point clouds is therefore a controlled numerical transposition, influenced by the scale of analysis and by the extent of the region under investigation. It is also strongly conditioned by sampling density, noise, the presence of outliers and the criteria adopted for regularisation.

Geomorphometry, the discipline that quantitatively describes landforms through morphological indices, represents an important antecedent [Xiong et al. 2022]. Between the 1970s and 1980s, it developed operators for form analysis by applying numerical procedures to sampled data [Evans 1972; Zevenbergen & Thorne 1987; Pike 1988]. This tradition defined a methodological framework initially conceived for natural landscapes, but now extendable to the built heritage.

The earliest calculation models were based on regular grids derived from cartographic representations. In a subsequent phase, analytical procedures also began to consider the local neighbourhood of vertices, estimating from it the attitude of the tangent plane and the direction of the normal vector. Today, processing is based on approximating the surface

by means of a scalar function defined over a 2D or 2.5D domain; starting from this representation, spatial derivatives make it possible to derive morphometric descriptors capable of characterising form. These descriptors fall into two main categories: derived descriptors — slope, aspect and curvature — and morphometric indices, obtained through analytical combinations of other quantities. First derivatives return the descriptors of slope and aspect, both related to the local gradient. Slope measures the intensity of altimetric variation; in geometric terms, it corresponds to the modulus of the gradient and therefore expresses the magnitude of local change with respect to the tangent plane. Aspect, by contrast, describes the direction of the maximum gradient and identifies the prevailing orientation of variation. Their application to the built heritage has significant diagnostic value, since it makes it possible to determine discontinuities and changes in orientation. These conditions may be intentional, as in the case of edges, mouldings and joints, or accidental and related to ageing, such as deformations and irregularities resulting from settlement and/or decay phenomena. The choice of neighbourhood is decisive: if it is too small, the estimate becomes unstable and sensitive to noise; if it is too large, it tends instead to filter details and to produce an excessively mediated description of form. Second derivatives return curvature measures, a quantity which, like slope, varies according to the direction considered on the surface and makes it possible to highlight bending, transitions and changes in morphological regime, distinguishing concave, convex or nearly planar regions. Curvature is therefore not univocal and may be adopted as an operational descriptor of local behaviour according to specific directions of analysis; it must always be interpreted in relation to the size of the neighbourhood and to the degree of approximation adopted.

The robustness of the estimate also depends on data quality: noise and outliers can significantly compromise the stability of second derivatives, which are more sensitive than first derivatives. In applications to architecture and engineering, curvature descriptors allow minute variations in surface geometry to be identified and are fundamental for recognising roughness, material loss, localised deformation and discontinuities between portions with homogeneous behaviour (Fig. 2). Geomorphometry also considers morphometric indices, obtained from analytical relationships between basic quantities. They are particularly important because they facilitate comparison between surfaces and support segmentation into classes [Koenderink & van Doorn 1992].

The recent introduction of methods for estimating local normals directly on point clouds, based on the decomposition of the covariance matrix calculated within the neighbourhood,

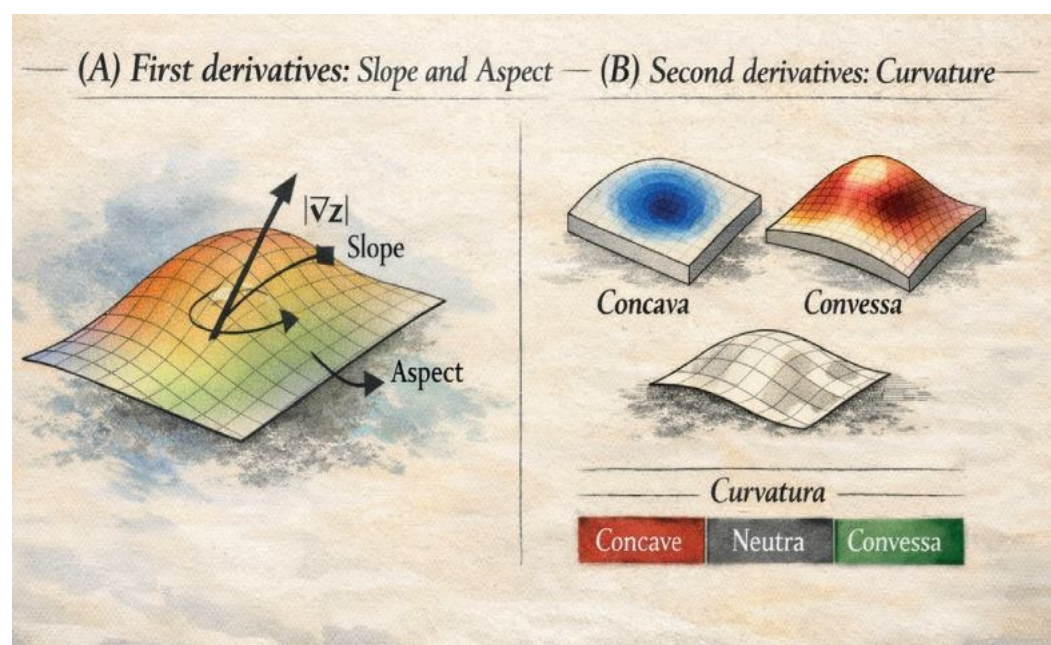


Fig. 2. Slope-aspect descriptors (first derivatives) and curvature descriptors (second derivatives) for interpreting gradients, concavity or convexity.

makes it possible to convert the orientation of the plane into two scalar quantities: Dip and Dip Direction. In geometric terms, Dip represents the angle of inclination formed by the tangent plane with respect to the horizontal, measured along the line of maximum slope; Dip Direction is instead the azimuth of the direction of dip, namely the direction in which the plane 'descends' most rapidly [Mitra et al. 2004].

In the specific case of the built heritage, the descriptors Dip and Dip Direction make it possible to measure and visualise deviations and deformations continuously with respect to a reference model: out-of-plumb and out-of-level conditions, local deflections, deformations and misalignments between nominally coplanar portions. They facilitate both the segmentation of surfaces with homogeneous behaviour and quantitative comparison with a design model. Comparison between data acquired at different times also adds a temporal dimension to morphological analysis, making it possible to identify progressive variations, prevailing directions of deformation and trajectories of decay over time.

