

Artículo

## La cubierta del Gran Salón del Triunfo de Castel Nuovo: ¿bóveda de crucería o cúpula semiesférica?

*The coverage of the Grand Hall of Triumph of Castel Nuovo: ribbed vault or hemispherical dome?*

Luisa Del Giudice<sup>1</sup>, Raffaele Amore<sup>2</sup>

<sup>1</sup> PhD Student - Specializing student at the School of Specialization in Architectural Heritage and Landscape

Sapienza University of Rome - University of Naples Federico II  
isa.delgiudice@gmail.com

<sup>2</sup> Assistant Professor

University of Naples Federico II

<https://orcid.org/0000-0002-7766-4660>



### Resumen/Abstract

<https://doi.org/10.56205/mim.4-2.18>

Recibido

23/07/23

Aprobado

04/12/23

Publicado

07/15/24

*La cubierta de la Gran Sala del Triunfo, diseñada y construida por Guglielmo Sagrera a mediados del siglo XV, es uno de los elementos arquitectónicos más representativos de Castel Nuovo en Nápoles. Ha sido objeto de numerosos estudios que siempre la han clasificado como una “bóveda nervada de inspiración gótico-catalana”.*

*Este trabajo es una parte significativa de una serie de estudios e investigaciones realizados en los últimos años que tienen como objetivo comprender el funcionamiento estático real de la cubierta y, por lo tanto, demostrar que se trata de una cúpula hemisférica parcialmente extradosada, cortada por ocho nervios con perfil agudo.*

Mimesis.jsad  
ISSN 2805-6337



EDITORIAL  
Environment & Technology  
Foundation

*The coverage of the Great Hall of Triumph, designed and built by Guglielmo Sagrera in the mid-15th century, is among the most representative architectural elements of Castel Nuovo in Naples. It has been the subject of numerous studies that have consistently classified it as a “ribbed vault inspired by Gothic-Catalan design.”*

*This contribution is a significant part of a series of studies and research conducted in recent years, aiming to understand the actual static functioning of the covering and, consequently, to demonstrate that it is a partially extradosed hemispherical dome, intersected by eight ribs with a pointed hexagonal profile.*



