

## Técnicas y metodologías para la documentación y la supervisión del patrimonio natural

### Techniques and methodologies for the documentation and supervision of natural heritage

Marco Limongiello

PhD Ingeniería Civil

Departamento de Ingeniería Civil, Universidad de Salerno

[mlimongiello@unisa.it](mailto:mlimongiello@unisa.it)

 <https://orcid.org/0000-0001-6755-7928>

Italia

#### Resumen

El estudio para cualquier tipo de intervención sobre el patrimonio cultural prevé una etapa preliminar de documentación del bien sobre el que se va a intervenir, ya sea un bien perteneciente al llamado patrimonio histórico o un bien de interés natural - del paisaje. El trabajo presenta una metodología integrada de levantamiento tridimensional para la restitución de información tridimensional georreferenciada y con precisión de centímetros, con el fin de contar con una restitución de métricas elaboradas para una piscina natural en el sudeste de Italia, en el municipio de Marina Serre. La piscina natural estudiada presenta una serie de puntos críticos, como zonas abovedadas y zonas a estudiar en el mar; para obtener un modelo tridimensional completo del objeto de estudio se utilizaron instrumentos como un escáner láser terrestre (TLS), utilizado principalmente para la adquisición de las cuevas presentes en el lugar y una aerofotogrametría desde un vehículo aéreo no tripulado, necesaria para la digitalización de la zona costera donde está presente la piscina. Los datos han sido fusionados, en un modelo único de nubes de puntos extremadamente detallado, para luego derivar toda la información métrica necesaria a partir de esto. Los resultados obtenidos muestran que la metodología ilustrada en el estudio puede ser replicada para la documentación y/o monitoreo de cualquier objeto de alto interés ambiental, sin vegetación.

**Palabras clave:** VANT; Escaneo láser; Modelación tridimensional georreferenciada; Paisaje; Piscina natural.

#### Abstract

The study for any type of intervention on cultural heritage, provides a preliminary stage of documentation of the asset on which to intervene, whether it is an asset belonging to the so-called historical heritage, or an asset of landscape - natural interest. The work presents an integrated 3D survey methodology for the restitution of three-dimensional information, georeferenced and with centimetre accuracy, for the restitution of elaborate metrics of a natural pool in south-eastern Italy, in the municipality of Marina Serre. The natural pool surveyed presents a series of critical points, such as vaulted passages and areas to be surveyed in the sea; to obtain a complete 3D model of the object of study the instruments used were a Terrestrial Laser Scanner (TLS), mainly used for the acquisition of the cavities present in the site, and an aerial photogrammetry from unmanned aerial Vehicle (UAV), necessary for the digitalization of the coastal zone where the pool is present. The data have been merged, in a single point cloud model extremely detailed, to then derive all the necessary metric information from this. The results obtained show that the methodology illustrated in the study can be replicated for the documentation and/or monitoring of any object of high environmental interest, without vegetation.

**Keywords:** UAV; Laser scanning; Georeferenced three-dimensional modelling; Landscape; Natural pool.

## Introducción

La fotogrametría y, en particular, la aplicación del software Structure From Motion (Lowe, 2004), han experimentado un importante aumento de aplicaciones en la última década por dos razones principales: los sensores, cada vez más baratos y ligeros y el uso de los llamados drones o mejor identificados como VANT (Vehículo Aéreo No Tripulado), que son cada vez más fiables y de uso más común (Segales, Gregor, Rodas, Gregor y Toledo, 2016). En el mundo científico, en el pasado reciente, también se ha producido un aumento gradual de las aplicaciones fotogramétricas (y aerofotogramétricas), en comparación con las aplicaciones del TLS (Terrestrial Laser Scanner).

En particular, en la primera década del nuevo milenio, la popularidad de los sensores LiDAR/TLS ha aumentado considerablemente para la producción de nubes de puntos, mientras que la fotogrametría, en la misma década, no ha sido capaz de proporcionar algoritmos capaces de generar nubes de puntos silenciosos que pueden conseguir los sistemas activos, para la calidad y la densidad de los datos (Kraus, 2007). Por esta razón, muchos investigadores han cambiado sus intereses de investigación al LiDAR y/o al TLS, lo que ha dado lugar a un menor avance en las técnicas fotogramétricas basadas en imágenes. Básicamente, las aplicaciones de levantamiento tridimensional en los primeros años del nuevo milenio se basaban en el uso de sensores activos, es decir, dispositivos capaces de generar una “imagen” tridimensional del objeto, empleando las propiedades ópticas de una señal luminosa adecuadamente codificada.

La luz codificada, a diferencia de la luz ambiental, es una luz que, por el contenido de información, es fácilmente reconocible por un sensor electrónico. Al contrario, la fotogrametría y, por lo tanto, el uso de la técnica pasiva hace que las coordenadas 3D de los puntos claramente identificables sean medibles en las imágenes, con variaciones de iluminación bien contrastadas. Con la difusión de la tecnología Structure from Motion (SfM), el método de levantamiento fotogramétrico ha recuperado finalmente su fuerza; SfM es una técnica de rango de imágenes (range imaging) derivada de la visión artificial (Computer Vision), con la que se estiman estructuras tridimensionales a partir de secuencias de imágenes bidimensionales.



Las ventajas y/o desventajas de las técnicas de levantamiento activas (alta densidad de datos y velocidad de adquisición) y pasivas (calidad de la textura y bajo costo), han inducido al mundo científico a realizar levantamientos 3D, especialmente en los campos de la arquitectura y la arqueología, como resultado de la integración de las dos tecnologías (Fassi, Fregonese, Ackermann y De Troia, 2013).

El caso de estudio trata la alineación de las salidas provenientes de un sensor activo (utilizado para el levantamiento de las cuevas) y un sensor pasivo (utilizado para detectar la orografía de toda la costa), para el levantamiento de la Piscina Natural ubicada en Marina Serre (Italia). Debido a la importancia del sitio por su paisaje e interconexiones históricas con el pasado, en los últimos años se ha planificado una serie de medidas de seguridad y mitigación de riesgos. Como cualquier intervención de este tipo, la fase de estudio y documentación de la obra son las etapas iniciales para las intervenciones de diseño y supervisión posteriores.

