

Artículo

## Fiabilidad y validación geométrica de modelos HBIM


*Reliability and geometric validation of HBIM models*

Adriana Marra<sup>1</sup>, Stefano Brusaporci<sup>2</sup>, Pamela Maiezza<sup>3</sup>, Alessandra Tata<sup>4</sup>, Luca Vespasiano<sup>4</sup>

<sup>1</sup> ITC-CNR, Institute for Construction Technologies, Italian National Research Council, L'Aquila  
marra@itc.cnr.it

<https://orcid.org/0000-0002-7531-9214> 

<sup>2</sup> Full professor, University of L'Aquila  
stefano.brusaporci@univaq.it

<https://orcid.org/0000-0002-8505-7895> 

<sup>3</sup> Associate professor, University of L'Aquila  
pamela.maiezza@univaq.it


<https://orcid.org/0000-0002-4167-631X> 

<sup>4</sup> Adjunct professor, University of L'Aquila  
alessandra.tata@univaq.it

<https://orcid.org/0000-0001-9165-2861>

<sup>5</sup> Research Fellow, University of L'Aquila

luca.vespasiano@univaq.it

<https://orcid.org/0000-0003-1332-6475> 

<https://doi.org/10.56205/mim.4-2.8>

Recibido  
15/10 /23

Aprobado  
04/12/23

Publicado  
15/07/24

Mimesis.jsad  
ISSN 2805-6337



EDITORIAL  
Environment & Technology  
Foundation

### Resumen/Abstract

*El artículo examina los niveles de desarrollo y la fiabilidad geométrica de los modelos HBIM. La modelización HBIM de la arquitectura histórica plantea problemas sobre cómo representar las formas complejas de los elementos arquitectónicos en un contexto paramétrico, en el que es necesario elegir entre modelizar los elementos utilizando objetos paramétricos reutilizables o modelos que guarden una relación más estrecha con los datos de levantamiento. Esta elección influye en la precisión del modelo y en el mayor esfuerzo, en términos de tiempo y coste, utilizado por el modelador. Es importante, entonces, evaluar la fiabilidad del modelo, que será analizada en relación con las características del objeto de estudio y los fines de la representación.*

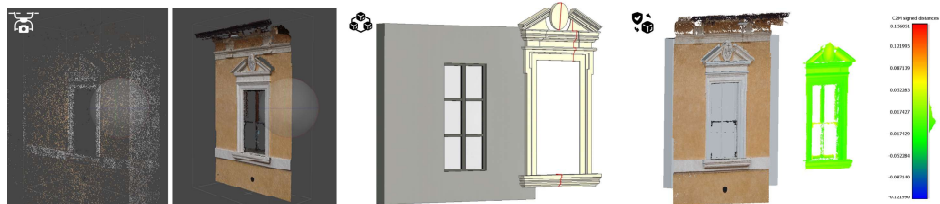
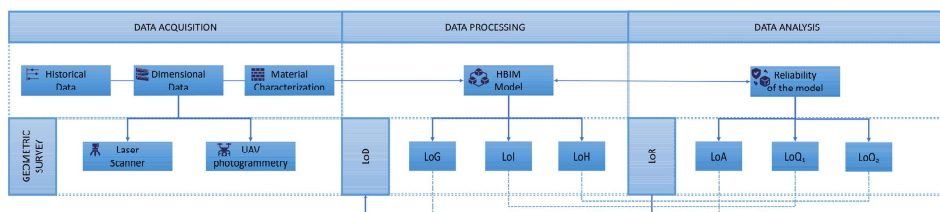
*The paper addresses the issue of development and geometric reliability levels of HBIM models. HBIM modelling of historical architecture addresses issues on the representation of the complex architectural element shapes in a parametric environment, where it becomes necessary to choose between modelling the elements using parametric and reusable objects or models that are more closely related to the survey data. This choice affects the accuracy of the model and the effort of the modeller in terms of time and cost. Therefore, it becomes relevant to assess the model's reliability, which must be evaluated in relation to the characteristics of the object of study and the purposes of the representation.*

