

Artículo

Desarrollo del flujo de trabajo Mesh-to-BIM a través de VPL para apoyar el proceso de documentación del patrimonio histórico

Enhancing Mesh-to-BIM workflow via VPL for the heritage documentation process

Antonella Musicco¹, Michele Buldo², Nicola Rossi³, Riccardo Tavolare⁴, Cesare Verdoscia⁵

¹Phd

Politecnico di Bari

antonella.musicco@poliba.it

<https://orcid.org/0000-0001-9130-8753>



²Phd Student

Politecnico di Bari

<https://orcid.org/0000-0003-0775-975X>



³Phd Student

Politecnico di Bari

<https://orcid.org/0009-0002-2942-1776>



⁴Engineer

Politecnico di Bari

<https://orcid.org/0000-0003-1698-9952>



⁵Associate Professor

Politecnico di Bari

<https://orcid.org/0000-0003-1698-9952>



<https://doi.org/10.56205/mim.4-1.13>

Recibido

31/07/23

Aprobado

23/10/23

Publicado

15/07/24

Mimesis.jsad

ISSN 2805-6337



EDITORIAL

Environment & Technology
Foundation

Resumen/Abstract

En los últimos años, el enfoque HBIM (Heritage Building Information Modelling) se utiliza ampliamente en la documentación de activos y se basa principalmente en el proceso de modelado de Scan-to-BIM para crear manualmente el modelo geométrico a partir de la nube de puntos. Este artículo muestra un flujo de trabajo que introduce operaciones semiautomáticas para la detección semántica de elementos arquitectónicos a través del algoritmo basado en modelos RANSAC (RANDOM SAmple Consensus) en nubes de puntos y el Visual Programming Language (VPL) para reducir el proceso manual de construcción de un modelo BIM de los aparatos decorativos, manteniendo las ventajas del modelado paramétrico e informativo. El workflow ha sido probado en la Iglesia románica de Todos los Santos de Trani (siglo XII), en Italia.

In recent years, the HBIM (Heritage Building Information Modelling) approach is widely used in heritage documentation and is mainly based on the Scan-to-BIM modeling process to manually create the geometric model from the point cloud. This article illustrates a pipeline that introduces semi-automatic operations for semantic identification of architectural elements through the model-based RANSAC (RANDOM SAmple Consensus) algorithm on point clouds and the Visual Programming Language (VPL) to reduce the manual process the construction of a BIM model of the decorative apparatus, while maintaining the advantages of parametric and informative modeling. The workflow has been tested on the Romanesque Church of All Saints of Trani (12th century) in Italy.

Palabras clave: levantamiento digital, HBIM, segmentación basada en modelos, modelo 3D, patrimonio cultural arquitectónico.

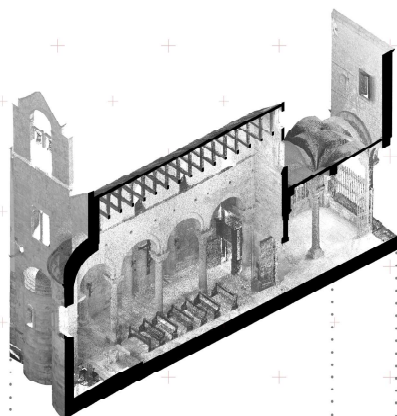
Key words: digital survey, HBIM, model-based segmentation, 3D model, standard deviation analysis, Cultural Heritage.



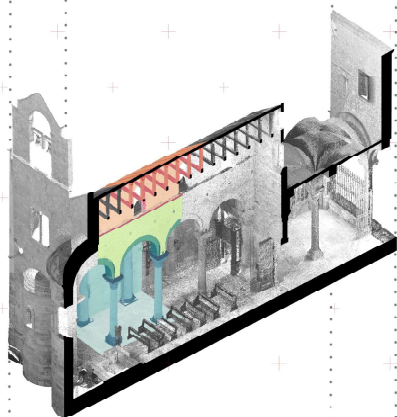
Chiesa di Ognissanti (XII sec) - Trani, Italia

41.27950569022315
16.41867976271643

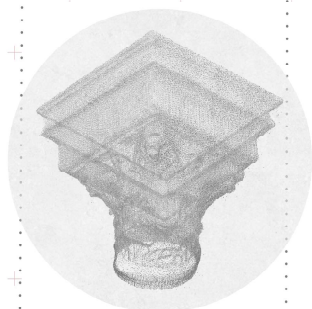
A) RILEVO DIGITALE: NUVOLO DI PUNTI DA LASER-SCANNER