**Palabras clave:** HBIM; modelado; punto de nube; restauracion.

**Key words:** HBIM; modeling; point cloud; conservation.

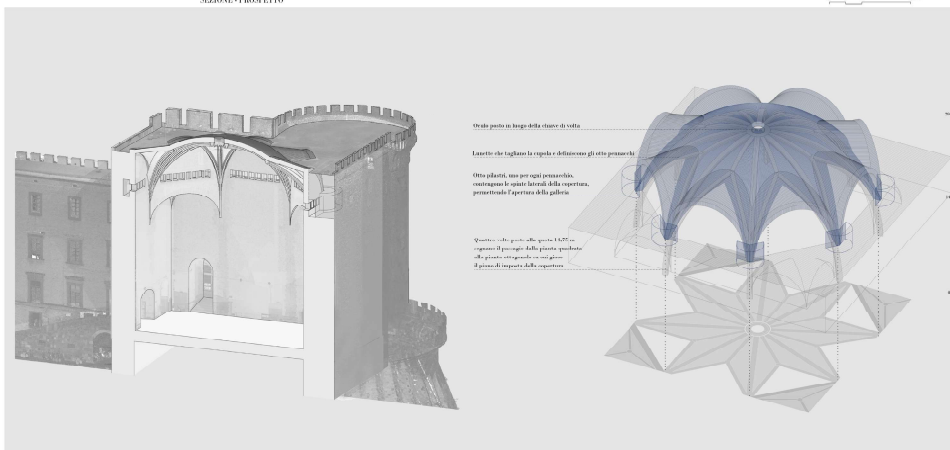
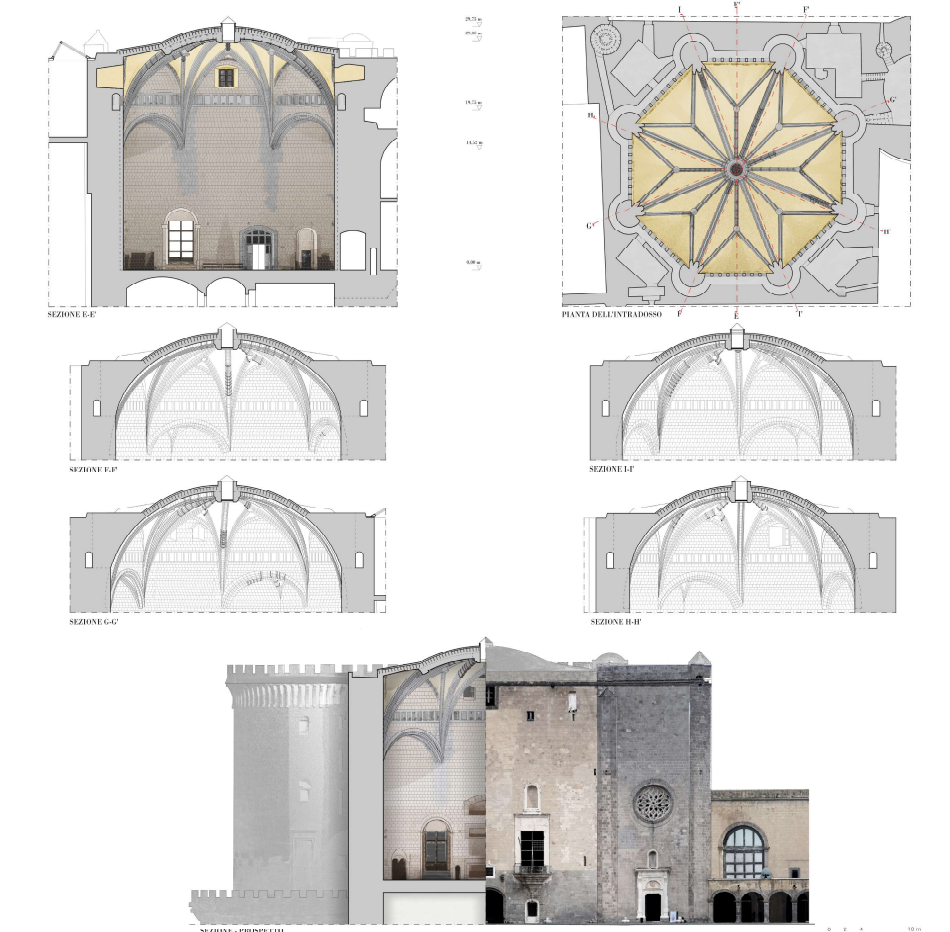
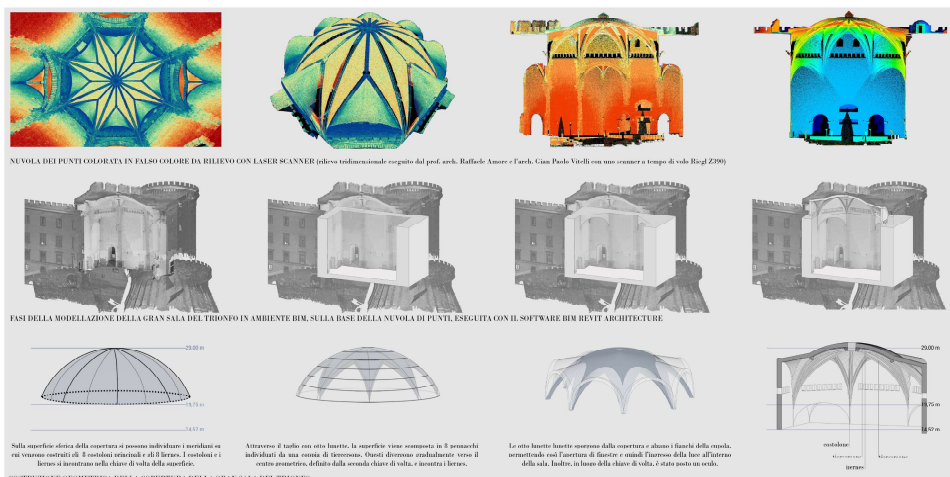


Figura 1. Contenuto grafico del panel espositivo del evento 3EXPit. Autores: L. Del Giudice., R. Amore, 2023. Università degli Studi di Napoli Federico II

### *Introducción*

Este trabajo está dedicado al levantamiento y modelado tridimensional de la cubierta de la Gran Sala del Triunfo de Castel Nuovo, realizada por Guglielmo Sagrera alrededor de mediados del siglo XV. En la literatura científica existente, la mencionada cubierta siempre se describe como una “bóveda de nervios de inspiración gótico-catalana”. Sin embargo, al observar sus nervios, “se observa la presencia de múltiples abrazaderas y grapas metálicas que envuelven los elementos pétreos, colocados durante las restauraciones del siglo XX. Esto destaca que, al menos desde la realización de dichas intervenciones, en lugar de absorber las cargas de las velas, los nervios están sujetos a ellas” (Amore, 2020).

