

LAS TÉCNICAS DE CAPTURA MASIVA DE DATOS (MDC) Y LA SECCIÓN PRINCIPAL EN EDIFICIOS CON GRANDES DEFORMACIONES

MASS DATA CAPTURE (MDC) TECHNIQUES AND THE MAIN SECTION IN BUILDINGS WITH LARGE DEFORMATIONS

Josep Lluís i Ginovart, Mónica López-Piquer, Cinta Lluís-Teruel

doi: 10.4995/ega.2021.13710

El levantamiento de edificios es esencial para el desarrollo de la representación gráfica de la arquitectura. Sus principios fueron acotados en la *Carta del rilievo architettonico* de Nápoles (1999), donde se establece dicho levantamiento como un elemento de investigación iconográfica, bibliográfica y archivística. La representación de la sección de un edificio no aparece hasta la edición vitruviana de *Cesarino* (1521), dado que el secretismo medieval impedía revelar el despliegue de un edificio. La representación bidimensional del espacio métrico, proyectivo o topológico arroja nuevas cuestiones programáticas a través de las metodologías generadas por la *Massive Data Capture* (MDC) y, por ello, la determinación de la sección principal es una cuestión esencial. La propuesta

metodológica la define como la producida por un plano de referencia (τ) perpendicular al horizonte astronómico de una latitud (φ), el cual contiene un vector de regresión del azimut (A_b) y los puntos singulares (c_i) de las secciones transversales.

PALABRAS CLAVE: LEVANTAMIENTO ARQUITECTÓNICO, SECCIÓN PRINCIPAL, MASSIVE DATA CAPTURE (MDC), PLANO DE REFERENCIA, VECTOR DE REGRESIÓN

The survey of buildings is essential for the development of the graphic representation of architecture. Its principles were outlined in the Carta del rilievo architettonico of Naples (1999), where this survey is established as an element of iconographic, bibliographic and archival research. The representation of the section of

a building does not appear until Cesarino's Vitruvian edition (1521), since medieval secrecy prevented the unfolding of a building from being revealed. The two-dimensional representation of the metric, projective or topological space raises new programmatic questions through the methodologies generated by the Massive Data Capture (MDC) and therefore the determination of the main section is an essential question. The methodological proposal defines it as that produced by a reference plane (τ) perpendicular to the astronomical horizon of a latitude (φ), which contains an azimuth regression vector (A_b) and the singular points (c_i) of cross sections.

KEYWORDS: ARCHITECTURAL SURVEY, MAIN SECTION, MASSIVE DATA CAPTURE (MDC), REFERENCE PLANE, REGRESSION VECTOR



El espacio proyectivo

La representación del espacio proyectivo se realiza mediante líneas, apoyada en los términos euclidianos de su primer postulado, donde una línea recta puede ser dibujada uniendo dos puntos cualesquiera **1**. El concepto de proyección como representación de los contornos con una línea preexistente, según Gaius Plinius Secundus (23-79), tiene origen en Corinto y se debe a la hija de Butades Sicyonius (c. VII aC) **2**. Esta cultura visual se trasladará, entre otros casos, al tratado *De pictura* (1435) de Leon Battista Alberti (1404-1472). En su libro segundo trata de la *Circumscriptione*, es decir, del contorno de los cuerpos y del sistema para trazar contornos precisos **3**. Piero della Francesca (c. 1415-1492), en la *De prospectiva pingendi* (c.1474), utiliza indistintamente estos conceptos de línea y contorno, la proyección métrica y la proyectiva **4**. Leonardo da Vinci (1452-1519), en su *Trattato della pittura*, del *Codex Urbinas Latinus* 1270 (c.1482-1499), aplica dicha proposición, en el *Modo di ritrarre un sito corretto*, bajo el pretexto de copiar un objeto con exactitud **5**. Alberto Durero (1471-1528) lo utiliza en el *Underweysung der Messung* (1525) con la representación de la escalera caracol (fol.), en la cámara prostética **6** y en el libro IV de *Vier Bücher von Menschlicher Proportion* (1528) **7**. Pero la sistematización científica de la geometría descriptiva tendrá que esperar hasta *Stéréotomie* (1794) de Gaspard Monge (1746-1818) **8**.

Refiriéndose a Grecia, Marcus Vitruvius Pollio (c. 80- c. 20 aC), definía la representación gráfica como un discurso intelectual de la meditación de las ideas y la inven-

ción de formas arquitectónicas. Por lo que en su *De architectura* definía estas formas de representación como la *Ichonographia*, *Orthographia*, y *Scaenographia*. (L.I.2.) **9**.

El concepto de estas disposiciones de la representación de edificios existente se pueden reconocer en la *Ichonographia*, en la planta del monasterio de Sant Gall (c.820) del Stiftsbibliothek, Sankt Gall, m.s. 1092, en la *Orthographia* en la proyección del Monasterio de Chistchurch de Canterbury (c. 1165) de la Biblioteca del Trinity College de Cambridge, m.s. 110 y en la *Scaenographia* en la Torre de reloj (c. 1220-1250) de Villard de Honnecourt en la Biblioteca Nacional de Paris, n° 19093 fol. 6v.

El concepto de sección no aparece en la definición vitruviana, pese a ello la planta marmórea de *Forma Urbis Romae* (c. 203-211) se entiende como una sección horizontal de un vasto conjunto de edificios **10**. Lo mismo ocurre en la representación de la planta seccionada de la torre de catedral de Laon del Villard de Honnecourt. B.N.P. n° 19093 fol. 9v, donde en la edición crítica del arquitecto J.B.A. Lassus (1807-1857) de las planchas XVII-XVIII se redibuja la planta seccionada **11**.

En el periodo gótico, el término de sección de un edificio, en su significado actual, estaba vinculado al proceso constructivo, ya que determinaba la altura a la que se debían situar los arcos y bóvedas, en función del ancho de la edificación. La sección estaba sujeta al secretismo profesional de la *geometria fabrorum*, por eso los *Statut des Tailleurs de Pierre* (1459) **12**, y los *Statuts de Saint-Michel* (1563) de Strasbourg, prohibían expresamente revelar el despliegue de la

The projective space

The representation of the projective space is carried out by means of lines, supported by the Euclidean terms of its first postulate, where a straight line can be drawn joining any two points **1**. The concept of projection as a representation of the contours with a pre-existing line, according to Gaius Plinius Secundus (23-79), has its origin in Corinth and is due to the daughter of Butades Sicyonius (c. VII BC) **2**.

