

Digital surveying and new perspectives on the Byzantine Oratory of the Catacomb of Saint Lucia in Syracuse

Mariateresa Galizia ^{a,c}, Cettina Santagati ^{a,c}, Mariarita Sgarlata ^b

^a Department of Civil Engineering and Architecture, University of Catania, Catania. Italy.

^b Department of Humanities, University of Catania, Catania, Italy

^c Department of Department of Communication, Smart, green and integrated transport and Augmented reality, IEMEST, Palermo, Italy

Resumen

El estudio realizado Catacumbas bizantinas Oratorio de Santa Lucía en Siracusa nace con motivo de la observación de las precarias condiciones del complejo funerario subterráneo desde el punto de vista de las estructuras estáticas, que se han sometido a varias modificaciones durante los siglos debido a deslizamientos de tierra, bloqueos, derrumbes y posteriores excavaciones, la conservación de los frescos encontrados que, como resultado de las campañas que se han producido de forma intermitente en el monumento. Estas dificultades han condicionado la apertura al público de sólo una parte de las catacumbas-La región A y el Oratorio de la Cuadragésima Martiri- dejando ocultos a la comunidad muchos espacios significativos, incluyendo el Oratorio. La investigación persigue, a través del instrumento de estudio con escáner láser, adquirir una documentación formal de geometría de esta importante área a través de un modelo 3D en el que investigar aspectos de carácter estático, geológico, de materiales, histórico y arqueológico, necesarios para un adecuado diseño de futuras intervenciones para la protección y consolidación de la catacumba. De hecho, el modelo 3D obtenido es una copia virtual del espacio grabado a través del cual es posible especular sobre algún diseño y las condiciones ambientales físicas de los sitios, como la iluminación y la ventilación, y en algunas soluciones de distribución funcional, proporcionando también un posible modelo para la navegación 3D que permita la visita virtual de los lugares subterráneos. La ubicación del sitio, la distribución de las condiciones ambientales planimétricas y estáticas representadas en temas críticos de investigación que se abordarán en la fase de estudio de los sitios subterráneos, proporcionando para el grupo de investigación de los puntos fijos en los que estructurar un posible protocolo de funcionamiento adquisición, integración, gestión y tratamiento de los datos adquiridos.

Palabras Clave: CATACOMBS, LASER SCANNING, DIGITAL CULTURAL HERITAGE, WORSHIP PLACES

Abstract

The study conducted Oratory Byzantine catacombs of Saint Lucia in Syracuse comes from the observation of the precarious condition of the underground funerary complex from the point of view of the static structures, which have undergone several alterations over the centuries due to landslides, blockages, collapses and subsequent excavations, conservation of the frescoes found that as a result of survey campaigns that have occurred intermittently on the monument. These difficulties have conditioned the public opening of only a part of the catacombs -la region A and the Oratory of the Forty Martiri- leaving hidden the community many significant spaces including the Oratory. The research will then, through the survey instrument with laser scanner, acquire a geometric-formal documentation of this important area through a 3D model on which to investigate aspects of a static nature, geological, material, historical, archaeological, necessary for a proper

design of future interventions for the protection and consolidation of the catacomb. In fact, the 3D model obtained is a virtual copy of the recorded space through which it is possible to speculate on some design and physical environmental conditions of the sites, such as lighting and ventilation, and on some solutions distribution-functional, providing also a possible model for 3D navigation allows the virtual tour of the places underground. The location of the site, the distribution of the planimetric and static environmental conditions represented in research critical issues to be addressed in the survey phase of underground sites, providing for the research group of the fixed points on which to structure a possible protocol operating acquisition, integration, management and processing of the acquired data subject to change.

Key words: CATACOMBS, LASER SCANNING, DIGITAL CULTURAL HERITAGE, WORSHIP PLACES

1. INTRODUZIONE

La catacomba di Santa Lucia a Siracusa è il più antico documento del cristianesimo in Sicilia e sorge vicino alla tomba della Santa. La catacomba ha una superficie considerevole ed è composta da diverse gallerie e cunicoli che si alternano con gli ambienti più ampi. Attualmente possiamo identificare 4 regioni (A, B, C, D). Tra queste, solo la regione A può essere visitata, le altre non sono accessibili al pubblico a causa di problemi statici e di sicurezza, ed inoltre attualmente interessate da scavi in corso.

Questo monumento ha un grande valore storico-culturale poiché racchiude la storia della città: dal periodo greco-ellenistico (latomie, strutture idrauliche, forni, cimiteri) a quello romano (nuclei genetici di catacombe risalenti al secolo III - esistenti solo a Siracusa e Roma - e le trasformazioni successive); dal periodo bizantino (oratori delle regioni A e C) al XII secolo (costruzione della Basilica della Santa); dal XVII secolo (la costruzione del Sepolcro della Santa) alla seconda guerra mondiale (rifugio antiaereo).

Si tratta di un sito vulnerabile situato in una zona ad alto rischio sismico che è stato continuamente sottoposto ad azioni antropiche (costruzione del Sepolcro, lavori nella piazza soprastante, tunnel anti-aerei ed edifici del XX secolo) e ad eventi naturali (terremoti, frane, crolli, inondazioni).

Lo stato di conservazione del monumento è tale che alcune zone potrebbero non sopportare un

futuro forte evento sismico, sono infatti chiaramente visibili diverse fratture lungo i soffitti. Inoltre già alla fine del XIX secolo i primi esploratori, verificate le precarie condizioni statiche in cui versava la catacomba, e in particolare la regione C, realizzarono alcuni lavori di consolidamento (soffitti, pilastri) finalizzati a garantire la sicurezza del monumento.