A partir de esta observación, como parte de una serie más amplia de estudios destinados a identificar el verdadero modelo estructural de la cubierta mediante una modelización de elementos finitos, aquí se presentan los resultados del levantamiento tridimensional realizado y del correspondiente modelo digital creado en el entorno BIM Revit. El trabajo de modelado realizado ha resultado ser muy útil para definir de manera inequívoca la forma real de la cubierta y respaldar la hipótesis de que es una cúpula hemisférica con claves “unghiata”, parcialmente extradada, hipótesis confirmada por el análisis estructural mencionado realizado de manera paralela.

### *La Sala del Triunfo*

Los trabajos para la construcción de la sala comenzaron en 1452, durante el reinado de Alfonso de Aragón, según el proyecto de Guglielmo Sagrera, y terminaron alrededor de 1457.

La cubierta siempre ha sido considerada como una bóveda nervada de derivación gótica, a pesar de sus proporciones “clásicas” (Amore, 2020; Buccaro, 2020) destacadas por algunos autores, como Filangieri (Filangieri, 1928) y Pane (Pane, 1975). Los numerosos estudios existentes se han centrado principalmente en aspectos formales, con poca atención a los estructurales (Cocchiarella, 1999).

El espacio tiene una planta cuadrada con un lado de 26,00 m y una altura en el intradós de aproximadamente 29,00 m. A una altura de 14,52 m se encuentra el nivel de arranque de los cuatro arcos rebajados que cortan el cuadrado base en las esquinas, generando el octágono regular que define el nivel de arranque de la cubierta. Las nervaduras se insertan directamente en las paredes verticales, aproximadamente 2,00 m más alto que el nivel de arranque de los arcos, creando espacio para una galería a una altura de aproximadamente 20,00 m. Ocho pilares de piperno ubicados en las esquinas del octágono, dentro de la galería mencionada, agrandan la sección de la pared sobre la cual descansa la cubierta, soportando así sus empujes. La superficie del intradós de la estructura corresponde a media esfera, y en lugar de la clave de bóveda, hay un óculo hecho de piperno (Figura 2). Con la caída de la monarquía aragonesa, la Gran Sala del Triunfo perdió su función original y fue utilizada durante mucho tiempo como armería.

En 1919, sufrió un violento incendio que causó daños significativos, documentados en fotografías publicadas por Calzecchi Onesti en un artículo de 1925; estas fotos destacan, entre otras cosas, la estructura muraria del intradós de la cubierta (figura 2). En 1930, la Sala fue nuevamente dañada por un terremoto; entre 1931 y 1934, fue restaurada por la Soprintendenza local. Los trabajos incluyeron los aparatos escultóricos de los portales, los elementos decorativos y las paredes internas. En cuanto a las estructuras de la cubierta, se integraron y reemplazaron muchos sillares pétreos de los nervios, y se colocaron varias docenas de grapas y

pernos metálicos, que, según su ejecución, tenían y tienen la función de evitar el desprendimiento y la caída hacia abajo de sillares individuales o partes de ellos. Es evidente que, si esta interpretación es correcta, los nervios de piperno nunca tuvieron la función de transmitir el peso de las velas a las paredes circundantes, como ocurre con las bóvedas nervadas; más bien, parecen ser independientes de la estructura superior, tanto que, para evitar su caída, se han conectado a ella mediante las mencionadas grapas y pernos metálicos (Amore, 2020).