## **Metodología**

### **Caso de Estudio**

Marina Serre es un pueblo situado en la costa de Tricase, provincia de Lecce, en el sudeste de Italia (**figura 1**). Aquí las aguas del mar ofrecen un auténtico espectáculo de colores, luces y transparencias, capaz de embellecer aún más las ya bellas formaciones rocosas que componen el tramo costero. Es una costa llena de ensenadas, bahías y acantilados con vistas al mar, incluyendo verdaderas piscinas naturales. La costa es alta e irregular, así como rica en cuevas y ensenadas, formadas por la erosión de las olas y la presencia de una roca de sustrato de carbonato muy quebradiza.

Los acantilados, debido a la presencia de rocas de arenisca, forman una especie de fortificación natural debido a la regularidad que caracteriza a los lados cuadrangulares, mientras que el lecho marino se puede definir bajo. La piscina natural está delimitada por altas rocas que forman esta ensenada en forma de media luna.

En los diversos caminos peatonales que ahora se permiten dentro de la piscina, se encuentran una serie de pasajes abovedados, excavados naturalmente en la roca y, a lo largo del trecho debajo de la costa, se encuentra una espectacular cueva, denominada

Grotta Matróna (**figura 1**), a la que solo se puede acceder por el agua y que ofrece un espectáculo de reflejos de agua que tiñen las paredes de diversos tonos de azul.



**Figura 1.** Clasificación territorial: a) mapa de Italia, b) costa de Marina Serra y c) Acercamiento a la piscina natural Grotta Matróna. Fuente: elaboración propia

La zona también se caracteriza por la presencia de algunas torres de vigilancia construidas por los españoles en el siglo XVI y diseñadas para avistar a los invasores antes de que tocan tierra. Marina Serra está caracterizada por la Torre Palane, conectada con las otras cercanas Torre del Porto di Tricase y Torre Nasparo.

### Fases

La actividad de levantamiento representa un instrumento fundamental de conocimiento, documentación y análisis preparatorio para cualquier intervención de recuperación y/o conservación del patrimonio cultural o natural. Tras un cuidadoso análisis de las necesidades específicas que requiere la realización del levantamiento, la elección de la instrumentación más adecuada ha sido la de integrar diferentes tecnologías de levantamiento tridimensional.



En primer lugar, se optó por utilizar en la fase de adquisición un TLS con funcionamiento por diferencia de fase y cámara integrada, para detectar tridimensionalmente principalmente las cuevas de la Piscina Natural; la instrumentación activa mencionada anteriormente se complementó con el uso de un VANT (Vehículo Aéreo No Tripulado), para ampliar el área de levantamiento mediante técnicas fotogramétricas. El uso combinado de instrumentación óptica activa (TLS) y pasiva (aerofotogrametría), fue el más apropiado, combinando coberturas de más de cientos de metros, notable velocidad de adquisición de puntos, resoluciones y precisión del orden de centímetros. En los párrafos siguientes se ilustran las fases de adquisición y procesamiento de datos en sus entornos informáticos.

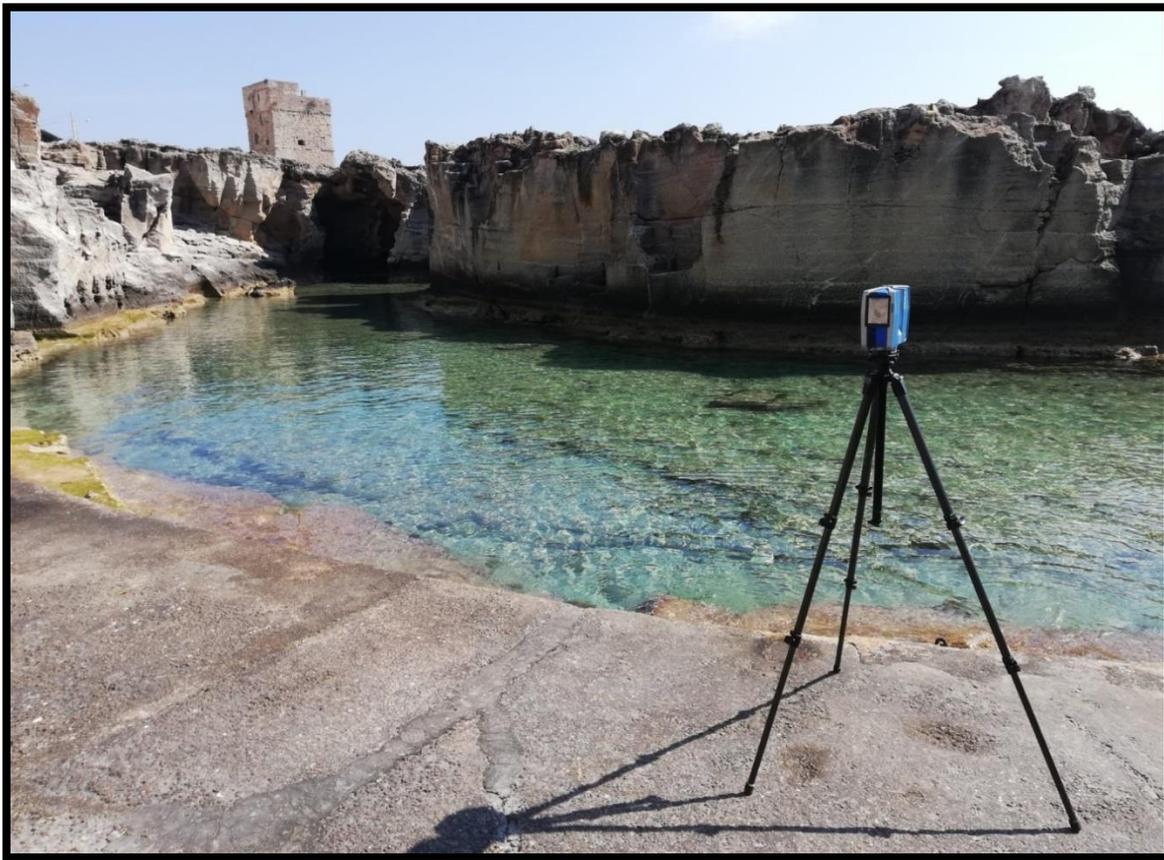
### **Adquisición y elaboración de datos TLS**

La principal instrumentación utilizada para la realización de los escaneos láser en 3D fue un escáner Faro Focus3D - Serie X330, con sistema de medición de diferencia de fase, equipado con GPS, cámara integrada y control remoto; este escáner ofrece una instrumentación compacta y ligera que permite garantizar numerosas estaciones y el cumplimiento de tiempos de adquisición rápidos. Las especificaciones técnicas se resumen a continuación: rango de adquisición: 0.6 - 330 m; campo de visión: 300° verticalmente y 360° horizontalmente; resolución mínima: 0.009° (40,960 3D-pixel 360°) verticalmente, 0.009° (40,960 3D-pixel 360°) horizontalmente; velocidad máxima de medición: 976,000 (puntos/segundo); error de distancia lineal:  $\pm 2$  mm; cámara a color integrada: hasta 70 megapíxeles (es decir, una resolución adecuada para una escala 1:50); sensores: GPS, brújula, sensor de altura; compensador biaxial: precisión de 0.015° con un rango de medición  $\pm 5^\circ$ .

