

Metodologie digitali per il rilievo e la valorizzazione del patrimonio culturale ipogeo

Digital methodologies for surveying and enhancement of hypogeous cultural heritage

Cettina Santagati

Dipartimento di Ingegneria Civile e Architettura, Università di Catania, Catania. Italia.
cettina.santagati@dau.unict.it

Resumen

El estudio afronta la problemática de la adquisición y valorización en el ámbito de las obras subterráneas con especial atención a la Catacumba de San Giovanni de Siracusa. Además de la metodología de investigación propuesta, la presente investigación evidencia que sólo a través de una documentación objetiva y rigurosa se puede conocer y estudiar en profundidad esta clase de lugares. La documentación 3D de estos lugares escondidos a los ojos de la ciudad y, por este motivo muy complejos de interpretar, se muestra como un formidable instrumento de investigación que ha permitido visualizar las relaciones plano-altimétricas de los entornos y estudiar desde un punto de vista geométrico la espacialidad de estos lugares proporcionando nuevas y valiosas informaciones a los estudiosos del monumento.

Palabras Clave: ESCÁNER LÁSER, MODELADO 3D, CATACUMBAS, PATRIMONIO CULTURAL DIGITAL

Abstract

The study addresses the problems of acquisition and enhancement in the field of underground sites with particular regard to the Catacomb of St. John in Syracuse. In addition to the proposed survey methodology, the research highlights that only through a reliable and objective documentation you can understand and study in depth these places. 3D documentation of these places hidden from the eyes of the city and, therefore, very complex to interpret has provided a powerful tool for investigation as it has allowed to show the relationships between the plano-altimetric environments and to study from a geometrical point of view the spatiality of these places providing new and valuable information to scholars of the monument.

Key words: LASER SCANNING, 3D MODELING, CATACOMBS, DIGITAL CULTURAL HERITAGE

1. INTRODUZIONE

Le nostre città racchiudono nel loro sottosuolo un vasto patrimonio culturale ipogeo che non è stato ancora sistematicamente ed accuratamente esplorato. Questo patrimonio comprende le

catacombe, gli ipogei di periodo ellenistico-romano, i templi preistorici di Malta o intere città (medievali o romane) che si trovano stratificate al di sotto della quota di calpestio delle attuali città storiche europee (Praga, Nottingham, Parigi, etc) ed in particolare italiane

(Roma, Napoli, Catania, Siracusa, etc.). La conoscenza e la conservazione di questo patrimonio interessa prevalentemente le ricerche incentrate sulle problematiche di archeologia urbana così come le politiche rivolte ad un uso sicuro e appropriato dei nostri suoli, ma soprattutto sottosuoli. Queste istanze diventano ancora più pressanti in un paese come l'Italia ed in particolare la Sicilia sud-orientale poiché questi vuoti al di sotto del livello di calpestio, in caso di eventi sismici di una certa importanza, rendono le aree urbane sovrastanti molto vulnerabili e potenzialmente pericolose per la sicurezza dei cittadini.

I siti ipogei sono degli spazi negativi generati per sottrazione di materia. Spazi dove ogni elemento è al tempo stesso struttura, forma, funzione ed è solidalmente connesso a ciò che lo circonda. Sottoterra è difficile orientarsi e capire il collegamento con ciò che sta intorno e il contesto urbano sovrastante. Viceversa, spesso i segni delle strutture ipogee non sono facilmente leggibili nel contesto urbano in cui si trovano. Inoltre, la documentazione esistente spesso non consente di comprendere le stratificazioni e le trasformazioni subite nel tempo poiché deriva da approcci settoriali che affrontano o le problematiche legate allo spazio urbano o quelle legate allo studio degli ambienti sotterranei (cripte, catacombe, ipogei e quant'altro).

E' necessario quindi affrontare il problema mediante un approccio integrato che vede nell'utilizzo delle TIC il punto di forza per rispondere alle questioni relative ad una documentazione, rappresentazione, visualizzazione del patrimonio culturale indagato che consenta l'avvio di diversi percorsi di ricerca (archeologico, architettonico, antropologico, fruizione virtuale, geologico, chimico, etc) e che possa anche fornire uno strumento utile al governo del territorio in termini di archeologia preventiva. Inoltre, trattandosi di un patrimonio culturale sostanzialmente "nascosto" alla vista dei cittadini e dei potenziali turisti, l'uso di tecnologie digitali può giocare un ruolo fondamentale per la sua valorizzazione attraverso tecniche di comunicazione e fruizione

digitale (applicazioni realtà aumentata, applicazioni web).

Dal punto di vista strettamente legato alle problematiche di acquisizione metrica dei dati inoltre, bisogna considerare anche che le difficoltà intrinseche dei luoghi sia da un punto di vista altimetrico che planimetrico (ambienti irregolari costituiti da corridoi stretti ed alti), le scarse condizioni di illuminazione e le condizioni ambientali (ventilazione, allagamenti, crolli, lesioni) rendono questi luoghi molto difficili da accedere e quindi da documentare. Per tutte queste ragioni questo patrimonio culturale rimane largamente sconosciuto, non sufficientemente studiato e poco preservato e necessita la messa a punto di metodologie interdisciplinari che affrontino il problema secondo i punti di vista delle diverse discipline coinvolte.