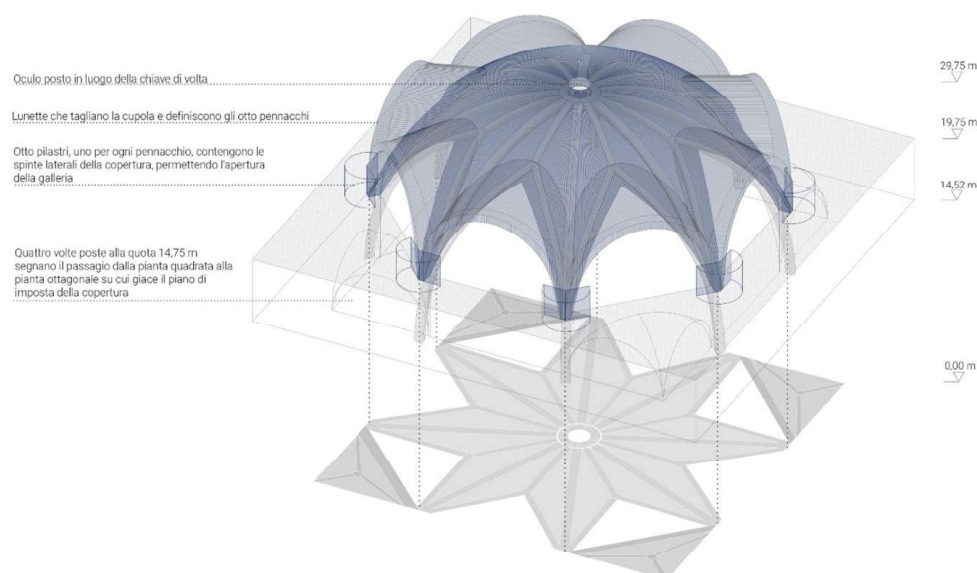


Figura 2. Esquemática volumétrica de la cubierta de la Gran Sala del Triunfo. Modelado en entorno BIM basado en un levantamiento con escáner láser de 2021. Procesamiento e imagen de los autores.

Después de la Segunda Guerra Mundial, se utilizó como sala de consejo del Ayuntamiento de Nápoles y fue objeto de nuevos trabajos de consolidación debido a los daños causados por el terremoto de 1980. En particular, en esa ocasión, se consolidó la bóveda superior mediante la construcción de una losa de hormigón armado con malla electrosoldada  $\varphi 5/10$  en la parte extradada. Se realizó un cordón de hormigón armado a nivel de horizontalización de la cubierta y se realizaron otros trabajos en los nervios, donde se insertaron tirantes de acero inoxidable  $\varphi 10$  inyectados con resina epoxi en cada sillar (Figura 3).

### *El levantamiento y modelado*

La representación del estado actual de la Gran Sala implicó la modelación tridimensional mediante el uso de técnicas de representación digital basadas en la tecnología BIM (Modelado de Información para la Construcción). El cual, contiene información geométrica y material, y está compuesto por elementos modelados paramétricamente e interconectados entre sí. Este es una herramienta con enormes potencialidades que ahora se utiliza cada vez más en nuevas construcciones, también en relación con las disposiciones legislativas sobre obras públicas (Decreto BIM D.M. 560/2017 actualizado con el D.M. 312/2021; Código de Contratación D.lgs. 36/2023), aunque aún presenta dificultades cuando se aplica al patrimonio histórico-arquitectónico. Las características geométricas y constructivas de estos edificios no siempre permiten el uso de objetos predefinidos en las bibliotecas BIM, lo que complica la modelación paramétrica típica, en este caso, se habla de HBIM (Murphy, McGovern, Pavia, 2009). En el caso específico del estudio de caso en cuestión, las características geométricas de la estructura requirieron el uso de dos enfoques diferentes. Se utilizó tanto la modelación paramétrica, partiendo de familias existentes o creando nuevas, como la

modelación local, que permite trabajar directamente en el proyecto. La modelación se llevó a cabo sobre la base de una nube de puntos obtenida a través de un cuidadoso levantamiento tridimensional realizado por el arquitecto Gianpaolo Vitelli y el profesor arquitecto Raffaele Amore, con un escáner de vuelo Riegl Z390. La nube se limpió manualmente (Figura 4), se filtró (sistema de filtrado OCTREE con celdas de 2 cm) y luego se procesó con Autodesk ReCap360 para hacerla compatible con el software BIM Revit Architecture (Figura 5). Una vez importada la nube y definidos los planos de trabajo, se procedió con la modelación de los elementos individuales. Se crearon muros y horizontes modificando parámetros de familias existentes.

Las cuatro bóvedas triangulares en los vértices de la Sala se realizaron por ‘sustracción’ entre un objeto de corte paramétrico, correspondiente al intradós, y un objeto de la familia ‘suelo’, previamente colocado en el plano de arranque. Mediante los parámetros establecidos, fue posible controlar la altura del arco y del arranque, así como la profundidad del corte. Para la cubierta, se consideraron por separado los elementos que la componen. Para la cúpula, se partió de la superficie, generando un ‘modelo genérico métrico adaptativo’: se modelaron paramétricamente tanto el volumen principal como los cortes en correspondencia con las existentes lunetas. La superficie obtenida, coincidente con el intradós de la cúpula medido con el escáner láser, se importó al proyecto, se posicionó mediante el uso de puntos adaptativos y, mediante el comando ‘techo desde superficie’, se generó una nueva familia de cubiertas. Para las lunetas y los nervios, se optó por la ‘modelación local’. Utilizando el comando ‘extrusión a lo largo de la trayectoria’, fue posible seleccionar con precisión las trayectorias en la superficie de la cúpula.