El uso de esta instrumentación se refleja en una serie de ventajas en la fase de adquisición, entre ellas una resolución máxima absoluta de barrido único del orden de 1.6 mm, una burbuja y una verticalidad correcta en cada estación garantizada por el compensador biaxial integrado y la generación de una nube de puntos de color con una correspondencia exacta entre los datos cromáticos y la geometría, asegurada por la cámara de color integrada que permite la adquisición de vistas panorámicas de 360°. Por último, el pequeño tamaño y el peso ligero (<5 kg) de este escáner láser lo hacen fácil de transportar, incluso en zonas de

difícil acceso. La resolución de adquisición del escáner se fijó para obtener un punto cada 6 mm a una distancia de 10 metros con un intervalo angular de  $0.036^\circ$ .

Con el fin de obtener un modelo numérico completo y minimizar las zonas de sombra (es decir, donde no se adquieren los datos métricos) se han realizado tres escaneos, con estaciones específicas para representar la Grotta Matrona. Una vez finalizada la fase de levantamiento, los datos adquiridos se procesaron y los escaneos individuales se alinearon utilizando el software "SCENE 2019". Para simplificar la toma de datos entre los escaneos, durante las estaciones de escaneo por láser se han colocado algunas "esferas de referencia" (targets), gracias a las cuales es posible el reconocimiento automático de esferas homólogas entre los diferentes escaneos y, por lo tanto, la conexión y unión de los diferentes escaneos. Teniendo en cuenta que se requieren al menos tres esferas que sean comunes a cada estación, toda el área detectada ha sido cubierta con más de 20 esferas, colocadas a distancias variables entre sí. En la **figura 2** se representa una estación de escaneo.



**Figura 2.** Representación de una posición de escaneo con Faro Focus X330. Fuente: elaboración propia

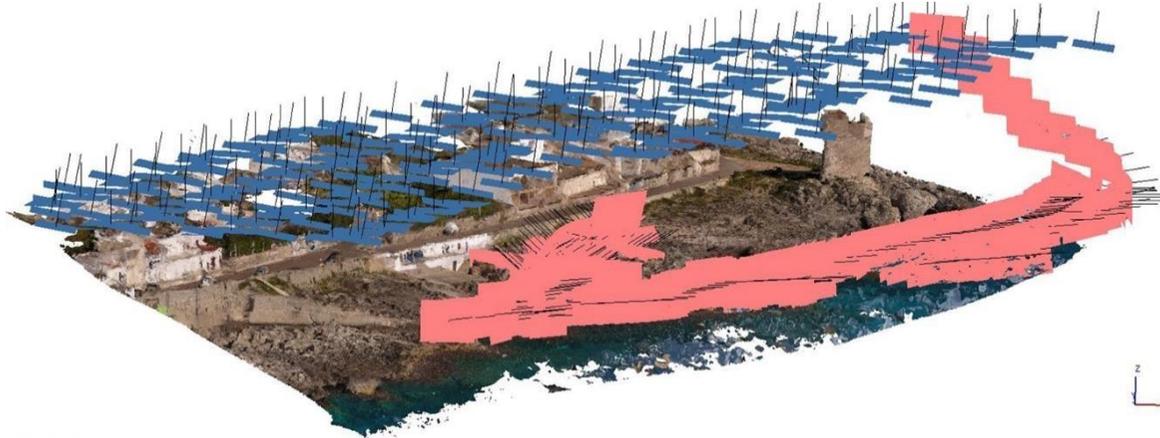


El software FARO Scene se ha utilizado tanto para la recopilación como para el procesamiento de datos. Para el procesamiento de datos, solo se realizaron los pasos esenciales, es decir, filtrar los datos de los puntos incorrectos de la alineación de la nube de punto, generar una nube de puntos con densidad homogénea y exportar los datos. Con el fin de reducir el ruido y mejorar la calidad general de los datos escaneados, se pueden aplicar filtros al archivo de datos escaneados para eliminar los valores atípicos o puntos con un valor de retorno de reflexión bajo (menos preciso). Posteriormente, después de que todos los datos del escáner hayan sido filtrados, deben ser guardados para producir un modelo completo de nube de puntos en 3D. Para la alineación de los datos se requiere un mínimo de tres objetivos de referencia disponibles en al menos dos escaneos diferentes; los objetivos han sido identificados automáticamente por el software a través de las esferas colocadas en el sitio durante las operaciones de estudio. Finalmente, la nube de puntos puede ser exportada para ser integrada con la nube fotogramétrica.

### **Adquisición y elaboración de datos aerofotogramétricos**

En el estudio de caso probamos un DJI Mavic Pro, que es un medio “ligero” que pesa unos 1400 g. El Mavic Pro es un cuadricóptero con cámara integrada capaz de grabar vídeo en 4K hasta 30 fotogramas por segundo y transmitir la señal de vídeo en HD a smartphones, tablets y dispositivos externos a través de un software de la misma empresa (DJI GO). La cámara está equipada con un sensor Sony CMOS Exmor de 12.4 megapíxeles (tamaño 6.3 x 4.7 mm, tamaño del píxel 1.56 x 1.56  $\mu\text{m}$ ), tiene un objetivo cuadrangular con una distancia focal equivalente de 20 mm, f/2.8 y FOV 94°. Tiene una serie de sensores que ayudan al piloto a conducir y mantener la posición en el vuelo. Para la adquisición de los fotogramas, se eligió un procedimiento de captura de imágenes del plan de vuelo, previamente programado en la aplicación DJI Ground Station. Se tomaron 227 imágenes, con un 80% de superposición, una altura de vuelo de 40 m, siguiendo dos franjas ortogonales: la primera de sur a norte, la segunda de oeste a este. Luego, para reconstruir con técnica fotogramétrica también el área de las cuevas hacia el mar y para garantizar una buena superposición también con el levantamiento del TLS, se hizo una adquisición manual con cámara inclinada de 45°. El vuelo en modo manual capturó tanto las paredes del interior de la Piscina Natural como las del exterior, adquiriendo otras 337

imágenes, garantizando una superposición estimada en promedio del 80% entre las tomas. Por lo tanto, en total el proyecto aerofotogramétrico aéreo incluye 564 imágenes. La **figura 3** muestra un detalle de las posiciones de la cámara (Camera positions).