2. STATO DELL'ARTE

L'avvento delle ICT ha cambiato il tradizionale approccio al patrimonio culturale, proiettandolo in una dimensione digitale che ha aperto nuovi scenari di ricerca ancora non del tutto esplorati e facendo aumentare l'esigenza di standard e metodologie condivise anche a livello internazionale. Le metodologie digitali 3D forniscono una descrizione visiva, metrica e spaziale dei beni culturali e possono essere considerate uno strumento molto potente ed efficace per la conoscenza, la documentazione e la comunicazione di un patrimonio culturale così complesso e difficile da interpretare, quale quello ipogeo, in cui le relazioni spaziali tra i singoli ambienti e la totalità del sito indagato sono negate alla vista dello studioso. Inoltre, quando ci si confronta con la visualizzazione 3D dei beni culturali è opportuno seguire le indicazioni espresse dai principi della carta di Londra e di Siviglia che raccolgono le istanze espresse dai diversi studiosi e competenze coinvolte al fine di raggiungere l'obiettivo di una documentazione, visualizzazione e comunicazione scientificamente trasparente e sostenibile.

A livello europeo il crescente interesse della comunità scientifica è attestato da diversi progetti europei incentrati sulla digitalizzazione 3D (EPOCH, 3D-COFORM) e l'individuazione di protocolli standardizzati che diano indicazioni sulle modalità di acquisizione, sui formati da utilizzare e sulle possibilità di poter creare database condivisi sul web (EUROPEANA, CARARE, 3D ICONS), l'identificazione di standard condivisi a livello internazionale (MINERVA), la creazione di network di eccellenza su problematiche legate ai musei virtuali (V-MUST.NET), l'identificazione di buone pratiche e di formati aperti e interoperabili che consentono il riuso dei modelli 3D (sostenibilità).

Nell'ambito delle ricerche sviluppate nel campo del patrimonio culturale sotterraneo, possiamo evidenziare il progetto sulle Catacombe romane di Santa Domitilla (START) guidato dall'Istituto di Storia delle Antiche Civiltà dell'Accademia Austriaca di Scienze in collaborazione con l'università di Vienna [1, 2]. Si tratta di un sito molto esteso e complesso da un punto di vista plani-altimetrico, mai esplorato attraverso le tecnologie 3D. La ricerca è stata indirizzata alla documentazione 3D mediante laser scanning del complesso archeologico, unitamente ai dipinti funerari del primo cristianesimo. Attraverso l'uso delle tecnologie 3D gli studiosi sono stati in grado di comprendere le correlazioni tra i diversi livelli del complesso catacombale. Durante la ricerca sono state sperimentate alcune soluzioni per la visualizzazione interattiva del sito e per la gestione e il processamento dell'enorme quantità di dati raccolti.

La ricerca condotta dal CNR – IBAM a Taranto in Puglia sulla tomba di età ellenistica di via Crispi ha invece posto l'attenzione alle problematiche che devono essere affrontate per consentire la fruizione virtuale di un patrimonio inaccessibile al pubblico. È stata sperimentata una piattaforma di navigazione in RealTime3D dove sono confluite tutte le informazioni di natura storico-critica (inquadramento storico, rapporti con i contesti antichi, analisi esegetica,

ecc.) e tecnico-scientifica di analisi e diagnosi (analisi dei materiali costituenti, stato di conservazione, studio delle caratteristiche architettoniche, ecc.).

Il progetto Nottingham Caves Survey è la prima parte del progetto Caves of Nottingham Regeneration Project (CoNoRP) ed è finalizzato alla documentazione 3D e alla visualizzazione del complesso di cavità al di sotto della città di Nottingham. La finalità del progetto è quella di incoraggiare sia i cittadini che i turisti ad apprezzare questi luoghi per la risorsa storica unica che rappresentano. L'acquisizione 3D è condotta attraverso tecnologie laser scanning e attraverso un sistema di visualizzazione le nuvole di punti possono essere tagliate e sezionate in pianta e sezione, tutto questo sul web (Fig. 1).

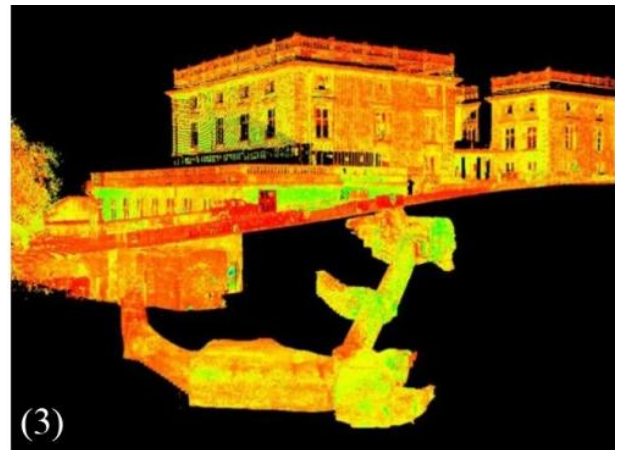


Figura 1. Nottingham Caves Survey

Nella documentazione degli spazi ipogei siti nel “cuore” della città di Matera al di sotto di piazza Vittorio Veneto è posta particolare attenzione al collegamento tra ciò che sta sotto terra e ciò che sta sopra, mette in luce le potenzialità di un approccio 3D a problematiche di rilievo urbano di siti ipogei. Il modello 3D consente di comprendere la collocazione degli ambienti nello spazio, di misurare di misurare gli strati delle pareti di “tufo” (calcarenite) che distanziano i tre livelli di ipogei sovrapposti e lo spessore delle mura.