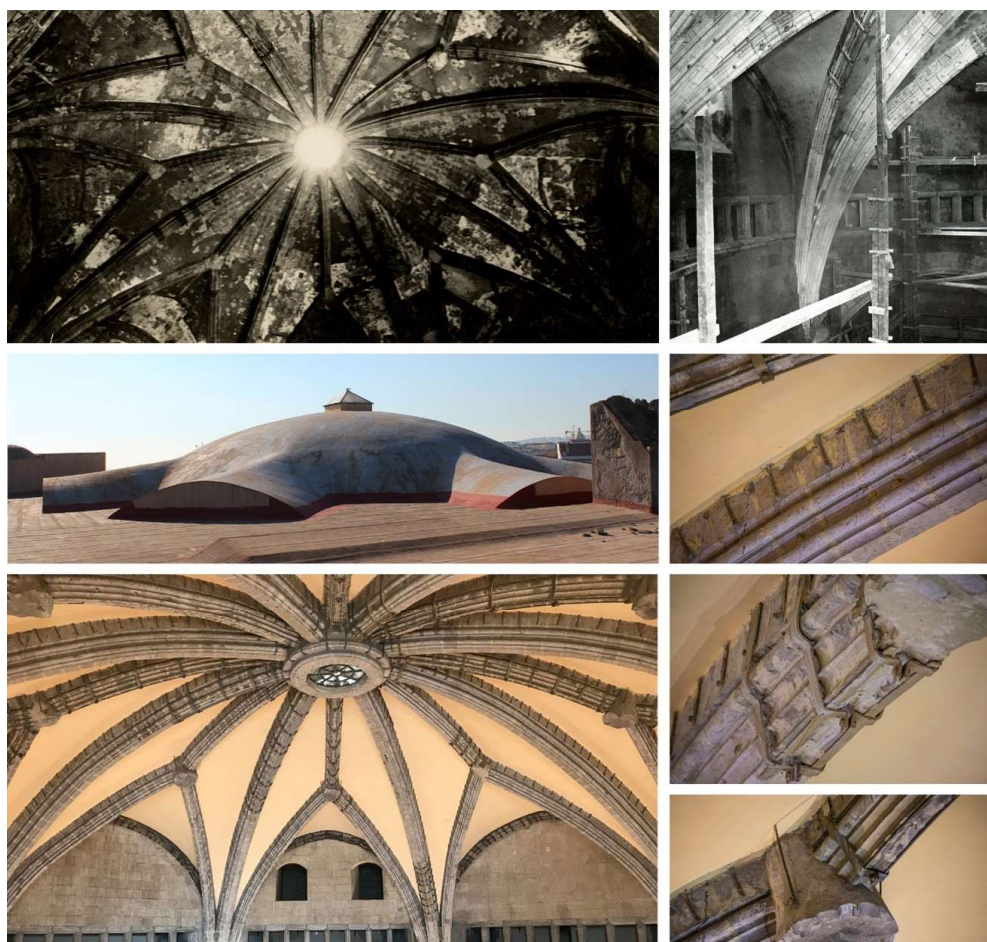