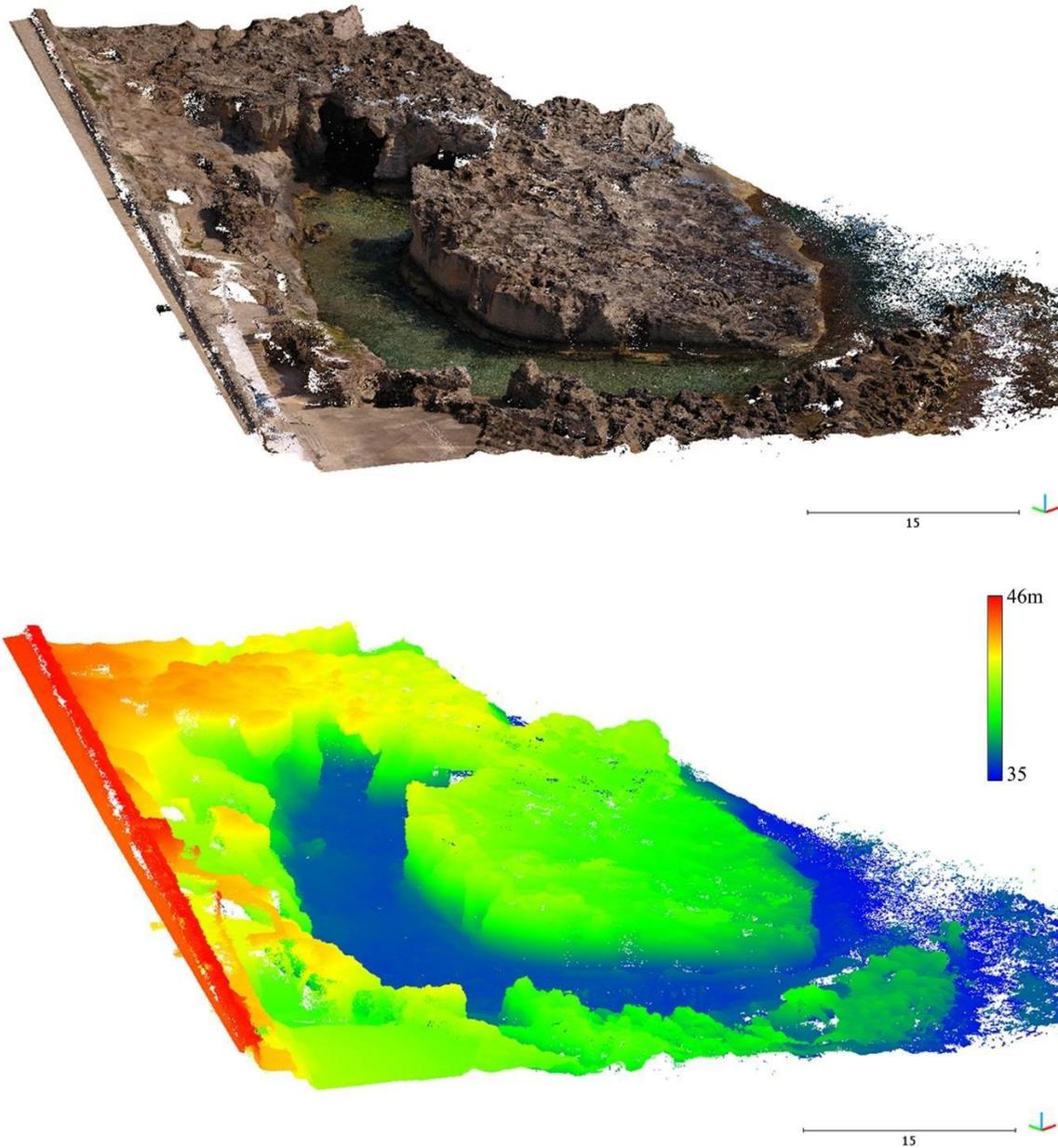


**Figura 3.** Posiciones de la cámara: en azul las imágenes tomadas del plan de vuelo, en rosa las imágenes tomadas en modo manual. Fuente: elaboración propia

El procesamiento de los datos tuvo lugar en el entorno de Agisoft Metashape, versión 1.5.3 build 8469; el proceso de restitución se basa en cuatro pasos bien conocidos: Align Photos, Build Dense Cloud, Build Mesh y Build Texture. En la fase de Align Photos se calculan los parámetros internos de la cámara (distancia focal, posición del punto principal, distorsiones radiales y tangenciales) junto con las determinaciones de la posición espacial y la generación de la Sparse Cloud.

En la siguiente fase se vuelve a proyectar un mayor número de píxeles, para cada cámara alineada, generando lo que es la Dense Cloud; luego, en la fase Build Mesh, los puntos de la nube se someten a algoritmos de triangulación para tener un modelo poligonal sujeto a la proyección de la textura en la fase Build Texture. En la fase Align Photos se han establecido los parámetros: Accuracy = High, Key point limit = 4000, Tie point limit = 4000, obteniendo 463,038 puntos. En la elaboración de la Dense Cloud los parámetros utilizados fueron: Quality = High, Depth filtering = Disable, con un total de 101,606,121 puntos. Para la Mesh, los parámetros establecidos fueron: Surface type: Arbitrary; Source data: Dense Cloud y Face cont: Medium.

Para la proyección de la textura en el modelo poligonal, los parámetros elegidos son: Mapping Mode: Generic; Blending Mode: Mosaic; Texture size: 4096 x 1. A partir del procesamiento completo de las tomas fotogramétricas en este entorno de software se ha generado el modelo 3D de toda el área de la Piscina Natural tanto como una nube de puntos como un modelo poligonal. En la **figura 4** se representa una vista en perspectiva de la Dense Cloud en el área de la Grotta Matrona.



