

Università degli Studi di Firenze - Dipartimento di Architettura DIDA
Dottorato di Ricerca in Architettura, indirizzo in *Rilievo e Rappresentazione dell'Architettura e dell'Ambiente*
Settore disciplinare ICAR 17

Tesi di Dottorato di Ricerca D.P.R. 11/7/1980 - Ciclo XXIX - Novembre 2016

Claudio Giustiniani

Il rilievo per la lettura stratigrafica dell'architettura scavata

La casa-museo di Mimar Sinan ad Ağırnas



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
FIRENZE

DIDA
DIPARTIMENTO DI
ARCHITETTURA

Copyright Dipartimento di Architettura - DIDA, Firenze 2016.

Tutti i diritti sono riservati. Nessuna parte di questa pubblicazione può essere riprodotta in alcun modo (comprese fotocopie e microfilms) senza il permesso scritto del dottorando di ricerca in "Rilievo e Rappresentazione dell'Architettura e dell'Ambiente".

Università degli Studi di Firenze
Dottorato di Ricerca in Architettura
Coordinatore, Maria Teresa Bartoli

Curriculum in 'Rilievo e Rappresentazione dell'Architettura e dell'Ambiente'
XXVIII Ciclo – Settore disciplinare ICAR 17
Coordinatore di Curriculum, Barbara Aterini

<i>Dottorando</i> Claudio Giustiniani	<i>Dottorato in Architettura, Università degli Studi di Firenze</i>
<i>Tutor</i> Carmela Crescenzi <i>Co-Tutor</i> Marcello Scalzo	<i>Coordinatore</i> Maria Teresa Bartoli <i>Coordinatore di curriculum</i> Barbara Aterini Data.....

INDICE

<i>Introduzione</i>	6	<i>2.1.2.3 scelta della strumentazione</i>	45
CAPITOLO 1: L'ARCHITETTURA SCAVATA		2.2 MODELLI TIPOLOGICI	48
1.1 LA CULTURA DEL SOTTERRANEO	15	2.2.1 Caratteri generali dell'architettura ipogea	49
1.2 L'INFLUENZA DEI FATTORI AMBIENTALI GEOLOGICI E MORFOLOGICI	20	2.2.1.1 <i>l'architettura scavata in Etiopia</i>	50
1.2.1 Fattori geolitologici e litotecnici	21	2.2.1.2 <i>Il complesso ipogeo di Lalibela</i>	51
1.2.2 Fattori idrogeologici e idraulici	22	2.2.1.3 <i>Il rilievo e la rappresentazione della chiesa di Beta Giyorgis</i>	56
1.2.3 Fattori morfologici	22	2.2.2 Caratteri generali dell'architettura rupestre	62
1.2.4 Stabilità delle opere in sotterraneo	23	2.2.2.1 <i>Gli insediamenti rupestri delle gravine pugliesi</i>	64
1.3 CLASSIFICAZIONE DELL'ARCHITETTURA SCAVATA	25	2.2.2.2 <i>Il rilievo e la rappresentazione del complesso di Santa Marina a Massafra</i>	66
1.3.1 Classificazione per struttura urbana degli insediamenti	25	2.2.3 Caratteri generali delle cavità costruite	76
1.3.1.1 <i>Insedimento a parete –rupestre</i>	26	2.2.3.1 <i>Le architetture scavate della Cappadocia, il villaggio di Ortahisar</i>	77
1.3.1.2 <i>Insedimenti di superficie</i>	27	2.2.3.2 <i>Il rilievo e la rappresentazione del complesso di Sakli Kilise ed Ali Tourun.</i>	78
1.3.1.3 <i>Insedimenti ipogei</i>	28		
1.3.1.4 <i>Insedimenti sotterranei-città sotterranee</i>	29		
1.3.3 Classificazione per destinazione d'uso	22		
CAPITOLO 2: RILIEVO DIGITALE E MODELLI TIPOLOGICI	39	CAPITOLO 3: LA CASA MUSEO DI MIMAR SINAN AD AGIRNAS	89
2.1 IL RILIEVO DIGITALE	40	3.1 INQUADRAMENTO STORICO E TERRITORIALE	90
2.1.1 La fotogrammetria	41	3.1.1 Il villaggio di Ağirnas	93
2.1.1.1 <i>L'acquisizione fotografica</i>	42		
2.1.1.2 <i>L'orientamento delle camere</i>	42	3.2 LA CASA-MUSEO DI MIMAR SINAN	95
2.1.1.3 <i>La restituzione</i>	42	3.2.1 Edificio A	96
2.1.2 Laser scanner	43	3.2.2 Osservazioni ed ipotesi	112
2.1.2.1 <i>Sistemi a tempo di volo</i>	44	3.2.3 Edificio B	116
2.1.2.2 <i>Sistemi a differenza di fase</i>	44	3.2.4 Osservazioni ed ipotesi	120

3.3 METODOLOGIA DI RILIEVO PER LA CASA- MUSEO DI MIMAR SINAN	<i>122</i>
3.3.1 Fase di presa della misura	<i>122</i>
3.3.2 acquisizione di immagini	<i>126</i>
3.3.3 Fase di registrazione	<i>128</i>
3.3.4 Estrazione elaborati	<i>128</i>
CONCLUSIONI	<i>137</i>
4.1 CONSIDERAZIONI SULLE PROBLEMATICHE DEL RILIEVO DI ARCHITETTURE SCAVATE E STRATIFICATE	<i>138</i>
4.1.1 La natura scultorea	<i>139</i>
4.1.2 Il paesaggio	<i>140</i>
4.1.3 L'accessibilità	<i>139</i>
4.1.4 La luce	<i>139</i>
4.2 CONSIDERAZIONI SULLE PROBLRMATICHE DELLA RAPRESENTZIONE DI ARCHITETTURE SCAVATE E STRATIFICATE	<i>141</i>
4.3 CONSIDERAZIONI FINALI	<i>142</i>
BIBLIOGRAFIA CITATA	<i>144</i>
ABSTRACT	<i>150</i>
ALLEGATI GRAFICI	<i>152</i>

Introduzione

La presente ricerca vuol essere un tentativo di descrivere un percorso personale di scoperta, comprensione, approfondimento e conoscenza delle architetture scavate e, in generale, della cultura rupestre appartenente al bacino del Mediterraneo.

Il mio interesse nei confronti di questa peculiare tipologia architettonica, di questo particolare “modo di vivere” unico, ma che, al contempo, comune a diverse popolazioni e luoghi in Europa e nell'area mediterranea, ha preso il via con la mia partecipazione al progetto CHRIMA-CINP, coordinato dalla prof. Carmela Crescenzi, che ha visto la partecipazione di partner provenienti da diverse nazioni europee e mediorientali quali Italia, Francia, Spagna, Grecia e Turchia.

Il progetto si basava principalmente su una ricerca degli insediamenti rupestri situati in alcuni paesi del bacino del Mediterraneo, studio per promuovere la conoscenza delle architetture finalizzata ad un progetto di salvaguardia e conservazione e per ricercare e analizzare gli elementi comuni che hanno permesso la formazione e lo sviluppo di una propria cultura del “vivere il sottterraneo (o sottosuolo)”. L'habitat rupestre, dunque, rappresenta un vero e proprio elemento comune che permette di legare e accomunare luoghi e culture, anche distanti tra loro, contribuendo quindi ad evidenziare ed accrescere un aspetto di una possibile identità europea.

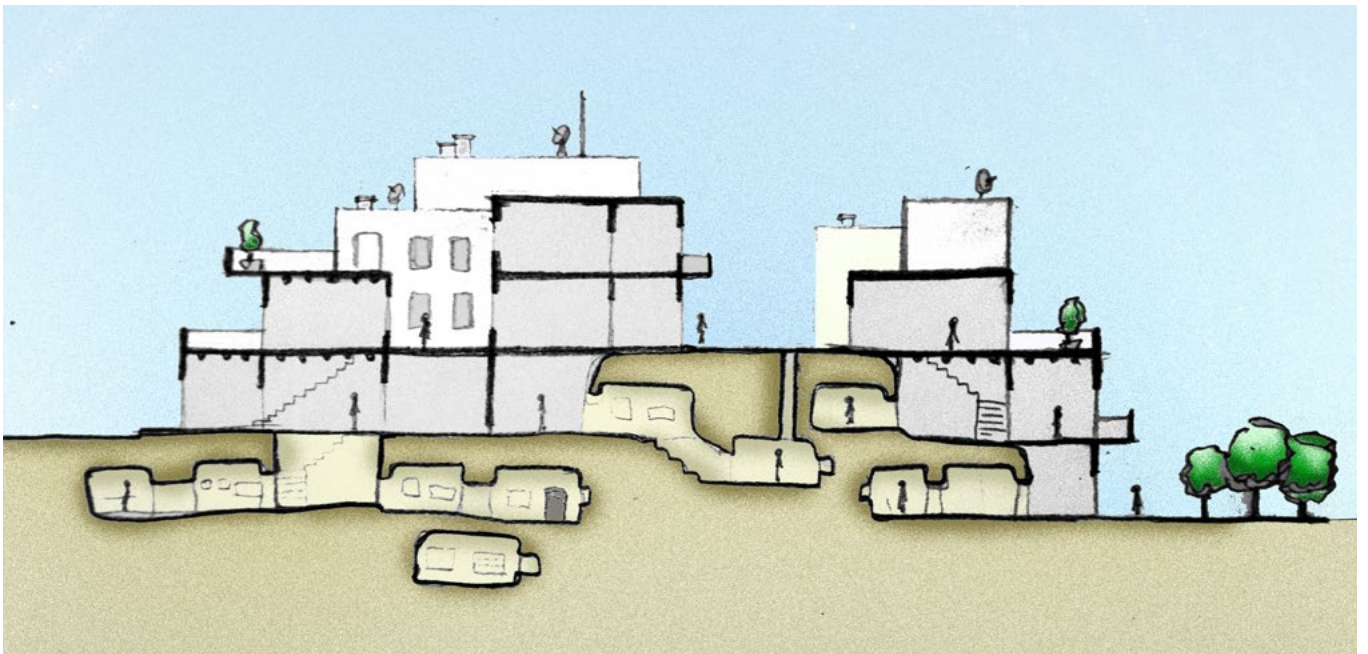
La partecipazione attiva e in prima persona a questi studi, mi ha dato la possibilità di visitare e conoscere luoghi unici e peculiari, quali la Cappadocia medievale, caratterizzata da villaggi in gran parte scavati nella roccia (come nel caso

dei villaggi di Uchisar, Ortahisar e Göreme) e da intricate città sotterranee (come quelle di Derynkuyu e Kaymakli), ma anche nelle gravine pugliesi quali, ad esempio, gli insediamenti a Massafra, Mottola e Palagianello, ed approcciarli, con un'esperienza diretta, a questo straordinario mondo pieno di architetture uniche e suggestive.

Il percorso di approfondimento e studio delle architetture scavate è proseguito con la partecipazione al progetto PRIN 2010-13, capofila l'Università della Tuscia coordinato dalla prof. Andaloro.

Questo progetto era indirizzato allo studio e alla salvaguardia del patrimonio specifico degli insediamenti rupestri dell'area di Göreme. Il territorio oggetto di studio era dunque circoscritto alle zone dell' “Open air Museum” di Göreme e le aree limitrofe, non musealizzate, ma ricche di insediamenti rupestri di diverse tipologie, dalla chiesa di sant'Eustachio a quella “Maryem Ana”, dagli insediamenti monastici, con i loro refettori alle cappelle funerarie, ai condotti idrici per la captazione dell'acqua, agli apiari per la raccolta del miele.

Nonostante la ridotta estensione territoriale del progetto, la ricerca, per la natura del terreno stesso, ha necessitato notevole impegno; nello studio dei vari aspetti della cultura rupestre e del vivere nel sottterraneo, erano infatti coinvolti diverse figure professionali, che, con i loro studi mirati hanno consentito di guardare alle architetture scavate sotto diversi aspetti, dalla decorazione e dagli apparati pittorici, che spesso decorano le superfici degli edifici di culto, alla comprensione degli ambienti, la loro organizzazione e desti-



Schema di un insediamento stratificato immaginario

nazione d'uso fino alla lettura di un esteso sistema abitativo e produttivo proprio dell'area e che, nel corso dei secoli, ha creato un paesaggio variamente antropizzato e complesso.

È dunque emersa con decisione la capacità dei popoli che hanno abitato queste aree, di adattarsi all'ambiente in cui hanno vissuto, non solo adeguandosi alle caratteristiche geologiche e morfologiche del territorio, ma trasformando questo sino a creare insediamenti perfettamente organizzati, dotati di tutte le attrezzature indispensabili per una vita funzionale, capace di soddisfare le esigenze del vivere; una funzionalità che ritroviamo anche negli ambienti di culto, realizzati con capacità e gusto, a volte finemente scolpiti e decorati, riprendendo schemi, tipologie impianti e modelli delle architetture "sub divo", arrivando a realizzare edifici di alto valore e pregio come nel caso della "Tokali Kilise", detta "la Cappella Sistina" della Cappadocia.

Il bacino del Mediterraneo non è però l'unica area geografica in cui la "cultura del rupestre" si è sviluppata, anche se è innegabile che in questa area, gli intensi scambi economici e culturali tra diverse civiltà, hanno portato ad uno sviluppo e a una diffusione di questa tipologia che non ha eguali nel resto del mondo, sebbene anche in altre aree geografiche, ben distanti dal mediterraneo, l'uomo si è avvalso di questa tecnica costruttiva per scavare rifugi ed edifici di culto.

È il caso di Lalibela, in Etiopia: il suo complesso che comprende ben undici chiese ipogee, ricavate scavando la roccia vulcanica dell'altopiano dove sono situate, è un esempio di grande pregio e valore nel panorama della "cultura del rupestre". Le undici chiese di Lalibela rappresentano uno degli

esempi di architettura ipogea più conosciuti ed affascinanti al mondo, uniche e peculiari.

A minacciare la durabilità di queste opere, in primo luogo, è il disuso: l'incuria ed il degrado della roccia, dilavata e consumata dalle piogge, porta spesso al crollo di queste architetture uniche e alla conseguente perdita di questo patrimonio architettonico di grande unicità e pregio. In altri casi queste stesse architetture benchè utilizzate in modo continuato, sono state modificate, trasformando gli originali luoghi di culto e ricavando nella roccia altri spazi, come ad esempio, magazzini, cantine o ricovero per gli animali.

Queste modifiche sia d'uso che strutturali, unite al non più conveniente metodo di escavazione, hanno portato progressivamente all'espansione degli ambienti in superficie, aggiungendo elementi costruiti con tecniche tradizionali all'esterno delle cavità, dando luogo ad edifici che possono essere considerati dei veri e propri ibridi, all'interno dei quali si passa, senza soluzione di continuità, dagli ambienti scavati nel sottosuolo a quelli costruiti in superficie.

Le modifiche degli ambienti interni, con aggiunta di strutture murarie, con funzioni strutturali o per esigenze legate all'organizzazione degli spazi, e gli ampliamenti costruiti verso l'esterno, hanno dato luogo a una differente tipologia denominata: cavità costruita, un particolare fenomeno di stratificazione architettonica, che fa percepire questi edifici come risultanti da aggiunte casuali di elementi, attraverso le quali è possibile individuare i passaggi che hanno portato l'edificio ad evolversi fino alla forma attuale ed elaborare ipotesi per ricostruire la storia di un edificio mutevole.

È interessante dunque studiare la flessibilità e le capacità di queste strutture di modificarsi, per capire la logica e le tecniche con cui questi edifici si siano evoluti e trasformati seguendo le esigenze delle esseri umani che le occupavano. Questo fenomeno di stratificazione risulta essere molto frequente, soprattutto nei luoghi dove le cavità artificiali sono state utilizzate fino a tempi più recenti o dove sono ancora in uso: basti pensare ai sassi di Matera o all'isola greca di Santorini o i villaggi dell'Anatolia centrale. In questi luoghi le cavità rupestri ed ipogee sono state ampliate verso l'esterno con semplici strutture murarie che conferiscono all'insediamento un aspetto "tradizionale", ma che all'interno riserva sorprendenti ambienti rupestri che si sviluppano totalmente all'interno della roccia.

Uno degli esempi che meglio riescono a descrivere questa stratificata tipologia architettonica è rappresentata dalla Casa natale di Mimar Sinan ad Ağırnas, un piccolo villaggio situato nella provincia di Kayseri nel cuore dell'Anatolia centrale. Mimar Sinan fu il maggior esponente dell'architettura ottomana, architetto capo sotto i sultanati di Suleyman I, Selim II e Murad III, ai quali si devono le costruzioni delle più grandi e magnifiche moschee di Istanbul, che ancora oggi contribuiscono a disegnare l'ormai caratteristico skyline della capitale turca. La scelta di questo complesso di edifici come caso studio, ha dunque una doppia valenza: rappresenta infatti al meglio un esempio di architettura scavata in modo stratificato, che ha subito modifiche, trasformazioni ed ampliamenti, a volte cambiando radicalmente gli ambienti per assolvere alle diverse funzioni che hanno porta-

to, infine, l'edificio ad assumere la forma attuale: La "Casa Museo" di Mimar Sinan. Il legame di questo edificio con uno dei più grandi architetti della storia d'Oriente rendono questa costruzione ancora più interessante: il grande architetto rappresenta, infatti, ancora oggi un mito, una leggenda per il popolo turco e che spesso è stato confrontato e paragonato dagli studiosi con i grandi maestri del Rinascimento italiano, vuoi per la sua formazione come ingegnere militare e civile, vuoi per le capacità di attuare tecniche costruttive innovative per la realizzazione di edifici studiati nei minimi dettagli e spesso composti con la stessa logica compositiva degli architetti italiani del XV e XVI secolo, tanto da arrivare a definire Sinan "il Michelangelo ottomano".

Queste esperienze, lo studio e la conoscenza diretta di queste architetture, hanno permesso di individuare criticità e difficoltà legate allo studio e al rilievo delle architetture rupestri, alla loro conoscenza, conservazione, rappresentazione e divulgazione. La particolare natura degli ambienti scavati manualmente nella roccia, quindi senza una forma ben definita dalla misura e costante in alzato, senza un impianto di distribuzione ben identificabile, e senza una disposizione su livelli altimetrici ben delineati, genera una certa difficoltà nel rilevare e rappresentare in modo chiaro questa tipologia di costruito. Attraverso l'uso di tecnologie, strumenti e tecniche moderne come, ad esempio, la fotografia digitale per la realizzazione di virtual tour interattivi, lo scanner laser e la fotogrammetria digitale, il problema sembrerebbe risolto. Il rilievo di questi ambienti con metodi tradizionali come il rilievo diretto, è compito assolutamente arduo, ad esempio nel prendere le misure necessarie alla restituzione grafica della pianta di un edificio scavato, ogni variazione in elevazione, genera una differente misura della distanza, non essendo i muri perfettamente verticali, così come la scabrosità delle superfici murarie rendono più difficile una misurazione accurata.

I metodi e gli strumenti, sviluppatasi e perfezionatisi negli ultimi decenni, si adattano perfettamente alla misurazione e la rappresentazione delle architetture ipogee, consentono infatti di ottenere modelli tridimensionali dell'edificio da scansioni laser o da semplici fotografie digitali, permettendo una misurazione accurata di ogni punto delle superfici. Un altro problema molto evidente in questi insediamenti labi-

rintici, costituiti da un susseguirsi di angusti passaggi e ambienti più ampi, organizzati su differenti livelli, è la lettura e la comprensione dell'impianto distributivo. Anche durante una semplice visita è facile perdere l'orientamento e non capire immediatamente come siano organizzati gli ambienti, la possibilità offerta dalle moderne tecniche di rilievo di poter ottenere una visualizzazione tridimensionale dell'intero edificio facilita molto la comprensione della distribuzione e organizzazione degli ambienti, aiutando spesso anche nella lettura delle fasi delle stratificazioni funzionali e strutturali che si sono succedute nel tempo.

La possibilità di ricavare facilmente elaborati grafici che descrivano in modo esaustivo ed accurato le strutture scavate nella roccia, può inoltre contribuire alla ricostruzioni delle fasi di scavo, del processo attuato per ricavare un susseguirsi di ambienti che in alcuni casi si estende nel profondo della roccia e in altri a portato alla realizzazioni di veri e propri monumenti scultorei.

alla pagina seguente: composizione di immagini che mostra esempi di architetture rupestri, cogliendone differenti elementi, a diversa scala. (in alto) Il paesaggio della valle di Ortahisar; (al centro) la facciata scolpita della chiesa di Beta Gabriel and Rafael (Lalibela); (in basso a sinistra) dettaglio della volta affrescata della chiesa di Sant'Eustachio (Göreme); (in basso a destra) il dettaglio di un tavolo scolpito, all'interno del complesso detto dei "quattro diavoli" (Göreme)



CAPITOLO I

L'ARCHITETTURA SCAVATA



1.1 LA CULTURA DEL SOTTERRANEO

Sin dagli albori della preistoria l'uomo ha cercato di soddisfare le proprie necessità biologiche di ripararsi dagli agenti atmosferici e ambientali. Ovviamente la prima fu una reazione istintiva e passiva, non intervenne costruendo strutture fuori terra come capanne o ripari, ma sfruttò quello che la natura aveva da offrire, eleggendo le cavità naturali, le grotte come suo rifugio. Come dimostrano i numerosi documenti d'arte parietale, che l'uomo del Paleolitico ha lasciato nelle grotte di Spagna e Francia. Nel neolitico, quando l'uomo aveva già imparato a costruire capanne e ripari in superficie, era a conoscenza della loro deperibilità, così non abbandonò la pratica dell'occupare le cavità naturali per dotarsi di ripari eterni per le divinità e per i defunti, anzi la sviluppò fino ad ampliare e scavare ripari con picconi litici, come ad Hal Saflieni a Malta, complesso funerario utilizzato dal 4000 fino al 2500 a.C., o le Domus de Janas, anch'esse del IV millennio a. C, in Sardegna. Dall'Età del bronzo in poi, aiutandosi con strumenti più resistenti e durevoli come il piccone metallico, l'uomo iniziò a scavare cavità artificiali nella roccia, destinandoli sia ai vivi che ai morti, dando luogo a strutture rupestri se ricavate nelle pareti rocciose o ipogee se scavate verticalmente al di sotto del livello del suolo.

Molte delle grandi civiltà del passato si avvalsero di questa tecnica costruttiva, basti pensare alle tombe dipinte di Chiusi realizzate dagli etruschi, o i romani che realizzarono le ville regie ipogee di Bulla Regia, in Tunisia.

La civiltà buddista lo fece in India, con gli spettacolari templi di Ajanta, e la civiltà Cristiana in Cappadocia, lo fecero in Italia i bizantini, longobardi, normanni, svevi, con numerosi villaggi rupestri e chiese, lo fecero le tribù locali in Tunisia, con villaggi ipogei come quello di Matmata, e ed in tempi più recenti la civiltà aksumita nel complesso di chiese ipogee di Lalibela e in quelle rupestri di Wukro. Se il rupestre non può essere definito una civiltà, rappresenta certamente una cultura, una cultura dell'abitare. Una



Pittura rupestre della grotta di Chauvet (Francia)

A lato:

in alto: vista interna del complesso di Hal Saflieni, Malta (foto di Hamelin de Guettele)

in basso: due esempi di ingressi alle domus de Janas (Sardegna).

cultura dell'abitare fra tante, come quella del *teepe* o della *yurta*, che ha attraversato molte civiltà, e che se pure conobbero il costruito, ci hanno lasciato ammirevoli esempi dello scavato.

Ovviamente lo sviluppo di questa cultura è strettamente legato alle condizioni ambientali, si sono scavati siti sotterranei laddove la natura della roccia, la geologia e la morfologia del terreno lo consentiva, dove le rocce erano adatte e dove si modellavano facilmente sotto i colpi del piccone, le arenarie in Calabria, le calcareniti in Puglia, nei tufi vulcanici della Tuscia e della Cappadocia, nelle trachiti di Sardegna, ottenendo ovviamente risultati completamente differenti nel tempo e condizionate anche dalle condizioni storiche dei diversi territori.

A testimoniare come anche le condizioni socio-culturali ed economiche abbiano influenzato queste tipologie di architetture possiamo prendere ad esempio le architetture

sotterranee cappadoci e pugliesi.

La Turchia fu infatti, per un millennio, tra Tarda Antichità e Medioevo il centro del ricco e potente impero Bizantino e sono sorte qui le architetture scavate più monumentali, finemente scavate e riccamente decorate. La Puglia e l'Italia del sud furono invece semplicemente una lontana provincia dello stesso impero, sottoposta a continue invasioni e guerre, passata più volte da un organismo politico ad un altro, Impero Bizantino, Ducato Longobardo, Stato Normanno, Svevo, Angioino Aragonese e con continue incursioni arabe, che non hanno influito sullo sviluppo della cultura rupestre, ampiamente rappresentata, ma che hanno impedito di raggiungere livelli architettonici monumentali come quelli dell'Anatolia Centrale. (R. CAPRARA, 2011)



Vista del villaggio ipogeo di Matmata (Tunisia) (foto di Leon Petrosyan)



Vista di uno dei complessi ipogei di Matmata (Tunisia) (foto di Arian Zwegers)

Altro esempio è quello dell'insediamento rupestre di Lalibela, imponente e monumentale, scavato nella roccia dell'altopiano di Asheten, nell'attuale regione di Amhara. L'inizio dell'escavazione delle prime chiese viene datato tra l'VIII ed il IX secolo d.c. nel periodo di declino dell'impero aksumita, con la necessità di dotarsi di una nuova capitale situata nell'entroterra posizionata sulla sommità di un altopiano e quindi meglio difendibile. La realizzazione di questi templi è poi proseguita fino al XII-XIII secolo, durante il regno di Re Lalibela come risposta alla conquista di Gerusalemme da parte dei musulmani, con la necessità di realizzare un nuovo luogo sacro, meta dei numerosi pellegrinaggi, e per questo Lalibela è stata spesso denominata la seconda Gerusalemme¹ (D.W. PHILLIPSON, 2009).

La presenza di luoghi di culto, di rifugi per i pellegrini e strutture scavate nella roccia in questi luoghi, caratterizzati da differenti culture, religioni e tradizioni, in territori dominati da differenti civiltà durante il corso della storia, non fanno altro che rafforzare le convinzioni, espresse anche da autorevoli studiosi della materia, che l'utilizzo del sottosuolo non sia legato ad una particolare cultura, ma sia piuttosto legato alle caratteristiche geografiche, geologiche e morfologiche del territorio, che diverse popolazioni e civiltà hanno saputo sfruttare e le hanno indotte a ricavare i loro edifici nella roccia a prescindere dalla loro fede religiosa.

Altri esempi, anche più chiari ed evidenti, sono i ritrovamenti di edifici legati a differenti culti nelle stesse aree, spesso uno accanto all'altro, come nel caso dei ritrovamenti in Libia di chiese cristiane affiancate a moschee ed addirittura sinagoghe (F. DELL'AQUILA 2010). L'esempio di Çat in Cappadocia, dove accanto a dodici chiese cristiane è stata ritrovata una moschea (R. CAPRARA, 2011), o i ritrovamenti in Armenia, oltre che di chiese cristiane anche di strutture rupestri legate ad altri culti (R. BIXIO et al., 2009).

Questi episodi dove grandi civiltà, con diverse religioni, che hanno dominato luoghi disparati fra loro, hanno usato la stessa tecnica costruttiva, lo stesso modo di abitare, di costruire luoghi di culto, dimostrano come quella del rupestre sia una cultura, un fenomeno di lunga durata, capace di attraversare i millenni, a prescindere dalle professioni religiose o dalle tradizioni costruttive, ma



Facciata scolpita dell' insediamento di Ajanta (India)



Affresco parietale all'interno del complesso rupestre di Ajanta (India)

legata piuttosto alle necessità dei popoli di determinate aree geografiche e alle condizioni geologiche del territorio. È inoltre opportuno ricordare che la realizzazione di ambienti ricavati nel sottosuolo, esattamente come quelli edificati in superficie, sia frutto di un atto volontario, ben studiato e pianificato. La realizzazione di insediamenti rupestri non è un processo casuale, un'aggiunta di ambienti dettata da sole esigenze pratiche, ma dotato di un iter progettuale complesso per il quale è necessaria una profonda conoscenza dei luoghi, e delle tecniche costruttive. Come per i progetti di edifici realizzati per aggiunta di materiale, anche per le architetture di "sottrazione", la fase di pianificazione inizia alla macro-scala territoriale, le prime

scelte che influiranno sulla vivibilità degli ambienti da realizzare sono infatti dettate dall'esposizione solare, dalla presenza di bacini o corsi idrici, dalla presenza di spazi coltivabili e ovviamente dalla natura del terreno. Questo rappresenta un atto di presa di possesso di un territorio al quale seguirà un'opera di utilizzo dello stesso territorio con la creazione delle infrastrutture indispensabili per ospitare l'uomo e le sue attività. Si tracciano, quindi, piste e strade, si scavano cisterne e canalizzazioni, si preparano locali per la trasformazione dei prodotti. La fase seguente può essere identificata come fase di evoluzione dell'insediamento, nella quale la comunità stabilizzata si dota di un numero di spazi sempre crescenti e diversificati nella tipologia, in grado di assolvere a tutte le funzioni necessarie al sostentamento dell'uomo e delle sue attività. Ogni singolo ambiente è dunque creato per assolvere ad una particolare funzione, occupa una posizione precisa all'interno dell'insediamento, consona allo svolgimento delle attività per il quale è stato creato². Ogni ambiente scavato, è dunque parte di un sistema complesso.

La creazione di ambienti nel sottosuolo coinvolge però anche un'altro tipo di conoscenza, lo scavo è un atto fisico, un'operazione di asportazione di materiale, di sottrazione, un'azione irreversibile, un gesto da compiere con sicurezza e basato dunque su progetti e tecniche ben definite, tramandatesi e sviluppatesi nel tempo.

È certo che la posizione e la tipologia di insediamento realizzato, hanno influenzato fortemente le fasi di scavo, ed è facilmente immaginabile che l'iter da seguire per l'esecuzione di scavi in parete sia diverso da quello per gli scavi verticali. Ma è necessario tener conto che ogni struttura di un complesso, dovendo accogliere diverse funzioni, possiede diverse caratteristiche che richiedono spesso procedure differenti nell'essere scavate, basti pensare alla realizzazione di condotti idrici ipogei o a quella di chiese finemente scolpite in parete³. L'insieme di queste cognizioni intellettuali, acquisite grazie ad un'esperienza che attraversa i millenni, influenzate dall'ambiente e rielaborate costantemente per affrontare problematiche particolari, capaci di portare alla produzione di insediamenti complessi, strutture articolate e monumenti scultorei, concorrono a identificare quella del rupestre come una vera e propria cultura.

*A lato:
in alto la facciata scolpita del complesso rupestre di Hallach ad Ortahisar (Turchia) la facciata risulta essere decorata da dipinti murali ed elementi architettonici che simulano degli elementi architettonici. In alto è possibile osservare la presenza di alcuni ambienti destinati a piccionaie individuabili grazie alle piccole aperture disposte a griglia
In basso la facciata scolpita della chiesa di Abba Libanos a Lalibela (Etiopia), si nota come parte di questa facciata sia affetta da fessurazioni, ed opere di restauro e ricostruzione con blocchi di tufo.
le due immagini mettono in evidenza le differenze stilistiche dell'apparato decorativo delle due chiese rupestri.*



A sinistra: interno della chiesa di Abba Libanos, una delle chiese che compongono il complesso di chiese ipogee di Lalibela (Etiopia) ; a destra: interno della ci una delle chiese che compongono il complesso monastico di Hallach ad Ortahisar (Turchia). Le due foto mettono in evidenza le differenze stilistiche negli apparati decorativi delle due chiese rupestri.



1.2 L'INFLUENZA DEI FATTORI AMBIENTALI GEOLOGICI E MORFOLOGICI

Se le principali motivazioni che hanno indotto popoli, anche molto differenti tra loro, a sviluppare tecniche e tecnologie per costruire in negativo, sono di natura bellica, di difesa, religiose, economiche, sociali, etc., i fattori che maggiormente hanno condizionato, l'effettivo sviluppo di vere e proprie "città sotterranee" sono geografici, climatici e geologici. L'assetto geologico e morfologico hanno spesso avuto un ruolo determinante nello sviluppo delle opere in sotterraneo, e spesso ne hanno pregiudicato e compromesso la realizzazione.

È quindi possibile affermare, che generalmente, la creazione di cave sotterranee per l'estrazione di pietre da costruzione, insediamenti trogloditi o opere di culto, sia strettamente connessa alla presenza di estesi affioramenti tufacei e rocce di una natura tale da essere facilmente lavorabili e modellabili.

Nel caso, invece, di camminamenti militari (AA.VV., 2005; F. GHERLIZZA, M. RADACICH, 2005), o strutture molto estese sul territorio, come acquedotti a pelo libero (T.ASHBY, 1935; (G. BODON et al., 1994),

spesso dell'ordine di vari chilometri, sorgono difficoltà legate allo scavo in rocce sicuramente meno "tenere" (es. calcari), anche se in questi casi a condizionare maggiormente percorsi e sviluppi delle opere da realizzare sono i fattori morfologici.

Queste opere, spesso, sono state pensate e realizzate per superare l'ostacolo morfologico, per abbreviare i tempi di percorrenza tra due luoghi come nel caso delle vie di transito, delle gallerie stradali o dei cunicoli, opere che, nell'antichità, hanno avuto negli etruschi e nei romani i loro più illustri artefici.

Sono dunque molteplici i fattori legati al territorio e alla sua natura che possono condizionare la realizzazione di opere nel sottosuolo ed è naturale pensare che questi non coinvolgano la sola fase di realizzazione, ma possano influenzare anche la fase di utilizzo e di manutenzione. La buona riuscita nella realizzazione di un ambiente dipende, quindi, da numerose scelte, che se fatte in modo opportuno ed oculato hanno consentito l'uso prolungato di questi luoghi.



Vista di una delle conformazioni rocciose che caratterizzano il paesaggio cappadoce, in particolare della Rose Valley, nei pressi di Göreme (Turchia)

1.2.1 Fattori geolitologici e litotecnici

Le caratteristiche meccaniche dell'ammasso roccioso assumono un ruolo di primo piano in termini di capacità di autosostegno delle volte, di resistenza a compressione e di grado di fratturazione. Questi tre fattori, nel complesso, riguardano direttamente l'agibilità o fruibilità di una cavità sotterranea nel tempo influenzandone la sicurezza. Osservando i territori della fascia tirrenica toscano-laziale-campana, è evidente che le rocce tufacee hanno avuto una primaria importanza nella distribuzione e nello sviluppo spaziale degli insediamenti antropici nell'antichità. Queste aree, infatti, sono occupate da depositi vulcanici costituiti da limitati spandimenti lavici ma, soprattutto, da estese coltri di formazioni piroclastiche sia sciolte (pozzolane) che litoidi (tufi e piperni). I depositi di questa natura, nonostante siano classificabili geomeccanicamente come rocce tenere (weak rock), costituiscono materiali da costruzione dotati di buone proprietà fisico-meccaniche, facilmente lavorabili e ottimi isolanti termici (AA.VV., 1967). La presenza di elevate volumetrie di questi materiali a profondità facilmente raggiungibili, li hanno resi inoltre i più diffusi e comuni materiali da costruzione sin dall'epoca greco-romana (F. ZEVI, 1994; V. ALBERTINI et al., 1997; A. PICIOCCHI, C. PICIOCCHI, 2005), come testimoniano i numerosi monumenti esistenti.

Tra le rocce sedimentarie nelle quali sono state realizzate numerose e importanti opere in sotterraneo di vario genere, un ruolo di primo piano lo rivestono le calcareniti Plio-Pleistoceniche⁴: calcareniti in genere fini, organogene, con frammenti di Briozoi⁵, Echinoidi⁵, Crostacei e Molluschi, variamente cementate e porose.

Note impropriamente come tufi calcarei, anch'esse hanno rappresentato, come i tufi vulcanici prima descritti, materiali di eccellenza per l'edilizia poiché facilmente lavorabili, dotati di buone caratteristiche fisico-meccaniche, tuttavia facilmente scavabili e sufficientemente porosi (V. COTECCHIA et al., 1985; C. CHERUBINI et al. 1993.a; C. CHERUBINI et al., 1993.b).