A decisive issue concerns the extent of the local neighbourhood, which must be calibrated in relation to sampling density, the scale of the object and the type of phenomenon to be observed. The same geometry may appear linear, planar or volumetric as the extent of analysis varies; consequently, scale selection constitutes a properly interpretative choice [Demantké et al. 2011]. The robustness of the result therefore depends on the coherence between the research question, the quality of sampling and the adopted scale of observation. In differential analyses applied to point clouds, noise, density irregularities and the presence of sharp edges are not merely perturbing elements to be removed. Rather, they are conditions to be critically distinguished, since they may derive both from the limits of acquisition and from the properties of the object. Derivative estimation is particularly sensitive to this ambiguity: a sudden variation in slope or curvature may correspond to a real construction discontinuity, to localised decay, but also to heterogeneous sampling or to a poorly calibrated neighbourhood. Numerical value acquires meaning only within an explicit procedure of local approximation [Cazals & Pouget 2005]. Geometric descriptors, therefore, do not simply act as isolated measurements, but as devices of reduction and comparison; the parameters derived from the covariance matrix, the local attitude and the distribution of points are effective not only for the automatic classification of scenes, but also for understanding which variables are truly relevant to the interpretative task.

Applied to architectural survey, these considerations suggest that slope, orientation and curvature should not be assumed as universal and self-sufficient indicators, but should instead be selected according to the critical question: out-of-plumb and out-of-level conditions require different fields from those needed to identify roughness, inflections or thresholds of discontinuity. The effectiveness of the procedure therefore depends on the ability to construct a limited but relevant set of descriptors, avoiding both an excess of poorly legible parameters and the flattening of geometric complexity into a single synthetic index.

Differential analysis of point clouds: protocol and visualisation strategies

The definition of a specific and replicable protocol for the 'differential' treatment of point clouds, aimed at integrating data into numerical computing software, required the design of a structured, controlled and replicable workflow. The central methodological passage consists in the transformation from the geometric domain to the numerical domain. The point clouds were sampled and regularised in order to ensure homogeneous density, a more controlled distribution of distances between points and a reduction in noise [Pesci et al. 2022]. This objective was pursued through the optimisation of selection parameters, reprojection errors and reconstruction accuracy; the procedure also ensured coherence between data obtained from 3D laser scanning systems and from photogrammetric acquisitions.

The aim of the operational workflow is to measure and make comparable, according to criteria of standardisation, traceability and replicability, variations in attitude, irregularities and possible deformations [Yang et al. 2017]. In accordance with the theoretical framework outlined above, the protocol is organised into two complementary levels: 3D surface analysis and directional analysis by sections (fig. 3). Three-dimensional analysis provides a glo-

bal diagnosis of attitude and discontinuities, while section-based analysis enables targeted checks and detailed comparisons. The first level consists of a three-dimensional reading of the surface, aimed at obtaining a global diagnosis of orientation and local discontinuities. Conceptually, geometry is interrogated by estimating the local attitude of the surface from neighbourhoods of points; this makes it possible to produce synthetic orientation maps and to rapidly highlight rotations, changes in attitude and areas in which the surface displays anomalous or differentiated behaviours. At this stage, tools for processing and visualising point clouds, such as CloudCompare, are used for inspection, control and pre-processing, as well as for calculating normals and producing orientation maps to support diagnosis and segmentation [Antova & Peev 2024].

The second level consists of analysis based on sections extracted along the principal axes or along particularly representative directions. This choice is motivated by an operational need: in many technical contexts, the planar section is an effective tool both for dimensional checks and for communicating results. The section enables a more controlled and legible 'profile-based' reading, reducing some of the interpretative ambiguities typical of three-dimensional maps alone. Furthermore, by constraining the analysis to a defined trace, it limits the influence of adjacent portions of the cloud that could introduce irrelevant disturbances, such as lateral elements, noise or out-of-plane components. In this sense, section-based reading does not replace three-dimensional reading, but integrates it: the former makes comparison along a selected direction more rigorous, while the latter maintains a global view of the surface.

Operationally, section-based analysis is carried out using a MATLAB script that selects points belonging to a narrow band, orders them along the profile direction and reconstructs a continuous trend through a smoothed curve. A fundamental issue concerns smoothing, introduced to ensure greater robustness: when indicators of local variation are derived, noise can be amplified and translated into interpretative instability; smoothing is therefore adopted as a coherent and controlled regularisation procedure.

The method nevertheless has intrinsic limitations: section-based indicators depend on the quality of the reconstructed profile and on the smoothing choices; moreover, curvature should be understood as an operational indicator of profile variation, useful for highlighting critical areas, but to be interpreted with caution when drawing more general conclusions about the surface as a whole. The declaration of these constraints, together with the stan-