Figura 2. Gli ipogei di Piazza Vittorio Veneto a Matera

Un altro progetto che si è interessato di luoghi ipogei di moderate dimensioni è stato condotto dai ricercatori della Fondazione Bruno Kessler (FBK, Trento). Il progetto prevalentemente era rivolto al rilievo e alla documentazione 3D della Tomba della caccia e della pesca a Tarquinia mediante l'integrazione di tecniche di fotogrammetria e laser scanning.

Gli studi fin qui esaminati sono incentrati prevalentemente sulla documentazione 3D e/o sulla comunicazione del patrimonio ipogeo, esplorando ed aprendo nuove vie di ricerca per la valorizzazione di questo patrimonio così vulnerabile e non facilmente accessibile. Manca ad oggi un approccio che fondandosi sugli strumenti del rilievo e della rappresentazione 3D riesca anche a fare dialogare queste città sotterranee, nascoste agli occhi dei cittadini e dei visitatori, con ciò che sta al di sopra. Ciò non solo per rispondere ad esigenze di vulnerabilità dei luoghi e ad una corretta gestione del territorio, ma anche per fornire uno strumento conoscitivo che possa essere di aiuto agli studiosi di diverse discipline nel comprendere meglio l'evoluzione, le trasformazioni, le stratificazioni che nei secoli hanno interessato alcune zone della città, in un inquadramento del problema a livello non solo archeologico/architettonico ma anche urbano ed ambientale.

3. METODOLOGIA

L'approccio metodologico proposto si fonda sull'esigenza di voler creare un unico modello di conoscenza secondo una strategia che integra gli

ultimi sviluppi tecnologici in termini di rilievo e rappresentazione 3D che riesca a mettere insieme e a visualizzare più informazioni stratificate su questi particolari oggetti di studio la cui peculiarità è proprio quella dell'"invisibilità" e della complessità intrinseca dovuta alla loro natura sotterranea.

- Ricerca delle fonti storiche

Ricerca dei dati storici a stampa e archivistici: documenti, bibliografia, fotografie e dati storici, iconografia storica, planimetrie antiche. La ricerca deve essere condotta sia a livello urbano che architettonico/archeologico. Particolare attenzione è posta nella documentazione prodotta dai viaggiatori del Grand Tour che hanno lasciato rappresentazioni che esprimono la percezione e l'interpretazione di questi luoghi da parte dei viaggiatori settecenteschi (Houel, Saint-Non). Preziose informazioni si trovano anche negli archivi del Genio Civile: molti di questi luoghi sotterranei sono stati utilizzati durante le due guerre mondiali come rifugi antiaerei. Gli archivi potranno dare informazioni sullo stato dei luoghi antecedenti alle trasformazioni. Inoltre potranno trovarsi eventuali studi sulle condizioni di stabilità statica dei luoghi. Gli studi archeologici, tipologici, antropologici relativi all'interpretazione dei materiali di scavo. I disegni relativi ai rilievi condotti nella fase di scoperta dei siti e dei primi scavi. Tutto questo materiale se raccolto, classificato e messo a sistema l'uno con l'altro fornirà uno strumento di indagine prezioso.

- Rilevamento e modellazione 3D

L'obiettivo è quello di procedere dalla scala urbana a quella architettonico/archeologica, per successive fasi di approfondimento, mettendo in relazione la città sotterranea con quella sovrastante. Il rapporto geometrico/spaziale tra l'ambiente urbano e il patrimonio culturale sotterraneo è fondamentale per comprendere le trasformazioni della città in relazione agli ipogei, e viceversa; la vulnerabilità di queste zone della città in relazione ai vuoti sottostanti; etc.

Per l'acquisizione dei dati metrici ci si avvale delle attuali metodologie informatiche integrate (laser scanning, Structure from Motion) che

forniscono una replica digitale tridimensionale dell'oggetto di studio che racchiude i dati metrici materici e spaziali e costituisce un ottimo strumento per la conservazione ed il restauro del patrimonio culturale.

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

- L'identificazione delle tecnologie più appropriate per l'acquisizione dei dati geometrici secondo lo stato dei luoghi e gli obiettivi preposti;
- L'acquisizione sul luogo dei dati metrici e fotografici, la gestione, il processamento e l'integrazione di questi dati in un unico modello 3D;
- Allineamento attraverso rete topografica/GPS del rilievo dell'ambiente urbano con il sito ipogeo sottostante;
- L'elaborazione dei dati al fine di creare un modello poligonale texturizzato ed elaborati 2D (piante prospettive sezioni) utili per la sovrapposizione tra le due città (sotterranea e sovrastante) e che possono confluire in un sistema informativo territoriale;
- La calibrazione, la proiezione e la mappatura delle immagini fotografiche sul modello e l'ottimizzazione dello stesso per l'utilizzo in ambienti virtuali sia sul desktop che on line.