Alcuni litotipi presentano allo stesso tempo facilità di scavo e capacità di autosostegno delle volte, e meglio di altri si prestano quindi allo scavo di cavità sotterranee. La presenza di materiali come tufi vulcanici, arenarie o calcareniti, combinata all'assetto morfologico, con pareti sub-verticali che garantivano un adeguato posizionamento



Composizione di immagini che esemplificano le diverse tipologie di rocce che caratterizzano alcuni insediamenti scavati nella roccia, in differenti luoghi del globo

strategico degli insediamenti, con finalità di controllo del territorio e di difesa, ma anche di una adeguata esposizione solare degli insediamenti stessi, hanno costituito i primi elementi per la scelta dei luoghi in cui realizzare opere sotterranee.

1.2.2 Fattori idrogeologici e idraulici

Altro fattore fondamentale, per quanto riguarda insediamenti abitativi, è poi rappresentato dalla disponibilità di acqua. Questo è un aspetto di primaria importanza, ai fini della produzione agricola, di particolari processi produttivi, ma anche dal punto di vista igienico sanitario, e che hanno condizionato in primo luogo la scelta dei siti dove insediarsi, ma che hanno portato anche alla realizzazione di importanti opere di canalizzazione con sviluppi chilometrici. Tali opere, una volta giunte nei pressi dell'abitato, convogliavano le loro acque in una rete capillare di cunicoli sotterranei e cisterne spesso alimentate dalla presenza di sorgenti locali. Poiché nell'antichità gli acquedotti erano esclusivamente a pelo libero, la scelta delle sorgenti da captare, e conseguentemente del percorso dell'opera di canalizzazione, era fortemente condizionata dal dislivello relativo esistente tra l'emergenza del fronte sorgivo e quella del recapito finale (V. CASTELLANI, 1999).

Ciò affinché si potesse garantire il giusto carico idraulico per l'alimentazione delle fontane pubbliche ed

eventualmente private.

L'assetto idrogeologico sotterraneo svolge un ruolo di primissimo piano sia in fase realizzativa sia per la stabilità e la conservazione nel tempo di un'opera scavata (M. DELLE ROSE et al. 2006).

La circolazione delle acque sotterranee rappresenta un importante fattore di condizionamento sia in fase realizzativa sia, in secondo momento, dal punto di vista della funzionalità e fruibilità dell'opera.

1.2.3 Fattori morfologici

I processi di erosione e di degradazione alla base del modellamento del paesaggio esercitano un ruolo primario non solo sulle possibili tipologie di strutture rupestri e sotterranee realizzabili ma anche sulla loro possibilità di preservarsi nel tempo. Piramidi di terra, butte, mesa, plateau e versanti in genere, sono stati sfruttati per realizzare insediamenti sicuri, ben esposti e dotati del comfort necessario allo svolgersi della attività quotidiane. Ogni tipologia di conformazione rocciosa ha dato luogo ad una diversa tipologia architettonica offrendo differenti caratteristiche da sfruttare, e costringendo l'uomo ad adattarsi, e a sviluppare processi realizzativi sempre diversi. Sono state dunque le morfologie prodotte dall'azione della degradazione meteorica, dalle frane e dall'erosione a stimolare la realizzazione di numerosi insediamenti nella roccia, ma è bene ricordare che sono



Immagine panoramica della particolare morfologia che caratterizza il paesaggio limitrofo al villaggio di Ortahisar (Turchia). In primo piano è rappresentato il Complesso monastico di Balkan.

esse stesse destinate a modificarsi continuamente e a scomparire lentamente.

Gli stessi processi, pertanto, che hanno generato morfologie particolarmente adatte alla realizzazione di insediamenti sotterranei (C. SUCCHIARELLI, 2002), nel tempo possono comportare anche la perdita, talora in tempi rapidissimi, come nel caso delle frane, del patrimonio ipogeo in esse realizzato. Queste però, possono anche dare origine a delle forme di accumulo che meglio della morfologia originaria si predispongono allo sviluppo di tipologie di architettura rupestre.

L'arretramento per fenomeni di crollo di una falesia tufacea, ad esempio, può inizialmente portare a la totale perdita del patrimonio ipogeo, tuttavia, fenomeni franosi da crollo che producano massi tufacei anche di ragguardevoli dimensioni (fino ad alcune migliaia di metri cubi) possono dare spunto alla realizzazione di un altri particolari tipi di insediamenti rupestre, piuttosto singolare⁷.

1.2.4 Stabilità delle opere in sotterraneo

Purtroppo gran parte delle cavità artificiali attraversa ed ha attraversato periodi di totale abbandono, senza che siano state prese le opportune precauzioni per garantirne la conservazione nel tempo. Per questo motivo, oggi molte delle opere sotterranee versano in uno stato di progressivo degrado e decadimento⁸. A risentire degli

effetti del decadimento e deterioramento, è soprattutto la condizione di stabilità delle cavità, che appaiono in genere precarie e presentando notevoli elementi di rischio che talora si estendono anche al territorio sovrastante. Le trasformazioni apportate alla struttura nel tempo, la chiusura degli ingressi e la successiva perdita di memoria della localizzazione originale degli stessi, aggrava ulteriormente la situazione, producendo un rischio ancora maggiore a causa della perdita di informazioni sulla distribuzione spaziale degli ambienti ipogei.

I dissesti più frequentemente si manifestano nelle cavità consistono principalmente nel distacco, dalle volte e/o dai pilastri, di blocchi di dimensioni variabili da qualche metro ad alcune decine di metri cubi. Questi crolli parziali avvengono di frequente in modo improvviso e senza alcun segno premonitore, anche a distanza di centinaia di anni dalla fine delle operazioni di scavo, ma in alcuni casi si manifestano con profonde fratture, che una volta individuate, andrebbero opportunamente monitorate, al fine di valutare gli eventuali movimenti delle zone interessate

I fenomeni di instabilità dei versanti, al cui interno si sviluppano insediamenti e cavità sotterranee, e l'assottigliamento dei pilastri di sostegno all'interno delle cavità, risultano di particolare gravità quando minacciano direttamente siti di importanza storico-archeologica⁹. Numerosi sono i casi in cui le cavità sono



Immagine equirettangolare dell'interno della chiesa di Maryem Ana a Göreme (Turchia). E' possibile notare come l'intera struttura sia interessata da una profonda frattura che ne compromette la stabilità.



Sopra: crolli delle pareti della Kepez Kilise, nei pressi di Ortahisar
Sotto: il restauro della facciata della Tokali Kilise a Göreme

state parzialmente distrutte da crolli e ribaltamenti delle porzioni più esterne delle pareti rocciose (G. BERTUCCI et al.,1995; G. PECORELLA et al. 2004; R. BIXIO et al. 2002), e frequenti sono i casi di cavità la cui stabilità è seriamente compromessa per la presenza di fratture beanti, sia sulla volta che intorno ai pilastri. Ad eccezione di particolari situazioni come quelle su citate, generalmente l'effetto di crolli risulta localizzato nell'ambito della cavità sotterranea e nei suoi immediati dintorni, con contenuti danni a cose o persone, vista la scarsa frequentazione di molte cavità. Ciò nonostante, l'alterazione delle condizioni statiche che ne deriva può essere estremamente pericolosa e può innescare, per fenomeni di migrazione verso l'alto, un collasso generale della struttura con effetti che si ripercuotono

in superficie alle eventuali strutture del soprassuolo. (A. EVANGELISTA , 1991; E. EVANGELISTA , 2005; S.HALL et al., 2004)

Le discontinuità che si possono rilevare in un ipogeo possono avere natura diversa: alcune di esse sono preesistenti allo scavo e strettamente legate alla genesi dell'ammasso roccioso (ad esempio, fratture singenetiche in un ammasso tufaceo per effetto del rapido raffreddamento durante la deposizione dei depositi sciolti); altre invece si sono formate nel tempo a seguito della redistribuzione dello stato tensionale dovuta alle operazioni di scavo, ovvero alle eventuali vicissitudini tettoniche in cui è stato coinvolto l'ammasso o a rilasci tensionali in corrispondenza di versanti sub verticali .

Le discontinuità esistenti nell'ammasso roccioso svolgono il ruolo di concentratori di sforzi di trazione e sono in grado di attivare nel tempo una progressiva riduzione della resistenza a lungo termine del materiale (S. HALL et al.,2004).

Per una corretta valutazione del rischio associato ai fenomeni di dissesto nel sottosuolo è necessaria la conoscenza delle effettive condizioni di stabilità delle cavità (ad esempio, attraverso uno studio del quadro fessurativo delle volte) e delle possibili cause che sono all'origine dei meccanismi di crollo (S. HALL et al.,2004). Le prime sono indispensabili per stabilire una scala di priorità degli interventi e per la progettazione delle opere di consolidamento, mentre le seconde sono estremamente utili per scegliere le più idonee tecniche di monitoraggio al fine di controllare l'evoluzione nel tempo dei fenomeni di dissesto

In generale, è possibile constatare come spesso i ruoli esercitati dai vari fattori esaminati singolarmente, a seconda dei contesti si sovrappongano ed agiscano congiuntamente. Il risultato di tale combinazione, inoltre, può dipendere sia da fattori ambientali (geografici e climatici) che dalla natura delle rocce nonché dal fattore tempo.

In conclusione, quindi, appare evidente come, nello studio delle strutture sotterranee, anche l'approfondimento degli aspetti geologici, può fornire importanti indicazioni in merito agli aspetti socioeconomici e alle motivazioni che hanno indotto popoli e culture alla realizzazione e all'utilizzo degli spazi sotterranei ed ai benefici che ne hanno tratto.

1.3 CLASSIFICAZIONE DELL'ARCHITETTURA SCAVATA

Per una corretta analisi e comprensione delle architetture scavate, è necessario individuare le caratteristiche distintive di ogni complesso architettonico. Uno sguardo attento ed una lettura approfondita dell'oggetto consentono di poterne cogliere gli aspetti più rilevanti che lo caratterizzano, ed in base alle caratteristiche comuni a più architetture è possibile una classificazione per categorie. Nel caso delle architetture scavate occorre considerare diverse caratteristiche peculiari del manufatto, i criteri per la classificazione possono quindi essere molteplici. Di norma l'architettura sotterranea, come quella di superficie, viene classificata in base alla funzione che deve assolvere, vengono così associati alla funzione abitativa gli insediamenti delle gravine Pugliesi, alla funzione funeraria le catacombe romane, alla funzione liturgica le chiese cappadoci. Questa lettura delle architetture sotterranee risulta essere un po' limitata, non considerando la mutevolezza delle funzioni che ogni ambiente ha assolto nel tempo, e prescindendo totalmente da altri aspetti fondamentali delle architetture sotterranee. Per ottenere una classificazione più efficace è necessario integrare la lettura degli ambienti scavati considerando anche altre caratteristiche delle architetture.

Uno dei fattori che è necessario tenere in considerazione, e che può essere seguito per classificare gli ambienti sotterranei, è che ogni complesso è stato ricavato scavando diverse tipologie di terreno, adattandosi alla morfologia del territorio e sfruttando al meglio le caratteristiche suolo e le possibilità offerte dalla natura. Questi hanno portato alla messa a punto di diverse tecniche costruttive e alla realizzazione di diverse tipologie di ambienti, dall'occupazione di una cavità naturale, allo scavo di grotte antropizzate, poi spesso completate con elementi costruiti in muratura, a scopi sia funzionali che strutturali. La complessità dei fattori coinvolti nello scavo artificiale antropico, di spazi più o meno complessi, mostra come esso rientri in una autentica cultura architettonica, una pratica dettata e risolta da un iter progettuale vero e proprio.

In primo luogo, è però necessario osservare e studiare l'ambiente scavato non come entità singola, ma come parte di un complesso. Spesso, infatti, l'aggregazione di ambien-

ti scavati formano complessi unici, assimilabili agli edifici dell'architettura tradizionale, organizzati a loro volta in vere e proprie strutture urbane. I singoli complessi architettonici scavati sono spesso parte di insediamenti anche molto estesi, organizzati come vere e proprie città, dove ogni singola parte assolve ad una diversa funzione, dalle strutture abitative a quelle religiose fino a quelle produttive, messe in relazione tra loro attraverso infrastrutture viarie, e dotate in alcuni casi di infrastrutture di servizio come sistemi di approvvigionamento idrico. Anche in questo caso la formazione di ogni insediamento è stato fortemente condizionato dalle caratteristiche del suolo in cui è stato ricavato e questo a portato a diverse tipologie di struttura urbana.

Per classificare al meglio un ambiente rupestre è dunque necessario effettuare diverse tipi di letture, ponendo attenzione a diversi aspetti che lo caratterizzano, partendo dal considerarlo parte di una struttura urbana articolata, per poi individuarne le caratteristiche costruttive ed infine individuarne la funzione per la qual è stato realizzato.



Abside di una delle chiese del complesso monastico di Hallach, nei pressi di Ortahisar (Turchia) trasformato successivamente in colombaro. questa immagine esemplifica perfettamente la sovrapposizione delle funzioni che si sono svolte all'interno di ambienti rupestri nel corso del tempo, e che rende complessa una classificazione in base alle funzioni a cui è destinato

1.3.1 CLASSIFICAZIONE PER STRUTTURA URBANA DEGLI INSEDIAMENTI

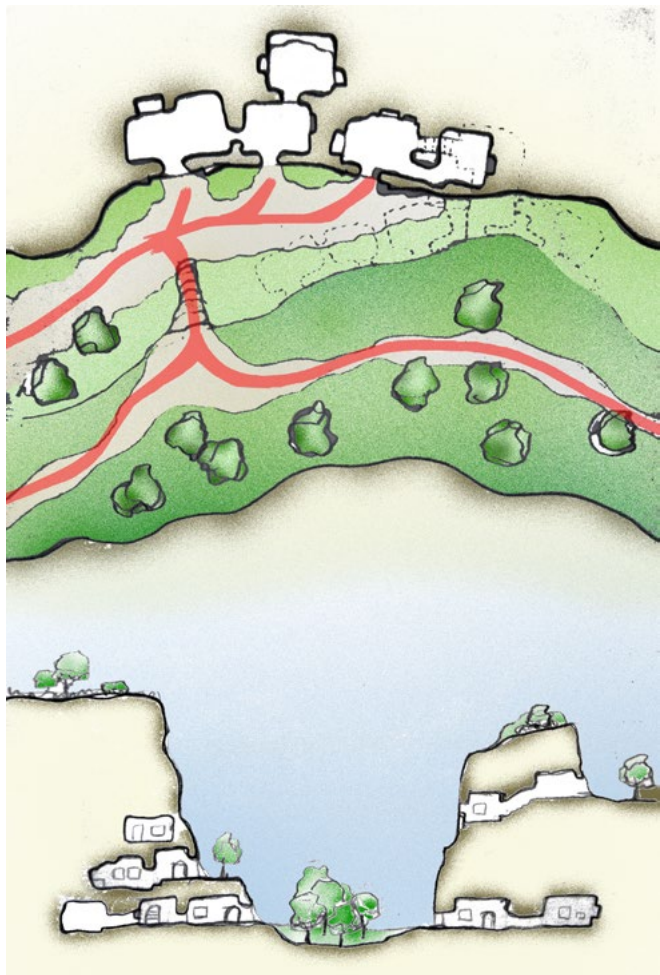
Una prima classificazione delle strutture scavate nel sottosuolo può essere riferita ad una macro scala. Si tratta infatti di una lettura dell'intero complesso insediativo cercando di individuarne le caratteristiche fondamentali e non concentrandosi su ogni singolo ambiente. Leggendo la posizione in cui è stato ricavato lo spazio, nel fianco di una gravina o nella platea di un altopiano, e contemporaneamente la distribuzione degli ambienti e i collegamenti che ne derivano, si possono definire varie tipologie:

1.3.1.1 Insedimento a parete – rupestre

con l'aggettivo rupestre ci si riferisce generalmente alle abitazioni o complessi scavati sui fianchi di una montagna. Questa tipologia rappresenta il sistema di aggregazione più diffuso in generale. Gli insediamenti rupestri sono presenti in tutta l'area del bacino del mediterraneo, in Asia, in Africa, in Spagna, in Francia, nella penisola balcanica, in Grecia, in Italia meridionale. Spesso si tratta di grotte o cavità naturali sottoposte all'intervento dell'uomo, che seppur modesto, ha portato nella maggior parte dei casi alla sistemazione degli accessi e all'inserimento di edicole, altari nicchie ed in base alle attività che dovevano essere svolte all'interno.

Il numero degli spazi abitabili è variabile ed occupa il versante della valle con un'esposizione migliore. Questo consente di ottimizzare le condizioni ambientali in un numero maggiore di spazi.

Le realizzazioni più importanti di questa tipologia, le troviamo negli Stati Uniti con il complesso lineare di Cliff-Dwelling a Mesa Verde; in Francia nei complessi scavati lungo la valle della Loira; in Spagna nei numerosi insediamenti che caratterizzano l'Andalusia; in Turchia con gli insediamenti di Zelve, Hilara ed altri numerosi esempi nella regione cappadocce; in Italia con i villaggi rupestri delle gravine di Massafra, Ginosa e Palagianello; in Africa alcuni esempi sono rappresentati dalle centinaia di chiese scavate nelle pareti della valle Wukro in Etiopia ed alcuni esempi isolati come la chiesa di Yemrehanna Kristos, nei pressi di Lalibela. In tutti questi casi gli spazi si sviluppano prevalentemente in senso orizzontale, addentrandosi all'interno della parete rocciosa. I villaggi ed i complessi più estesi possono essere organizzati su più livelli sovrapposti ed essere dunque classificati in villaggi in



Schema di insediamento rupestre con evidenziate i percorsi distributivi principali

linea, se caratterizzati da un solo livello; villaggi a gradoni, se i livelli sovrapposti sono sfalzati; oppure villaggi a pareti, se caratterizzati da più piani sovrapposti. Gli ambienti di ogni livello sono raggruppati in distinte unità insediative e generalmente i collegamenti tra i vari livelli sono posti all'esterno, in superficie, lungo la parete rocciosa, e conducono sino all'ingresso di ogni gruppo. I collegamenti tra gli spazi interni hanno dunque uno sviluppo prevalentemente orizzontale e sono spesso rappresentati da stretti passaggi.

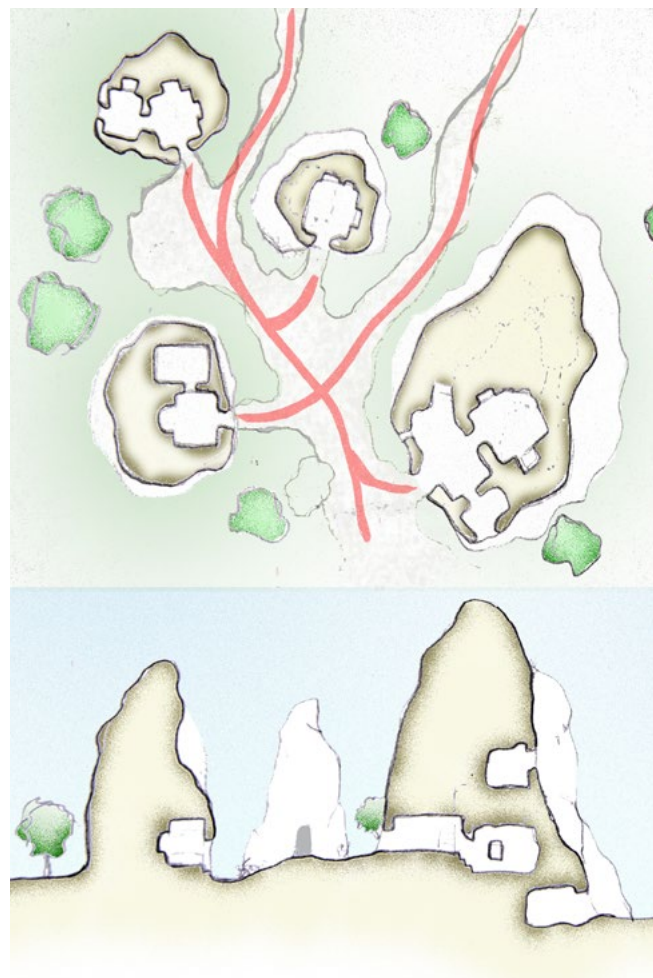
(A. DE PASCALE et al, 2011; J.L. VERDU' et al., 2011; R.CAPRARA, 2011 ; M. PASQUINI,2013)



Sopra: esempio di struttura rupestre (valle di Ortahisar, Turchia)
 Sotto: esempio di struttura anomala di superficie ("Valle delle spade"
 , Goreme)

1.3.1.2 Insediamenti di superficie

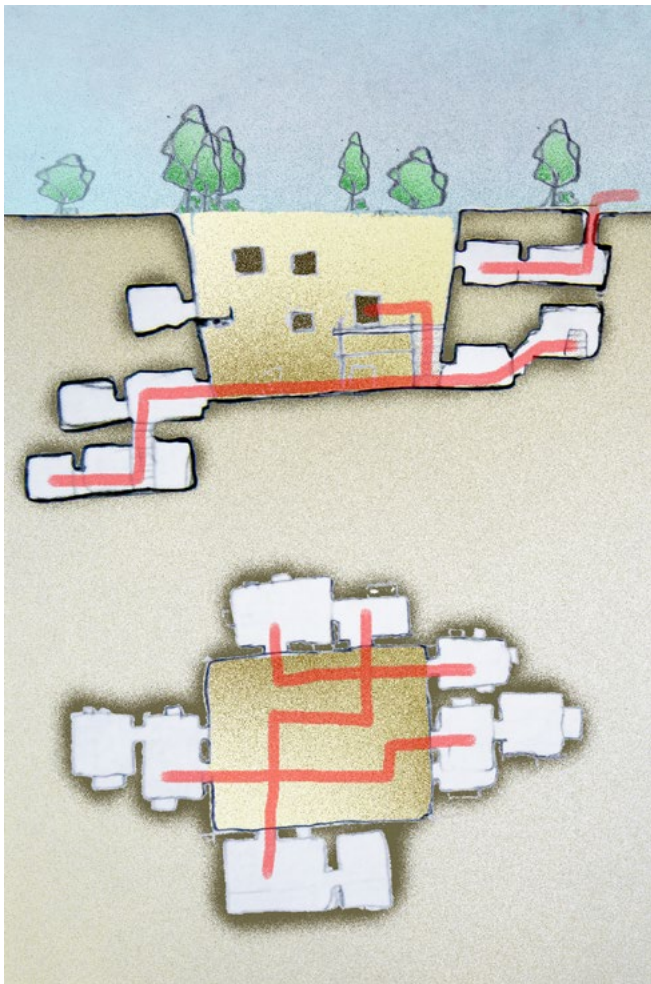
Gli insediamenti di superficie sono particolari tipologie di insediamenti che si possono rilevare soprattutto nella regione turca della Cappadocia. Sono insediamenti scavati all'interno di "coni" chiamati anche "camini delle fate". Si tratta di piramidi di roccia, tufo, roccia sedimentaria, o vulcanica, coperti da una lastra del medesimo materiale ma più compatto, che protegge la roccia sottostante dall'erosione. Questa particolare morfologia consente di ricavare all'interno dei coni spazi organizzati anche su più livelli comunicanti per mezzo di passaggi verticali ricavati negli spazi interni. Si ipotizza che il passaggio da un livello a quello soprastante potesse essere



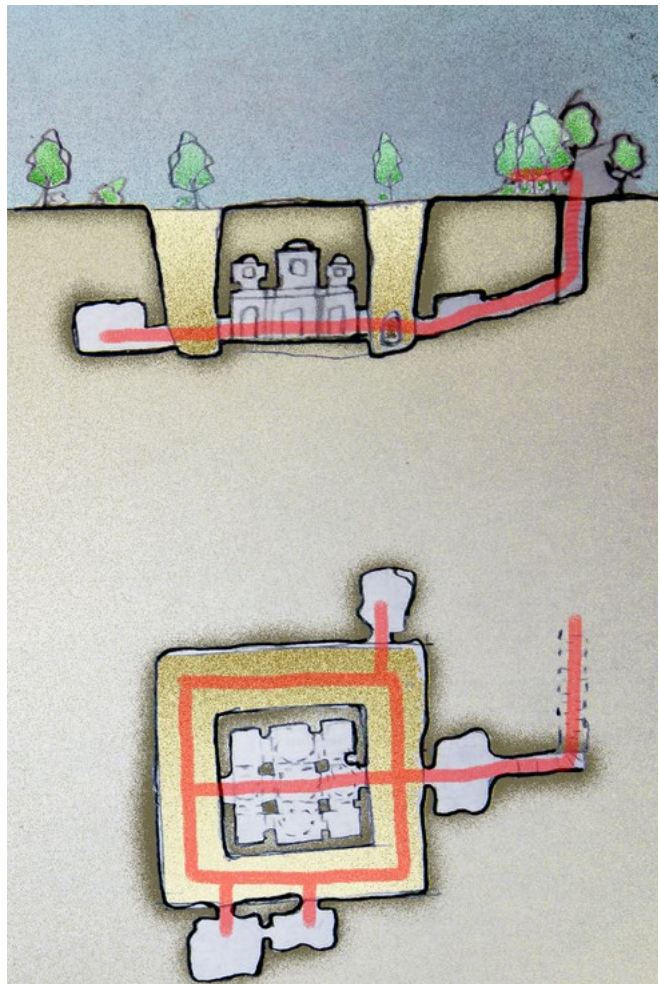
Schema di insediamento anomalo di superficie con evidenziate i percorsi distributivi principali

facilitato anche con l'ausilio di scale lignee poste all'interno, ma anche attraverso strutture in legno che, ancorate alla superficie esterna, ed avvitandosi attorno al cono roccioso, raggiungevano gli ambienti posti alla sommità.(M. SCALZO,2015) L'insieme dei coni configura così un paesaggio naturale che con l'intervento dell'uomo, che ne ha ricavato ambienti vivibili, si configura come un vero e proprio sistema urbano costruito. La viabilità principale si sviluppa all'esterno, al livello del suolo, alla base dei coni, ed i percorsi conducono all'ingresso di ogni singolo complesso.

Assimilabili a questa categoria sono i villaggi-castello, che si differiscono principalmente per le dimensioni estese del



Schema di insediamento ipogeo a corte, con evidenziati i percorsi distributivi principali



Schema di insediamento ipogeo a corte con monolite centrale, con evidenziati i percorsi distributivi principali

torrione di roccia in cui sono stati ricavati. I numerosi spazi ricavati all'interno di questi grandi con, sono organizzati su livelli sovrapposti sino alla sommità e serviti da percorsi verticali che si diramano orizzontalmente ad ogni piano per condurre nelle singole stanze. E' possibile che, in origine, fossero effettivamente strutture difensive e di avvistamento per il controllo del territorio. Ne sono un esempio molto chiaro i castelli di Ortahisar (castello di mezzo) ed Uchisar (terzo castello) che con il castello di Ürgüp, andato distrutto, formavano un sistema difensivo per il controllo di una vasta area nella provincia di Nevşehir in Cappadocia.

1.3.1.3 Insediamenti ipogei

Con il termine ipogeo ci riferiamo ad abitazione o complessi scavati sotto il livello del suolo. Questi ambienti dunque sono ricavati nella roccia iniziando gli scavi dalla superficie e procedendo in senso verticale, verso il basso, penetrando nel terreno. In queste tipologie di architetture le unità residenziali o produttive sono organizzate intorno ad un pozzo centrale scavato verticalmente. Questi pozzi davano accesso ai diversi spazi scavati e potevano connettersi ad essi per mezzo di passaggi sotterranei o ricavati in superficie. Oltre ad essere un elemento di accesso e connessione i patii scavati servivano come regolatori bio-climatici per il controllo dei flussi



Accesso alla struttura ipogea denominata "Salassie Chapel", Lalibela Etiopia

d'aria, per il controllo dell' illuminazione e della temperatura, ma anche come punto di raccolta e distribuzione dell'acqua piovana. Questa tipologia è il tipo di struttura sotterranea che meglio risponde all'inerzia termica, combinando i vantaggi termici dell'architettura sotterranea con la relazione diretta con l'esterno. La possibilità di poter sfruttare queste architetture come regolatore termoigrometrico ha fatto sì che si sviluppassero soprattutto in aeree geografiche dal clima particolarmente avverso per le elevate temperature e insolazione, come nell'Italia meridionale, in Spagna, nel Nord e centro Africa.

Ipogei sono le tombe a camera di età classica, le catacom-

be cristiane, ipogei sono le abitazioni di Matmata e le "vicinanze" di Massafra scavate intorno ad un pozzo aperto in terreno pianeggiante. Sono conosciute cavità ipogee in centri della Toscana come Siena e Chiusi, sotto alcune cittadine del Lazio e alcuni centri della Puglia. Altri insediamenti hanno una particolare struttura ipogea, che sfrutta, come negli altri casi, il patio centrale, ma all'interno del quale, procedendo con gli scavi, è stato lasciato un massiccio di roccia. Questo è stato a sua volta scavato per ricavare lo spazio principale del complesso, mentre sulle pareti del patio sono stati ricavati gli spazi accessori.

1.3.1.4 Insediamenti sotterranei-città sotterranee

In alcuni casi la necessità di difendersi dalle rigidità climatiche, ma anche da popoli invasori, hanno portato alla realizzazione e di intere strutture urbane completamente scavate nel sottosuolo. Si tratta di veri e propri villaggi dotati di un numero limitato di accessi che dalla superficie portano all'interno di una struttura complessa dotata di tutte le infrastrutture e gli ambienti necessarie a svolgere tutte le attività della vita quotidiana. Dagli accessi infatti si diramano dei cunicoli in modo capillare nel sottosuolo, che come strade, conducono sino a tutti gli ambienti del villaggio, come i depositi per il grano, celle, stanze d'abitazione, cappelle, loculi per le sepolture e stalle per gli animali. Le costruzioni si sviluppano generalmente attorno ad un grande camino di areazione, che insieme ad altri di dimensioni più contenute, formavano un ingegnoso sistema per la circolazione dell'aria. Gli stessi tubi venivano usati dagli abitanti delle città sotterranee per comunicare da un livello all'altro.

Le due città sotterranee più note al mondo sono certamente quelle cappadoci di Kaymakli e Derinkuyu, nella provincia di Nevsehir.

Il villaggio di Kaymakli nasconde nel sottosuolo una enorme città sotterranea (Yeralti Sehri) scavata, tra il VI e il X sec., nel tufo e articolata su otto livelli fino ad una profondità di 4 m.

La città sotterranea di Derinkuyu (pozzo profondo) è costituita da dodici piani, di cui otto accessibili. (A. DE PASCALE et al., 2011)



Ambienti interni della città sotterranea di Kaymakli (Turchia)



Partendo dall'immagine in alto a sinistra:
 esempio di insediamento rupestre, il villaggio di Cehrilik (Ağırnas).
 (foto di C.Crescenzi);

esempio di locali interni scavati in parete (Ortahisar);

esempio di insediamento anomalo di superficie in una delle conformazioni rocciose tipica dell'area della cappadocia (Göreme);

esempio di insediamento ipogeo, il complesso monastico di Gümüşler nei pressi di Nidge (Turchia) (foto di M.Benek);

vista dei locali interni dell'inseiamiento ipogeo di Gümüşler (Nidge) (foto di Bahranakin);

Pagina seguente partendo partendo dall'immagine in alto a sinistra:
 esterno della grotta che ospita la chiesa di Imrahanna Kristos (Etiopia);

veduta esterna della chiesa di Imrahanna Kristos (Etiopia);

esterno di una delle chiese rupestri di Wukro (Etiopia);

gli avancorpi di una delle chiese rupestri di Wukro (Etiopia);

esempio di ampliamenti costruiti all'esterno di strutture in roccia eseguiti con archi a roloux (Ortahisar);

vista interna degli ampliamenti costruiti all'esterno di strutture in roccia eseguiti con archi a roloux (Ortahisar).





1.3.3 CLASSIFICAZIONE PER DESTINAZIONE D'USO

In base alla funzione (destinazione d'uso) a cui una cavità artificiale era adibita, la Commissione Nazionale Cavità Artificiali SSI ha stabilito una classificazione tipologica che ne identifica in modo sintetico la natura.

La struttura si presenta ad albero ed è basata su sette tipologie principali, a loro volta suddivise in sottotipologie. L'utilizzo è facilitato da codici alfanumerici. Di seguito riportiamo delle brevi descrizioni di ogni tipologia.



Diagramma per la classificazione delle tipologie di architetture sotterranee, redatto dall'Commissione Nazionale Cavità Artificiali (estratto da <http://www.operaiopogea.it/contents/classificazione-cavita-artificiali/>)

A) Opere Idrauliche

A.1 regimazione/bonifica = cunicoli e gallerie sia per la bonifica di terreni paludosi che per la regimazione di livello di laghi e bacini (emissari, immissari).

A.2 captazione = cunicoli e gallerie destinati a captare vene d'acqua sotterranee o stillicidi: essi possono sboccare all'aperto in una fontana o canale; se invece fanno parte integrante di un acquedotto complesso (A.3) sulla scheda si indicherà sia A.2 che A.3.

A.3 trasporto = gallerie e cunicoli di acquedotti che trasportano l'acqua lontano da captazioni esterne o sotterranee (A.2); deviazioni sotterranee di corsi d'acqua per consentire la costruzione di ponti (tecnica usata dagli Etruschi quando non conoscevano l'arco); tutte le opere idrauliche che non ricadono in altra voce specifica.

A.4 cisterne = ambienti sotterranei destinati all'accumulo di acqua (o altri liquidi, liquami esclusi); generalmente dotati di manto per la impermeabilizzazione delle pareti; le cisterne per derrate secche vanno in B.5.

A.5 pozzi = perforazioni verticali per la presa di acque, eseguiti a partire dalla superficie esterna. A.6 opere di distribuzione = vasche, sale o altri ambienti sotterranei in cui convergono vari condotti (anche non percorribili) e/o dipartono altri condotti (generalmente non percorribili), quali il castellum aquae romano.

A.7 fognature = cunicoli o gallerie di scarico di acque bianche o nere da insediamenti umani o industriali.

A.8 canali navigabili = forse in Italia non ve ne sono di sotterranei, ma nel centro Europa ne sono noti parecchi

A.9 ghiacciaie/neviere = non ci sono solo quelle in grotte naturali (pozzi a neve), ma anche quelle artificiali.

A.10 condotti di funzione sconosciuta = spesso si trovano condotti in passato certamente idraulici ma ridotti a tratti troppo brevi per poterne stabilire la funzione, l'esperienza suggerisce di inserire questa voce.

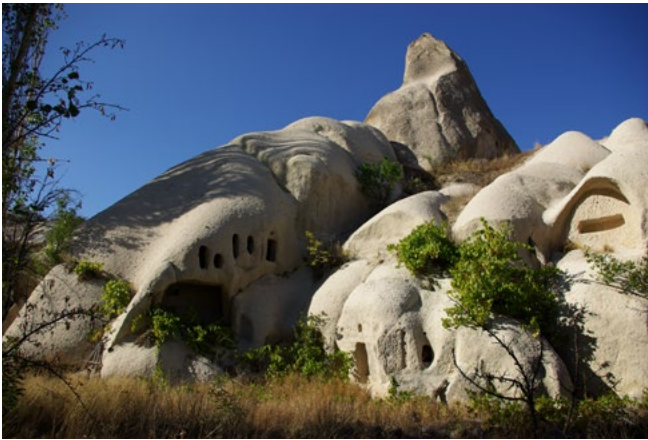
B) Opere Insediative Civili

B.1 insediamenti stabili abitativi = insediamenti abitativi a carattere continuativo per un certo periodo di tempo, abitazioni trogloditiche, casette agricole ipogee con focolare, camino, lettiera, ecc.

B.2 ricoveri temporanei/rifugi= insediamenti stagionali, luoghi di riunione saltuaria, ricoveri di banditi, cavità scavate nei parchi di ville antiche, luoghi di temporanea detenzione; i rifugi antiaerei vanno in D.7.



*In alto: cunicoli di transito ipogei, Lalibela (Etiopia);
Al centro: condotto idrico ipogeo, Lalibela (Etiopia);
In basso: invaso per la raccolta idrica, sul fondo è possibile notare l'imbocco di una cisterna sotterranea, Lalibela (Etiopia);*



*In alto: apiari scavati nella roccia ad Ortahisar (Turchia);
Al centro: colombari rupestri, Ortahisar (Turchia);
In basso: mangiatoie per animali scavate nei locali sotterranei
della città di Kaymakli;*

B.3 opifici = grotte dei cordari, oleifici, officine, luoghi di lavoro; se militari, vanno in D.1.

B.4 magazzini = depositi di attrezzi agricoli, cantine da vino, cantine generiche; se militari vanno in D.5.

B.5 silos sotterranei = cavità con accesso generalmente dall'alto, scavate nella roccia e chiuse da una pietra accuratamente squadrate, che garantiva la conservazione di derrate alimentari al riparo dai topi; sinonimo: fosse granarie.

B.6 stalle = ricoveri per animali di qualsiasi taglia, dai cavalli ai polli, esclusi i piccioni (B.7).

