

Artículo

# Herramientas para el uso smart del patrimonio cultural

*Tools for smart cultural heritage use*

Cecilia Maria Bolognesi<sup>1</sup>, Daniele Sorrenti<sup>2</sup>, Deida Bassorizzi<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Associate Professor  
Politecnico di Milano  
cecilia.bolognesi@polimi.it  
<https://orcid.org/0000-0002-7204-8391>   
<sup>2</sup>Research  
Politecnico di Milano  
<sup>3</sup>Architect  
Politecnico di Milano

<https://doi.org/10.56205/mim.4-2.7>

Recibido  
28/07/23  
Aprobado  
23/10/23  
Publicado  
15/07/24

Mimesis.jsad  
ISSN 2805-6337



EDITORIAL  
Environment & Technology  
Foundation

## Resumen/Abstract

*El conocimiento del patrimonio histórico-arquitectónico-cultural es de vital importancia para promover y hacer comprender la necesidad de su protección. El levantamiento digital 3D y la modelización 3D son las herramientas adecuadas para profundizar en este conocimiento y reforzar las posibles acciones de protección, recuperación, mantenimiento, difusión. En el escenario actual, incluso en el ámbito del Patrimonio, los modelos informáticos son la plataforma de intercambio que puede ser utilizada por diferentes figuras profesionales, facilitando la posibilidad de colaboración y aportación de diversas competencias; además, los modelos se han enriquecido con la posibilidad de interacciones procedentes de la aplicación de sensores a los artefactos existentes, abriendo la posibilidad de monitorización en tiempo real útil para el mantenimiento. La posibilidad de utilizar el modelo en entornos de RV amplifica aún más su valor como vehículo cultural y artefacto histórico para su uso en la mejora tanto turística como educativa.*

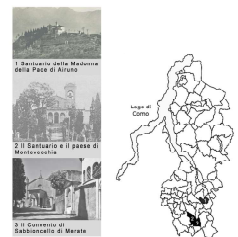
*Knowledge of the historical-architectural-cultural heritage is of vital importance to promote and make people understand the need for its protection. 3D digital survey and 3D modelling are the right tools to deepen this knowledge and strengthen possible actions for protection, recovery, maintenance, dissemination. In today's scenario, even in the Heritage field, computer models are the exchange platform that can be used by different professional figures, facilitating the possibility of collaboration and contribution of several skills; furthermore, models have been enriched with the possibility of interactions coming from the application of sensors to existing artefacts, opening up the possibility of real-time monitoring useful for maintenance. The possibility of using the model in VR environments further amplifies its value as a cultural vehicle and historical artefact for use in both tourist and educational enhancement.*

**Palabras clave:** HBIM; Realidad virtual; Realidad aumentada; Análisis estructural; Gestión del espacio.

**Key words:** HBIM; Virtual Reality; Augmented Reality; Structural Analysis; Space Management



# IL CAMMINO DI SANT'AGOSTINO



**3D SURVEY**  
POINTCLOUDS  
TERRESTRIAL LASER  
PHOTOGRAMMETRY  
DATASHEETING

**POST-PROCESSING**  
REGISTRATION  
LASER ALIGNED  
POINTCLOUDS  
ANALYSIS

**SCAN TO BIM & HBIM**  
NURBS MODEL  
HBM OBJECTS  
3D MAPPING

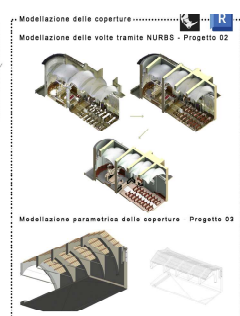
**VR-AR-XR**  
BIM INTEROPERABILITY  
MODEL COORDINATION  
VISUAL PROGRAMMING  
HANDSETS