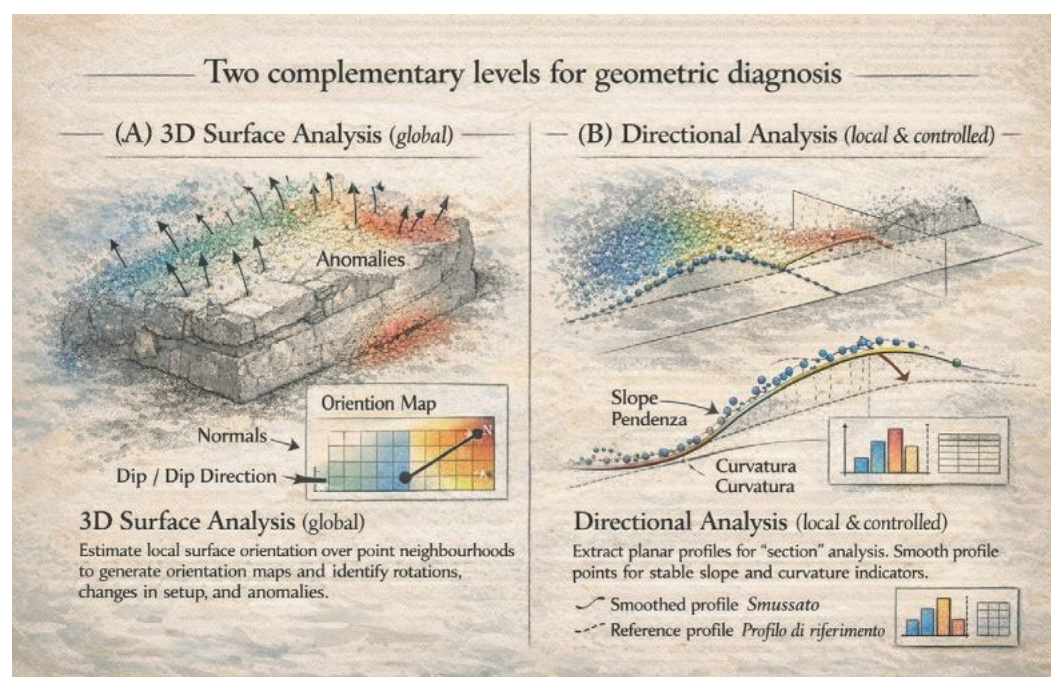


Fig. 3. Global surface analysis through orientation maps and local checks using controlled planar sections.

standardisation of operational choices and the possibility of repeating the workflow under controlled conditions, constitutes an essential part of the methodological value of the proposed framework.

In order to verify the transferability and interpretative capacity of the procedure, the protocol was applied to three contexts differing in scale and in the nature of the data: a historical artefact, the Gleno Dam; an infrastructure, the bridge over the Carso stream in Nembro; and a model of a sandy slope prepared for a geotechnical centrifuge test.

In the first case, slope and aspect make changes in attitude and local thresholds legible, distinguishing regions with homogeneous behaviour from areas of discontinuity; curvature also makes it possible to discriminate continuous transitions from abrupt variations, rendering visible inflections and changes in regime that inspection of the point cloud alone may mask because of uneven density or noise (figs. 4–6).

In the second case, comparison between a theoretical profile and the as-built profile shows that an expected curve may be realised as a sequence of almost rectilinear segments: curvature inversion highlights points of inflection that can be interpreted as autonomous representative elements, more informative than metric difference alone (figs. 7–9).

In the third case, concerning pre/post-test comparison, variations in the derived fields describe prevailing directions of deformation and localisations of change: what is observed is not only 'how much' the surface has changed, but 'how' it has changed, where the change is concentrated and which direction is dominant (figs. 10–12).

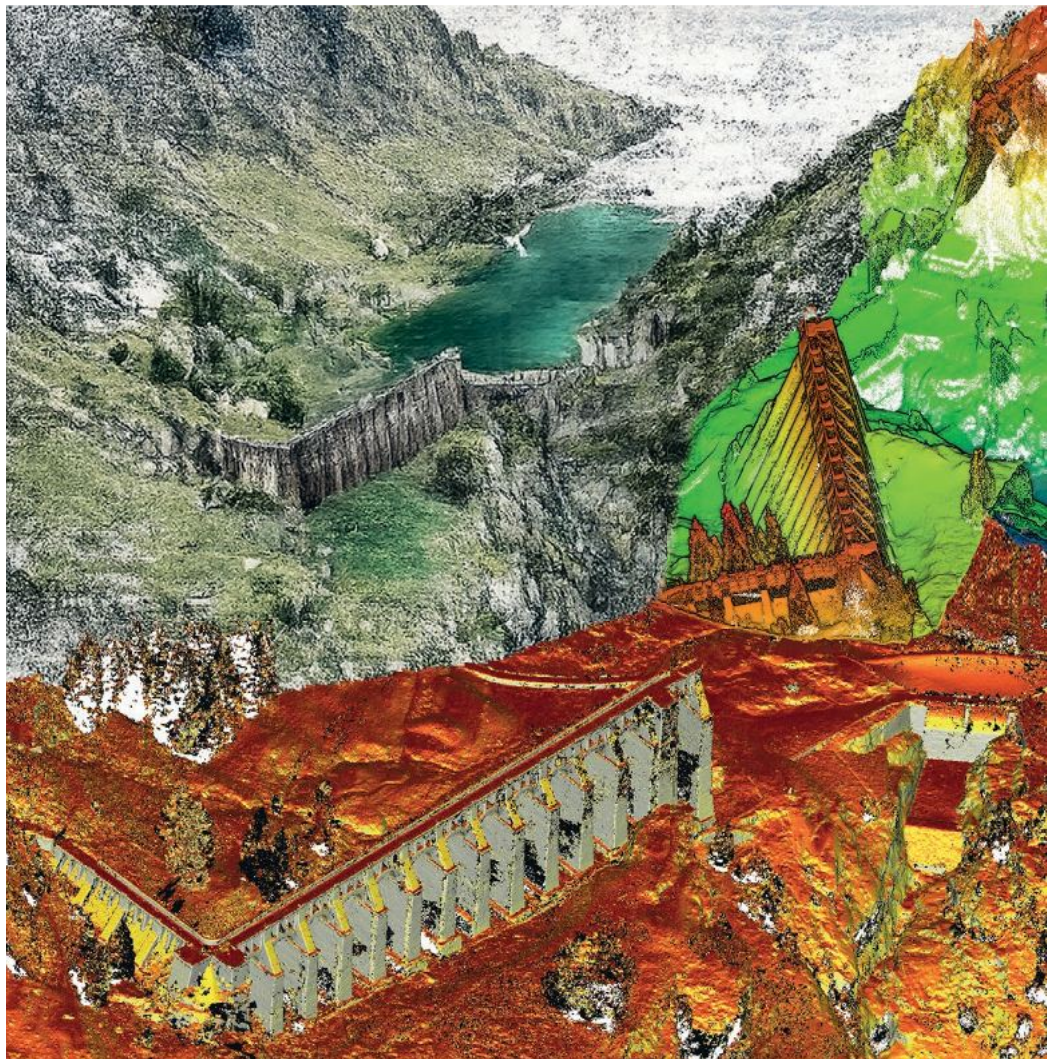


Fig. 4. Gleno Dam: geometric model and morphometric values, expressed in terms of Dip and Dip Direction, for analysing surface orientation and variations.