This visual culture will carry over, among other cases, to the treatise *De pictura* (1435) by Leon Battista Alberti (1404-1472). In his second book he deals with *Circumscriptione*, that is, of the contour of the bodies and of the system to draw precise contours **3**. Piero della Francesca (c. 1415-1492), in *De prospectiva pingendi* (c.1474), uses interchangeably these concepts of line and contour, the metric projection and the projective **4**. Leonardo da Vinci (1452-1519), in his *Trattato della Pittura*, from the *Codex Urbinas Latinus* 1270 (c.1482-1499), applies this proposition, in the *Modo di ritrarre un sito corretto*, under the pretext of copying an object with exactitude **5**. Albrecht durer (1471-1528) uses it in the *Underweysung der Messung* (1525) with the representation of the spiral staircase (fol.), in the prosthetic chamber **6** and in Book IV of *Vier Bücher von Menschlicher Proportion* (1528) **7**. But the scientific systematization of descriptive geometry will have to wait until *Stéréotomie* (1794) by Gaspard Monge (1746-1818) **8**.

Referring to Greece, Marcus Vitruvius Pollio (c. 80-c. 20 BC), defined graphic representation as an intellectual discourse of the meditation of ideas and the invention of architectural forms. So that in his *De architectura* he defined these forms of representation as the *Ichonographia*, *Orthographia*, and *Scaenographia*. (L.I.2.) **9**.

The concept of these arrangements of the existing building representation can be recognized in the *Ichonographia*, on the plan of the Sant Gall Monastery (c.820) of the Stiftsbibliothek, Sankt Gall, ms 1092, in the *Orthographia* in the projection of the Chistchurch Monastery of Canterbury (c. 1165) of the Library of Trinity College, Cambridge, ms 110 and in the *Scaenographia* in the Clock Tower (c. 1220-1250) of Villard de Honnecourt in the National Library of Paris, n° 19093 fol. 6v. The concept of section does not appear in the Vitruvian definition, despite this the marble



1

plan of Forma *Urbis Romae* (c. 203-211) is understood as a horizontal section of a vast group of buildings **10**. The same occurs in the representation of the sectioned plan of the cathedral tower of Laon Cathedral of Villard de Honnecourt. BNP No. 19093 fol. 9v, where in the critical edition of the architect J.B.A. Lassus (1807-1857) of plates XVII-XVIII the sectioned floor plan is redrawn **11**.

In the Gothic period, the term of section of a building, in its current meaning, was linked to the construction process, since it determined the height at which the arches and vaults should be located, depending on the width of the building. The section was subject to the professional secrecy of the *geometria fabrorum*, so the Statut des Tailleurs de Pierre (1459) **12**, and the *Statuts de Saint-Michel* (1563) of Strasbourg, expressly prohibited revealing the deployment of the section (Strasbourg 1563, art.13) **13**. It will have to wait for the 1521 Vitruvian edition of the Milanese Cesare Cesariano (c.1483-1543), to see the unfolding section of the Milan Cathedral **14**, reproduced in the 1548 Teutonic edition of Walther Hermann Ryff (1500-1548) **15**.

Il rilievo architettonico. The techniques of Mass Data Capture (MDC)

The *rilievo architettonico* is the set of practices and methods that allows reporting the characteristics and basis of an object in a system of representations, mainly two-dimensional, subject to the criteria of the *Carta del rilievo architettonico* of Naples (1999) and that of *Castel Sant'Angelo* of Rome (2000) **16**.

Measurement methods can be direct, instrumental, or indirect measurement. The

sección (Strasbourg 1563, art.13) **13**. Habrá que esperar a la edición vitruviana de 1521 del milanés Cesare Cesariano (c.1483-1543), para ver el despliegue de la sección de la catedral de Milán **14**, reproduciéndose en la edición teutónica de 1548 de Walther Hermann Ryff (1500-1548) **15**.

Il rilievo architettonico. Las técnicas de Captura Masiva de Datos (MDC)

El *rilievo architettonico* es el conjunto de prácticas y métodos que permite informar de las características y fundamentos de un objeto en un sistema de representaciones, principalmente bidimensionales, sometidas a los criterios de la *Carta del rilievo architettonico* de Nápoles (1999) y a la del *Castel Sant'Angelo* de Roma (2000) **16**.

Los métodos de medición pueden ser directos, instrumentales o de medición indirecta. El primer método determina la distancia entre puntos, por lo tanto, necesitan accesibilidad a los puntos de medición. El segundo, de carácter topográfico, necesita visibilidad de los puntos por parte del instrumento, para determinar así, el ángulo y la distancia de separación. Finalmente, los métodos indirectos necesitan

visibilidad del total del encuadre del objeto y no tienen medición del objeto **17**. Entre este último grupo encontramos la fotogrametría o las técnicas de láser 3D, *light amplification by stimulated emission of radiation*, mediante un *Terrestrial Laser Scanner* (TLS). Los métodos directos e los instrumentales trabajan con un número de datos, puntos extremos, muy reducido mientras que los indirectos, reconocidos como *Massive Data Capture* (MDC), producen archivos con un gran número de datos, *pixels* o *point clouds* **18**.

Los escáneres láser utilizan el sistema llamado triangulación óptica, el cual se basa en la capacidad de la materia para reflejar la radiación electromagnética. Esta característica depende tanto de la composición atómica de los cuerpos como del ángulo de incidencia del rayo en la superficie. Esta radiación que incide en la superficie de un cuerpo es parcialmente absorbida (α), reflejada (ρ) y transmitida (τ), es decir, la señal reflejada es capturada por un sensor de imagen en estado sólido (CCD), ubicado a una distancia preestablecida y calibrada, originando un sistema cartesiano (x, y, z) y aportando datos como el valor de intensidad de la reflectancia y el color del punto detectado (RGB) (Fig. 1).



1. Santa Maria Arties (XII-XIII) visualización Cyclone (2016) y Undet Sketchup (2019)
 2. Orientación de un edificio mediante declinación astronómica (δ)

1. Santa Maria Arties (XII-XIII) visualization Cyclone (2016) and Undet Sketchup (2019)
 2. Orientation of a building using astronomical declination (δ)