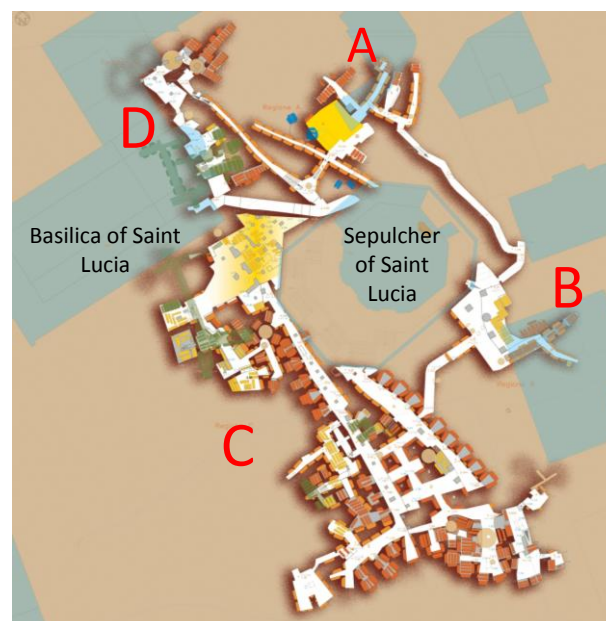


Figura 1. Catacomba di Santa Lucia in rapporto al contesto sovrastante

Nel corso del tempo, sul sito sono state effettuate parecchie indagini interdisciplinari (archeologiche, storiche, metrico/ dimensionali, geognostiche), ma il monumento non è stato documentato del tutto. Gli unici elaborati grafici esistenti sono una pianta risalente al 1973, alcuni

schizzi delle aree interessate dagli scavi e gli elaborati relativi alle indagini del 2004 condotte dalla Pontificia Commissione di Archeologia Sacra.

Delle quattro regioni della catacomba, la C è la più estesa e maggiormente compromessa da dissesti statici. L'oratorio Bizantino in essa presente, attualmente non accessibile alla visita poiché interessato da attività di scavo, rappresenta (insieme con l'altro posto nella regione A) uno dei pochi casi noti di aree sepolcrali trasformati in luoghi di culto in età successiva all'uso funerario (sino alla seconda metà del XIII secolo). Le peculiarità di questo oratorio sono i fragili affreschi palinsesti e le iscrizioni dei pellegrini che richiedono particolare attenzione sia nella fase di acquisizione che di interpretazione.

Lo studio condotto sull'oratorio bizantino della regione C si fonda su un approccio interdisciplinare tra archeologi, ingegneri ed architetti finalizzato alla conoscenza e alla valorizzazione dei siti ipogei monumento.

L'obiettivo è la sperimentazione di un approccio conoscitivo che risponda alle criticità e alle singolari peculiarità del patrimonio culturale sotterraneo attraverso la formulazione di una metodologia finalizzata allo studio delle caratteristiche spaziali e architettoniche del manufatto e che integri nel modello 3D i dati derivanti dalla ricerca archeologica al fine di ottenere un unico modello di conoscenza.

L'Oratorio bizantino servirà come prototipo per verificare la pipeline di acquisizione, integrazione, gestione ed elaborazione dei dati 3D (già noti e quasi standardizzati) in un sito sotterraneo, dove emergono diverse criticità dovute alle caratteristiche precipue dei luoghi tra cui la difficoltà dell'utilizzo integrato delle attuali tecnologie di rilevamento, la necessità di gestire ed elaborare una notevole mole di dati, la difficoltà di acquisire immagini fotografiche in condizioni di illuminazione sfavorevoli.

2. INQUADRAMENTO STORICO

La storia dell'area siracusana che si estende dalla contrada Fusco, nel quartiere Neapolis, alla borgata S. Lucia, nella bassa Akradina, accoglie le catacombe di S. Giovanni, Vigna Cassia e S. Lucia, interessando i secoli inclusi tra l'età greca classica e l'età tardoantica. Questa area testimonia il perimetro della città di Siracusa già nel periodo del primo e medio Impero. Inoltre la presenza in questo luogo di latomiche, di sistemi di approvvigionamento idrico della città (caratterizzati da cisterne e acquedotti), di botteghe artigiane a partire dal IV/III sec. a. C., sepolture riconducibili al primo e medio Impero, documenta la diversa destinazione dei luoghi nel tempo.

Il quartiere Akradina, in cui si estendono nella fascia ipogea le catacombe di Santa Lucia, aveva in precedenza una destinazione diversa da quella cimiteriale tanto da ospitare, in parte, un vero e proprio Ceramico le cui officine ritrovate erano distribuite lungo la riva orientale del torrente Siracò e furono in attività almeno fino all'età augustea.

In un secondo tempo i cimiteri che si susseguono in questa area si presentano sotto diverse tipologie dal II al VI sec. (colombari, ipogei pagani e cristiani del III sec., catacombe, ipogei del IV e V sec. e, infine, sepolture sub divo); cimiteri privati e cimiteri di comunità nei quali non sempre i materiali rinvenuti danno informazioni puntuali sulla reale matrice ideologica e religiosa della popolazione del tempo.

L'area funeraria, sottostante l'attuale piazza S. Lucia, è costituita da un cimitero di comunità e da alcuni ipogei di diritto privato, la cui cronologia comprende i secoli III, IV e V.

Il complesso si estende a sud-ovest della chiesa soprastante e viene generalmente suddiviso in quattro regioni (A, B, C, D), tre delle quali risultano a tutt'oggi collegate da gallerie, in buona parte modificate durante la seconda guerra mondiale dall'UNPA (Unione Nazionale Protezione Antiaerea) quando il cimitero venne adibito a rifugio.

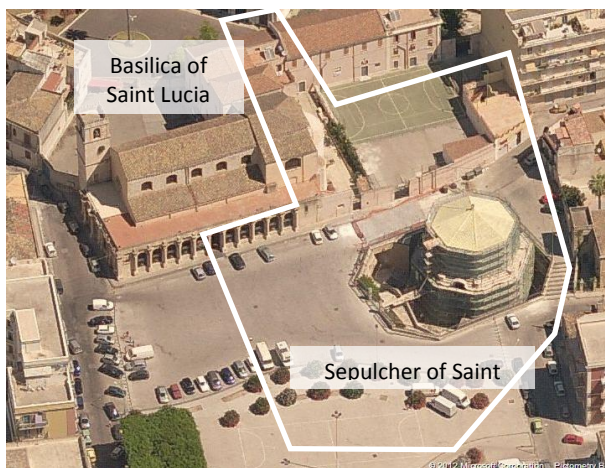


Figura 2. Catacomba di Santa Lucia in rapporto al contesto sovrastante.

La genesi e lo sviluppo delle catacombe di Santa Lucia, più che negli altri esempi siracusani, come del resto afferma Goethe già nel Settecento, sembrano riecheggiare nella configurazione in più regioni, i prototipi romani ai quali paiono rifarsi anche le trasformazioni di alcuni settori riservati a sepolture privilegiate, in aree di culto nel periodo successivo all'utilizzazione funeraria.