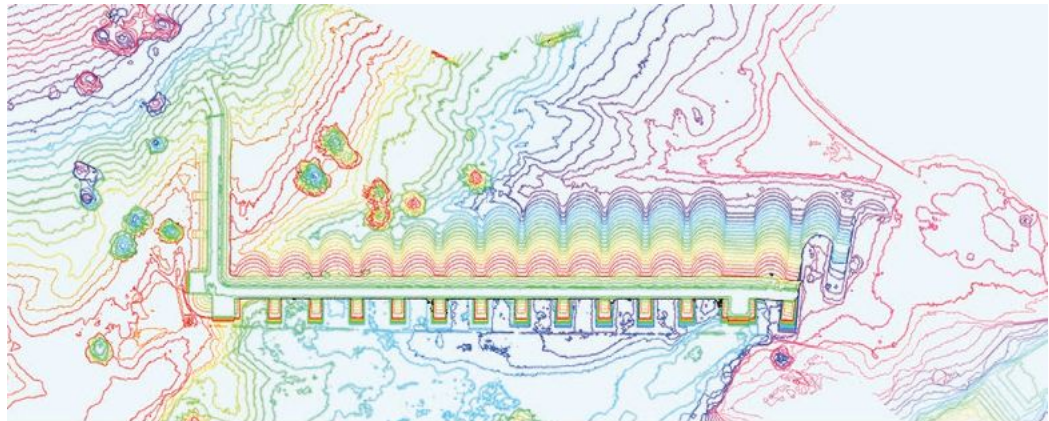


Fig. 5. Gleno Dam: elevation map with contour lines and chromatic representation of derived fields, aimed at identifying thresholds, transitions and geometrically homogeneous regions.

Zona	Pendenza (classe)	Curvatura (classe)	Indice pendenza (media)	Indice pendenza (max)	Curvatura/complessità (media)	Linearità (R mediana)	Posizione	Relazioni proporzionali e geometriche
Z1 Inset Nord-Ovest (alto sinistra)	Media	Media	0.0279	0.0665	0.9776	0.0214	Riquadro/inset con curve "disognate"	Drenaggi: pattern a V/U → assi di deflusso. Geometria: drenaggio segue massima pendenza, ortogonale alle curve.
Z2 Testata-Plateau Nord (alto centro)	Media	Media	0.0262	0.0642	0.9770	0.0194	Parte alta con superfici articolate	Pendenza media: curve discretamente fitte. Geometria: alternanza concavità/convessità (terrazzi e raccordi).
Z3 Settore Est-Nord (alto destra)	Bassa	Alta	0.0078	0.0115	0.9817	0.0164	Area più "quieta" e meno innoia	Bassa pendenza: curve rare. Curvatura relativa alta → ondulations locali con basso dislivello.
Z4 Fascia centrale lungo la diga (archi)	Bassa	Alta	0.0137	0.0658	0.9861	0.0117	Intorno al manufatto: cambi direzione, rotture di terrazzo	Curvatura alta: molte direzioni nello stesso intorno → breaklines/interferenza costruito-naturale. Asse diga direttrice dominante.
Z5 Versante valle Sud-Centro	Alta	Bassa	0.0455	0.1506	0.9472	0.0327	Settore più ripido (curve molto fitte)	Massima pendenza: densità massima. Curvatura bassa → linearità alta → superfici inclinate continue.
Z6 Conoidi / versante Sud-Est	Alta	Bassa	0.0476	0.1500	0.9754	0.0101	Ventaglio a valle con molte curve ravvicinate	Pendenza alta: spaziatura minima tra curve → slope 1/5s. Geometria: curve quasi parallele → versante regolare, gradiente uniforme.

The derived representation does not replace the point cloud: it re-establishes it on an interpretative level, because it makes comparable behaviours — that is, regimes of variation — which the physical 'skin' alone leaves implicit. If the aim is to represent concepts, the design of visualisation becomes an integral part of the method: a derived field can be made visible through different graphic variables, such as colour; 2.5D height/extrusion, density, or combinations that separate geometric information from conceptual information. Maintaining the original coordinates and colouring the cloud according to curvature preserves the referen-

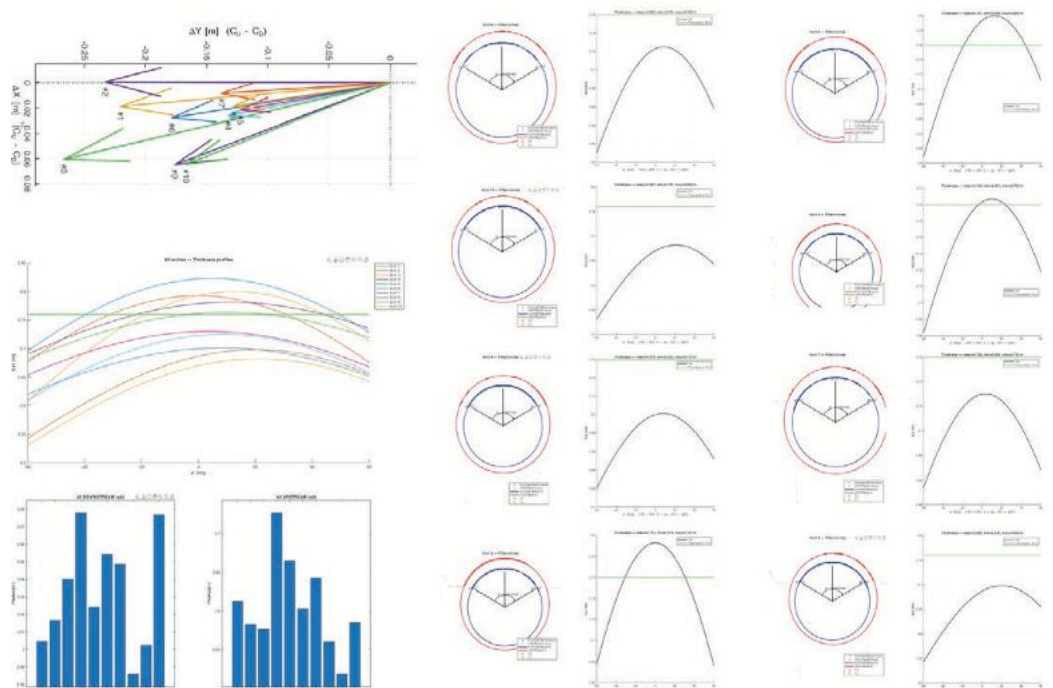


Fig. 6. Gleno Dam: charts and histograms for analysing local variations through derivative calculation and for identifying anomalies not detectable in the geometric model.

ce to the object and makes zones of bending and transition recognisable; replacing elevation with the value of the field instead produces a derived cloud that partially 'abandons' the physicality of the object and turns the function itself into a spatial object.