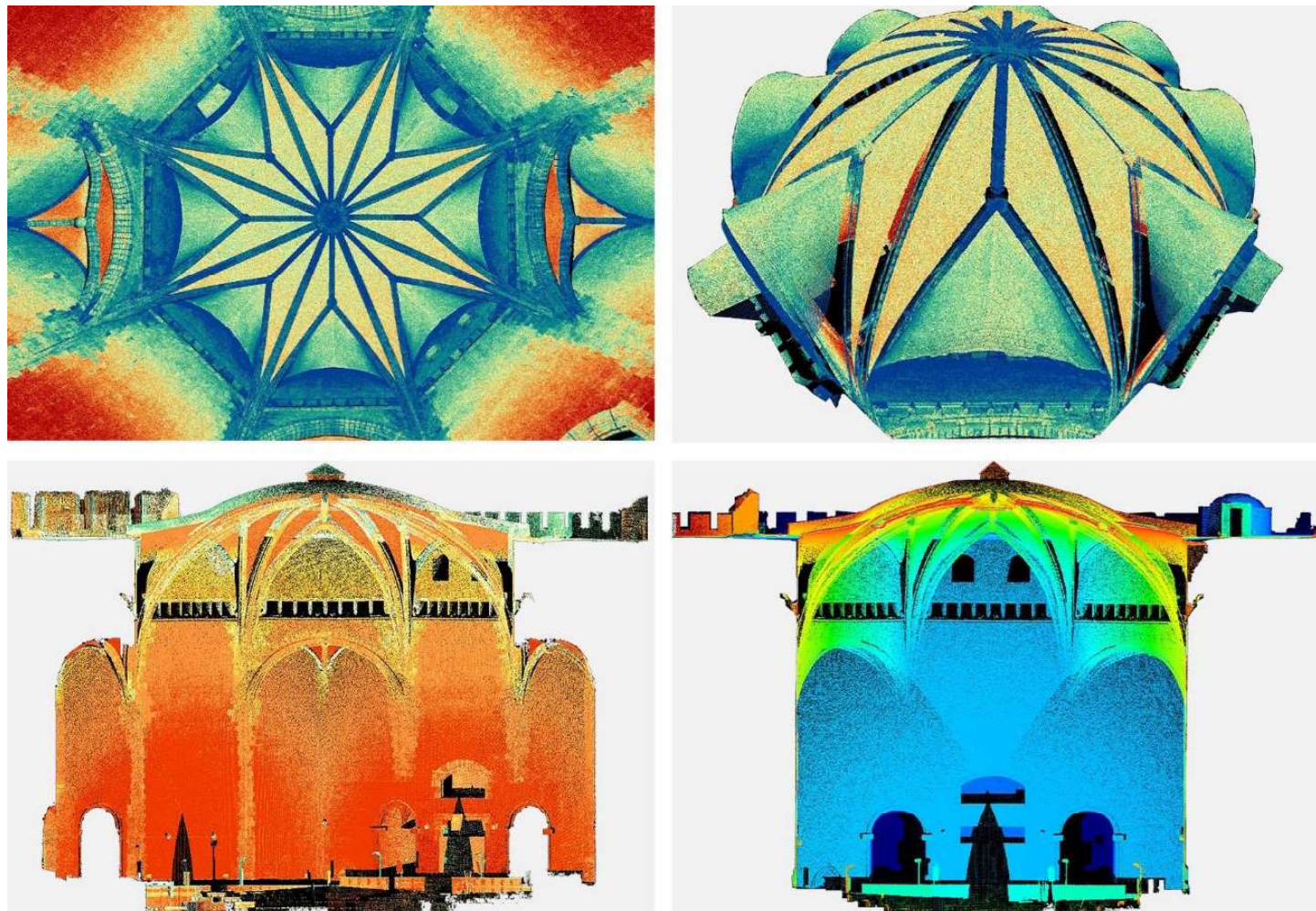