Tra queste si ricordano quelle risalenti all'età bizantina, che danno origine all'oratorio dei Quaranta Martiri, situato nella regione A e all'oratorio oggetto della presente ricerca, localizzato nella regione C. Entrambi gli oratori dovevano essere in rapporto con il monastero soprastante, ricordato da Gregorio Magno, ma soprattutto trovavano la loro ragione d'essere nella presenza del sepolcro di Lucia. In base allo sviluppo topografico, alle iscrizioni e ad altri manufatti, si pensa ad un'origine del cimitero già nella prima metà del III sec.

La struttura originaria della catacomba è stata negli anni alterata a causa di interventi atti a servire un nuovo stato dei luoghi. Tra i più importanti si ricordano: il sottopassaggio realizzato per assicurare il collegamento tra il lato meridionale del transetto della basilica e l'ottagono, che intercettò alcune diramazioni del livello superiore della regione A della catacomba e ostruì la sua connessione con l'oratorio della regione C, interrompendo così la continuità del braccio cimiteriale di collegamento tra le due regioni; l'erezione della basilica soprastante (VI o XII sec.?) e della chiesa del sepolcro di S. Lucia (XVII sec.), che hanno investito con tagli interventivi demolitivi le regioni B, C e D della catacomba; l'erezione del portico della basilica (XVIII sec.), che ha demolito alcune parti della regione C in prossimità dell'oratorio.

Pur se colpite da queste profonde ferite che ne mortificarono già nel Settecento la loro descrizione da parte dei viaggiatori del Grand Tour, le catacombe siracusane suscitarono nei secoli l'interesse di molti. E' infatti nello stesso periodo che antiquari siracusani maturano un'attenzione sempre più crescente verso l'architettura del sotterraneo e la sua componente cristiana. Tra questi in particolare, Cesare Gaetani conte della Torre, mostra di conoscere molto bene i cimiteri sotterranei della sua città attraverso soprattutto la trascrizione delle epigrafi rinvenute anche se allude in modo vago alle ricerche condotte nei sobborghi di Santa Lucia. Nello stesso periodo Giuseppe Capodiceci fornisce descrizioni più dettagliate su alcune zone delle catacombe di Santa Lucia tra cui il settore A e il settore, ancora adesso poco



Figura 3 – Galleria che connette la regione A e B, affreschi palinsesti nell'oratorio bizantino della regione C, sacello ellenistico nella regione C, una galleria della regione C ostruita dai detriti provenienti dai lavori nella piazza sovrastante.

noto, che si estende a Sud della Chiesa del Sepolcro, dove la tradizione localizzava il martirio di Lucia, nonché dell'oratorio bizantino della regione C con affreschi palinsesti, databile fino alla seconda metà del XIII secolo, che si configura come un polo devozionale di grande importanza per la storia di Siracusa e del culto della santa patrona.

Successivamente nel 1887 dall'allora direttore alle Antichità di Siracusa, Francesco Saverio Cavallari, furono realizzati lavori di pulitura nella galleria A del settore A, ancora in buona parte interrata, e interventi destinati a salvaguardare la statica della catacomba, con la costruzione di piloni lungo la galleria che conduceva al settore D, localizzabile in prossimità della soprastante basilica. I tratti della catacomba esplorati dal Cavallari vennero rappresentati graficamente da Joseph Führer che ne fornirà una prima descrizione capillare delle diverse regioni che formavano il grande cimitero di comunità.

Per la prima volta quindi i quattro settori di cui è composta la catacomba vengono presentati in successione a partire dalla grande galleria A per arrivare al settore D, che aveva accolto ancora nel 1860 le ultime deposizioni dei frati del Convento superiore, attraverso le due regioni B e C, quest'ultima in parte sottostante la basilica e oggetto di profonde trasformazioni nel corso dei secoli, localizzate nell'area del secondo oratorio bizantino. A questo quadro nulla di nuovo viene aggiunto prima degli interventi di Paolo Orsi mirati ad una conoscenza topografica del cimitero che favorisse, per quanto possibile, un inquadramento cronologico fino a quel momento affrontato sempre in modo vago e parziale. Le indagini, condotte nel triennio 1916-1919 dallo studioso, utilizzando come punto di partenza gli studi di Cavallari e del Führer, ebbero come effetto immediato la conoscenza di zone inesplorate del cimitero, quali la regione Nord, «raddoppiando» come afferma l'Agnello «quasi l'area del vecchio cimitero».

Una successiva restituzione grafica dell'impianto planimetrico delle catacombe venne redatta da Rosario Carta che documenta l'area della catacomba, già parzialmente nota, o almeno intuita, dalle indagini degli antiquari siracusani,

alla quale però gli scavi di Orsi impressero la fisionomia attuale.

La scoperta del secondo oratorio bizantino nella regione C, individuata proseguendo lo scavo per la realizzazione di una nuova galleria verso Ovest da parte degli operai dell'UNPA, si deve principalmente ad una scoperta fortuita avvenuta agli inizi del 1950. La rimozione del terreno a Sud del portico della basilica per il posizionamento di un nuovo acquedotto portò alla luce quello che si sarebbe rivelato uno degli spazi più importanti della catacomba. Fino ad allora infatti l'oratorio, investito nei secoli dai tagli e interventi demolitivi finalizzati alla creazione della Basilica e della Chiesa del Sepolcro, era rimasto scorporato dall'intera regione C di cui originariamente faceva parte.

Negli anni 1952-1953 la prima campagna di scavo promossa dalla Pontificia Commissione di Archeologia Sacra si concentrò proprio sull'oratorio appena scoperto, che aveva accolto nel tempo una quantità considerevole di detriti alluvionali. Sgomberare il luogo dalla terra che nel tempo l'aveva reso impraticabile avrebbe assicurato la definitiva comprensione della reale estensione del cimitero che, a parte alcune diramazioni periferiche, era ormai chiara agli studiosi. Malgrado ciò, rimanendo nella regione C il ripetuto innalzamento della falda freatica rendesse e renda inaccessibili i settori della catacomba della regione C realizzati ai livelli inferiori.

3. DESCRIZIONE DEI LUOGHI

La nuova regione cimiteriale C, tradizionalmente datata alla prima metà del IV secolo, nasce da un progetto organico, dal quale solo le condizioni della roccia, spesso friabile, hanno costretto in alcuni casi a deviare. Una nuova logica guida l'origine di questo settore, come indicano l'orientamento delle tracce dei tagli dei *fossori*, l'evoluzione della tipologia delle sepolture e la loro disposizione regolare.