B.7 colombari = la maggior parte dei colombari extraurbani, con cellette piccole e fitte, avevano funzione di allevamento di piccioni o volatili analoghi, termine corretto "colombaie"; altri, con celle un po' più grandi e senza la finestrella per far entrare e uscire gli uccelli, sono invece cavità funerarie e vanno in C.2.

B.8 altri insediamenti = è difficile stabilire un elenco completo di tutti i tipi di insediamenti, se ve ne sono di inusuali o non interpretabili, andranno in questa voce; se si troverà un gran numero di insediamenti che ricadano nelle sette voci precedenti, se ne creerà una apposita.

C) Opere di Culto

C.1 luoghi di culto = ninfei, mitrei, eremi, chiese e cappelle rupestri, ecc.; se contengono anche numerose tombe, marcare C.2; viceversa se in una catacomba esistono chiare tracce di altari, marcare anche C.1. C.2 opere sepolcrali = tombe a camera, sistemi sepolcrali complessi come le catacombe, colombari funerari, necropoli, cioè insieme fitto di ambienti sepolcrali ipogei contigui.

D) Opere Militari

D.1 opere difensive varie = fortificazioni sotterranee che non hanno funzioni specificate sotto, e loro pertinenze.

D.2 gallerie e camminamenti = opere per il transito di armi e armati.

D.3 gallerie di mina e contro-mina = gallerie aventi la funzione specifica di far saltare i nemici.

D.4 postazioni di sparo = dai fucili alle mitragliatrici e ai cannoni e, forse, alle balestre.

D.5 depositi = magazzini militari sotterranei di munizioni, derrate o altro.

D.6 rifugi = rifugi da bombardamenti, dormitori, posti comando per militari.

D.7 rifugi per civili = luoghi sotterranei dove la popolazione civile si rifugiava durante invasioni, cannoneggiamenti, bombardamenti aerei.

E) Opere estrattive

E.1 cave di inerti = cave di sabbia, pozzolana, blocchetti di tufo, pietra da costruzione o ornamentale.

E.2 miniere metallifere = miniere di qualsiasi epoca di minerali di rame, ferro, stagno, piombo, oro, ecc.

E.3 miniere di altre sostanze = cave sotterranee di selce, allume, zolfo, carbone, sabbia per vetro.

E.4 sondaggi minerari = tracce di attività mineraria di qualsiasi epoca, non correlabili a specificiminerali.

E.5 coltivazioni sotterranee = in esse si estrae da sottoterra prodotti vegetali li coltivati, tipicamente funghi: secondo le tipologie UIS sono apparentate alle miniere perché da esse si tira fuori qualcosa che ha un valore.

F) Vie di transito

F.1 gallerie stradali = gallerie (larghe almeno un paio di metri) per il transito di carri, cavalli e anche uomini. Ce ne sono note diverse, di epoca etrusca e romana, ma ne esistono anche di rinascimentali e infine quelle delle carrozzabili abbandonate da decenni per tunnel più moderni. Ne esistono anche in correlazione, per es., alle cave di marmo.

F.2 cunicoli di transito = la funzione è la stessa della precedente ma le dimensioni tali da non consentire il transito di carri e grossi animali: cunicoli che collegavano castelli, conventi, cunicoli di fuga. Non opere chiaramente militari.

F.3 gallerie ferroviarie, tramviarie, di funiculari = anche se abbastanza recenti, tuttavia da tempo in abbandono. Potrebbero includere gallerie minerarie destinate esclusivamente al transito delle decauvilles e non ad estrazioni minerarie.

F.4 pozzi non idraulici e discenderie = capita di incontrare pozzi, chiaramente non destinati ad estrarre acqua ma creati per altri motivi che, a causa dell'intasamento del loro fondo, non sono accertabili con sicurezza ed isolati da eventuali sottostanti cavità (acquedotti, miniere, ecc.), perché solo in tal caso vengono catastati separatamente. Le discenderie sono pozzi obliqui.

G) Altre opere

G. Altre opere: non si può mai pretendere di aver classificato qualsiasi opera, quindi una voce "varie" è necessaria.

(E. DI LABIO , 2004; E. DI LABIO,2006 ; M. MENEGHINI, 2008 ; M. MENEGHINI, 2010)



In alto: locale dalla funzione incerta, ma probabilmente destinato ad attività legate al culto, data la presenza di una croce scolpita. (Ortahisar)

Al centro: cappella funeraria all'interno della chiesa di San Daniele (Göreme)

In basso: l'abside della chiesa rupestre di Panckarlic, nei pressi del villaggio Ortahisar

NOTE

1 Nel 1187 Gerusalemme fu conquistata da Saladino e da quel momento fu sotto la dominazione musulmana degli Ayyubidi dinastia curdoo-musulmana, e quindi dei Mamelucchi fino al 1516, quando venne conquistata da Selim I. Il dominio ottomano durò fino al 1917.

2 Generalmente gli ambienti di rappresentanza sono posti più vicini alla superficie e dotati di affacci sull'esterno, mentre gli ambienti di servizio sono ricavati più in profondità, così come quelli destinati a magazzino o stoccaggio di derrate alimentari, che necessitano di maggiore protezione.

3 Le due tipologie di strutture richiedono conoscenze particolari. Per lo scavo di un condotto idrico sono necessarie nozioni ingegneristiche, mentre può essere trascurata la finezza nello scavo. Per gli edifici di culto, oltre all'apparato decorativo, spesso vengono rispettati canoni stilistici, geometrici e dimensionali tipici delle architetture tradizionali. In alcuni casi è possibile riscontrare l'uso di determinati moduli dimensionali.

4 Il plio-pleistocene è un pseudo periodo geologico che partendo da circa 5 milioni di anni fa, combina il Pliocene ed il Pleistocene, concludendosi circa 12 milioni di anni fa.

5 Piccoli animali invertebrati acquatici che formano colonie simili al muschio.

6 Comunemente detti "ricci di mare".

7 Nell'isola d'Ischia i ciclopici massi di Tufo Verde crollati dalle creste tufacee del Monte Epomeo sono stati scavati al loro interno per realizzare vari tipi di strutture rupestri tra cui abitazioni distribuite anche su più piani (E. CAPPÀ, G. CAPPÀ, 1991; N. D'ARBITRIO, L. ZIVIELLO, 1991; R. MELE, S. DEL PRETE, 1998).

8 In molti casi le strutture rupestri sono state trasformate in vere e proprie discariche, dove si sono accumulati rifiuti di ogni genere, o usate in modo improprio, danneggiandole irrimediabilmente.

9 Situazione molto critica può ad esempio essere riscontrata nel caso della Maryem Ana Kilise, nei pressi di Goreme, dove profonde fratture stanno mettendo a rischio la stabilità dell'grande pinnacolo all'interno del quale è stata ricavata. Questa chiesa rappresenta un patrimonio culturale molto importante, usato anche come scenografia nel film 'Medea' di P.P.Pasolini (1969). A tal proposito è stato realizzato il video "The strength of the images: a rupestrian church in Göreme (Turkey) as a symbol of heritage at risk" (M. SCALZO, C. GIUSTINIANI, 2013) (<https://www.youtube.com/watch?v=IXQFndGHsw>)



CAPITOLO 2

RILIEVO DIGITALE E MODELLI TIPOLOGICI

2.1 IL RILIEVO DIGITALE

Il rilievo digitale e la creazione di modelli tridimensionali (3D) di oggetti e scene complesse hanno prodotto una rivoluzione, a partire dagli anni '80, nella gestione dei processi di rilevamento e di rappresentazione degli ambienti costruiti o scavati. La trasformazione ha coinvolto sia la fase di acquisizione delle misure sia quella di restituzione di un prodotto finito. La continua evoluzione delle metodologie e delle strumentazioni ha determinato l'aumento di tecniche di modellazione 3D e di conseguenza ne sono aumentate le possibili applicazioni. Sempre più si stanno sviluppando restituzioni virtuali con ambientazioni e visualizzazioni 3D prodotte per le più varie applicazioni, da quelle ludiche e di intrattenimento, alla documentazione, conservazione, restauro virtuale, simulazione, didattica, animazione, gestione territoriale, monitoraggio, ecc

Nel campo architettonico e archeologico, la rappresentazione tridimensionale di un oggetto, apre nuove prospettive, consentendone una rappresentazione completa dal punto di vista geometrico, dimensionale e cromatico, consentendone quindi una lettura complessiva e fornendo diversi percorsi di comprensione del bene.

Fondamentale è anche la capacità divulgativa dei prodotti tridimensionali, che hanno ormai raggiunto un'elevata interattività diretta tra utente e modello. Questo consente un'ampia diffusione del prodotto finito di una ricerca o di uno studio, mirati anche a livelli culturali differenziati, con la possibilità di produrre sia elaborati dal contenuto tecnico sia di carattere descrittivo.

Bisogna però ricordare che spesso la sola visualizzazione tridimensionale, benché altamente accurata, flessibile e fruibile non è sufficiente per una lettura profonda di un manufatto ed è quindi necessario affiancarne una lettura di elaborati bidimensionali tradizionali, eseguiti secondo le regole della geometria mongiana.

Strumenti e tecniche di rilievo sono normalmente classificate in base al loro principio di funzionamento e se comportano o meno un contatto fisico tra l'oggetto da misurare e lo strumento di misura.

Le tecniche di rilievo senza contatto sono ovviamente le più ricercate, soprattutto nel settore dei beni culturali sia che si tratti di reperti di piccole dimensioni sia che si tratti di articolati complessi di grandi dimensioni.

Poiché restituiscono la realtà come si presenta al momento del rilievo, queste tecniche sono anche dette *reality-based* e si possono classificare in:

1) Tecniche basate su sensori passivi (metodi *image-based*) (Remondino & El-Hakim, 2006): esse sfruttano la luce presente nell'ambiente per acquisire immagini da elaborare successivamente per derivarne informazioni 3D della scena osservata. Tra queste tecniche, la fotogrammetria (Mikhail et al., 2001; Luhmann et al., 2006) è quella più conosciuta ed utilizzata per rilievi cartografici, architettonici, industriali e archeologici, con la precisione e affidabilità dei risultati come obiettivo primario della restituzione 3D. Attualmente il principale vantaggio dei sistemi passivi e delle relative tecniche di elaborazione d'immagini risiede nel costo e nella trasportabilità dei sensori. Questi fattori hanno portato ad una larga diffusione di queste tecniche e all'applicazione in numerosi ambiti.

Le immagini possono essere acquisite da sensori montati su satelliti, aerei, droni o con camere digitali terrestri sia compatte che reflex. Una grande esperienza è comunque richiesta nell'acquisire, processare le immagini ed estrarne elaborati per una descrizione completa dell'oggetto rilevato

2) Tecniche basate su sensori attivi (metodi *range-based*) (Vosselman & Maas, 2010): esse impiegano strumenti che emettono un segnale elettromagnetico (nel campo del visibile, infrarosso, raggi X, ecc.) che viene poi registrato dallo strumento al fine di derivarne una misura di distanza (*range*). Strumenti *range-based* sono i laser scanner (terrestri o aerei), le stazioni totali, i GNSS, i radar, ecc. Nel campo architettonico e dei beni culturali, i laser scanner (a triangolazioni o tempo di volo) e i sistemi a luce strutturata hanno riscontrato un grande successo e hanno notevolmente aumentato la facilità con la quale possono essere acquisiti i dati formali relativi a semplici oggetti o

ad ampie strutture. I sensori attivi sono in grado di fornire direttamente e in poco tempo grandi quantità di dati 3D, restituendoli sotto forma di nuvola di punti non strutturata e densa.

2.1.1 La fotogrammetria

Metodo di rilevamento planimetrico e altimetrico mediante il quale, dato un conveniente numero di fotografie di un oggetto, prese da punti diversi, è possibile ricostruire l'oggetto o determinate sue proiezioni.

Partendo da punti omologhi individuati nelle immagini, le tecniche fotogrammetriche consentono di determinare informazioni metriche sulle dimensioni, forma e posizione di un oggetto o scena. La fotogrammetria pertanto stabilisce una relazione geometrica fra le immagini e la scena reale al momento della ripresa fotografica. Una volta ricostruita questa relazione mediante l'utilizzo del modello matematico della collinearità, è possibile ottenere informazioni metriche e 3D sull'oggetto attraverso l'impiego di almeno due immagini. In fotogrammetria, analogamente a quanto avviene nella visione umana, se un oggetto viene ripreso con almeno due immagini scattate da punti di vista differenti, le diverse posizioni dell'oggetto nelle immagini consentono di ottenere viste stereoscopiche e derivare informazioni 3D dalle aree di sovrapposizione nelle immagini.

La fotogrammetria è utilizzata in molti campi, dal tradizionale impiego catastale e industriale ai video giochi, alle produzioni cinematografiche, alla documentazione del patrimonio culturale sino al campo medico. I recenti sviluppi informatici di questa tecnologia ne hanno aumentato le prestazioni e automatizzato molte procedure di restituzione, riportandola come tecnica fondamentale anche per il rilievo archeologico e architettonico.

Paragonata ad altre tecniche image-based (computer vision, shape from shading, shape from texture, ecc.), la fotogrammetria non mira ad una completa automazione delle procedure di restituzione, ma ha come obiettivo primario l'acquisizione di informazioni metriche, accurate (precise e affidabili) e dettagliate dal punto di vista geometrico. I recenti sviluppi nel campo della correlazione automatica d'immagini (image matching) hanno mostrato come sia possibile restituire in 3D, con precisioni molto elevate, anche forme geometriche complesse e dettagliate

partendo da dati di immagini. Queste vengono preferite in quanto in grado di estrarre automaticamente un grande numero di corrispondenze (e quindi punti in 3D) necessarie a restituire la scena con tutti i suoi dettagli geometrici. alle diverse scale, paragonabili a quelle ottenute con sensori ottici attivi (Remondino et al., 2008; Vu et al., 2009; Pierrot-Deseilligny et al., 2011).

L'utilizzo del metodo fotogrammetrico permette di ricavare modelli che contengono non solo una descrizione qualitativa dell'oggetto, ma che consentono anche di ottenere, con una notevole affidabilità metrica, le proporzioni e le dimensioni in relazione al contesto.

Come per i laser scanner, anche la fotogrammetria viene utilizzata con ottimi risultati su oggetti più o meno complessi, a piccola o larga scala, garantendo la definizione della componente materica, ma anche di ottenere prodotti altamente affidabili con facilità e a bassissimo costo, non ottenibile con nessun altro strumento ad oggi esistente sul mercato.

Le fasi che consentono di passare da immagini bidimensionali di fotografiche a modelli tridimensionali sono tre:

La fase di acquisizione, ovvero le operazioni riguardanti la presa delle immagini fotografiche, effettuate con opportune camere o macchine fotografiche e opportune tecniche di ripresa.

L'orientamento, in cui vengono eseguite le operazioni per posizionare i centri di ripresa e i raggi proiettanti di ciascun fotogramma nella stessa posizione nello spazio che avevano al momento dello scatto.

La restituzione che consente di effettuare misure sul modello dell'oggetto per ricostruire nella fotogrammetria bidimensionale un'immagine ortorettificata e in quella tridimensionale un insieme di coordinate nello spazio descriventi un modello 3D.

In realtà il passaggio dall'analogico al digitale ha portato tutta la fase di orientamento e restituzione a sistemi che utilizzano sempre meno operazioni manuali di orientamento delle camere a sistemi che, tramite software specifici che sfruttano la geometria proiettiva, rendono quasi totalmente automatizzata la fase di elaborazione fotogrammetrica e, pertanto, più semplice la fase di gestione dei dati acquisiti, incrementando notevolmente l'utilizzo di tali strumentazioni. Poiché non si tratta di

utilizzare la fotogrammetria solamente per riprodurre in tre dimensioni l'oggetto rilevato, ma di estrarre dalla fotografia le informazioni e di trasformarle in un linguaggio grafico codificato.

2.1.1.1 L'acquisizione fotografica

Tutte le fasi del processo di quella che viene chiamata *structure from motion*, dipendono dalla prima operazione del progetto di acquisizione ovvero dalla strategia di ripresa e dalla qualità stessa della fotografia derivante anche dalla scelta dello strumento in relazione all'oggetto da rilevare.

La macchina fotografica, sia che si utilizzi uno strumento analogico sia che se ne utilizzi uno digitale, il risultato ottenuto dall'acquisizione sarà direttamente influenzato dalle condizioni di luce in cui si trova l'oggetto.

Durante la fase di acquisizione sarà quindi necessario impostare i settaggi dello strumento fotografico in base a quanto è illuminato l'oggetto da rilevare e alla distanza alla quale vengono effettuate le riprese fotografiche. Le fotografie devono cercare di garantire la stessa condizione di illuminazione omogenea nella sequenza di scatti, cercando di eliminare eventuali ombre o regolando l'esposizione a seconda della posizione assunta nei vari punti della sequenza. Questo consentirà di facilitare il software di fotogrammetria nell'operazione di calibrazione delle camere e riconoscimento dei punti geometrici dello spazio.

Da questi fattori dipenderà la nitidezza o meno dell'immagine ottenuta, ovvero il grado di definizione, fattore che condiziona tutte le fasi successive di orientamento delle camere e restituzione del modello geometrico.

2.1.1.2 L'orientamento delle camere

Dalla fase di calibrazione e orientamento delle camere dipendono l'affidabilità metrica e geometrica del modello generato. In molti software la calibrazione avviene manualmente, sia per la macchina fotografica cercando di eliminare le eventuali deformazioni derivanti dall'obiettivo utilizzato, sia durante il processo di riconoscimento dei punti omologhi tra coppie di fotografie e la successiva individuazione spaziale. Sebbene la conoscenza del funzionamento della macchina e dei principi che regolano le deformazioni siano di fondamentale importanza per

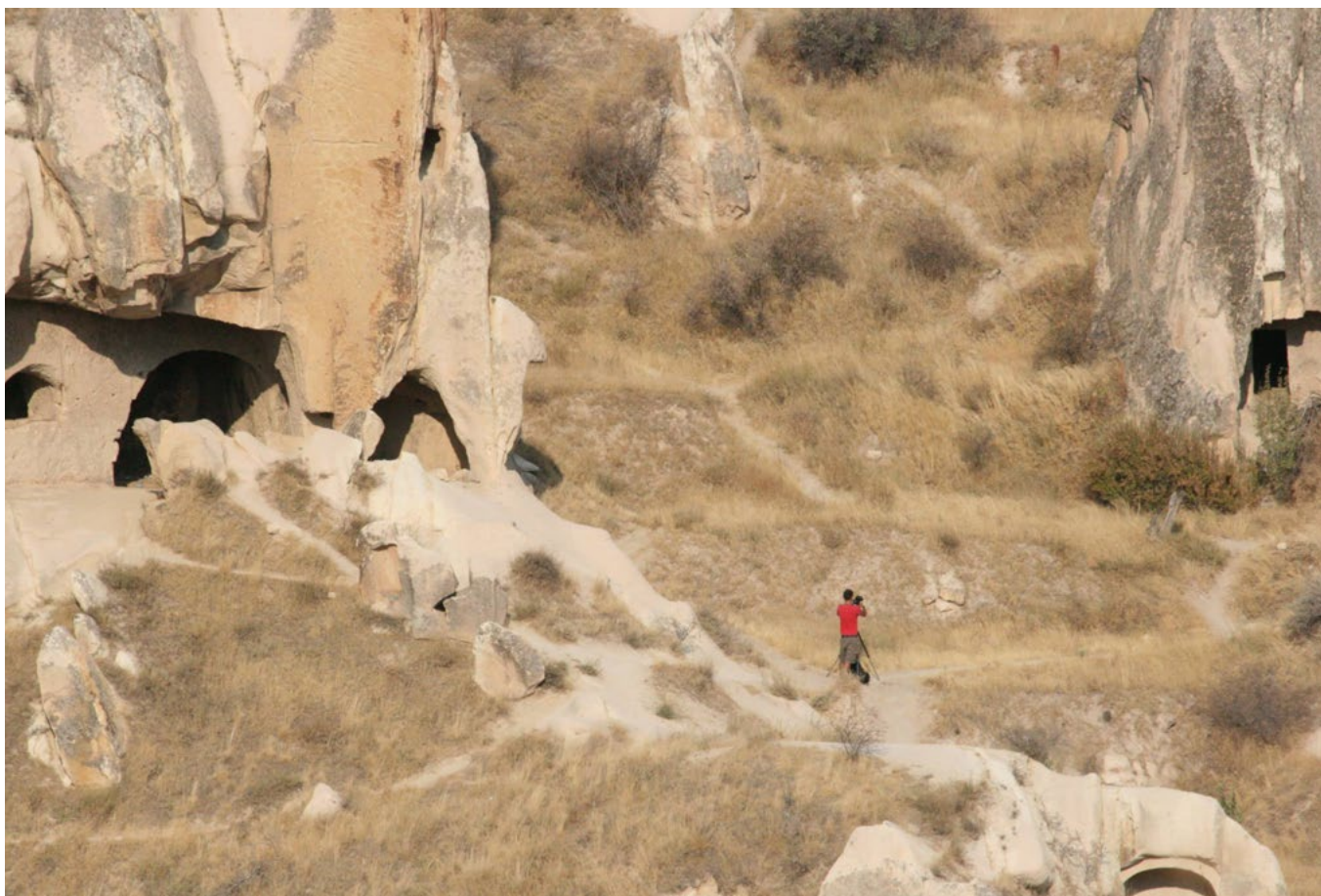


Campagna fotografica in una delle chiese rupestri di Göreme (foto di Marcello Scalzo)

l'operatore al fine di una più consapevole ripresa e post-processamento dati della campagna fotografica eseguita, i recenti sviluppi della computer grafica nell'ambito dell'automatizzazione di questi processi attraverso l'utilizzo di specifici software di fotogrammetria ha portato a ridurre i tempi di ciascuna fase del processo fotografico, incrementando le potenzialità in ambito del rilevamento di questo strumento.

2.1.1.3 La restituzione

Grazie allo sviluppo di software di fotogrammetria la relazione tra immagine reale e immagine fotografica sembra cercare un rinnovato confronto: lo spazio della rappresentazione diviene, virtualmente, tridimensionale, e la fotografia si modella in tale spazio qualificando ogni superficie per renderla il più simile possibile alla realtà



Svolgimento di una campagna fotografica nei territori limitrofi all'Open Air Museum di Göreme (foto di Berna Aydın)

percepita.

Da una semplice campagna fotografica è infatti possibile elaborare delle rappresentazioni tridimensionali altamente verosimili, nelle quali le texture generate costituiscono un archivio digitale fondamentale per la descrizione della condizione in cui si trovano gli edifici al momento della ripresa.

La quantità di informazioni che è possibile registrare in fase di campagna fotografica di acquisizione è enorme. Sarà la finalità del rilievo a determinare il grado di accuratezza, il risultato dipenderà dalla quantità e dalla qualità delle fotografie scattate, quindi le caratteristiche proprie della macchina fotografica, e da fattori esterni, quali il problema del colore, della luce e della geometria.

2.1.2 Laser scanner

Possiamo definire uno scanner 3D come uno strumento

in grado di registrare coordinate tridimensionali di una porzione o dell'intera superficie di un oggetto, in modo automatico, con elevata densità ed alta velocità.

Il principio di funzionamento di questi strumenti a sensori attivi, si basa sulla proiezione di un raggio, di un fascio di luce o di un pattern sull'oggetto e l'analisi del segnale di ritorno. Generalmente gli strumenti si differenziano per il metodo usato per il calcolo della distanza. In alcuni modelli la distanza tra oggetto e trasmettitore è calcolata basandosi sul tempo di volo, TOF, cioè il tempo che impiega il segnale emesso a ritornare allo strumento. In altri la distanza è calcolata analizzando e comparando la fase del segnale emesso rispetto a quello di ritorno. Altre tipologie si basano sulla triangolazione del segnale.

2.1.2.1 Sistemi a tempo di volo (T.o.F., Time of Flight)

Questo principio di funzionamento è quello maggiormente

usato. Un impulso laser viene emesso dallo strumento verso l'oggetto da misurare e la distanza tra trasmettitore e superficie riflettente è calcolata in base al tempo impiegato dal segnale tra l'emissione e la ricezione. Conoscendo la velocità della luce e moltiplicandola per la metà del tempo di volo trascorso tra emissione e ricezione si ottiene la distanza dall'oggetto.

Questo principio è ormai noto, essendo lo stesso principio usato nelle stazioni totali topografiche ad impulsi. La differenza sostanziale è che nel caso della stazione totale il punto misurato è collimato, e quindi scelto dall'operatore, mentre lo scanner campiona lo spazio in modo denso ma acritico. Inoltre se nel primo caso il calcolo della distanza viene effettuando misurazioni ripetute, in modo da ottenere accuratissime ed eliminare errori grossolani, gli scanner usano algoritmi semplificati per l'elaborazione del segnale di ritorno, questo determina una minore accuratezza degli scanner rispetto ai distanziometri topografici. (M.Sgrenzaroli e G.P.M Vassena, Tecniche di rilevamento tridimensionale tramite laser scanner, Brescia, Starrylink, 2007)

La misura della distanza, basata sul principio del tempo di volo, consente di effettuare misure fino a centinaia di metri, con precisioni al di sotto del centimetro. Possono essere acquisiti punti distanti fino ad un chilometro (Optech, Riegl), mantenendo la precisione nell'ordine del centimetro.

Il problema fondamentale dei sistemi di misura basati sul tempo di volo consiste nel determinare esattamente il momento di arrivo del segnale riflesso; la precisione nella misura della distanza è quindi influenzata dalla qualità dello strumento impiegato per la determinazione del tempo trascorso e dal processamento del segnale: i principali parametri che entrano in gioco nel definire il rapporto tra precisione ed intensità sono la distanza, l'angolo di incidenza, le caratteristiche della superficie.

2.1.2.2 Sistemi a differenza di fase (Phase shift)

In questa tipologia di strumenti la distanza è calcolata confrontando la fase dell'onda emessa con quella ricevuta dopo la riflessione sulla superficie dell'oggetto. Questa classe di strumenti ha generalmente una portata più limitata di quelli a tempo di volo ma una velocità di scansione anche nettamente superiore. Per questo motivo alcuni scanner a differenza di fase sono utilizzati in applicazioni dinamiche



Fasi di rilievo di uno dei cunicoli della casa di Mimar Sinan ad Ağırnas eseguito con scanner Z+F (foto di Francesco Tio)



Il rilievo di un insediamento rupestre a Göreme (foto di C. Crescenzi)



Fasi preparatorie per il rilievo di una piccola chiesa a Göreme (foto di Francesco Tioli)



Fasi di rilievo di una piccola chiesa a Göreme eseguito con scanner Faro Focus3D (sistema a differenza di fase)

(su piattaforme in movimento: treni, auto, ecc.).

2.1.2.3 scelta della strumentazione

Gli scanner distanziometrici operano in modo analogo a quello di una stazione totale: entrambi determinano la posizione di un punto nello spazio tramite le sue coordinate polari (un angolo sul piano orizzontale, uno sul piano verticale e una distanza nello spazio), successivamente trasformate in coordinate cartesiane.

Sono però in uso molte tipologie di laser scanner con caratteristiche differenti, che implicano differenze nell'accuratezza della misura, nel range di misura e nella risoluzione della nuvola di punti.

La scelta dello strumento deve essere effettuata considerando molteplici fattori, in base alle esigenze specifiche di utilizzo ed al livello di restituzione richiesto.

Tra le principali caratteristiche possiamo ricordare:

- accuratezza
- velocità di acquisizione
- range di misurazione
- caratteristiche delle superfici da misurare
- dotazione di camere digitali interne od esterne
- facilità di trasporto
- costo

L'accuratezza

accuratezza è un aspetto fondamentale da considerare nell'utilizzo di uno scanner laser essendo un fattore determinante nel caso di rilievi architettonici dove è necessario misurare anche piccoli dettagli. La qualità globale di una nuvola di punti deriva dalle accuratezze nella misura delle caratteristiche fisico-geometriche dell'oggetto, e possono essere influenzate dalle caratteristiche intrinseche dell'oggetto o da fattori ambientali.

Le caratteristiche che concorrono al raggiungimento delle accuratezze fioli sono:

Accuratezza angolare

E' legata alle caratteristiche costruttive dei vari strumenti ed, in particolare, alle oscillazioni o rotazioni di specchi o prismi deflettori, usati per direzionare l'impulso laser.

Nella determinazione delle coordinate cartesiane dei punti misurati vengono impiegati gli angoli di rotazione orizzontale e verticale. Ogni incertezza nella loro definizione comporta quindi un errore corrispondente

ad uno spostamento del punto della superficie in una posizione non corrispondente a quella reale accuratezza nella misura della distanza

Come avviene nelle stazioni totali, la precisione del sistema di misura della distanza è caratterizzata da una componente fissa e da una variabile, direttamente proporzionale alla distanza stessa. In genere, gli strumenti a differenza di fase raggiungono portate inferiori a quelli a tempo di volo e con precisioni leggermente inferiori. Ma possono essere ritenuti più vantaggiosi se si considerano altre caratteristiche, come per esempio la velocità di scansione.

Risoluzione e "spot size"

Il termine indica la capacità di uno scanner di descrivere dettagli geometrici di dimensioni minime. Ovvero sia lo spazio che intercorre tra punti misurati, con la "risoluzione" di una scansione si esprime infatti la densità della nuvola di punti. La distanza tra punti successivi è selezionabile dall'operatore ed è espressa con un valore angolare oppure con una distanza lineare riferita ad una superficie sferica concentrica allo strumento.

Bisogna poi ricordare che il segnale emesso da uno scanner non è perfettamente coerente ed arriva sulla superficie da rilevare con un'area finita. Lo "spot size" ha dimensione dell'ordine del mezzo centimetro a distanze di 10/20 m. Poiché il segnale emesso tende a divergere, la sua dimensione aumenta al crescere della distanza. Quanto più la dimensione dello spot size è contenuta, tanto meglio lo strumento impiegato è in grado di descrivere i dettagli minuti.

Possibilità di integrare fotocamere digitali

L'acquisizione della componente cromatica di una superficie, spesso è fondamentale per un rilievo completo di un oggetto architettonico, basti pensare al rilievo di ambienti affrescati o decorati. L'acquisizione delle prese fotografiche, necessarie anche per la realizzazione di un modello tridimensionale mappato con texture, può avvenire in tre differenti modi.

La fotocamera può infatti essere interna allo scanner, esterna ma integrata col sistema laser scanner, oppure può essere una fotocamera esterna usata dall'operatore.

Nel caso la fotocamera sia interna allo scanner l'immagine digitale viene acquisita contemporaneamente



*Fasi di rilievo del paesaggio della valle di Göreme eseguito con scanner Riegl (sistema a tempo di volo con fotocamera esterna)
(foto di Francesco Tioli)*

alla scansione, ma in questi casi l'immagine presenta una qualità piuttosto bassa a causa della limitatezza dell'apparecchiatura fotografica.

Un'ottima soluzione è quella adottata da alcuni produttori, che consiste nel montare una fotocamera alla testa dello scanner. Conoscendo i parametri interni della fotocamera, la posizione, la distanza focale, i software di interfaccia dello strumento sono in grado di gestirle e riproiettarle sulla nuvola di punti.



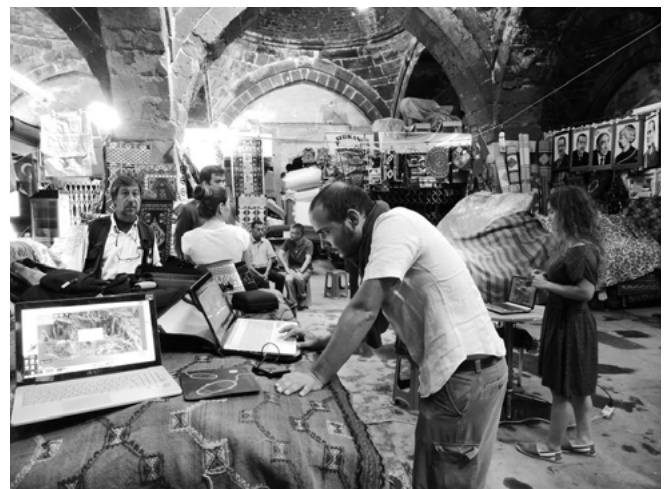
Il rilievo del paesaggio della valle di Göreme eseguito con scanner Riegl (foto di Francesco Tioli)



Gli strumenti usati per il rilievo. da in alto a sinistra: laser scanner Riegl VZ-400; laser scanner Z+F 5006h ; fotocamera digitale Canon D 7000; laser scanner FARO Focus 3D.



Il rilievo del paesaggio della valle di Göreme eseguito con scanner Riegl (foto di Francesco Tioli)



Fase di elaborazione dati all'interno dell'antico bazar di Kayseri. (foto di M. Scalzo)

2.2 MODELLI TIPOLOGICI

Per poter classificare un complesso, o un ambiente scavato nella roccia è necessario un suo studio approfondito. È necessario individuare le caratteristiche distintive degli spazi scavati osservandoli a diverse scale, considerando da prima ogni ambiente come parte di un sistema più esteso per poi giungere all'analisi dei dettagli architettonici.

Per poter individuare la tipologia di insediamento urbano scavato nella roccia è indispensabile comprendere il paesaggio che li avvolge, le caratteristiche della roccia e la morfologia del terreno.

Un secondo livello di analisi coinvolge la comprensione delle strutture distributive dei complessi, e i sistemi di aggregazione degli spazi che li compongono.

Componente fondamentale, per la classificazione degli ambienti sotterranei, è lo studio dei materiali e delle tecniche usate per la realizzazione degli scavi e di eventuali interventi successivi.

La comprensione degli ambienti scavati coinvolge quindi molteplici livelli di analisi.

Le caratteristiche fondamentali di un complesso, possono essere certamente colte con una visita diretta delle architetture da studiare, ma spesso la complessità e la natura labirintica delle strutture, la mancanza di riferimenti con l'esterno e le eventuali trasformazioni avvenute nel tempo, non ne consentono una facile lettura. Il rilievo digitale degli ambienti scavati, se eseguito con le strumentazioni adatte ed individuando le criticità che ne potrebbero compromettere un rappresentazione adeguata, offre la possibilità di analizzare approfonditamente le architetture. Un modello tridimensionale consente la visualizzazione globale di interi complessi molto articolati, e contiene informazioni su ogni piccolo dettaglio architettonico che caratterizza uno spazio. Il supporto del rilievo digitale è diventato dunque fondamentale per lo studio delle architetture scavate.

A dimostrazione di come il rilievo e la rappresentazione, possano fornire importanti indicazioni su insediamenti ed edifici scolpiti nella roccia, sono state scelte, come oggetto di studio, delle strutture capaci di esemplificare differenti tipologie di architettura scavata. Gli oggetti sono stati in oltre misurati e restituiti utilizzando differenti tecniche di rilievo e rappresentazione, in modo da poter individuare le criticità e le problematiche che possono sorgere sia durante le fasi di acquisizione dei dati, che durante la loro

restituzione.

La selezione degli insediamenti studiati è stata poi condizionata, dalla localizzazione geografica. Le architetture scelte si trovano infatti dislocate su tre differenti continenti, in modo da evidenziare come la pratica del vivere e svolgere attività in grotta sia largamente diffusa non solo nell'area mediterranea, ma in zone distanti tra loro, sia fisicamente che culturalmente.

Considerando questi fattori sono stati scelti:

- la chiesa di Beta Giyorgis a Lalibela, in Etiopia, come esempio di architettura ipogea, rilevato con tecniche fotogrammetriche¹;
- l' insediamento di Santa Marina a Massafra, in Italia, come esempio di architettura rupestre, rilevato con laser scanner, sia a scala architettonica che paesaggistica²;
- il complesso delle chiese di Sakli e Ali Torun a Ortahisar, in Turchia, come esempio di cavità costruita, rilevata con tecnologia laser scanner³.

2.2.1 Caratteri generali dell'architettura ipogea

Una delle tipologie individuate seguendo la classificazione degli ambienti scavati nella roccia è la tipologia ipogea. Le architetture ipogee sono quelle scavate in senso verticale nel terreno, generalmente realizzate negli affioramenti tufacei che formano altopiani o caratterizzano aree fortemente pianeggianti, che non presentano falesie o rilievi. La tecnica di scavo in verticale risulta però essere molto complessa, infatti è necessario, per lo smaltimento dei materiali di risulta, adottare operazioni di trasporto in quota.

