

Rilievo e rappresentazione digitale di ambienti ipogei: l'ex deposito siluri a Erice (Trapani)

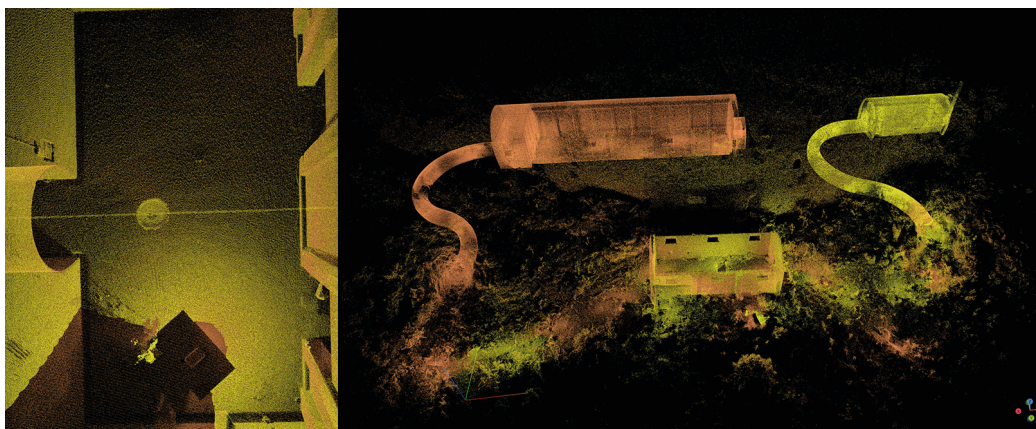
Marco Rosario Geraci

Abstract

Il contributo indaga le possibilità offerte dalle tecnologie digitali per la misura e la rappresentazione nello studio degli spazi ipogei e nella analisi delle loro relazioni con il contesto di riferimento. Il caso studio prescelto è una struttura militare realizzata nella prima metà del XX secolo nelle viscere di Monte San Giuliano, vicino a Trapani, all'estremità occidentale della Sicilia: un sistema di gallerie artificiali in cemento armato che doveva assolvere la funzione di deposito per siluri. La sperimentazione è stata indirizzata a un triplice obiettivo: a) testare l'affidabilità degli scanner SLAM e di smartphone con sensori LIDAR nel rilievo di ambienti confinati caratterizzati da un prevalente sviluppo longitudinale; b) definire un *workflow* per integrare le scansioni SLAM con dati acquisiti con metodi fotogrammetrici SfM; c) esplorare le opportunità offerte dagli strumenti digitali nella rappresentazione della morfologia degli spazi ipogei e delle loro connessioni con il contesto. L'analisi dei dati acquisiti ha mostrato una buona qualità delle scansioni SLAM e una discreta versatilità delle procedure di allineamento che ne permettono l'integrazione con il rilievo fotogrammetrico. La sperimentazione sulle forme della rappresentazione è stata indirizzata alla produzione di tre differenti prodotti: a) disegni convenzionali; b) Viste di modelli mesh; c) applicazioni di *motion tracking*.

Parole chiave

Deposito siluri, scanner SLAM, Ipogei, fotogrammetria SfM, Seconda Guerra Mondiale.



Viste delle nuvole di punti delle gallerie acquisite con laser scanner SLAM.

Introduzione

La documentazione degli spazi ipogei ha da sempre costituito una sfida per le discipline del rilievo e della rappresentazione. La struttura labirintica, 'topologica' di spazi che vengono a rivelarsi soltanto lungo un percorso, ha imposto l'adozione di opportune strategie di misura e di disegno. Il rilievo topografico, basato sulla misura di angoli, ha permesso una prima significativa esplorazione di questi spazi, pur lasciando irrisolta la questione della rappresentazione di ambienti spesso sovrapposti e articolati in modo complesso, come ad esempio nel caso delle coltivazioni ipogee dei minerali [Agnello 2014].

L'introduzione degli strumenti per il rilievo digitale, in particolare dei laser scanner, ha permesso una documentazione degli spazi ipogei prima impensabile grazie alla capacità di tali strumenti di operare in condizioni di assenza di luce.

La commercializzazione di maneggevoli sistemi portatili di illuminazione ha permesso di superare uno degli ostacoli principali nell'approccio alla documentazione degli spazi ipogei, aprendo al confronto fra l'utilizzando di sensori attivi e passivi per la generazione modelli 3D di spazi sotterranei [Pukanská et al. 2020; Giordan et al. 2021]. La recente evoluzione dei laser scanner, con l'introduzione di strumenti SLAM (*Simultaneous Localization and Mapping*) in grado di misurare in movimento, offre oggi nuove opportunità nei processi indirizzati alla conoscenza e alla documentazione degli spazi ipogei [Pinpin et al. 2021; Štroner et al. 2025].

Un'ulteriore potenzialità da indagare è data dalla possibilità di integrare il rilievo degli ambienti ipogei con il rilievo del contesto ambientale, così permettendo di riconoscere le relazioni fra le fabbriche, l'orografia del sito, gli ingressi agli ipogei e il loro sviluppo nel sottosuolo.

Il contributo espone gli esiti di una sperimentazione sull'integrazione di acquisizioni con strumenti laser scanner mobili e con ricevitori GNSS e sull'integrazione fra queste e le elaborazioni fotogrammetriche SfM da fotografie aeree.

L'ex deposito siluri della Regia Marina a Erice (Trapani)

Base di Classe 3: "Installations that could accommodate small squadrons of escorts and coastal forces, with almost no workshops, no dry-docks and defences limited to anti-aircraft guns and machine guns" [1] [Brescia 2012, p.14]. La definizione illustra – su una scala da 1 a 5 – le caratteristiche delle strutture militari della Regia Marina italiana costruite a cavallo dei due conflitti mondiali, in un'ampia area che va dal bacino portuale della città della Trapani fino alle pendici di monte Erice.

L'area denominata 'Ex deposito siluri della Reale Marina', oggi abbandonata, venne utilizzata come sito di armamento e stoccaggio dei siluri impiegati dalla Marina italiana su MAS (Motoscafo Armato Silurante) e nei sommergibili che avevano base nelle acque del Porto di Trapani.

L'ex area militare è protetta a nord dal massiccio roccioso di Monte San Giuliano (Monte Erice), che ne impedisce la vista diretta e costituiva elemento di protezione da eventuali attacchi dal mare.

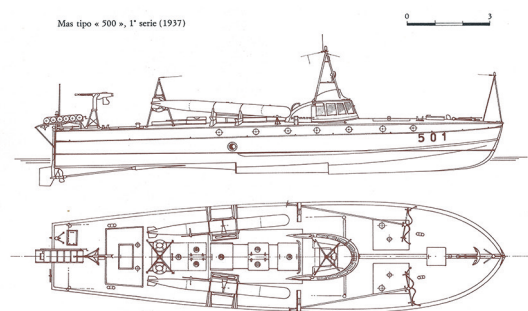


Fig. 1. A sinistra, disegno di un MAS tipo 500. A destra, lancio di uno dei due siluri di cui era dotato un MAS. Da: Colliva 1971, p. 14.

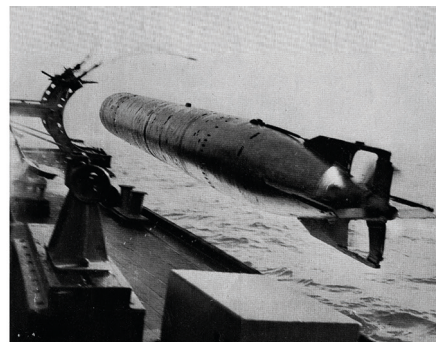




Fig. 2. Foto aerea dell'area esterna dell'ex deposito siluri della Reale Marina (fotografia dell'autore)..

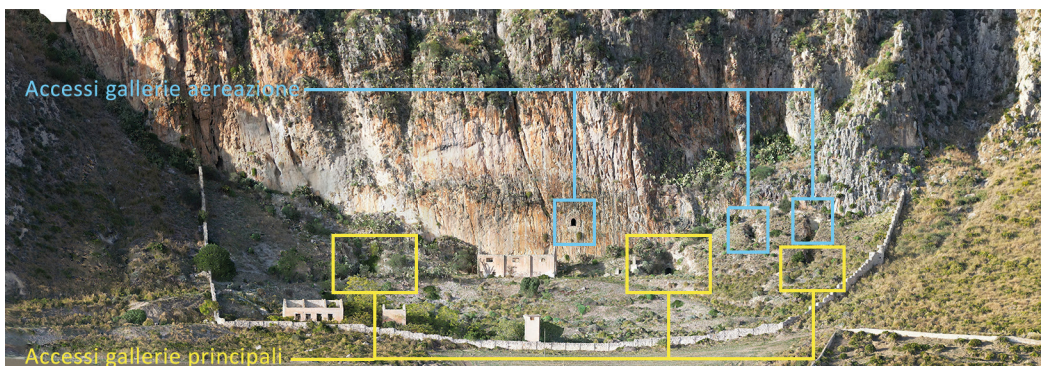


Fig. 3. In alto: ortofoto dell'area con indicazione dei corpi di fabbrica esterni; In basso: ortofoto del fronte roccioso che insiste sull'area della base. In evidenza gli ingressi alle gallerie (fotografie dell'autore).