Le due grandi gallerie A e B su cui si articola l'intera regione C, tagliate in senso convergente l'una all'altra, formano un vero e proprio triangolo isoscele che sembra contenere una

serie di piccole insulae di pianta approssimativamente trapezoidale e quadrata. Lungo la galleria B sono da segnalare le aperture che, a intervallo quasi regolare, consentivano l'accesso ai cubicoli, tra cui spicca il gruppo localizzabile nella cripta VI, risparmiato dai lavori UNPA. Dalla galleria B si accede al secondo oratorio bizantino il cui primo nucleo viene considerato da Giuseppe Agnello, sulla base degli affreschi, tra cui quello di San Giacomo, risalente al IX secolo. Questo, come affermò lo studioso, subì in età normanna «dal punto di vista architettonico, un processo di amplificazione che alterò, in qualche modo, l'aspetto della costruzione bizantina».



Figura 4 – Pilastrini in laterizi pressati che puntellano i soffitti della regione C

Un contributo notevole allo studio dell'epigrafia è offerto dai numerosi graffiti, ancora sostanzialmente inediti, che si espandono a macchia d'olio sulle figure dei santi riprodotti sulle pareti dell'oratorio. La lettura delle fasi successive di adattamento e modificazione di questo spazio a esigenze che nei secoli si sono modificate si rivela molto complessa. Le condizioni ambientali di questo settore presentano forti criticità, motivo per cui appare

indifferibile la ripresa di una campagna di scavo che consentirebbe un'analisi più coerente e puntuale delle differenti fasi di utilizzo all'interno di queste aree funerarie. È evidente come questo settore manca dell'unitarietà che aveva qualificato la genesi della regione C e come, soltanto dopo un accurato rilievo degli ambienti che costituiscono l'oratorio e del giusto posizionamento delle sepolture si potrà avanzare una rigorosa ricostruzione dell'assetto funerario originario dell'area e condurre un'attenta analisi dell'evoluzione delle strutture murarie, comprese quelle di epoca moderna.



Figura 5- Regione C, oratorio bizantino, iscrizione monumentale

4. METODOLOGIA APPLICATA

Gli obiettivi principali e le finalità di questa linea di ricerca mirano a strutturare un protocollo in grado di essere applicato, di volta in volta con i dovuti adattamenti ed accorgimenti, ai diversi casi simili dal punto di vista ambientale.

Allo stato attuale le ricerche sono incentrate sulle catacombe di San Giovanni e su quelle di Santa Lucia che hanno costituito l'occasione per confrontarsi con problematiche specifiche del rilievo urbano e del rilievo architettonico.

Infatti la caratteristica comune e intrinseca delle catacombe è quella di trovarsi interrato e di interessare un vasto tessuto fatto di pieni e vuoti, percorsi e architetture, che spaziano dalla scala urbana a quella architettonica e per di più in condizioni ambientali sfavorevoli.

Nello specifico le catacombe di Santa Lucia si estendono al di sotto della piazza di Santa Lucia, un sito urbano interessato oltre che dalla basilica e dal sepolcro ottagonale, dedicati alla santa, da

edilizia di civile abitazione con alti palazzi che insistono su un piano di fatto svuotato al di sotto. Questa localizzazione in pieno centro abitato se da un lato esalta le qualità e le valenze storico-architettoniche del sito, dall'altro ha rappresentato nei secoli una forte criticità ai fini statico-strutturali della catacomba in sé e dell'architettura sovrastante.

Il rilievo condotto si propone da un lato di rispondere alle esigenze degli storici e archeologi per ciò che attiene alla possibilità di fornire modelli utili a condurre studi approfonditi sulla stratigrafia e storiografia per la comprensione dello sviluppo cronologico dell'intero oggetto architettonico e dei singoli ambienti. D'altro canto il rilievo costituisce un elemento basilare per la definizione dello stato manutentivo dell'intero complesso, sia dal punto di vista strutturale che da quello decorativo (stato di fatto degli affreschi) nonché di quadro fessurativo e dei cedimenti.

I dati acquisiti e graficizzati a scala diversa potranno essere assunti quali basi per le successive e necessarie analisi delle sollecitazioni, delle deformazioni e degli interventi di recupero, restauro e consolidamento, secondo un protocollo procedurale che tenga in considerazione gli ultimi sviluppi tecnologici in termini di rilievo e rappresentazione 3D e che sia capace di gestire e visualizzare le informazioni stratificate.

La procedura adottata si fonda su alcuni passaggi fondamentali: ricerca delle fonti storiche; rilevamento e modellazione 3D; modello 3D di sintesi ed elaborazioni grafiche; fruizione virtuale.

Si sono indagati i documenti storico-bibliografici e le rappresentazioni precedenti del sito, oltre gli studi archeologici, tipologici, antropologici relativi all'interpretazione dei materiali di scavo.

Il passaggio successivo è stato quello di localizzare l'area dell'oratorio bizantino rispetto l'intero spazio occupato dalle catacombe, sovrapponendo il nuovo rilievo con l'ultima rappresentazione eseguita dal Carta nel 1968. Un ulteriore passaggio obbligato è quello di relazionare il sottosuolo delle catacombe con lo

spazio sovrastante fuori terra per comprendere la vulnerabilità di queste zone della città in relazione ai vuoti sottostanti.

La pipeline per l'acquisizione, integrazione ed elaborazione dati 3D prevede:

- individuazione della strumentazione più indicata in relazione allo stato dei luoghi e agli obiettivi preposti;
- Progetto di ripresa;
- rete topografica per l'allineamento tra il sito ipogeo e la piazza sovrastante;
- acquisizione 3D (laser scanning, fotogrammetria);
- acquisizione immagini per fotogrammetria e/o texture del modello;
- processamento immagini (SfM) con creazione di nuvole di punti;
- allineamento scansioni/integrazione dei dati;
- creazione ed ottimizzazione del modello poligonale con diversi Livelli di Dettaglio (LOD) per le varie finalità (dalla documentazione mediante elaborati grafici alla fruizione virtuale);
- calibrazione, proiezione e mappatura delle immagini fotografiche sul modello.