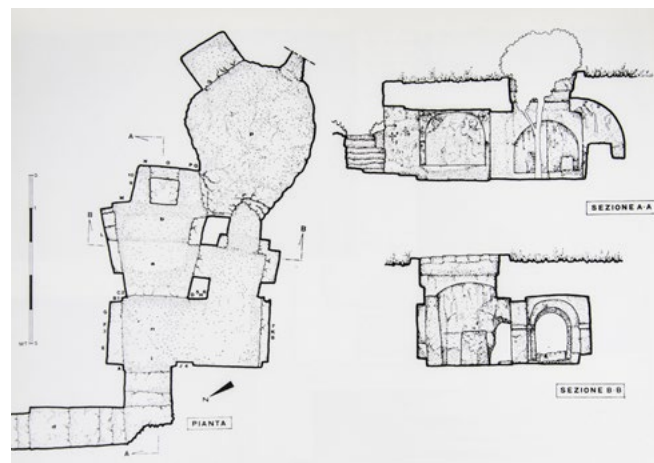
Questa particolare tecnica costruttiva è riferibile principalmente alle tipologie di architettura scavata cosiddetta a patio, ma sono assimilabili alle architetture ipogee, anche particolari tipologie di sepolture, come ad esempio le tombe ipogee etrusche, le catacombe romane, ed estendendo il concetto ad interi insediamenti, alle città sotterranee.

La matrice organizzativa e funzionale, per quanto riguarda le architetture a patio, è costituita da uno o più patii a cielo aperto, intorno ai quali si dispongono gli ambienti ipogei. In questo modo tutti i livelli sotterranei hanno almeno un punto di affaccio verso l'esterno, assicurando un buon livello di aerazione ed illuminazione naturale. La presenza del patio, influenza molto le scelte distributive degli ambienti, nonostante la loro disposizione ai vari livelli risulta abbastanza libera.

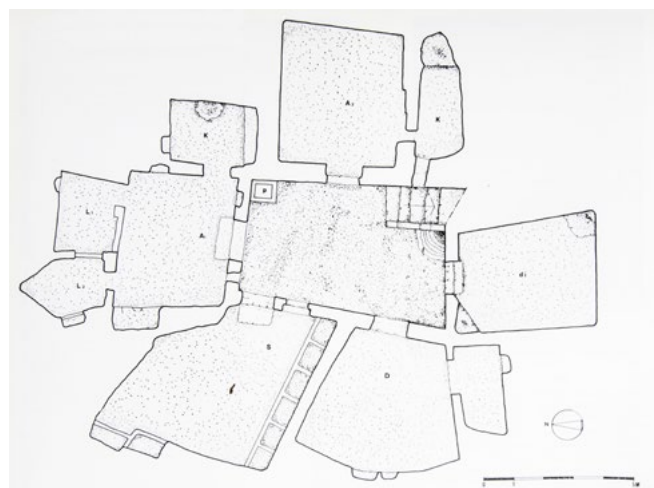
L'affaccio sulla corte determina una gerarchizzazione degli ambienti, quindi troveremo gli ambienti di rappresentanza, resi più vivibili dalla relazione diretta con il patio, mentre gli ambienti di servizio posti più in profondità. Il patio costituisce spesso anche il punto di accesso agli ambienti scavati ed (salvo casi in cui si ricavano accessi laterali con strutture lineari, ne è un esempio il complesso di Gümüşler in Turchia) il collegamento verticale tra i vari locali posti ai vari livelli, anche se sono frequenti connessioni verticali anche all'interno degli ambienti stessi.

La profondità dello scavo, e quindi di conseguenza il numero dei livelli sovrapposti, è determinato dalla possibilità di raggiungimento della luce naturale dei piani più bassi, in relazione all'ampiezza della corte a cielo aperto, considerando un patio dai lati di una decina di metri, il numero dei piani interrati non supera i tre (M. PASQUINI, 2011).

Questa tipologia di struttura scavata si è largamente diffusa quindi sia per ragioni climatiche che difensive, e in alcuni casi le corti centrali sono state coperte da nuove strutture costruite in superficie, inglobando e nascondendo le architetture ipogee. Uno dei luoghi dove questo modo di costruire è stato largamente sfruttato, è l'Italia meridionale, dove sono meglio note come "vicinanze"⁴.



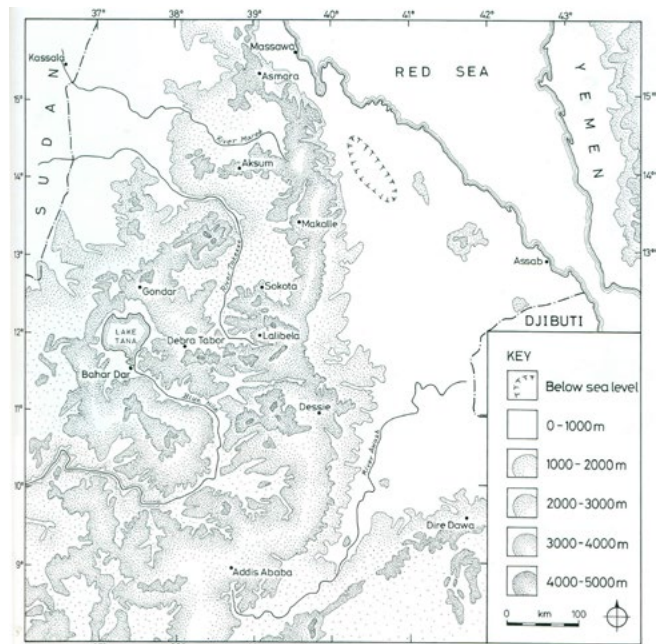
Rilievo della chiesa ipogea detta "Pozzo Carucci", a Massafra. (disegno estratto da R.CAPRARA et al, 1983)



Rilievo del complesso ipogeo di via Castiglia nel centro storico di Massafra (disegno estratto da R.CAPRARA et al, 1983)

2.2.1.1 L'architettura scavata in Etiopia

Come si è accennato precedentemente, anche in Etiopia e alcune aree dell'attuale Eritrea, la pratica del costruire in negativo, dello scavare nella roccia per ricavare ambienti confortevoli, è largamente diffusa. La maggior parte delle numerosissime chiese antiche situate in questi stati africani non sono costruzioni convenzionali; infatti per gli edifici di culto è stato privilegiato la costruzione in cavità naturali, come nel caso della chiesa Imrahanna Kristos, oppure completamente scavate nella roccia, sia ipogee che rupestri. Occorre comunque considerare che l'uso di queste tecniche non è stato limitato alle sole chiese, in questo territorio sono presenti complessi residenziali e monastiche oltre alle strutture funerarie. Queste costruzioni sono localizzate quasi esclusivamente sugli altopiani a cavallo tra i due stati africani, dal nord di Asmara⁵ fino alla regione di Goba⁶, circa 1200 km più a sud. Ovviamente la presenza delle chiese scavate nella roccia, edifici con valenza architettonica, dipende dai fattori di natura culturale e geologica, ovvero dalla coesistenza delle competenze tecnologiche degli uomini e della particolare lavorabilità e consistenza della roccia. Durante il periodo Aksumita⁷ si è cominciato a sfruttare le ideali caratteristiche del suolo per la creazione delle elaborate strutture ipogee; infatti è nelle architetture di questo periodo che si riscontrano analogie tra le costruzioni in elevazione con quelle scavate, dettagli architettonici e decorativi vengono copiati e riproposti dagli edifici costruiti nelle architetture ipogee. La maggiore concentrazione di strutture scavate si trovano nella parte orientale della

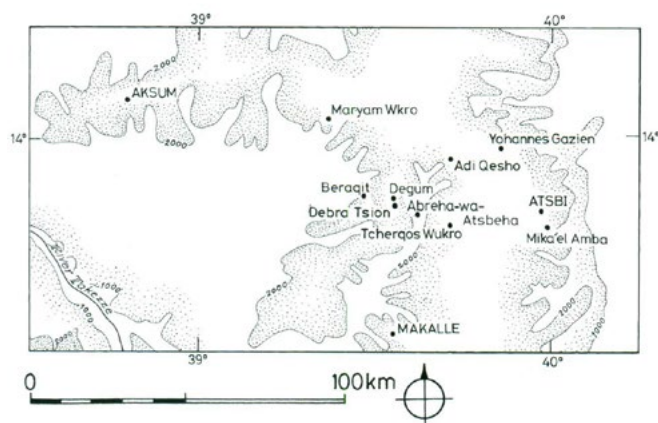


Sopra: mappa delle aree tra Eritrea ed Etiopia. In questi territori è concentrata la maggioranza dei siti rupestri. Con le diverse campiture sono indicate le fasce altimetriche che caratterizzano il territorio, dalla Depressione della Dancalia, sotto il livello del mare, ai numerosi altopiani posti al di sopra dei 3000 m. (estratta da PHILLIPSON D.W., 2009)

Sotto: vista panoramica degli altopiani nell'area di Wukro (Etiopia)

Pagina a lato: mappa della regione del Tigray con evidenziati alcune delle numerose chiese ipogee presenti in questi territori. Le quote altimetriche sono espresse in metri. (estratta da PHILLIPSON D.W., 2009)





regione del Tigray⁸ e in una zona della regione di Amhara⁹. È tuttavia nella regione del Tigray che si trova la maggiore concentrazione di chiese, ne sono state individuate più di 120 (TEWOLDEMEDHIN, 1969). È evidente che questa regione ha giocato un ruolo chiave nello sviluppo delle architetture scavate in tempi storici; l'uso degli insediamenti in roccia si è protratto fino a tempi recenti, sia modificando edifici già esistenti, sia scavandone di nuove. La loro grande diffusione dipende prevalentemente dalla natura della roccia che in queste aree presenta delle ottime qualità di resistenza meccanica e lavorabilità, una roccia arenaria dura e densa. In questa area, per le caratteristiche riscontrate nella lettura dello sviluppo cronologico, si trovano le più antiche costruzioni ricavate negli speroni rocciosi della piana di Hawzien, in prossimità della cittadina di Wukro¹⁰. Gli edifici del periodo successivo si caratterizzano per la particolare forma a croce iscritta,

spesso associata alle architetture funerarie e ai reliquiari, realizzate tra la piana di Hawzien e la scarpata di Afar, più a sud dei primi insediamenti. Le costruzioni più recenti hanno forme più varie, sono spesso adornate da pitture murarie all'interno e ricavate in luoghi ben nascosti e virtualmente inaccessibili, come si confà ai complessi monastici (D.W. PHILLIPSON, 2009). A sud della regione del Tigray, gli altipiani etiopi si estendono nella antica regione del Lasta, ora denominata Amhara. Anche in questa zona sono presenti numerosi esempi di chiese ipogee, ma si differenziano da quelle della regione più a nord, sia per tipologie che per la natura della roccia, che in quest'area è caratterizzata da tufo vulcanico. Le chiese di questa regione sono le più conosciute, questo per la concentrazione di chiese presenti a Lalibela, nonostante molti altri esempi di chiese ipogee siano presenti nelle zone limitrofe.

2.2.1.2 Il complesso ipogeo di Lalibela

Lalibela è sempre stato, per i fedeli della Chiesa Ortodossa Etiope¹¹, un centro di pellegrinaggio soprattutto in concomitanza delle grandi festività. Questa cittadina, di circa 15.000 abitanti, è situata nell'antico distretto del Lasta, nella provincia di Wollo, ora rinominata regione di Amhara e posizionata su l'altipiano di Asheten, a circa 2.500 metri sul livello del mare.

Lalibela è nota soprattutto per le chiese ipogee presenti sul suo territorio, che rappresentano il miglior esempio della



Geroglifico nella tomba di Ramses VI (Nuovo Regno) a Tebe, Valle dei Re, comparato all'ideogramma cinese del calligrafo Yi Bing Shou, 1754-1815.



La chiesa di Beta Giyorgis (Lalibela). nei giorni delle festività religiose numerosi pellegrini fanno visita alle strutture ipogee

tradizionale architettura ipogea in Etiopia.

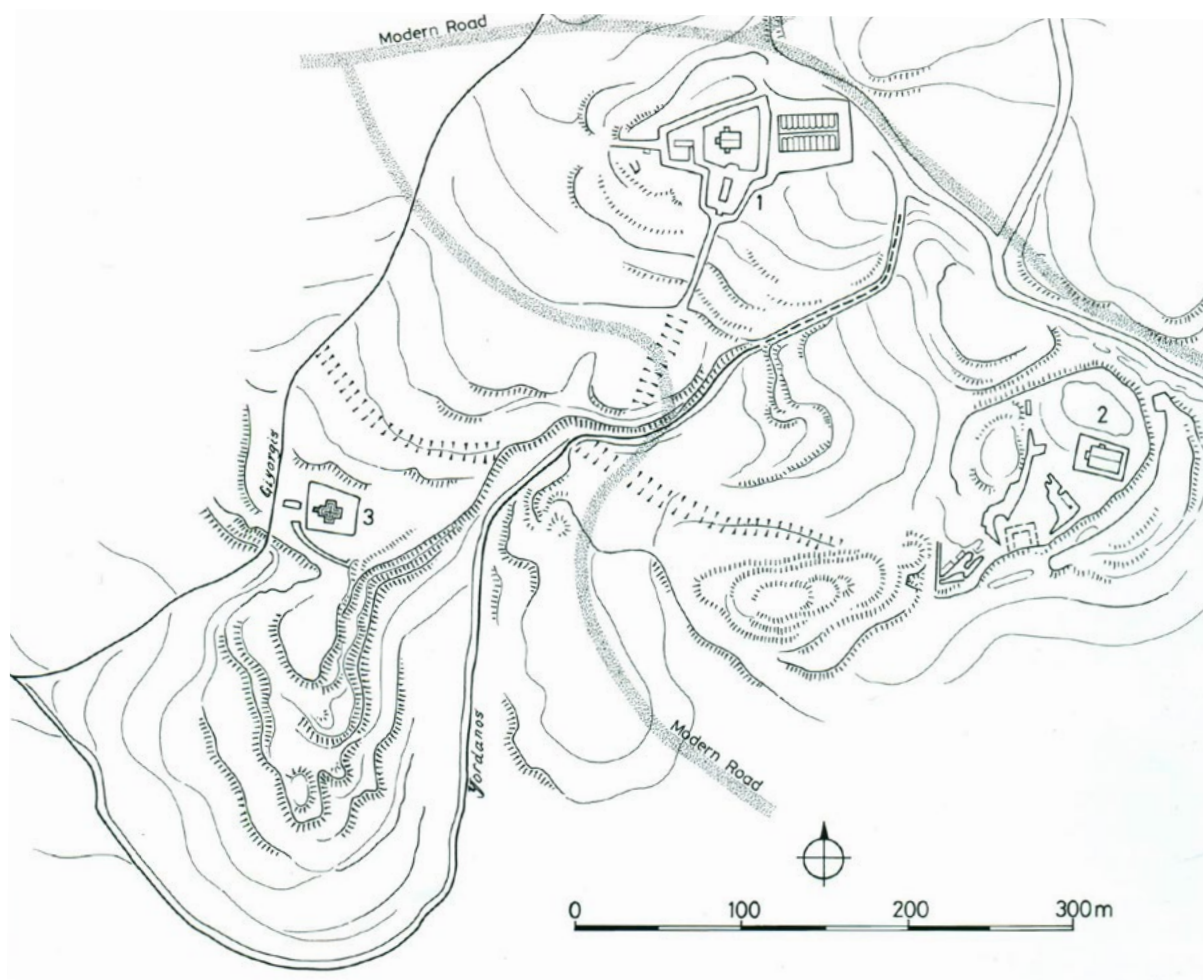
La posizione di questo villaggio, a causa delle difficoltà che si incontravano in tempi passati per raggiungerla date dalla mancanza di strade accessibili, sia durante la stagione secca che durante il periodo delle piogge, ha fatto sì che queste importanti chiese ipogee rimanessero pressoché sconosciute al mondo occidentale fino al 1868 (D.W. PHILLIPSON, 2009); le nuove strade, realizzate durante gli anni 90, hanno reso più accessibile la città e i luoghi di culto.

Il nome Lalibela, deriva dal nome da Gebre Mesqel Lalibela, Re della dinastia Zagwe, che regnò circa nel 1200 d.C. Gli viene inoltre attribuito tradizionalmente la realizzazione delle chiese ipogee; tuttavia ad un'attenta osservazione le chiese ipogee presentano delle particolarità che inducono a proporre una diversa datazione e a pensare che esse siano state costru-

ite e sviluppate in un arco di tempo molto lungo (XII – XIII sec.).

Le chiese di Lalibela costituiscono due complessi ipogei interconnessi ed una singola chiesa distaccata da queste. In totale l'intero insediamento, Patrimonio dell'Umanità, annovera undici chiese al suo interno, quattro appartenenti al complesso orientale, sei al complesso nord, più la chiesa isolata. Tutti gli edifici di culto sono scavati nel tufo vulcanico, di colore rossiccio, dell'altopiano che è diviso da due piccoli torrenti¹². Ovviamente la localizzazione delle chiese, anche in questo caso, dipende dalla distribuzione e dallo spessore dello strato di roccia tufacea.

Durante gli anni novanta alcune delle chiese sono state protette da coperture in lamiera ondulata sostenute da pali di legno per salvarle dagli agenti atmosferici e dalle piogge tor-



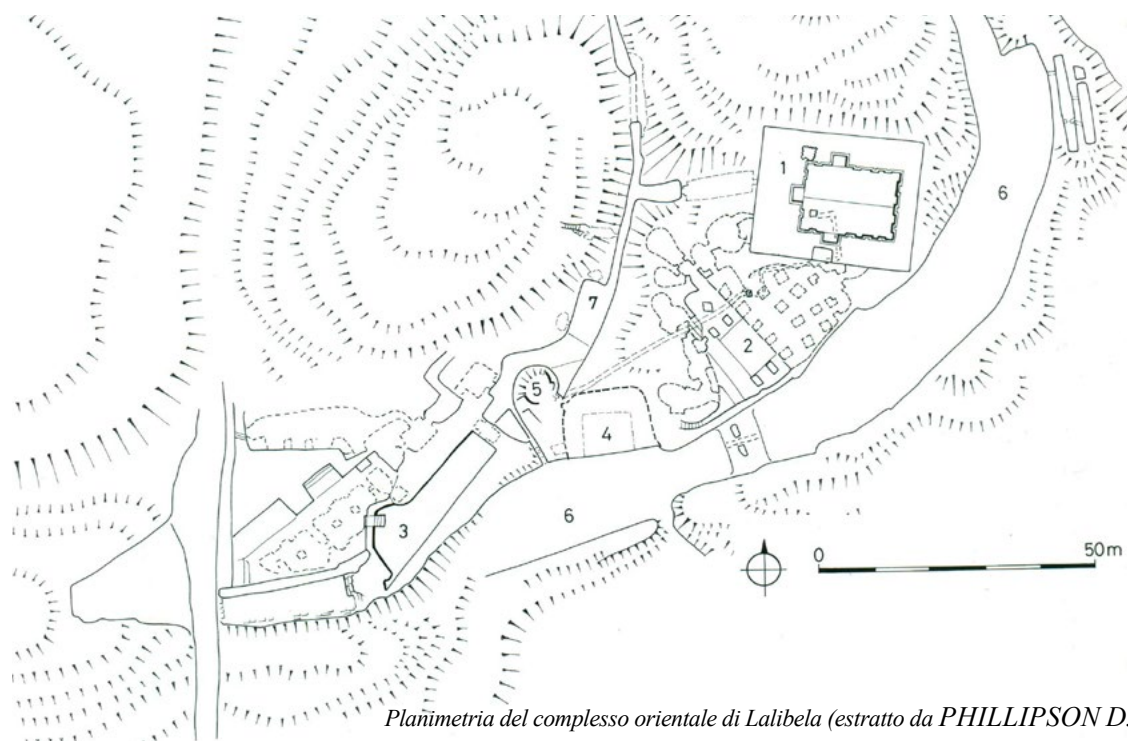
Planimetria del complesso ipogeo di Lalibela (estratto da PHILLIPSON D.W., 2009)

renziali, che stavano danneggiando e corrodendo le strutture ipogee. Queste coperture posticce sono state sostituite nel 2007 con coperture più alte e più estese che, seppur necessarie per la protezione di questo inestimabile patrimonio, hanno compromesso la percezione originaria dei monumenti e fortemente modificato il paesaggio¹³.

Il complesso orientale si estende sull'altopiano su un'area di circa 20x120 m, al centro di due piccole collinette e delimitato sui lati a nord, est e sud da un grande fossato che si conclude allargandosi nella corte antistante la chiesa di Abba Libanos. In prossimità del fossato sono state realizzate le chiese di Beta Merkurios e Beta Emmanuel; una seconda trincea si sviluppa dalla corte di Abba Libanos verso nord, tra le due colline e le principali chiese di questo complesso disposte sui due lati del fossato; Beta Merkurios e Beta Emmanuel si trovano sul lato

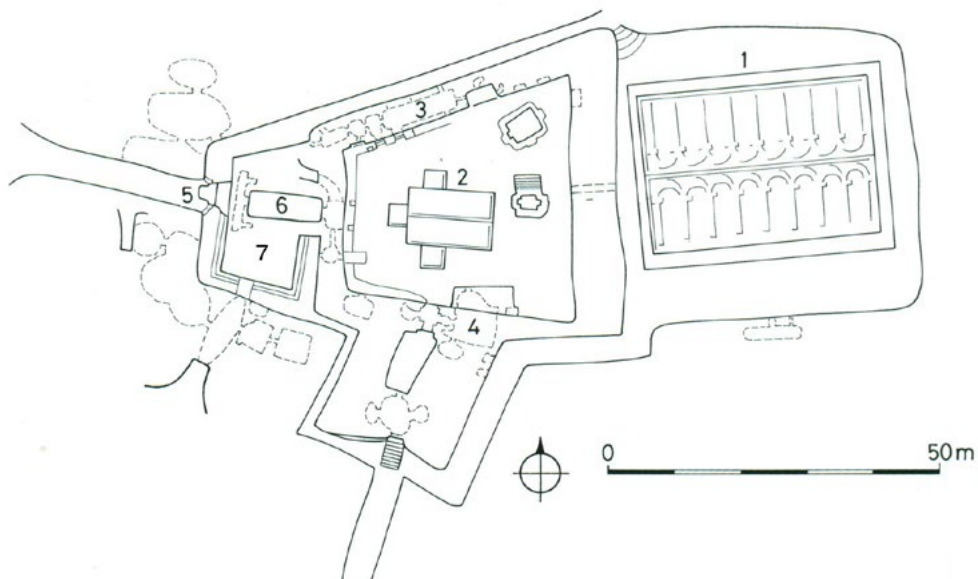
orientale, mentre Abba Libanos e la chiesa di Gabriel e Rafael sono poste sul lato occidentale. Lungo il fossato si trova anche un'altra struttura a pianta circolare conosciuta come Bethlehem.

Il complesso nord di Lalibela è localizzato 300 m a nord-ovest rispetto al complesso est, dall'altro lato del torrente Jordanos, ed è delimitato da un altro fossato più piccolo rispetto a quello del complesso orientale, profondo 1 m e largo da 3 a 0 m. Le chiese a nord occupano un'area di circa 120 x 80 m. Come detto in precedenza questo complesso comprende sei chiese denominate: Beta Madhaane Alem, la chiesa più grande dell'intero complesso; la chiesa di Beta Maryam, la più elaborata e riccamente decorata del complesso, circondata da numerosi spazi accessori scavati sulle pareti della corte all'interno della quale è stata ricavata; la chiesa di Beta Maskal; la



Planimetria del complesso orientale di Lalibela (estratto da PHILLIPSON D.W., 2009)

1. Beta Emmanuel; 2. Beta Merkurios; 3. Beta Gabriel n' Rafael; 4. Abba Libanos; 5. Bethlehem; 6. fossato periferico; 7. fossato nod-sud



Planimetria del complesso occidentale di Lalibela (estratto da PHILLIPSON D.W., 2009)

1. Beta Madhane Alem; 2. Beta Maryam; 3. Beta Masqal; 4. Beta Danagel; 5. Tomb of Adam; 6. antico accesso a Beta Maryam; 7. al livello superiore si trovano le strutture di Beta Golghota, Beta Mika'el e la Salassie chapel



L'ingresso alla chiesa di beta Gabriel n' Raphael



La chiesa di Beta Madhaane Alem



La chiesa di Beta Maryam

chiesa di Beta Golgotha Mika'el.

La chiesa isolata, distaccata completamente dai due complessi appena descritti, è la chiesa di Beta Giyorgis, sicuramente la più famosa e conosciuta, contraddistinta dalla particolare forma a croce greca ricavata in una profonda corte. Questa chiesa è fra quelle che consente al meglio di individuare gli elementi caratteristici delle architetture ipogee, e che quindi verrà descritta più dettagliatamente in seguito.

2.2.1.3 Il rilievo e la rappresentazione della chiesa di Beta Giyorgis

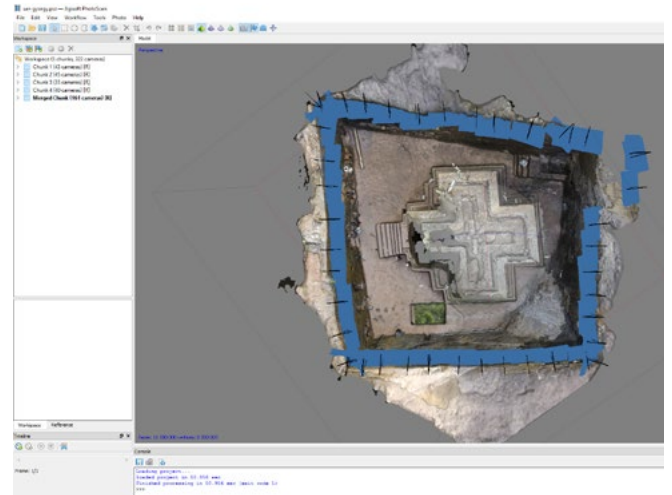
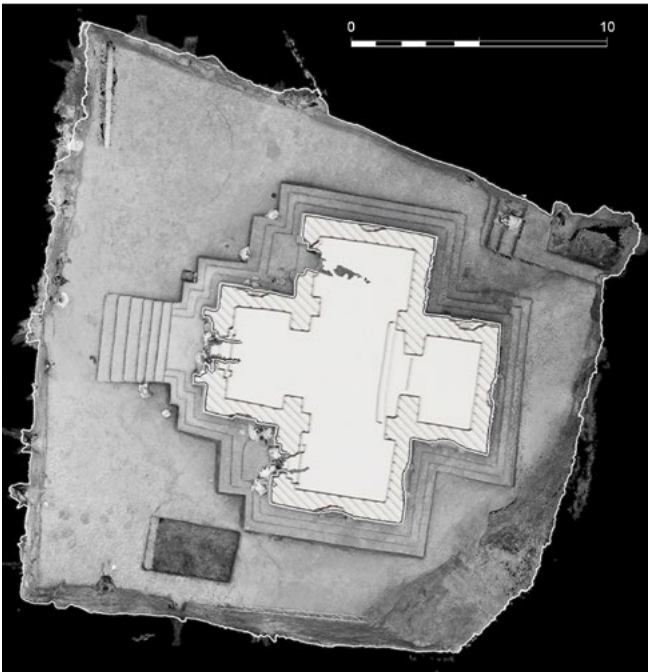
Descrizione.

La chiesa di Beta Giyorgis è posizionata 400 m ad ovest rispetto al complesso est, sul lato opposto del torrente Yordanos.

La chiesa è ricavata all'interno di una corte quadrangolare di 22 x 16-22 m di lato e dalla profondità di circa 20 m; l'angolo sud-est della corte non è completamente scavato, probabilmente a causa della presenza di uno strato basaltico difficilmente lavorabile e quindi lasciato incompleto. Nel pavimento della corte sono state ricavate, sempre scavando, delle cisterne per la raccolta dell'acqua, mentre sulle sue pareti sono state realizzate delle tombe e delle aule per gli eremiti. L'accesso alla corte è garantito da un passaggio scavato sul lato occidentale che, inoltre, con una lieve pendenza conduce al livello inferiore della costruzione. Lungo questo passaggio, nel pavimento, è stato realizzato un piccolo condotto che consente l'allontanamento delle acque meteoriche. Prima di arrivare all'interno della corte, si attraversa una camera sotterranea affiancata su entrambi i lati da ambienti quadrangolari, probabilmente usati come foresteria per i pellegrini che



Vista della chiesa di Beta Giyorgis.



Schermata del software Agisoft Photoscan con indicate le posizioni e l'orientamento delle catture fotografiche eseguite per il rilievo digitale

A fianco: pianta della chiesa di Beta Giyorgis ottenuta dal rilievo digitale (esterno) sovrapposta alla pianta rilevata da Banchi Barrivier (1945), estratta da



Prospetto principale della chiesa di Beta Giyorgis estratta dal modello poligonale con il Software Gexcel Reconstructor JRC



Dettaglio delle aperture steliformi delle chiesa di Beta Giyorgis, estratte dalle nuvole di punti

visitavano la chiesa.

Beta Giyorgis è caratterizzata da una pianta a croce greca che si erige al di sopra di un alto basamento a gradoni. La copertura, in lieve pendenza, segue l'andamento del terreno dell'altopiano, e questo la rende poco visibile da lontano, non presentando elementi che fuoriescono dal livello del terreno. La parte superiore della copertura è decorata da due basso rilievi che seguono il profilo della chiesa, formando così il disegno di due croci concentriche che incornicia una croce stilizzata nel centro.

La chiesa è dotata di tre ingressi secondo i canoni dettati dalla religione ortodossa; le tre porte sono adornate da delle cornici tipiche dello stile Aksumita e solo quella centrale, più grande è racchiusa da un ulteriore cornice aggettante. Allo stesso livello delle porte di ingresso, le pareti sono decorate da delle cornici, sempre del tipo Aksumita, che simulano delle finestre, quindi cieche, senza una vera e propria apertura verso l'interno della chiesa. Al di sopra delle porte di ingresso, sono presenti due cornici che corrono lungo tutto il perimetro della chiesa, che delimitano una fascia alta circa 1.9 m; in corrispondenza delle due cornici le pareti iniziano a rastrema-



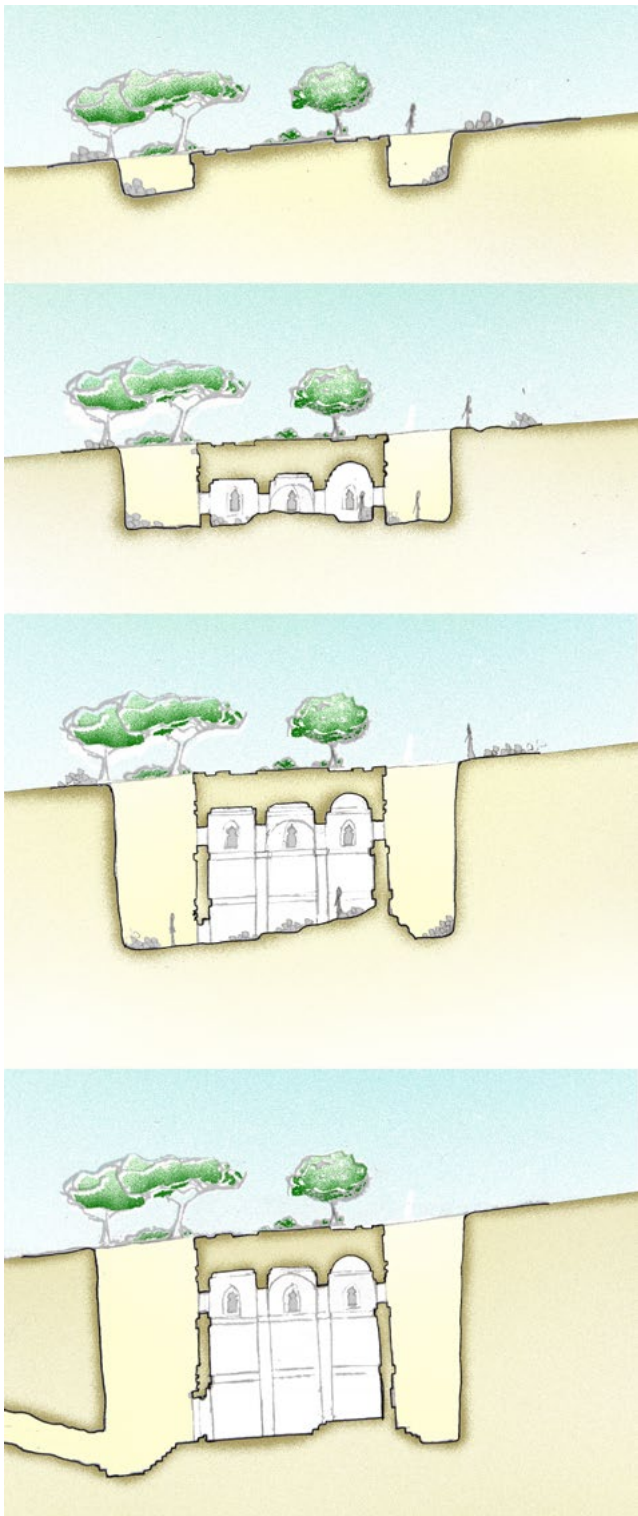
La Stele di Aksum (Etiopia)

re verso l'alto. Al di sopra delle due fasce, si aprono dodici finestre, una per ogni parete che, a differenza di quelle inferiori, perforano le pareti portando luce nell'aula interna. Queste finestre, hanno una particolare forma ripresa dalle stele aksumite, e sono circondate da degli arabeschi in bassorilievo e tralci di vite su entrambi i lati. Questi elementi decorativi conferiscono alle facciate esterne una perfetta simmetria, ma tale ordine non corrisponde agli spazi interni, non avendo considerato lo spessore dei muri che seguono la forma a croce, sulle pareti laterali interne esse sono infatti disassate dal centro. Le croci ricavate sulla sommità della chiesa, oltre al richiamo simbolico, canalizzano l'acqua piovana che vien poi allontanata per mezzo di semplici spioventi posti al centro di ogni facciata principale. Questo sistema ha sicuramente contribuito a preservare le facciate dal dilavamento delle acque meteoriche.

All'interno, l'aula della chiesa segue il profilo esterno, pertanto presenta un impianto cruciforme dalla dimensione massima di 10 m ed una altezza di 7,7 m. L'aula non presenta pilastri liberi, ma l'intersezione dei bracci della croce è messa in evidenza con delle paraste scolpite da cui si impostano degli



Viste prospettive e dettaglio del portale d'ingresso estratte dalle nuvole di punti



archi, che dividono l'ambiente in cinque settori. La copertura piana delle campate a ovest, nord e sud sono decorate da delle croci greche, mentre quella centrale è coperta da una volta ribassata disadorna, mentre la porzione ad est, il santuario, è completamente voltato e decorato con una croce.

Fasi di realizzazione.

Gli elementi decorativi e stilistici di questa chiesa, diversi da quelli che adornano tutte le altre, fanno pensare che la Beta Giyorgis sia stata l'ultima chiesa ad essere realizzata, anche la sua posizione isolata, rispetto ai complessi principali, potrebbe confermare questa ipotesi. Inoltre è possibile che essa sia stata progettata e realizzata in un'unica fase.

Stante la struttura monolite, gli elementi decorativi e la particolare posizione delle finestre che mettono in comunicazione l'esterno con l'interno, si ipotizza che, di fatto le fasi di scavo non possono essersi susseguite che dall'alto verso il basso: La prima fase è data dal tracciamento del perimetro dell'impianto di culto, ovvero della chiesa con la relativa corte che la racchiude; a seguire lo scavo vero e proprio, fino alla quota delle aperture poste in alto. In questa fase quindi la costruzione si presentava come un fossato che seguiva la perimetrazione della corte, in cui veniva risparmiato, al centro, il blocco monolitico a forma di croce; sulle sue pareti, in seguito, sono state scavate le aperture che avrebbero illuminato e areato l'interno dell'edificio; da questo primo livello di apertura si è cominciato lo scavo della parte alta e interna della chiesa e si è estratto i materiali di risulta senza grandi difficoltà; nelle successive fasi si pensa che lo scavo dell'aula, quindi interno, e quello della corte esterna sia stato realizzato parallelamente verso il basso. L'iter ha reso possibile la decorazione agevole del soffitto della chiesa, delle pareti esterne e l'allontanamento dei detriti dello scavo senza grandi difficoltà. La realizzazione è quindi proseguita verso il basso, fino a raggiungere il livello del pavimento con la conseguente apertura delle porte d'ingresso e la realizzazione del basamento.

Note sul rilievo. Il rilievo di questo manufatto, si è svolto durante un viaggio, affrontato individualmente, e con una permanenza a Lalibela di una settimana, di cui un solo giorno dedicato alla raccolta dei dati della chiesa di Beta Giyorgis.