L'area esterna, in lieve declivio, si estende per circa 11.000 mq ed è delimitata da un recinto poligonale, costruito con pietra locale, di sezione muraria variabile fra 50 e 60 cm [2] e di altezza media pari a circa 2 m. Si accede all'area da un varco di ingresso a ovest.

Sul fronte roccioso del Monte San Giuliano rivolto verso l'area della ex-base, lungo circa 170 m, sono riconoscibili sei accessi a gallerie artificiali che si sviluppano all'interno della montagna con andamento e a quote differenti.

I naturali processi millenari di carsismo che hanno eroso la tenera roccia di cui è composto Monte San Giuliano, creando grotte e spelonche naturali, hanno probabilmente ispirato la scelta di ubicare in questo sito l'articolato impianto ipogeo antropico del deposito di siluri.

In totale sono stati localizzati gli ingressi di sei gallerie, tre delle quali conducono a spazi ipogei di più ampie dimensioni: sale coperte da volte a botte al cui interno sono stati realizzati padiglioni che verosimilmente ospitarono le operazioni militari di armamento dei siluri e lo stoccaggio del materiale esplosivo.



Fig. 4. In alto: fotografie degli accessi ad alcune delle gallerie. In basso: interni di alcune gallerie. Si noti la presenza di un padiglione costruito all'interno della montagna (fotografie dell'autore).

Il rimanenti accessi conducono invece a gallerie 'di servizio', ubicate a una quota più alta e collegate alle gallerie sottostanti tramite pozzi verticali dotati di staffe metalliche per il loro attraversamento; verosimilmente queste gallerie erano concepite per un generare un sistema di aerazione naturale.

Operazioni di rilievo

Al fine di realizzare una documentazione capace di descrivere efficacemente caratteristiche e relazioni fra spazi esterni ed ambienti ipogei, l'acquisizione dei dati metrici dell'area oggetto

di studio è stata eseguita integrando tre metodologie: GNNS, fotogrammetria SfM, scansioni SLAM. Un ulteriore test è stato eseguito con uno smartphone dotato di sensore LIDAR.

Il rilievo con metodi GNNS è stato dedicato alla misura del punto baricentrico di otto piastre in alluminio di forma quadrata, di lato pari a 50 cm, dipinte in bianco e nero, distribuite sul terreno nell'area esterna adiacente alle gallerie.

Il rilievo fotogrammetrico è stato utilizzato per la documentazione dell'area esterna; le immagini sono state acquisite dall'alto con l'ausilio di un drone *DJI mini 3 Pro* in modalità manuale, al fine di assicurare un maggiore controllo del movimento del velivolo in prossimità della parete rocciosa. In totale, sono state acquisite più di 500 fotografie dell'area. La collocazione e la dimensione dei *target* ne ha permesso il riconoscimento nelle immagini fotografiche.

All'interno del *software* SfM, i punti baricentrici di ciascuna piastra sono stati individuati in un sufficiente numero di fotografie tramite il posizionamento di punti controllo virtuali (*marker*). A ciascun *marker* sono state quindi attribuite le coordinate GNNS precedentemente acquisite. Ciò ha permesso di conferire fattore dimensionale e orientamento spaziale al modello fotogrammetrico. A seguito dell'inserimento delle coordinate il modello ha prodotto un errore medio di 1,2 cm, del tutto accettabile per le finalità dello studio.

L'elaborazione fotogrammetrica ha permesso di generare:

- una nuvola di punti densa utilizzata per l'estrazione di profili di sezione della montagna e dell'area occupata dalla base;
- un'ortofoto della parete di Monte San Giuliano con gli ingressi alle gallerie;
- una *mesh* texturizzata dell'area.

La seconda fase di rilevamento è stata rivolta alla documentazione degli ambienti ipogei. In questo caso sono state messe a confronto due differenti tecniche di acquisizione, che utilizzano rispettivamente strumenti *high-end* e dispositivi *low-cost*.

Le prime acquisizioni sono state acquisite con uno scanner *Faro Orbis*, che sfrutta gli algoritmi SLAM per eseguire scansioni in movimento [3].

In considerazione della recentissima commercializzazione di questa tipologia di scanner, appare utile in questa sede dettagliare le modalità di funzionamento del dispositivo utilizzato.



Fig. 5. Acquisizione dei *marker* nel rilievo GNNS, SLAM e fotogrammetrico..

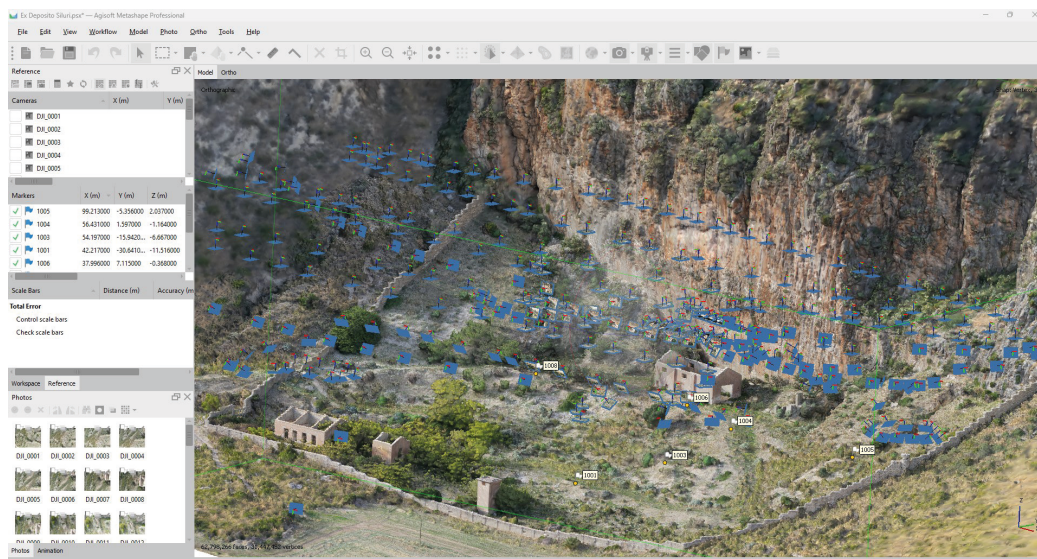


Fig. 6 Elaborazione fotogrammetrica.

Lo scanner *Faro Orbis* [4] è un telemetro laser a tempo di volo unito ad un dispositivo IMU (unità di misura inerziale) montati su un motore che permette il movimento della testa di scansione. Tale movimento permette di generare dati 3D 'grezzi', immagazzinati su un datalogger collegato allo scanner tramite cavo. Il sistema è alimentato da batteria che permette acquisizioni fino a quattro ore. I dati acquisiti possono essere utilizzati solo dopo una prima fase di elaborazione tramite *software* proprietario *Faro Connect*. La nuvola di punti può esser 'colorata' attribuendo ai punti un valore RGB attraverso la proiezione dei *pixel* di immagini fotografiche, acquisite da una fotocamera sferica rigidamente collegata allo scanner.

Durante l'accensione lo scanner deve essere posizionato su una superficie piana e libera da ostacoli ravvicinati. Le operazioni di scansione vengono poi interamente gestite da uno *smartphone* collegato allo scanner con wi-fi, tramite una *app* proprietaria.

Il processo di scansione è altamente automatizzato. Nella fase iniziale l'operatore crea un nuovo progetto; ciascuna sessione di acquisizione verrà archiviata in un sottolivello del progetto, detto 'foglio', configurabile da parte dell'operatore.