**Palabras clave:** Patrimonio arquitectónico, Modelización HBIM, Niveles de desarrollo, Fiabilidad geométrica.

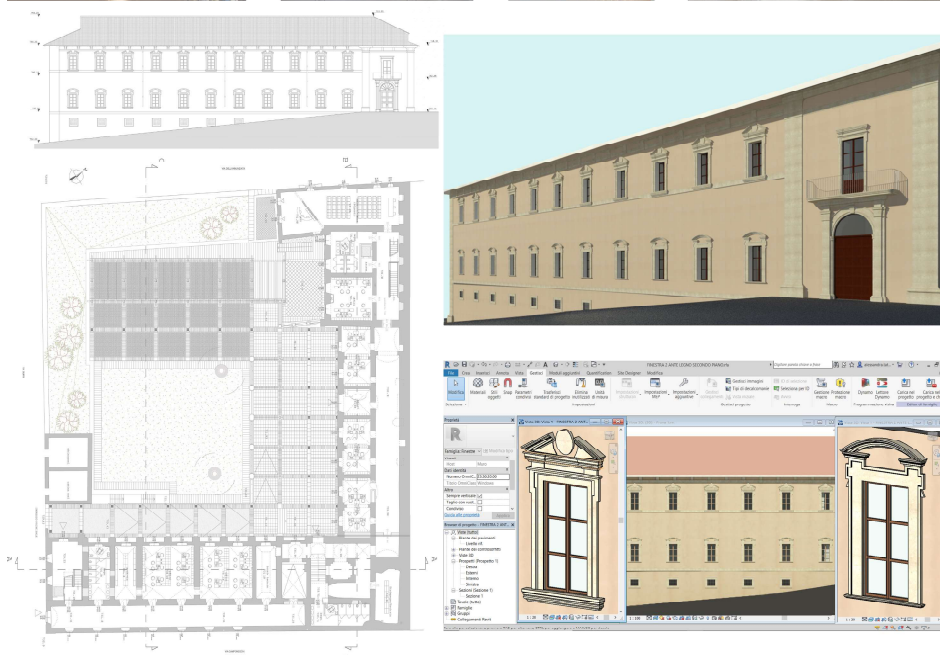
**Key works:** Architectural Heritage, HBIM modelling, Levels of Development, Geometric reliability.



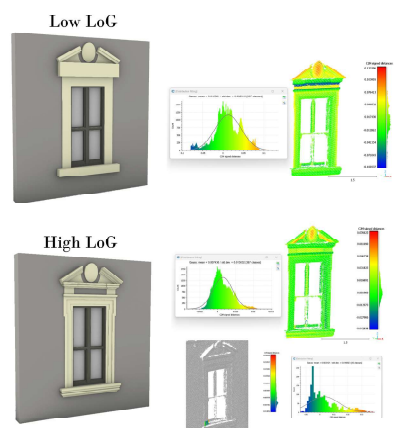
Methods and procedure



Palazzo Camponeschi, L'Aquila (AQ)



HBIM model and reliability



Geometric reliability (LoA) of level of development (LoC) - measure of the deviation

LEVEL OF GEOMETRIC DEVELOPMENT	DEVIATION EVALUATED WITH RESPECT TO	RANGE OF DEVIATION VALUES (D)	LEVEL OF ACCURACY (LoA)
LoG A } LoG B } <b>Low LoG</b>	whole element (wall, roof, vault, window,...)	$D > 70 \text{ mm}$	<b>Low LoA</b>
	point cloud	$50 < D < 70 \text{ mm}$	<b>Medium LoA</b>
	BIM element surface	$D < 50 \text{ mm}$	<b>High LoA</b>
LoG C } LoG D } <b>Medium LoG</b>	generatrix and directrix of BIM object	$D > 50 \text{ mm}$	<b>Low LoA</b>
	point cloud alias	$20 < D < 50 \text{ mm}$	<b>Medium LoA</b>
	generatrix and directrix	$D < 20 \text{ mm}$	<b>High LoA</b>
LoG E } LoG F } LoG G } <b>High LoG</b>	generatrix and directrix of sim object	Generatrix and directrix	Surface
	point cloud alias	$D > 20 \text{ mm}$	<b>Low LoA</b>
	generatrix and directrix	$D > 20 \text{ mm}$	<b>Low LoA</b>
	surface of element	$D > 20 \text{ mm}$	<b>Low LoA</b>
	point cloud	$D < 20 \text{ mm}$	<b>High LoA</b>
	generatrix and directrix	$20 < D < 50 \text{ mm}$	<b>Medium LoA</b>
	BIM element surface	$D < 20 \text{ mm}$	<b>High LoA</b>