B) SEGMENTAZIONE NUVOLO DI PUNTI: RIPULIZIONE TRAMITE RANSAC



C) GESTIONE MESH: ELABORAZIONE SCRIPT TRAMITE VPL



D) MODELLOZIONE I-BIM: INTEGRAZIONE MESH

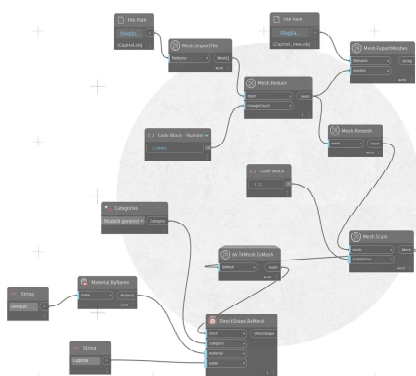
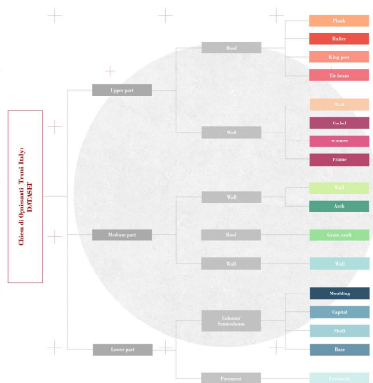
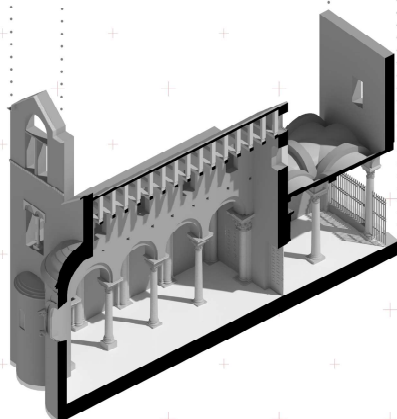


Figura 1. Contenuto grafico del panel espositivo del evento 3EXP.it. Autore: A. Musicco, M. Buldo, N. Rossi, R. Tavolare, C. Verdoscia, 2023. Politecnico di Bari.

Introducción

La difusión del HBIM ha introducido un nuevo paradigma operativo para la representación de modelos as-built, facilitando su informatización y fomentando la interoperabilidad en los procesos documentales (Niccolucci et al., 2022). El proceso Scan-to-BIM guía la conversión de nubes de puntos obtenidas mediante técnicas de levantamiento digital (escáner láser y fotogrametría) en objetos 3D. Las actividades de modelado son manuales y la estandarización tipológica relacionada con el uso de parámetros no se adapta bien a la heterogeneidad, complejidad e irregularidad de los componentes del patrimonio histórico (Bastem y Cekmis, 2022). El procesamiento de la nube de puntos se vería facilitado por el proceso de segmentación automática o semiautomática, que implica la agrupación de puntos con características similares (color, geometría, etc.) en regiones homogéneas (Buldo et al., 2023) (Musicco et al., 2021). Los métodos de segmentación varían según los algoritmos basados en principios de discontinuidad, similitud, modelos matemáticos y aprendizaje automático (Machine Learning) (Yang et al., 2023). La automatización de la extracción de formas geométricas se encuentra con restricciones debido a las actividades de modelado, ya que la mayoría de las plataformas BIM no son efectivas para la reproducción de formas complejas como decoraciones florales u orgánicas de bajorrelieves y esculturas. Diferentes estudios proponen la integración en entornos BIM de técnicas de modelado tradicionales, asociando al modelo mesh obtenido a partir de las nubes de puntos que, a pesar de ofrecer una mayor precisión geométrica, limitan los beneficios de la parametrización en términos de repetibilidad y capacidad de informatización, ya que no constituyen un objeto clasificado semánticamente. Es necesario integrar el nivel semántico del BIM ampliando el dominio de representación al patrimonio cultural, implementando métodos para acelerar y automatizar el modelado, respetando las heterogeneidades y las irregularidades de la estructura construida.