Determinación de la sección transversal de referencia del edificio

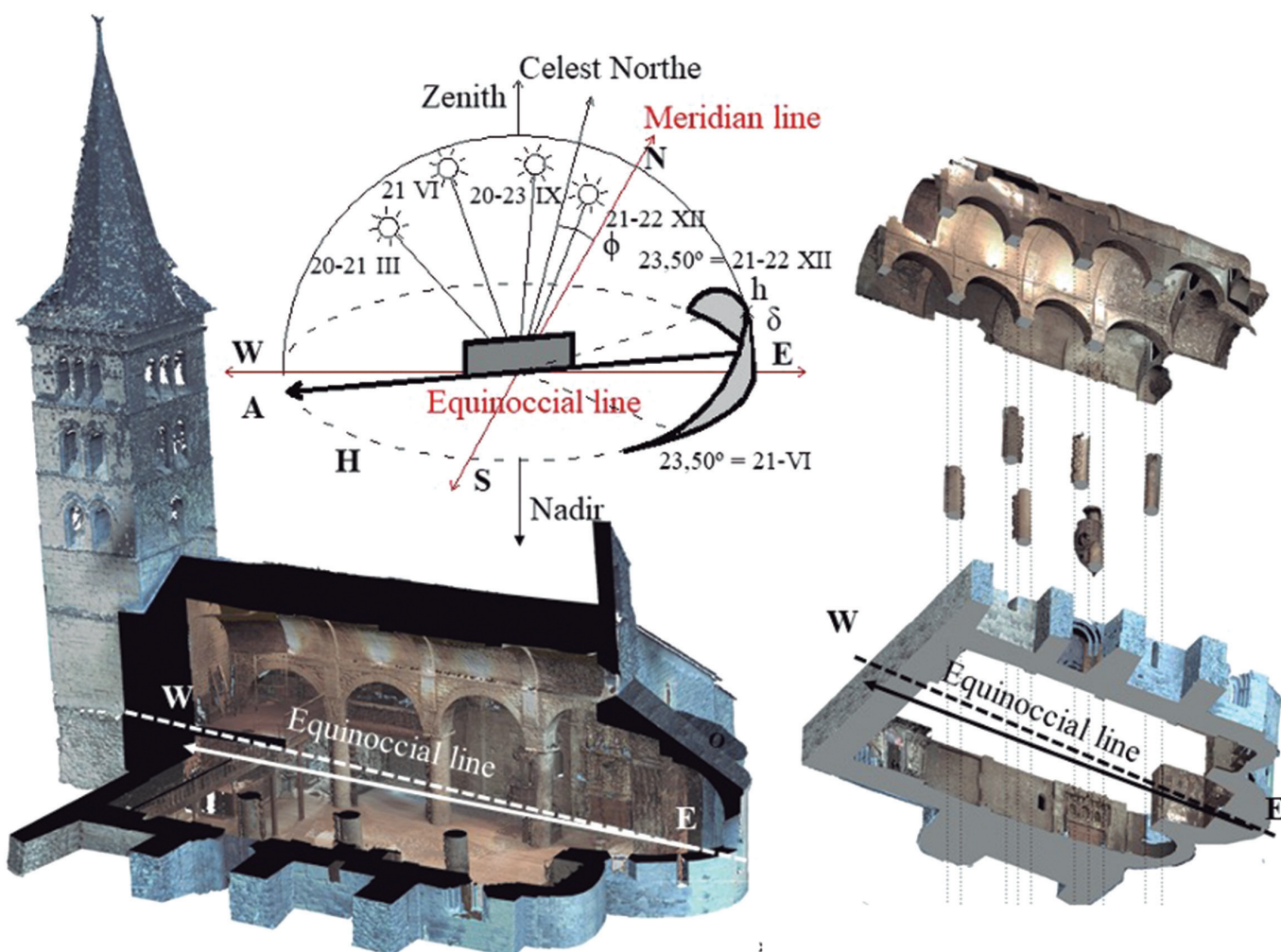
Para determinar la orientación de un edificio es necesario referir la ubicación del organismo arquitectónico respecto al Sistema Cartográfico de coordenadas longitud (λ) y latitud (φ). Por otra parte, la arqueoastronomía, como fin para determinar su orientación, toma como base universal el concepto de declinación astronómica (δ), definida como la proyección en la esfera celeste de la coordenada de la lati-

tud (φ), obtenida a partir del acimut geográfico (A) en el horizonte astronómico (H) con la altura del horizonte (h). (Fig. 2).

La fijación del acimut geográfico (A) vendrá determinada por dos puntos fijados en función del criterio del observador sobre el plano del horizonte (H). Por ello, este concepto puede ser extensivo o matizado mediante la determinación de un vector que tenga la referencia gráfica del edificio.

Se quiere establecer, como metodología, la determinación de un plano de referencia (τ), que sea per-

pendicular al plano de referencia del edificio. El primer método determina la distancia entre puntos, por lo que necesitan accesibilidad a los puntos de medición. El segundo, de naturaleza topográfica, requiere visibilidad de los puntos por el instrumento, para determinar el ángulo y la distancia de separación. Finalmente, los métodos indirectos necesitan visibilidad del marco total del objeto y no tienen medición del objeto 17. Entre este último grupo encontramos la fotogrametría o técnicas de 3D láser, como la *light amplification by stimulated emission of radiation*, usando un *Terrestrial Laser Scanner* (TLS). Los métodos directos e instrumentales trabajan con un número muy pequeño de datos, puntos extremos, mientras que los métodos indirectos, reconocidos como *Massive Data Capture* (MDC), producen archivos con un gran número de datos, *pixels* o *point clouds* 18.



Laser scanners use a system called optical triangulation, which is based on the ability of matter to reflect electromagnetic radiation. This characteristic depends both on the atomic composition of the bodies and on the angle of incidence of the ray on the surface. This radiation that falls on the surface of a body is partially absorbed (α), reflected (ρ) and transmitted (τ), that is, the reflected signal is captured by a solid state image sensor (CCD), located at a preset and calibrated distance, originating a Cartesian system (x, y, z) and providing data such as the intensity value of the reflectance and the color of the detected point (RGB) (Fig. 1).