Avviata la scansione, la testa dello scanner inizia a ruotare, e sullo *smartphone* si visualizza l'anteprima dei primi punti acquisiti; è quindi possibile sollevare lo scanner e iniziare la sessione di acquisizione. Seguendo le indicazioni della casa produttrice, ciascuna sessione

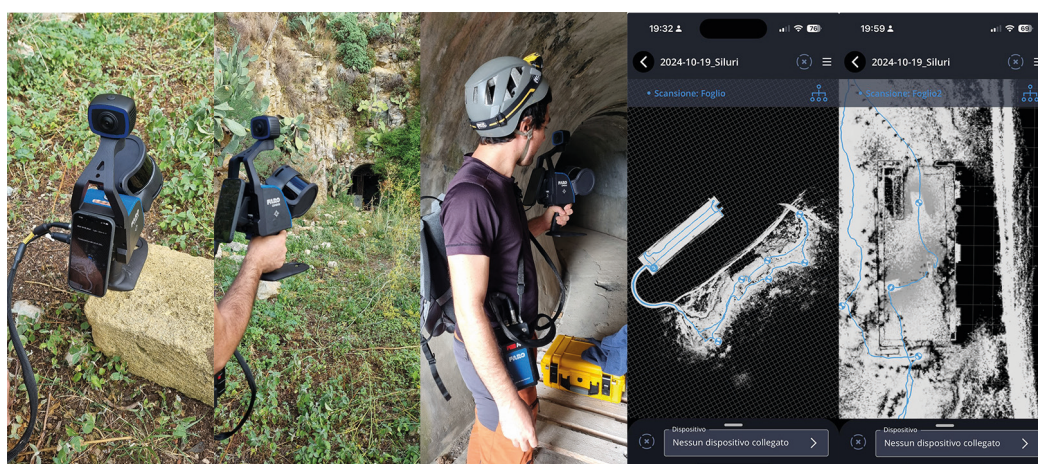


Fig. 7. A sinistra, foto della sessione di acquisizione con laser scanner SLAM. A destra, screenshot dello *smartphone* con le anteprime delle nuvole di punti.

di acquisizione è stata eseguita con un percorso ad anello, riposizionando lo scanner sul punto di avvio al termine della sessione. Ciascuna sessione è stata contenuta in un tempo non superiore ai 25 minuti, per evitare la generazione di blocchi di dati difficilmente gestibili in fase di elaborazione. Al fine di registrare due sessioni di acquisizione, sono richiesti almeno sei punti di controllo comuni; tali punti vengono acquisiti posizionando lo scanner staticamente su di essi per pochi secondi e attivando il comando 'punto di controllo'.

La base del manico ergonomico su cui è montato lo scanner è dotata di un foro che ne permette il posizionamento su un punto specifico.

Per il rilievo delle gallerie sono state eseguite due sessioni di acquisizione; alcuni dei punti di controllo sono stati posizionati sui marker esterni misurati con metodi GNSS; in questo modo è stato possibile riferire le due scansioni SLAM allo stesso sistema di coordinate adottato per il rilievo fotogrammetrico. L'ultima acquisizione delle gallerie è stata acquisita con uno smartphone *iPhone 15 Pro* dotato di sensore LIDAR.

Il confronto fra le scansioni acquisite con lo smartphone e quelle acquisite con il *Faro Orbis* ha mostrato una buona corrispondenza negli ambienti confinati di ridotte dimensioni, mentre, com'era ragionevole attendersi, una minore affidabilità a distanze superiori ai cinque metri.

Forme della rappresentazione

Il rilevamento delle gallerie ha permesso di ricostruire, in assenza di disegni, il loro impianto progettuale e di verificarne la rispondenza alla destinazione funzionale: lo stoccaggio di siluri. Ai fini di una più generale ricerca sulle forme digitali per la rappresentazione degli spazi ipogei, sono state sperimentate soluzioni digitali che permettano di comprendere le relazioni e le connessioni fra spazi ipogei a diverse quote e le relazioni con il contesto in cui essi sono

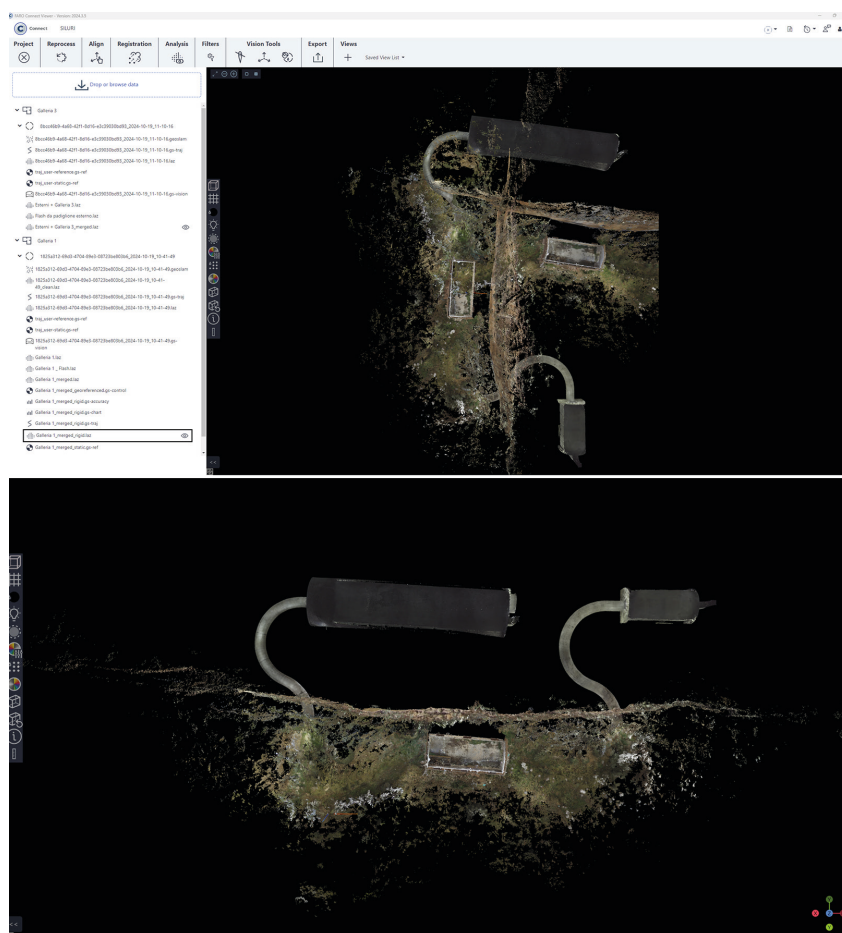
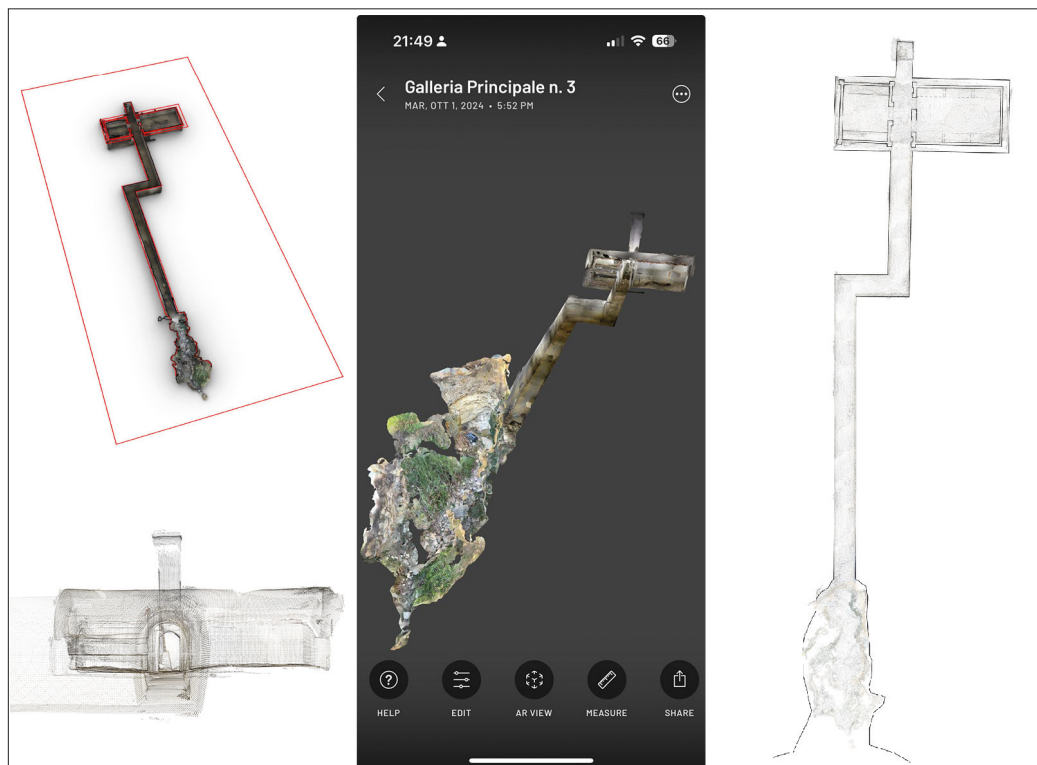


Fig. 8. Processazione dei dati laser all'interno del software *Faro Connect*. Vista delle scansioni prima (in alto) e dopo (in basso) il processo di allineamento.

Fig. 9. A sinistra: immagine della nuvola di punti generata con *smartphone*. A destra: ridisegno della pianta di uno degli ambienti ipogei a partire dalla nuvola di punti Lidar.



ubicati: a. viste prospettiche di modelli digitali; b. video prodotti con tecniche di *motion tracking*.

Le viste prospettiche o assonometriche della nuvola di punti posseggono un alto potere comunicativo, poiché sono capaci di mostrare, in un'unica immagine, lo sviluppo e la morfologia degli spazi ipogei, mentre si rivelano poco adeguate all'integrazione con il rilievo degli spazi esterni. In quest'ultimo caso è stato testato l'uso di modelli *mesh* o la

Fig. 10. In alto, confronto fra le nuvole di punti Slam (A) e Lidar (B) in proiezione ortogonale e in assonometria. In basso, confronto fra le piante generate a partire dai due metodi di rilevamento: i vettori, con colorazione dal rosso al blu, esemplificano il grado di deviazione fra parati analoghe della galleria.