**Figura 4.** Vista de perspectiva de la Dense Cloud en color (arriba) y por altitud (abajo).

Fuente: elaboración propia

## GPC – Ground Control Point

El levantamiento utilizando el escáner láser permite obtener un conjunto de coordenadas tridimensionales del objeto, en un sistema de referencia relacionado con el instrumento. Para georreferenciar todos los escaneos en un mismo sistema de referencia, este se realizó con un apoyo topográfico; para simplificar el procedimiento, se utilizaron puntos a tierra con objetivos fotogramétricos (dimensión 60x60 cm) y tomados con antena GNSS (Global Navigation Satellite System), tanto para georreferenciar la nube de puntos del escáner láser como la nube fotogramétrica en el mismo sistema de referencia. Para medir las coordenadas de los objetivos se ha utilizado un receptor Geomax Zenith 25 con antena GNSS, la cual puede rastrear todos los satélites con la máxima intensidad de señal disponible y realiza comprobaciones regulares e independientes. Las mediciones se hicieron en 10 objetivos fotogramétricos.

El sistema de referencia utilizado es el UTM/ETRF00 con cuotas elipsoidales. La precisión alcanzada en la planimetría es, en promedio, subcentimétrica, mientras que en la altimetría es de unos 2.5 cm. Los restos o residuos de GCP, obtenidos mediante el cálculo fotogramétrico en las direcciones Este (E), Norte (N) y h (altura elipsoidal), se muestran en la **tabla 1**; es de destacar que el promedio de residuos fue inferior a 4 cm. Cabe señalar también que el error medio más alto en los tres ejes se da a lo largo de la altura (h); esto se debe probablemente a la ubicación del GCP a alturas aproximadamente similares (limitación debida a las condiciones orográficas de la zona) y a la menor precisión en la altimetría de la medición del GNSS en modo nRTK (Barba, Limongiello y Mele, 2016).

**Tabla 1.**

*Errores de GCP del cálculo fotogramétrico*

GCP	N <sub>ERROR</sub> (m)	E <sub>ERROR</sub> (m)	Z <sub>ERROR</sub> (m)	3D <sub>ERROR</sub> (m)
P1	0.020	0.015	0.050	0.056
P2	0.012	0.016	0.006	0.021
P3	0.011	0.007	0.108	0.108
P4	0.015	0.004	0.020	0.026
P5	0.004	0.016	0.012	0.020
P6	0.000	0.002	0.010	0.010
P7	0.011	0.006	0.003	0.013

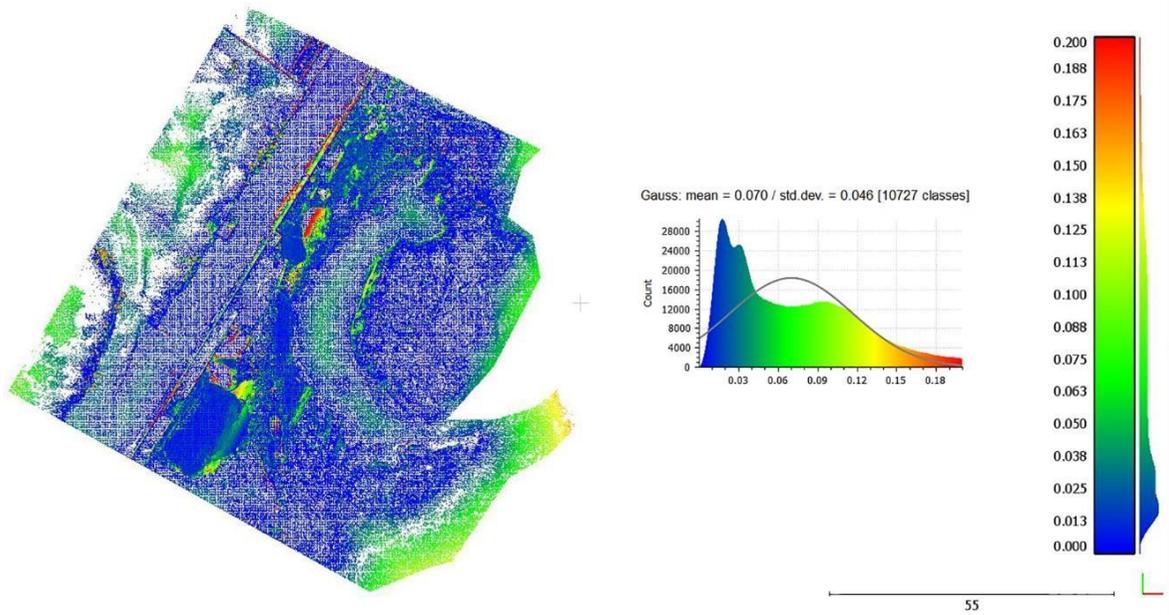
<b>GCP</b>	<b>N<sub>ERROR</sub> (m)</b>	<b>E<sub>ERROR</sub> (m)</b>	<b>Z<sub>ERROR</sub> (m)</b>	<b>3D<sub>ERROR</sub> (m)</b>
P8	0.012	0.021	0.031	0.039
P9	0.008	0.015	0.020	0.026
P10	0.013	0.001	0.024	0.027
<b>Media (m)</b>	0.011	0.010	0.028	0.035