La strumentazione a disposizione per il rilievo era estrema-

Schema con rappresentazione delle fasi costruttive della chiesa di Beta Giyorgis

mente limitate, quale può essere quella di un “viaggiatore” contemporaneo, gli unici strumenti a disposizione erano infatti: una fotocamera digitale (Nikon D7000), un treppiede ed una testa panoramica. Questi strumenti, semplici e comuni, della società contemporanea, consentono di ottenere vari tipi di documentazione basati sulle diverse tecniche di elaborazione fotografica, dalla realizzazione di virtual tour, alla produzione di modelli tridimensionali fotogrammetrici; queste ultime rendono possibile l’elaborazione di rappresentazioni bidimensionali, come piante, prospetti e sezioni, ma anche rappresentazioni tridimensionali ed animazioni.

Virtual Tour.

Per la realizzazione di un virtual tour è essenziale l’uso della testa panoramica che, una volta assemblata con il treppiede, ruotando di 360° consente di scattare fotografie in tutte le direzioni. Avvenendo la rotazione attorno al punto focale dell’obiettivo usato, si prevencono i possibili errori di paralass durante l’operazione di assemblaggio delle varie foto catturate da una singola postazione. Infatti, attraverso software dedicati, è possibile unire le fotografie acquisite in un’unica immagine equi-rettangolare. La proiezione equi-rettangolare consiste nello sviluppo piano di un’immagine sferica, l’immagine può essere quindi visualizzata come una sfera capace di ruotare in ogni direzione fornendo una vista a 360°. Realizzando più fotografie equirettangolari da diverse posizioni intorno all’oggetto, e collegandole le une alle altre, è possibile creare un percorso virtuale che simula una passeggiata intorno all’oggetto studiato.

Per rappresentare la chiesa di Beta Giyorgis con l’uso di questa tecnica, sono state realizzate quattro immagini equirettangolari all’altezza di copertura e quindi dell’altopiano, quattro nella corte ed alcune negli ambienti interni.

Questa tecnica non solo permette di poter visualizzare l’ar-

chitettura studiata all’interno dell’ambiente in cui è stata realizzata, ma è anche uno strumento semplice da usare e ottimo per la diffusione e la promozione culturale on-line.

Fotogrammetria speditiva. Alla mancata possibilità di misurabilità del virtual tour (sono in fase di elaborazioni programmi di elaborazioni fotogrammetriche da acquisizione polare), è possibile ovviare con la fotogrammetria digitale, altro metodo basato sulle elaborazioni fotografiche.

La fotogrammetria digitale permette di realizzare modelli tridimensionali sfruttando fotografie convenientemente scattate. Le nuvole di punti risultanti da questo processo, ottenute attraverso software dedicati, contengono informazioni sulla posizione nello spazio oltre alle informazioni cromatiche che la caratterizza; pertanto è possibile rappresentare verosimilmente oggetti, architetture e luoghi. Il modello tridimensionale risultante da tale processo tuttavia non è in scala, per la misura è dunque necessario ridimensionarlo con dati rilevati manualmente riferiti all’oggetto, o porre nella scena fotografata dei riferimenti dimensionali noti, come delle mire o fettucce metriche che saranno processate nell’elaborazione del modello e faciliteranno la successiva messa in scala. Tuttavia esse potranno presentare delle distorsioni nella tridimensionalità dello spazio.

Questa tecnica permette dunque di visualizzare l’oggetto tridimensionale, di ricavare misurazioni prossime al vero di tutte le parti che lo compongono, di estrarre piante e sezioni per una descrizione completa dell’oggetto, di ricavare modelli tridimensionali continui composte da mesh ed ancora realizzare delle animazioni.

Le animazioni 3d sono fra gli strumenti più incisivi per rappresentare l’oggetto di studio e per diffonderlo, capaci di coinvolgere un vasto pubblico socialmente e culturalmente diverso.

2.2.2 CARATTERI GENERALI DELL'ARCHITETTURA RUPESTRE

Per proseguire nel nostro percorso di individuazione e descrizione delle principali tipologie di architettura scavata è opportuno descrivere una seconda tipologia di insediamento, quella rupestre, a parete. Questa tecnica è certamente la più usata nello sviluppo degli ambienti scavati. Gli esempi di complessi che possiamo includere in questa categoria sono innumerevoli, e comprendono dai insediamenti di grande estensione planimetrica e molto articolati, a piccoli eremi scavate in pareti scoscese e apparentemente irraggiungibili, strutture scavate a scopo abitativo, e grandi complessi monastici, edifici destinati alla trasformazione dei prodotti, ed edifici di culto.

La diffusione di questa tecnica è probabilmente dovuta alla tecnica di scavo, infatti attaccando il fronte roccioso in modo orizzontale viene facilitata l'operazione di estrazione dei materiali di risulta. Si deve inoltre pensare che questa tipologia sta forse all'origine delle architetture scavate, in quanto rappresenta il primo passaggio evolutivo, dalla semplice occupazione di ambienti sotterranei naturali, come grotte e

ripari, all'antropizzazione degli stessi, dapprima con elementi di arredo e con veri ampliamenti e aggiunte di spazi dopo. Esempi di architettura rupestre sono rintracciabili in Andalusia in Spagna, nelle regioni centro anatoliche della Turchia, in Francia nelle valli della Loira, in Iran, nelle aree del Magreb. Una delle aree geografiche dove questo modo di costruire ha avuto larga diffusione, sicuramente dovuta anche alla conformazione del territorio, è l'Italia meridionale.

Sono molti gli insediamenti e le strutture ritrovati, a partire dalla Toscana, nel Lazio, in Campania, in Basilicata ed in Puglia.

La Toscana ad esempio accoglie architetture rupestri che vanno dal periodo Etrusco, a quello medievale. Ne sono un esempio la Tomba Ildebranda di Sovana (III-II sec. a. C.) ed il villaggio di Vitozza, tra l'altro localizzati a pochi chilometri di distanza.

Nel territorio marchigiano sono presenti numerose abbazie eremitiche scavate nella roccia e città, come Camerano. Nel sottosuolo del centro storico di questa città sono infatti scavati



Vista panoramica della Tomba Ildebranda a Sovana (Italia)

numerose unità, a volte comunicanti, di cui non è ancora stato chiaramente definito l'uso.

In Sardegna sono stati individuati insediamenti che vanno dall'Età della pietra all'epoca paleocristiana. Le grotte sono scavate, nella maggior parte dei casi, a ridosso di costoni rocciosi di calcarenite o di tufo trachitico. Le necropoli di 'domus de janas' costituiscono, come nel caso di Anghelu Ruju ad Alghero, delle vere e proprie città dei morti.

Testimonianze di architettura scavata sono presenti anche in Calabria, dove, in periodo medioevale, la vita in grotta era largamente diffusa su tutto il territorio. Insediamenti di notevole interesse si trovano a Casabona, Cotronei, Cuccari e Verzino. Uno degli insediamenti certamente più importanti e conosciuti è quello di Matera, in Basilicata. I "Sassi", i quartieri scavati in grotta, e la Murgia, l'altopiano calcareo su cui sorge la città, sono stati dichiarati dall'UNESCO Patrimonio dell'Umanità. I siti rupestri di Matera fanno parte di un Parco Regionale, il Parco della Murgia Materana, è infatti l'intero territorio ad essere interessato dalla presenza di siti rupestri. Abitazioni, chiese, monasteri, e strutture produttive in grotta sono presenti in gran parte dei comuni¹⁴.

Il territorio che ospita le più imponenti tracce della cultura rupestre è certamente quello pugliese dove lame e gravine costituiscono, oltre che importanti ecosistemi, la culla di una cultura che seppe fare degli anfratti rocciosi, case, ambienti di lavoro e di culto. (C. CRESCENZI, 2011)



Il villaggio rupestre di Vitozza, Sorano (Italia)



La via cava di San Rocco, Sovana (Italia)

2.2.2.1 *Gli insediamenti rupestri delle gravine pugliesi*

Come abbiamo visto, in Italia, la pratica del scavare e vivere in grotta è da sempre molto diffusa. Dopo il sito di Matera una delle regioni con la più alta concentrazione di siti rupestri, risulta essere la Puglia. In particolare una delle aree dove gli abitanti hanno saputo sfruttare le caratteristiche territorio per sviluppare insediamenti abitativi è quello del Tarantino Occidentale. Questo territorio, caratterizzato dalla presenza di profonde gravine che dall'altopiano della Murgia degradano dolcemente verso il Mar Jonio ha fornito un paesaggio perfetto dove insediarsi, offrendo ripari dagli agenti atmosferici, la presenza di numerosi corsi d'acqua, sistemi di difesa naturali e una roccia facilmente lavorabile dove poter ricavare facilmente ambienti in cui svolgere le attività necessarie per vivere.

Proprio in questa zona, grazie anche al progetto CHRI-MA-cinp, sono stati indagati e studiati gli insediamenti e le chiese che sorgono lungo le gravine di Mottola, Palagianello e Massafra.

L'analisi delle architetture rupestri presenti in questi luoghi, e delle loro aggregazioni fornisce la possibilità di meglio comprendere le caratteristiche peculiari di questo modo di vivere e di questa cultura che in questo territorio ha portato alla realizzazione di villaggi perfettamente organizzati, chiese riccamente decorate ed affrescate e strutture per le attività lavorative finemente scolpite.

Addentrando nella roccia ed articolandosi in ambienti labirintici hanno lasciato una traccia indelebile di questa particolare pratica del costruire. Lo studio di questi insediamenti, e soprattutto dei villaggi, sviluppatosi nel tempo arrivando a raggiungere grandi estensioni, forniscono importanti indicazioni sull'evoluzione dei centri abitati di questa natura. E una loro analisi approfondita ne consente una ricostruzione delle complesse fasi storiche che ne hanno determinato costanti modifiche ed evoluzioni, portandoli ad essere ferventi centri di vita sociale ed aggregazione, per poi essere spesso abbandonati e dimenticati.

Il casale di Casalrotto, nel comune di Mottola è costituito da un centinaio di grotte scavate lungo i due spalti della lama. Anche se oggi compromesse dagli agenti atmosferici dai successivi interventi umani, esse conservano ancora elementi di una probabile conformazione originale, con nicchie, lucerne, vasche, pilastri, mangiatoie. È stato ipotizzato che il monastero rupestre di Sant'Angelo, nucleo originario del ca-

sale, sia stato fondato nel corso della seconda colonizzazione bizantina dei secoli IX-XI.

Un altro villaggio rupestre si sviluppa sullo spalto orientale della gravina di Palagianello, immediatamente al disotto del castello.

Palagianello è infatti un centro di origine medievale, ed il territorio in cui sorge presenta fenomeni di erosioni carsiche del banco calcareo, ha un profilo geometrico ondulato, con accentuate differenze di altitudine. Palagianello è storicamente legata alla presenza dell'insediamento rupestre, che è stato per secoli una forma insediativa complementare e non subalterna al centro costruito.

Sentieri e scalinate permettono ancora oggi di attraversare parzialmente il villaggio rupestre composto da decine di grotte scavate su più livelli. I vani rupestri sono stati utilizzati fino a pochi decenni fa ed oggi sono oggetto di interessanti forme di recupero. Il villaggio rupestre è arricchito dalla presenza al suo interno di numerose chiese rupestri, alcune delle quali mantengono ancora oggi tracce degli affreschi originari.

Altri interessanti insediamenti sono quelli della Rivolta e del Casale a Ginosa.

All'epoca romana, quando divenne municipio romano col nome di Genusia nel III sec a.C., è attestata l'escavazione dei due siti lungo la gravina del torrente Lagnone, con le sue numerose grotte e chiese ricavate nella tenera calcarenite.

Un sistema di viuzze e di scalinate lungo i ripidi pendii della lama, connettevano i vari episodi, consentendo l'accesso agli insediamenti. L'insediamento della Rivolta sembra poter essere identificato come primo insediamento umano, ed è composto da case-grotta disarticolati tramite percorsi su cinque piani sovrapposti, da tempo in stato di abbandono. In alcune grotte è ancora leggibile l'originaria struttura abitativa con sedili, giacigli, camini, alcove, mensole, e grandi cisterne per la raccolta dell'acqua piovana tutti scavati nella calcarenite; mentre luoghi di culto sono quasi tutti ricavati sul versante opposto della gravina. Le tipologie di abitazione si possono sommariamente riportare a due tipi: la casa-grotta monolocale e la casa grotta dall'articolazione complessa, dove la famiglia conviveva con gli animali. Nell'ultimo gruppo ci sono grotte adibite ad uso produttivo: cantina, palmeto, forno. Interessante è anche la presenza di grotte che originariamente erano usate come cisterne, che in seguito sono state inglobate nelle abitazioni per ricavarne spazi abitativi. Altre cisterne si trovano negli orti e nelle aie.

Uno dei centri maggiormente articolato e caratterizzato dalla



La gravina di Palagianello



L'insediamento tupestre della Rivolta a Ginosa



Ingresso di alcuni ambienti scavati a Mottola

presenza di quattro gravine antropizzate e da numerosi episodi rupestri ormai inglobati nel tessuto urbano, è Massafra.

2.2.2.2 il rilievo e la rappresentazione del complesso di Santa Marina a Massafra

La cittadina di Massafra con 32.000 abitanti è il capoluogo di un comune della provincia tarantina.

Il centro, è collocato sul primo gradone premurgiano ad una altezza media di 110 s.l.m. Con quote degradanti da 4 s.l.m ai confini comunali con Mottola e Martina Franca fino al livello del mare. Le ultime propaggini meridionali delle Murge, che scendono fino al golfo di Taranto, hanno inciso profondamente questo territorio, solcato da numerose gravine dalla particolare morfologia, dovuta all'erosione delle acque e del vento, che hanno plasmato il banco di calcarenite. Questo strato poggia su calcari cretacei compatti, solitamente non visibili per lo strato alluvionale depositato nel corso dei secoli sul fondo valle. L'andamento della gravina è delineato dalle fratture e dall'erosione che modella la forra con incisioni profonde lasciando le pareti quasi verticali. L'impermeabilità e la compattezza di queste rocce hanno favorito lo sviluppo degli insediamenti.

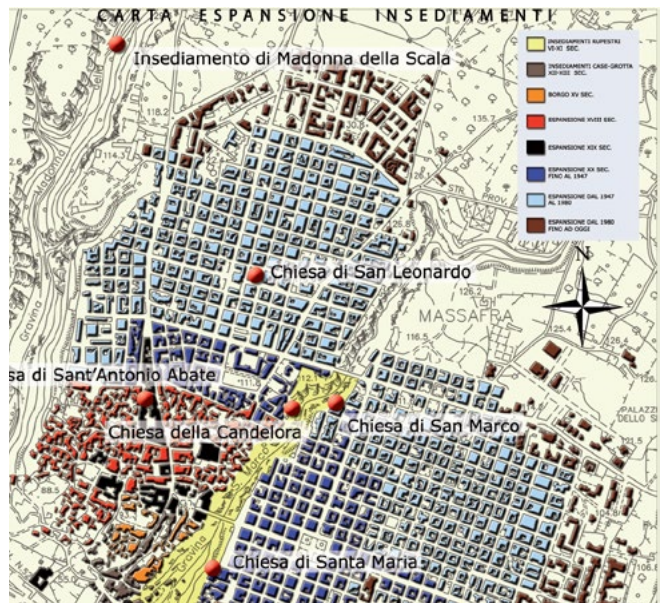
Le gravine ospitano infatti insediamenti funerari ed abitativi risalenti a varie epoche a partire da quelle preistoriche come testimoniano la presenza di selci lavorate ritrovate nelle gravine, come ceramiche micenee e monete vandale e bizantine del V-VI sec.

Sono queste monete che hanno permesso di ipotizzare che l'abitato sorse in seguito all'arrivo di un gruppo di profughi che era stato cacciato dall'Africa settentrionale. Giunti in Puglia venne loro affidato, dal vescovo di Taranto una "massa", un podere, situato tra le attuali gravine di Madonna della Scala e di San Marco, dove i profughi africani scavarono le loro prime abitazioni "a corte" nella roccia.

Gravine

Le gravine, come abbiamo visto, ricoprono un ruolo fondamentale per l'insediamento e lo sviluppo delle civiltà che si sono succedute in questo territorio, e nel comune di Massafra, le gravine antropizzate sono quattro.

Ai margini dell'attuale centro abitato si trova la gravina di Madonna della Scala, questa presenta un andamento pressoché rettilineo e si estende dalla via Appia, a sud, alla Masseria Pizziferro, a nord. È lunga circa 4 km, con una profondità variabile tra i 12 e i 40 metri. La gravina presenta, oggi, forti



Carta con indicazione delle fasi di espansione dell'insediamento di Massafra (estratta da.....)

segni di degrado ma in passato la gravina era chiamata "valle delle rose" per la ricchezza della flora. Il villaggio rupestre posto in corrispondenza del Santuario Madonna della Scala, si estende su entrambi gli spalti della gravina. (CAPRARA R., et al., 1983) Il sito già frequentato in epoca preistorica fu, quasi sicuramente, abbandonato in epoca classica, per ripopolarsi a partire dal III secolo d. C. Ed abitato fino al XIV sec. L'insediamento è costituito da oltre 200 nuclei ancora riconoscibili dislocati su una lunghezza di circa 500m. Le unità abitative posseggono elementi caratteristici che le accomunano, come ad esempio il soffitto piano e la pavimentazione sempre ricavati nella nuda roccia; il focolare è spesso posto nelle vicinanze della porta d'ingresso, che costituisce l'unica apertura verso l'esterno, e dunque l'unica fonte di luce ed areazione della casa-grotta. Gli nicchie scavate nella roccia servivano per riporvi oggetti e recipienti e frequenti sono anche i pozzetti ricavati per la conservazione delle derrate alimentari. Le pareti ed i soffitti presentano sempre fori e caviglie per incastrarvi piani di legno, per sospenderci le lanterne e la culla dei neonati. Molte abitazioni dispongono anche della cisterna delle acque piovane, spesso localizzata immediatamente all'esterno delle abitazioni. Le stalle, i pollai e gli alveari erano sempre realizzati all'esterno della grotta. I fori praticati agli stipiti delle porte dimostrano la presenza di



Fotografie panoramiche della gravina di Madonna della Scala a Massafra (foto di C.Crescenzi)



Fotografie panoramiche della gravina di San Marco a Massafra (foto di C.Crescenzi)

sistemi di chiusura delle unità abitative, in genere costituito da semplici tavolati in legno assicurati dall'interno con travi (comunemente dette "varroni")

Poco lontano dal centro si trova la gravina di Trovanza. Anche questa gravina ospitava un insediamento costituito da alcune grotte disposte su due livelli. Una delle grotte, dalla pianta rettangolare, presenta alle pareti dei particolari piccoli loculi quadrati disposti su file parallele. La comune interpretazione pensa ad un locale per la conservazione di erbe medicinali, dandole il nome di farmacia. Di fronte a questa grotta si trova una piccola chiesa rupestre a piante rettangolare all'interno della quale si conservano ancora alcuni affreschi così come si conservano ancora i sistemi di raccolta e canalizzazione delle acque piovane.

La gravina di San Marco è invece oggi completamente inglobata nel tessuto urbano. La sua denominazione è dovuta alla presenza nella gravina di una chiesa rupestre dedicata a San Marco.

In passato questo luogo veniva chiamato il Paradiso di Masafra, facendo riferimento alla vegetazione rigogliosa e agli orti, giardini ed agrumeti che occupavano i costoni e i terrazzamenti delle pareti rocciose. Lungo le lame di questa gravina sono presenti molti episodi rupestri degni di nota, come: la chiesa-cripta di San Marco; la cappella-cripta della Candelora, con affreschi del XII-XIV sec.; l'abitazione dell'Igumeno; la cripta del Serafino utilizzata come frantoio fino a pochi decenni fa, e suggestiva è la vista della gravina, dal Ponte Vecchio, con le pareti crivellate dalle bocche delle caverne che formano il complesso sorto nelle immediate vicinanze della chiesa dedicata a Santa Marina. (C. CRESCENZI, 2012)

Il villaggio di Santa Marina

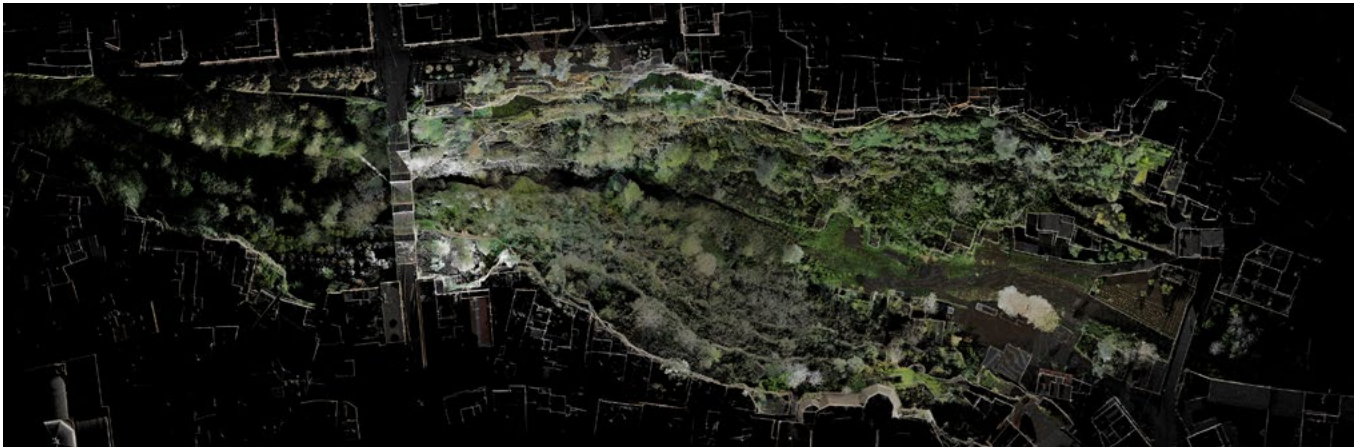
L'insediamento, sia pure con fasi alterne di antropizzazione e di abbandono, è stato abitato almeno dall'età imperiale di Roma agli inizi del XVII sec. (R. CAPRARA, F. DELL'ACQUILA, 2007) si sviluppa lungo la parete esposta a sud e dunque più soleggiata. La conformazione della gravina è tale che d'estate cattura nell'area del letto i raggi zenitali, lasciando meno accaldate le abitazioni sul ciglio, mentre d'inverno, essendo più basse le radiazioni, permette che esse giungano prima alle abitazioni a margine. Questa disposizione consente inoltre l'irraggiamento anche dei locali scavati più all'interno della roccia. La gravina funge anche da canale di ventilazione, convogliando il vento secondo il suo sviluppo longitudinale e lasciando le abitazioni sfiorate marginalmente.

Le abitazioni rupestri risultano quindi protette, in quanto la conformazione a gradonate dei piani di villaggio è tale che i venti si infrangono sui fronti di cava o sulla vegetazione. (C.M. SCIALPI 2011)

Come si evince da questa prima descrizione una delle caratteristiche fondamentali del villaggio di questa gravina, riguardano la disposizione delle grotte. L'organizzazione su più livelli disposti a gradoni che ne influenzano il benessere termometrico, ed influisce anche sulla distribuzione e localizzazione degli ambienti che lo compongono. La particolare disposizione sulla parete della gravina, l'assenza di massivi interventi dell'uomo nel riadattare gli spazi per rispondere alle mutate necessità, ma soprattutto le modeste dimensioni, e l'estrema leggibilità dell'impianto dell'insediamento hanno fatto sì che rappresentasse un ottimo esempio per descrivere la tipologia insediativa a parete. La porzione di insediamento che abbiamo rilevato è infatti organizzato su due livelli arroccati su di un fianco della gravina con al centro la chiesa dedicata a Santa Marina, a partire dalla quale si sviluppa l'intero villaggio.

Lo stato della chiesa rupestre sembra presentare uno stato immutato dagli anni 40 ad oggi, ad eccezione del deterioramento di alcune pitture delle absidi ed alcune iscrizioni. (R. CAPRARA, 2015). la condizione sembra essere immutata al punto che si potrebbe riportare direttamente l'accurata ed esauriente descrizione pubblicata, nel 1966, da Abbatangelo (P.L. ABBATANGELO, 1966).

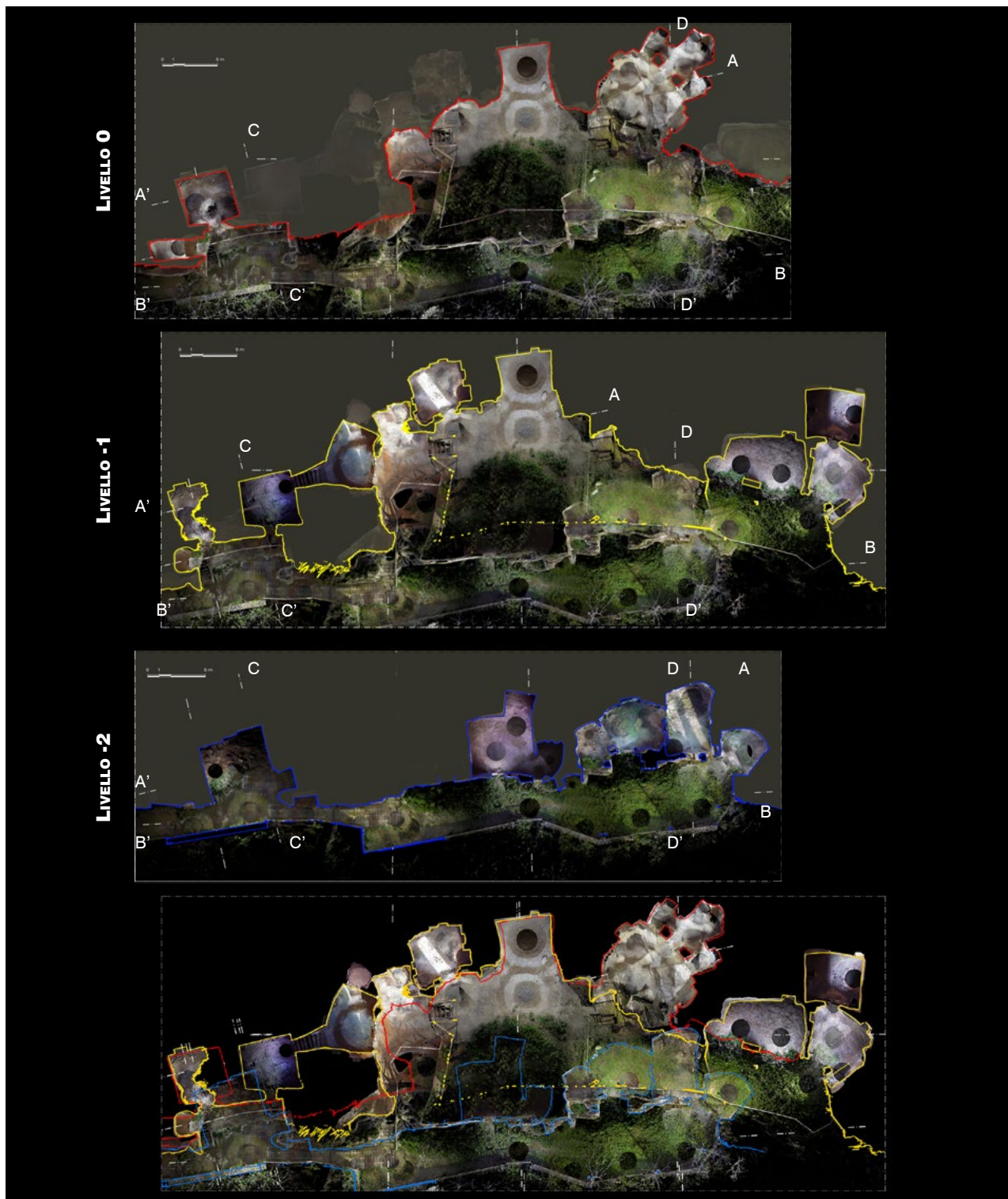
L'invaso che ospita la chiesa risulta essere privo dell'originaria facciata, certamente scomparsa in seguito ai crolli di notevoli tratti della parete calcarenitica, nella zona detta di San Biagio (R. CAPRARA, 2015), in seguito alle alluvioni del 1603 (Archivio della Collegiata di Massafra, Libri Baptiziorum, vol.3 c.168 v). La larghezza dell'ampio fornice d'ingresso è di, 8m e l'altezza massima di 4,5 m. il piano di calpestio appare irregolarmente abbassato a causa di interventi di scavo probabilmente dovuto all'uso delle grotte come cave di salnitro durante una delle fasi di abbandono del villaggio. (R. CAPRARA, 2015). Il soffitto piano, appare pressoché integralmente invaso da microrganismi che hanno danneggiato i dipinti del presbiterio. La chiesa è priva di narcece e quattro tombe sono scavate nel pronao, allo scoperto, formando un piccolo sepolcreto, probabilmente relativo ad un solo gruppo familiare. Elemento caratterizzante della chiesa, è l'imponente triforio che separa l'aula dal presbiterio. Il presbiterio è triabsidato, e sul fondo di ogni abside è situato un altare,



Vista planimetrica della gravina di San Marco estratta dal nuvola di punti (immagine elaborata da F.Tioli)

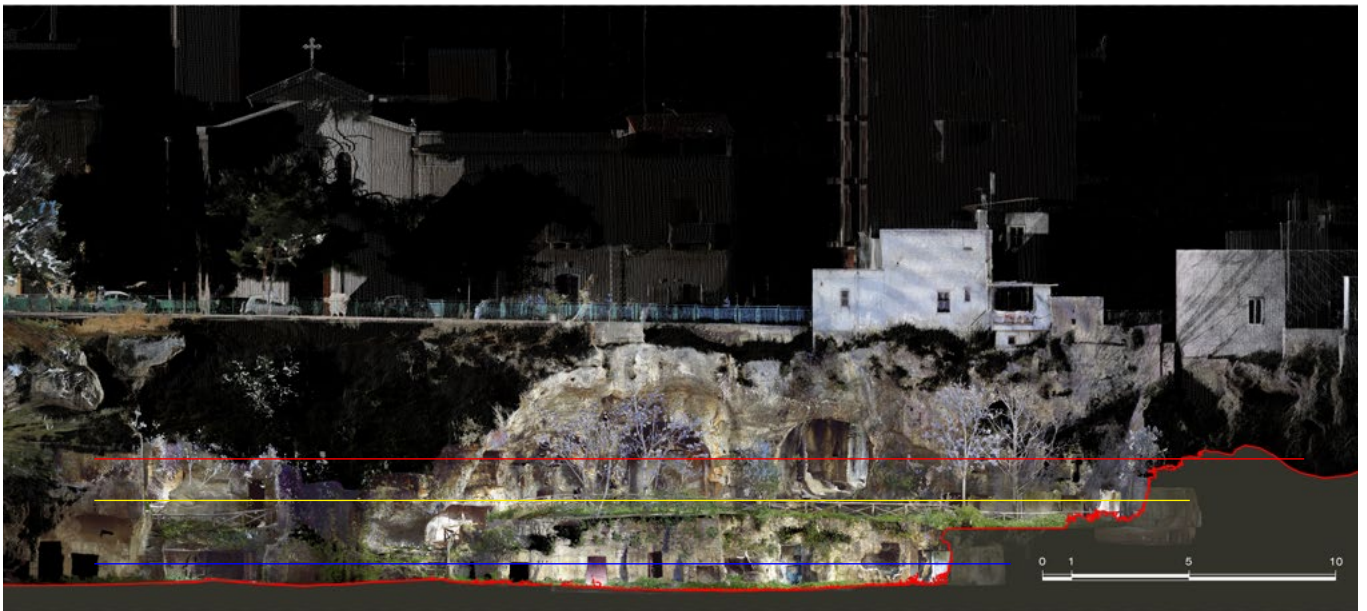


Sezioni trasversali della gravina di San Marco

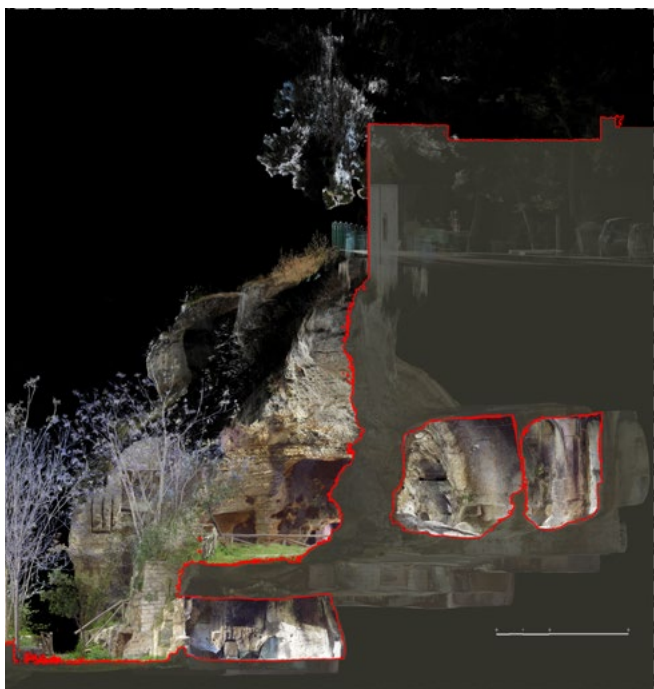




Sezione A-A'



Sezione B-B'

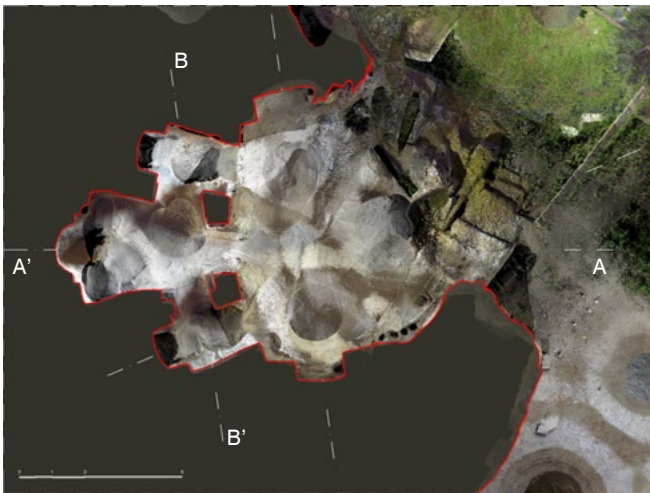


Sezione C-C'

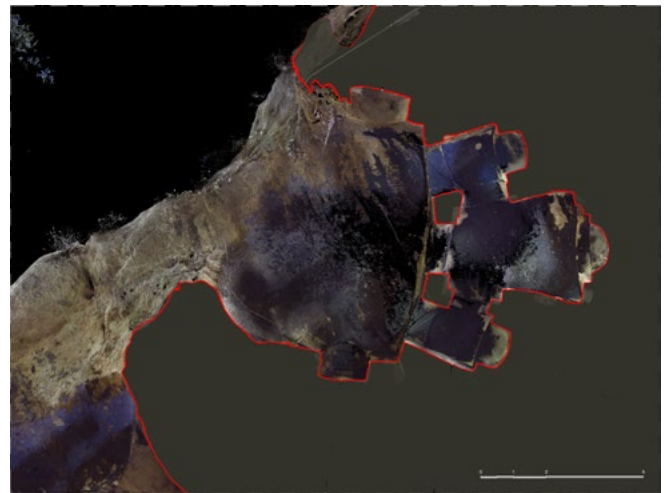


Sezione D-D'





Pianta della chiesa di Santa Maria



Proiezione del soffitto della chiesa di Santa Maria



Sezione A-A'



Sezione B-B'



di cui solo quello centrale è a dado, staccato dalla parete di fondo. La subalterità degli spazi limitrofi è facilmente leggibile anche dalla posizione rialzata della chiesa rispetto al resto degli ambienti posti sullo stesso gradone del terrazzamento. Questi ambienti, che circondano la chiesa, sono costituiti da piccole celle, affiancate l'una all'altra, e poste a quote differenti. Questa disposizione a quote sfalsate ha reso necessaria la realizzazione di numerose scale ricavate nella roccia, che mettono in comunicazione tra loro i locali posti su due livelli. Se risulta impossibile risalire con certezza alla funzione attribuita ad ogni singolo ambiente, per mancanza di elementi architettonici che ne aiutino la lettura, è possibile supporre che gli ambienti al livello superiore, lo stesso al quale è posta la chiesa, di medie dimensioni, fossero legate alla vita comunitaria e legate alla pratica del culto religioso, mentre gli ambienti posti al livello più basso, di dimensioni meno estese, fossero usate come semplici abitazioni.