These choices produce different cognitive effects: a 2D map privileges global comparison, a section emphasises the direction of reading, and a derived 3D cloud accentuates the conceptual nature of the data. Representation is not neutral, and each coding constructs a different regime of visibility and, therefore, a different access to the mathematical invisible.

In the field of representation, this implies that visualisation is not a final and illustrative moment, but a fully analytical operation. The same quantity can generate cognitively different outcomes according to the adopted coding: a continuous chromatic map favours the recognition of gradients and thresholds; the use of isolines makes the articulation into bands of behaviour more evident; a 2.5D extrusion instead emphasises the behaviour of the function, moving the reading away from mere mimetic adherence to the object. In order for such images to be comparable, however, stable rules of normalisation, class intervals, thresholds and chromatic conventions must be established. Without this control, the derived cloud risks producing persuasive but non-comparable images. Drawing assumes here a precise methodological responsibility: not to decorate the data, but to discipline their legibility, constructing visual equivalences between different cases and making the relationship between numerical variation and figure verifiable.

A further aspect concerns the interoperability of the workflow. The comparability of TLS and photogrammetric data, already discussed in the literature on integrated heritage survey [Fassi et al. 2013], cannot be limited to comparing metric accuracy or point density, but must also extend to derived descriptors. In order for a slope or curvature field to be reusable in different campaigns, the reference system, cleaning and downsampling procedures, normal-estimation parameters, smoothing functions and visualisation thresholds must be systematically recorded. Only this kind of traceability makes it possible to attribute diagnostic meaning to any observed differences, distinguishing transformations of the object from variations introduced by the treatment process. The standardisation of the protocol therefore becomes an integral part of the knowledge value of the images produced.

From this perspective, the temporal dimension deserves further emphasis. In current monitoring practices, comparison between successive campaigns is often entrusted to distance



Fig. 7. Nembro Bridge: study sketches and AI-assisted reconstructions based on three-dimensional survey data.

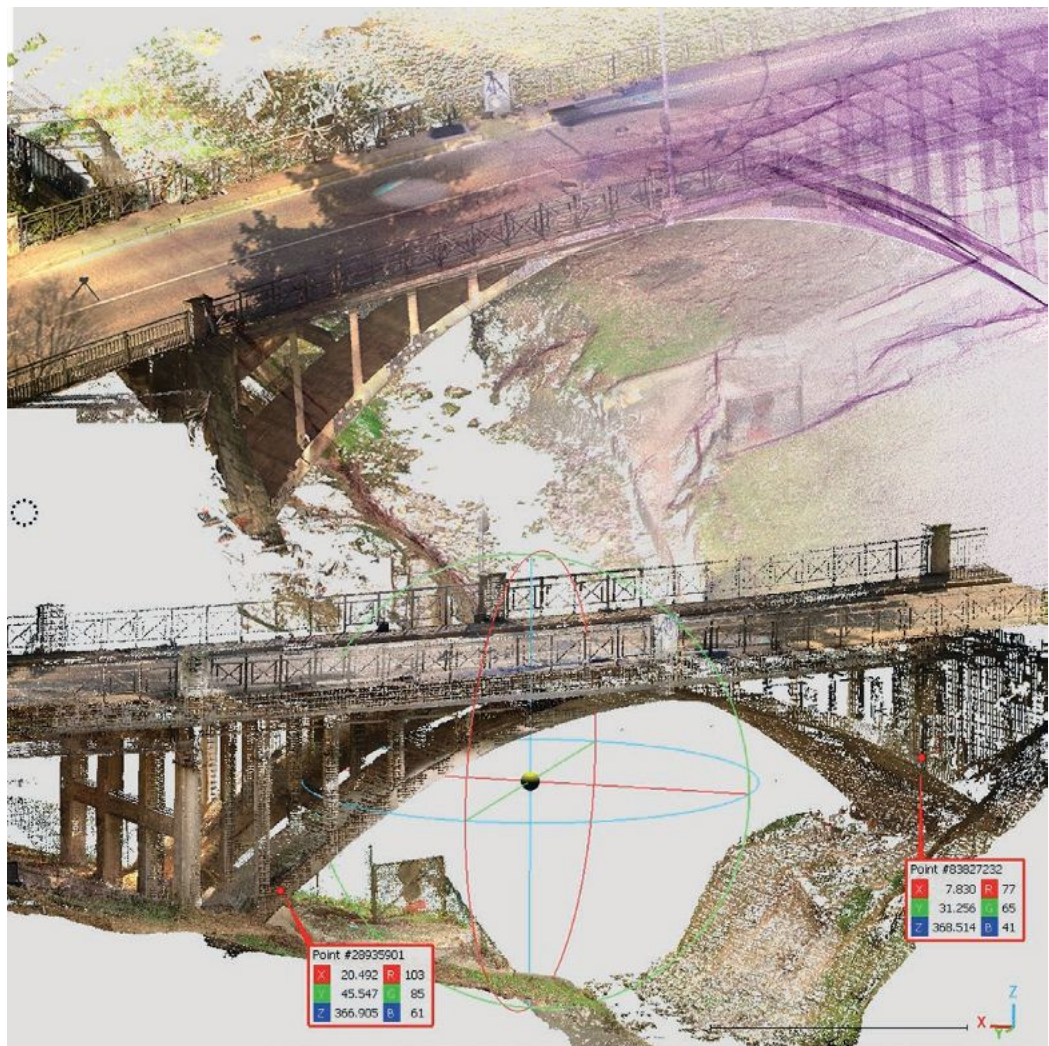


Fig. 8. Nembro Bridge: adaptation of the local reference system for calculating orientation vectors and surface normals.

measurements between surfaces or to deviation maps with respect to a reference model. These tools remain fundamental, but they mainly describe the magnitude of displacement. Derived fields, by contrast, make it possible to qualify change: they indicate whether a surface is rotating, stiffening, deflecting or fragmenting; whether variation is diffuse or concentrated; whether it is distributed along coherent trajectories or according to irregular patterns. Multi-scale and classification studies also demonstrate that the local behaviour of geometry changes as scale varies, and that observing such changes is itself significant information. For heritage and infrastructure, this opens the way to a representation of decay that is not limited to the loss of metric-formal correspondence, but oriented towards understanding regimes of transformation.