Figura 3. Arriba a la izquierda: vista del intradós de la cubierta de la Sala después del incendio de 1919 (Calzecchi Onesti, 1925: 373). Arriba a la derecha: imágenes de la Sala durante las intervenciones de restauración del siglo XX (Archivo fotográfico SABAP-NA). Abajo: 2019, extradós e intradós de la cúpula, detalles de los nervios, imágenes de los autores.

La nube también se importó al entorno CAD para la realización de dibujos bidimensionales. Se prestó especial atención al rediseño de los nervios: se realizó una sección en cada nervio principal para poder detallar la posición de los sillares, las abrazaderas, los pernos metálicos y cualquier deformación existente.



### Conclusiones

Este trabajo forma parte de una serie de investigaciones basadas en los recientes estudios publicados por el Prof. Raffaele Amore y el Prof. Alfredo Buccaro, que han abordado los aspectos histórico-arquitectónicos de la cubierta de la Gran Sala del Triunfo en Castelnuovo, Nápoles (Amore, 2020; Buccaro, 2020).

La metodología aplicada ha llevado a la elaboración de un modelo geométrico completo y fiable, que devuelve con un alto grado de precisión la configuración espacial de la sala. El trabajo de modelado fue necesario para realizar el estudio geométrico de la cubierta, fundamental también para comprender su comportamiento estructural. No es casualidad que, paralelamente a la restitución del levantamiento, se haya llevado a cabo una investigación estructural en el modelo elaborado, mediante el análisis estático lineal por elementos finitos realizado con el software DIANA FEA en colaboración con el Prof. Ing. Gian Piero Lignola. Este análisis confirmó la hipótesis inicial, es decir, que la estructura de la Gran Sala del Triunfo de Castel Nuovo no es una bóveda estrellada, sino una cúpula “unghiata”. De hecho, el análisis realizado demostró que la cubierta tiene un comportamiento de tipo membranoso. El comportamiento estático correcto no depende, por lo tanto, de los nervios, sino de la propia geometría de la cúpula, cuya curvatura es suficiente para garantizar la correcta distribución de las cargas.

Figura 4. Nube de puntos obtenida con escaneo láser, coloreada en falso color. Levantamiento tridimensional realizado por el Prof. Arq. Raffaele Amore y el Arq. Gian Paolo Vitelli con un escáner de vuelo Riegl Z390. Procesamiento e imágenes de los autores.

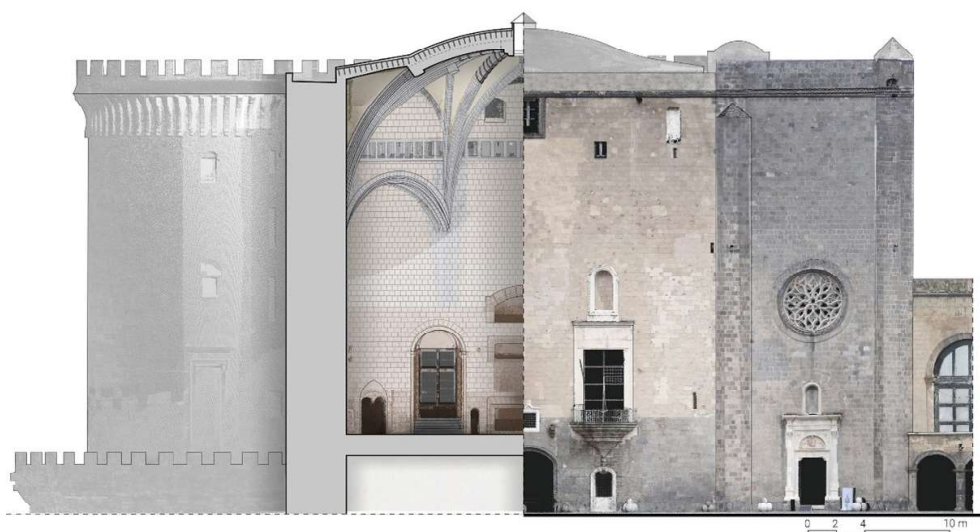
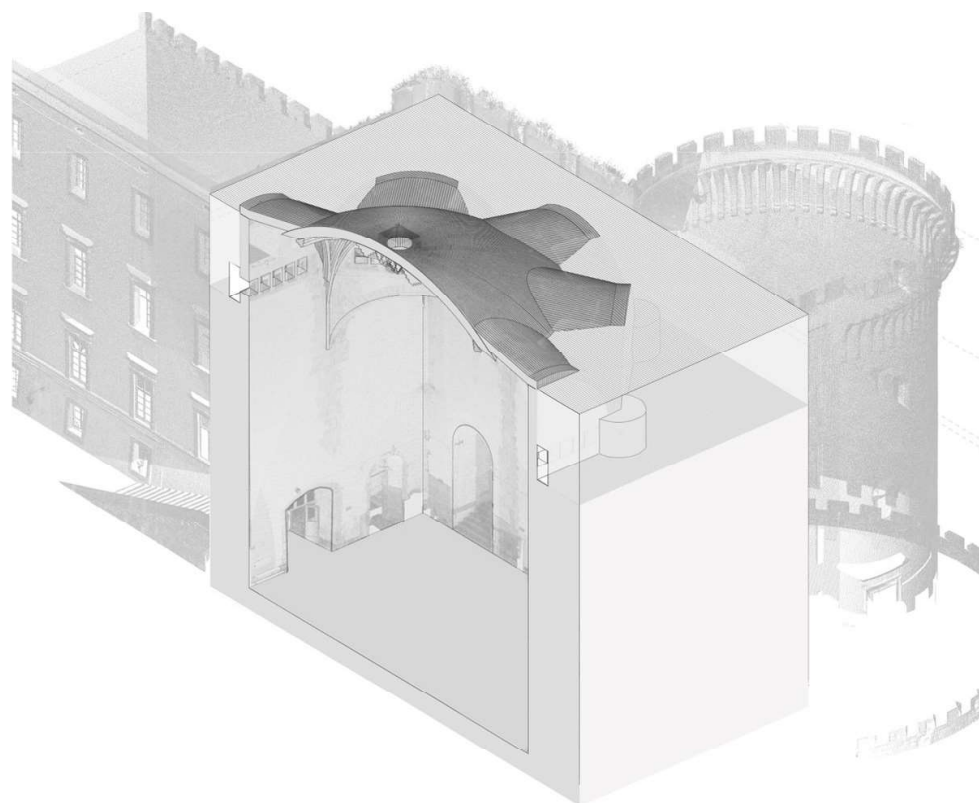