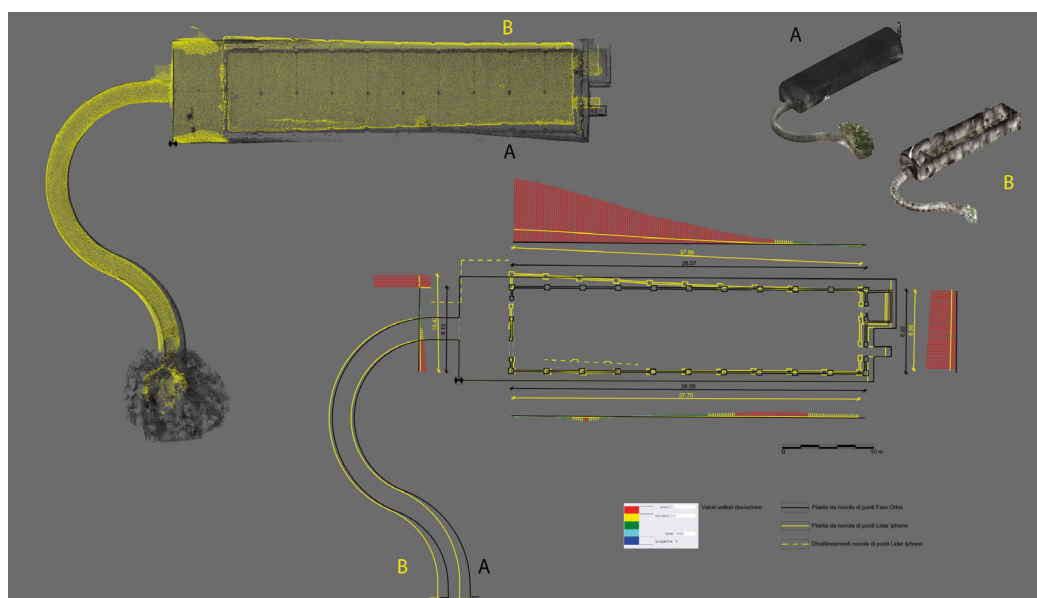


Fig. 11. Pianta di una delle gallerie con simulazione del transito di uno dei siluri dei MAS.

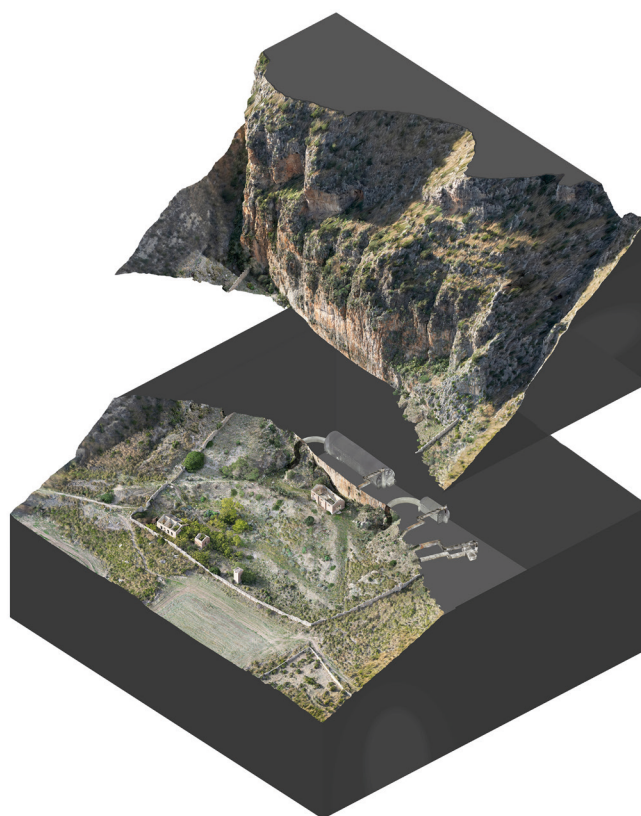
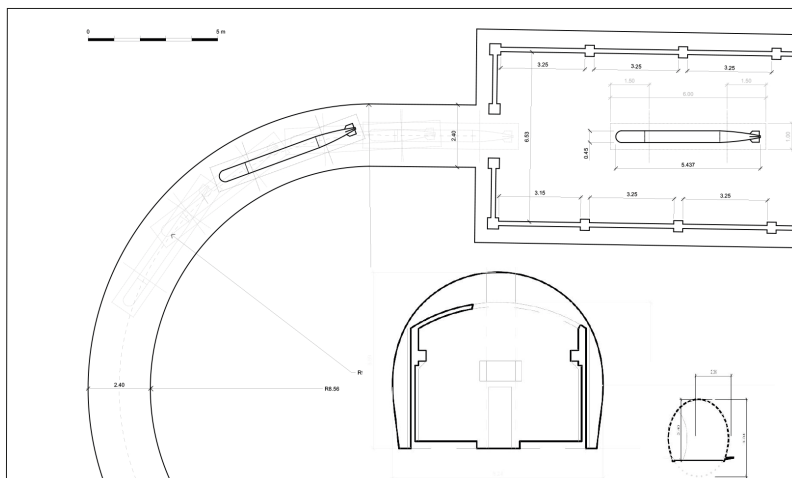
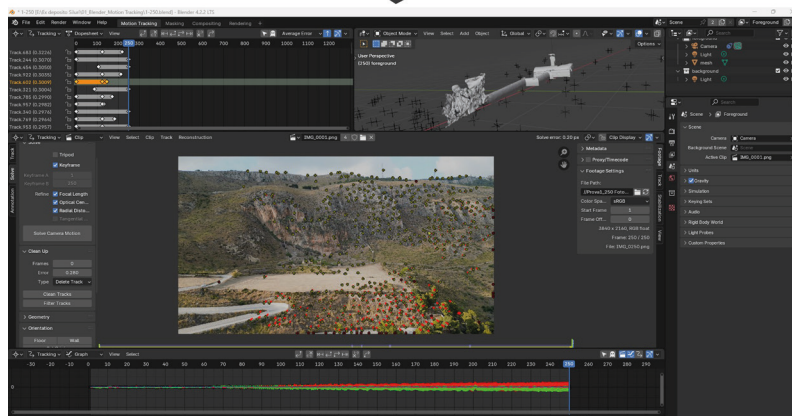


Fig. 12. In alto: vista assonometrica delle mesh di interni ed esterni del sito, a cui è stato operato 'un taglio' per permettere una migliore comprensione dei rapporti. In basso: elaborazione del Motion Tracking per l'inserimento del modello delle gallerie in un flusso video.



combinazione di modelli *mesh* e NURBS: suddividendo idealmente la *mesh* del costone roccioso, è possibile vedere le relazioni dimensionali e di posizione con le gallerie, che erano protette da uno spessore di roccia naturale di circa 25 m.

L'ultima sperimentazione, eseguita con tecniche di *motion tracking*, si propone di collegare al video del costone roccioso di Monte San Giuliano, acquisito con un drone, il modello delle gallerie, mostrandone l'articolazione dai diversi punti di vista presenti nel flusso video.

Conclusioni

La sperimentazione condotta ha permesso di testare con successo l'utilizzo degli scanner SLAM nel rilievo di spazi ipogei caratterizzati da un prevalente sviluppo longitudinale e le modalità di integrazione con un rilievo fotogrammetrico SfM. L'integrazione fra i due rilievi ha altresì permesso di avviare delle sperimentazioni su forme di rappresentazione capaci di mostrare l'articolazione e morfologia degli spazi ipogei e le loro connessioni con il contesto di riferimento.

Note

[1] "Installazioni che potevano ospitare piccoli squadroni di scorte e forze costiere, praticamente prive di officine, senza bacini di carenaggio e con difese limitate a mitragliatrici e cannoni antiaerei": Brescia 2012, p. 14 (traduzione dell'autore).

[2] Il ridotto spessore delle mura conduce a ipotizzare che esse servissero da protezione solo per attacchi di fanteria.

[3] L'acronimo SLAM (*Simultaneous Localization and Mapping*), si riferisce a una tecnologia nata tra gli anni '80 e '90 nell'ambito dell'industria robotica. L'algoritmo consentiva ai robot di mappare in tempo reale e muoversi allo stesso tempo in un ambiente chiuso senza l'ausilio del GPS.

[4] Lo scanner *Faro Orbis* utilizzato per questo studio è in dotazione al Laboratorio 3DARCHLab del Dipartimento di Architettura dell'Università di Palermo.

Riferimenti bibliografici

Agnello, F. (2014). Città 'altre'. Le miniere come metafora della rappresentazione. In *DisegnareCon*, 7(13). <https://doi.org/10.6092/>.