Finally, section-based analysis may be reread not as a simple reduction of three-dimensional complexity, but as a hermeneutic device that selects a privileged axis of observation. If surface reading returns the spatial distribution of behaviours, the section constructs a directional reading of variation: it orders the points, makes the direction of traversal explicit and sequences thresholds, inversions and inflections. This dual nature, synoptic in the 3D view and linear in the section, is particularly useful when the objective is not only to identify an anomaly, but to understand its structure. In graphic terms, the smoothed profile functions as a form of controlled abstraction: it removes redundancy, preserves the significant trend and allows local variations to be associated with a vocabulary that remains legible even outside the specialist environment of point-cloud processing. The section thus becomes

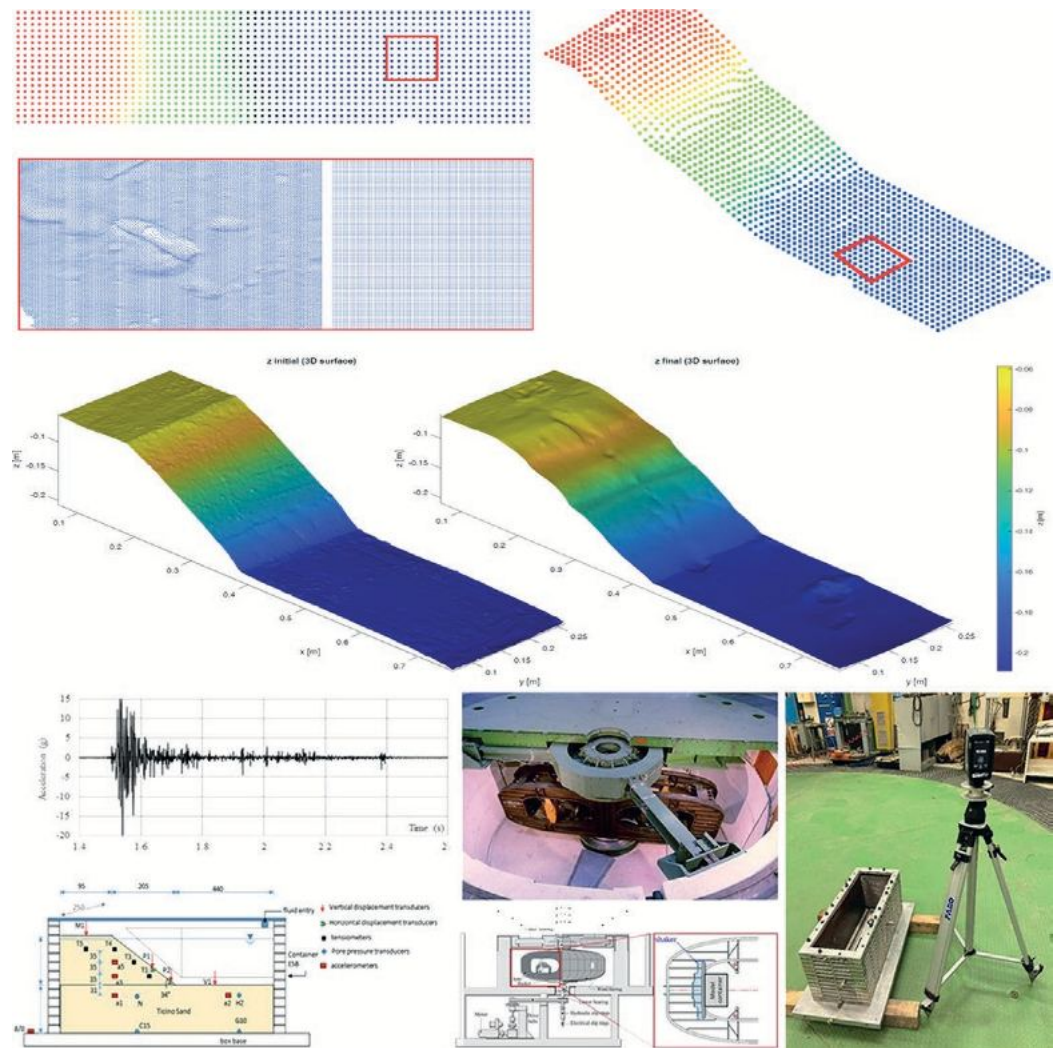


Fig. 10. Slope Testing: experimental apparatus, data acquisition, sampling and 3D modelling of the surface before and after the geotechnical centrifuge test.

visualisation conventions to be made explicit. It is within this gap that the invisible becomes representable. This is not because a hidden reality is revealed in an absolute sense, but because operational conditions are constructed to make legible relations that, without appropriate treatment, would remain indistinct.

The passage from the visible to the invisible is therefore less a revelation than a formalisation: a process in which Drawing, supported by calculation, transforms the surface from figurative data into a field of knowledge. In this perspective, the final image does not conclude the survey, but makes its interpretative hypotheses discussable, verifiable and shareable. Future developments of the research and the further refinement of the method may be directed towards open, transparent and fully reproducible procedures, capable of integrating assisted interpretation tools without replacing critical reading. In this framework, the value of the pipeline lies not only in the identification of patterns, but in the possibility of making explicit and controllable the entire chain of transformations that leads from surveyed data to the interpretative figure. Such a direction would also make it possible to compare different datasets, acquisition campaigns and case studies according to shared parameters, reducing the risk that the derived images remain isolated or merely illustrative outputs.

