

## DE LA DIGITALIZACIÓN LASER HACIA EL H-BIM: UN CASO DE ESTUDIO

### FROM LASER SCANNING TO H-BIM: A CASE STUDY

*Adriana Rossi, Luis Palmero Iglesias, Umberto Palmieri*

doi: 10.4995/ega.2020.12835

Queriendo dar respuesta a las preguntas que el anterior estudio precedente efectuado con una estación total (Trimble S6 Vision) no pudo concretar, el artículo comenta los resultados obtenidos con las adquisiciones de digitalización láser 3D y las bases de datos fotográficas. La precisión, garantizada por la tecnología de medida, ha permitido medir la distancia entre el modelo numérico (discontinuo pero objetivo) y el modelo geométrico (continuo pero subjetivo). También se discute el grado de fiabilidad de los documentos e hipótesis relevantes basados en el razonamiento matemático como el comienzo de una cadena de trabajo digital compartida e interoperable. Los temas abordados se refieren a la virtualización de componentes geométricos manipulables paramétricamente (tratamiento de la geometría) que, a partir de la normativa vigente en materia de contratos públicos (BIM), se impone como prototipo

para el proyecto de restauración y mantenimiento de edificios históricos (H-BIM) y, en particular, para el caso de estudio: la fábrica de cerámica artística, sita en Vietri sul Mare, (Salerno, Italia), construida entre 1953 y 1955, la cual se encuentra actualmente sujeta al Decreto Legislativo del 22 de enero de 2004.

**PALABRAS CLAVE: TOMAS DE DATOS, TECNOLOGÍA LÁSER, BIM, NUBE DE PUNTOS, GEOMETRÍA, INTEROPERABILIDAD**

*Overview wanting to answer the questions that the previous study with a total station (Trimble S6 Vision) could not answer, the article comments on the results obtained with the acquisitions of 3D laser scanning and photographic databases. The precision, guaranteed by the measurement technology, has made it possible to measure the distance between the numerical model (discontinuous but*

*objective) and the geometric model (continuous but subjective). It also discusses the degree of reliability of relevant documents and hypotheses based on mathematical reasoning such as the beginning of a shared and interoperable digital work chain. The topics addressed refer to the virtualization of geometrically manipulable geometric components (treatment of geometry) which, based on current public procurement regulations (BIM), is imposed as a prototype for the project of restoration and maintenance of historic buildings (H-BIM) and, in particular, for the case study: the artistic ceramics factory, located in Vietri sul Mare, (Salerno, Italy), built between 1953 and 1955, which is currently subject to the Legislative Decree of 22 January 2004.*

**KEYWORDS: DATA ACQUISITION, LASER TECHNOLOGY, BIM, POINT CLOUD, GEOMETRY, INTEROPERABILITY**



Muchos estudiosos conocen la Fábrica de Solimene proyectada por Paolo Soleri. El arquitecto nacido en Turín en 1919 y colaborador en 1947 en el estudio estadounidense de Frank Lloyd Wright, es considerado uno de los mejores expresionistas de la llamada corriente “orgánica” (Zevi, 1955). Después de su muerte (Cosanti, cerca de Scottsdale, el 9 de abril de 2013), la fábrica Solimene volvió a estar en auge por su alto valor arquitectónico a los efectos didácticos que en este sentido presenta. Hoy se habla de ello por el enfoque que la restauración de lo moderno debería significar: una necesidad para la fábrica de Solimene, un bien que debe ser protegido y tutelado (Decreto Ley del 22 de enero de 2004).

La toma de datos, como siempre, anticipa todas las hipótesis del proyecto. Para la obra en cuestión hay algunas precisas (Amor Vacui Studio, 2015). Por lo que sabemos, sin embargo, nadie se ha detenido en el análisis de la configuración de los cuerpos característicos que sobresalen de la fachada, excepto el nuestro (Rossi et Palmero 2018).

El deseo de arrojar luz sobre las cuestiones que quedaron sin respuesta concreta en estudios anteriores, incluso después de los datos obtenidos con la estación total (Trimble S6 Vision), ha llevado a un estudio en profundidad mediante el uso del escáner láser terrestre y la fotogrametría digital (Bartolucci, 2009). Si bien la estación total había garantizado un soporte topográfico preciso, la medición directa de cientos de puntos hizo necesario, en la fase de restitución del modelo geométrico, el análisis de una rigurosa investigación matemática que

apoyase la interpretación de los datos. El modelo numérico experimental es por naturaleza discontinuo (está compuesto por un conjunto de coordenadas), aunque se considere objetivo, (ya que los instrumentos están certificados en el coeficiente de error y en procedimientos repetibles), mientras que el modelo matemático es continuo, aunque precisamente por esta razón, siendo inevitablemente subjetivo, necesita de una interpretación fundamentada metodológicamente (Migliari 2004). De ello, se deduce que, para describir la morfología de las irregularidades de los perfiles necesarios para estudiar el significado y el origen de los evidentes estrechamientos a media altura de los cuerpos salientes de la fachada, se decidió utilizar el Faro Focus 130 HDR, un instrumento de tecnología avanzada 1, útil para describir un modelo completo y detallado, aunque ‘desestructurado’, compuesto de nubes de puntos discretos. Sin embargo, para utilizar la información numérica experimentalmente obtenida, utilizamos la ayuda de un software de “ingeniería inversa” adecuado para gestionar nubes de puntos para generar modelos vectoriales, certificados en fiabilidad a la décima de milímetro en nuestro caso. Este último resultado es compatible con el objetivo de apoyar e incrementar el trabajo en equipo mediante la organización de un modelo compartido de gestión del proceso digital. Atendiendo al mérito de la cuestión, el presente caso de estudio explica algunas de las características que debe asumir la virtualización de elementos para poder ser utilizada como fin en procesos BIM y/o H-BIM.

Many researchers know the Solimene Factory designed by Paolo Soleri. The architect, born in Turin in 1919 and collaborator in 1947 in the American studio of Frank Lloyd Wright, is considered one of the best expressionists of the so-called “organic” architecture wave (Zevi, 1955). After his death (Cosanti, near Scottsdale, on 9 April 2013), the Solimene factory was once again booming due to its high architectural value for the didactic effects it presents in this sense. Today it is spoken of by the approach that the restoration of the modern should mean: a necessity for the factory of Solimene, a good that must be protected and guarded (Decree Law of January 22, 2004).

Data collection, as always, anticipates all the hypotheses of the project. For the work in question there are some precise ones (Amor Vacui Studio, 2015). As far as we know, however, no one has stopped in the analysis of the configuration of the characteristic bodies protruding from the facade, except ours (Rossi et Palmero 2018).

The desire to shed light on the questions that remained unanswered in previous studies, even after the data obtained with the total station (Trimble S6 Vision), has led to an in-depth study through the use of terrestrial laser scanning and digital photogrammetry (Bartolucci, 2009). Although the total station had guaranteed precise topographic support, the direct measurement of hundreds of points made it necessary, in the restitution phase of the geometric model, the analysis of rigorous mathematical research to support the interpretation of the data. The experimental numerical model is by nature discontinuous (it is composed of a set of coordinates), although it is considered objective (since the instruments are certified in the error coefficient and in repeatable procedures), whereas the mathematical model is continuous, although precisely for this reason, being inevitably subjective, it needs a methodologically based interpretation (Migliari 2004). It follows that, in order to describe the morphology of the irregularities of the profiles needed to study the meaning and origin of the obvious mid-height narrowing of the protruding bodies of the facade, it was decided to use the Focus 130 HDR Lighthouse, a technologically advanced instrument, useful for describing





1

a complete and detailed model, even if “destructured”, composed of discrete point clouds. However, to use the numerical information experimentally obtained, we used the help of a software of “reverse engineering” suitable to manage clouds of points to generate vectorial models, certified in reliability to the tenth of millimeter in our case. This last result is compatible with the objective of supporting and increasing teamwork through the organization of a shared model of digital process management. Based on the merit of the issue, this case study explains some of the characteristics that must assume the virtualization of elements to be used as an end in processes BIM and / or HBIM 1.