**Metashape**  
**AUTODESK RECAP**

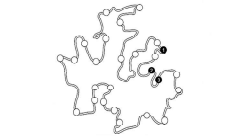
**Rhinoceros**  
**AUTODESK REVIT**

**AUTODESK REVIT**  
**unity Reflect**

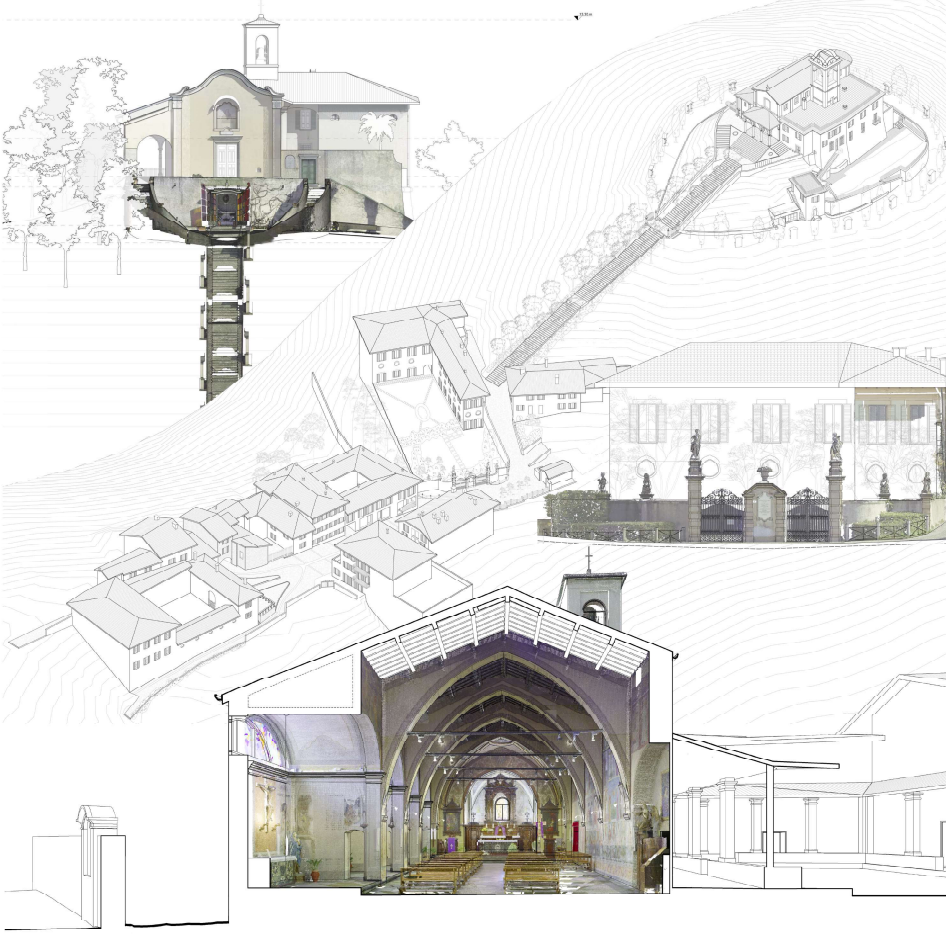
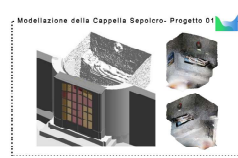
SURVEYING COMPUTING MODELLING VR AR VR GUIDING



## Il Fiore della Rosa



PROGETTO	MONTVECCIA	AIRONE	SABBIONCELLO
LASER	RTX 500	RTX 500	RTX 300
NUMERO DI PUNTI	3.407.005.275	2.242.147.239	3.244.238.839
N° SCANSIONI	108	68	31
ERRORE GLOBALE	0,004 m	0,003m	0,001 m
SCALARE/PROSPETT	100%	100%	100%
PROFONDITÀ	100%	100%	100%



**VISUALIZZAZIONE AR**  
Santuario della Madonna della Pace di Airone

**PROFONDITÀ PERSONALIZZAZIONE**

**PERSONALIZZAZIONE DEI MATERIALI**

**VISUALIZZAZIONE VR**  
Santuario e paese di Montevicchia

**PROGETTO DI ANALISI STRUTTURALE E SENSORISTICA**  
Convento di Sabbioncello di Merate

Figura 1. Contenuto grafico del panel espositivo del evento 3EXP.it.  
Autore: C. M. Bolognesi., F. Fiorillo, B. Brancozzi, C. Gamba, E. Doria, D. Bassorizzi, Letizia Pettinari, F. Sansonetti, B. Lin, X.Tan, 2023.  
Politecnico di Milano.

### Introducción

Los estudios de caso que aquí se presentan se refieren a los santuarios del Camino de San Agustín; se trata de una ruta de peregrinación que conecta los 50 santuarios de una zona de Brianza, situada al norte de Milán, en Lombardía (Figura 1). La ruta es una oportunidad para incluir importantes emplazamientos artísticos y lugares de interés de la zona de Brianza, como iglesias, monasterios, villas de recreo y parques naturales.