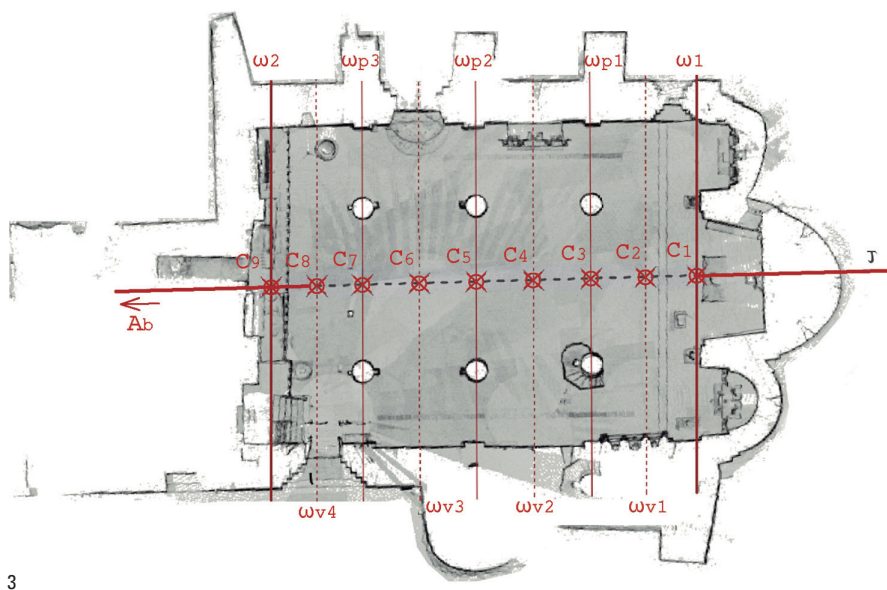
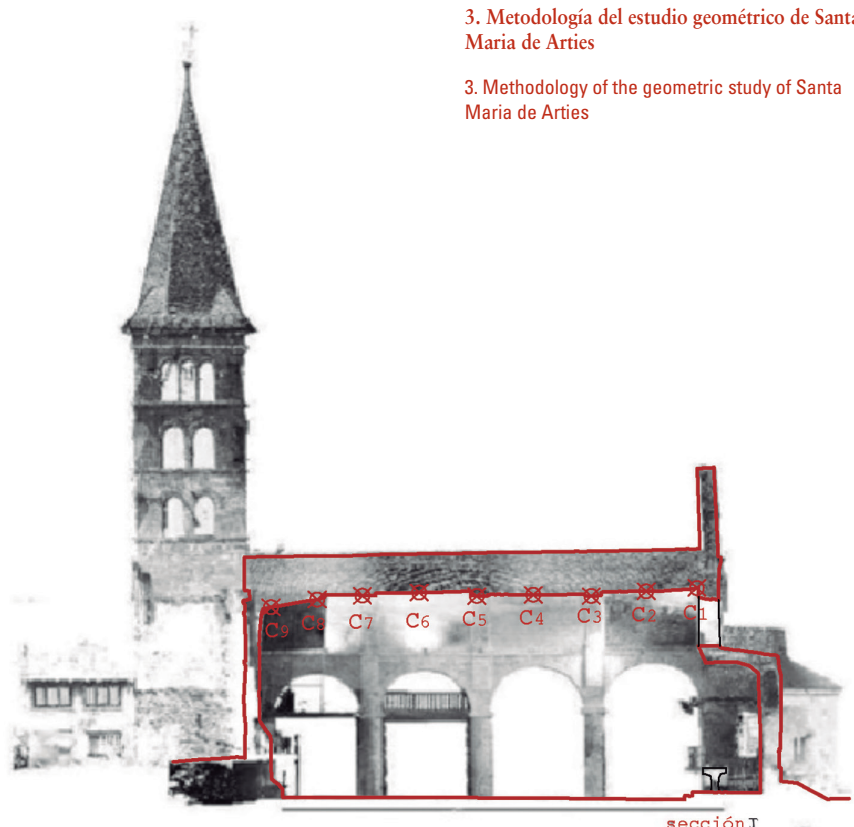
Determination of the reference cross section of the building

To determine the orientation of a building it is necessary to refer the location of the architectural organism with respect to the Cartographic System of longitude (λ) and latitude (φ) coordinates. On the other hand, the archaeoastronomy, as a purpose to determine its orientation, takes as a universal basis the concept of astronomical declination (δ), defined as the projection on the celestial sphere of the latitude coordinate (φ), obtained from the geographic azimuth (A) on the astronomical horizon (H) with the height of the horizon (h). (Fig. 2).

The fixation of the geographical azimuth (A) will be determined by two points fixed according to the observer's criteria on the horizon plane (H). For this reason, this concept can be extensive or nuanced by determining a vector that has the building's graphic reference.

It is aimed to establish, as a methodology, the determination of a reference plane (τ), which is perpendicular to the astronomical horizon of a latitude (φ), containing a vector of the reference azimuth of the vaults (A_b), and that is assimilable to the visual guideline of a construction. We can say that the reference plane (τ) is the one that, traditionally, has represented the longitudinal section of a building.

To determine the vector of the reference azimuth of the highest points of vaulted constructions (A_b), it is necessary to make cross sections (ω_i) through the most characteristic points of the building. The



3

3. Metodología del estudio geométrico de Santa Maria de Arties

3. Methodology of the geometric study of Santa Maria de Arties

pendicular horizonte astronómico de una latitud (φ), que contenga un vector del azimut de referencia de las bóvedas (A_b), y que sea asimilable a la directriz visual de una construcción. Podemos decir que el plano de referencia (τ) es aquel que, tradicionalmente, ha representado la sección longitudinal de un edificio.

Para determinar el vector del azimut de referencia de los pun-

tos más altos de las construcciones abovedadas (A_b), es necesario realizar unas secciones transversales (ω_i) por los puntos más característicos de la edificación. Las generatrices de las funciones de estas secciones se pueden definir como $f(\omega_i)$ y van a contener implícitamente las propiedades geométricas singulares, la luz (l), flecha (f) y la curvatura (c). Estas secciones se van a



establecer a través de los elementos constructivos más característicos, determinando una serie de puntos singulares (c_i). Se obtienen así los puntos singulares (c_i) de las secciones constructivas principales, donde la función de su curvatura va a tener un máximo $f'(\omega_i)=0$ y además la propiedad de ser cóncava, y por tanto $f''(\omega_i)<0$. El conjunto de estos puntos (c_i), no tiene por qué determinar un plano, pero además su plano de regresión (P_{ri}), no tiene por qué ser perpendicular horizontalmente astronómico (H).

Con los puntos (c_i) determinaremos un vector de regresión que llamaremos azimut de referencia de las bóvedas (A_b). Con ello, podemos determinar un plano (τ), con el vector de regresión (A_b) que tiende a contener los puntos de referencia de las bóvedas y que es perpendicular al horizonte astronómico y cuya vertical, similar a la plomada pasa por el zenit y nadir.

La sección principal de la iglesia de Santa Maria de Arties (s. XII)

Una de las aplicaciones ha sido el estudio de las iglesias de la Val d'Aran de los siglos XII y XIII, situadas en el Pirineo español, determinando un plano (τ). Ello permite comparar las diferentes secciones longitudinales de estas iglesias (Fig. 3).

Una de las construcciones más deformadas es Santa Maria de Arties, cuyos datos topográficos son; $\lambda=0.87^\circ$ E, $\varphi=42.70^\circ$ N, $A=92,12^\circ$, $h=45,80$, $\delta=-1,50$, donde arcos y bóvedas han producido formas antifuniculares, superando el 7% de deformación. Para su levantamiento se utilizó un escáner láser P20 de Leica, con un ancho de banda de 808/658 de clase 1. La

ratio del escaneo es de 1.000.000 puntos y el ruido a 100 metros es de 9,0 mm en colores negros, 4,30 mm en colores grises y 1,5 mm en colores blancos. El campo de visión es de 360° en horizontal y 270° en vertical, determinando la cantidad total de 112.947.163 puntos.

En las tipologías de planta basilical seccionaremos por los pilares (ω_{pi}), donde la bóveda tiene mayor rigidez y por los puntos medios del vano estructural (ω_{vi}), donde ésta tiene menos rigidez. En las iglesias de nave única la rigidez estructural es más similar, entre los diferentes elementos, que en las de planta basilical. Por ese motivo, en este estudio, las secciones se producen por los arcos de resalto (ω_{ai}) y por los puntos medios de los vanos estructurales existentes entre éstos (ω_{vi}).