### The survey with terrestrial laser scanner

After verifying the physical characteristics of the structure and the accessibility to the sites, the phases of the remote survey were programmed. The mechanical electro-optical device allows to choose the type of scanning and the angle of inclination of the shots. Some measures were necessary to verify the possibility of parking the instrument permanently, limiting the photographic shadows and the parts hidden 2 in the data

### El levantamiento con escáner láser terrestre

Después de verificar las características físicas de la estructura y la accesibilidad a los lugares, se procedió a programar las fases del levantamiento a distancia. El dispositivo electro-óptico mecánico permite elegir el tipo de escaneo y el ángulo de inclinación de las tomas. Fueron necesarias algunas medidas para verificar la posibilidad de estacionar el instrumento permanentemente, limitando las sombras fotográficas y las partes ocultas 2 en la tomas de datos. Las operaciones de campo se han acelerado alargando el trípode hasta 5 metros, con el fin de aumentar el radio del trípode.

Para acelerar el cálculo automático o semiautomático que requiere las operaciones habituales de fotogrametría digital, durante la fase de levantamiento, se utilizaron objetivos establecidos en un número razonable a lo largo del eje de la carretera (de forma esférica) y en la

fachada (de forma cuadrangular). Se realizaron múltiples escaneos desde cada punto de estacionamiento, variando la resolución: los escaneos de malla ancha facilitaron la gestión de los disparos desde lejos, mientras que los de mallas progresivamente más gruesas permitieron un cálculo muy preciso de la desviación media cuadrada entre fotogramas sucesivos, necesaria para eliminar los solapamientos y asegurar la correcta unión y, por lo tanto, la precisión de los detalles.

Con estacionamientos a intervalos de 30 metros, se adquirieron un total de 12 escaneos, 10 de los cuales en el exterior; importados (Fase I del levantamiento) desde la tarjeta de memoria al espacio de trabajo del software propiedad del instrumento, Faro Scene en su versión 5.1, se procedió a analizar en detalle las nubes de puntos para eliminar los elementos no pertenecientes a la lectura, filtrar y seleccionar las adquisiciones. Con RiScan Pro, un



1. Cloud Compare Nube de puntos Modelo completo Vista 3D
2. Proyección rectangular (ZY) del modelo no estructurado (nubes de puntos seleccionadas y diezmadas). Identificación de la muestra del estudio

software que muestra las coordenadas XYZ asociadas a otras características intrínsecas del material (como la intensidad de los valores RGB), fue posible comprobar la integridad de la medición 3D. El producto final se configura como un modelo de realidad completo y objetivamente representativo aunque “desestructurado” (Fig. 1), es decir, una nube de puntos texturizada e integrada con las fotografías y que puede ser interrogada para medir cualquier elemento con precisión milimétrica sin arriesgarse, como ocurría en el pasado con los sistemas tradicionales, a tener que volver al lugar para integrar las adquisiciones faltantes. Para ser utilizado con fines arquitectónicos y de ingeniería, el modelo exportado a los entornos apropiados debe ser manipulable matemáticamente en un espacio virtual generado en un ordenador (CAD) 3.

Cloud Compare, el software de ingeniería inversa utilizado, permite georreticular mallas poligonales: los vértices de las rejillas coinciden con los puntos seleccionados de la nube de puntos coordinados. A par-

1. Cloud Compare Cloud of points Full model 3D view
2. Rectangular projection (ZY) of the unstructured model (selected and decimated point clouds). Identification of the study sample

tir de las virtualizaciones geométricas se podrán dibujar las vistas tradicionales, bastará con definir los planos de corte para obtener las secciones, verticales y horizontales, y/o las secciones axonométricas y de perspectiva en el número necesario para describir la complejidad del objeto (Fig. 2).

### La muestra analizada

La necesidad de tener en cuenta las decisiones que han permitido transformar un modelo “no estructurado” (modelo numérico experimental) en un modelo matemático (vector-ideal), se hace imprescindible en el actual marco regulador de la contratación pública. El código de contratación pública (Decreto Legislativo 50/2016), en muchos casos requiere la adopción del Modelo de Información de la Edificación (BIM), un método ya probado y adecuado para organizar la colaboración operativa, refiriéndose a un proceso que, a partir de la descripción del estado de los lugares, converge hacia un documento flexible y alineado con criterios uniformes

shots. Field operations have been accelerated by extending the tripod up to 5 meters, in order to increase the radius of the tripod. In order to speed up the automatic or semi-automatic calculation required by the usual digital photogrammetry operations, during the survey phase, targets set at a reasonable number along the road axis (spherical in shape) and on the façade (quadrangular in shape) were used. Multiple scans were carried out from each parking point, varying the resolution: wide mesh scans facilitated the management of the shots from afar, while those of progressively thicker meshes allowed a very precise calculation of the square mean deviation between successive frames, necessary to eliminate the overlaps and ensure the correct union and, therefore, the precision of the details. With parking at 30-meter intervals, a total of 12 scans were acquired, 10 of which were outside; imported (Phase I of the survey) from the memory card to the workspace of the software owned by the instrument, Scene Lighthouse in version 5.1, the point clouds were analyzed in detail to eliminate the elements not belonging to the reading, filter and select the acquisitions. With RiScan Pro, a software that displays the XYZ coordinates associated with other intrinsic characteristics of the material (such as the intensity of RGB values), it was possible to check the integrity of the 3D measurement. The final product is configured as a complete and objectively



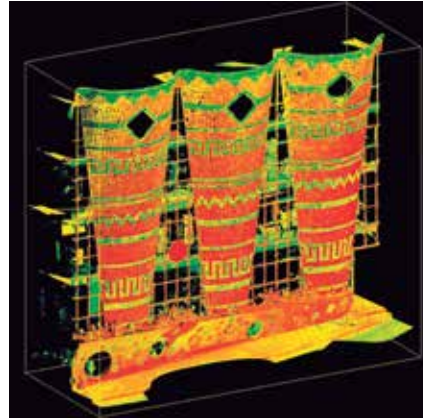




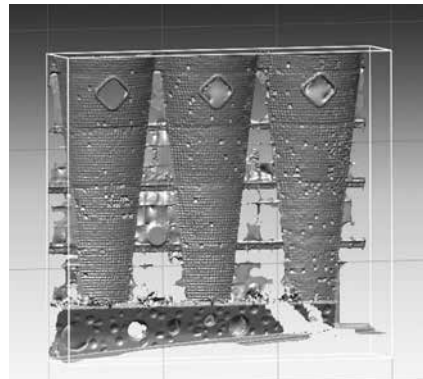
representative but “unstructured” reality model (Fig. 1), i.e. a point cloud textured and integrated with the photographs and that can be interrogated to measure any element with high precision without risking, as in the past with traditional systems, to have to return to the site to integrate the missing acquisitions. To be used for architectural and engineering purposes, the model exported to the appropriate environments must be mathematically manipulable in a computer-generated virtual space (CAD) 3. Cloud Compare, the reverse engineering software used, allows geo reticular polygonal meshes: the vertices of the grids coincide with the selected points of the cloud of coordinated points. Traditional views can be drawn from the geometric virtualizations, it will be enough to define the cutting planes to obtain the sections, vertical and horizontal, and/or the axonometric and perspective sections in the number necessary to describe the complexity of the object (Fig. 2).