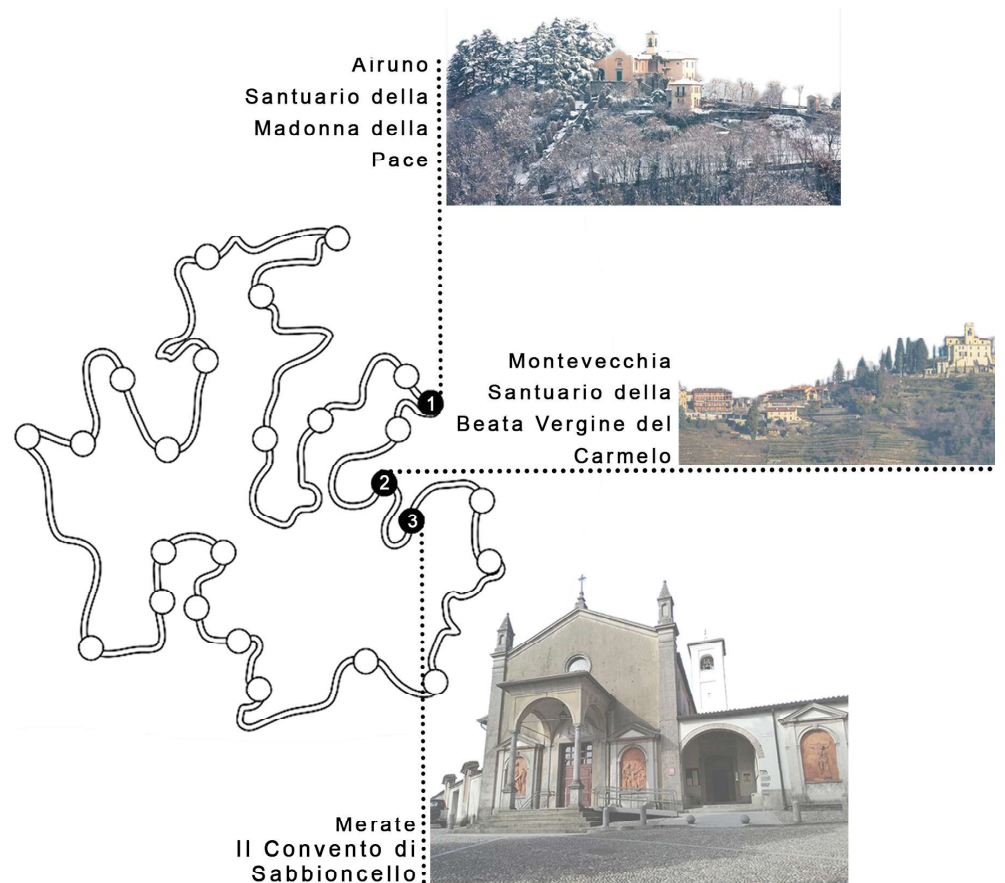


Figura 2. Ubicación de los Santuarios en el Camino de Sant'Agostino. Imagen de los autores.

### Estado de la técnica

El uso de modelos Heritage Building Information Modeling (HBIM) es reconocido como la herramienta indispensable para un enfoque de preservación y mantenimiento de artefactos históricos y artísticos debido a su característica de ser un contenedor informado, a la par de BIM, que puede recoger en sus geometrías cantidades paramétricas de elementos, pero también análisis de degradaciones, estratigrafías, detalles específicos favoreciendo la posibilidad de programar acciones de mantenimiento. (Chiabrando et al., 2017) (Di Stefano et al., 2020) (Brusaporci et al., 2018). En la actualidad, para mejorar la precisión y eficacia de los modelos, la orientación general se ha centrado en métodos complejos de modelización para lograr un alto grado de fiabilidad (Bianchini & Nicastro, 2018) y aumentar la adherencia entre el modelo y lo existente; la posibilidad de interacción de múltiples plataformas de modelización entre sí (Acosta et al., 2022) tiene como consecuencia una posible interoperabilidad compleja; otros frentes de investigación por el contrario, no satisfechos con la complejidad de la fase de modelado, se han centrado en la información que se puede añadir a los segmentos de nubes de puntos atribuyéndoles características propias de la base de datos del modelo (Grilli et al., 2020). Además de lo anterior, los modelos digitales se convierten en la base de aplica-



ciones innovadoras que van más allá de la mera conservación, como la Realidad Aumentada (RA) y la Realidad Virtual (RV), al ofrecer nuevas perspectivas de interacción en entornos virtuales compartidos; el uso de la Realidad Aumentada ayuda a la “integración de elementos de información contextual directamente en el sitio y puede mejorar la experiencia del usuario apoyando la toma de decisiones informadas en la gestión del patrimonio”.