In presenza di siti sotterranei sorgono una serie di problematiche che rendono critici alcuni passaggi di questa pipeline. Nello specifico è necessario sperimentare le strumentazioni di ultima generazione in grado di risolvere le problematiche relative alla cattiva illuminazione di questi siti mediante tecniche di acquisizione HDR. Inoltre, in presenza di gallerie e ambienti stretti è necessario sperimentare nuove tecniche di acquisizione 3D ad esempio avvalendosi di tecniche robotiche, come già si sta sperimentando all'interno del progetto europeo ROVINA.

- *Modello 3D di sintesi*

In questo approccio, il modello 3D svolge un ruolo centrale essendo esso stesso il luogo di studio e luogo della rappresentazione. Il modello digitale – duplicato virtuale dell'oggetto di studio - costituisce in questa fase un efficace ed insostituibile strumento di ricerca, consentendo in tempo reale l'esplorazione ravvicinata di parti ubicate in punti inaccessibili o zone pericolose; la verifica delle ipotesi interpretative geometrico/spaziali che mano a mano vengono formulate sulla base dei materiali raccolti durante la fase di ricerca storica; la visualizzazione delle correlazioni spaziali tra i vari ambienti sotterranei e tra questi e la città. Il modello stesso diventa anche il luogo su cui ricostruire virtualmente e visivamente la timeline e lo storytelling del luogo e raccontare così le modifiche, gli ampliamenti, le stratificazioni attraverso l'uso di registri di lettura differenti, livelli separati e trasparenze seguendo i principi di "visualizzazione scientifica" espressi nelle carte di Londra e Siviglia.

- *Strategie di fruizione e valorizzazione digitale*

L'obiettivo è di risolvere l'arduo problema di divulgare in maniera coinvolgente ed emozionante i contenuti altamente scientifici della ricerca. E' essenziale tenere in considerazione la componente emozionale percettiva/visiva che accompagna la visita in situ: l'oscurità dei sotterranei, la claustrofobia degli spazi, l'umidità, la ventilazione. Tutti questi fattori vanno relazionati alle condizioni ambientali in cui questi spazi venivano percepiti in passato, al momento del loro utilizzo. E' possibile ricostruirli virtualmente?

L'evoluzione delle ICT mette a disposizione numerose soluzioni per la comunicazione virtuale a partire dallo stesso dataset 3D come l'uso di sistemi di Realtà Virtuale, ibridazioni e combinazioni di media, approcci artistici.

Uno dei possibili output è rappresentato dalla fruizione virtual interattiva in ambiente online dove il modello 3D può essere fruito sia a livello filmico che interattivo attraverso visualizzazione WebGL o l'uso di Game engine. In questo modo si possono anche sviluppare dei giochi

educativi secondo l'attuale pratica dell'edutainment.

Un'altra possibilità è quella di una installazione museale attraverso tecniche di interazione naturale (Kinect) o tecniche immersive.

Sicuramente una modalità molto più alla portata dei cittadini e dei turisti è lo sviluppo di una applicazione di Realtà Aumentata su dispositivo mobile che consente di "vedere sotto i propri piedi" il patrimonio culturale sotterraneo oltre che fornire indicazioni relative all'oggetto di studio.

Questo approccio introduce un nuovo paradigma metodologico per siti non facilmente accessibili e soggetti a rischio (alta vulnerabilità, rischio sismico, idrogeologico e antropico). Approccio che verrà verificato sui casi studio individuati, ma che potrà costituire una linea guida per questioni di archeologia urbana inerenti beni culturali ipogei fondamentali per la pianificazione e la modifica di azioni che interessano i suoli e i sottosuoli delle città (fondazioni, rimesse sotterranee, metropolitane, ferrovie e passaggi).

4. CASO STUDIO: LE CATAcombe DI SAN GIOVANNI A SIRACUSA

Il complesso degli ipogei a Siracusa costituisce una vera e propria città sotterranea ed è formato dalle catacombe di San Giovanni, Vigna Cassia e Santa Lucia. Le catacombe vengono realizzate all'interno della Neapolis, lungo i margini del quartiere di Acradina e delimitano il perimetro di quella che era la città di Siracusa nel periodo ellenistico.



Figura 3. Ambiente urbano in cui si inserisce il complesso di San Giovanni a Siracusa

Dei tre complessi cimiteriali, le *catacombe di San Giovanni* vennero iniziate nel IV secolo (dopo l'editto di Costantino) recuperando parte del sistema idraulico greco (acquedotto, cisterne) che riforniva la città.