Este trabajo propone integrar el actual proceso Mesh-to-BIM mediante el uso del algoritmo RANSAC (Schnabel et al., 2007) para la identificación de componentes arquitectónicas en las nubes de puntos, y elaborar un script a través del VPL dentro de Dynamo®, para la creación de familias personalizadas de elementos arquitectónicos a partir de las mesh.

Figura 2. Iglesia de Ognissanti de Trani, Italia (siglo XII).



El flujo de trabajo se aplicó a la Iglesia Románica de Ognissanti en Trani (Italia), construida en el siglo XII (Figura 2). El edificio, de dimensiones reducidas, se caracteriza por una entrada porticada y una nave de planta rectangular dividida en tres pasillos que terminan en tres ábsides semicirculares. Los pasillos están separados por doce columnas compuestas de granito sobre las cuales se apoyan los arcos laterales de doble arquivolta de las bóvedas ojivales de los pasillos laterales. La nave central está cubierta por un sistema de armaduras de madera.

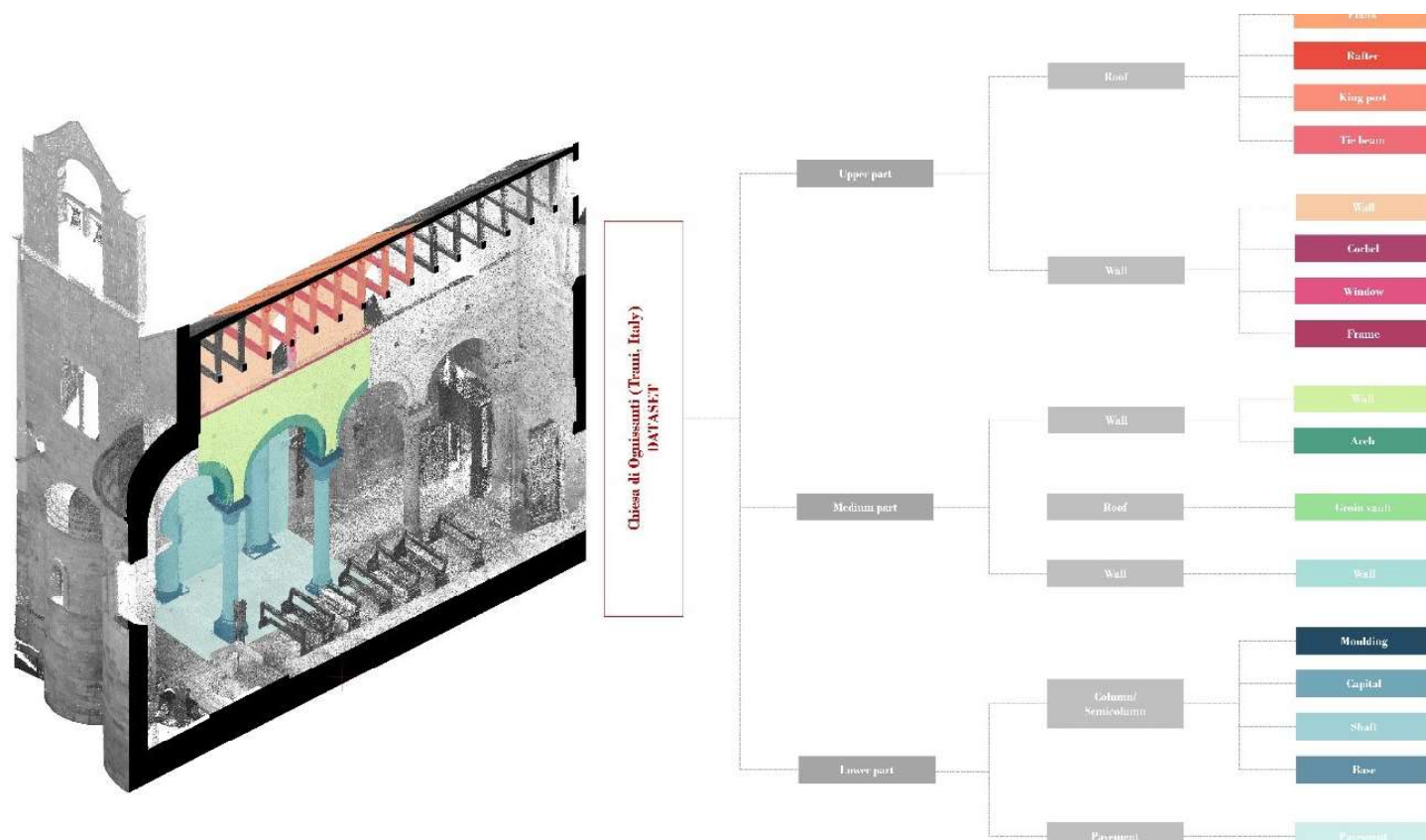
Metodología

El flujo de trabajo consta de tres fases principales:

A. Levantamiento digital: Se realizó con el escáner láser Faro Focus 3D 120 CAM2, considerando una superposición del 50-65% entre las escaneos y una distancia de aproximadamente 3 m. en un total de 55 escaneos (19 externos y 36 internos), alineados y postprocesados en Recap Pro® para formar una nube de puntos global de 307,148,542 puntos. Esta nube de puntos se utilizó en tres etapas distintas del proceso: a) modelado basado en la realidad en BIM; b) segmentación de los componentes arquitectónicos (arcos, columnas, etc.); c) generación de mallas poligonales.

B. Segmentación: La nube de puntos se clasificó, aislando las unidades morfológicas para facilitar la actividad de modelado 3D. Esto se logró mediante la descripción semántica de sus diversas partes, utilizando la clasificación por tipos de elementos constructivos de la taxonomía ontológica del Art & Architecture Thesaurus del Getty Research Institute, ya que es coherente con las reglas de la arquitectura clásica y con la descripción de un amplio rango temporal. Se distinguieron: el suelo, la base de las columnas, el fuste, los capiteles, los pilastras, los arcos, las bóvedas, las armaduras de madera y los revestimientos murales (Figura 3).

Figura 3. Segmentación de la nubes de puntos a través de RANSAC



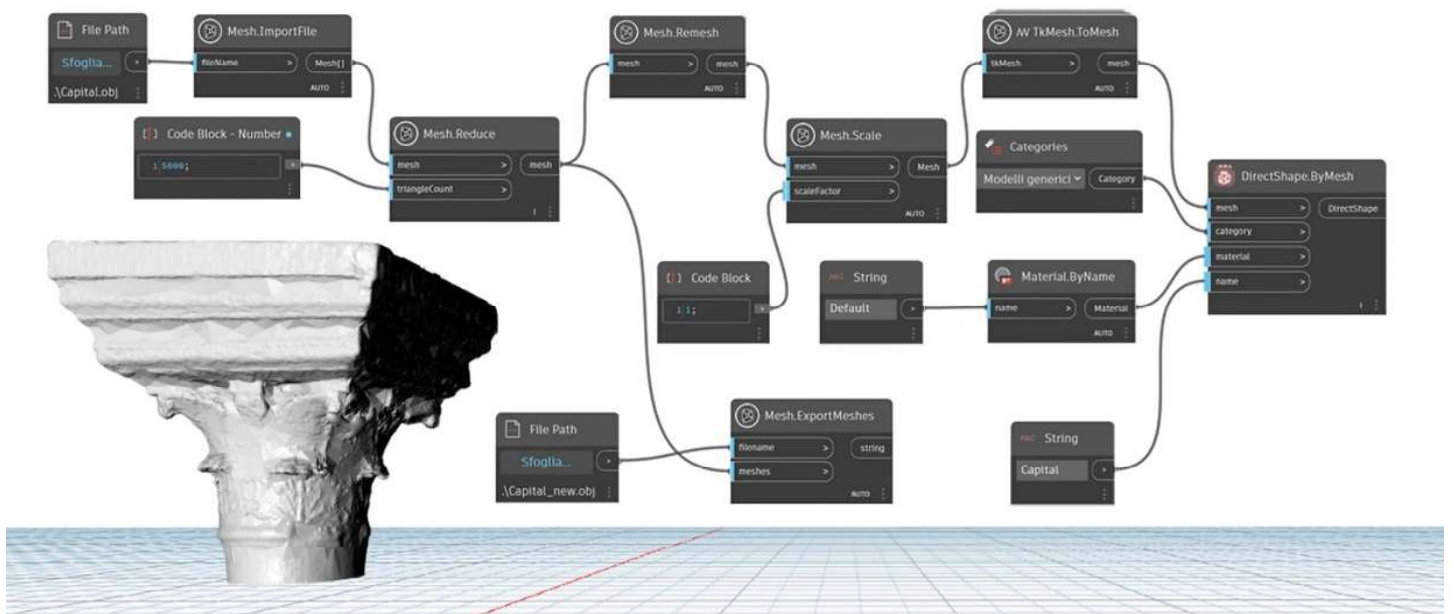
C. Modelado HBIM: Se realizó mediante modelos adaptativos para las bóvedas y familias de sistemas para paredes, arcos, armaduras de madera, etc., en Autodesk Revit®. Para los elementos decorativos presentes en columnas y marcos de ventanas y puertas, se generaron mallas con el algoritmo de Poisson Surface Reconstruction. Estas mallas se importaron en formato .obj al modelo BIM utilizando el paquete de códigos meshtoRevitElement en Dynamo®, una aplicación de programación visual integrada en Autodesk Revit®. La precisión del modelo se cuantificó utilizando el análisis de Standard Deviation Analysis (SDA) entre la nube de puntos y el modelo BIM, con referencia a los Level of accuracy de USIBD, 2016, y utilizando FARO® As-Built™ para Autodesk Revit®.