### *Metodología*

En este capítulo se describen las metodologías (Figura 2) para la digitalización de tres Santuarios del Camino de San Agustín; para cada uno de ellos se experimentaron técnicas de virtualización o experimentación aplicadas a áreas avanzadas relacionadas con la vigilancia y el mantenimiento. Los levantamientos de los Santuarios de la Madonna Addolorata en Airuno, de la Beata Vergine del Carmelo en Montevecchia y de S. Maria Nascente en Merate, se realizaron con un escáner láser “Leica RTC360 LT”; el instrumento utiliza el principio operativo del tiempo de vuelo para generar una nube de puntos, calculando el tiempo que tarda el rayo láser en alcanzar el objeto golpeado y volver al emisor. La capacidad de adquirir dos millones de puntos por segundo y el sistema de imágenes HDR integrado permiten obtener nubes de puntos tridimensionales pigmentadas con colores reales. Tras comprobar la existencia de prohibiciones, normativas de vuelo y conocer la zona del levantamiento, posicionados los puntos de control del terreno (PCT) visualizables desde las fotografías tomadas por el dron, se llevó a cabo la fotogrametría aérea para cartografiar los tejados hasta el levantamiento del terreno. El dron utilizado es el “Dji Mavic Pro” con una cámara de 12 MP y resolución 4K a 30 fps. La fase de modelización de nubes de puntos se desarrolló utilizando un software propio orientado al BIM con el objetivo de crear un modelo digital capaz de respetar un margen de tolerancia igual a la escala arquitectónica de 1:50 (tolerancia máxima de 3 cm). En la modelización de elementos arquitectónicos, especialmente en el ámbito de la modelización HBIM, la complejidad y singularidad de determinados detalles hace necesaria la creación de familias anidadas. En todos los casos analizados, el modelado de bóvedas con una geometría muy irregular y que resultaban difíciles de representar dentro de la plataforma de autoría BIM, se desarrollaron flujos de trabajo específicos utilizando software de modelado basado en NURBS (Non-Uniform Rational B-Splines) capaz de gestionar la nube de puntos para obtener un nivel de detalle adecuado de los elementos e introducirlos en las librerías de modelos BIM. Uno de estos casos está representado por la cripta sepulcral del Santuario de la Virgen de la Paz de Airuno, que fue objeto de un detallado levantamiento fotogramétrico para poder insertar sus características materiales dentro del modelo BIM general. Tras la captura fotográfica, se creó una malla del elemento que posteriormente se importó entre las paredes del modelo y se colocó en la relación correcta con el resto del santuario. Un segundo caso está representado por las estatuas del portal de entrada a Villa Agnesi, en el pueblo de Montevecchia, previamente levantadas con escáner láser pero incompletas con partes de

Santuario	Nº de exploraciones	Número de puntos
Montevecchia	108	3.607.025.273
Airuno	68	2.242.347.239
Sabbioncello	31	3.244.230.930

Tabla 1. Datos cuantitativos de la nube de puntos del estudio con escáner láser.

la nube de puntos porque tienen 5 m de altura; las estatuas se completaron con un software de modelado de mallas (ugly - gestión de nubes) capaz de reconstruir las lagunas y crear una malla uniforme. Una vez finalizado el modelado de los tres casos de estudio, se obtuvieron vistas arquitectónicas como planos, secciones, alzados e información cuantitativa necesaria para los proyectos de mantenimiento. También se promovieron actividades adicionales más allá de la pura modelización para la difusión de contenidos y la creación de nuevos conocimientos y experiencias profesionales que se enumeran a continuación (Figura 3) a modo de ejemplo.