Diversamente da Vigna Cassia e Santa Lucia, l'impianto planimetrico di questa città dei morti è piuttosto regolare e risponde ad un'impostazione derivante dal castrum romano, con una galleria centrale denominata "Decumanus Maximus" da cui si diramano numerose gallerie secondarie, i "cardines". Il sistema di gallerie è interrotto da diverse rotonde monumentali (Adelphia, Marina, Sarcophagi, Antiochia). Ad eccezione della rotonda di Antiochia (nella regione nord) costruita ex novo per le esigenze dell'élite del tempo, le altre rotonde presenti nella catacomba, e concentrate in un intorno molto ravvicinato, probabilmente derivano dal riutilizzo delle cisterne dell'acquedotto greco. Questa ipotesi potrà essere ulteriormente verificata mettendo in relazione queste rotonde con gli altri ipogei in zona che facevano parte del sistema idrico della città e sovrapponendo le tracce dell'acquedotto qui trovate alla planimetria della città.

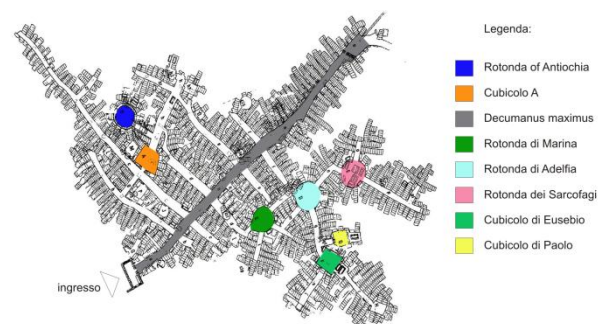


Figura 4. Rielaborazione della planimetria del complesso di San Giovanni realizzata da Führer-Griesheimer (1907-1989) dove sono evidenziati gli elementi principali

Lo studio della documentazione storica ritrovata ha messo in evidenza una maggiore attenzione alle rappresentazioni planimetriche del complesso catacombale slegate dal contesto urbano in cui sono inserite ma certamente efficaci per comprendere le relazioni che intercorrono tra i diversi ambienti sotterranei,

per studiare l'articolazione e la tipologia dell'impianto e delle sepolture. Qualora lo studio volesse anche esplorare la dimensione sotterranea del sito, le modalità in cui sono stati scavati e ricavati gli spazi, le modalità in cui venivano fruiti, la profondità rispetto al livello di calpestio della città esterna e comprendere se effettivamente c'è la correlazione con le strutture dell'acquedotto greco, diventa fondamentale ragionare in termini tridimensionali, capire le relazioni plano-altimetriche che si instaurano tra i diversi ambienti, ma soprattutto tra sopra e sotto.

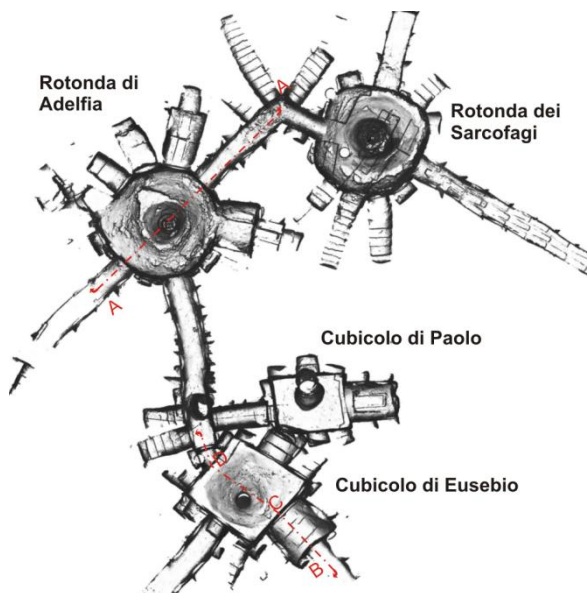


Figura 5. Vista dall'alto della nuvola di punti complessiva della zona meridionale ed indicazione delle sezioni

Un primo studio intrapreso sul complesso catacombale mediante la sperimentazione di tecniche di acquisizione 3D laser scanning è stato rivolto alla documentazione e allo studio geometrico di alcuni ambienti ubicati nella regione meridionale –le rotonde di Adelfia, Sarcophagi, il cubicolo di Eusebio e di Paolo – al fine di trovare delle risposte agli interrogativi in merito alle ipotesi che si tratta di cisterne di origine greca riadattate a rotonde monumentali all'interno del sistema catacombale.

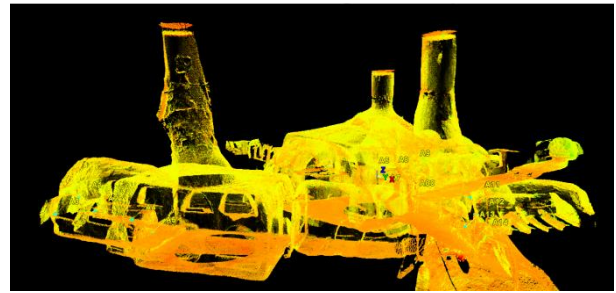


Figura 6. Vista 3D della nuvola di punti complessiva della zona meridionale

Il primo dato emerso dalle elaborazioni condotte ha restituito sia nel caso della rotonda di Adelfia e dei Sarcofagi, sia nel caso dei cubicoli di Eusebio e Paolo dei profili campaniformi – tronco-conici o piriformi coerenti con le geometrie tipiche delle cisterne greche già diffuse dalla fine V secolo A.C di cui analoghi esempi sono stati riscontrati nella necropoli paleocristiana delle cosiddette grotte di Frangipane nella valle dei Templi ad Agrigento.