In questo caso specifico le condizioni ambientali (assenza di illuminazione, presenza di affreschi palinsesti e graffiti) hanno fatto emergere alcune criticità nella pipeline delineata, specialmente per quanto riguarda le problematiche relative all'acquisizione del colore in condizioni di luce sfavorevoli, qui risolte in maniera speditiva (mediante l'utilizzo di un faretto durante le riprese delle immagini) ma che necessitano la sperimentazione di tecniche HDR manuali o automatiche per una migliore qualità del colore e di tecniche RTI per lo studio e la valorizzazione delle iscrizioni graffite sulle pareti dai pellegrini.

Il modello di sintesi 3D ottenuto costituisce un replica digitale dello spazio rilevato da esplorare nell'ambiente virtuale del computer e quindi svincolato dalle criticità dei luoghi -scarsa illuminazione, claustrofobia, umidità, scarsa

ventilazione. Modello sul quale è quindi possibile formulare le diverse ipotesi e verifiche, da cui poter estrarre rappresentazioni bidimensionali e tridimensionali indispensabili per indagare in maniera approfondita l'oggetto di studio. Esso rappresenta un luogo di indagine privilegiato su cui potere ricostruire la storia dei luoghi attraverso una timeline, organizzata per layer diversi, che racconti le modifiche, gli ampliamenti, le demolizioni, le stratificazioni secondo i principi di autenticità della carta di Siviglia e di Londra.

5. RILIEVO DIGITALE

La documentazione ad oggi esistente della catacomba di Santa Lucia consiste in una planimetria realizzata mediante integrazione tra rilievo topografico e rilievo diretto risalente al 1968. Tali rappresentazioni grafiche risultano ormai obsolete in quanto non aggiornate (è in atto da diversi anni una campagna di scavo nella zona dell'oratorio Bizantino della regione C) ma soprattutto non restituiscono la spazialità e la qualità architettonica dell'oggetto di studio.

Consapevoli di queste lacune e considerata la complessità di questi luoghi e la necessità di documentare tridimensionalmente ed in maniera esaustiva le peculiarità dell'oratorio bizantino (dalla geometria degli spazi alla morfologia delle superfici e allo stato conservativo) si è scelto di operare attraverso laser scanner 3D che ha il vantaggio di acquisire il dato 3D con elevata precisione e in tempi rapidi. Inoltre la strumentazione adoperata è dotata di fotocamera assiale esterna in grado di catturare ad alta risoluzione immagini associate ai dati metrici che vengono riproiettate automaticamente sulla nuvola di punti. In questo modo si bypassa un nodo critico della pipeline di acquisizione di dati 3D e dato colorimetrico poichè sempre affetto da errori di riproiezione delle immagini sul modello.

Lo scanner utilizzato è il Riegl VZ-400 (range di misura: fino a 600 m; accuratezza 3 mm; campo di ripresa 100°x360°) integrato con una fotocamera calibrata Nikon D 700 Fx format, distanza focale 14 mm, risoluzione 12 Mpixel. In fase di progettazione del rilievo si sono tenute in considerazione le problematiche di accesso al sito posto al disotto della quota stradale, nonché le condizioni ambientali sfavorevoli quali la forte presenza di umidità nell'aria e l'assenza di illuminazione naturale.

Il progetto di ripresa ha tenuto conto della complessa e frammentaria struttura dello spazio da rilevare dovuta alla presenza di diversi pilastri in mattoni pressati realizzati nel 1952 a sostegno dei soffitti; dell'andamento altimetrico; della necessità di documentare i recenti scavi delle sepolture a terra e a parete, gli affreschi palinsesti sulle pareti, le iscrizioni monumentali e i graffiti dei pellegrini.

Al fine di ottenere una copertura totale degli spazi interessati sono state previste 18 scansioni che sono state realizzate in posizione baricentrica rispetto agli ambienti da rilevare. L'innalzamento della falda freatica ha reso inaccessibili alcuni ambienti dell'oratorio posti a quota inferiore.

L'eccessiva frammentazione degli ambienti ha reso difficoltosa la procedura di acquisizione mediante target cilindrici (utile in fase di allineamento delle singole scansioni) poichè non si riusciva a garantire la visibilità e quindi l'acquisizione di almeno 3 target condivisi su scansioni contigue. Si è quindi deciso di non utilizzare i target e di utilizzare la procedura di allineamento per punti omologhi durante la registrazione delle scansioni.

Le elaborazioni relative al pre-processamento (filtraggio del rumore) e alla registrazione delle nuvole di punti sono state realizzate mediante il software proprietario RiscanPro.