### Resultados

En el estudio de caso relativo al Santuario de la Madonna della Pace en Airuno, se utilizó la realidad aumentada (RA) como herramienta para comparar el estado actual con las distintas fases históricas del Santuario (Figura 4). El software BIM permite subdividir el modelo en diferentes fases temporales en las que se pueden asignar periodos de tiempo a cada objeto. Esto permitió crear una cronología del desarrollo del edificio para poner a disposición del público la evolución de un artefacto a lo largo del tiempo. En Airuno, se desarrolló un prototipo de aplicación para teléfonos inteligentes basada en la realidad aumentada para permitir a los usuarios explorar fácilmente modelos tridimensionales. En el estudio de caso relativo al pueblo de Montevecchia y al Santuario de la Beata Vergine del Carmelo, se empleó la realidad virtual (RV) en la creación de visitas virtuales que permiten a los usuarios navegar dentro del modelo tridimensional de forma dinámica e inmersiva (Figura 4). El modelo digital, a través de una extensión de Unity denominada Unity Reflect, también puede cargarse en un espacio de trabajo compartido en una nube patentada entre los miembros autorizados, lo que permite anotar descripciones textuales útiles para registrar cualquier estado de degradación útil para la planificación del mantenimiento.

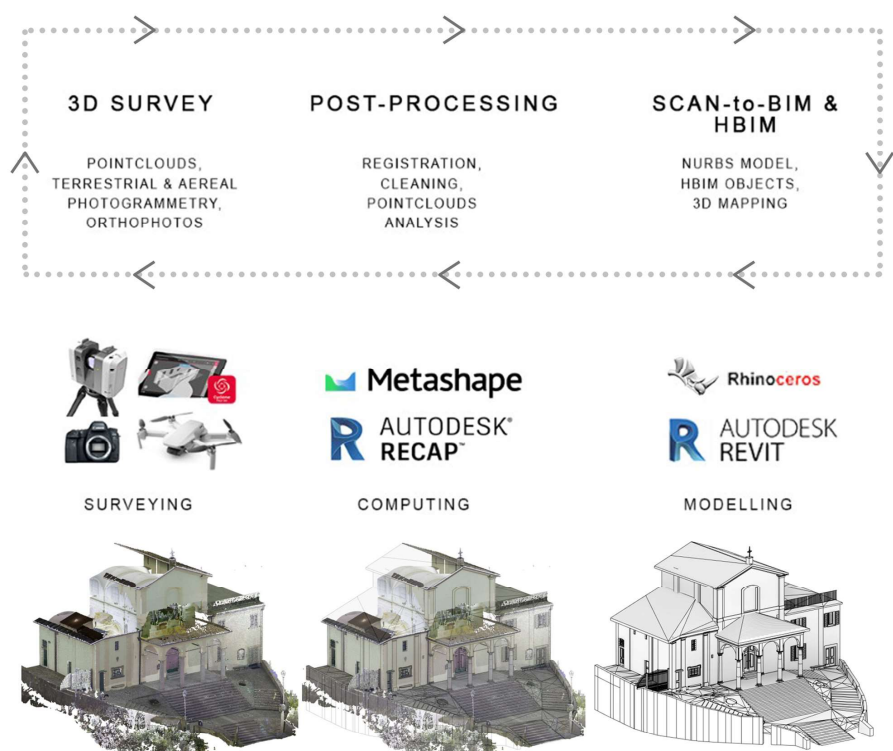


Figura 3. Flujo de trabajo de las fases de levantamiento, gestión de nuevos puntos y modelado. Imagen de los autores.

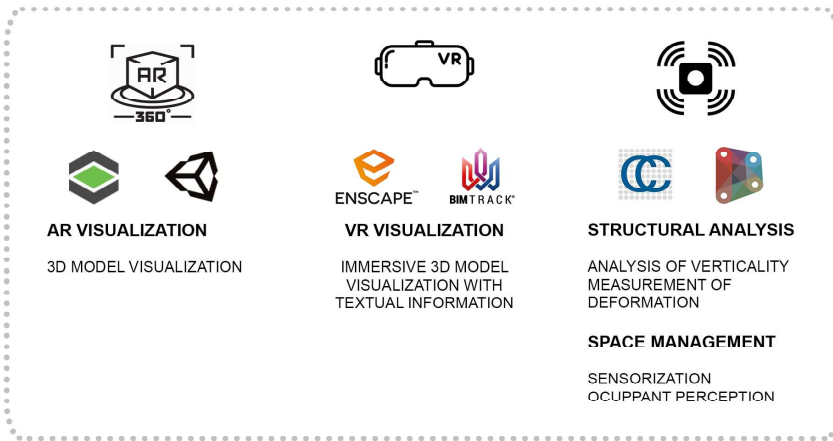


Figura 4. Aplicaciones in campo HBIM. Imagen de los autores.