### The sample analysed

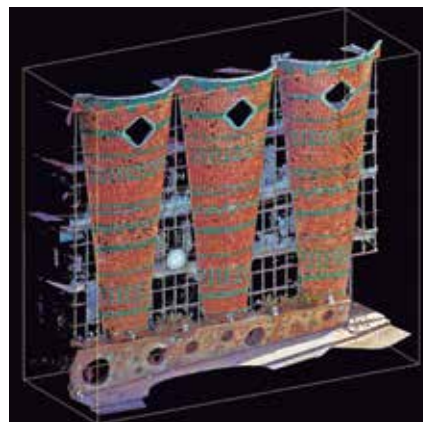
The need to take into account the decisions that have made it possible to transform an “unstructured” model (experimental numerical model) into a mathematical model (vector-ideal) is essential in the current regulatory framework for public procurement. Itself (Legislative Decree 50/2016), in many cases requires the adoption of the Building Information Model (BIM), a method already tested and adequate to organize operational collaboration, referring to a process that, from the description of the state of the places, converges towards a flexible document and aligned with uniform criteria to comply with almost universal principles (UNI 11337:2017; AIA E202-2008: Exposure of the Protocol for Modeling Construction Information). In particular, UNI 11337:2017-4 defines the concept of levels of model development (LOD from Development Level), of graphical information (LOG from Geometry Level) and of attributes (LOI from Information Level) that the objects themselves must contain within the BIM-oriented design workflow. Each level (from letter A to letter G) establishes characteristics and contents that the components must be handled parametrically (geometry processing) 4.



3a



3b



3c

para cumplir con los principios casi universales (UNI 11337:2017; AIA E202-2008: Exposición del Protocolo de Modelado de la Información de la Construcción). En particular, UNI 11337:2017-4 define el concepto de niveles de desarrollo

3. Muestra de estudio. Vistas axonométricas (alternativamente proyecciones ortogonales); a) Procesamiento de puntos coordinados (Sw Cloud Computer) con valor de puntos de PSG; b) Mallas poligonales; c) Nube de puntos texturizada integrada con la foto.

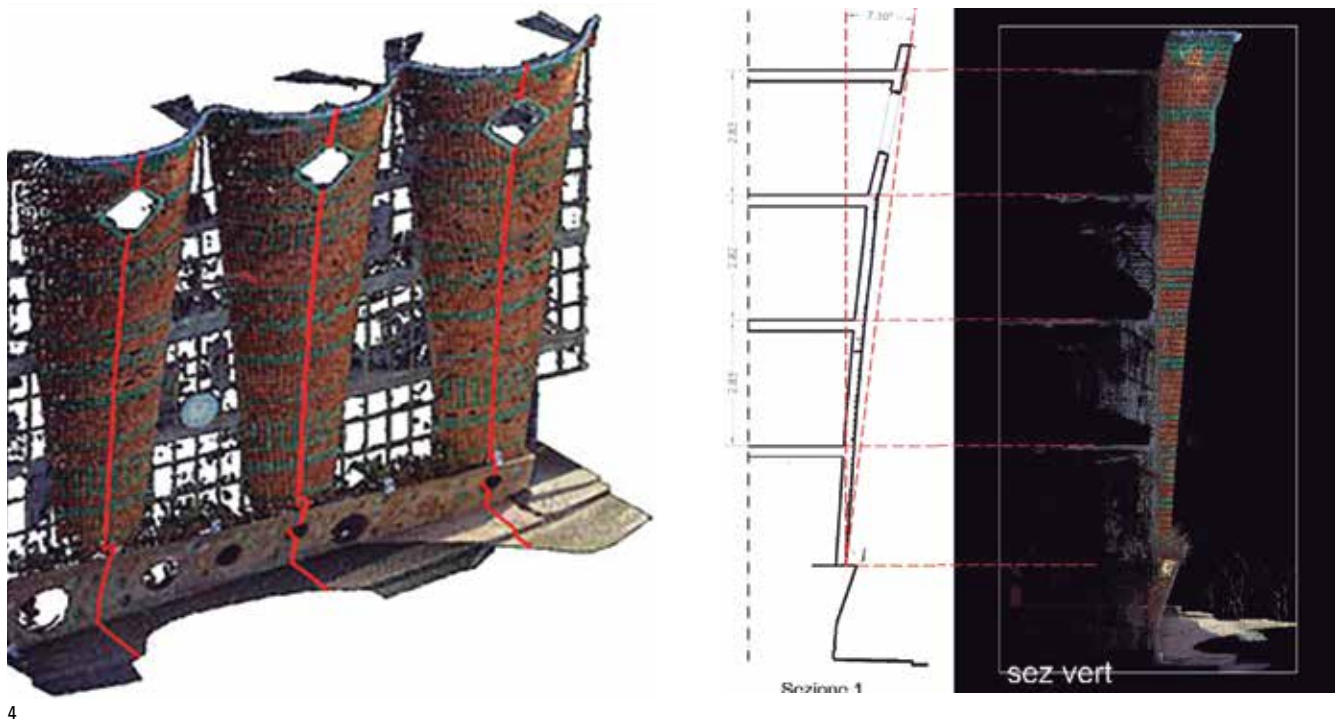
4. Muestra de estudio ubicación de las secciones verticales; sección vertical del relieve: del modelo experimental (derecha) al modelo matemático (izquierda)

3. Study sample. Axonometric views (alternatively orthogonal projections); a) Processing of coordinated points (Sw Cloud Computer) with PSG points value; b) Polygonal meshes; c) Texturized dot cloud integrated with the photo.

4. Study sample: location of vertical sections; vertical section of the relief: from the experimental model (right) to the mathematical model (left)

de modelos (LOD a partir de Nivel de desarrollo), de información gráfica (LOG a partir de Nivel de geometría) y de atributos (LOI a partir de Nivel de información) que deben contener los objetos mismos dentro del flujo de trabajo de diseño orientado a BIM. Cada nivel (de la letra A a la letra G) establece características y contenidos que los componentes deben ser manipulados paramétricamente (procesamiento de geometría 4).

Para insistir en el estudio de la morfología irregular de los once volúmenes (torres), que se proyectan en la fachada de la fábrica de Solimene, ya en fase de campaña, se han realizado escaneos de muy alta definición, tanto internos como externos, para recortar un área de muestra, es decir, tres elementos torre a la izquierda de la entrada principal de la fábrica (Fig. 3) (a,b,c a elegir entre vista ortogonal o axonométrica). La alta resolución permitió la reconstrucción detallada de las estructuras que se estaban examinando. Se han creado otras cajas de recorte (clipping box), para verificar, tanto en la fase de post-procesamiento de los datos como en el modelo completo, la correcta alineación de las nubes de puntos individuales.



4

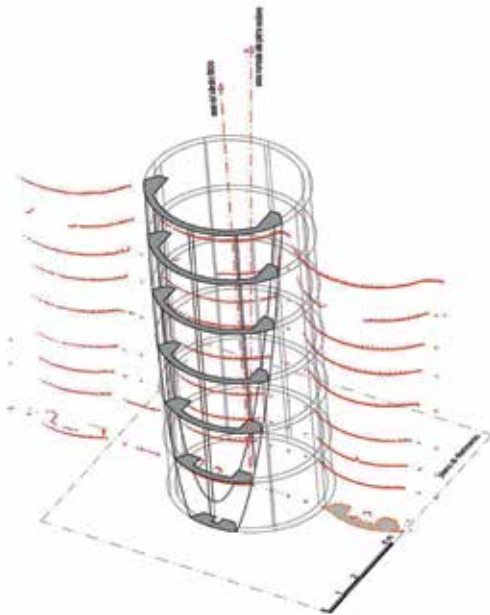
Se ha finalizado una primera elaboración para el cálculo de la inclinación de los tres elementos estructurales. Si en el porcentaje medio de inclinación de  $7^\circ$ . Se realizaron una serie de secciones horizontales con un intervalo de 2,00 metros desde el plano de referencia, situado en la parte superior de la base de hormigón, para comprobar la geometría con medidas directas obtenidas en el último nivel. Para ello, se seleccionó la primera de las tres torres: se realizó una malla triangular de toda la torre y el perfil vertical (Fig. 4), generado por la intersección de la superficie triangular con el plano de sección oblicua; una vez extraídas las nubes de puntos relativas a las secciones horizontales de la torre a las alturas de las cabezas (Fig. 5), se analizaron las secciones horizontales (Fig. 6a), se calcularon las variables, aunque fueran pequeñas, en función de la distancia desde el plano de referencia (Fig. 6b).