Discusión y Resultados

El flujo de trabajo incluyó la extracción semántica de los puntos que definían las superficies de los componentes arquitectónicos a través de RANSAC. Una evaluación preliminar del radio mínimo de muestreo evitó una segmentación excesiva. Los elementos decorativos aislados se convirtieron en mallas poligonales utilizando CloudCompare (Figura 4). A través de un script en VPL en Dynamo®, se definió un proceso semi-automatizado para gestionar las mallas, comenzando desde la importación (Mesh.ImportFile) y permitiendo decidir el nivel de detalle, gestionar el número (Mesh.Reduce) y la distribución de los polígonos (Mesh.Remesh), en referencia a la escala de representación (Mesh.Scale). Luego, las mallas se convirtieron en objetos BIM para asignar los parámetros disponibles relacionados con la familia asignada (DirectShape.by Mesh), incluyendo aspectos informativos y técnicos, que se pueden implementar según las necesidades (parámetros estructurales, de rendimiento, información histórica, etc.).

La precisión del modelo se evaluó mediante el análisis de Standard Deviation Analysis (SDA) (Figura 5), estableciendo una distancia máxima entre la nube de puntos y el modelo de +/- 0,02 m., considerada suficiente para la mayoría de las superficies seleccionadas. Se obtuvieron resultados menos precisos en áreas donde la nube de puntos tenía una menor densidad, como cerca del campanario o en partes sobresalientes de los ábsides o en superficies no homogéneas, debido al deterioro causado por la erosión o lagunas de material.

Figura 4. Script in Dynamo Architecture



Conclusiones

La metodología presentada ofrece ventajas significativas, incluyendo un mayor control sobre la precisión geométrica y la reducción de las tareas manuales de modelado.

La capacidad de convertir mallas poligonales en objetos BIM, que pueden enriquecerse con parámetros informativos, facilita los procesos de conservación del patrimonio histórico. El uso de RANSAC es de gran ayuda para las actividades de análisis morfológico de las nubes de puntos, aunque presenta desafíos relacionados con la necesidad de recalibrar el algoritmo en función del tipo y complejidad de los elementos arquitectónicos.

A pesar de estas dificultades, la automatización y la integración de tecnologías como RANSAC, junto con herramientas como Dynamo®, han demostrado ser pasos significativos hacia la representación precisa y detallada del patrimonio arquitectónico. La capacidad de transformar datos complejos en modelos BIM enriquecidos proporciona una plataforma valiosa para la conservación, documentación y estudio de estructuras históricas.

Además, esta metodología no solo reduce la dependencia de las actividades manuales, sino que también permite una documentación más rica y detallada, lo que resulta fundamental para la preservación y el análisis de estructuras históricas. Sin embargo, se destaca la necesidad continua de investigación y desarrollo para abordar los desafíos específicos asociados con la variabilidad y la complejidad arquitectónica, así como para mejorar la precisión y la eficiencia del proceso de conversión de datos en modelos BIM.