En el caso de estudio del Convento de Sabbioncello y la Iglesia de Santa Maria Nascente el HBIM (Figura 4) demuestra como el estado de deformación geométrica de una estructura puede ser documentado por un buen análisis obtenido mediante una nube de puntos, comparando los resultados sobre la verticalidad y deformaciones de los muros, y observando detenidamente la inclinación y deformaciones de los mismos mediante mapas y gráficos de barras. Concretamente, el análisis sobre el tejado del Sabbioncello muestra un descenso de la viga cumbreira de varios cm, lo que provoca que la cumbreira del tejado asuma una inclinación determinada. El análisis se realizó en Cloud Compare, un software de código abierto que permite el análisis de Nubes de Puntos y es capaz de analizar la planitud de las superficies, destacando la presencia de una deformación media de 0,0042m a 0,0095m, con un intervalo de deformación máxima de 0,00m a 0,08m. La deformación también puede seguirse a lo largo del tiempo mediante la modelización sucesiva de nubes de puntos, lo que ofrece un modelo dinámico comparable. En el modelo de Sabbioncello, la experimentación posterior con-

Figura 5. Resultados de las aplicaciones a los modelos HBIM de los Santuarios del Camino di Sant'Agostino. 1) El Santuario de Airuno y los resultados de la aplicación de visualización en AR, 2) El Santuario de Montevecchia y la visualización de ambientes inmersivos renderizados en VR, 3) El Convento de Sabbioncello y el análisis y proyecto de sensor con el análisis de verticalidad de los muros. Imagen de los autores.



sistió en la aplicación de sensores para monitorizar el acceso a la propia iglesia en tiempo real mediante un script Dynamo, confirmando la posibilidad del modelo como herramienta de investigación dinámica. Estos tres casos analizados demuestran cómo a partir de un levantamiento digital en 3D es posible, tras la fase de modelización y tras la obtención de representaciones tradicionales del entorno construido, desarrollar múltiples aplicaciones útiles en el ámbito de la

conservación y valorización del patrimonio arquitectónico para las que el modelo se revela como una herramienta indispensable. La RV y la RA son el entorno en el que es posible desarrollar nuevas actividades y desarrollar herramientas útiles para quienes trabajan en este campo, tanto en términos educativos como de investigación y profesionales.

### Referencias

- Acosta, E. Z., Spettu, F., & Fiorillo, F. (2022). A procedure to import a complex geometry model of a heritage building into BIM for advanced architectural representations. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XLVI-2/W1-2022, 9–16. <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-xlvi-2-w1-2022-9-2022>
- Bianchini, C., Nicastro, S. (2018). La definizione del livello di affidabilità. Un contributo alla trasparenza dei processi di Historic-BIM/La definizione del Livello di Affidabilità. *Modellazione 3D e BIM. DN (2)*, 45-59.
- Bianconi, F., Filippucci, M., Cornacchini, F., Meschini, M., & Mommi, C. (2023). Cultural heritage and virtual reality: application for visualization of historical 3d reproduction. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XLVIII-M-2-2023, 203–210. <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-xlviiii-m-2-2023-203-2023>
- Brusaporci, S., Trizio, I., Ruggeri, G., Maiezza, P., Tata, A., & Giannangeli, A. (2018). AHBIM per l'analisi stratigrafica dell'architettura storica. *Restauro Archeologico*, 27 (1), 112–131. <https://doi.org/10.13128/ra-23463>
- Bolognesi, C. M., & Aiello, D. (2019). The secrets of s. maria delle grazie: virtual fruition of an iconic Milanese architecture. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XLII-2/W15, 185–192. <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-xlii-2-w15-185-2019>
- Chiabrando, F., Lo Turco, M., & Rinaudo, F. (2017). Modellazione del decadimento in un hbim partendo da nuvole di punti 3d. un approccio seguito per la conoscenza del patrimonio culturale. *Gli archivi internazionali della fotogrammetria, del telerilevamento e delle scienze dell'informazione spaziale, ISPR XLII-2/W5*, 605–612. <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-xlii-2-w5-605-2017>
- Desogus, G., Quaquero, E., Rubiu, G., Gatto, G., & Perra, C. (2021). BIM and IoT Sensors Integration: A Framework for Consumption and Indoor Conditions Data Monitoring of Existing Buildings. *Sustainability*, 13(8), 4496. <https://doi.org/10.3390/su13084496>
- Di Stefano, F., Gorreja, A., Malinverni, ES, & Mariotti, C. (2020). Modellazione della conoscenza per il processo di conservazione del patrimonio: dal rilievo all'implementazione di HBIM. *Gli archivi internazionali della fotogrammetria, del telerilevamento e delle scienze dell'informazione spaziale, ISPR XLIV-4/W1-2020*, 19–26. <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-xliv-4-w1-2020-19-2020>
- Dlesk, A., Strogonov, V., Vach, K., & Pollert, J. (2023). *Integration of spatially*