The derived image should therefore be understood not as an automatic calculation, but as a controlled mediation between data, model and visual form. This approach frames survey, geometry and Drawing as converging towards an explicit, measurable and communicable representation of surface behaviour.

Slope Testing: Charts Numerical Analysis

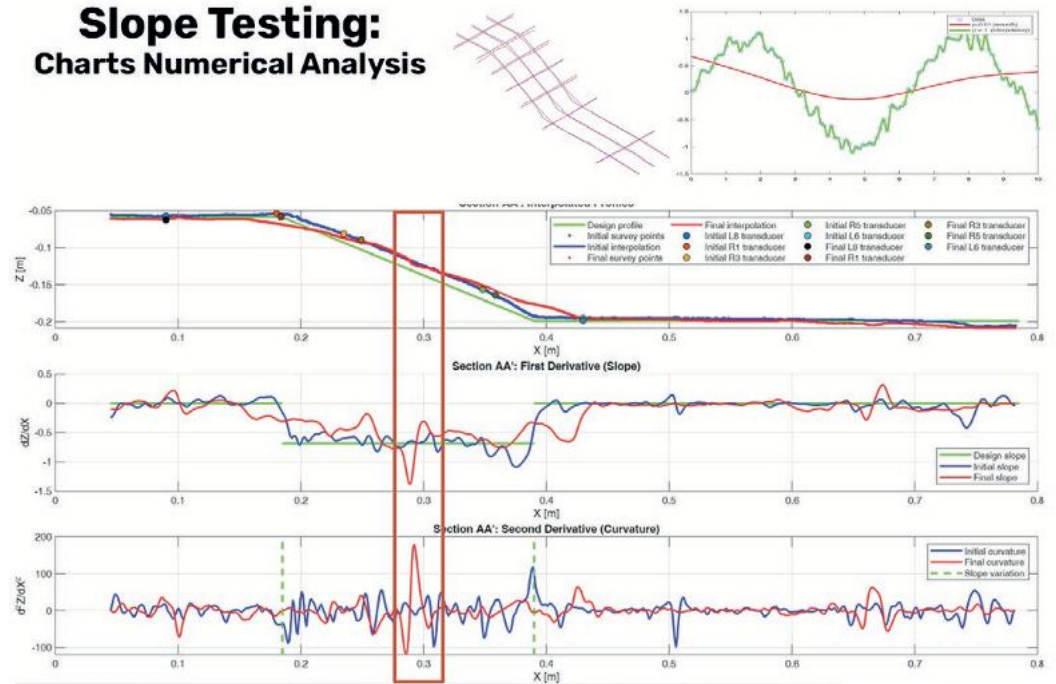


Fig. 11. Slope Testing: pre-/post-test comparison along controlled sections. The first and second derivatives, relating to slope and curvature, highlight the deviation of the profile from the ideal configuration.

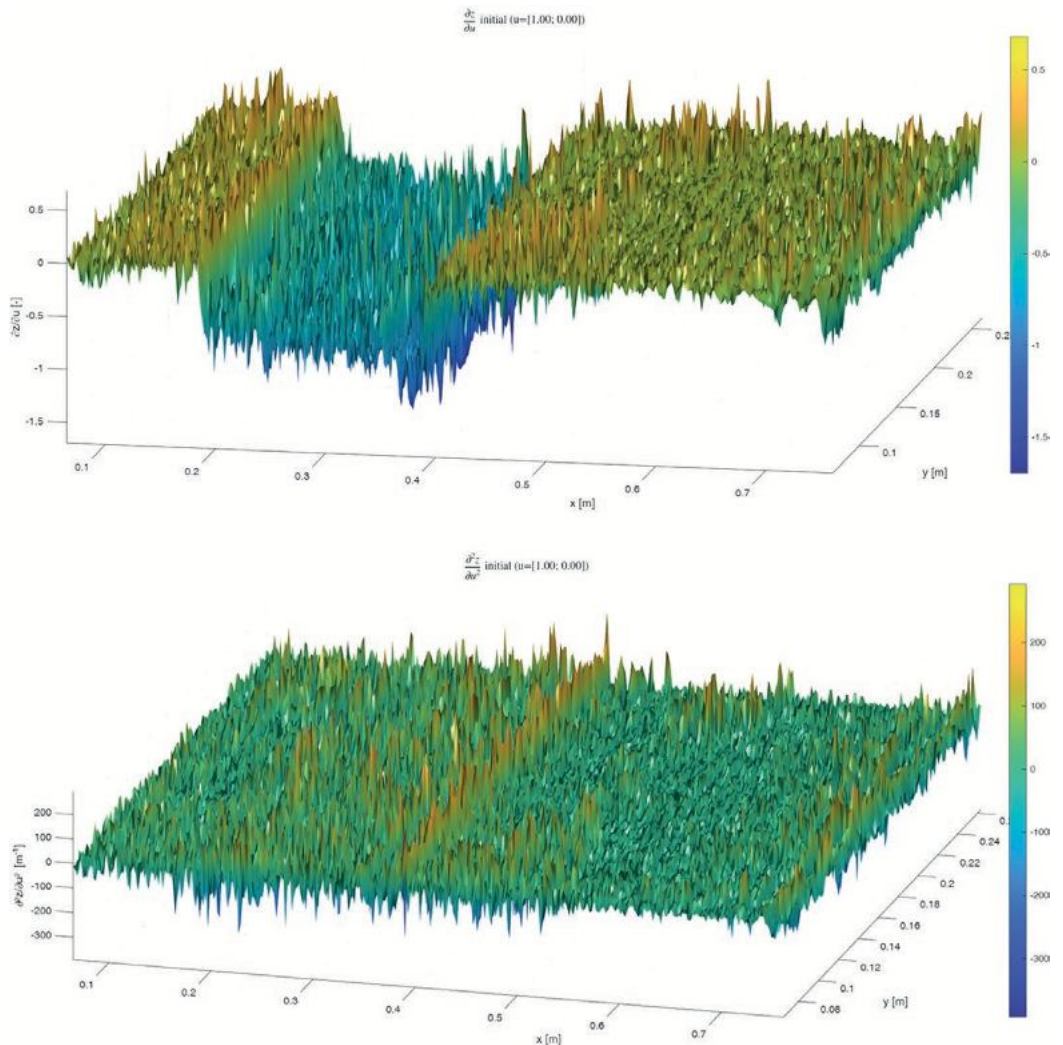


Fig. 12. Slope Testing: clouds of derived values, understood as three-dimensional representations not of material geometry, but of the analytical values of slope and curvature.