A partir de la integración de los datos obtenidos del procesamiento de las secciones verticales y horizontales, se describe el elemento principal de la fachada, para deducir como hipótesis que su mor-

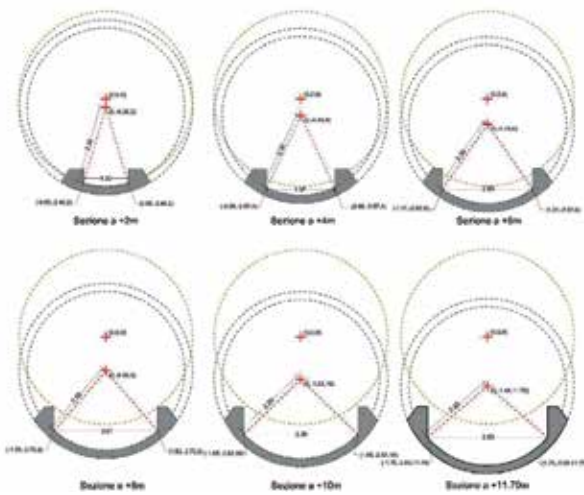
fología se obtiene idealmente intersectando un cilindro inclinado respecto al eje de  $7^\circ$  con el plano vertical que pasa en correspondencia de las ventanas. Es decir, el plano vertical ficticio, situado en el plano XZ de las ventanas, corta los cilindros ideales, generando los elementos compositivos de la fachada. La diferencia entre el modelo real (numérico experimental y el modelo ideal), se calculó con la ayuda de un software dedicado (Polyworks). Las herramientas específicas para la comparación de las superficies permitieron definir las distancias entre la superficie ideal del elemento estructural investigado y la superficie real. La comparación realizada, primero en el plano XY, se verificó en el espacio XYZ. Los datos se describen, o sea, se calculan y muestran, superponiendo las superficies y obteniendo el mapeo de las desviaciones para cada torre (Fig. 7), primero en referencia al plano vertical y horizontal y luego calculando las desviaciones en el espacio. Los histogramas respectivos representan las diferentes distancias medidas y la distancia obtenida del promedio de las me-

To insist on the study of the irregular morphology of the eleven volumes (towers), which are projected on the façade of the Solimene factory, already in the campaign phase, very high definition scans have been carried out, both internal and external, to cut out a sample area, that is, three tower elements to the left of the main entrance to the Fig. 3 factory (a,b,c to choose between orthogonal or axonometric view). The high resolution allowed detailed reconstruction of the structures being examined. Other clipping boxes have been created to verify, both in the post-processing phase of the data and in the complete model, the correct alignment of the individual point clouds.

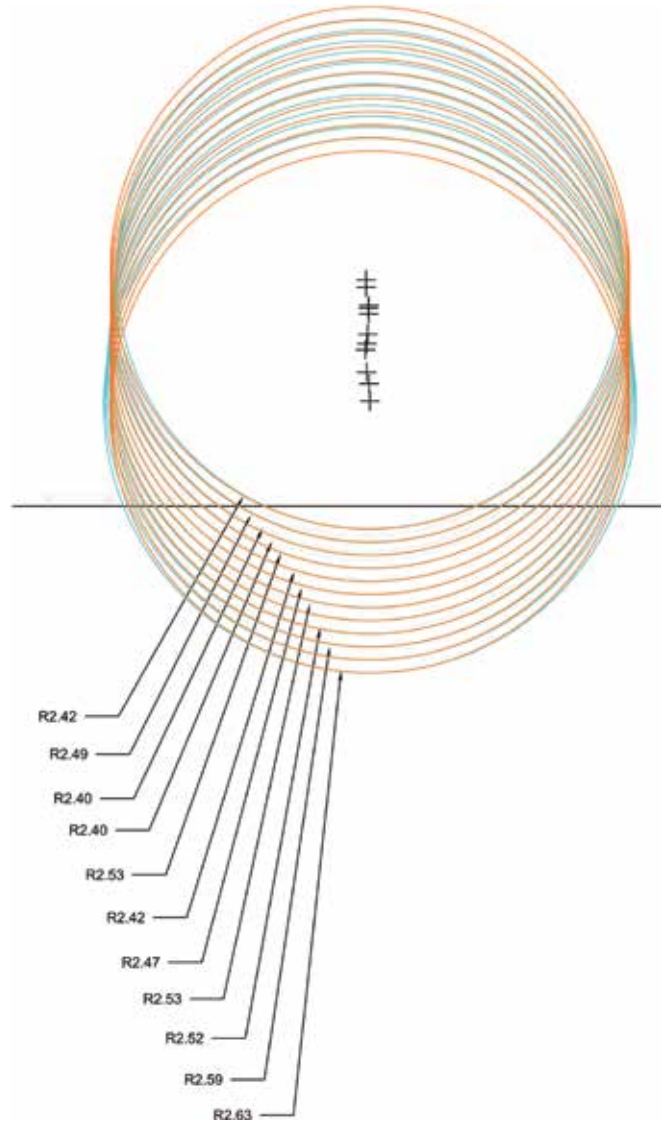
A first elaboration has been completed for the calculation of the inclination of the three structural elements. The average percentage of inclination was  $7^\circ$ . A series of horizontal sections were made with an interval of 2.00 meters from the reference plane, located at the top of the concrete base, to check the geometry with direct measurements obtained at the last level. For this purpose, the first of the three towers was selected: a triangular mesh of the whole tower and the vertical profile was made (Fig. 4), generated by the intersection of the triangular surface with the oblique section plane; once the clouds of points relative to the horizontal sections of the tower at the heights of the Fig. 5 heads were extracted, the horizontal sections were analysed (Fig. 6a), the variables, even if small, were calculated according to the distance



5



6a



6b

from the reference plane (Fig. 6b). From the integration of the data obtained from the processing of the vertical and horizontal sections, the main element of the façade is described, in order to deduce as a hypothesis that its morphology is obtained ideally by intersecting a cylinder inclined with respect to the axis of  $7^\circ$  with the vertical plane passing in correspondence with the windows. That is to say, the fictitious vertical plane, located in the XZ plane of the windows, cuts the ideal cylinders, generating the compositional elements of the façade. The difference between the real model (experimental numerical and the ideal model), was calculated with the help of a dedicated software (Polyworks). Specific tools for surface comparison made it possible to define the distances between the ideal surface of the structural element under

medidas. A partir del análisis del mapeo generado, la curvatura de las estructuras parece clara. Además, si echamos un vistazo a los mapas, es evidente que no son constantes para las tres torres. Un trabajo similar realizado ya no en los planos de sección horizontal y vertical sino en el space XYZ confirma la suposición (Fig. 9-8).

## Resultados

La línea de intersección no es una línea recta, sino una rama de elipse que roza los pilares. Los pilares insertados en la fachada entre las ventanas trapezoidales son, por tanto, inclinados hacia el exterior, mien-

tras que los suelos de vidrio son de plomo y, como tales, ortogonales a la geometría (plano de referencia xy). El plano de sección identificado por ellos es oblicuo respecto al eje del cilindro e inclinado  $7^\circ$ . Por lo tanto, si la línea generadora es un círculo, las líneas interceptadas por los pisos a diferentes alturas se elucidarán, aunque no sean muy pronunciadas debido a la ligera pendiente del eje del cilindro. Las fotografías en curso confirman su estructura, mostrando en cada nivel una losa curva que se proyecta progresivamente desde abajo hacia arriba. (Fig. 10. Foto: Ayano Atsumi y texto: DKT). Dado que la superficie de





5. Intersección de la banda de rodadura con la superficie poligonal: Extracción de los puntos de coordenadas (en rojo) Intersección del plano de corte medido objetivamente con el modelo ideal: un cilindro recto ortogonal al plano de referencia y un cilindro oblicuo de 7° respecto al mismo plano de referencia.