Figura 1. Contenuto grafico del panel espositivo del evento 3EXP.it. Autores: Brusaporci S., Maiezza P., Marra A., Tata A., Vespasiano L. 2023. Università degli Studi dell'Aquila.

### *Introducción*

El Building Information Modeling (BIM) ha supuesto un cambio significativo en el sector AEC (Architecture Engineering Construction), convirtiéndose en un proceso de referencia tanto para las nuevas construcciones como para el patrimonio arquitectónico. Sin embargo, la adopción de esta metodología para el construido (HBIM - Historic Building Information Modeling) todavía presenta algunos temas pendientes, derivados de la dificultad de representar las peculiaridades e irregularidades del patrimonio construido en un escenario paramétrico estandarizado (Brusaporci et al., 2018).

En este contexto, es importante identificar una metodología de modelado a utilizar para la representación de edificios históricos, que se puede lograr utilizando objetos paramétricos y reutilizables, o modelos no estandarizados, pero más cercanos a los datos del levantamiento. El modelo resultante puede tener diferentes niveles de desarrollo geométrico y puede ser más o menos fiable respecto a la realidad. La confiabilidad del modelo, es decir, la aceptabilidad de la desviación medida entre el objeto real y su representación, debe evaluarse de acuerdo con las características del artefacto y los propósitos para los cuales se creó el modelo (Bonduel et al., 2017; Brusaporci et al., 2023). La investigación aborda el tema de confiabilidad y validación geométrica de los modelos HBIM, con diferentes niveles de desarrollo geométrico (LoG), en relación con el propósito del modelado y los esfuerzos necesarios para su realización.

### *Estado del arte*

La aplicación de los procesos BIM al patrimonio construido y las dificultades relacionadas a la modelización HBIM han impulsado la investigación para definir procedimientos operativos para la implementación de los modelos de información digital, abriendo el camino a nuevas líneas de investigación.

En los últimos años, varios estudios han intentado optimizar los procedimientos Scan-to-BIM y suplir los límites del BIM en el modelado de formas irregulares proponiendo la integración de modelos paramétricos con diferentes superficies y objetos (Banfi 2017; Brumana et al., 2018). Otras investigaciones se han centrado en la posibilidad de facilitar el proceso de modelado paramétrico de elementos arquitectónicos a través de la programación visual (VPL) (Capone & Lanzara, 2022; Lo Turco et al., 2023).

En este contexto, también se hace importante evaluar la confiabilidad de la representación 3D con respecto a la realidad (Bianchini & Nicastro, 2018).

La precisión geométrica se mide en términos de desviación, es decir, de distancia, entre el modelo y la nube de puntos obtenida desde el levantamiento, molde tridimensional del objeto real. En este sentido, la literatura científica ha propuesto métodos estandarizados y diferentes niveles de confiabilidad geométrica (bajo, medio, alto) relacionados con los niveles de desarrollo de los objetos digitales (Bonduel et al., 2017; Maiezza & Tata, 2021).

### *Metodología*

Con el fin de evaluar y validar la confiabilidad geométrica de los modelos HBIM de acuerdo con los objetivos del proyecto para los cuales fueron creados, se ha definido un flujo de trabajo que pueda favorecer la identificación de los procedimientos de modelado más adecuados para los propósitos del proyecto.

La primera fase del flujo de trabajo está representada por el proceso de levantamiento de los artefactos que, mediante la integración de diferentes técnicas



(escáner láser, fotogrametría digital, ...), permite la adquisición de la información necesaria para las fases siguientes.