Fuente: elaboración propia

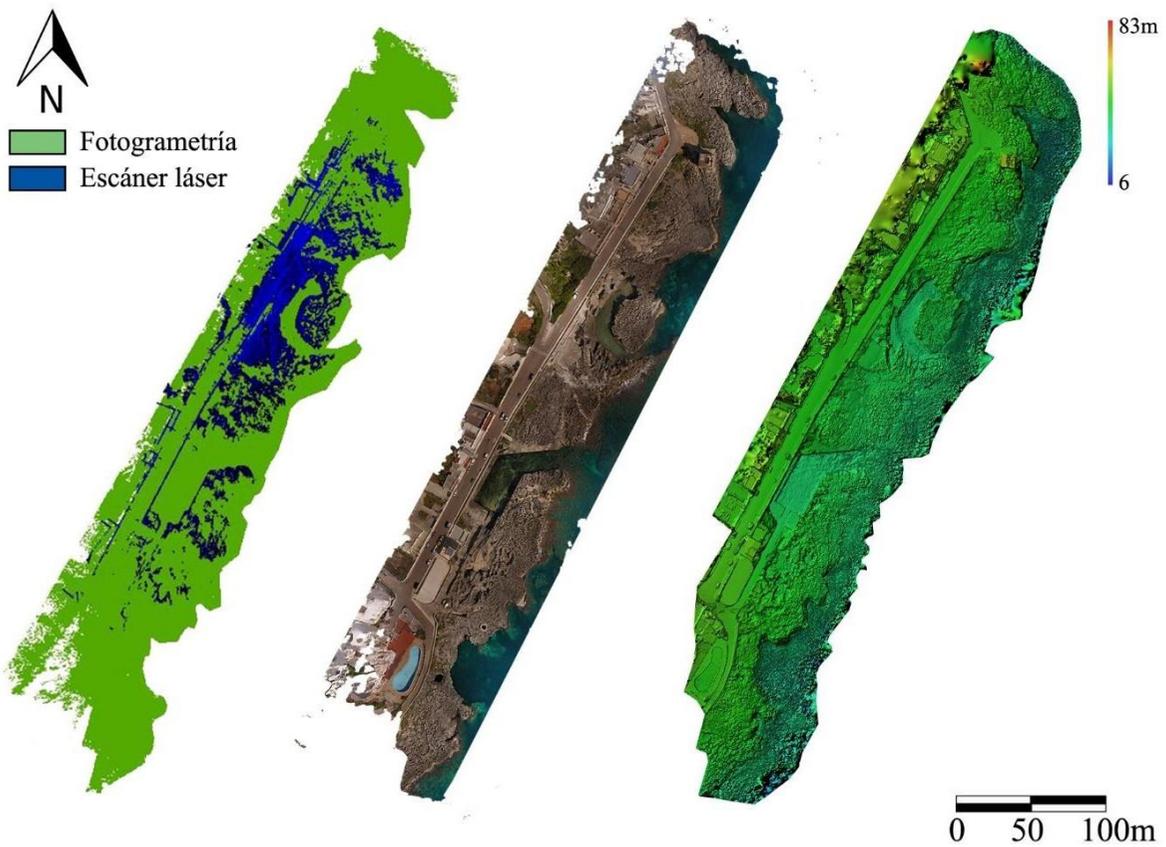
## **Resultados y discusión**

De las adquisiciones anteriores con el TLS y aereofotogrametría se obtuvo, respectivamente, una nube de puntos del TLS de unos 132 millones de puntos que engloba, principalmente, la zona de la Piscina Natural y sus cuevas, mientras que de la aereofotogrametría con VANT se obtuvo una nube de puntos de unos 102 millones de puntos que representa todo el tramo de costa a lo largo de unos 600 m. Las nubes de puntos se alinearon en el mismo sistema de referencia, UTM/ETRF00, dentro del entorno del software CloudCompare (Girardeau-Montau, Roux, Marc y Thibault, 2005), mediante la rototraslación de la nube de escáner láser en la nube aerofotogramétrica, utilizando las coordenadas de los objetivos de 60x60 cm utilizadas dentro del proceso fotogramétrico.

El error promedio de alineación en los puntos homólogos identificados es de unos 10.3 cm. La alineación entre las dos nubes de puntos se ha mejorado aún más a través de los procedimientos de ICP – Iterative Closest Point (Ronchi, Limongiello y Ribera, 2019). El error de alineación final promedio entre las nubes de puntos se ha estimado en Cloud Compare y es igual a unos 7 cm (**figura 5**). A partir de la alineación y unión de las nubes de puntos adquiridas con el TLS y la aerofotogrametría se obtuvieron varias elaboraciones métricas: en particular, solo a partir de la aerofotogrametría se extrajo una ortofoto con una resolución de 2 cm y un DSM de toda la costa y las curvas de nivel con un intervalo de 50 cm (**figura 6**), mientras que a partir del modelo del TLS, integrado con el modelo aerofotogramétrico, se obtuvieron los espesores de las rocas de todas las secciones abovedadas y, en particular, de la Grotta Matrona.



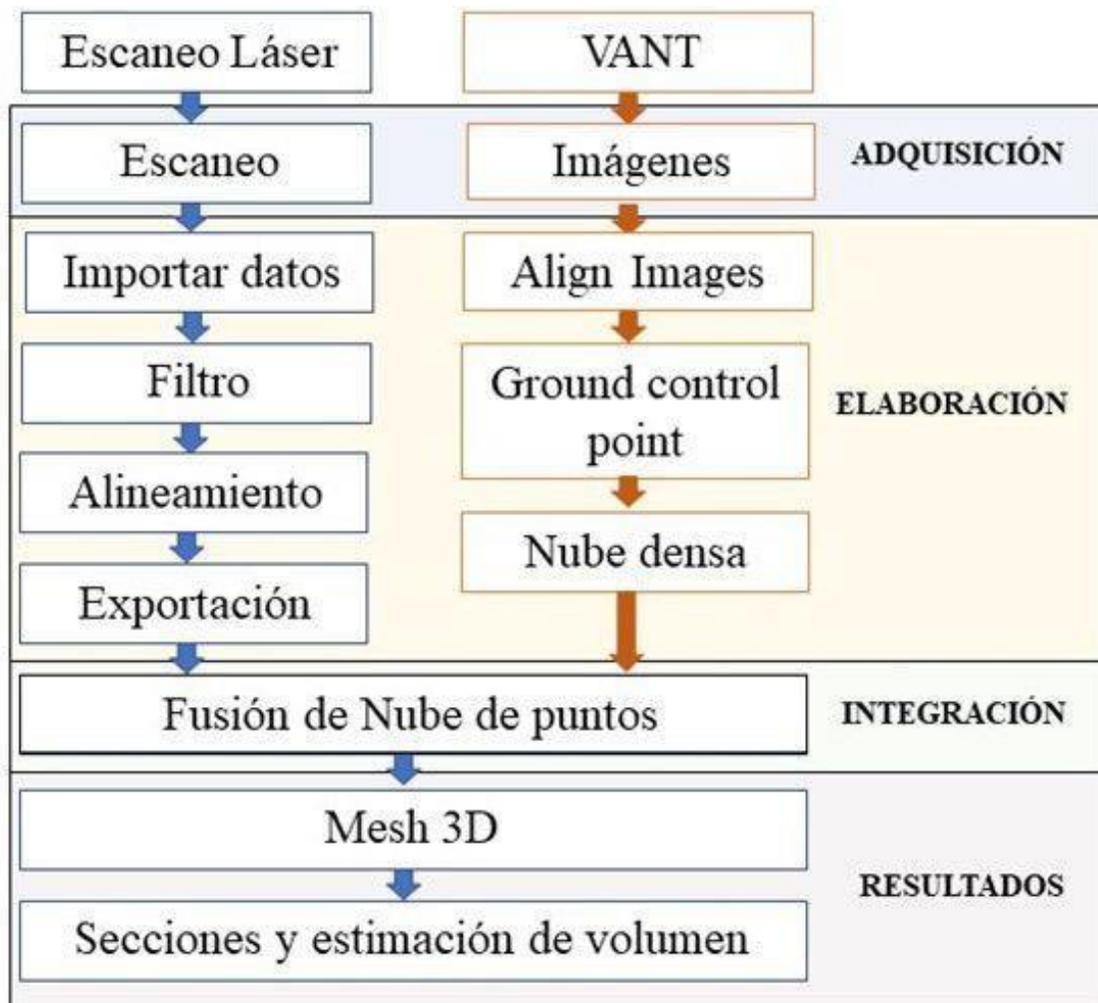
**Figura 5.** “Cloud to Cloud” distancia entre la nube TLS y aerofotogramétrica. Fuente: elaboración propia