Brescia, M. (2012). *Mussolini's Navy: A Reference Guide to the Regia Marina 1930-1945*. , Barnsley: Seaforth Publishing. https://doi.org/10.1111/1095-9270.12050_22

Colliva, G. (1971). *Uomini e navi nella storia della marina militare italiana*. Milano: Bramante:

Giordan, D., Godone, D., Baldo, M., Piras, M., Grasso, N., Zerbetto, R. (2021). Survey solutions for 3D acquisition and representation of artificial and natural caves. In *Applied Sciences*, 11(14), 6482. <https://doi.org/10.3390/app11146482>.

Pinpin, L., Wenge, Q., Yunjian, C., Feng L. (2021). Application of 3D laser scanning in underground station cavity clusters. In *Advances in Civil Engineering*. <https://doi.org/10.1155/2021/8896363>.

Pukanská, K., Bartoš, K., Bella, P., Gašinec, J., Blistan, P., Kovanič, L. (2020). Surveying and high-resolution topography of the ochtina aragonite cave based on TLS and digital photogrammetry. In *Applied Sciences*, 10(13), 4633. <https://doi.org/10.3390/app10134633>.

Štroner, M., Urban, R., Křemen, T., Braun, J., Michal, O., Jiřikovský, T. (2025). Scanning the underground: Comparison of the accuracies of SLAM and static laser scanners in a mine tunnel. In *Measurement*, 242, Part A. <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2024.115875>.

Autore

Marco Rosario Geraci, Università di Palermo, marcorosario.geraci@unipa.it

Per citare questo capitolo: Marco Rosario Geraci (2025). Rilievo e rappresentazione digitale di ambienti ipogei: l'ex deposito siluri a Erice (Trapani). In L. Carlevaris et al. (a cura di). *Ekphrasis. Descrizioni nello spazio della rappresentazione/ekphrasis. Descriptions in the space of representation*. Atti del 46° Convegno Internazionale dei Docenti delle Discipline della Rappresentazione. Milano: FrancoAngeli, pp. 1201-1220. DOI: 10.3280/oa-1430-c818.

Survey and Digital Representation of Underground Spaces: the Former Torpedo Depot in Erice (Trapani)

Marco Rosario Geraci

Abstract

This paper investigates the possibilities offered by digital technologies for measurement and representation in the study of underground spaces and in the analysis of their relationships with the surrounding context.

The chosen case study is a military structure built in the first half of the 20th century inside Mount San Giuliano, near Trapani, at the western tip of Sicily: a system of reinforced concrete artificial galleries designed to serve as a torpedo storage depot.

The experimentation was aimed to three focuses: a: testing the reliability of SLAM scanners and smartphones with LIDAR sensors in surveying confined spaces characterized by predominant longitudinal development; b: defining a workflow to integrate SLAM scans with data acquired using SfM photogrammetric methods; c: exploring the opportunities offered by digital tools in representing the morphology of underground spaces and their connections to the context.

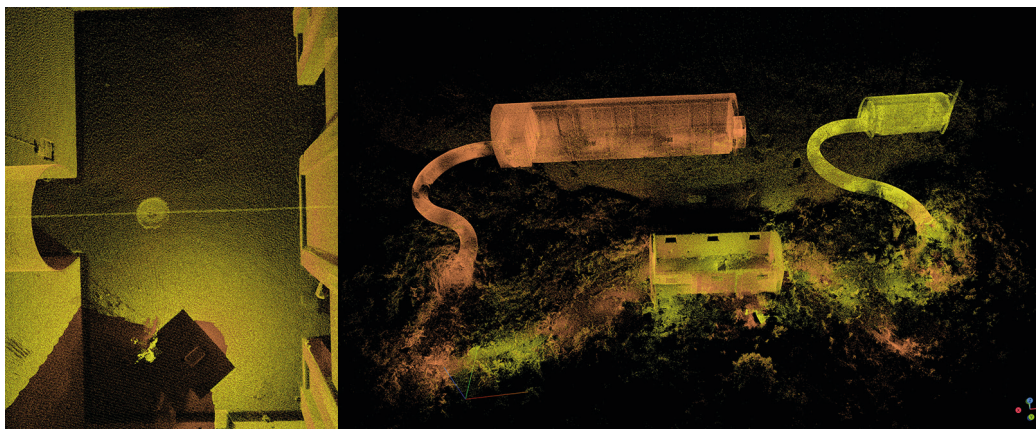
The analysis of the acquired data showed good quality of the SLAM scans and considerable versatility in the alignment procedures, which allow their integration with photogrammetric surveys.

The experimentation on forms of representation focused on producing three different products: a) conventional drawings; b) Views of mesh models; c) Motion tracking applications.

Keywords

Torpedo Depot, SLAM Scanner, Underground Spaces, SfM Photogrammetry, World War II.

Views of point clouds of the galleries acquired with SLAM laser scanner.



Documenting underground spaces has always been a challenge for the fields of surveying and representation. The labyrinthine, 'topological' structure of spaces that are revealed only along a path has required the adoption of appropriate measurement and drawing strategies. Topographic surveying, based on the measurement of angles, allowed for a first significant exploration of these spaces, though the issue of representing environments that are often overlapping and complexly articulated, such as in the case of underground mineral mining, remained unresolved [Agnello 2014].

The introduction of digital surveying tools, especially laser scanners, has made the documentation of underground spaces previously unthinkable, thanks to the ability of these instruments to operate in the absence of light.

The commercialization of portable lighting systems has overcome one of the main obstacles in documenting underground spaces, opening up comparisons between the use of active and passive sensors for generating 3D models of subterranean environments [Pukanská 2020] [Giordan 2021].

The recent evolution of laser scanners, with the introduction of SLAM (Simultaneous Localization and Mapping) technology capable of measuring while in motion, now offers new opportunities for gaining knowledge and documenting underground spaces [Pinpin 2021] [Štroner 2025].

An additional potential avenue of investigation lies in integrating underground space surveys with environmental context surveys, allowing recognition of relationships between structures, site topography, entrances to underground areas, and their development below ground. The paper presents the results of an experiment on integrating acquisitions from mobile laser scanners and GNSS receivers, as well as the integration of these data with photogrammetric SfM processing from aerial photographs."

The Former Torpedo Depot of the Royal Navy in Erice (Trapani)

Class 3 Base: "Installations that could accommodate small squadrons of escorts and coastal forces, with almost no workshops, no dry-docks, and defenses limited to anti-aircraft guns and machine guns" [1] [Brescia 2012, p. 14]. This definition illustrates –on a scale from 1 to 5– the characteristics of military structures of the Royal Italian Navy built between the two world wars, in a large area that extends from the harbor basin of Trapani to the slopes of Mount Erice. The area known as the 'Former Torpedo Depot of the Royal Navy,' now abandoned, was used as an armament and torpedo storage site for the torpedoes employed by the Italian Navy on MAS (Motoscafo Armato Silurante) and submarines based in the waters of Trapani Harbor. The former military area is protected to the north by the rocky massif of Mount San Giuliano (Mount Erice), which prevents direct visibility and served as a protective element against potential attacks from the sea.

The external area, gently sloping, covers approximately 11,000 square meters and is enclosed by a polygonal fence, built with local stone, with wall sections varying between 50 and 60 cm [2] and an average height of about 2 meters. Access to the area is through an entrance gate to the west.

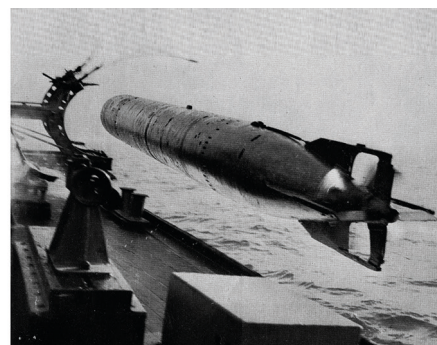
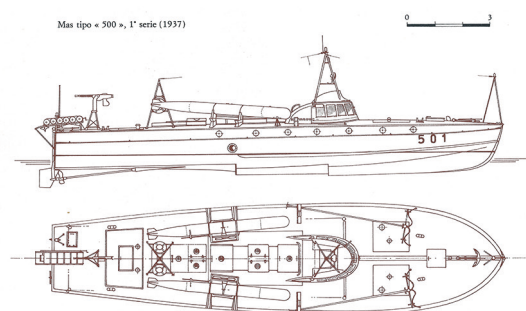


Fig. 1. On the left, drawing of a MAS type 500. On the right, launch of one of the two torpedoes it was equipped with. Source: Colliva 1971 p. 54.



Fig. 2. Aerial photo of the external area of the former torpedo depot of the Royal Navy (photograph by the author).