Figura 5. Arriba: Modelo BIM completo y superposición con la nube de puntos. Abajo: Sección-prospecto elaborada en AutoCAD y superposición con la nube de puntos. Procesamiento e imagen de los autores.

### Referencias

- Amore, R. (2017). Castel Nuovo: materiali dei restauri e restauro dei materiali, in Castel Nuovo in Napoli. Ricerche integrate e conoscenza critica per il progetto di restauro e di valorizzazione. En A. Aveta (Ed.), *Castel Nuovo in Napoli. Ricerche integrate e conoscenza critica per il progetto di restauro e di valorizzazione*, (pp. 216 – 231). Artstudiopaparo,.
- Amore, R. (2020). Il modello costruttivo della cupola della Gran Sala del Trionfo in Castel Nuovo tra oblio e restauri. En V. Russo, S. Pollone (Eds.) *Ananke. Speciale volume 91. Cupola murarie tra XV e XVI secolo. Programmi, saperi costruttivi e restauri attraverso la Campania*, (pp. 57 – 73). Altralinea edizioni.
- Aveta, A. (1987). *Materiali e tecniche tradizionali nel napoletano*. Note per il restauro architettonico, Arte tipografica, Napoli, 131 – 139.
- Buccaro, A. (2020). La ‘cupola unghiata’ della sala del trionfo in castel nuovo a Napoli: nuove acquisizioni. En V. Russo, S. Pollone (Eds.) *Ananke 91, Cupola murarie tra XV e XVI secolo. Programmi, saperi costruttivi e restauri attraverso la Campania* (pp. 46 – 54). Altralinea edizioni.
- Cocchieralla, L. (1999). *L’idioma catalano: la grande cupola di Castelnuovo, in Napoli versus coelum*. En A. Baculo Giusti (Ed.), *La città e le sue cupole* (pp. 157 – 162). Electa.
- Como, M.T. (2018). Inquiring on Constructional Identity of Sala dei Baroni Vault. En I. Wouters, S. Voorde, I. Bertels, B.Espion, K. Jonge, D. Zastavni (Eds.) *Building Knowledge, Constructing Histories. Proceedings of the Sixth International Congress on Construction History*, (pp. 2131 – 2144). Taylor & Francis Group.
- Filangieri, R. (1928). La Gran Sala di Castel Nuovo in Napoli., *Dedalo*, 9, 145-169.
- Fiorani, D. (2009). *Restauro e tecnologie in architettura*. Carocchi, 243 – 245.
- Heyman, J. (1969). The safety of masonry arches. *International Journal of Mechanical Sciences* 11, 363-385.
- Murphy M., McGovern, E., Pavia, S. (2009). Historic building information modelling (HBIM). *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing* (27), 4. 311-327.
- Pane, R. (1975). *Il Rinascimento nell’Italia meridionale*. Edizioni di Comunità.
- Pérez de los Ríos C. (2016). *Aspectos formales y constructivos en la obra de Guillem Sagrera: el uso de las plantillas*. [Tesis PhD] Universidad Politécnica de Madrid, Escuela Técnica Superior de Arquitectura.
- Rabasa Díaz et al. E. (2012). The 100 Ft Vault: The Construction and Geometry of the Sala dei Baroni of the Castel Nuovo, Naples. En R. Carvais et al. (eds), *Nuts & Bolts of Construction History, Fourth International Congress on Construction History, Paris, 3-7 July 2012* Picard.
- Serra Desfilis A. (2000). ‘È cosa catalana’: la Gran Sala de Castel Nuovo en el contexto mediterráneo, *‘Annali di architettura. Rivista del Centro Internazionale di*