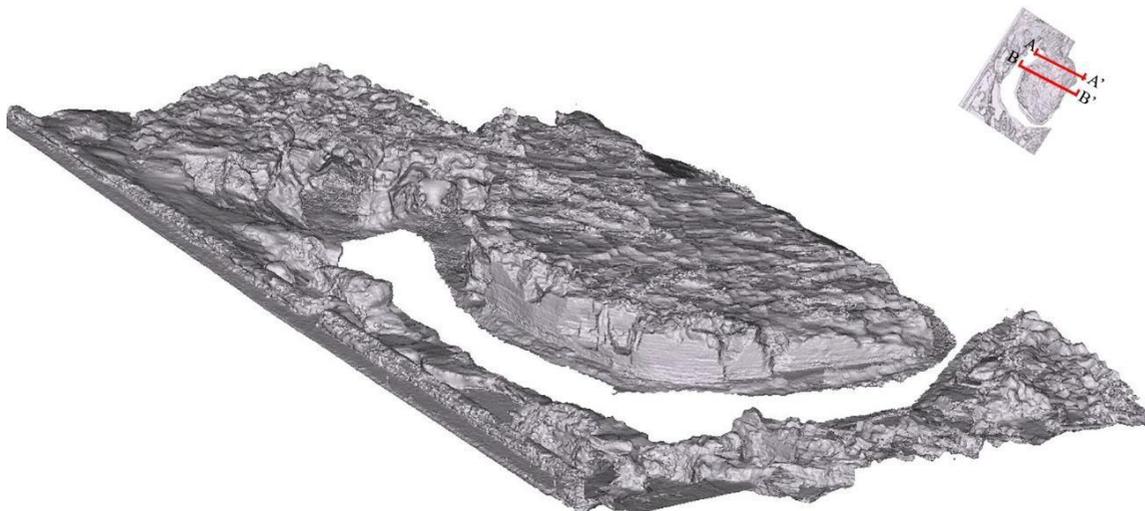
**Figura 6.** De izquierda a derecha: entrelazado de nubes de puntos; ortofoto nadiral con VANT; DSM aerofotogramétrico. Fuente: elaboración propia

La **figura 7** muestra el diagrama de flujo de la metodología aplicada para la modelización tridimensional de la zona de la piscina natural. Para calcular el grosor de los tramos cubiertos con bóvedas, se realizó un modelo poligonal solo de la zona de la Piscina Natural; a continuación, se utilizó el algoritmo, basado en la interpolación con el método de Poisson (Kazhdan, Bolitho y Hoppe, 2006).

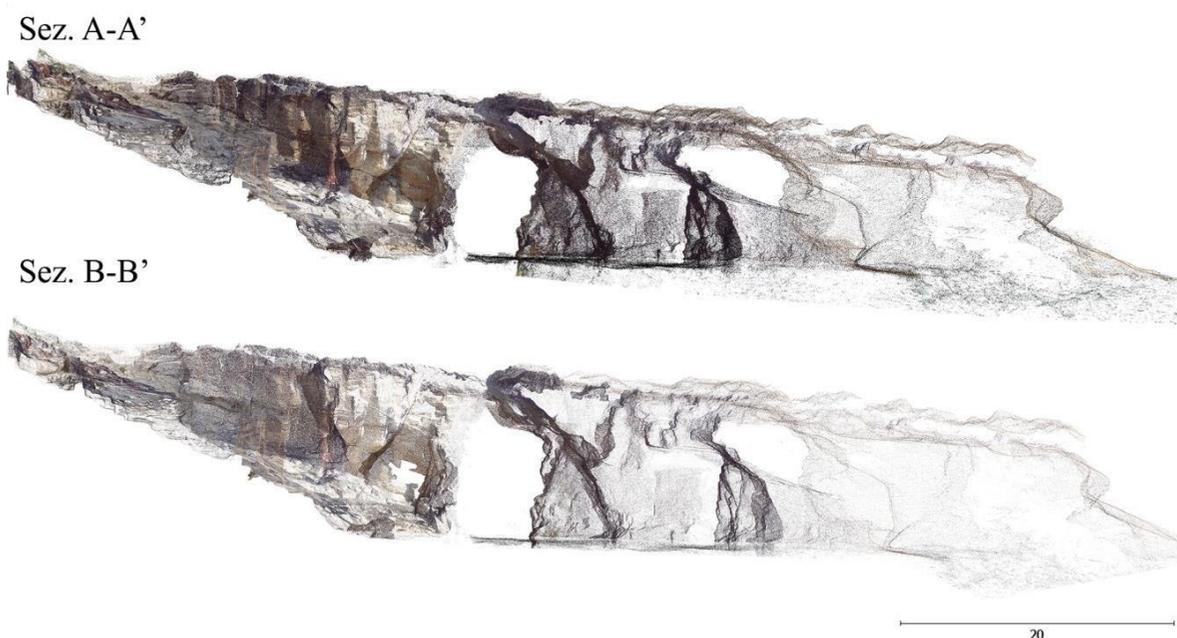
En la malla así obtenida se identifican entonces una serie de puntos, cuya distancia corresponde al punto de reconstrucción que se obtendrá en la nube final (**figura 8**). Estos puntos representan posiciones aproximadas para la nube 3D. A partir del modelo de nubes de puntos se realizaron una serie de secciones, ortofotos a partir de las cuales fue posible calcular los espesores y volúmenes deseados (**figura 9**).