6. Extracción de las secciones horizontales: el perímetro externo se extrae de la nube de puntos y los rayos del modelo ideal Comparación

5. Intersection of the tread with the polygonal surface: Extraction of the coordinate points (in red) Intersection of the cutting plane measured objectively with the ideal model: a straight cylinder orthogonal to the reference plane and an oblique cylinder of 7° with respect to the same reference plane

6. Extraction of the horizontal sections: the external perimeter is extracted from the point cloud and the rays of the ideal model Comparison

los pilares no es lo suficientemente grande como para contener toda la tendencia de las curvas de intersección, se crean conflictos, que se resuelven durante el trabajo, reduciendo, en caso necesario, el radio del cilindro para evitar que la rama vertical de la curva de intersección salga del pilar oscilante. La albañilería cilíndrica en alzado está guiada por los bordes de las siguientes losas salientes, previamente construidas, que terminan directamente al lado de los pilares, como lo confirman las fotos de la obra. La forma cóncava de los perfiles es, por lo tanto, obligatoria

## Conclusiones

Paradójicamente, los estrechamientos de los elementos de fachada y los perfiles irregulares, similares a los “grandes macetas” colocados junto a la pared, requieren una atención especial, sobre todo con vistas a un proyecto de restauración. Por lo tanto, sería conveniente dotar al edificio de un modelo digital propio creado según el método B.I.M.

Esto permitiría gestionar un proceso digital útil para documentar el trabajo de Soleri a nivel mundial, centrandó la atención tanto en los aspectos arquitectónicos como en los de ingeniería. El ejemplo muestra que si la lógica (y el proceso de investigación racional), con la que analizar y dar forma a la arquitectura no ha cambiado, hay que reconocer que el método (o métodos) y los medios (o medios) con los que se buscan y comunican estas soluciones han cambiado progresivamente. La representación estructurada de los conocimientos técnicos relacionados con el proyecto, se basa en la objetividad de los datos situada en la base del modelo de información, a partir de la cual avanza el contexto operativo, donde se pueden sistematizar las competencias y aprovechar plenamente el potencial de desarrollo, ingeniería y gestión de proyectos/procesos integrados.

En esta perspectiva, la importancia de las tecnologías avanzadas asume el papel de catalizador para la organización de un flujo compartido e interoperable en el que:

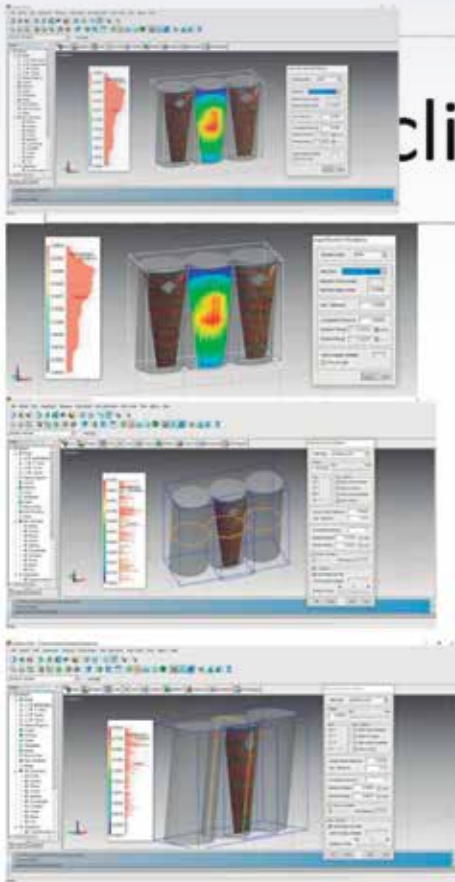
- integrar una pluralidad de enfoques para apoyar la investigación analítica de manera que el modelo 3D se convierta en un descriptor exhaustivo de la base de datos articulada subyacente, yendo más allá del carácter de una mera herramienta de interpretación;
- verificar los niveles de desarrollo para verificar la congruencia con los requisitos de documentación típicos de las especificaciones de la licitación, hasta la realización del prototipo que debe constituir todo el entorno de datos del proyecto. ■

investigation and the actual surface. The comparison made, first in the XY plane, was verified in the XYZ space. The data is described, i.e. calculated and displayed, superimposing the surfaces and obtaining the mapping of the deviations for each tower (Fig. 7), first in reference to the vertical and horizontal plane and then calculating the deviations in space. The respective histograms represent the different distances measured and the distance obtained from the average of the measurements. From the analysis of the mapping generated, the curvature of the structures seems clear. Moreover, if we look at the maps, it is evident that they are not constant for the three towers. A similar work done no longer on the horizontal and vertical section planes but on the space XYZ confirms the assumption (Fig. 9-8).

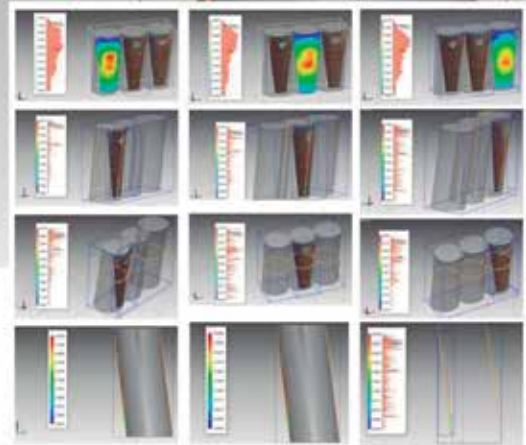
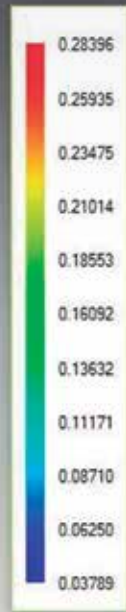
## Results

The intersection line is not a straight line, but an ellipse branch rubbing against the pillars. The pillars inserted in the façade between the trapezoidal windows are therefore inclined towards the outside, while the glass floors are made of lead and, as such, orthogonal to the geometry (reference plane xy). The section plane identified by them is oblique to the axis of the cylinder and inclined 7°. Therefore, if the generating line is a circle, the lines intercepted by the floors at different heights will elude each other, even if they are not very pronounced due to the slight slope of the axis of the cylinder. The photographs in progress confirm their structure, showing at each level a curved slab that is progressively projected from the bottom up. (Fig. 10. Photo: Ayano Atsumi and text: DKT). Since the surface of the pillars is not large enough to contain all the tendency of the intersection curves, conflicts are created, which are resolved during the work, reducing, if necessary, the radius of the cylinder to prevent the vertical branch of the intersection curve from leaving the oscillating pillar. Cylindrical masonry in elevation is guided by the edges of the following protruding slabs, previously constructed, which end directly next to the pillars, as confirmed by the photos of the work. The concave shape of the profiles is therefore obligatory.