Questo dato, decisamente in contrasto con quanto raffigurato nelle poche documentazioni altimetriche esistenti del complesso catacombale, fa riflettere su come spesso questi ambienti sotterranei siano stati letti ed interpretati secondo modelli tipologici appartenenti all'architettura del sopraterreno, restituendone una percezione ed una documentazione distorta e lontana dalla realtà.

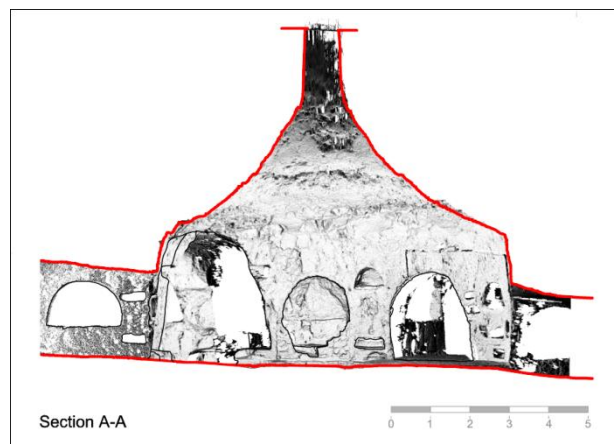


Figura 7. Sezione della rotonda di Adelfia

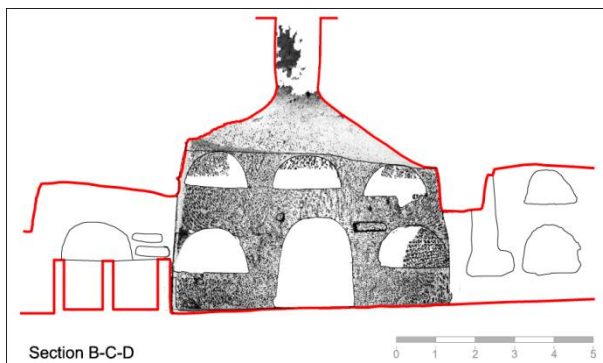


Figura 8. Sezione del cubicolo di Eusebio

Ad esempio tutte le raffigurazioni realizzate dai viaggiatori settecenteschi che si sono recati in visita presso questo “labirinto dei morti” (Jean-Pierre Houel, Dominique Vivant Denon, Jean-Claude Richard De Saint Non) disegnano le sezioni con soffitti a cupola emisferica, restituendo una percezione alterata di questi spazi.

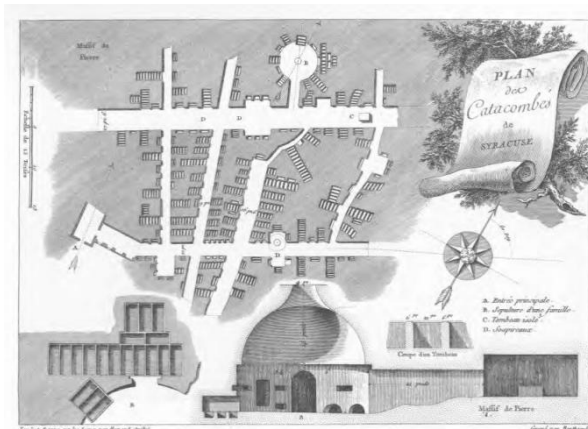


Figura 9. Pianta delle Catacombe di Siracusa e sezione della rotonda di Antiocchia da Richard De Saint Non (1785)

Documentazioni realizzate in tempi più recenti (2001) risentono dello stesso criterio percettivo-interpretativo. Ad esempio, il materiale relativo al cubicolo di Eusebio riporta ancora una volta l'andamento del soffitto a cupola emisferica, ed una conseguente interpretazione di questi spazi incentrata sul simbolismo legato alla cupola, che non corrisponde allo stato dei luoghi.

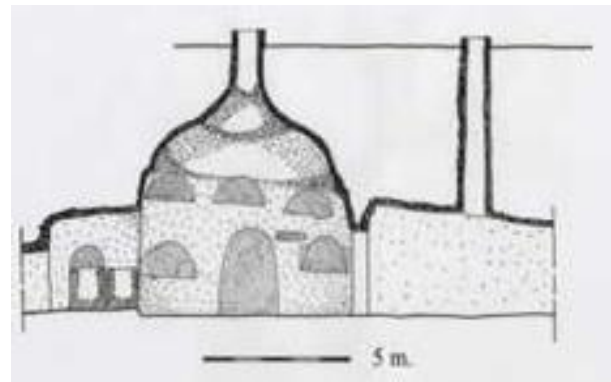


Figura 10. Sezione longitudinale del cubicolo di Eusebio da Gabriele Galletta (2001)

5. CONCLUSIONI

Lo studio intrapreso sul sistema di ipogei a Siracusa è finalizzato allo sviluppo di una metodologia innovativa per la documentazione e la valorizzazione del patrimonio culturale ipogeo. I primi esiti della ricerca localizzati in una piccola porzione del complesso ipogeo hanno fatto emergere la necessità di una adeguata documentazione di questo sito, senza la quale qualunque processo rivolto all'indagine conoscitiva del complesso nella sua unitarietà architettonica non può essere correttamente e criticamente ritenersi concluso.