Las secciones de los planos (ω_i) han sido realizadas con el *plug-in* Undet para el programa Google SketchUp, el cual tiene una gestión interactiva de coloración y densidad RGB, por lo que nos permite ajustar la transparencia y ver de diferentes modos y tonalidades la nube de puntos una vez ya tratada. Las secciones que se han realizado para su posterior análisis han sido las siguientes:

- Las secciones extremas: la (ω_1), la más próxima al ábside, y la (ω_2), en la fachada opuesta.
- Las secciones que contiene a un plano perpendicular al horizonte astronómico (ω_{pi}), de una latitud (φ) y por dos puntos (P_{no}) que son los centroides de los dos pilares opuesto a la dirección de la nave, en su intersección con el plano del suelo.
- Las secciones que contiene a un plano perpendicular al horizonte astronómico (ω_{vi}), de una latitud

generatrices de las funciones de estas secciones can be defined as $f(\omega_i)$ and they will implicitly contain the singular geometric properties, light (l), arrow (f) and curvature (c). These sections will be established through the most characteristic construction elements, determining a series of singular points (c). Thus, the singular points (c_i) of the main construction sections are obtained, where the function of their curvature will have a maximum $f'(\omega_i)=0$ and also the property of being concave, and therefore $f''(\omega_i)<0$. The set of these points (c_i) does not have to determine a plane, but also its regression plane (P_{ri}), does not have to be perpendicular to the astronomical horizon (H). With the points (c_i) we will determine a regression vector that will be called vault reference azimuth (A_b). With this, it is possible to determine a plane (τ), with the regression vector (A_b) that tends to contain the reference points of the vaults and that is perpendicular to the astronomical horizon and whose vertical, similar to the plumb line, passes through the zenith and nadir.

The main section of the church of Santa Maria de Arties (12th century)

One of the applications has been the study of the churches of Val d'Aran from the 12th and 13th centuries, located in the Spanish Pyrenees, determining a plane (τ). This makes it possible to compare the different longitudinal sections of these churches (Fig. 3).

One of the most deformed constructions is Santa Maria de Arties, whose topographic data are; $\lambda=0.87^\circ$ E, $\varphi=42.70^\circ$ N, $A=92.12^\circ$, $h=45.80$, $\delta=-1.50$, where arches and vaults have produced antifunicular shapes, exceeding 7% deformation. A Leica P20 laser scanner was used for its survey, with a bandwidth of 808/658 class 1. The scan ratio is 1,000,000 points and the noise at 100 meters is 9.0 mm in black colors., 4.30 mm in gray colors and 1.5 mm in white colors. The field of view is 360° horizontally and 270° vertically, determining the total amount of 112,947,163 points.

In the basilica plan typologies, the section will be done through the pillars (ω_{pi}), where the vault has greater rigidity and through the midpoints of the structural span (ω_{vi}), where it has less rigidity. In churches with a single nave

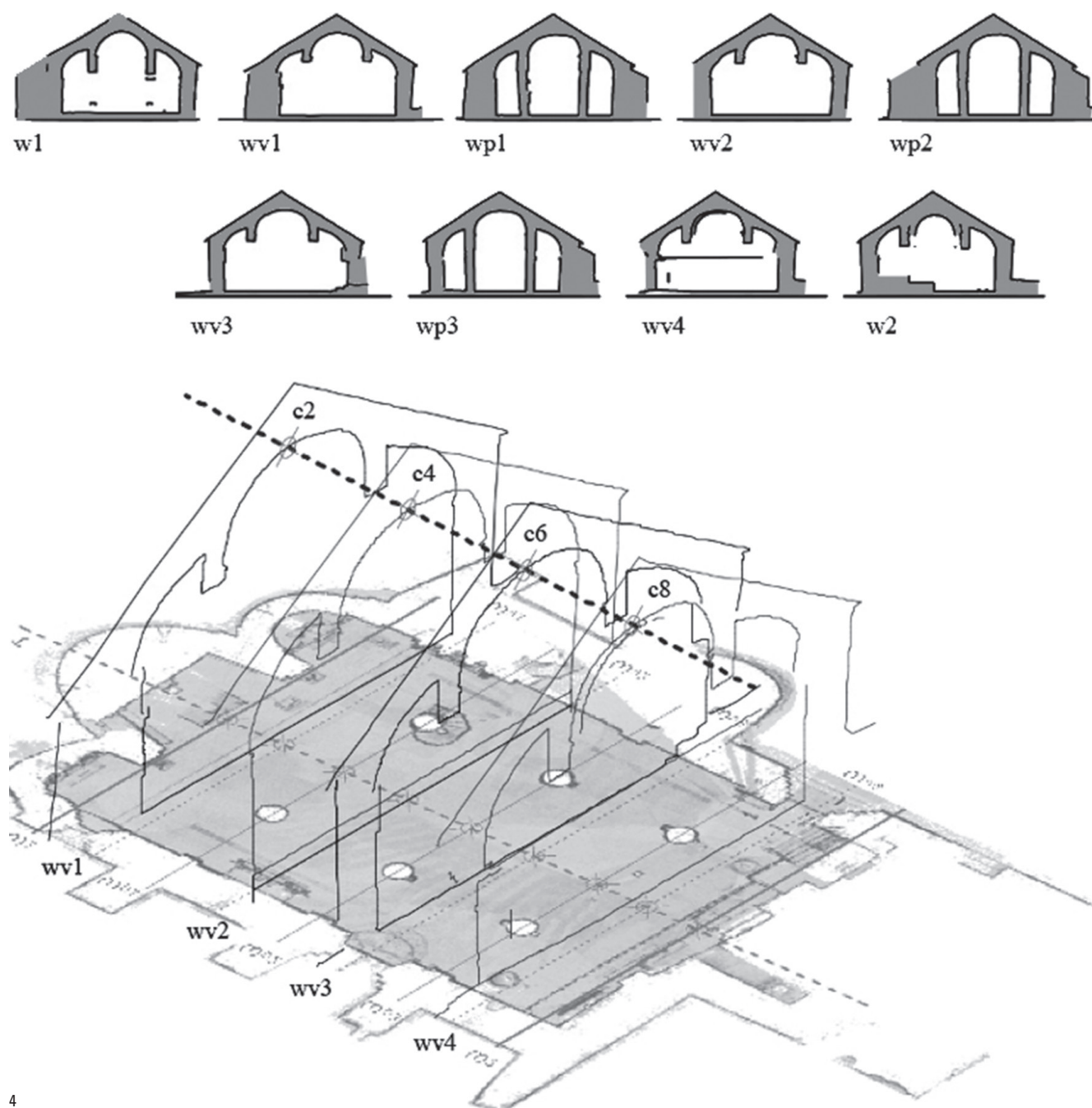
the structural rigidity is more similar, between the different elements, than in those with a basilica plan. For this reason, in this study, the sections are produced by the shoulder arches (ω_{ai}) and by the midpoints of the structural openings between them (ω_i).

The sections of the planes (ω_i) have been made with the Undet *plug-in* for the program Google

(φ) y por dos puntos (P_{no}) que son las claves de los dos arcos formeros opuesto a la dirección de la nave.