**Figura 7.** Diagrama de flujo de la metodología utilizada para la modelización tridimensional de la zona de estudio. Fuente: elaboración propia



**Figura 8.** Vista en perspectiva de la malla poligonal. Fuente: elaboración propia



**Figura 9.** Secciones A-A' y B-B' de la nube de puntos de la Grotta Matrona. Fuente: elaboración propia

## Conclusiones

El objetivo principal de este trabajo fue aplicar una metodología capaz de integrar la información geométrica medida con un TLS con la procedente de un sensor 2D -en particular un VANT- para la documentación y posterior monitoreo de los bienes naturales



difíciles de medir con las técnicas topográficas tradicionales. El trabajo muestra que en la fase de campo es necesario adquirir información redundante de ambas herramientas, a fin de estimar los posibles errores de alineación y, por lo tanto, la precisión métrica de la nube de puntos final y medir las referencias externas, como los objetivos fotogramétricos, también con técnicas topográficas como sistemas GNSS. La medición de puntos comunes permite, de hecho, la rototraslación de las nubes de puntos en el mismo sistema de referencia.

El uso combinado de sensores activos y pasivos representa una doble ventaja: la nube de escáner láser es capaz de detectar áreas que son difíciles de medir con la técnica fotogramétrica, mientras que la misma técnica fotogramétrica compensa la pobre información RGB de la instrumentación range-based.

Los resultados métricos de la alineación han calculado para la fotogrametría aérea un promedio de residuos del orden de 3.5 cm, mientras que, a partir de la alineación de las nubes de puntos (escáner láser y fotogrametría aérea), hay un residuo métrico de alineación promedio de unos 7 cm. El efecto fotorrealista del modelo tridimensional permite investigar con mayor precisión el estado de conservación del objeto, generando secciones, midiendo espesores y volúmenes en la roca, que son difíciles, si no imposibles de estimar con las técnicas tradicionales.

El estudio de caso demuestra una vez más, tal y como ya lo han señalado varios autores que, para la innovación tecnológica disponible hoy en día, el mejor enfoque para un levantamiento tridimensional en el campo del Patrimonio Cultural ya sea histórico o natural, es la integración de los datos del escáner láser (TLS o Lidar) y los datos fotogramétricos.

### **Literatura citada**

Barba, S., Limongiello, M. y Mele, F. (2016). Una herramienta VANT experimental para una metodología cada vez más consolidada: el caso de Via di Nocera en Pompeya, XVIII Convención Científica de Ingeniería y Arquitectura, 21-25. Recuperado de: [https://www.academia.edu/42344548/Uno\\_strumento\\_UAV\\_sperimentale\\_per\\_una\\_metodologia\\_sempre\\_pi%C3%B9\\_consolidata\\_il\\_caso\\_di\\_Via\\_di\\_Nocera\\_a\\_Pompe](https://www.academia.edu/42344548/Uno_strumento_UAV_sperimentale_per_una_metodologia_sempre_pi%C3%B9_consolidata_il_caso_di_Via_di_Nocera_a_Pompe)

[i Una herramienta VANT experimental para una metodolog% C3% A Da cada ve z m% C3% A l s consolidada el caso de Via di Nocera en Pompeya](#)

Fassi, F., Fregonese, L., Ackermann, S. y De Troia, V. (2013). Comparison between laser scanning and automated 3D modelling techniques to reconstruct complex and extensive cultural heritage areas. The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, XL-5/W1, pp.73-80. Recuperado de:

[https://www.researchgate.net/publication/235742814\\_Comparison\\_between\\_laser\\_scanning\\_and\\_automated\\_3d\\_modelling\\_techniques\\_to\\_reconstruct\\_complex\\_and\\_extensive\\_cultural\\_heritage\\_areas](https://www.researchgate.net/publication/235742814_Comparison_between_laser_scanning_and_automated_3d_modelling_techniques_to_reconstruct_complex_and_extensive_cultural_heritage_areas)

Girardeau-Montaut, D., Roux, M., Marc, R. y Thibault, G. (2005). Change detection on points cloud data acquired with a ground laser scanner. International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, 36 (Part 3/W19), pp. 30-35. Recuperado de:

<https://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.109.4047&rep=rep1&type=pdf>

Kazhdan, M., Bolitho, M. y Hoppe, H. (2006). Poisson surface reconstruction. In Proc. of the Eurographics Symposium on Geometry Processing, pp. 61-70. Recuperado de:

<http://hhoppe.com/poissonrecon.pdf>

Kraus, K. (2007). Photogrammetry: Geometry from Images and Laser Scans. Berlín, Boston: De Gruyter. DOI: <https://doi.org/10.1515/9783110892871>

Lowe, D.G. (2004). Distinctive Image Features from Scale-Invariant Keypoints. International Journal of Computer Vision, 60(2), 91-110. <https://www.cs.ubc.ca/~lowe/papers/ijcv04.pdf>

Ronchi, D., Limongiello, M. y Ribera, F. (2019). Field work monitoring and heritage documentation for the conservation project: The “Foro Emiliano” in Terracina (Italy). Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci., XLII-2/W15, 1031–1037. Recuperado de:



[https://www.academia.edu/40277257/Field work monitoring and heritage documentation for the conservation project The Foro Emiliano in Terracina Italy](https://www.academia.edu/40277257/Field_work_monitoring_and_heritage_documentation_for_the_conservation_project_The_Foro_Emiliano_in_Terracina_Italy)

Segales, A., Gregor, R., Rodas, J., Gregor, D. y Toledo, S. (2016). Implementation of a low cost UAV for photogrammetry measurement applications. International Conference on Unmanned Aircraft Systems (ICUAS), Arlington, VA, USA, pp. 926–932. Recuperado de:

[https://www.researchgate.net/publication/304816801\\_Implementation\\_of\\_a\\_low\\_cost UAV for photogrammetry measurement applications](https://www.researchgate.net/publication/304816801_Implementation_of_a_low_cost_UAV_for_photogrammetry_measurement_applications)