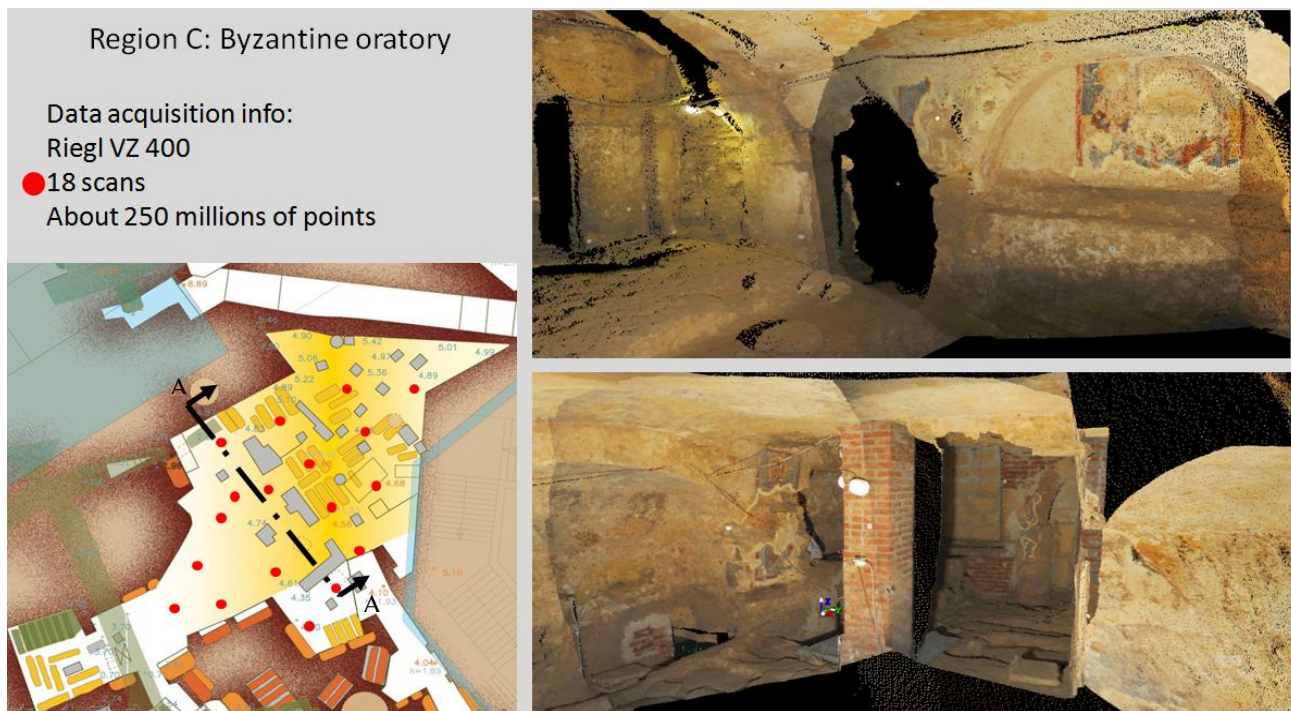


Figura 6 – Progetto di ripresa con individuazione delle 18 stazioni e viste del modello allineato e con texture proiettata

Gli allineamenti sono stati condotti per affinamenti successivi definendo la scansione di riferimento ed agganciando a questa le altre. Si è proceduto con un pre-allineamento delle scansioni (coarse registration) mediante punti omologhi e la successiva applicazione iterativa di una procedura automatica denominata MSA (Multi Station Adjustment) basata sull'algoritmo di allineamento ICP che consente un buon controllo dell'errore di allineamento durante la procedura con la visualizzazione dell'istogramma gaussiano.

Il modello totale è costituito da 250 milioni di punti. L'errore di registrazione totale riportato è di mm 6.

Sempre all'interno di RiscanPro è stata effettuata la procedura di riproiezione automatica delle immagini digitali acquisite dalla fotocamera integrata, pur con le limitazioni sulla qualità delle immagini dovuta all'utilizzo di un faretto per l'illuminazione degli ambienti (ombre auto portate).

6. RAPPRESENTAZIONE DEL MODELLO 3D

Il modello 3D ottenuto descrive tridimensionalmente la geometria e la spazialità dell'ambiente ipogeo dell'oratorio bizantino e costituisce il fulcro dell'indagine conoscitiva assumendo un ruolo centrale nella fase di comprensione ed interpretazione della forma architettonica grazie alla sua virtualità, cioè al suo essere luogo in cui tutto è possibile, in cui poter sperimentare, verificare, simulare, manipolare vedere con occhi diversi l'oggetto di studi.

Nella virtualità dello spazio digitale le valenze euristiche del modello emergono e guidano il processo conoscitivo verso un arricchimento della realtà attraverso analisi ed indagini stratificate e trasversali.

Il paradigma rappresentativo attuato è intimamente connesso alla natura e alla complessità dell'oggetto rilevato. La lettura spaziale unitaria dell'oratorio è compromessa dalla presenza di pilastri e murature di sostegno. Si è pertanto ritenuto opportuno procedere su un doppio registro: da un lato estrapolare dal modello elaborati bidimensionali quali piante e

sezioni arricchiti del dato colorimetrico quale indispensabile documentazione propedeutica; dall'altro il modello 3D ha costituito un vero e proprio strumento di indagine interattivo da esplorare, interrogare, manipolare, misurare, visualizzare in funzione dell'approfondimento conoscitivo condotto.

Il progetto in RiscanPro è stato quindi importato all'interno del software JRC Reconstructor dove si è proceduto al pre-processing delle nuvole di punti, alla creazione delle mesh, alla riproiezione delle immagini fotografiche sul modello, all'individuazione di piani verticali per la realizzazione di sezioni in corrispondenza delle pareti caratterizzate dagli affreschi palinsesti e da quelli dei santi al fine di fornire una prima documentazione tecnica di base, per lo studio del monumento.

I piani sono stati individuati attraverso la procedura di best-fitting applicata a porzioni di nuvole di punti, verificando, considerata l'irregolarità delle pareti, l'effettiva verticalità e congruenza dei piani individuati in maniera

semi-automatica con le istanze di rappresentazione.

Inoltre, la scelta di rappresentare in maniera differente le porzioni di pareti con affreschi palinsesti rispetto a quelle in mattoni pressati è stata estrinsecata mediante l'utilizzo di due dati nello stesso elaborato grafico, quello colorimetrico (affreschi) e quello di riflettanza (mattoni). In questo modo sono facilmente leggibili, individuabili e quantificabili, anche spazialmente i lacerti degli affreschi presenti.

Contestualmente i dati sono stati esportati in formato ptx in modo da poter essere importati in Cyclone ed elaborati in ambiente CAD mediante l'applicativo Cloudworks al fine di ottenere rappresentazioni in pianta da confrontare con la documentazione esistente. Sono stati individuati diversi piani orizzontali cui fare riferimento in modo da poter tenere in considerazione le varie quote altimetriche degli ambienti rilevati e potere documentare in maniera esaustiva lo stato dei luoghi.