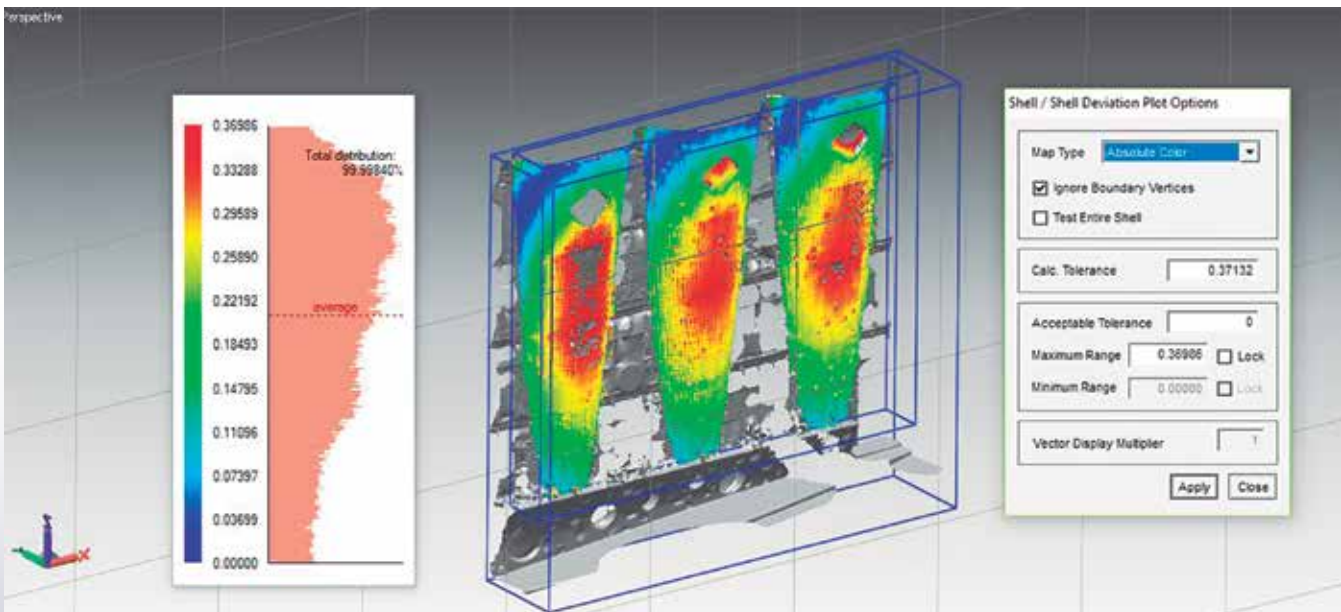




cli



WHOLE AND SECTION DEVIATION





**7. Estudio detallado de las desviaciones del modelo de las tres torres examinadas**

**8. Identificación de las diferencias entre el modelo experimental (numérico) y el modelo ideal (matemático). En el espacio y en el plano Verificación en el plano vertical**

**7. Detailed study of the model deviations of the three towers examined**

**8. Identification of the differences between the experimental model (numerical) and the ideal model (mathematical). In space and in the plane Verification in the vertical plane**

**Notas**

1/ Cámara métrica de alta definición incorporada (> 6 MP); Antena GPS incorporada; Alta capacidad de captura de voz: mín. 976.000 pti/seg; Ángulos de exploración: 360° horizontal - 300° vertical.

2/ Hay una serie de errores de interpretación en ausencia de la visión binocular, así como los generados por la imposibilidad de extender la fotografía sobre el modelo, cuando la perspectiva del modelo no coincide con la de la fotografía.

3/ En la literatura hay varias técnicas para formar una superficie 3D a partir de una nube de puntos. Entre las más famosas se encuentra la triangulación de Delaunay, que construye una red de triángulos que usan los puntos de la nube como vértices o técnicas que siguen un enfoque volumétrico como los cubos en marcha (o "marching cubes").

4/ En particular, UNI 11337:2017-4 define el concepto de niveles de desarrollo de modelos (LOD a partir de Nivel de desarrollo), de información gráfica (LOG a partir de Nivel de geometría) y de otros atributos. (LOI a partir de Nivel de información) que deben contener los objetos mismos dentro del flujo de trabajo del proyecto orientado a BIM.

**Referencias**

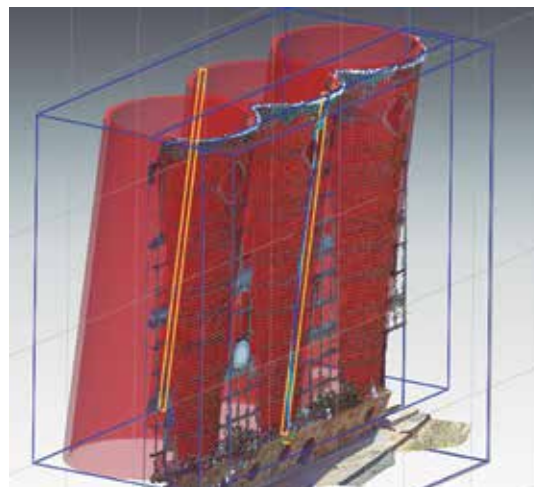
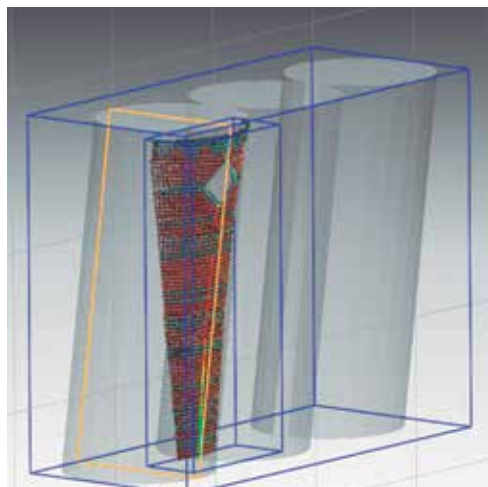
- ABBATE C., SPINA M., ZEVI A. (a cura di) 2010. Una guida all'Architettura frugale. Iacobelli editore 182 p.
- AEC (UK) B.I.M. protocols.
- AIA E202-2008: B.I.M. Protocol Exhibit.

- AMOR VACUI STUDIO, 2015. <http://www.amorvacui.org/restauro-della-fabbrica-di-ceramiche-solimene>
- ARAYICI, Y (2009). Towards building information modelling for existing structures. In Structural Survey, vol. 26, n. 3, pp. 210-222.
- BARTOLUCCI, D. Bartolucci 2009. Principi di laser scanning 3D Hardware - Metodologie applicative - Esempi Palermo: Editore: Flaccovio, D., p136 EAN:9788877588623
- BENEDETTI, B., et al. (2011). Modelli digitali 3D in archeologia: il caso di Pompei. Pisa: Scuola Normale Superiore.
- BRUJIC, D. RISTIC, M., AINSWORTH, I. (2002). Measurement-based modification of NURBS surfaces. In Computer-Aided Design, n. 24, pp. 173-183.
- DORE, C., MURPHY, M., MCCARTHY, S., BRECHIN, F., CASIDY, C., DIRIX, E., 2015. Structural Simulations and Conservation Analysis -Historic Building Information Model (HBIM). The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Volume XL-5/W4, pp. 351-357.
- EASTMAN, C. (2008). BIM Handbook: A Guide to Building Information Modeling for Owners, Managers, Designers, Engineers and Contractors. New York: John Wiley & Sons.
- GUIDI, G. et al. (2010). Acquisizione 3D e modellazione poligonale. Milano: McGraw-Hill. Historic England. 2017. S.v. B.I.M. for Heritage Developing a Historic Building
- HU, S.M., LI, Y.F., JU, T., ZHU, X., 2001. Modifying the shape of NURBS surfaces