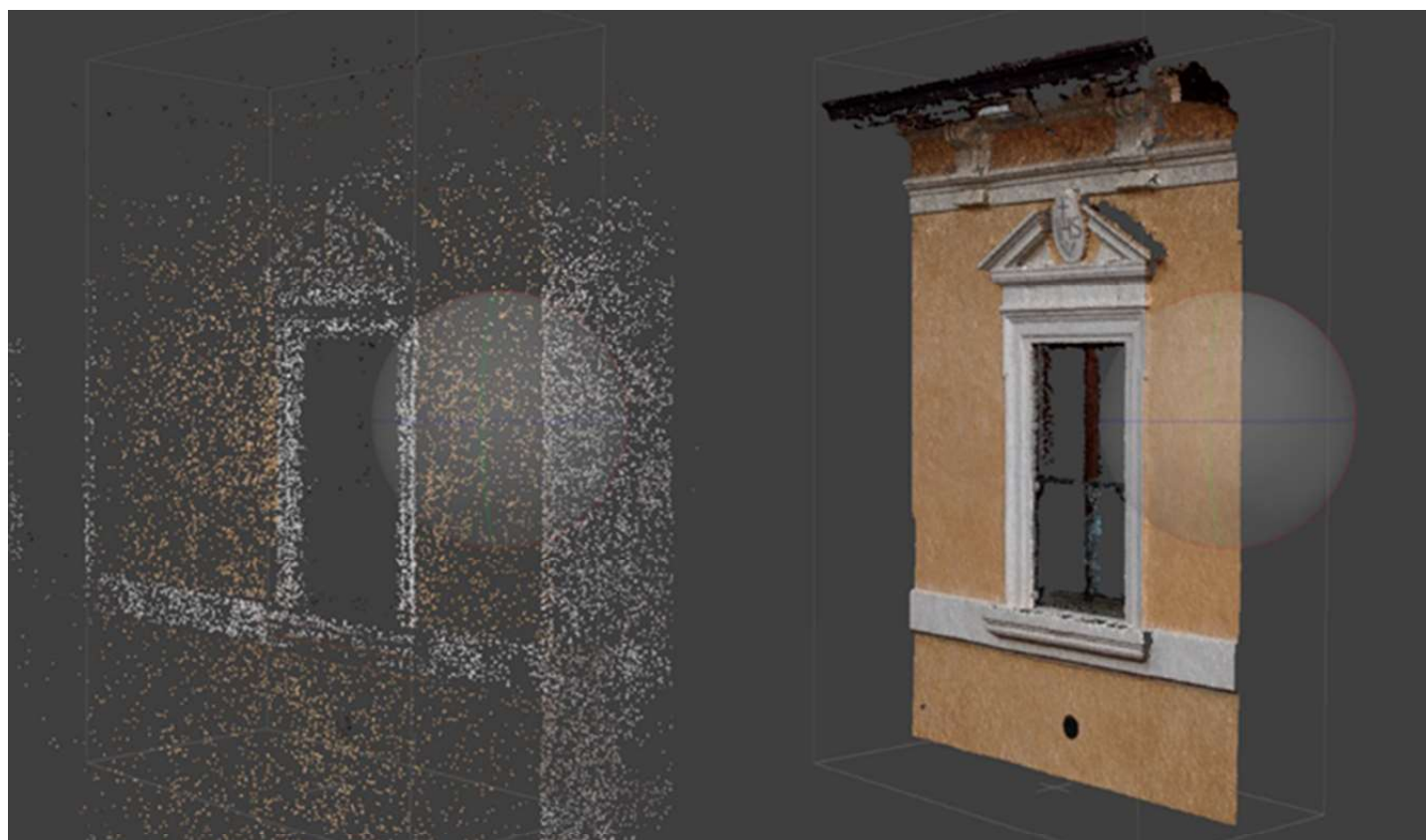
El modelado paramétrico HBIM representa el momento fundamental de todo el flujo de trabajo en cuanto devuelve el modelo 3D del objeto de interés. Esta fase es el resultado de un análisis crítico de todos los datos previamente adquiridos y está condicionada por diversos factores, como los conocimientos del modelador o los fines para los que se crea el modelo. Por lo tanto, el modelo puede presentar un nivel de desarrollo geométrico (LoG) más o menos alto (UNI 11337-4, 2017) que puede corresponder a un nivel diferente de confiabilidad.