All'estremo occidentale della porzione di villaggio da noi studiata, è interessante notare la presenza di due elementi particolari, il primo è rappresentato da dei tagli ricavati su di una parete rocciosa, delle fenditure verticali, che ricordano quelle degli apiari rinvenuti soprattutto in turchi, che consentivano l'accesso delle api all'interno di una camera dove avevano costruito il proprio alveare. Un'altra stanza particolare, è posta subito a fianco di queste aperture. Si tratta di un locale dalla particolare pavimentazione a gradoni, con dislivelli di circa 1 m. Questa conformazione potrebbe rappresentare una configurazione intermedia di scavo, si tratterebbe infatti di un locale non finito, dove gli scavi sono stati abbandonati prima della conclusione dell'opera.

Il rilievo della porzione di villaggio interessata dallo studio è stata effettuato per mezzo di due diversi Laser scanner 3D: un FARO Focus 3d ed un RIEGL vz400

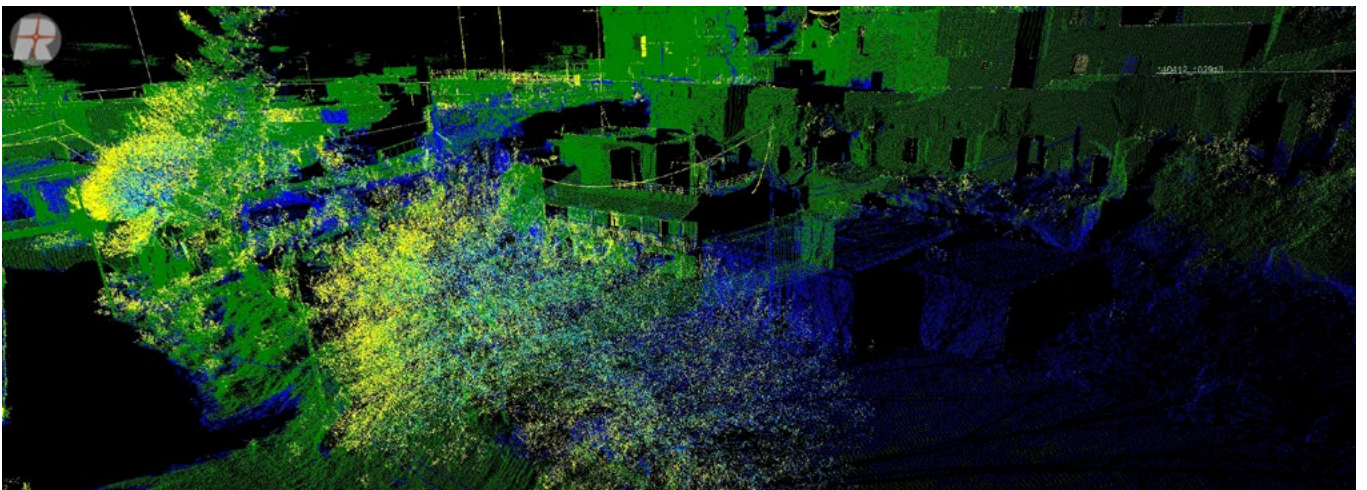
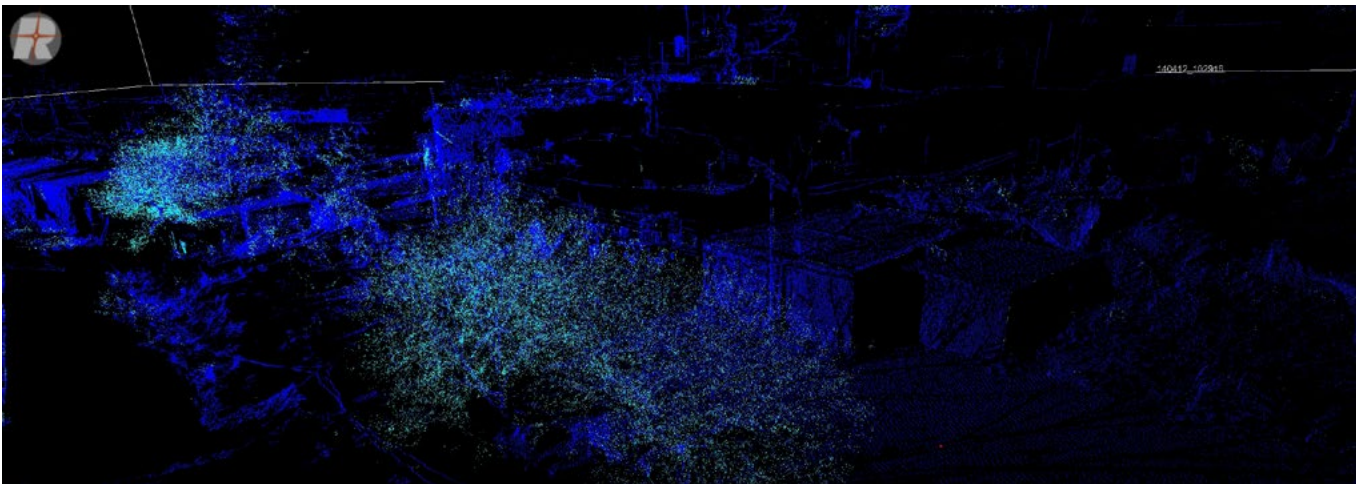
I due strumenti possiedono caratteristiche ben distinte. Mentre il primo, maneggevole, leggero e dalle caratteristiche tecniche utili al rilievo di ambienti piccoli e posti ad una distanza non superiore ai 30 m, è adatto al rilievo dei singoli ambienti scavati, il secondo riesce a misurare punti ad una distanza di oltre 500 m ed è quindi adatto a rilevare l'oggetto all'interno del paesaggio che lo accoglie. Un'altra particolarità di questo strumento è la capacità di misura della completa forma d'onda del segnale laser (full wave form) utilizzata negli scanner aviotrasportati è introdotta per la prima volta in un laser scanner terrestre, questo permette al VZ400 di superare molte delle zone di ombra dovute alla vegetazione. L'analisi

di questa architettura è infatti strettamente legata, non solo alle caratteristiche architettoniche della singola unità, ma anche alle caratteristiche della gravina in cui è stata realizzata. Fondamentale, nelle architetture rupestri e non solo, è la comprensione degli elementi architettonici, ma anche una lettura degli ambienti che le circondano. Inoltre, la doppia scala di rilievo mostra più facilmente le diverse stratificazioni urbane succedutesi nel tempo e mette in risalto il rapporto fra le architetture costruite sub divo e quelle scavate.



Fasi di rilievo con scanner Faro Focus3D

Pagina a fianco: differenziazione del segnale in Full Wave Form. Questo strumento è capace di frazionare il segnale laser che non colpisce interamente un oggetto. Il segnale è quindi in grado di rilevare più punti penetrando nella vegetazione. nell'immagine in alto sono rappresentati i punti determinati dal primo segnale di ritorno; al centro sono rappresentati i punti del secondo segnale di ritorno; in basso sono visualizzati tutti i punti rilevati. (immagini elaborate da F. Tioli)



2.2.3 CARATTERI GENERALI DELLE CAVITÀ COSTRUITE

Se i casi precedenti riguardavano architetture rupestri, “pure”, costituite esclusivamente da ambienti scavati nel sottosuolo, ricavati attraverso la sola sottrazione di materiale dalle pareti rocciose, o dal terreno, affronteremo ora una tipologia architettonica mista, dove l'intervento dell'uomo è andato oltre alla realizzazione di nuovi spazi nel sottosuolo ma è proseguita con l'aggiunta di nuove volumetrie costruite in superficie. Questa tipologia di edifici, ibridi, all'interno dei quali si passa senza soluzione di continuità da spazi costruiti tradizionalmente a grotte scavate delle rocce, è frutto di aggiunte e sovrapposizioni che si sono verificate frequentemente in quei luoghi dove l'abitare in grotta non è mai stato abbandonato. La parte costruita in superficie, rappresenta esclusivamente uno sviluppo naturale degli spazi sotterranei. Partito dall'occupazione di una semplice grotta, l'uomo ha poi scavato nuovi spazi per rispondere alle proprie esigenze, come la necessità di ambienti per svolgere le proprie attività, o la crescita del nucleo familiare. La natura del suolo, la lavorabilità delle rocce, ha poi favorito l'aggregazione di nuclei familiari, la fondazione di veri e propri villaggi, di società del sotterraneo. Gli insediamenti, hanno così avuto periodi di intenso sviluppo, sono cresciuti, si sono dotati di nuove infrastrutture, si sono estesi seguendo l'aumento dei propri abitanti. Il sottosuolo però, la formazione rocciosa adatta ad essere scavata, non è illimitata, non può essere erosa senza limiti. Inoltre è innegabile che lo sviluppo delle tecnologie del costruire si sono sempre più affinate e sviluppate, si sono semplificate e le hanno rese più convenienti, in termini di sforzo per la realizzazione e certamente di comfort degli spazi, rispetto al vivere in grotta. L'attrazione degli abitanti degli insediamenti rupestri, verso le tecniche costruttive per aggiunta, si è manifestata dapprima con la sistemazione dell'ingresso, spesso pregiudicato dal franamento del setto di facciata. Il passo successivo era costituito da un'intervento più complesso, con la creazione di un avancorpo di ingresso. Questo era rappresentato, generalmente, da una stanza con volta a botte avente tre lati costruiti e strettamente appoggiata alla

parete rocciosa dove è inserita la parte scavata. Alla realizzazione del primo volume in superficie seguivano generalmente, l'elevazione dello stesso, e l'aggiunta progressiva di nuovi ambienti che hanno contribuito alla creazione di costruzioni addossate alla parete rocciosa nella quale si apre l'unità rupestre, formando strutture in parte costruite ed in parte scavate (R. CAPRARA, F. DELL'AQUILA, 2008) e modificando decisamente il paesaggio e la percezione di questi nuovi villaggi. Esempi di questo fenomeno evolutivo delle architetture, sono presenti in numerosissime località, e certamente tra le più conosciute possiamo citare i “Sassi” di Matera, l'isola di Santorini in Grecia e molti villaggi dell'Anatolia Centrale, tra cui la cittadina di Ortahisar.



Paesaggio dell'isola di Santorini (foto di C. Crescenzi)

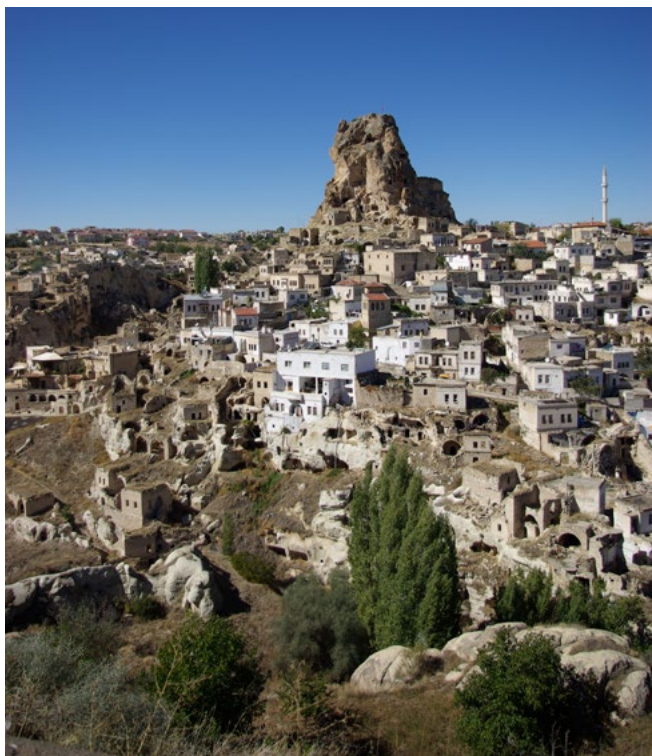
2.2.3.1 Le architetture scavate della Cappadocia, il villaggio di Ortahisar

Ortahisar è un centro di modeste dimensioni, appartenente alla provincia di Nevşehir, nella regione dell'Anatolia Centrale, in Cappadocia. Oggi la cittadina ospita circa 3500 abitanti, ed è situata nel limite sud-est del parco nazionale di Göreme, ad un'altitudine di 1200 m.

Il nome Ortahisar, può essere tradotto dal turco in “castello di mezzo”, questo è dovuto alla presenza, al centro dell'antico insediamento, di una imponente formazione rocciosa che si erge verticalmente per circa 100 metri e che l'uomo scavando ha trasformato in una fortezza, parte di un sistema difensivo e di controllo del territorio complesso ed organizzato. Il castello di Ortahisar infatti era collegato visivamente ad altre due strutture simili, quella di Uçhisar, in italiano “terzo castello” e Burgut kalesi, “castello di Burgut”, antico nome ottomano della città di Ürgüp. Il castello, oltre a rappresentare un particolare esempio di insediamento rupestre di superficie, denuncia una forte presenza di strutture scavate nel sottosuolo. Il territorio comunale di Ortahisar è effettivamente cosparso di architetture scavate, l'intero impianto dell'antico villaggio

si sviluppa lungo la valle di Selim Bağ che sprofonda a picco ai piedi del castello. Le pareti della valle sono entrambe scavate da ambienti di tutte le tipologie, dalle abitazioni ricavate sulla sponda esposta a Sud, alle numerose piccionaie scavate sul lato opposto, ma troviamo anche magazzini per le derrate alimentari, o ambienti per le attività artigianali. In questi spazi si è svolta la vita di un'intera comunità per un lunghissimo periodo e questo ha portato all'estensione degli spazi scavati verso l'esterno. All'ingresso delle grotte, sono stati realizzati delle strutture dai volumi semplici, costruiti in blocchi di tufo e dalle coperture piane sorrette da archi in pietra.

L'instabilità e la fragilità della roccia, se in un primo momento hanno reso possibile la realizzazione di questi monumenti scultorei ne ha poi decretato l'abbandono, infatti in seguito a numerosi crolli occorsi nel tempo, questa parte del villaggio è stata abbandonata per trasferire l'insediamento poco più a monte. I crolli, se da un lato hanno causato l'abbandono e il conseguente decadimento delle strutture, hanno lasciato la possibilità di investigare e capire come il villaggio si sia sviluppato inglobando le architetture scavate, le tecniche e le modalità con cui gli ambienti si siano ampliati in superficie.



Il villaggio di Ortahisar



La parete Sud della valle di Selim Bağ scavata da numerosi colombari



Esempio di architettura rupestre della valle di Selim Bağ

Mentre le architetture nelle immediate vicinanze del castello sono state abbandonate, altre poste più a nord, celano ancora al loro interno spazi ricavati nella roccia. Potremmo dire che quasi la totalità delle strutture che danno forma al costruito attuale del centro storico di Ortahisar, si siano sviluppate partendo da ambienti e strutture scavate nel sottosuolo. Data la forte presenza di strutture di culto in tutto il territorio, spesso gli ambienti inglobati dalle abitazioni racchiudono chiese finemente scolpite e decorate, ma che sono state profondamente modificate e trasformate dagli occupanti, variandone spesso la destinazione d'uso e trasformandone di conseguenza le volumetrie. Queste trasformazioni ed aggiunte, se pur spesso moleste, ed irrispettose del patrimonio culturale che hanno irrimediabilmente compromesso, fanno parte però di una nuova fase di vita degli edifici, che dopotutto non sono stati abbandonati, ma sfruttati per attività considerate più utili e necessarie allo svolgersi delle attività quotidiane.

Oggi a mio avviso questi oggetti architettonici rappresentano una particolare categoria di costruzioni, che deve essere analizzata nel suo complesso, studiando la parte antica e sotterranea, ma non sottovalutando la parte realizzata in superficie con tecniche tradizionali. Inoltre le strutture costruite in superficie, facendo parte di abitazioni private, hanno spesso nascosto complessi e di interesse storico e culturale, compromettendone uno studio accurato ed approfondito. Come nel caso del complesso di Sakli Kilise ed Ali Torun.



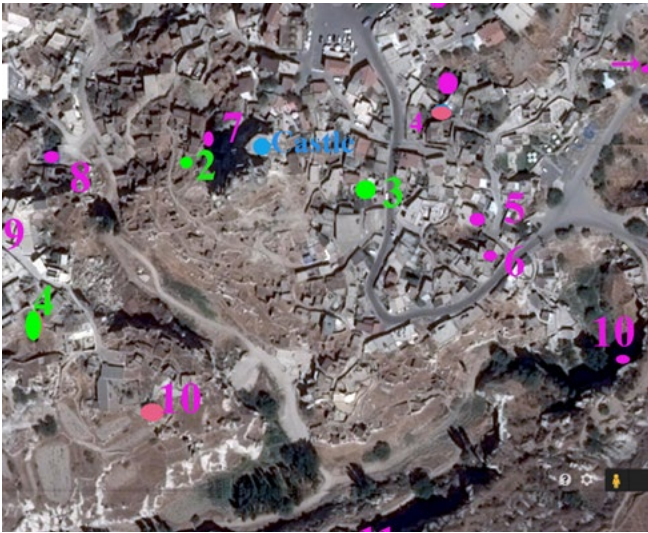
Architettura stratificata del centro storico del villaggio di Ortahisar

2.2.3.2 Il rilievo e la rappresentazione del complesso di Sakli Kilise ed Ali Tourun.

Lungo la strada che parte dal parcheggio municipale, ai piedi del castello, e conduce sul lato opposto della valle, si sviluppa il quartiere Eski/Atik (Eski/Atik mahalle). La stessa strada conduce sull'altro lato della valle, ma subito prima di attraversare il ponte, sul lato sinistro della strada, si apre una anonima porta metallica, che consente l'accesso all'interno di un muro di cinta in blocchi cementizi.

Una volta attraversata la porta ci troviamo in un piccolo cortile di un'abitazione privata. In un angolo del cortile è situato un piccolo locale di servizio e sul lato opposto, una stretta scala sprovvista di corrimano conduce ai locali dell'abitazione posti al primo piano. Sul cortile affacciano anche gli accessi dei locali posti al piano terreno, e ai piedi della scala, un varco immette in una camera coperta da una volta a botte sostenuta dagli archi. Sul lato opposto all'ingresso, una apertura consente l'accesso ad un ambiente straordinario, la Sakli Kilise (dal turco chiesa) o Gül Kilise. L'ingresso alla struttura sotterranea avviene da un'apertura ricavata sulla parete in fondo dell'abside sinistra, ed al termine di un breve tratto in discesa, creato ammassando pietre sbozzate, ci troviamo sul piano di calpestio di una chiesa a croce greca iscritta triabsidata dalle caratteristiche particolari.

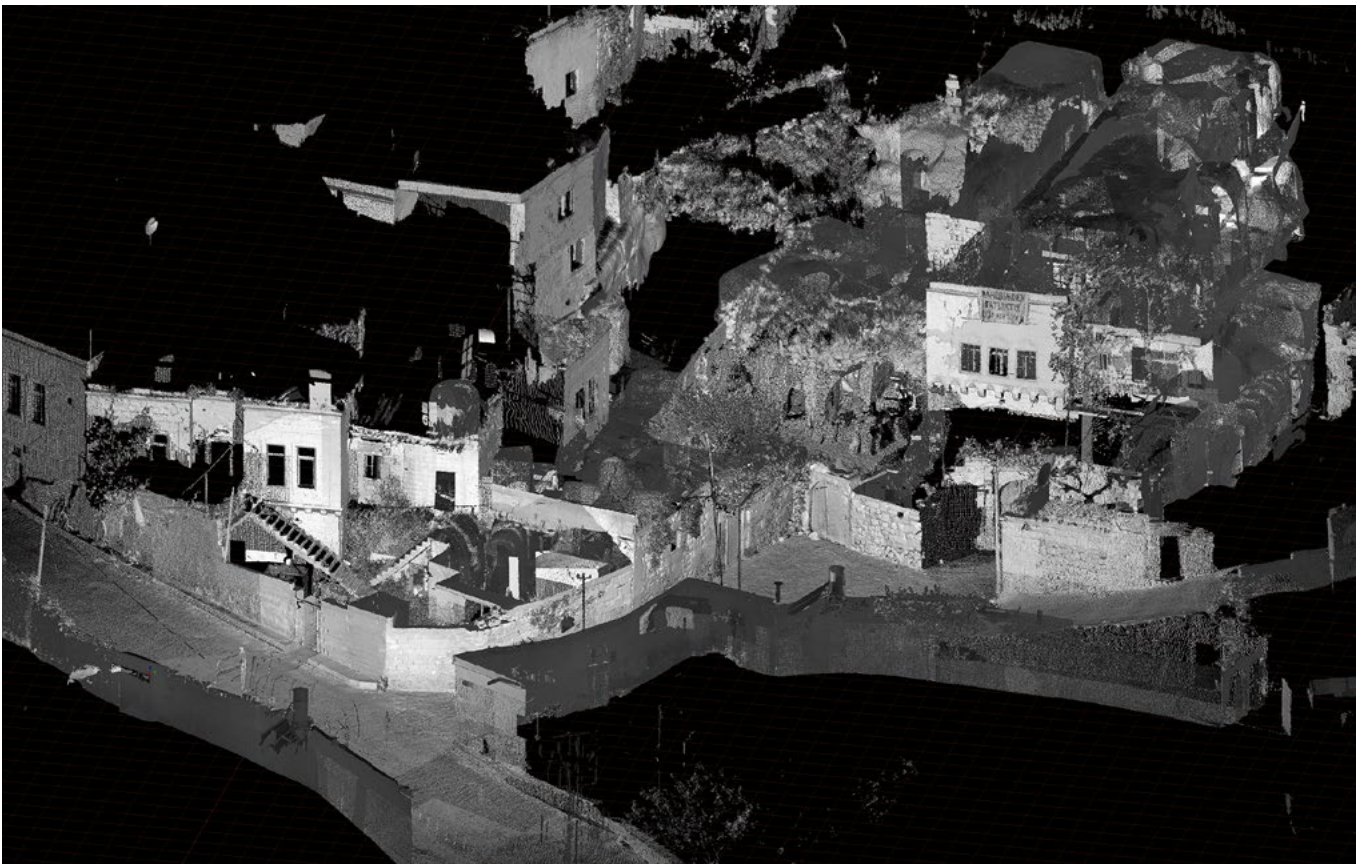
Le colonne che suddividevano lo spazio in nove campate pressoché quadrate (di circa 1.9 m di lato) non esistono più, sembrano essere state tagliate, ad un'altezza di circa 3 metri,



Mapa di Ortahisar con indicazione delle principali architetture scavate



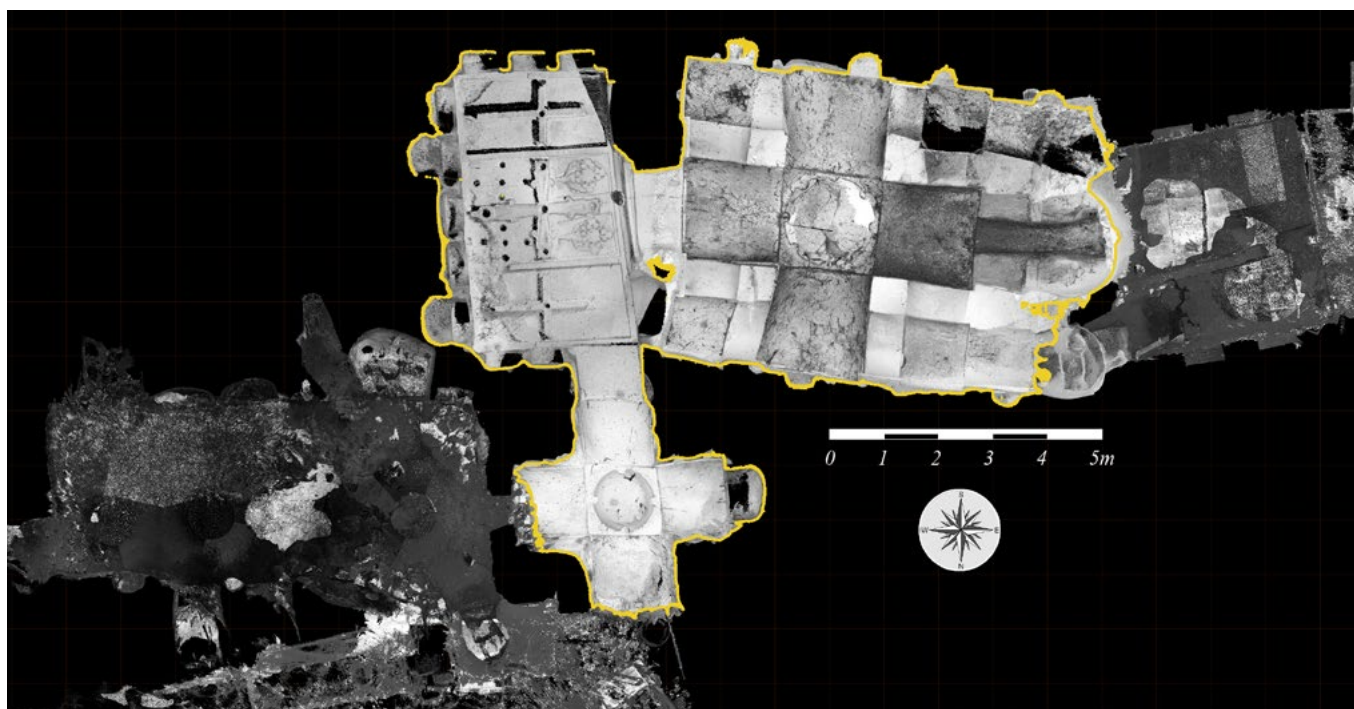
Ingresso della Sakli Kilise



Vista assometrica dell'esterno del complesso di Sakli Kilise ed Ali Torun Kilise, estratta dalla nuvola di punti con il software Leica Cyclone



Planimetria del complesso di Sakli Kilise ed Ali Torun Kilise, estratta dalla nuvola di punti



Proiezioni delle volte del complesso della Sakli Kilise

al di sotto dell'imposta degli archi angolari, e asportati per ricavare uno spazio più ampio.

La campata centrale è coperta da una cupola particolarmente slanciata, che raggiunge un'altezza di 8,47 m. Questa risulta essere molto più alta delle volte a botte che coprono i bracci trapezoidali della croce greca che con una sezione conica, leggermente strombata verso l'interno, hanno un'altezza massima di circa 5,70 m. La cupola centrale ha una base quadrangolare, dei pennacchi triangolari sembrano sostenere una cornice dal perimetro ottagonale e caratterizzata dalla presenza di mensole. Sull'intradosso degli archi angolari sono ancora visibili dei residui di linee rosse che decoravano l'aula, simulando dei blocchi di pietra. Probabilmente questa decorazione proseguiva su tutte le volte come nei casi di alcune chiese della valle di Göreme o la "chiesa dei 4 Diavoli" nella valle delle Spade (Kılıçlar vadi).

L'abside centrale, è preceduta da un passaggio voltato (arco trionfale) lungo 0,9 m e largo 1,95 m, e la parete di fondo risulta oggi essere completamente distrutta così come quello delle absidi laterali, mentre il *diaconicon* è stato completamente sostituito dalla costruzione in opera muraria.

Sulla parete ovest, nella campata centrale una apertura larga

1,7 m conduce nel narcece

Il narcece è costituito da un'aula rettangolare di 5 m per 2,8 m ed un'altezza di 2,41 m. La parete est è stata parzialmente distrutta e rimaneggiata, ma si scorgono ancora le tracce dell'ingresso, circondato da una cornice geometrica, e affiancato da due archi. Nella parete ad ovest sono ricavate cinque nicchie, altre tre sono scavate sulla parete a sud, mentre quella ha nord a due nicchie cieche affiancate dal passaggio che conduce nella cappella laterale.

Le nicchie del narcece sono dotate di *subsellium*, scavato ad un'altezza di 20 cm, e sono racchiuse da archi oltrepassati ed incorniciati. La copertura piana di questa aula è suddivisa in tre riquadri che ospitano altrettante croci in basso rilievo. Le croci laterali hanno una forma semplice, un doppio profilo e una piccola cuppella scolpita all'incrocio dei due bracci. La croce centrale è scolpita con molta cura e complessità. Un cornice con piccoli elementi floreali circonda i bracci trapezoidali, decorati da elementi triangolari e cuppelle disposte agli estremi dei bracci ed al loro incrocio.

La croce è circondata da quattro pannelli, i due ricavati nella parte alta contengono due croci dai bracci polilobati, mentre i due posti in basso un'ideale croce è definita da cinque cuppelle



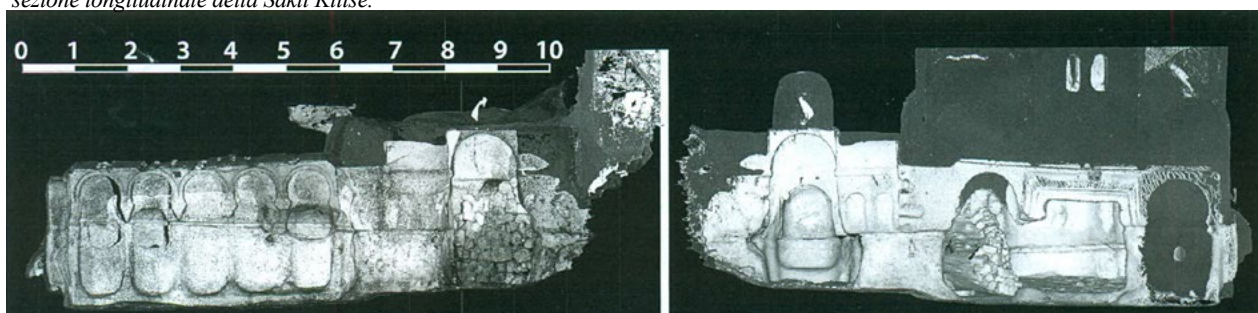
Sezione prospettica della Sakli Kilise



La croce scolpita che decora il narcece della Sakli Kilise

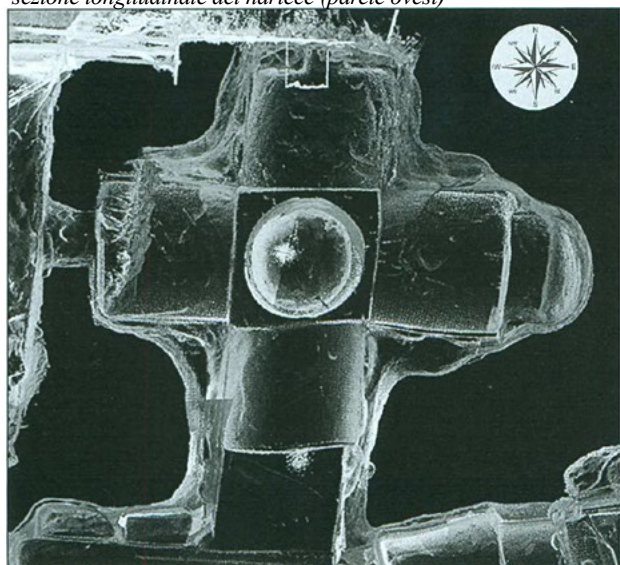


sezione longitudinale della Sakli Kilise.

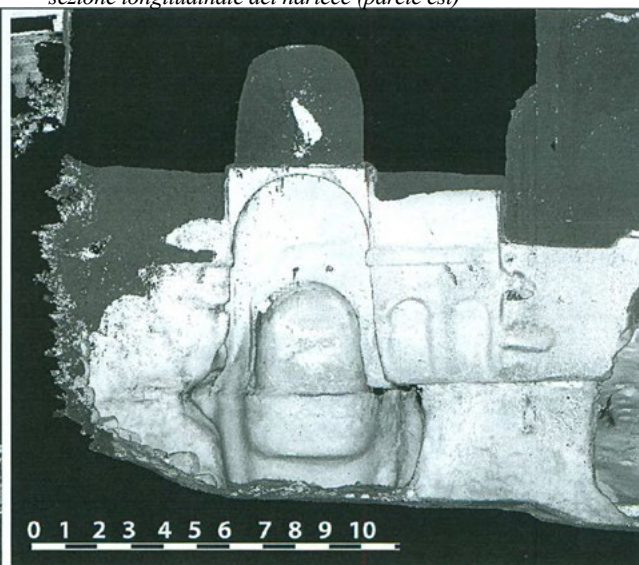


sezione longitudinale del narthex (parete ovest)

sezione longitudinale del narthex (parete est)



vista planimetrica della cappella laterale



sezione della cappella laterale. (parete est)



Ingresso al complesso della Ali Torun Kilise

le. (R. BIXIO, A. DE PASCALE, 2012)

Il passaggio ricavato nella parete nord del narcece, conduce in un piccolo vano con pianta a croce greca, inscrivibile in un quadrato di lato 3.9 m, ed un'altezza di 2.51 m. la cappella è dotata di una piccola abside ampia 0.84m e profonda 0,81 m, orientata ad est. Sulle pareti sono ancora visibili delle nicchie gemellate, mentre la campata centrale, dalla pianta quadrangolare, 1,07 m x 1.06 m, è coperta da una cupola emisferica alta 0,47 m. la cupola si imposta su di un tamburo dal diametro 0.96 m ed alto 0,45 m decorato da una piccola cornice circolare.

Il braccio settentrionale è tamponato da opere in muratura che occludono un passaggio al termine di una piccola rampa che conduceva al cortile situato sul nord del complesso; il braccio Ovest comunica attraverso una piccola apertura con un vano quadrangolare di 7.9 m x 2.8 m posto ad un'altezza di 1,18 m superiore a quello della cappella; anche questo passaggio è bloccato da delle pietre accatastate, pertanto è difficile stabilire se si tratta di un passaggio originale o se sia stato ricavato in seguito. Le numerose modifiche e d'interventi dell'uomo hanno infatti compromesso molti degli



Interno della Ali Torun Kilise

elementi architettonici, e rendono complessa una lettura accurata dell'organizzazione originale del complesso. Questi passaggi e collegamenti con altri vani posti lateralmente e un collegamento diretto con il cortile retrostante, lasciano pensare che questa chiesa facesse parte in realtà di un complesso monastico più esteso rispetto alla sola Sakli Kilisee che questi locali fossero sfruttati per la vita monastica e funzionassero da collegamento interno con un'altra chiesa posta poche decine di metri a nord-ovest.

Fuori dalla Sakli Kilise, nello spiazzo che chiude la stradina a sinistra, un alto muro con un arco d'ingresso molto curato, chiude il cortile da cui si accede ad un'abitazione privata. Anche in questo caso il cortile ospita alcuni locali di servizio e funziona da snodo di distribuzione ai vani dell'abitazione. Una stretto passaggio voltato, ricavato a si sotto della scala che conduce al primo piano, si giunge in uno spazio in parte scavato ed in parte costruito in muratura. All'intero di questo ambiente, sulla parete sud, si apre un varco che conduce all'interno della chiesa

La chiesa, di particolare bellezza e maestosità, è a navata unica circa (5.3 x 15.2 x h. 6.8 m) ed è dotata un apparato decora-



proiezione delle volte della Ali Torun Kilise

tivo architettonico notevole. Purtroppo, anche in questo caso, il riuso improprio della struttura, la poca cura, e le infiltrazioni d'acqua ne hanno compromesso lo stato di conservazione ed oggi si trova in pessime condizioni.

La copertura della navata è piana ed il suo corpo è libero da qualsiasi costruzione che occluda la facciata in roccia, mentre la parte absidale è ubicata sotto la strada.

L'altezza è divisa su due registri, quello in basso è partito con nicchie cieche con passo doppio rispetto al registro superiore. Alla base si notano tracce residue di un *subsellium* e di un ulteriore alzato (cm. 22.5), da cui parte il dado di ciascuna parasta.

Le paraste (h 3.3 m) sembrano costituite: da un dado (h. 54.2 cm) la cui larghezza sembra raccordarsi con il piano delle cornici che racchiudono le nicchie, base (h. 21.6 cm); fusto, da un listello (17,2 cm) decorato da triangoli verdi bordati di rosso che racchiudono rombi in roccia a vista; da un capitello geometrico (49.1 cm). Il capitello ha il fondo piano con una cornice in basso rilievo, sui lati concavi è ornato nel centro con piccole volute. La decorazione è in verde.