El cálculo del vector de regresión del azimut de referencia de las bóvedas (A_b), se ha realizado mediante el

plug-in InnerSoft CAD (versión 4.1) para el *software* AutoCad, el cual no sólo permite realizar diferentes acciones geométricas en los dibujos de dicho *software*, sino que también se puede realizar diferentes cálculos, como el cálculo de la línea de regre-



4. Sección planos (ω_i) determinando los puntos singulares ($c_1...c_9$)

Tabla 1. Coordenadas (c_i) en el espacio pertenecientes al plano (τ)

4. Section planes (ω_i) determining the singular points ($c_1...c_9$)

Table 1. Coordinates (c_i) in space belonging to the plane (τ)

sión de un dibujo, el cual es utilizado en este caso de estudio.

La unión de los diferentes puntos significantes (c_i) de las secciones realizadas (w_i) para el caso de estudio de la iglesia de Santa Maria de Arties, ha dado como resultado la determinación de un plano (τ), donde $(A_b) = 88,428^\circ$ (Fig. 4).

Con la determinación de plano (τ) también hemos podido situar en el espacio las coordenadas (x, y, z) de los puntos característicos de las bóvedas (c_i), los cuales conforman el plano (τ).

El plano (τ) ha sido muy útil para estudiar las deformaciones de los pilares df_p (df_{px} , df_{py} , df_{pz}) mediante la dirección de los planos de regresión P_i . Estas anomalías tienden a tener la misma dirección que la resultante del empuje sobre el pilar P_i , en un espacio de tiempo determinado. Las deformaciones han sido el resultado de los empujes activos de las bóvedas y de los empujes pasivos de los elementos de contrarresto de los muros y contrafuertes. La dirección de los desplazamientos de los seis pilares P_i , no es perpendicular a la directriz (τ) de la sección principal de bóveda, puesto que $(\tau_\phi) \neq 90^\circ$.

Por otra parte, ha sido utilizada la arqueoastronomía de las orientaciones de las diferentes construcciones románicas de la Val d'Aran. Así, el vector del azimut de las bóvedas (A_b), calculado por métodos informáticos, puede ajustarse al mismo azimut geográfico (A) determinado topográficamente $A = 92,12^\circ$. La operación ha sido realizada mediante la localización geográfica del edificio realizada con el software AutoCad, el cual utiliza imágenes de Satélite del propio Google Earth. Para ello, se ha localizado la iglesia de Santa

PUNTOS	x(m)	y(m)	z(m)
c_1	19,9693	-14,7047	10,3040
c_2	17,7810	-14,6640	10,2585
c_3	15,4427	-14,6206	10,2100
c_4	12,9867	-14,5750	10,1590
c_5	10,5306	-14,5293	10,1080
c_6	8,1002	-14,4842	10,1080
c_7	5,6698	-14,4390	10,0070
c_8	3,7363	-14,4651	0,9937
c_9	1,7854	-14,3669	9,9264

Tabla 1 / Table 1

unidades: metros

Maria de Arties, con longitud (λ) = $0,87^\circ$ y latitud (ϕ) = $42,70^\circ$, y se ha colocado encima el plano obtenido mediante el escaneado láser realizado y también el vector de regresión (A_b) obtenido con anterioridad (Fig. 5).

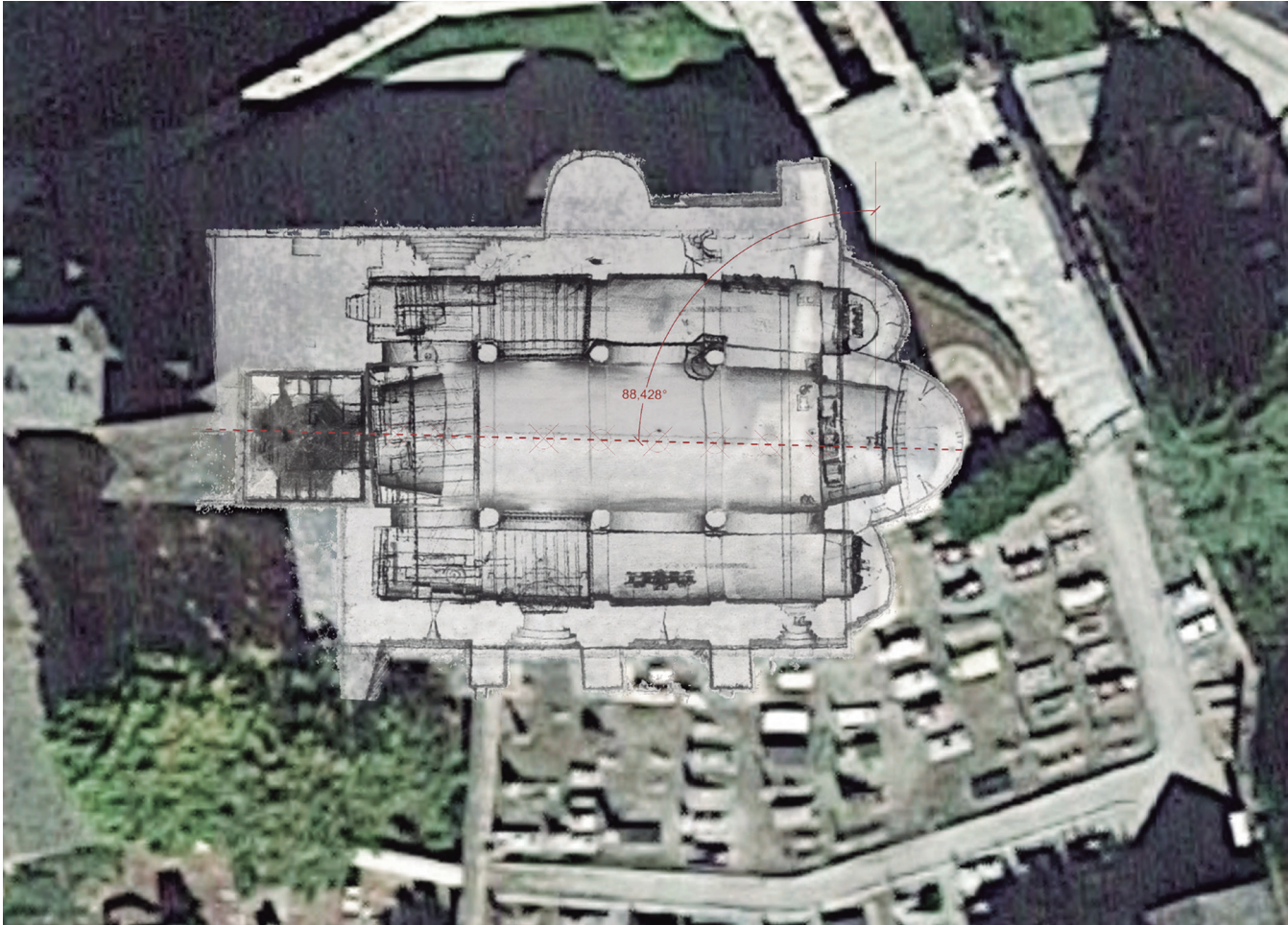
Conclusión

Según la *Carta del rilievo architettonico* de Nápoles (1999) el levantamiento general realizado sobre un bien cultural arquitectónico debe, esencialmente, permitir el conocimiento preciso, fiable y depurado críticamente de la configuración morfológica y dimensional del objeto en su estado físico actual. Con la determinación de la sección de referencia del plano (τ) se permite representar la sección longitudinal del ente arquitectónico en su mayor magnitud y expresada como sección principal. El plano (τ) es perpendicular al Horizonte astronómico (H), y es coincidente con lo que tradicionalmente se ha denominado plomada. Contiene la dirección de los puntos de la cur-