Un modelo con un LoG bajo (LoG A o B) podría utilizarse, por ejemplo, para las primeras fases del proyecto previstas a nivel regulatorio (por ejemplo, para el proyecto básico), mientras que en el caso de un proyecto de conservación y restauración el modelo, que necesitaría un proyecto más desarrollado, como el proyecto ejecutivo, debe tener un LoG alto (LoG E, F o G) porque es necesario tener una mayor correspondencia entre el modelo y la realidad.

Por último, la confiabilidad geométrica (LoA) de los modelos HBIM se evalúa en función de la desviación obtenida al comparar el modelo y la nube de puntos resultante del levantamiento y se correlaciona con los objetivos del proyecto (Maiezza & Tata, 2021).

En general, se considera aceptable un nivel de precisión bajo o medio en las primeras fases de planificación, cuando se estima el uso de modelos con un LoG bajo. Con la transición a modelos con un LoG diferente y más alto, el LoA puede variar de bajo a alto dependiendo de los propósitos que llevaron a la creación del modelo. Por lo tanto, un nivel inadecuado de confiabilidad en relación con los objetivos del modelado requiere una revisión del modelo, mediante un proceso iterativo, para cumplir con los requisitos mínimos para diferentes niveles de desarrollo geométrico.

Figura 2. Nube de puntos escasa y densa obtenida del levantamiento fotogramétrico aéreo. Imagen de los autores.



### Resultados

Para probar el flujo de trabajo ilustrado en la sección anterior, se realizó un experimento en una ventana barroca del segundo piso de Palazzo Camponeschi, sede del Rectorado de la Universidad de L'Aquila. El elemento arquitectónico presenta peculiaridades únicas que requieren esfuerzos considerables tanto por las dificultades como por el tiempo necesario para crear el modelo 3D.

La información morfológico-dimensional de la ventana se adquirió mediante un levantamiento fotogramétrico aéreo.

El levantamiento se realizó con un dron DJI Mini2 que permitió adquirir 42 fotografías las cuales fueron procesadas con el software Agisoft Metashape. El procesamiento de datos arrojó, tras una operación de filtrado, una nube de puntos de 670.000 puntos (Figura 2).

Los datos restituidos desde el levantamiento representaron la base para la creación de modelos HBIM con niveles de desarrollo geométrico (LoG) diferenciados en función de los objetivos del proyecto (Figura 3).

En particular, se creó un modelo HBIM con un LoG bajo, en el que el aparato decorativo de la ventana se simplificó modelando los elementos como paralelepípedos extruidos en diferentes direcciones. En el caso del LoG alto, el modelo HBIM de la ventana se creó identificando y modelando detalladamente los perfiles de todas las molduras. La evaluación del nivel de fiabilidad de los diferentes modelos HBIM respecto a la nube de puntos se evaluó en función de la desviación existente tanto entre la superficie total y el modelo del elemento, como entre el generatriz y directriz de las superficies modeladas respecto a las porciones extraídas desde la nube de puntos. La evaluación del LoA para el modelo con un LoG bajo devolvió un valor de desviación estándar de aproximadamente 30 mm (Figura 4a), lo que equivale a un valor aceptable para un LoG alto (Maiezza & Tata, 2021). Suponiendo que el modelo hubiera sido creado para un proyecto básico, el LoA logrado es elevado y no es necesario para los propósitos específicos del proyecto y un valor de desviación más alto aún habría sido aceptable.

La comparación del modelo con LoG alto y la nube de puntos devolvió un LoA alto (desviación <20 mm) (Figura 3b), que es consistente y aceptable con respecto a las necesidades de modelado requeridas para un nivel de diseño diferente, como por ejemplo para un proyecto de restauración.