L'insieme del capitello ricorda una croce stilizzata. Elementi simili, anche se più dettagliati, si trovano come decorazione nel soffitto della chiesa aniconica di Balkan. Le paraste architravate dividono in 6 parti le pareti longitudinali. Gli interassi hanno una luce variabile da 1.95 a 2.4 m; la profondità complessiva è di 73.9 cm costituita: dallo spessore della parasta; da quello della doppia cornice che è decorata da triangoli

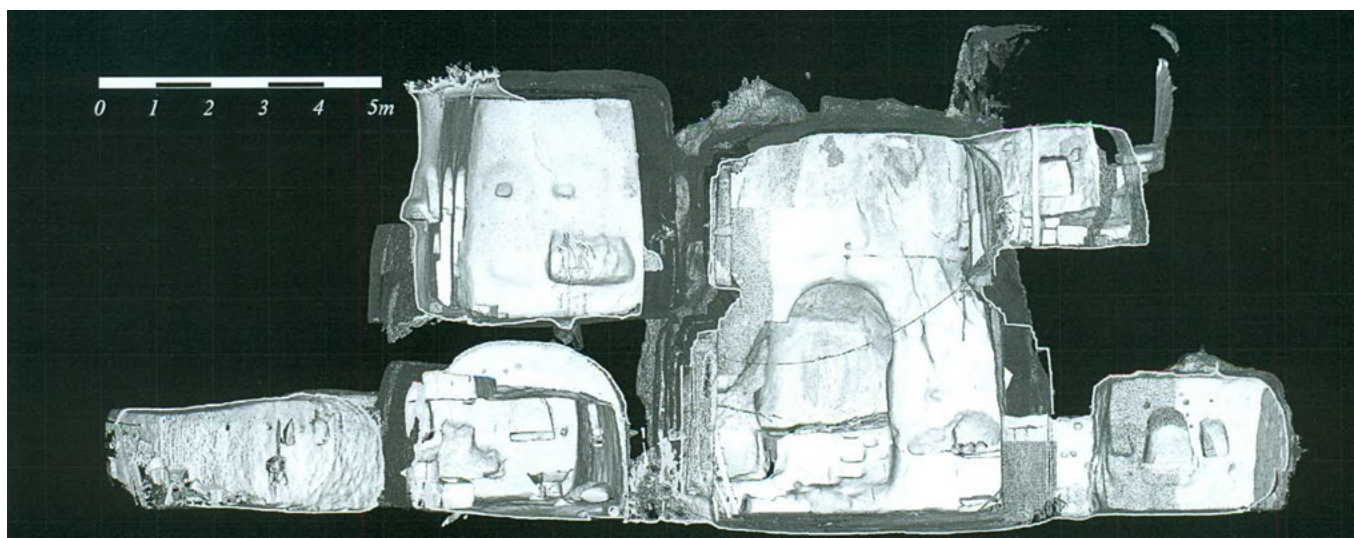
fino all'altezza dell'imposta della nicchia; e dalla profondità della nicchia di fondo, questa è chiusa in sommità da un arco chiuso da una ghiera decorata con rombi verdi.

In due di queste nicchie, nelle penultime che si fronteggiano verso la parete di fondo Est-Sudest, sono collocati gli attuali due ingressi della chiesa.

L'importante cornice di trabeazione divide le due parti della parete. La lettura degli elementi è di difficile lettura. Essa è costituita, elencando dall'alto verso il basso da: una fascia decorata con triangoli opposti, neri, e evidenziati con una linea a doppia scanalatura, in rosso, su cui si imposta l'ordine superiore; listello; gola diritta decorata con doppia merlatura nera; gola diritta (oppure fascia convessa) e listello monocromo; fregio (listello) decorato con losanghe.

Ciascun riquadro del registro superiore accoglie nicchie gemellate e cieche; i loro archi poggiano su piccoli capitelli. Le paraste sono sormontate da una trabeazione più semplice che decora il soffitto piano. Le paraste sono composte da un dado, fusto con angoli tagliati e capitello. Su un dado si legge un clipeo con croce di S. Andrea; tutti gli elementi architettonici erano decorati

La parete Est-Sudest, all'interno, è architettonicamente rilevante. Nel registro superiore, si trovano tre ampie aperture, di diversa larghezza, divise da pilastri. Le pareti sono tagliate in diagonale sugli angoli. Nell'angolo a dx troviamo un'apertura murata; sulla sx la parete è stata aperta ed è possibile vedere un piccolo vano con nicchia. Il suo affaccio sull'aula



sezione prospettica del complesso della Ali Torun Kilise

è protetto da una ringhiera. A questo livello si accede dalla scala esterna e attraversando ambienti costruiti e rupestri. Si può ipotizzare un possibile matroneo.

La cornice fra i due registri è simile a quella già descritta fino al penultimo elemento in basso.

Immediatamente sotto alla cornice, la parete (larghezza 5.15 m) è divisa in quattro parti asimmetriche. Partendo da dx verso sinistra troviamo:

un riquadro chiuso da una cornice (esterno 119 x h 149.5 cm; interno 88.5 x h 119 cm) con una croce di S. Andrea; nei suoi pannelli triangolari erano rappresentati dei clipei, è ancora visibile il clipeo a destra, di 25.91 cm con croce anagrammatica e potenziata.

Un riquadro (esterno 154.5 cm ; interno 127 cm; l'altezza non è leggibile, probabilmente è simile alla croce di S. Andrea) che incornicia una bifora. Questa ha uno stipite alto 70.5 cm, un capitello di 8.75 cm, un arco rialzato di 26.5 cm e incorniciato con stipiti e cornici decorati con linee a dente di cane; fra le cornici delle due finestre si trova una piccola lesena con capitello. La cornice esterna è decorata con triangoli contenenti un punto al centro; un pannello di 42 cm divide il pannello descritto da un secondo pannello anch'esso con bifora. Questo termina quasi a ridosso della parete; è presumibile che non vi fosse un secondo riquadro con croce. Non essendo possibile leggere altri segni di dedica, oltre alla croce nel riquadro a destra, la chiesa potrebbe essere dedicata a S. Andrea.

La superficie al disotto degli elementi descritti è molto compromessa. Una struttura in muratura chiude l'accesso originale. Questo era posto nel centro della parete (dimensioni ipotizzate: 1.4 x 2.1 m). A sinistra della parete si nota una seconda apertura murata con stipite ed arco, a due conci, in pietra tagliata. All'altezza della soglia residua un gradino, probabilmente parte del subsellium originale.

La parete Ovest - Nord Ovest è praticamente distrutta; l'apparato delle eventuali absidi è di difficile lettura; tuttavia si potrebbe ipotizzare un abside centrale con nicchie laterali.

Anche in questo caso la lettura degli elementi architettonici e la comprensione del sistema distributivo originario è compromesso dalle numerose manomissioni da parte degli abitanti dei proprietari di questi spazi. Attraverso il rilievo è dunque possibile effettuare delle ipotesi su come il complesso era organizzato in origine e permette di capire meglio la disposizione degli ambienti e la relazione tra spazi adiacenti siano essi spazi chiusi nella roccia o spazi aperti. È da notare come molte delle aggiunte murarie apportate in queste strutture, come i tamponamenti delle porte d'ingresso o le occlusioni di alcuni passaggi sia da imputare al cambio di proprietà di alcuni ambienti che spesso ha portato al frazionamento fra i vari eredi. Ad esempio queste strutture, un tempo probabilmente parte di un unico complesso, risultano oggi divise tra tre distinti proprietari, che hanno provveduto ad una suddivisione anche degli ambienti sotterranei, compromettendone una lettura immediata.

NOTE

1 Il rilievo della chiesa di Beta Giyorgis a Lalibela si è svolto durante un viaggio di studio nelle regioni settentrionali dell'Etiopia. Nell'aprile del 2014. a tale proposito ho già pubblicato un articolo nel quale si indaga sulla documentazione storica del complesso e si espongono i rilievi effettuati (C.GIUSTINIANI, 2015)

2 La missione di rilievo al complesso di Santa Marina si è svolta nell'ambito del progetto CHRIMA-cinp nell'aprile 2014. Alla missione coordinata dalla prof. C.Crescenzi hanno partecipato il prof. M.Scalzo, F.Tioli, L.Da Frassini, G.M. Masotti

3 Il rilievo del complesso della Sakli kilise ed Ali Torun kilise si è svolto nell'ambito del progetto CHRIMA-cinp nel settembre 2013. La missione di rilievo è stata coordinata dalla prof. C.Crescenzi ed hanno partecipato il prof. M.Scalzo, il prof. G.Verdiani, A.Pasquali, T.Pignatale, A.Leonardi

4 Nel territorio di Massafra ne sono state censite oltre 300

5 Capitale dell'attuale Eritrea.

6 Regione posta nell'area centro-meridionale del territorio etiopico

7 L'evoluzione del regno di Aksum viene convenzionalmente suddivisa in 4 periodi: pre-aksumita (700-400 a.C.); proto-aksumita (ca 400-150 a.C.); aksumita (150-700 d.C.); post-aksumita (ca. 700-1000).

8 Regione settentrionale dell'attuale territorio Etiopico. popolata principalmente da popolazioni di etnia tigrina. La sua capitale è Macallè

9 Regione dell'Etiopia centro-settentrionale abitata in maggioranza da popolazioni di etnia Amara. La sua capitale è Bahir Dar

10 Il lingua tigrina *wkro* sta per "struttura scavata nella roccia". In amarico *wassa* (D.W Phillipson 2009)

11 Principale chiesa in Etiopia e la più largamente professata (40-45 milioni di fedeli). Fondata nel II sec. dall'abuna San Frumenzio e nata con la conversione del re aksumita Ezana (325-356 d.C.) al cristianesimo

12 Il torrente principale è denominato Yordanos, rispettando la simbologia usata per creare il complesso che doveva rappresentare una seconda Gerusalemme, un nuovo luogo di pellegrinaggio, dopo che Gerusalemme era stata conquistata da Salah-ad-Din (1187)

13 Le coperture sono state realizzate nel 2006 in seguito ad una proposta dell'UNESCO del 1999 che prevedeva interventi temporanei di una durata di 10 anni

14 Circa novanta comuni su 131 conservano importanti testimonianze della cultura rupestre.



CAPITOLO 3

LA CASA-MUSEO DI MIMAR SINAN AD AĞIRNAS

3.1 INQUADRAMENTO STORICO E TERRITORIALE

Le aree di Göreme, Ortahisar e della provincia di Nevşehir non sono però le uniche dell'Anatolia centrale, nelle quali la concentrazione di architetture rupestri è molto significativa. Le città sotterranee di Derinkuyu e di Kaymaklı, benché siano le più famose, e probabilmente le più estese e affascinanti per lo sviluppo dei loro numerosi livelli sovrapposti che penetrano nel tenero tufo, non sono le sole città sotterranee presenti nella regione cappadoce. Infatti sono state rinvenute più di 200 altre strutture sotterranee sparse nei territori di Nevşehir, Kayseri ed Aksaray (R. BIXIO, 2002; R. BIXIO et al, 2012; A. AYHAN, 2004). Inoltre, mentre le aree limitrofe alla famosa cittadina di Göreme sono state largamente studiate ed analizzate, molte altre città sotterranee, in aree periferiche rispetto al centro dichiarato Patrimonio dell'Umanità nel 1985, non sono ancora state indagate e comprese. Infatti, spesso si ha difficoltà a comprendere l'uso originario di questi ambienti, e ancor più complesso è capirne l'esatta datazione o l'originaria organizzazione planimetrica nelle prime fasi di uso o il puntuale evolversi dello scavo e degli usi nel tempo. Molteplici sono le motivazioni che rendono difficoltoso lo studio di queste architetture; esse sono dovute sia all'incuria e all'abbandono di questi villaggi, con il progressivo deterioramento delle rocce all'interno delle quali sono state scavate, sia, in altri casi, a fattori diametralmente opposti, ovvero al costante uso nel tempo degli ambienti sotterranei, e alle modifiche delle strutture originali per adattare alle funzioni sempre diverse. In tempi recenti anche nel territorio di Kayseri, a cui fa capo il centro di Ağırnas, sono stati intrapresi alcuni studi che hanno portato ad effettuare dei primi rilievi ed ipotesi su varie strutture sotterranee (YAMAÇ A. et al., 2015b). Alcuni esempi sono: la città sotterranea di Catalin, situata nella provincia di Gesi, nella Valle di Değirmenderesi, organizzata su tre livelli; sul lato opposto della stessa valle si trova la città sotterranea di Penziklı con 22 stanze organizzate su due livelli; la città di Asarkaya (R. BIXIO et al 2012; YORUKOĞLU 1990), situata lungo la strada tra Kayseri ed il monte Argeus, che si sviluppa su cinque livelli; altre interessanti testimonianze di architetture scavate si trovano lungo le



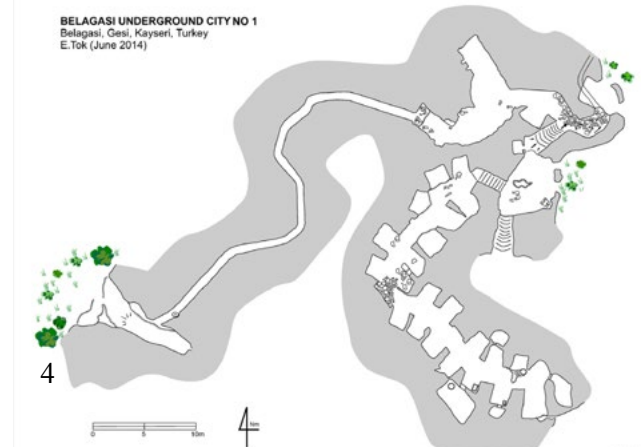
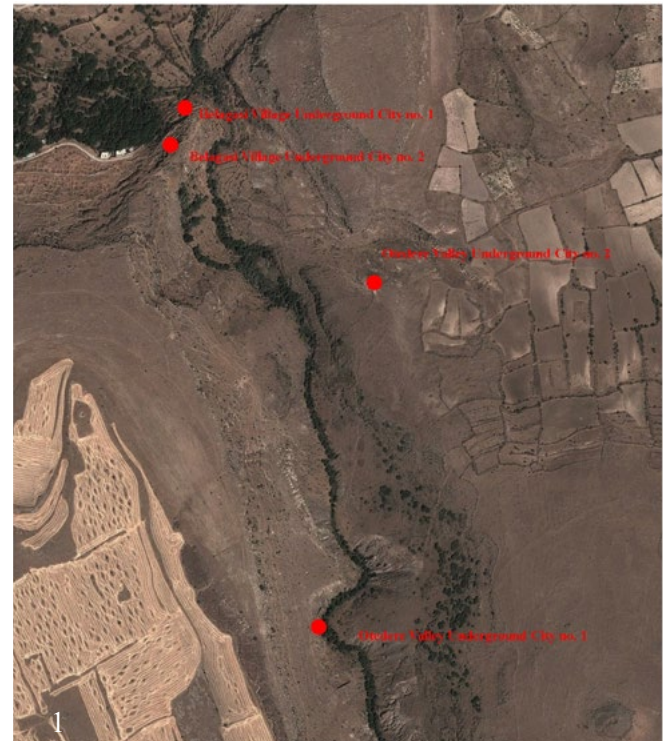
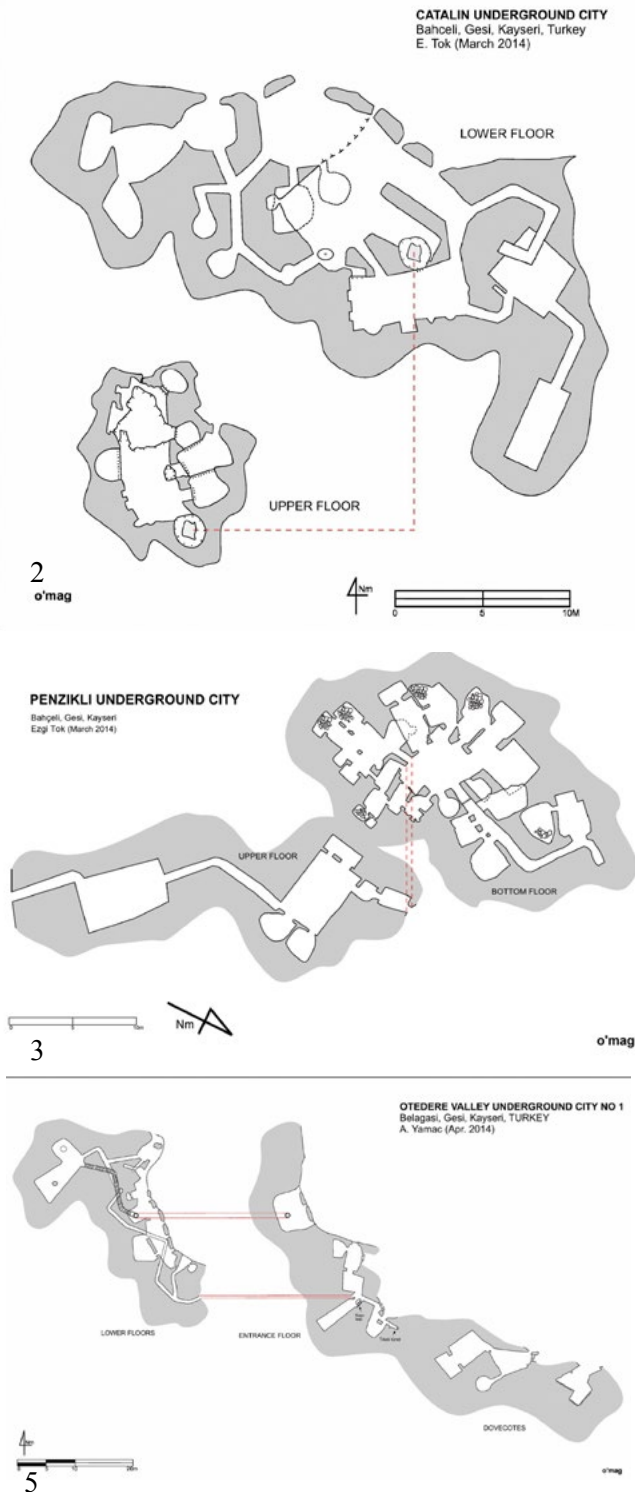
Mappa della Turchia con evidenziata la posizione della città di Kayseri



Mappa del territorio nord-orientale della provincia di Kayseri. sono state evidenziate la valle di Otedere e la valle di Değirmenderesi



Mappa della valle di Değirmenderesi con ubicazione delle città sotterranee di Catalin e di Penziklı. (Yamaç A. et al 201b)



1. Mappa della valle di Otedere con ubicazione delle città sotterranee di Otedere n.1 e n.2 e di Belagasi n.1 e n.2 (Yamaç A. et al 201b)
2. Rilievo della città sotterranea di Catalin eseguito da E.Tok nel marzo 2014 (Yamaç A. et al 201b)
3. Rilievo della città sotterranea di Penzikli eseguito da E.Tok nel marzo 2014 (Yamaç A. et al 201b)
4. Rilievo della città sotterranea di Belagasi n.1 eseguito da E.Tok nel giugno 2014 (Yamaç A. et al 201b)
5. Rilievo della città sotterranea di Otedere eseguito da A.Yamaç nel aprile 2014 (Yamaç A. et al 201b)

parti della valle di Otedere, e sicuramente molte altre strutture verranno riscoperte e studiate in tempi futuri .

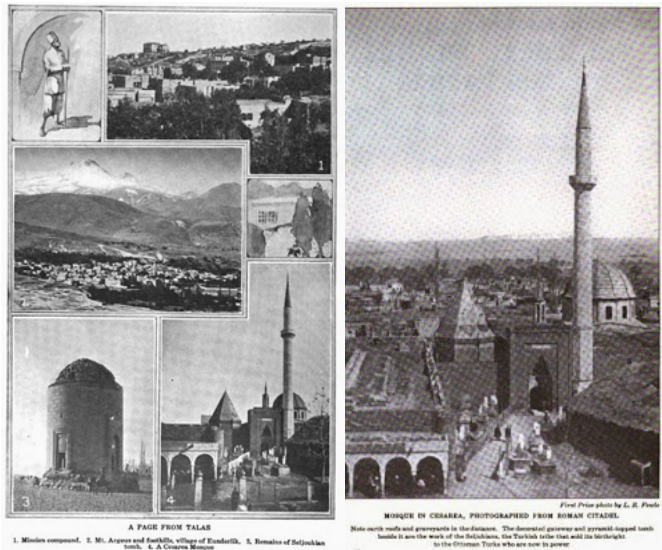
La presenza di molte strutture e villaggi sotterranei è probabilmente legata alla storia millenaria di questa città; centro commerciale sulla via della Seta, fu sede di importanti insediamenti sin dal IV millennio a. C., ha visto avvicinarsi numerose civiltà, come quella degli Assiri (II millennio a. C.) e degli Ittiti, testimoniate altresì da numerose tavolette scritte con caratteri cuneiformi di entrambe le culture, ritrovate nei siti archeologici nelle aree limitrofe al centro odierno.¹

L'attuale centro abitato si Kayseri, è probabilmente di fondazione ellenistica, quando era conosciuta con il nome di Mazaka o Eusebia all'Argaios. In Seguito la città venne conquistata dall'imperatore Tiberio (42 a. C - 37 d. C), ed in suo onore venne denominata Cesarea. Raggiunse il suo massimo splendore nel III secolo quando divenne capitale della provincia romana di Cappadocia. Nel 260 d. C. fu conquistata e distrutta da parte del re persiano Sapore I (ca. 215 - 272).

Nel IV secolo, sotto il regno di Costantino I, sembra avesse il nome di Eusebia, da Eusebio di Cesarea (ca. 265 - 340) consigliere dell'imperatore. Dopo l'abbandono della città romana, il monastero basiliano, ivi fondato da san Basilio Magno (329 - 379), divenne il nucleo della città bizantina e, durante la dominazione dell'imperatore Giustiniano (482-565), uno dei centri più importanti centro dell'impero oriente: tornò ad essere denominata Cesarea di Cappadocia divenendo sede del patriarcato di Costantinopoli². Tra il VII e il IX secolo Cesarea subì le incursioni arabe, nel 1084 venne poi conquistata dal sultano selgiuchide Alp Arslan (1030 - 1073). In seguito, a metà del 1200, fu invasa dai Mongoli. Nel 1397 fu conquistata dal sultano ottomano Bayazid I (1360 - 1403), per essere ceduta dopo pochi anni, 1402, all'emirato di Karamanid e per passare ancora, nel 1419, nelle mani dei mamelucchi. Infine, nel 1515 tornò a far parte dell'impero ottomano. Kayseri è



Vista della Kayseri attuale, 2014. A destra la fortezza di epoca bizantina, a sinistra la Bürüncüz Camii (foto di M.Scalzo)



Viste di Kayseri 1912 (destra) e la moschea Hunat Hatun 1914 (sinistra) (foto estratte da <http://tarihiKayseri.blogspot.it/m=1>)

Vista panoramica del sito archeologico di Kültepe (foto di C.Crescenzi)





Mappa della valle di Akbin e le aree limitrofe ad Ağırnas



Mappa del villaggio di Ağırnas



La casa-museo di Mimar Sinan nel villaggio di Ağırnas

Vista del villaggio rupestre nei pressi di Ağırnas (foto di C.Crescenzi)



dunque da sempre un importante centro sia commerciale che religioso, e non deve quindi stupire la presenza di numerosi monumenti ed insediamenti risalenti a diversi periodi nelle aree limitrofe all'attuale centro abitato e nella sua estesa provincia.

3.1.1 Il villaggio di Ağırnas

Lo studio, infatti, focalizza l'attenzione su uno di questi piccoli centri delle aree periferiche di Kayseri, Ağırnas, villaggio della provincia di Kayseri è molto interessante per la grande concentrazione di strutture scavate nella roccia.

Ağırnas attualmente è un piccolo centro, posto al confine dell'area metropolitana di Kayseri, circa a 20 chilometri in direzione nord-est dal centro della città. Il territorio dove sorge il villaggio è caratterizzato dalla presenza della profonda valle di Akbin, che si sviluppa per alcuni chilometri in direzione est- ovest. A monte, sul promontorio che si affaccia sulle propaggini di questa frattura naturale della terra, sorge il villaggio di Ağırnas. La data di fondazione di questo piccolo centro non è a noi nota. La struttura urbana del villaggio mostra sicuramente due zone ben distinte, il villaggio più recente, che si sviluppa verso nord, ed il centro più antico che si sviluppa sul fianco sud del ramo a Nord della valle. E' la valle stessa infatti la sede del primo insediamento, come spesso accadeva nell'antichità, quando si sfruttava la morfologia del territorio per ricavarne i massimi benefici in termini di esposizione solare, approvvigionamento di acqua, ma anche protezione da eventuali invasioni ed attacchi da parte di popoli nemici. A testimoniare la presenza di antichi insediamenti, lungo la valle, a circa 700 metri ad ovest, rispetto al centro attuale, sono presenti decine di ambienti scavati nel tufo e il borgo sotterraneo fortificato di Cehrilik. Nel fronte N-O e S-E della valle si trovano edifici scavati di grandi dimensioni con quattro chiese distribuite lungo il percorso urbano per circa 2

km. Questi spazi, oggi completamente abbandonati, rappresentano probabilmente le strutture del primo insediamento. A causa dell'incuria, delle continue trasformazioni apportate ai vari ambienti per assolvere a funzioni sempre diverse nel corso dei secoli passati, ma anche dell'erosione delle superfici rocciose causata dagli agenti atmosferici, è difficile datarli, a volte impossibile, anche con attenti studi archeologici, essendosi mantenuti invariati nel tempo sia gli strumenti che le tecniche di scavo.

Possiamo comunque ipotizzare che i primi edifici del centro abitato a noi giunto, siano stati realizzati lungo i margini della valle, per poi svilupparsi verso nord. Ovviamente nessuna traccia rimane dei primi edifici realizzati nel villaggio, e le costruzioni più antiche a noi pervenute risultano essere state erette tra il XVIII ed il XIX secolo (COMERT, 2008). Uno degli edifici più antichi e significativi, dal punto di vista storico, dell'intero villaggio è rappresentato dalla chiesa di Agios Prokopios, una chiesa Cattolica Armena situata al confine tra l'antico nucleo abitativo e il nuovo centro residenziale, datata al 1857. Questo edificio, costruito in muratura con le tecniche tradizionali del periodo coevo, non è l'unico a documentare la presenza di comunità Cristiane in questo villaggio; sono infatti presenti delle strutture rupestri, sicuramente risalenti a periodi più antichi, situate nelle immediate vicinanze del centro abitato che racchiudo al loro interno, chiese e spazi scavati per l'accoglienza dei fedeli cristiani. Questi ambienti rappresentano quindi luoghi di culto, ma anche di difesa dalle scorrerie oltre che dalle invasioni islamiche. La presenza di comunità cristiane in queste terre è confermata anche dai registri della popolazione e delle tasse Ottomane³, che certificano come, nel 1500, nel villaggio di Ağırnas siano presenti 53 famiglie cristiane e 3 Musulmane. Nel 1520, risultano 72 famiglie Cristiane e 2 Musulmane (INBASI, 1993). Nel 1584 il numero delle famiglie era salito a 189 fra famiglie cristiane e mussulmane, mentre in tempi più recenti, la crescita si è arrestata, ma come risulta dal censimento del 1834, una piccola comunità era ancora presente, 28 famiglie Cristiane e 14 Musulmane (COMERT, 2008). La presenza di una importante comunità cristiana tra il XV e XVI secolo e le documentazioni pervenute ai giorni nostri identificano con certezza Ağırnas come uno dei luoghi in cui i Sultani, con il sistema ottomano del Devşirme⁴, reclutavano giovani cristiani, per poi convertirli, educarli, e arruolarli nei giannizzeri⁴.

La comune pratica del Devşirme dei sultani ottomani, ha portato a credere che il piccolo villaggio di Ağırnas, abbia dato



La facciata della chiesa armena di Agios Prokopios (1857).



Il reclutamento dei novizi in un villaggio dei bclani. 1558, acquerello su carta, da Necipoğlu, Süleymännâme. (Storia di Süleyman).
i novizi, con le loro uniformi rosse di fronte ad un ufficiale dei giannizzeri che ne regivtra il loro come, una descrizione fisica, luogo di origine e numero di reggimento.



Mimar Sinan con in mano un'asta metrica in legno, supervisiona la costruzione del mausoleo del sultano Süleyman, 1579, acquerello su carta, from Necipoğlu, Tārīkh-i Sultān Sulaymān (dettaglio)



La Selimiye Camii ad Edirne in Turchia. Essa venne commissionata dal sultano Selim II e costruita dall'architetto Mimar Sinan fra il 1568 ed il 1574. Fu considerata da Sinan il suo capolavoro e uno dei più elevati esempi di architettura ottomana

i natali al più grande architetto ottomano, Mimar “Koca” Sinan⁵ (Kayseri 1489- Istanbul 1588). L'architetto, come risulta nella sua autobiografia⁷ e nei registri ottomani, venne infatti arruolato come novizio alla corte di Selim I (1465-1520), dove ricevette una formazione come carpentiere per poi intraprendere una carriera militare come giannizzero, fino a diventare architetto capo del sultano⁷ Solimano I (1494- 1566), e dei i suoi due successori Selim II (1524 – 1574) e Murad III (1566 –1603).

Mimar Sinan è divenuto così, anche grazie alla sua straordinaria longevità, il progettista di centinaia di opere, moschee, madrase, mausolei, caravanserragli, ponti ed acquedotti⁸. A lui dobbiamo, tra le più note, la costruzione della Selimiye Camii ad Edirne, la Süleymaniye Camii di Istanbul ed il Ponte Mehmed Paşa Sokolović, a Višegrad in Bosnia, inserito nell'elenco dei Patrimoni dell'Umanità dell'UNESCO nel 2007. ⁹Il complesso residenziale, in Ağırnas, ritenuta la casa natale del “divino” architetto¹⁰ e trasformata in casa-museo, è uno degli edifici di maggiore interesse del villaggio, capace di generare interesse da parte degli studiosi, ma anche di attirare turisti fino a questo piccolo centro. L'edificio della casa-museo è una delle tipiche costruzioni della regione anatolica, edificata in superficie da diversi vani costruiti con tecniche in muratura tradizionali, che nascondono alla vista la complessità e i numerosi vani scavati in roccia. Consistenti ambienti si sviluppano e si addentrano nel sottosuolo, fornendo così degli spazi supplementari che probabilmente in tempi passati servivano come residenza e a scopi produttivi, e che nel corso dei secoli sono stati modificati ed adattati alle funzioni più varie, da laboratori, a magazzini a ricovero per gli animali. L'intero complesso rappresenta un perfetto esempio dell'evolversi della “tipologia mista” degli insediamenti in uso in questa regione e protrattasi fino agli inizi del XX secolo. Strutture molto complesse ed articolate, nelle quali è ancora possibile leggere le stratificazioni dell'edificato, e quindi ricostruire un possibile percorso evolutivo che le ha portate ad apparire come noi oggi le possiamo osservare.

3.2 LA CASA-MUSEO DI MIMAR SINAN

L'edificio che accoglie la casa-museo di Mimar Sinan è situato all'interno del tessuto storico del villaggio di Ağırnas, sul versante nord della valle di Akbin. L'impianto urbano dell'antica cittadina rispecchia quelli che sono i caratteri tipici dei villaggi dell'Anatolia Centrale, con stretti vicoli¹¹ che si diramano tra le costruzioni tradizionalmente realizzate in

blocchi di tufo, dalle forme semplici, accatastate a formare volumetrie confuse apparentemente caotiche, e con i tipici tetti piani spesso coperti dalla vegetazione. E' su uno di questi vicoli, che dolcemente scendono verso la valle, che si aprono i due modesti portali che segnalano gli accessi principali dell'articolato complesso che accoglie la casa-museo. Dall'esterno, questo edificio, rispetta i canoni dell'architettura della regione del periodo tra il XVII e XIX sec., tuttavia si distingue dagli edifici limitrofi per un apparato decorativo più ricco, a sottolineare l'importanza del famoso inquilino. Le facciate principali sono infatti decorate da elaborate cornici floreali; le aperture che si affacciano sul cortile sono dotate di cornici elaborate ed anche il piccolo balcone a loggia, posto all'angolo sud del corpo principale, è caratterizzato da archi a tutto sesto sorretti da tre piccole colonne e dal raffinato parapetto in ferro battuto. È necessario precisare che l'aspetto attuale è frutto di modifiche apportate nel tempo, a causa delle successive ristrutturazioni o restauri che sono stati effettuati, come attestano le due iscrizioni con le date dei lavori eseguiti sul corpo principale nell'anno 1946 e 1951. Un altro intervento di restauro è stato effettuato con certezza dall'arch. Sozen nel 2004 ed anche in questo caso sono stati ripuliti e ripristinati alcuni locali, mentre altri sono stati chiusi ed esclusi dalla visita perché pericolanti o fortemente danneggiati (YAMAC A.2015) Come già accennato non si tratta di una singola struttura unitaria, infatti è possibile individuare due distinte edifici che comunicano solamente attraverso il grande giardino terrazzato che si trova sul retro del corpo principale. Entrambi gli accessi conducono in realtà a due spazi aperti, infatti l'ingresso principale, contraddistinto dall'iscrizione "Mimar Sinan Evi"¹², conduce in un piccolo cortile, mentre il secondo conduce in uno stretto passaggio tra due costruzioni; questi spazi servono entrambi come percorsi di distribuzione ai vari locali che compongono le due ali dell'area musealizzata. Per chiarezza procederemo descrivendo le due ali in modo distinto cercando di individuarne le caratteristiche principali.

3.2.1 Edificio A

Una volta che dal vicolo Öztaş sokagi, si entra nella corte, (1)¹³ si presentano tre accessi posti sulla parete nord, due al livello del terreno mentre un terzo, posto al livello superiore, può essere raggiunto per mezzo di una scala realizzata nell'angolo nord orientale del cortile stesso.

I due ingressi al piano terra portano in degli ambienti (2) (4) che risultano essere seminterrati e che racchiudono



Uno degli edifici del centro storico di Ağırnas



Vista del complesso museale da Mimar Sinan sokak

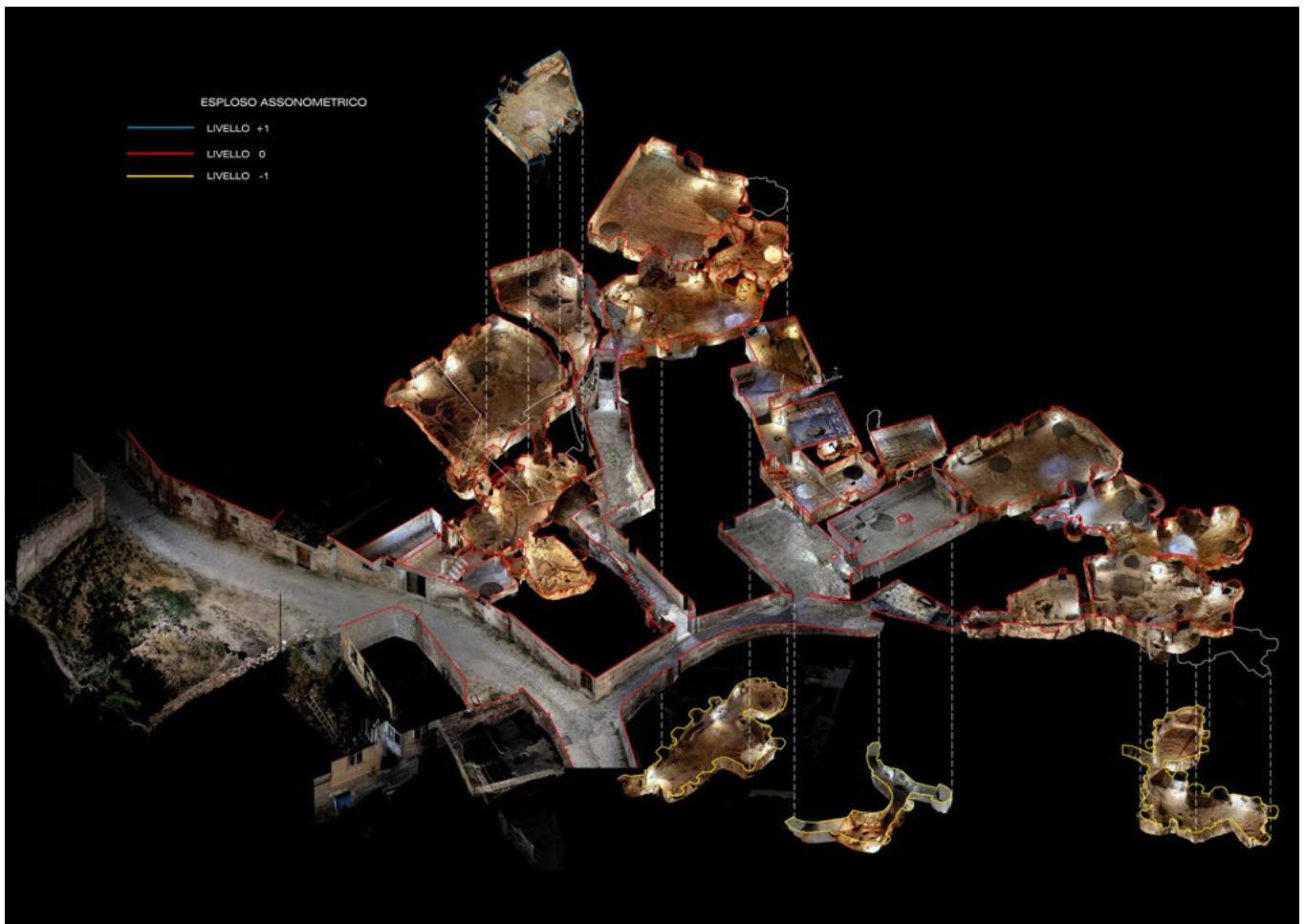








Spaccato prospettico di una porzione del complesso. in basso è indicata la linea di sezione, in rosso, usata per asportare parte del modello 3D, con riferimento agli spazi interni (a sinistra) e quelli esterni (a destra). in giallo è indentificato il cono visivo della camera usata per la cattura dell'immagine.