- oriented data from iot to facility management and bim. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XLV/III-5/W2-2023, 31–36. <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-xxviii-5-w2-2023-31-2023>
- Fassi, F., Achille, C., Mandelli, A., Rechichi, F., & Parri, S. (2015). A new idea of BIM system for visualization, web sharing and using huge complex 3d models for facility management. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XL-5/W4, 359–366. <https://doi.org/10.5194/isprsarchives-xl-5-w4-359-2015>.
- Fattah, S. M. M., Sung, N., Ahn, I., Ryu, M., & Yun, J. (2017). Building IoT services for aging in place using Standard-Based IoT platforms and heterogeneous IoT products. *Sensors*, 17(10), 2311. <https://doi.org/10.3390/s17102311>
- Ferdani, D., Ronchi, D., Fanini, B., Del Fà, R. M., D’Annibale, E., Bordignon, A., & Pescarin, S. (2023). Brancacci chapel in florence: surveying and real-time 3d simulation for conservation and communication purposes. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XLV/III-M-2-2023, 535–540. <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-xxviii-m-2-2023-535-2023>
- Garramone, M., Jovanović, D., Oreni, D., Barazzetti, L., Previtali, M., Roncoroni, F., Mandelli, A., & Scaioni, M. (2023). Basilica di san giacomo in como (italy): drawings and hbim to manage archeological, conservative and structural activities. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XLV/III-M-2-2023, 653–660. <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-xxviii-m-2-2023-653-2023>
- Grilli, E., Teruggi, S., Fassi, F., Remondino, F., & Russo, M. (2020). Approccio gerarchico di machine learning per la segmentazione semantica di nuvole di punti 3D. *Bollettino Della Società Italiana Di Fotogrammetria E Topografia*, 1, 38–46. <https://www.sifet.org/bollettino/index.php/bollettinosifet/article/view/2160>
- Ornaghi, R. (2015). *Il cammino della rosa*. Guida al cammino di sant’Agostino da Monza a Pavia.
- Osello, A., Lucibello, G., & Morgagni, F. (2018). HBIM and virtual tools: A new chance to preserve architectural heritage. *Buildings*, 8(1), 12. <https://doi.org/10.3390/buildings8010012>
- Rocca, I., Forti, I., D’Acunto, G., & Sietta, A. (2023). Survey, diagnostics, monitoring methodology and digital twin for the conservation of the facade of the church of Santa maria di Nazareth in Venice. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XLV/III-M-2-2023, 1331–1336. <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-xxviii-m-2-2023-1331-2023>
- Scianna, A., Gaglio, G. F., & La Guardia, M. (2019). Augmented reality for cultural heritage: the rebirth of a historical square. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XLII-2/W17, 303–308. <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-xxii-2-w17-303-2019>
- Tommasi, C., Achille, C., & Fassi, F. (2016). From point cloud to BIM: a modeling challenge in the cultural heritage field. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XLI-B5, 429–436. <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-xli-b5-429-2016>
- Tse, D., Paladini, A., Dhanda, A., Weigert, A., Ortiz, M. R., Quintero, M. S., Min, A., Gyi, M., & Su, S. (2019). Conserving built heritage for posterity: a conservation approach in bagan. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XLII-2/W15, 1179–1185. <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-xxii-2-w15-1179-2019>.