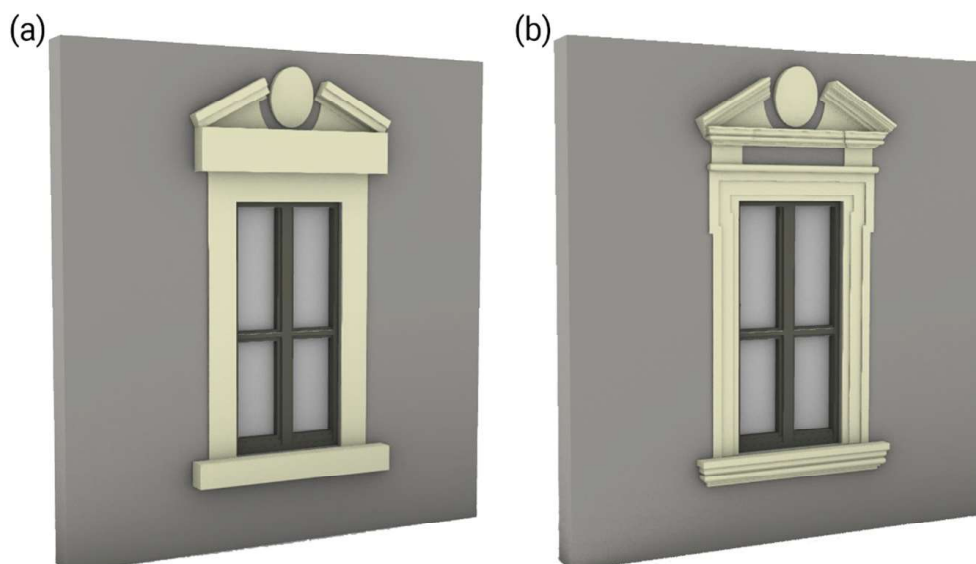
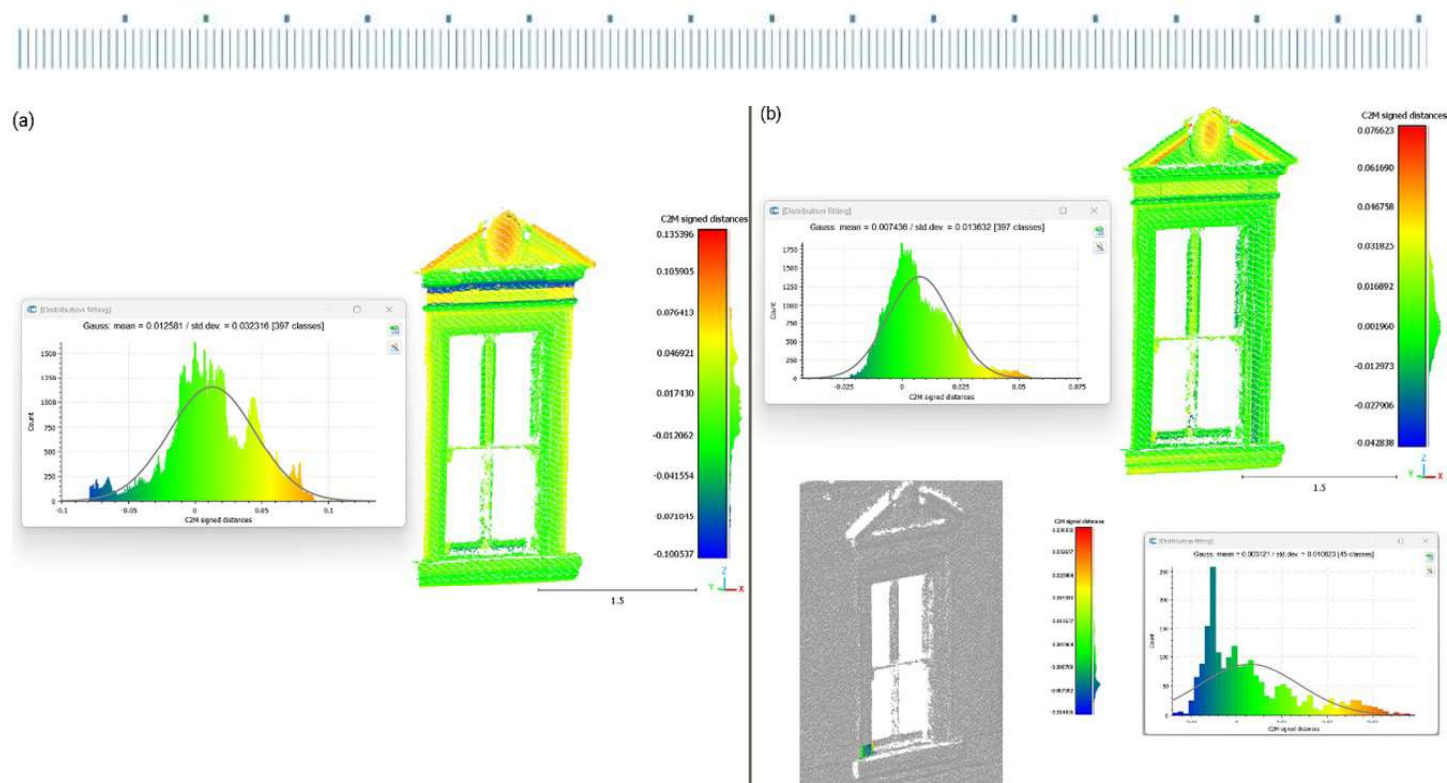