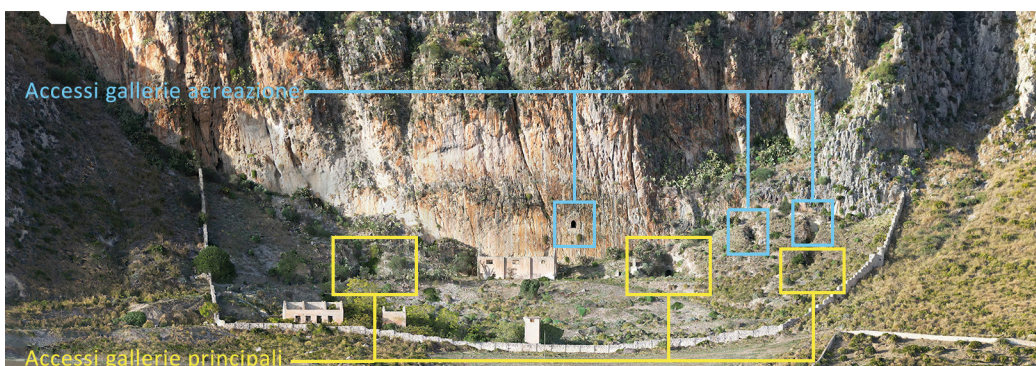


Fig. 3. Above, orthophoto of the area with indication of the external buildings. Below, orthophoto of the rocky front that insists on the base area. The entrances to the tunnels are highlighted (photographs by the author).

Along the rocky front of Mount San Giuliano facing the former base area, approximately 170 meters in length, six entrances to artificial galleries are visible, which extend inside the mountain with varying orientations and elevations.

The natural millennial processes of karst erosion, which have worn away the soft rock of Mount San Giuliano, creating caves and natural grottos, likely inspired the decision to locate the intricate underground torpedo depot at this site. In total, six gallery entrances have been located, three of which lead to larger underground spaces: halls covered by barrel vaults where pavilions were likely built to house the military operations for torpedo armament and the storage of explosive materials. The remaining entrances lead to “service” galleries, located at a higher elevation and connected to the lower galleries by vertical shafts with metal braces for passage; these galleries were likely designed to create a system for natural ventilation.

Surveying Operations

To create documentation capable of effectively describing the characteristics and relationships between external spaces and underground environments, the acquisition of metric data from the study area was performed by integrating three methodologies: GNSS, SfM



Fig. 4. Above: photos of the accesses of some of the tunnels. Below: interiors of some tunnels. Note the presence of a pavilion built inside the mountain (photographs by the author).

photogrammetry, and SLAM scanning. An additional test was conducted using a smartphone equipped with a LIDAR sensor:

The GNSS survey was dedicated to measuring the centroid of eight square aluminum plates, each with sides of 50 cm, painted black and white, distributed on the ground in the external area adjacent to the galleries.

Photogrammetric surveying was used to document the external area; images were captured

from above with the help of a DJI Mini 3 Pro drone in manual mode, to ensure greater control of the drone's movement near the rocky wall. In total, more than 500 photographs of the area were taken.

The placement and size of the targets allowed for their identification in the photographs. Within the SfM software, the centroid points of each plate were identified in a sufficient number of photographs through the placement of virtual control points (markers). Each marker was then assigned the previously acquired GNSS coordinates. This process allowed the photogrammetric model to gain dimensional scale and spatial orientation.

Photogrammetric processing allowed for the generation of:

- a dense point cloud used for extracting section profiles of the mountain and the area occupied by the base;
- an orthophoto of the Monte San Giuliano wall with the entrances to the galleries;
- a textured mesh of the area.

The second phase of the survey focused on documenting the underground environments.



Fig. 5. Acquisition of markers in the GNSS, SLAM and photogrammetric survey.

In this case, two different acquisition techniques were compared, using high-end tools and low-cost devices, respectively.

The first acquisitions were made with a *Faro Orbis* scanner, which uses SLAM algorithms to perform scans while in motion [3].

Considering the recent commercialization of this type of scanner, it is useful at this point to detail the operating modes of the device used.

The *Faro Orbis* scanner [4] is a time-of-flight laser rangefinder combined with an IMU (Inertial Measurement Unit) device mounted on a motor that enables the movement of the scanning head. This movement allows the generation of "raw" 3D data, stored on a data logger connected to the scanner via cable. The system is battery-powered, allowing for up to 4 hours of data acquisition. The acquired data can only be used after a first processing phase through the proprietary *Faro Connect* software.

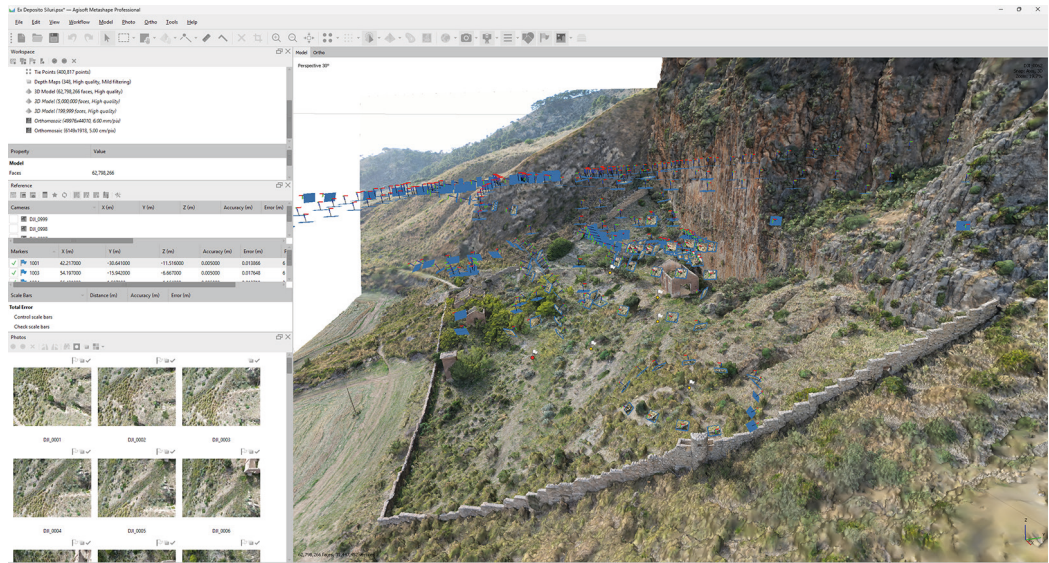


Fig. 6. Photogrammetric processing.

The point cloud can be “colored” by assigning RGB values to the points through the projection of pixels from photographs taken by a spherical camera rigidly attached to the scanner.

When powered on, the scanner must be placed on a flat surface free of close obstacles. Scanning operations are then fully managed by a smartphone connected to the scanner via Wi-Fi, using a proprietary app.

The scanning process is highly automated. During the initial phase, the operator creates a new project; each acquisition session is stored in a sublevel of the project, called a “sheet,” which can be configured by the operator.

Once scanning begins, the scanner head starts rotating, and the smartphone displays a preview of the first acquired points; the scanner can then be lifted, and the acquisition session started.

Following the manufacturer’s instructions, each acquisition session was performed along a looped path, repositioning the scanner to the starting point at the end of the session.

Each session was kept within a time limit of 25 minutes to avoid generating data blocks that would be difficult to process later.

To register two acquisition sessions, at least 6 common control points are required; these points are acquired by positioning the scanner statically on them for a few seconds and activating the “control point” command.

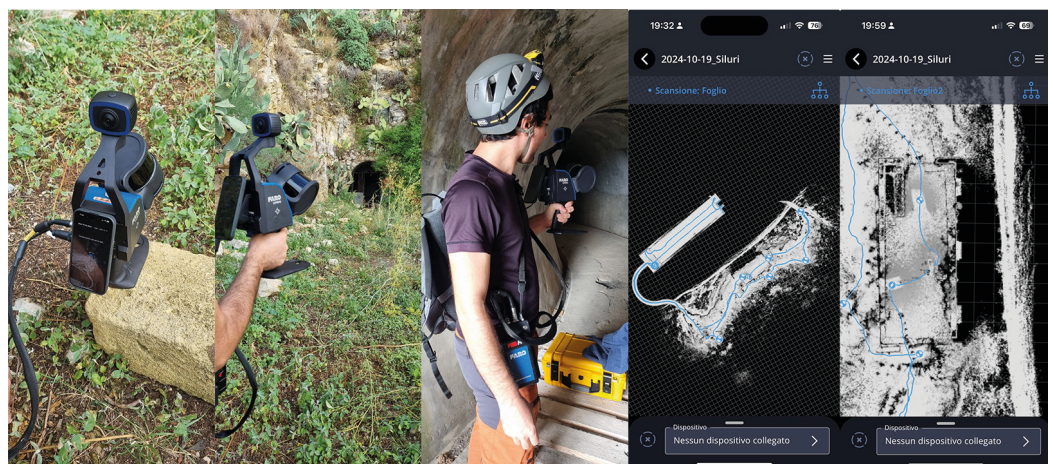


Fig. 7. On the left: photo of the acquisition session with SLAM laser scanner. On the right: smartphone screenshot with previews of the point clouds.

The base of the scanner handle has a hole that allows it to be placed on a specific point. Two acquisition sessions were performed for the survey of the galleries; some of the control points were placed on the external markers measured with GNSS methods; in this way, the two SLAM scans were referenced to the same coordinate system used for the photogrammetric survey.