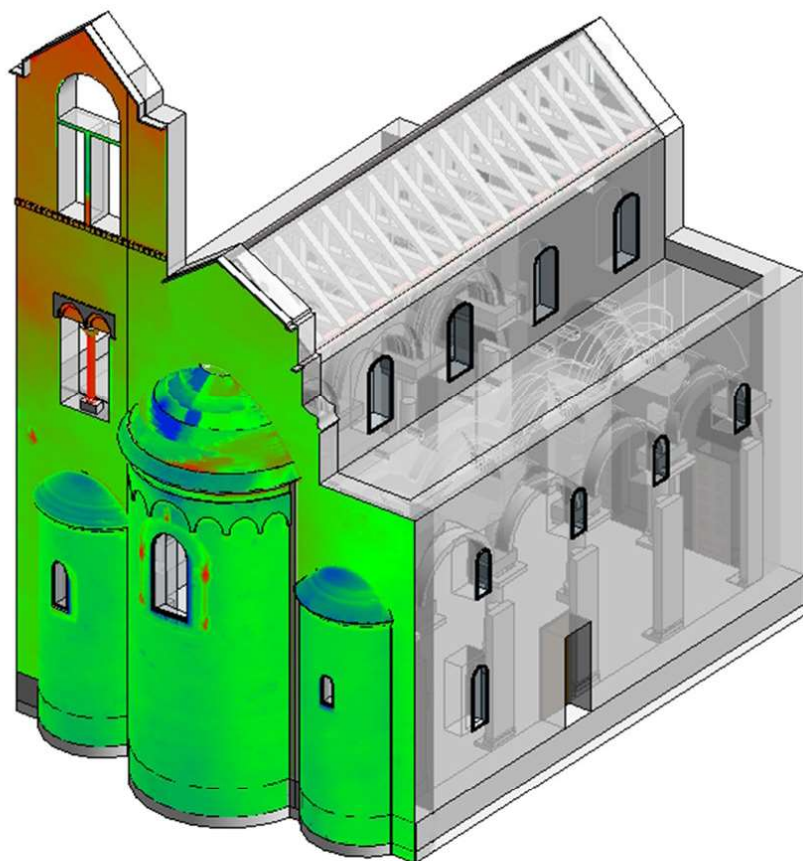


Figura 5. Evaluación de la precisión geométrica con SDA

Referencias

- Bastem, S. S., & Cekmis, A. (2022). Development of historic building information modelling: a systematic literature review. *Building Research & Information*, 50(5), 527–558. <https://doi.org/10.1080/09613218.2021.1983754>
- Buldo, M., Agustín-Hernández, L., Verdoscia, C., & Tavolare, R. (2023). A Scan-to-BIM workflow proposal for Cultural Heritage. Automatic point cloud segmentation and parametric-adaptive modelling of vaulted systems. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences - ISPRS Archives*, 48(M-2), 333–340. <https://doi.org/https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLVIII-M-2-2023-333-2023>
- Ente Italiano di Normazione. (2017). *UNI 11337-4. Edilizia e opere di ingegneria civile - Gestione digitale dei processi informativi delle costruzioni - Parte 4: Evoluzione e sviluppo informativo di modelli, elaborati e oggetti* (pp. 1–24). <https://store.uni.com/uni-11337-4-2017>
- Musicco, A., Galantucci, R. A., Bruno, S., Verdoscia, C., & Fatiguso, F. (2021). Automatic point cloud segmentation for the detection of alterations on historical buildings through an unsupervised and clustering-based Machine Learning approach. *ISPRS Annals Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci.*, 5(2), 129–136. <https://doi.org/10.5194/isprs-annals-V-2-2021-129-2021>
- Niccolucci, F., Felicetti, A., & Hermon, S. (2022). Populating the Data Space for Cultural Heritage with Heritage Digital Twins. *Data*, 7(8), 1–28. <https://doi.org/10.3390/data7080105>
- Schnabel, R., Wahl, R., & Klein, R. (2007). *Efficient RANSAC for point-cloud shape detection*. *Computer Graphics Forum*, 26(2), 214–226. <https://doi.org/10.1111/j.1467-8659.2007.01016.x>
- Yang, S., Hou, M., & Li, S. (2023). Three-Dimensional Point Cloud Semantic Segmentation for Cultural Heritage: A Comprehensive Review. *Remote Sensing*, 15(3), 1–25. <https://doi.org/10.3390/rs15030548>