Il rilievo mediante laser scanner 3D ha evidenziato criticità in alcune interpretazioni fornite in passato e nel contempo fornito nuovi materiali di studio, aprendo nuovi percorsi di indagine prima non immaginabili.

Lo studio necessariamente interdisciplinare proseguirà secondo più linee di ricerca rivolte: alla completa acquisizione 3D dello stato dei luoghi e delle relazioni con la parte di città sovrastante, alla rilettura e re-interpretazione dei luoghi sulla base dei nuovi dati acquisiti, all'esplorazione delle strategie di fruizione e valorizzazione digitale di questo sito che possano fornire delle linee guida per altri contesti in cui si abbiano siti rupestri e ipogei.

RINGRAZIAMENTI

Si ringrazia la dott.ssa Mariarita Sgarlata, ispettrice della Pontificia Commissione di Archeologia Sacra per la Sicilia Orientale, per il supporto scientifico e l'accesso al sito.

Il rilievo è stato condotto mediante la strumentazione del laboratorio di Fotogrammetria Architettonica e Rilievo "Luigi Andreozzi" dell'Università degli Studi di Catania dall'equipe composta da Cettina Santagati, Mariateresa Galizia e Graziana D'Agostino.

REFERENCES

ACITO, Antonio et al. (2012): "La cartografia nella valorizzazione dei beni naturali e culturali: le applicazioni laser scanner 3D", in *Bollettino A.I.C.*, 144-145-146 / 2012, pp. 207-218.

ADAMI, Andrea (2012): "Digital Techniques for Etruscan Graves: the Etruscanning Project", in VAST 2012, pp. 129-136.

BANDIERA, Adriana (2011): "Nascita e utilizzo delle tecniche digitali di 3D imaging, modellazione e visualizzazione per l'architettura e i beni culturali", in *IKHNOS*, pp. 81-170.

BENEDETTI, Benedetto et al. (2009): *Modelli digitali 3D in archeologia: il caso di Pompei*. Edizioni della Normale. Pisa.

BERALDIN, Jean-Angelo et al. (2002): "Virtualizing a Byzantine crypt by combining high-resolution textures with laser scanner 3D data", in *Eighth International Conference on Virtual Systems and Multimedia, Creative and Digital Culture*, pp. 3-14.

BERTOCCI, Stefano et al. (2012): "3D Survey for popularization of underground heritage. The case study of St. Paul's catacombs in Rabat (mdina, Malta)", in *Crbima cultural rupestrian heritage in the circum-mediterranean area*, Firenze, 21-23 Giugno 2012, Tipografia il David, pp. 20-21.

BIANCHINI, Carlo et al. (2010): "Il Rilievo come Sistema di Conoscenza: prime sperimentazioni su Santa Maria della Rupe in Narni", in *Disegnare Idee Immagini*, n° 41, pp. 30-41.

BONACINI, Elisa et al. (2012): "The catacombs of San Giovanni in Syracuse: surveying, digital enhancement and revitalization of an archaeological landmark", in Ioannides M., Fritsch D., Davies R., Remondino F., Caffo, R. (eds) *Progress in Cultural Heritage Preservation. 4th International Conference, EuroMed 2012, Lemessos, Cyprus, Proceedings. Lecture Notes in Computer Science*, volume 7616, pp. 396-403.

BONACINI, Elisa et al. (2013): "Hidden cultural landscapes: survey and digital enhancement of the catacombs of San Giovanni in Syracuse", Gambardella C. (ed), *HERITAGE ARCHITECTURE LANDESIGN focus on CONSERVATION REGENERATION INNOVATION Le vie dei Mercanti _ XI Forum Internazionale di Studi*, La Scuola di Pitagora, Napoli, pp. 262-271.

BONACASA CARRÀ, Rosa Maria (1995): *Agrigento: la necropoli paleocristiana sub divo*. L'ERMA di BRETSCHNEIDER. Roma.

COLLIN BOUFFIER, Sophie (1987): “L'alimentation en eau de la colonie grecques de Syracuse (Reflexione sur la cite et sur son territoire)”, in *MEFRA* 99.2, pp. 661-691.

DE SAINT NON, Richard (1785): *Description de Royames de Naples et de Sicile*, IV, Paris, tavv 72-73.

DOMINGO, Inés et al. (2013): “Latest developments in rock art recording: towards an integral documentation of Levantine rock art sites combining 2D and 3D recording techniques”, in *Journal of Archaeological Science*, 40(4), pp. 1879–1889.

EL-HAKIM, Sabry et al. (2004): “Detailed 3D reconstruction of large-scale heritage sites with integrated techniques”, in *IEEE Computer Graphics and Application*, 24, 3, pp. 21-29.

www.epoch-net.org

FORTE, Maurizio et al. (2005): “An integrated approach to archaeology: from the fieldwork to virtual reality systems”, in *Proceedings of CAA 2004*. BAR International Series.