The final gallery acquisition was made with an iPhone 15 Pro smartphone equipped with a LIDAR sensor. The comparison between the scans acquired with the smartphone and those obtained with the Faro Orbis scanner showed a good correspondence in confined spaces of smaller dimensions, while, as expected, there was lower reliability for distances greater than 5 meters.

The survey of the galleries allowed for the reconstruction, in the absence of drawings, of their original design layout and also verified their alignment with their functional purpose: the storage of torpedoes.

For a broader investigation into digital forms for representing underground spaces, digital solutions were tested to understand the relationships and connections between underground spaces at different levels and their relationship with the surrounding context: a. perspective views of digital models; b. videos produced using motion tracking techniques.

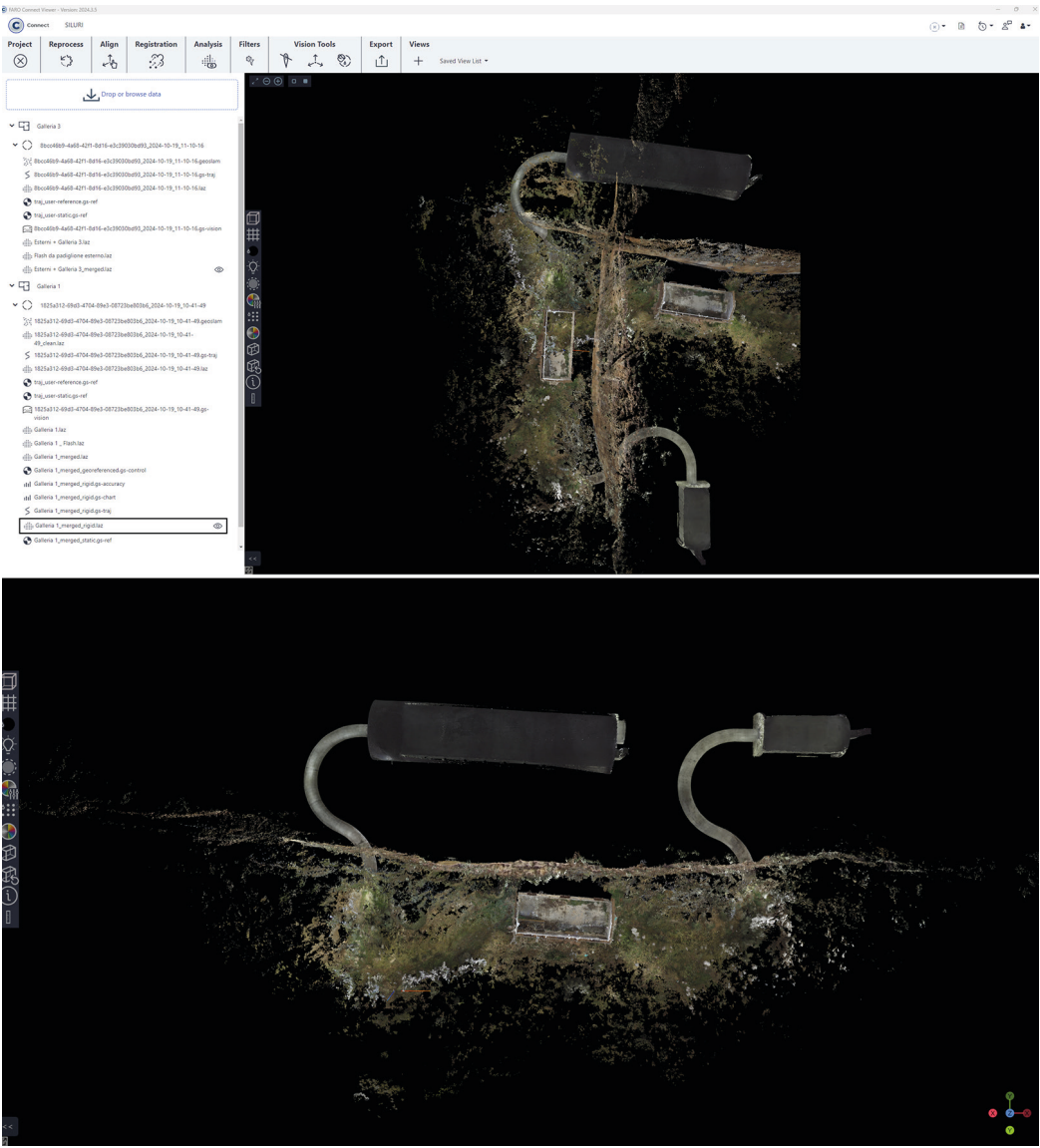


Fig. 8. Processing of laser data within the Faro Connect software. View of the scans before (top) and after (bottom) the alignment process.

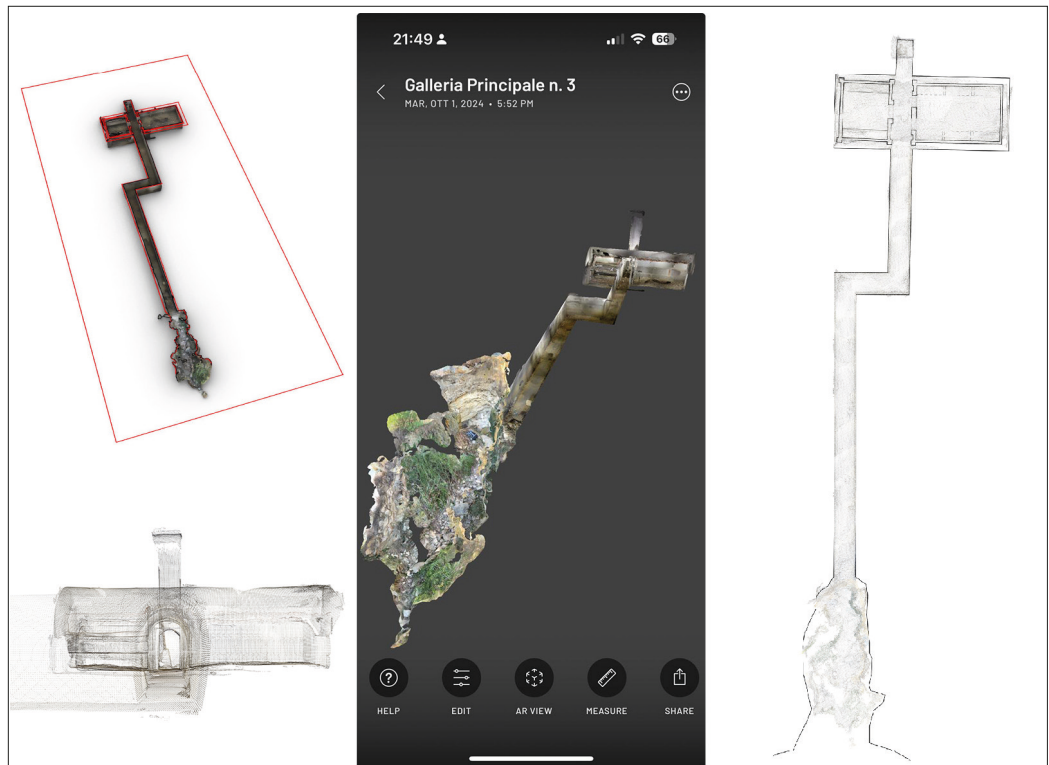


Fig. 9. On the left: image of the point cloud generated with a smartphone; on the right: redrawing of the plan of one of the underground environments starting from the Lidar point cloud.

Perspective or axonometric views of the point cloud have a high communicative power, as they can show, in a single image, the development and morphology of underground spaces. However, they are less suitable for integration with the survey of external spaces. In this latter case, the use of mesh models or the combination of mesh models and NURBS was tested: by assigning a transparency factor to the mesh of the rocky cliff, it is possible to see the dimensional and positional relationships with the galleries, which were protected by a natural rock thickness of about 25 meters.

The final experiment, performed with motion tracking techniques, aims to link the video of the rocky cliff of Monte San Giuliano, captured with a drone, to the model of the galleries, showing their articulation from various viewpoints present in the video stream.