**Conclusions**

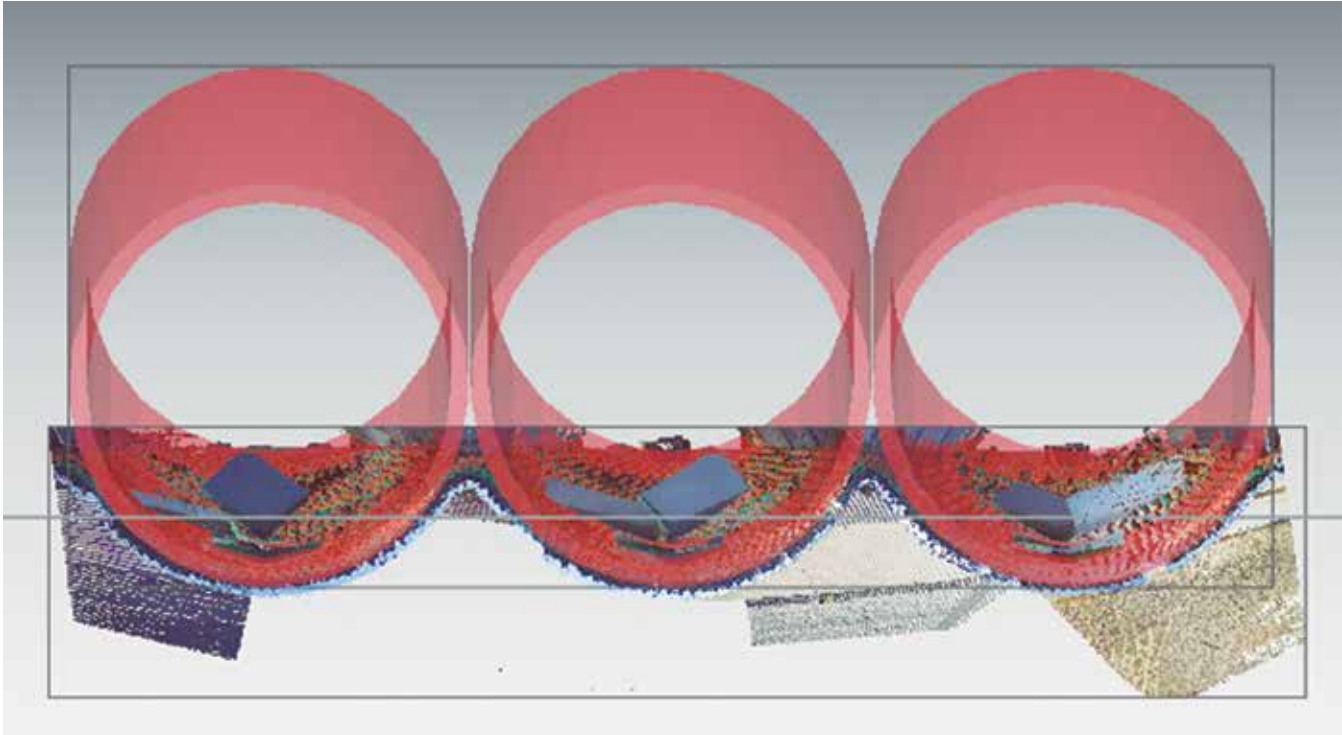
Paradoxically, the narrowness of the façade elements and the irregular profiles, similar to the "large flowerpots" placed next to the wall, require special attention, especially with a view to a restoration project. Therefore, it would be convenient to provide the building with its own digital model created according to the B.I.M. method. This would make it possible to manage a digital process useful for documenting Soleri's work worldwide, focusing on both architectural and engineering aspects. The example shows that if the logic (and the rational research process) with which to analyze and shape architecture has not changed, it must be recognized that the method (or methods) and the means (or means) by which these solutions are sought and communicated have progressively changed. The structured representation of the technical knowledge related to the project is based on the objectivity of the data at the base of the information model, from which the operational context advances, where competencies can be systematized and the full potential of the project can be exploited. In this perspective, the importance of advanced technologies assumes the role of catalyst for the organization of a shared and interoperable flow in which:

- integrate a plurality of approaches to support analytical research so that the 3D model becomes an exhaustive descriptor





9. Identificación de las diferencias entre el modelo experimental (numérico) y el modelo ideal (matemático) En el espacio y en la planificación  
Verificación en el plano horizontal  
10. Obra en construcción



9a

of the underlying articulated database, going beyond the character of a mere interpretation tool;

- verify development levels to verify congruence with the typical documentation requirements of the tender specifications, up to the realization of the prototype that should constitute the entire project data environment. ■

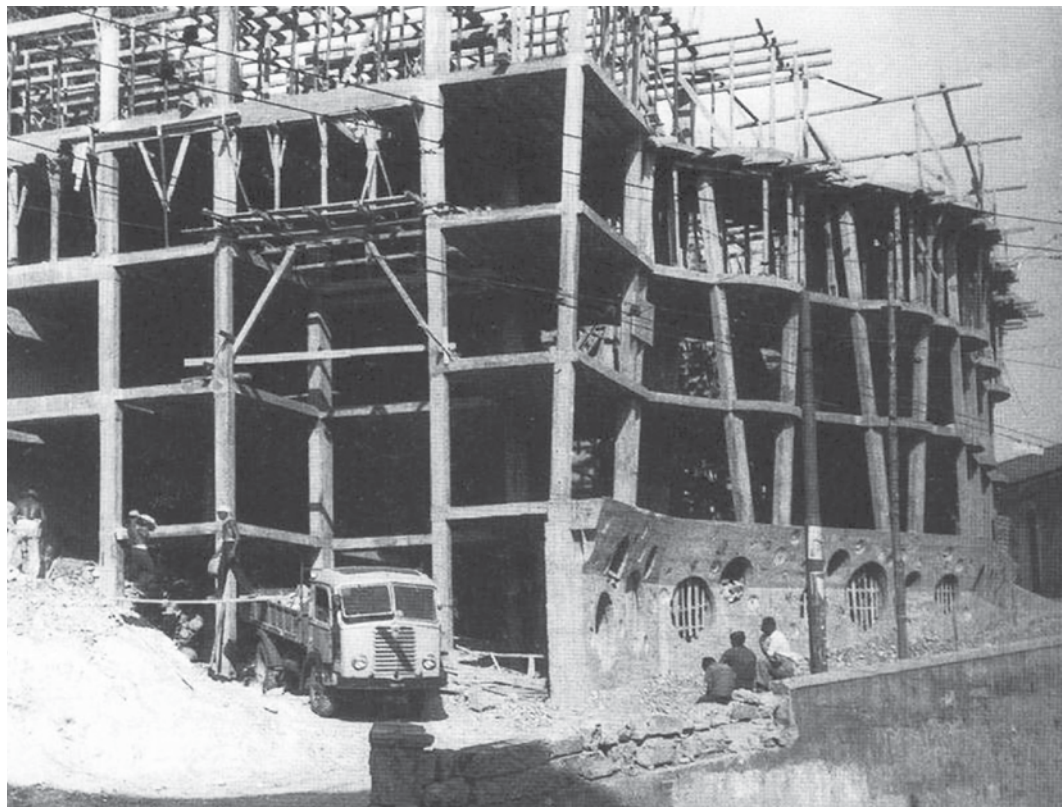
#### Notes

**1** / Built-in high-definition metric camera (> 6 MP); Built-in GPS antenna; High acquisition rate: min. 976,000 pti/sec; Scanning angles: 360° horizontal - 300° vertical

**2** / There are a number of errors of interpretation in the absence of binocular vision, as well as those generated by the impossibility of spreading the photograph on the model when the perspective of the model does not coincide with that of the photograph.