SketchUp, which has an interactive RGB color and density management, which allows us to adjust the transparency and see the point cloud in different ways and shades once it has been treated. The sections that have been made for further analysis have been the following:

- The extreme sections: (ω_1), the closest to the apse, and (ω_2), on the opposite façade.
- The sections that contain a plane perpendicular to the astronomical horizon (ω_{pi}), of a latitude (ϕ) and by two points (P_{no}) that are the centroids of the two pillars opposite the direction of the nave, at their intersection with the ground plane.
- The sections that contain a plane perpendicular to the astronomical horizon (ω_{vi}), of a latitude (ϕ) and by two points (P_{no}) that are the keys of the two forming arcs opposite to the direction of the nave.

The calculation of the regression vector of the vault reference azimuth (A_b), has been carried out using the InnerSoft CAD plug-in (version 4.1) for the AutoCad software, which not only allows different geometric actions to be carried out in the drawings of said software, but also different calculations can be performed, such as the calculation of the regression line of a drawing, which is used in this case study. The union of the different significant points (c_i) of the sections made (w_i) for the case study of the church of Santa Maria de Arties, has resulted in the determination of a plane (τ), where $(A_b) = 88,428^\circ$ (Fig. 4).



5

With the determination of plane (τ) we have also been able to locate in space the coordinates (x, y, z) of the characteristic points of the vaults (c), which make up the plane (τ). The (τ) plane has been very useful to study the deformations of the pillars df_p ($df_{px}, df_{py}, df_{pz}$) by the direction of the P_i regression planes **19** These anomalies tend to have the same direction as that resulting from the thrust on the P_i pillar, in a given period of time. The deformations have been the result of the active thrusts of the vaults and of the passive thrusts of the counter elements of the walls and buttresses. The direction of the displacements of the six pillars P_i is not perpendicular to the directrix (τ) of the main vault section, since $(\tau_\phi) \neq 90^\circ$. On the other hand, the archaeoastronomy of the orientations of the different Romanesque

vatura donde, $f'(\omega_i) = 0$, mediante un vector de regresión A_b . Este azimut de las bóvedas no tiene por qué coincidir con A , definido como topográfico y que se sitúa a nivel del suelo. ■

Referencias

- 1/ HEATH Th. L. (1908). *The thirteen books of Euclid's Elements translated from the text of Heiberg with introduction and commentary. Three volumes.* Cambridge: The University Press, vol 1, p. 195.
- 2/ PLINIUS (1878) C. Plini Secundi Naturalis historiae libri XXXVII, Volumen 5 B.G. Teubner: In aedibus B. G. Teubneri in Lipsiae, p.95.
- 3/ REJÓN DE SILVA, A. (1784). El tratado de la pintura por Leonardo de Vinci; y los

tres libros que sobre el mismo arte escribió León Bautista Alberti; traducidos e ilustrados con algunas notas por Don Diego Antonio Rejón de Silva. Madrid: Imprenta Real, pp. 226-299.

- 4/ DELLA FRANCESCA (2016). De prospectiva pingendi. Piero della Francesca a cura di Chiara Gizzi. Venezia: Edizioni Ca' Foscari - Digital Publishing, pp.81-380.
- 5/ TRICHET DU FRESNE, R. (1651). Trattato della pittura di Lionardo da Vinci, nouamente dato in luce, con la vita dell'istesso autore, scritta da Rafaelle du Fresne. Si sono giunti i tre libri della pittura, & il trattato della statua di Leon Battista Alberti, con la vita del medesimo. Parigi: Appresso Giacomo Langlois, (Cap. XXXII)-p. 7.
- 6/ DÜRER A. (1525). Underweysung der Messung, mit dem Zirckel und Richtscheyt, in Linien, Ebenen unnd gantzen corporen. Nürnberg: [s. n.], fol. 90v-fol.92 r.



7/ DÜRER A. (1528). Hierinn sind begriffen vier Bucher von menschlicher Proportion durch Albrechten Durer von Nurerberg. Nürnberg : Hieronymus Andreae Formschneider, fol. 115v-134 v.

8/ MONGE, G. (1794). Stéréotomie. *Journal de l'École Polytechnique*. Vol. 1 pp. 1–14.

9/ VITRUVIUS, M.P, ROSE, V (ed.) (1899). Vitruvii. De architectura Libri Decem. Iterum edidit Valentinus Rose, In aedibus B. G. Teubneri, Lipsiae, p.9.

10/ SAKAROVITCH, J. (1997). Epuress d'architecture. Basel-Boston-Berlin: Birkhäuser, pp.27-36.

11/ [] LASSUS, JB. 1858. Album de Villard de Honnecourt. Architecte du XIIIe siècle. Paris : Imprimerie impériale, pp. 93-96.

12/ SCHIMPF, A. *Statut des Tailleurs de Pierre de Strasbourg, 1459*. En: Les bâtisseurs du Moyen-Âge (ed.) Strasbourg: Editions les Musses de la Ville de Strasbourg. 1989, pp. 103-109.

13/ MATHONIÈRE. J.M. *L'Ancien compagnonnage germanique des tailleurs de Pierre*. En : Fragments d'histoire du Compagnonnage, volume 5, Musée du Compagnonnage. Tours. 2003, pp. 86-90.

14/ VITRUVIO, M.P. CESARIANO C. (ed). *Di Lucio Vitruvio Pollione de Architectura libri dece traducti di latino in Vulgare affigurati: Comentati & con mirando ordine insigniti*. Gotardo da Ponte. Como. 1521. Liber primus 15r.-15v.

15/ *angehörigen mathematischen und mechanischen Kunst eygentlicher Bericht und verständliche Unterrichtung*. Johan Petreius. Nürnberg. 1548. Proposicones XXII-XXIII.

16/ Jiménez Martín, A. Pinto Puerto, F. (2003) Levantamiento y análisis de edificios. Tradición y futuro. Sevilla: Universidad de Sevilla, pp. 48-57.