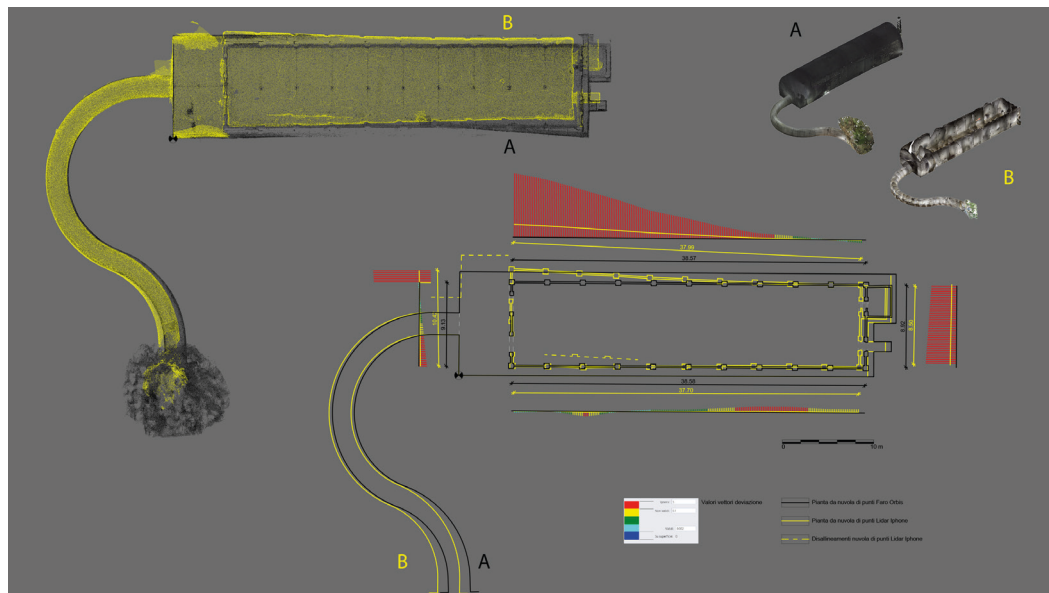


Fig. 10. Above, comparison between the SLAM (A) and Lidar (B) point clouds in orthogonal projection and in axonometry. Below, comparison between the plans generated from the two survey methods: the vectors, colored from red to blue, exemplify the degree of deviation of the walls of the tunnel.

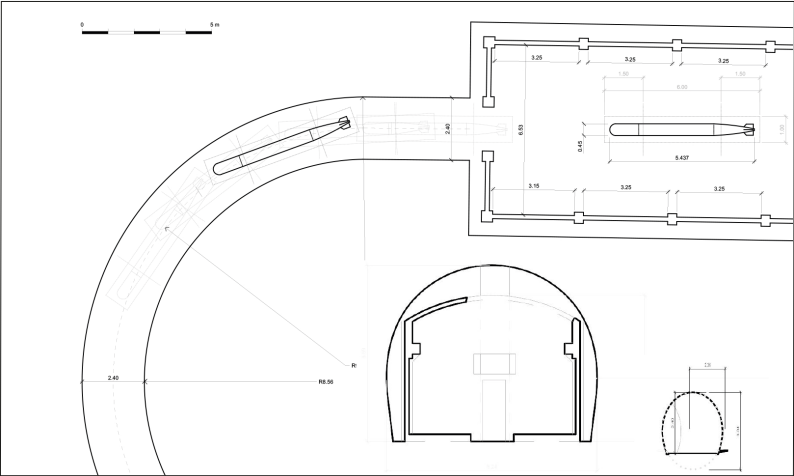


Fig. 11. Plan of one of the tunnels with simulation of the transit of one of the MAS torpedoes.

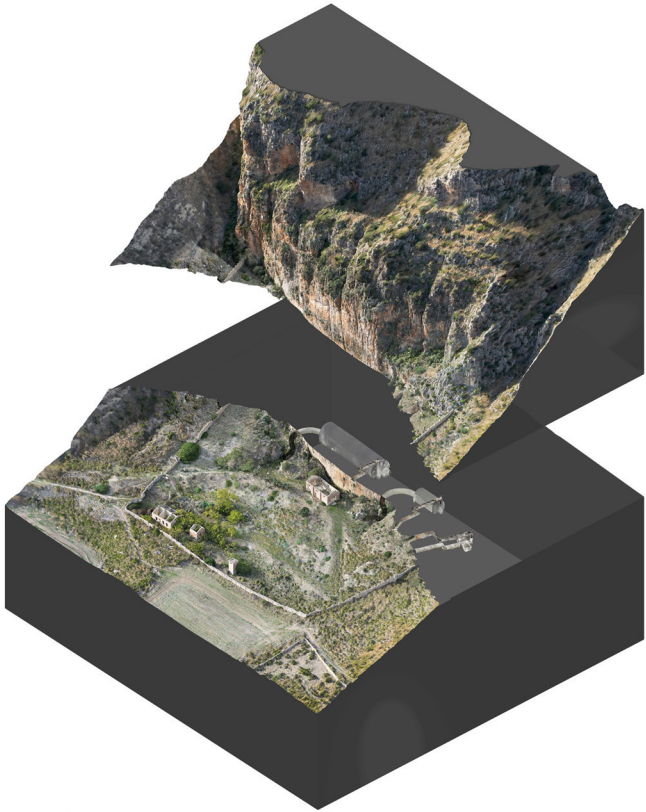
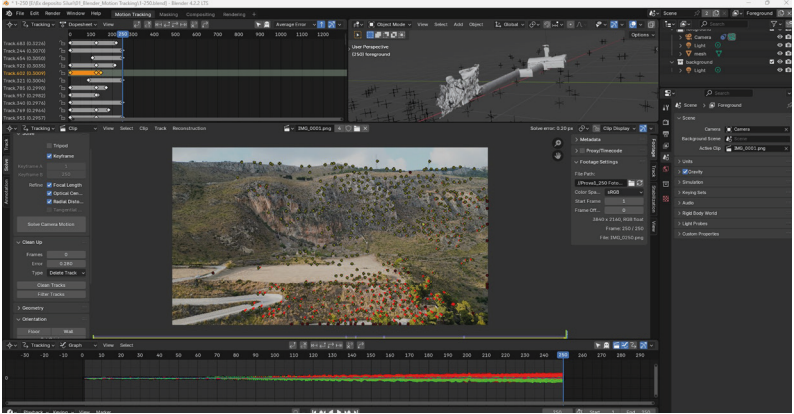


Fig. 12. On top, axonometric view of the meshes, of the interiors and exteriors of the site, to which a “cut” has been made to allow a better understanding of the relationships. Below, processing of the Motion Tracking for the insertion of the tunnel model into a video flow.



Conclusions

The experiment successfully tested the use of SLAM scanners for surveying underground spaces characterized by predominantly longitudinal development and the methods of integration with SfM photogrammetric surveying. The integration of the two surveys also allowed for the initiation of experiments on forms of representation capable of showing the articulation and morphology of underground spaces and their connections to the surrounding context.

Notes

[1] "Installations that could accommodate small squadrons of escorts and coastal forces, with almost no workshops, no dry-docks, and defences limited to machine guns and anti-aircraft cannons": Brescia 2012, p. 14 (translation by the author).

[2] The reduced thickness of the walls suggests that they were designed to protect against infantry attacks only.

[3] The acronym SLAM (Simultaneous Localization and Mapping) refers to a technology that emerged in the 1980s and 1990s within the robotics industry. The algorithm allowed robots to map their environment in real time while moving without the aid of GPS.

[4] The Faro Orbis scanner used for this study is available at the 3dArchlab Laboratory of the Department of Architecture at the University of Palermo.

Reference List

- Agnello, F. (2014). Città 'altre'. Le miniere come metafora della rappresentazione. In *DisegnareCon*, 7(13). <https://doi.org/10.6092/brescia.2012>.
- Brescia, M. (2012). *Mussolini's Navy: A Reference Guide to the Regia Marina 1930-1945*. , Barnsley: Seaforth Publishing. https://doi.org/10.1111/1095-9270.12050_22
- Colliva, G. (1971). *Uomini e navi nella storia della marina militare italiana*. Milano: Bramante.
- Giordan, D., Godone, D., Baldo, M., Piras, M., Grasso, N., Zerbetto, R. (2021). Survey solutions for 3D acquisition and representation of artificial and natural caves. In *Applied Sciences*, 11(14), 6482. <https://doi.org/10.3390/app11146482>.
- Pinpin, L., Wenge, Q., Yunjian, C., Feng L. (2021). Application of 3D laser scanning in underground station cavity clusters. In *Advances in Civil Engineering*. <https://doi.org/10.1155/2021/8896363>.
- Pukanská, K., Bartoš, K., Bella, P., Gašinec, J., Blistan, P., Kovanič, L. (2020). Surveying and high-resolution topography of the ochtina aragonite cave based on TLS and digital photogrammetry. In *Applied Sciences*, 10(13), 4633. <https://doi.org/10.3390/app10134633>.
- Štroner, M., Urban, R., Křemen, T., Braun, J., Michal, O., Jiřikovský, T. (2025). Scanning the underground: Comparison of the accuracies of SLAM and static laser scanners in a mine tunnel. In *Measurement*, 242, Part A. <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2024.115875>.

Author

Marco Rosario Geraci, Università di Palermo, marcorosario.geraci@unipa.it

To cite this chapter: Marco Rosario Geraci (2025). Survey and Digital Representation of Underground Spaces: the Former Torpedo Depot in Erice (Trapani). In L. Carlevaris et al. (Eds.). *èkphrasis. Descrizioni nello spazio della rappresentazione/èkphrasis. Descriptions in the space of representation*. Proceedings of the 46th International Conference of Representation Disciplines Teachers. Milano: FrancoAngeli, pp. 1201-1220. DOI: 10.3280/oa-1430-c818.