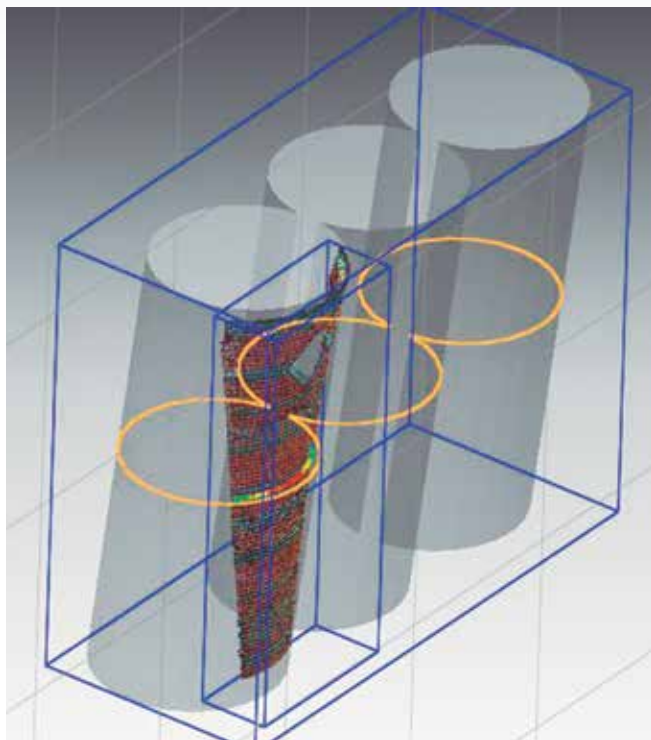
**3** / In the literature there are several techniques to form a 3D surface from a point cloud. Among the most famous are the triangulation of Delaunay, which builds a grid of triangles that have the points of the cloud as vertices or techniques that follow an approach volumetrico-co as that of marching cubes.

**4** / In particular, UNI 11337:2017-4 defines the concept of model development levels (LOD from Level of development), of graphic information (LOG from Level of geometry) and of other attributes (LOI from Level of information) that must contain the objects themselves within the BIM oriented project workflow.

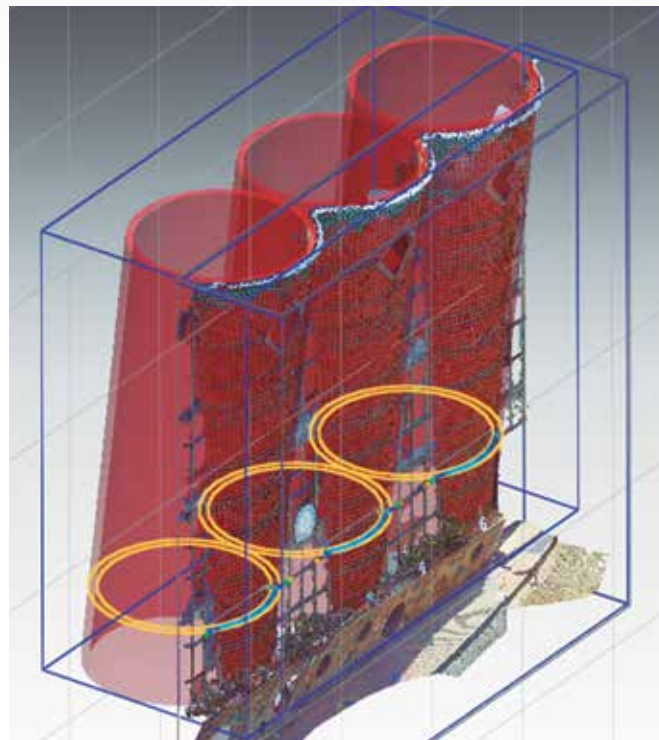




- 9. Identification of the differences between the experimental model (numerical) and the ideal model (mathematical) In space and in planning Verification in the horizontal plane
- 10. Work in progress



9b



9c

with geometric constraint. *Computer-Aided Design*, 33, 903-912.

- KARMAZYN, H. (2017). Dal modello sperimentale al modello matematico. Tesi di laurea "Ingegneria civile Edile Ambientale. SUN Dipartimento DICDEA, relatore Rossi, A..
- MIGLIARI, R. (a cura di). (2004). *Disegno come Modello*. Roma: Edizioni Kappa.
- ROSSI A., (1995). *Dal vaso all'Architettura della ceramica. Il disegno luogo e memoria*. Firenze: Alinea, 1995, p. 360-367. ISBN: 8881250349.
- ROSSI A., PALMERO L., DE GREGORIO, S. (2018), *EGA. Espression Grafica Arquitectónica n°32* pp.186-197.
- TANG, P., HUBER, D., AKINCI, B., LIPMAN, R., LYTTLE, A. (2010). Automatic reconstruction of as-built building information models from laser-scanned point clouds: A review of related techniques. *Automation in Construction*, 19, pp.829-843.
- UNI 11337, 2017 *Edilizia e opere di ingegneria civile. Gestione digitale dei processi informativi*.
- ZEVI, B. 1955 - 1960, Zevi B., (1960). *Storia dell'architettura moderna*. Torino: Einaudi, 2010, Vol. 2, 725 p. ISBN: 8806206052.

#### References

- ABBATE C., SPINA M., ZEVI A. (a cura di) 2010. *Una guida all'Architettura frugale*. Iacobelli editore 182 p.
- AEC (UK) B.I.M. protocols.
- AIA E202-2008: B.I.M. Protocol Exhibit.
- AMOR VACUI STUDIO, 2015. <http://www.amorvacui.org/restauro-della-fabbrica-di-ceramiche-solimene>
- ARAYICI, Y (2009). Towards building information modelling for existing structures. In *Structural Survey*, vol. 26, n. 3, pp. 210-222.
- BARTOLUCCI, D. BARTOLUCCI 2009. *Principi di laser scanning 3D Hardware - Metodologie applicative* - Esempi Palermo: Editore: Flaccovio, D., p136 EAN:9788877588623
- BENEDETTI, B., et al. (2011). *Modelli digitali 3D in archeologia: il caso di Pompei*. Pisa: Scuola Normale Superiore.
- BRUJIC, D. RISTIC, M., AINSWORTH, I. (2002). Measurement-based modification of NURBS surfaces. In *Computer-Aided Design*, n. 24, pp. 173-183.
- DORE, C., MURPHY, M., MCCARTHY, S., BRECHIN, F., CASIDY, C., DIRIX, E., 2015. *Structural Simulations and Conservation Analysis -Historic Building Information Model (HBIM)*. The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Volume XL-5/W4, pp. 351-357.
- EASTMAN, C. (2008). *BIM Handbook: A Guide to Building Information Modeling for Owners,*

*Managers, Designers, Engineers and Contractors*. New York: John Wiley & Sons.

- GUIDI, G. et al. (2010). *Acquisizione 3D e modellazione poligonale*. Milano: McGraw-Hill.
- Historic England. 2017. S.v. B.I.M. for Heritage Developing a Historic Building
- HU, S.M., LI, Y.F., JU, T., ZHU, X., 2001. Modifying the shape of NURBS surfaces with geometric constraint. *Computer-Aided Design*, 33, 903-912.
- KARMAZYN, H. (2017). Dal modello sperimentale al modello matematico. Tesi di laurea "Ingegneria civile Edile Ambientale. SUN Dipartimento DICDEA, relatore Rossi, A..
- MIGLIARI, R. (a cura di). (2004). *Disegno come Modello*. Roma: Edizioni Kappa.
- ROSSI A., (1995). *Dal vaso all'Architettura della ceramica. Il disegno luogo e memoria*. Firenze: Alinea, 1995, p. 360-367. ISBN: 8881250349.
- ROSSI A., PALMERO L., DE GREGORIO, S. (2018), *EGA. Espression Grafica Arquitectónica n°32* pp.186-197.
- TANG, P., HUBER, D., AKINCI, B., LIPMAN, R., LYTTLE, A. (2010). Automatic reconstruction of as-built building information models from laser-scanned point clouds: A review of related techniques. *Automation in Construction*, 19, pp.829-843.
- UNI 11337, 2017 *Edilizia e opere di ingegneria civile. Gestione digitale dei processi informativi*.
- ZEVI, B. 1955 - 1960, Zevi B., (1960). *Storia dell'architettura moderna*. Torino: Einaudi, 2010, Vol. 2, 725 p. ISBN: 8806206052.