17/ CIGOLA MICHELA (2001). Il rilievo per la conoscenza del costruito. En: *Metodi e tecniche della rappresentazione*. Cassino: Università di Cassino, pp. 15-38.

18/ ANGELINI, A, GABRIELLI, R. (2013) *Laser scanning e photo scanning. Tecniche di rilevamento per la documentazione 3D di beni architettonici ed archeologici*. Archeologia e Calcolatori, 24. pp. 379-394.

19/ LLUIS I GINOVART, J, COLL-PLA, S, COSTA-JOVER, A, LÓPEZ-PIQUER, M. (2017). Evaluation of large deformations on Romanesque masonry pillars: The case of Santa Maria de Arties. *Revista de la Construcción*, 16(3), 468-478.

20/ LLUIS I GINOVART, J, LÓPEZ PIQUER, M, COLL PLA, S, COSTA JOVER, A. Orientation of the Romanesque churches in the region of Val d'Aran, Spain (11th–13th centuries). *Archaeometry* 61 (1), 226-241.

constructions of the Val d'Aran has been used **20**. Thus, the vector of azimuth of the vaults (Ab), calculated by computer methods, can be adjusted to the same geographic azimuth (A) determined topographically $A = 92.12^\circ$. The operation has been carried out by locating the building with the AutoCad software, which uses satellite images from Google Earth itself. To do this, the church of Santa Maria de Arties has been located, with longitude (λ) = 0.87° and latitude (φ) = 42.70° , and the plane obtained by means of the laser scan carried out and also the vector regression (Ab) obtained previously (Fig. 5).

Conclusion

According to the *Carta del rilievo architettonico* of Naples (1999) the general survey carried out on an architectural cultural asset must, essentially, allow accurate, reliable and critically refined knowledge, of the morphological and dimensional configuration of the object in its current physical condition. With the determination of the reference section of the plane (τ), it is allowed to represent the longitudinal section of the architectural entity in its greatest magnitude and expressed as the main section. The plane (τ) is perpendicular to the astronomical horizon (H), and it coincides with what has traditionally been called plumb bob. It contains the direction of the points of the curvature where, $f'(\omega) = 0$, by means of a regression vector A_b . This azimuth of the vaults does not have to coincide with A, defined as topographic and which is located at ground level. ■

References

1/ HEATH Th. L. (1908). The thirteen books of Euclid's Elements translated from the text of Heiberg with introduction and commentary. Three volumes. Cambridge: The University Press, vol 1, p. 195.

2/ PLINIUS (1878) C. Plini Secundi Naturalis historiae libri XXXVII, Volume 5 BG Teubner. In aedibus BG Teubneri in Lipsiae, p.95.

3/ REJÓN DE SILVA, A. (1784). The treatise on painting by Leonardo de Vinci; and the three books on the same art that León Bautista Alberti wrote; translated and illustrated with some notes by Don Diego Antonio Rejón de Silva. Madrid: Imprenta Real, pp. 226-299.

4/ DELLA FRANCESCA (2016). From prospective pingendi. Piero della Francesca to cura di Chiara Gizzi. Venezia: Edizioni Ca' Foscari - Digital Publishing, pp. 81-380.

5/ TRICHET DU FRESNE, R. (1651). Trattato della pittura by Lionardo da Vinci, nuouamente dato in luce, con la vita dell'istesso autore, scritta da Rafaele du Fresne. Si sono giunti i tre libri della pittura, & il trattato della statua di Leon Battista Alberti, con la vita del medesimo. Parigi: Appresso Giacomo Langlois, (Ch. XXXII) p. 7.

6/ DÜRER A. (1525). Underweysung der Messung, mit dem Zirckel und Richtscheyt, in Linien, Ebenen unnd ganzen corporen. Nürnberg: [sn], Folio. 90v-fol.92 r.

7/ DÜRER A. (1528). Hierinn sind begriffen vier Bucher von menschlicher Proportion durch Albrechten Durer von Nurerberg. Nürnberg: Hieronymus Andreae Formschneider, Folio. 115v-134v.

8/ MONGE, G. (1794). Stéréotomie. Journal de l'École Polytechnique. Vol. 1 pp. 1–14.

9/ VITRUVIUS, MP, ROSE, V (ed.) (1899). Vitruvii. By architectura Libri Decem. Iterum edidit Valentinus Rose, In aedibus BG Teubneri, Lipsiae, p.9.

10/ SAKAROVITCH, J.(1997). Epuress d'architecture. Basel-Boston-Berlin: Birkhäuser, pp.27-36.

11/ LASSUS, JB. 1858. Album of Villard de Honnecourt. Architecte du XIIIe siècle. Paris: Imprimerie impériale, pp. 93-96.

12/ SCHIMPF, A. *Statut des Tailleurs de Pierre de Strasbourg, 1459*. In: Les bâtisseurs du Moyen-Âge (ed.) Strasbourg: Editions les Musses de la Ville de Strasbourg. 1989, pp. 103-109.

13/ MATHONIÈRE. JM *L'Ancien compagnonnage germanique des tailleurs de Pierre*. In: Fragments d'histoire du Compagnonnage, volume 5, Musée du Compagnonnage. Tours. 2003, pp. 86-90.

14/ VITRUVIO, MP CESARIANO C. (ed). *Di Lucio Vitruvio Pollione de Architectura libri dece traducti di Latin in Vulgare affigurati: Comments & with looking ordine insigniti*. Gotardo da Ponte. Like. 1521. Liber primus 15r.-15v.

15/ VITRUVIAN, MP. RYFF, W (ed). Der furnembsten notwendigsten der ganzen Architectur angehörigen mathematischen und mechanischen Kunst eygentlicher Bericht und verständliche Unterrichtung. Johan Petreius. Nürnberg. 1548. Proposicones XXII-XXIII.

16/ JIMÉNEZ MARTÍN, A. PINTO PUERTO, F. (2003) Survey and analysis of buildings. Tradition and future. Seville: University of Seville, pp. 48-57.

17/ CIGOLA MICHELA (2001). Il rilievo per la conoscenza del costruito. In: *Metodi e tecniche della rappresentazione*. Cassino: Università di Cassino, pp. 15-38.

18/ ANGELINI, A, GABRIELLI, R. (2013) *Laser scanning and photo scanning. Tecniche di rilevamento per la documentazione 3D di beni architettonici ed archeologici*. Archeologia e Calcolatori, 24. pp. 379-394.

19/ LLUIS I GINOVART, J, COLL-PLA, S, COSTA-JOVER, A, LÓPEZ-PIQUER, M. (2017). Evaluation of large deformations on Romanesque masonry pillars: The case of Santa Maria de Arties. *Revista de la Construcción*, 16(3), 468-478.

20/ LLUIS I GINOVART, J, LÓPEZ-PIQUER, M, COLL-PLA, S, COSTA-JOVER, A. Orientation of the Romanesque churches in the region of Val d'Aran, Spain (11th – 13th centuries). *Archaeometry* 61 (1), 226-241.