Transparency Statement

The authors declare that the artificial intelligence tools ChatGPT (OpenAI) and DeepL Write (DeepL) were used exclusively for minor language-editing purposes, including grammar, spelling and readability, and that all changes were reviewed and approved by the authors. No scientific content, analysis, results or interpretations were generated by AI. The authors assume full responsibility for the integrity and accuracy of the manuscript. Some figures and images were generated using DALL-E (OpenAI) and Nano Banana Pro (Google Gemini); the authors curated the prompts, selected the outputs and ensured that the generated images do not introduce scientific claims or alter the interpretation of the results.

Reference List

- Antova, G., Peev, I. (2024). Comparison on commercial and free software for point cloud processing. In *Inżynieria Mineralna*, 1(1), pp. 511–519. <https://doi.org/10.29227/IIM-2024-01-57>
- Cazals, F., Pouget, M. (2005). Estimating differential quantities using polynomial fitting of osculating jets. In *Computer Aided Geometric Design*, 22(2), pp. 121–146. <https://doi.org/10.1016/j.cagd.2004.09.004>
- Demantké, J., Mallet, C., David, N., Vallet, B. (2011). Dimensionality based scale selection in 3D LiDAR point clouds. In *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XXXVIII-5/W12, pp. 97–102. <https://doi.org/10.5194/isprsarchives-XXXVIII-5-W12-97-2011>
- Evans, I. S. (1972). General geomorphometry, derivatives of altitude, and descriptive statistics. In R. J. Chorley (Ed.). *Spatial analysis in geomorphology*, pp. 17–90. Methuen.
- Fassi, F., Fregonese, L., Ackermann, S., De Troia, V. (2013). Comparison between laser scanning and automated 3D modelling techniques to reconstruct complex and extensive cultural heritage areas. In *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XL-5/W1, pp. 73–80. <https://doi.org/10.5194/isprsarchives-XL-5-W1-73-2013>
- Gauss, C. F. (1827). *Disquisitiones generales circa superficies curvas*. Commentationes Societatis Regiae Scientiarum Gottingensis Recentiores, 6. Retrieved December 17, 2025, from <https://archive.org/details/gaussdisquisitio1828>
- Grilli, E., Menna, F., Remondino, F. (2017). A review of point clouds segmentation and classification algorithms. In *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XLII-2/W3, pp. 339–344. <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLII-2-W3-339-2017>
- Klein, F. (1872). *Vergleichende Betrachtungen über neuere geometrische Forschungen*. Universität Erlangen. Retrieved December 17 2025 from <https://www.gutenberg.org/ebooks/38033>.
- Koenderink, J. J., van Doorn, A. J. (1992). Surface shape and curvature scales. In *Image and Vision Computing*, 10(8), pp. 557–564. [https://doi.org/10.1016/0262-8856\(92\)90076-F](https://doi.org/10.1016/0262-8856(92)90076-F)
- Mitra, N. J., Nguyen, A., Guibas, L. J. (2004). Estimating surface normals in noisy point cloud data. In *International Journal of Computational Geometry & Applications*, 14(4–5), pp. 261–276. <https://doi.org/10.1142/S0218195904001470>
- Pesci, A., Teza, G., Loddo, F., Fabris, M., Monego, M., Amoroso, S. (2022). Studio di possibili effetti sistematici nelle nuvole di punti SfM da APR: Confronti con TLS, distorsioni e metodi di mitigazione. In *Quaderni di Geofisica*, 177, pp. 1–26.
- Pike, R. J. (1988). The geometric signature: Quantifying landslide-terrain types from digital elevation models. In *Mathematical Geology*, 20(5), pp. 491–511. <https://doi.org/10.1007/BF00890333>
- Riemann, B. (1867). Über die Hypothesen, welche der Geometrie zu Grunde liegen. In *Abhandlungen der Königlichen Gesellschaft der Wissenschaften zu Göttingen*, 13, pp. 133–152. Retrieved December 17 2025 from <https://emis.de/classics/Riemann/Hypothesen.pdf>
- Xiong, L., Li, S., Tang, G., Strobl, J. (2022). Geomorphometry and terrain analysis: Data, methods, platforms and applications. In *Earth-Science Reviews*, 233, Article 104191. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2022.104191>
- Yang, H., Omidiazarandi, M., Xu, X., Neumann, I. (2017). Terrestrial laser scanning technology for deformation monitoring and surface modeling of arch structures. In *Composite Structures*, 169, pp. 173–179. <https://doi.org/10.1016/j.compstruct.2016.10.095>
- Zevenbergen, L. W., Thorne, C. R. (1987). Quantitative analysis of land surface topography. In *Earth Surface Processes and Landforms*, 12(1), pp. 47–56. <https://doi.org/10.1002/esp.3290120107>

Authors

Alessio Cardaci, Università degli studi di Bergamo, alessio.cardaci@unibg.it
Pietro Azzola, Università degli studi di Bergamo, pietro.azzola@unibg.it

To cite this chapter: Alessio Cardaci, Pietro Azzola (2026). Le nuvole di punti come disegno concettuale: analisi differenziale e campi derivativi tra visibile e invisibile/ Point clouds as conceptual drawing: differential analysis and derived fields between the visible and the invisible. In M. Balzani, M. Incerti, F. Maietti, L. Rossato, F. Raco (Eds.) *Disegno furioso. Atti del 47° Convegno Internazionale dei Docenti delle Discipline della Rappresentazione/ Furious Drawing. Proceedings of the 47th International Conference of Representation Disciplines Teachers*. Roma: UID Press, pp. 529-556.