FÜHRER, Joseph et al. (1907): *Die altchristlichen Grabstätten Siziliens*, Berlin.

GABELLONE, Francesco et al. (2005): “3D Multimedia System for the Distance Visiting of Cultural Heritage. A Case Study on the Chamber Tombs in Via Crispi, Taranto”, *CIPA 2005, XX International Symposium. International Cooperation to Save the World's Cultural Heritage*, Torino 2005, II, pp. 808-812.

GALLETTA, Gabriele (2001): “Architettura cimiteriale paleocristana. Rilettura del cubicolo di Eusebio nella catacomba di San Giovanni a Siracusa”, in *Technologos*, 2.

GRIESHEIMER, Marc (1989): “Genèse et developpement de la catacomb Saint-Jean à Syracuse.”, in *MEFRA* 10.2, pp. 751-782.

GUIDI, Gabriele et al. (2002): “ Multiscale archaeological survey based on the integration of 3D scanning and photogrammetry”, in *International Workshop on Scanning for Cultural Heritage Recording – Complementing or Replacing Photogrammetry*, Corfu, National Research Council Canada, pp. 58-64.

HOUEL, Jean-Pierre (1785): *Voyage Pittoresque des Isles de Sicile et de Malta*, III, Paris.

London Charter: <http://www.londoncharter.org>

NICCOLUCCI, Franco et al. (2002): *Multimedia Communication for Cultural Heritage*. Archaeolingua, Budapest.

<http://nottinghamcavessurvey.org.uk/index.htm>

PECCHIOLI, Laura (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*.

REMONDINO, Fabio (2011): Heritage recording and 3D modeling with photogrammetry and 3D scanning, *Remote Sensing* 3 (6), pp. 1104-1138.

REMONDINO, Fabio et al. (2009): “3D modeling of complex and detailed cultural heritage using multi-resolution data”, in *Journal on Computing and Cultural Heritage*, 2 (1), 2.

<http://www.rovina-project.eu/>

SANTAGATI, Cettina et al. (2013): “ Digital reconstruction of archaeological sites and monuments: some experiences in south eastern Sicily”, in Ch’ng E, Chapman H., Gaffney V (eds), *Visual Heritage in the Digital Age*, Cultural Computing Series, Springer, pp. 205-232.

SCONFIENZA, Roberto (1996): “Sistemi idraulici in Magna Grecia classificazione preliminare e proposte interpretative”, in *Bollettino Storico della Basilicata*, 12, pp. 25-66.

Seville Charter: <http://www.arqueologiavirtual.com/carta/>

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*, 72, pp. 75-113.

SGARLATA, Mariarita (2003): “Nuove luci sulla rotonda di Adelfia nella Catacomba di S. Giovanni a Siracusa»: in *1983-1993: dieci anni di archeologia cristiana in Italia. Atti del VII Congresso Nazionale di Archeologia Cristiana (Cassino, 20-24 settembre 1993)*, Cassino 2003, pp. 845-867.

SGARLATA, Mariarita (2007): “L’architettura del sotterraneo a Siracusa nelle memorie di eruditi e viaggiatori del Settecento”, in *Siracusa antica e moderna. Il Val di Noto nella cultura di viaggio. Atti del X Corso Internazionale di Storia dell’Architettura (Siracusa, 6-10 dicembre 2005). Annali del Barocco in Sicilia*, vol 12, Siracusa 2007, pp. 25-36.

SGARLATA, Mariarita (2012): “Un secolo di ricerche sui cimiteri cristiani del suburbio e del territorio di Siracusa” in P. Militello e M. Camera (a cura di), *Ricerche e attività del corso internazionalizzato di archeologia. Catania, Varsavia, Konia 2009-2012*, (Syndesmoi, 3) Palermo, pp. 177-191.

STANCO, Filippo et al. (2011): *Digital Imaging For Cultural Heritage Preservation - Analysis, Restoration and Reconstruction of Ancient Artworks*. CRC Press/Taylor & Francis-Digital Imaging and Computer Vision Book series.

TOLOTI, Francesco (1980): *Influenza delle opere idrauliche sull’origine delle catacombe*. In *Rivista di Archeologia Cristiana* 56, pp. 7-48.

VIVANT DE NON, Dominique (1785): *Voyage en Sicile*, Paris.

ZIMMERMANN, Norbert et al. (2008): “Showing the Invisible – Documentation and research on the Roman Domitilla catacomb based on Image-Laser-Scanning and 3D-Modelling”, in *35th International Conference on Computer Applications and Quantitative Methods in Archaeology (CAA)*, pp. 58-64.

ZIMMERMANN, Norbert et al. (2009): “Interactive Domitilla Catacomb Exploration”, in *VAST 2009 – 10th International Symposium on Virtual Reality, Archaeology, and Cultural Heritage – Eurographics Symposium Proceedings*. 2009 Eurographics Association (Aire-la Ville 2009), pp. 65-72.

ZIPARO, Vittorio Amos. et al. (2013): “Exploration and mapping of catacombs with mobile robots”, in *IEEE International Symposium on Safety, Security, and Rescue Robotics (SSRR)*, 2013, pp. 1-2.