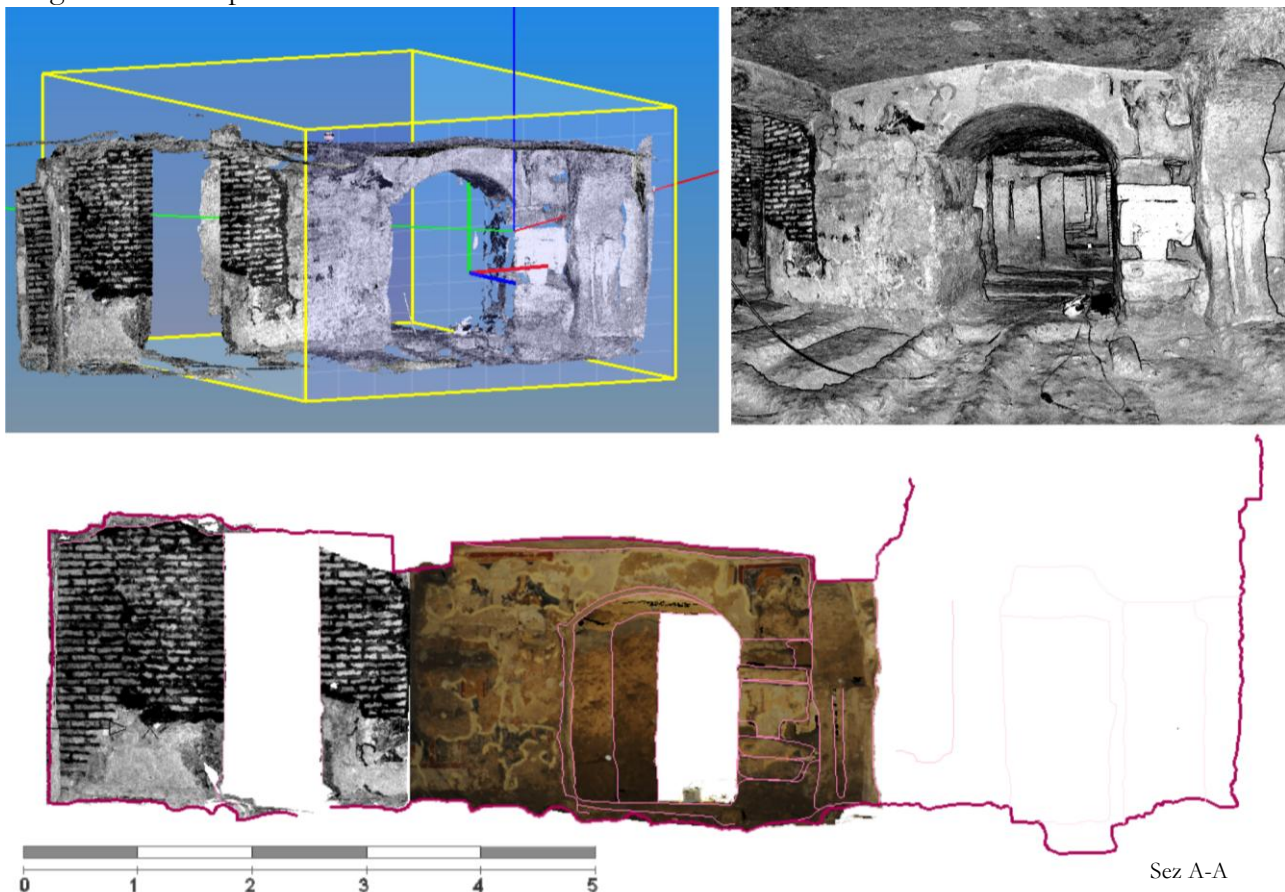


Figura 7. Individuazione del piano di sezione longitudinale dell'oratorio, vista del modello in modalità riflettanza, sezione A-A con texture RGB (affreschi palinsesti) e riflettanza (mattoni pressati).



Figura 8. Vista di un arcosolio con affreschi palinsesti in modalità texture RGB a sinistra e riflettanza a destra.

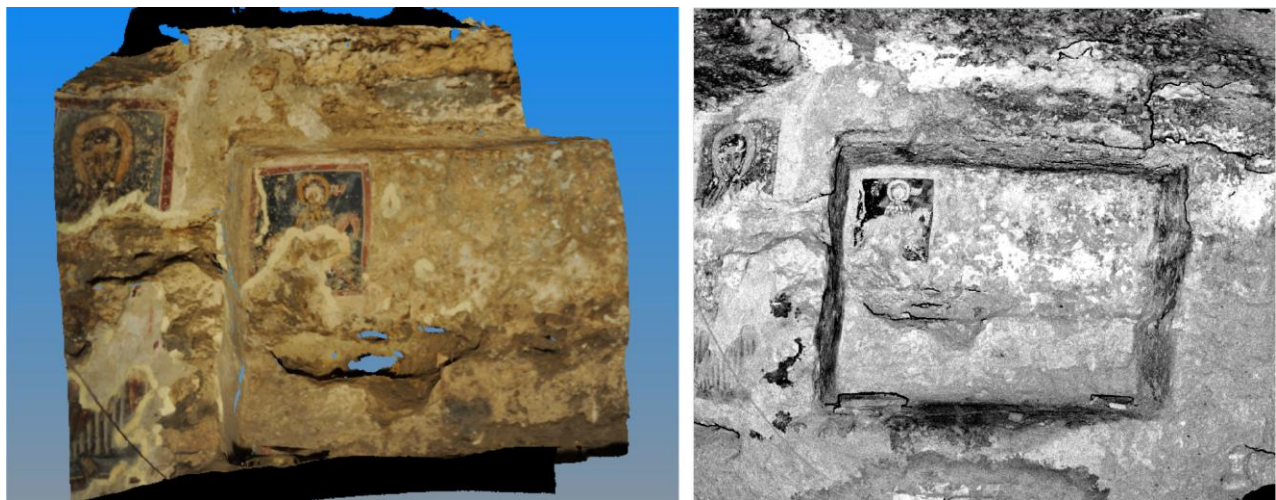


Figura 9. Vista dell'arcosolio in prossimità dell'affresco di San Giacomo in modalità texture RGB a sinistra e riflettanza a destra.

7. CONCLUSIONI

La sperimentazione sull'oratorio bizantino delle catacombe di Santa Lucia, dalle singolari peculiarità dal punto di vista architettonico-ambientale, ha permesso la definizione e verifica di un iter metodologico che ha come obiettivo la conoscenza e documentazione dei caratteri non solo geometrico-dimensionali ma anche materico-formali e statico-conservativi del sito ipogeo.

Attraverso questo studio uno dei settori più importanti della catacomba, non ancora esaustivamente studiato, per la prima volta verrà accuratamente documentato visivamente e spazialmente attraverso un unico modello cognitivo 3D che contiene tutti i dati metrici e materici cui potranno essere assemblati anche quelli archivistici, archeologici, geognostici che

nell'insieme permetteranno di tramandare il monumento alle generazioni future.

Si è ottenuto un modello digitale che è copia della realtà rilevata, sul quale è possibile praticare ricerche inerenti diversi ambiti disciplinari.

Inoltre la metodologia delineata e testata sull'oratorio definisce un possibile approccio al bene archeologico, con caratteristiche geometrico dimensionali di tipo architettonico e urbano, che è possibile reiterare con i dovuti accorgimenti in condizioni simili.