Figura 3. Modelo HBIM de la ventana de Palazzo Camponeschi: (a) LoG bajo; (b) LoG alto. Imagen de los autores.



### Conclusiones

Los resultados de la investigación realizada representan una contribución adicional a los experimentos realizados por el grupo de investigación de la Universidad de L'Aquila sobre los temas de la fiabilidad geométrica de los modelos HBIM. Los experimentos aún están en curso y podrían conducir a la definición de un estándar operativo para el modelado HBIM útil para la contratación pública y capaz de correlacionar aspectos relativos al nivel de desarrollo geométrico y a la confiabilidad del modelo HBIM con los objetivos específicos de los procesos de restauración del patrimonio arquitectónico.

Figura 4. Evaluación del nivel de confiabilidad geométrica del modelo HBIM: (a) desviación entre la nube de puntos y el modelo con LoG bajo; (b) desviación del modelo con LoG alto calculado con respecto a toda la superficie, arriba, y el generatriz y directriz, abajo Imagen de los autores.

#### Referencias

- Banfi, F. (2017). BIM orientation: Grades of generation and information for different type of analysis and management process. *Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spat. Inf. Sci.*, 42, 57–64.
- Bianchini, C., & Nicastro, S. (2018). La definizione del Level of Reliability: Un contributo alla trasparenza dei processi di Historic-BIM. *Dn Build. Inf. Model. Data Semant.* 2, 46–59.
- Bonduel, M., Bassier, M., Vergauwen, M., Pauwels, P; & Klein, R. (2017). Scan-to-BIM output validation: towards a standardized geometric quality assessment of building information models based on point clouds. *ISPRS - Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spat. Inf. Sci.*, XLII-2/W8, 45–52.
- Brumana, R., Della Torre, S., Previtali, M., Barazzetti, L., Cantini, L., Oreni, D., & Banfi, F. (2018). Generative HBIM modelling to embody complexity (LOD, LOG, LOA, LOI): Surveying, preservation, site intervention—The Basilica di Collemaggio (L'Aquila). *Appl. Geomat.*, 10, 545–567.
- Brusaporci, S., Maiezza, P., & Tata, A. (2018). A Framework for Architectural Heritage HBIM Semantization and Development. *Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spat. Inf. Sci.* 2018, XLII-2, 179–184.
- Brusaporci S, Maiezza P, Marra A, Tata A, Vespasiano L. (2023). Scan-to-H-BIM Reliability. *Drones* 7(7), 426-439.
- Capone, M., & Lanzara, E. (2022). Parametric tools for Majolica Domes Modelling. *Nexus Netw. J.*, 24, 673–699.
- Ente Italiano di Normazione. (2017). *Edilizia e opere di ingegneria civile - Gestione digitale dei processi informativi delle costruzioni - Parte 4: Evoluzione e sviluppo informativo di modelli, elaborati e oggetti (UNI 11337-4)*.
- Lo Turco, M., Tomalini, A., & Bono, J. (2023). Proportions, Constraints and Semantics for a Parametric Model. *Nexus Netw. J.*, 25(Suppl. 1), 333–340.
- Maiezza, P., & Tata, A. (2021). Standard for geometric and informative reliabilities in HBIM models. *Disegnarecon*, 14, 15.1–15.10.