ACKNOWLEDGMENTS

Le autrici ringraziano la Microgeo srl per il supporto durante le operazioni di ripresa in situ.

REFERENCES

- AGNELLO, Giuseppe (1963): “Un sacello pagano con affreschi nella catacomba di Santa Lucia a Siracusa”, in *Palladio* 13, pp. 8-16.
- AGNELLO, Santi Luigi (1955): “Recenti esplorazioni nelle catacombe siracusane di S. Lucia II”, in *Rivista di Archeologia Cristiana*, pp. 7-50.
- BENEDETTI, Benedetto et alii, (2009): “Modelli digitali 3D in archeologia: il caso di Pompei”. Edizioni della Normale, Pisa.
- BONACINI, Elisa et alii (2012): “The catacombs of San Giovanni in Syracuse: surveying, digital enhancement and revitalization of an archaeological landmark”, in *Euromed 4th International Euro-Mediterranean Conference*, Cipro.
- CASU, Paola, (2004): “Esempi di documentazione grafica digitale applicati al rilievo archeologico. Esperienze nel sito di Uthina”, in Corda, A. M. (ed) *Progetto Uthina – dieci anni di cooperazione con l'Institut National du Patrimoine di Tunisi (1994-2004)*. Nuove Grafiche Puddu, Senorbì
- CIPRIANI, Luca et alii (2014): “Affidabilità ed ottimizzazione del texturing del colore apparente dei modelli da sensori attivi e passivi: casi studio nel settore dei Beni Culturali”, in *Colore e colorimetria. Contributi multidisciplinari vol. X. Atti della X Conferenza del Colore*. Editore: Maggioli 2014 pp 23-35
- DE LUCA, Livio (2011): “Verso la caratterizzazione semantica di rappresentazioni digitali di artefatti architettonici: linee programmatiche di ricerca” in *DISEGNARECON*, 4 (8), pp 99-106.
- FÜHRER, Joseph et alii, (1907): “Die altchristlichen Grabstätten Siziliens”, Berlin.
- GAIANI, Marco (2005): “A framework to build and visualize 3D models from real world data for historical architecture and archaeology as a base for a 3D information system, The reconstruction of Archaeological Landscapes through Digital Technologies”, Berkeley, BAR, , pp.103- 125.
- GALIZIA, Mariateresa et alii (2009): “Sperimentazione della tecnica laser scanner 3D per la conoscenza valorizzazione e fruizione del parco archeologico di Caucana”, in Atti 13° Conferenza Nazionale Asita, Bari.
- GIUFFRIDA, Alessia et alii (2005): “The laser scanner for archeological survey: “Le terme dell'Indirizzo” in Catania”, in *International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial and Information Sciences*, Volume XXXVI, part 5.
- GRANDE LEON, Alfredo (2002): “Itálica virtual. Un proyecto educativo que hace Historia”, in *PH Boletín del Instituto Andaluz del Patrimonio Histórico*, n° 40/41, pp. 241-247.
- GUIDI, Gabriele et alii (2009): “A Multi-Resolution methodology for the 3D modeling of large and complex archaeological areas”, in *International Journal of Architectural Computing*, 7(1), pp. 39 –55.

- GUIDI, Gabriele et alii (2014): "Image pre-processing for optimizing automated photogrammetry performances" in *ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Volume II-5, Riva del Garda, Italy pp. 145-152.
- ORSI, Paolo(1918): "La catacomba di S. Lucia. Esplorazioni negli anni 1916-1917", in *Notizie degli Scavi di Antichità* 26 pp. 257-280.
- ORSI, Paolo(1920): *Scoperte nel sobborgo di S. Lucia*, in *Notizie degli Scavi di Antichità*, 28, pp. 312-327.
- ORSI, Paolo (1923): *Manipulus epigraphicus christianus memoriae aeternae*, in I. B. De Rossi, in *Memorie. Atti della Pontificia Accademia Romana di Archeologia*, 1, pp. 113-122.
- ORSI, Paolo (1942): *Oratorio trogloditico con pitture bizantine a S. Lucia di Siracusa*, in *Sicilia bizantina*, Roma, pp. 71-100.
- PECCHIOLI, L. et alii (2011): "The museum of the sculptures in the Basilica of Saint Silvestro at the Catacombs of Priscilla. A virtual visit using Isee Web-Application", in *EVA 2011 Florence - Electronic Imaging & the Visual Arts*. Proceedings, Bologna.
- RUSSO, Michele (2011): "Principali tecniche e strumenti per il rilievo tridimensionale in ambito archeologico", *Archeologia e Calcolatori*, XXII, Edizioni all'insegna del giglio.
- SALVO, Grazia (1999): "Gli affreschi dell'oratorio dei Quaranta Martiri a Siracusa nel contesto della Sicilia bizantina", in *tesi di laurea*, Università degli Studi della Tuscia, Viterbo.
- SANTAGATI, Cettina (2014): "Digital methodologies for surveying and enhancement of hypogeous cultural heritage", in *Virtual Archaeology Journal*, vol 5 (10) pp. 82-92.
- SCHEIBLAUER, Claus et alii. (2009): "Interactive Domitilla Catacomb Exploration", in Debattista, K. et alii, *VAST 2009 10th International Symposium on Virtual Reality, Archaeology, and Cultural Heritage*, pp. 65-72, Eurographics Association, Aire-la Ville.
- SGARLATA, Mariarita et alii (2006): "La catacombe di Santa Lucia e l'Oratorio dei Quaranta Martiri", Grafica Saturnia. Siracusa.
- SGARLATA, Mariarita (1996): "Le stagioni della rotonda di Adelfia. Indagini 1988 e 1993 nella catacomba di S. Giovanni a Siracusa", in *Rivista di Archeologia Cristiana*, n° 72, pp. 75-113.
- SGARLATA, Mariarita (2006): *Morti lontano dalla patria: la documentazione epigrafica delle catacombe siracusane*, in *Atti del XVI Convegno su L'Africa romana*, Roma, pp. 1185-1202.
- ZIMMERMANN, Niklaus et alii (2008): "Showing the Invisible – Documentation and research on the Roman Domitilla catacomb based on Image-Laser-Scanning and 3D-Modelling", in Posluschny, A. et alii, *Layers of Perception Proceedings of the 35th International Conference on Computer Applications and Quantitative Methods in Archaeology (CAA)* Berlin, pp. 58-64.