Vista assonometrica della planimetria. A causa dei livelli sfalsati a cui si trovano gli ambienti, non è stato possibile individuare un unico piano che sezioni l'intero complesso, ogni singolo locale è stato quindi sezionato ad una quota di 1,10 m dal pavimento.



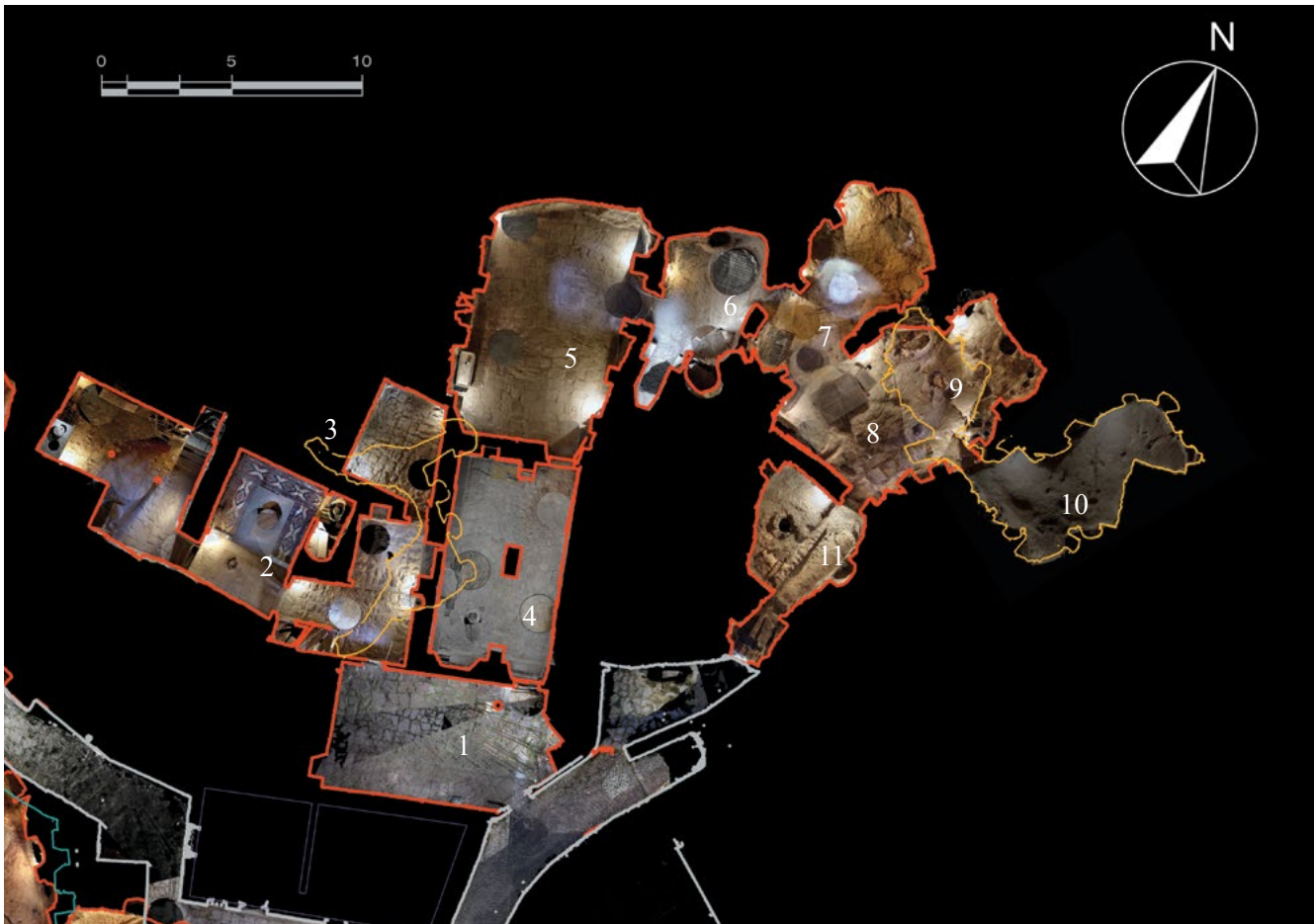


Fig. 7 Vista planmetrica dell'edificio A ottenuta dalla nuvola di punti. la numerazione fa riferimento al testo.

l'abitazione vera e propria (2), in particolare gli ambienti più ad est costituiscono la zona residenziale del complesso, che si sviluppa su tre livelli raggiungibili da una scala interna. Al piano terra, i vani sono costruiti in pietra, ed intonacati solo ai livelli superiori, tutte le stanze sono caratterizzate da solai con trabeazione in tronchi di legno, ad eccezione di un singolo vano che presenta una particolare copertura lignea a tronchi incrociati che formano una copertura troncopiramidale che si conclude con un'apertura che illumina l'ambiente, ma che probabilmente consentiva la circolazione dell'aria. Attraversando l'intera ala dell'edificio si giunge ad una porta rialzata di qualche scalino, che conduce al giardino sul retro, mentre attraverso una porta posta in corrispondenza del sottoscala, si raggiunge un ambiente sotterraneo, completamente scavato nella roccia.

Questo vano, (3), come suggeriscono le tracce scavate nel terreno e le nicchie ricavate nelle pareti, è stato usato probabilmente usato come piccola cantina e magazzino.

Il secondo accesso che si apre su cortile, conduce invece ad un ambiente realizzato in pietra (4), oggi allestito a vero e proprio museo, dalla pianta rettangolare con coperture in travi lignee e bipartito in senso longitudinale da due archi sostenuti da due bassi pilastri dalla sezione quadrata. Sul lato opposto all'ingresso si apre una porta, che dà accesso alla parte sotterranea dell'edificio. Da questo punto infatti gli ambienti risultano essere privi di aperture verso l'esterno, se non alcuni stretti condotti ricavati nei soffitti, che consentono esclusivamente un ricambio d'aria con l'esterno, ma non il passaggio di luce.

Il primo ambiente sotterraneo (5), è un'aula dalla pianta



Prospetto su Öztaş sokagi

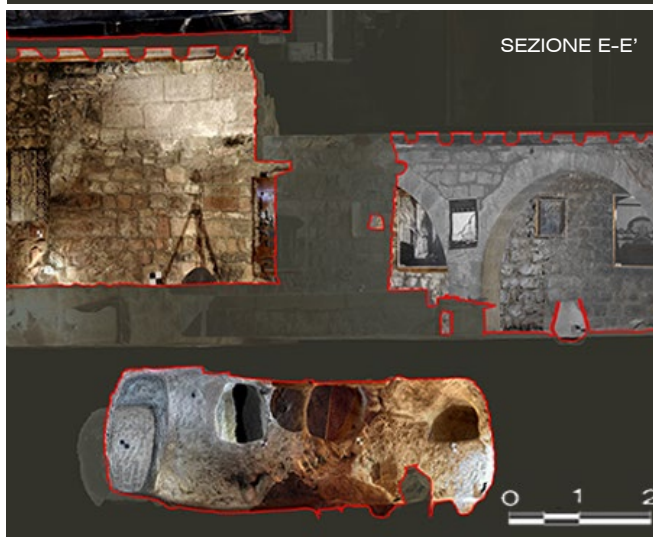
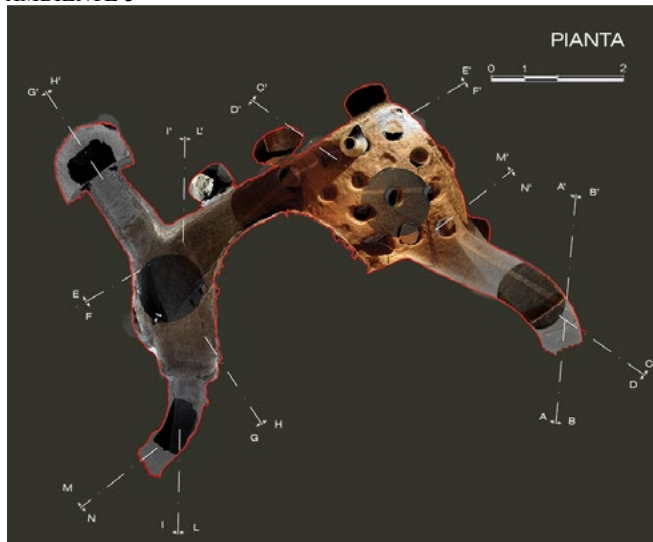


Dettaglio del portale d'ingresso

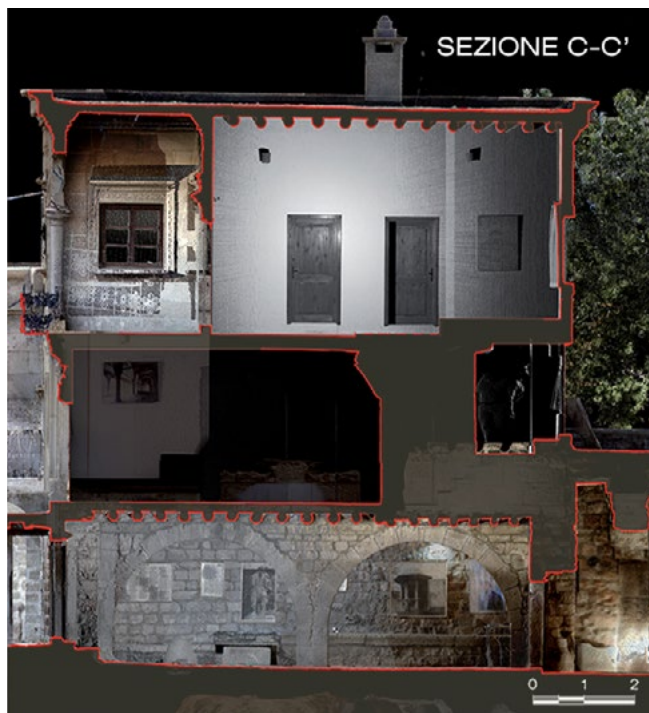
AMBIENTE 2



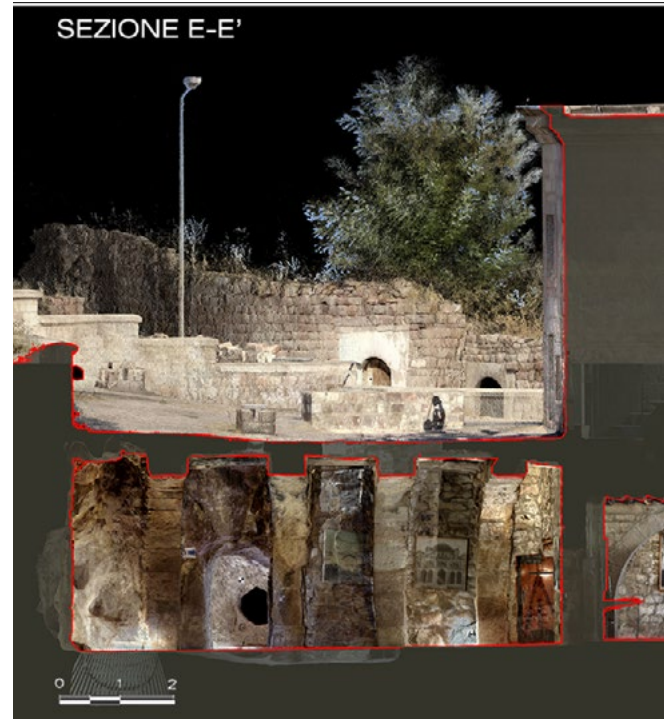
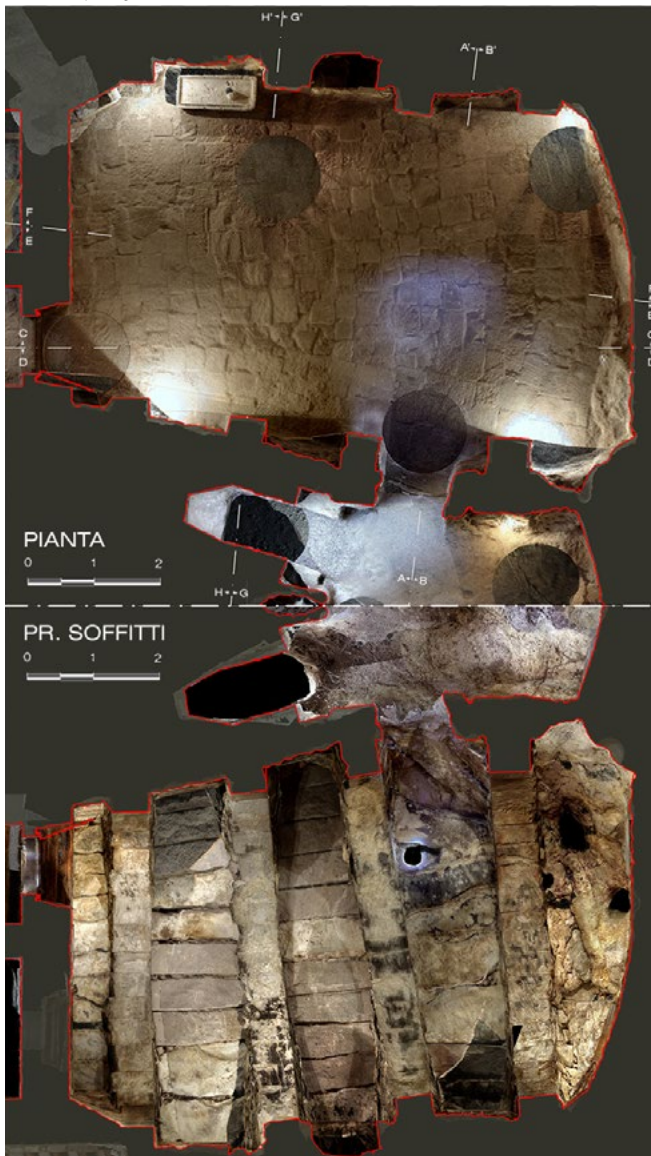
AMBIENTE 3



AMBIENTE 4



AMBIENTE 5



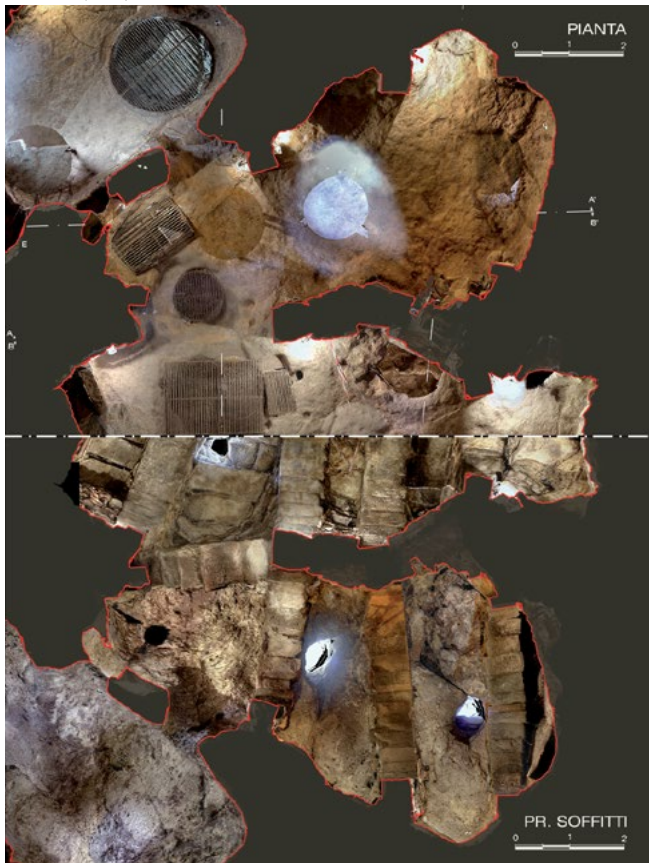
AMBIENTE 6



quadrangolare (9,36x6,66 m) frazionata in cinque campate da quattro archi realizzati in blocchi di pietra che sostengono le lastre di arenaria che formano la copertura piana (3,55 m)¹⁴. I quattro archi non sono posti parallelamente l'uno all'altro, ed individuano dunque delle campate trapezoidali ed irregolari, le loro imposte sono ad un'altezza di 0,39 m. Le pareti di fondo delle prime tre campate sono realizzate in pietre sbozzate a vista, mentre le ultime due hanno le pareti orientali e parte della copertura, ricavate direttamente nella roccia. Ha denunciare il cambio materico si possono leggere delle tracce sulla pavimentazione, interamente realizzata in blocchi di pietra se non in una piccola porzione nell'angolo nord. Nelle parti in roccia della copertura è scavato un piccolo camino di ventilazione (D=0,32 m) ed è interessante notare dalle sezioni, come il solaio di copertura di questa stanza sia di uno spessore minimo¹⁵, corrispondente alla dimensione dei blocchi di tufo e di un leggero manto di copertura in ghiaia. Nella parete di fondo della quarta campata, è scavata l'apertura che conduce all'ambiente successivo.

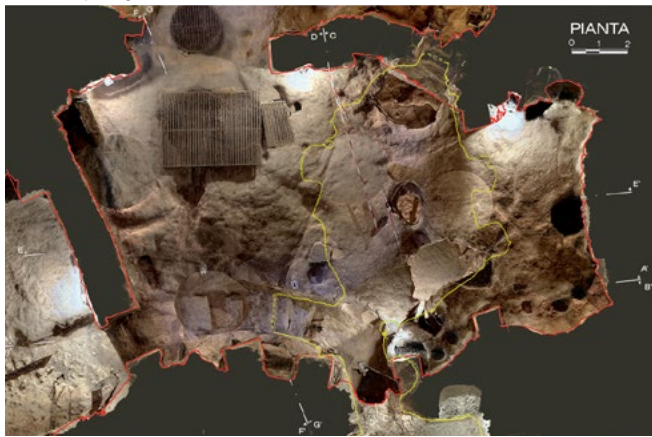
Attraversando un breve passaggio in leggera discesa, ci immettiamo in un ambiente molto particolare (6). Questa stanza è caratterizzata sul lato sud da un grande camino costruito in blocchi di pietra, mentre il resto della stanza è completamente scavata nel tufo, salvo dei piccoli tamponamenti all'angolo nord-ovest. Il camino, con un'altezza di 5,15 m raggiunge la superficie, e le dimensioni del condotto scoperto, 2,05x0,91 m, che oltre alla ventilazione lo rendono adatto alla captazione dell'acqua piovana. La parte scavata della stanza, ha una forma irregolare. Il piano di calpestio, in pietra nuda, degrada verso il camino, e nel suo punto più alto è stata scavata una cavità dal diametro di 1,78 m e profonda 1,18 m dalla forma assimilabile a quella di una piccola cisterna¹⁵. Sulla parete nord, in prossimità della cisterna è scavata una bassa conca sporgente il cui uso era correlato alla conca nel pavimento. Sulla parete opposta, adiacente al camino, è scavata una profonda nicchia, mentre sulla parete est si nota una nicchia più piccola, corredata in basso da un'asola scolpita nella roccia, che veniva generalmente usata per assicurare gli animali alla parete¹⁶. Da un'apertura sul lato ovest si accede al locale adiacente. Questo stretto ambiente (7), dalla forma allungata 8,20 x 3,95 m, è dotato di quattro archi di sostegno, realizzati per contribuire alla stabilità della struttura¹⁸, nonostante l'intera stanza sia ricavata nel tufo. La sola pa-

AMBIENTE 7



rete est risulta essere realizzata in pietra e potrebbe essere frutto di una suddivisione dell'unico grande vano che originariamente formava con la stanza adiacente. A conferma di questa ipotesi si può notare un'apertura posta in basso che mette in comunicazione con un terzo vano realizzato al livello sottostante. Osservando la sezione A-A' si notano ancora degli scalini abbozzati, che rivelano che probabilmente si trattasse di un passaggio un tempo aperto e normalmente usato. Allo stato attuale la parete aggiuntiva in pietre, non consente il passaggio attraverso questo varco. È interessante osservare come sulla superficie della copertura di questa stanza si possano leggere tracce di distacchi, probabilmente causati dalla realizzazione di tre condotti di aerazione molto ravvicinati, dal diametro di circa 50cm, che attraversano uno spesso strato di roccia e giungono fino all'esterno (1.88 m)¹⁷. L'ambiente collegato a questo (8), e forse in precedenza parte dello stesso, è sicuramente uno dei più articolati di questa ala del complesso. Oggi si presenta organizzato su due livelli comunicanti per mezzo di una scala scolpita nel pavimento in roccia. Il pavimento è effettivamente l'unica parte in roccia viva del livello superiore, che è caratterizzato dagli ormai consueti archi

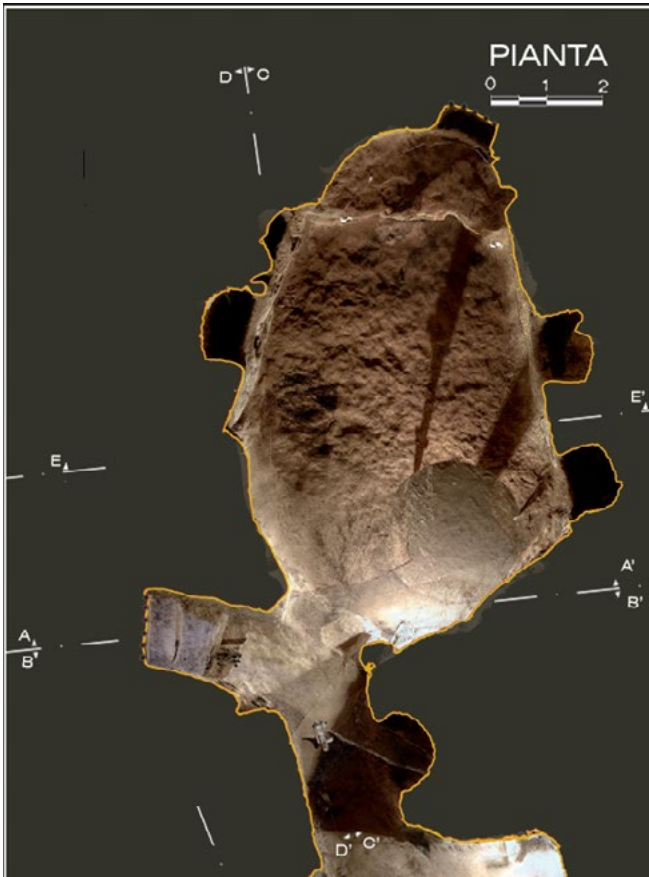
AMBIENTE 8



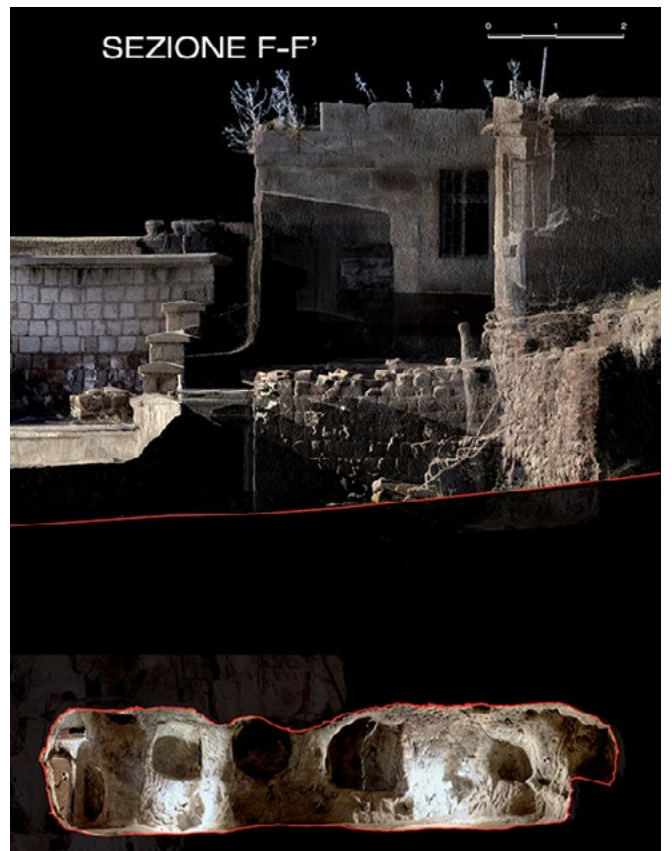
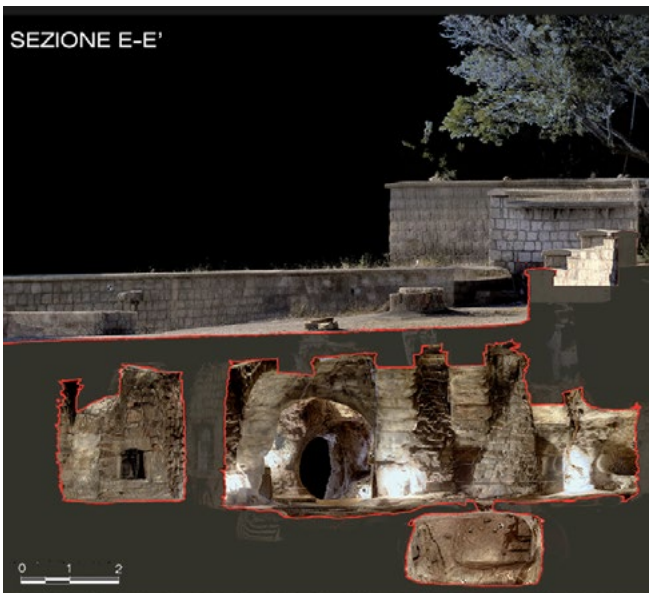
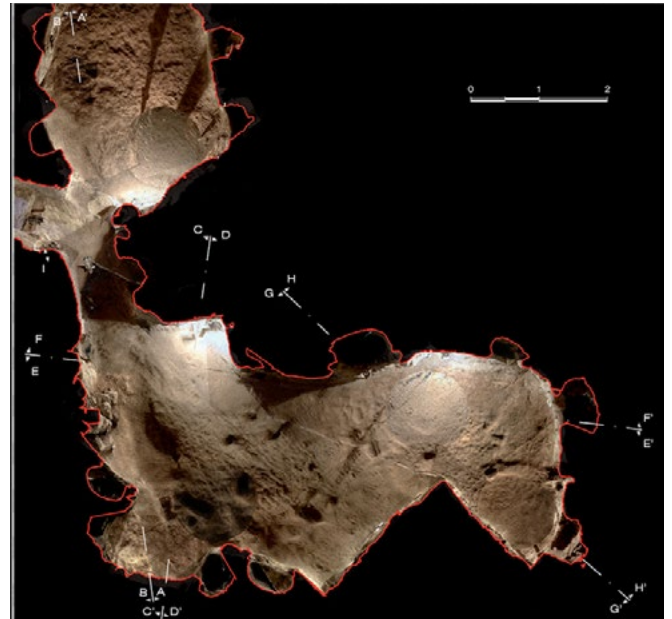
il blocchi di tufo che sostengono le pareti in pietra e la copertura piana. Anche in questo caso è interessante notare dalla sezione longitudinale, come lo spessore del solaio di copertura sia minimo (0,31 m). Dalla stessa sezione si nota anche come il pavimento di questo ambiente abbia una pendenza abbastanza accentuata, se confrontato con le stanze vicine. Dalla stessa sezione si notano anche delle aperture sul pavimento che mettono in comunicazione gli ambienti posti ai due diversi livelli. Se guardati in pianta, alcuni di questi fori hanno delle forme regolari tagliate nella roccia con precisione, tali da credere che non siano frutto di rotture, crolli o errori, durante la fase di scavo. Su tutta la pavimentazione sono presenti dei solchi scavati che attraversano la stanza, questi potrebbero rappresentare un sistema di allontanamento di acqua o liquidi che venivano raccolte e convogliate in un unico punto, purtroppo l'usura delle superfici e le modifiche intervenute nel tempo, non consentono di poterne interpretare il percorso esatto e la conseguente funzione. Altre tracce più evidenti sono rappresentate da degli alloggi pressoché circolari, ricavati nel pavimento, intorno ad una piccola conca, queste tracce servivano quasi certamente come alloggio per una piccola struttura in legno. All'angolo est della stanza, lungo la parete in pietra, sono ricavate nel pavimento, cinque piccoli invasi che probabilmente venivano usati per sostenere altri recipienti e catini. Tutte queste tracce portano ad ipotizza-

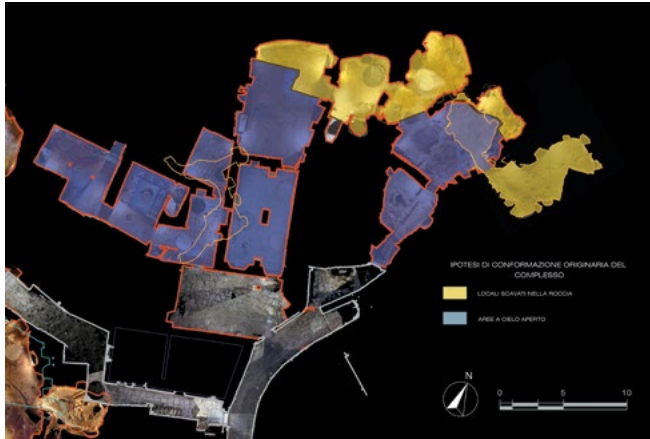


AMBIENTE 9

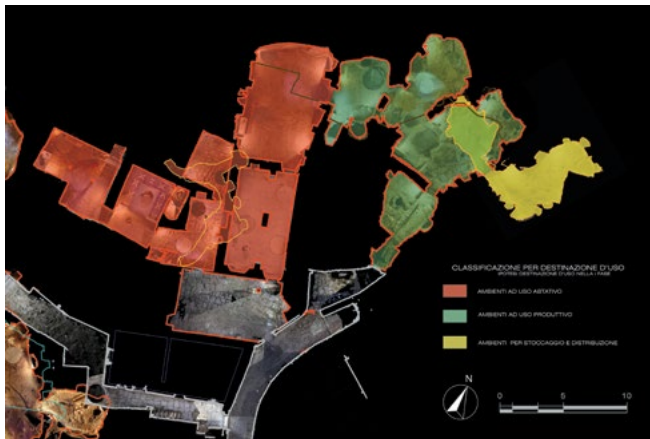


AMBIENTE 10

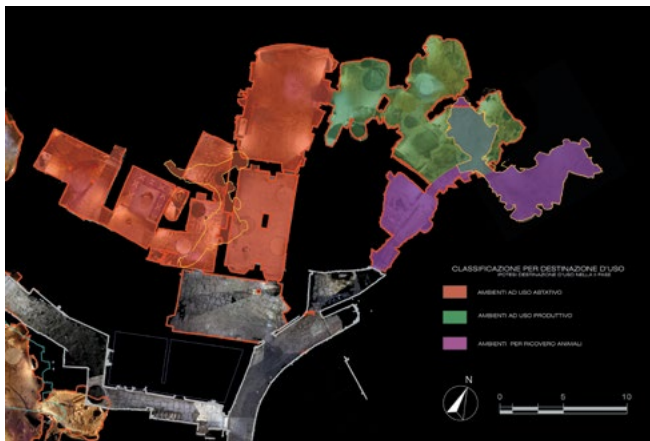




Schema con ipotesi di ricostruzione della conformazione originaria



Schema con ipotesi delle destinazione d'uso degli ambienti (I fase)



Schema con ipotesi delle destinazione d'uso degli ambienti (II fase)

re che si trattasse di un ambiente usato a scopi produttivi. La scala che conduce al livello inferiore, 1,94 m al di sotto, è stata ricavata nel pavimento seguendo il perimetro della stanza, ed è posizionata in asse con l'ingresso secondario di questa ala del complesso, che è possibile raggiungere attraversando due ambienti che si aprono sul lato sud. I gradini, si presentano molto consumati dall'uso, sia le alzate che le pedate hanno dimensioni irregolari, e curvando leggermente, si immettono in uno stretto passaggio posto trasversalmente. Agli estremi del passaggio si trovano due camere distinte (9)(10). Sulla sinistra si trova la piccola stanza comunicante con quelle poste al di sopra (9). Questa camera è completamente ricavata nel tufo, nelle pareti sono scavate alcune profonde nicchie dal fondo ribassato, che poste ad un'altezza di 0,91 m, probabilmente usate come mangiatoie per animali, mentre sulla parete opposta all'ingresso si trova la scala, oggi occlusa, che conduce al livello superiore. La seconda stanza di questo livello è inaspettatamente caratterizzata da due muri in pietra, posti ad angolo retto, che penetrano nel volume dell'aula scavata. Sulle restanti pareti perimetrali in roccia sono scavate delle nicchie, mentre sulla parete sud-ovest un passaggio è stato occluso da delle pietre. Dai rilievi realizzati da Ali Yamac¹⁹⁹, si può constatare che oltre questo varco la struttura sotterranea prosegue in una serie di ambienti in successione fino a condurre nuovamente all'esterno, a poche decine di metri di distanza, in quella che oggi risulta essere un'altra proprietà. Osservando la posizione di questo ambiente in relazione con l'esterno (immagine pag.96) notiamo come effettivamente si trovi al di sotto del vicolo Öztaş sokagi, quindi al di fuori dei limiti che individuano le proprietà odierne delineatesi in superficie.

Come anticipato l'attuale uscita dal complesso museale si trova al livello superiore ed una porta rialzata di qualche scalino conduce in un piccolo slargo che affaccia sul vicolo Öztaş sokagi, pochi metri a monte dell'ingresso principale.

3.2.2 Osservazioni ed ipotesi

Osservando l'intera ala nel suo complesso è possibile trarre delle conclusioni e formulare ipotesi sul suo uso e sulla configurazione originaria. Le classificazioni che abbiamo descritto nei capitoli precedenti possono sicuramente aiutare nell'individuare alcune caratteristiche peculiari di ogni stanza. Possiamo quindi classificare ogni ambiente

del complesso in base alla tecnica costruttiva usata per la sua realizzazione. Nel caso della casa di Sinan, ed in particolare in questa prima ala descritta, è possibile riscontrare la presenza di più tecniche costruttive usate per la creazione degli spazi: ambienti costruiti in superficie, ambienti ipogei costruiti ed ambienti ipogei scavati. In alcuni casi le diverse tecniche risultano essere presenti contemporaneamente in diverse parti della stessa stanza mentre in altri casi possono essere addirittura sovrapposti.

Questa prima classificazione può essere eseguita osservando attentamente i materiali che compongono le superfici che delimitano la stanza. Le pavimentazioni negli ambienti ipogei è ovunque scolpita nella roccia nuda, priva di rivestimento, le pareti sono in alcune stanze costruite in pietra, in altre completamente scavate, mentre le coperture possono essere scolpite nella roccia, realizzate in blocchi di tufo, oppure costruite con travi lignee. Osservando le coperture, è possibile inoltre individuare un limite, una linea, che individua il punto in cui si conclude lo sperone roccioso dove sono stati realizzati gli ambienti scavati, e quali ambienti sono il risultato di realizzazioni, aggiunte o rifacimenti.

Da queste considerazioni non è possibile infatti ricostruire con certezza la configurazione iniziale, ma possono essere individuate le diverse fasi costruttive che hanno portato alla configurazione attuale. Per l'edificio studiato, possono essere individuate tre fasi successive di realizzazione, una fase di scavo, una fase di addizione di ambienti costruiti in pietra e con materiali di risulta dello scavo e una fase di costruzione di ambienti supplementari con materiali e tecniche tradizionali dell'edificazione in superficie.

Altre considerazioni sulla tipologia degli ambienti sotterranei, possono essere dedotte osservando gli spessori dei solai che li dividono dalla superficie. In alcuni casi infatti è possibile osservare come lo spessore del solaio sia riconducibile alle dimensioni di un blocco di tufo con un solo piccolo strato di terreno a ricoprirlo verso l'esterno. La presenza di questi solai, lascia supporre che si tratti di ambienti costruiti nel sottosuolo e successivamente ricoperti, resta comunque difficile capire se queste coperture siano state progettate per coprire ambienti un tempo a cielo aperto, se siano state realizzate in seguito al crollo del solaio in roccia o se siano state ideate e progettate con questa conformazione sin dal principio. Qualche informazione può essere raccolta anche osservando la sovrapposizione

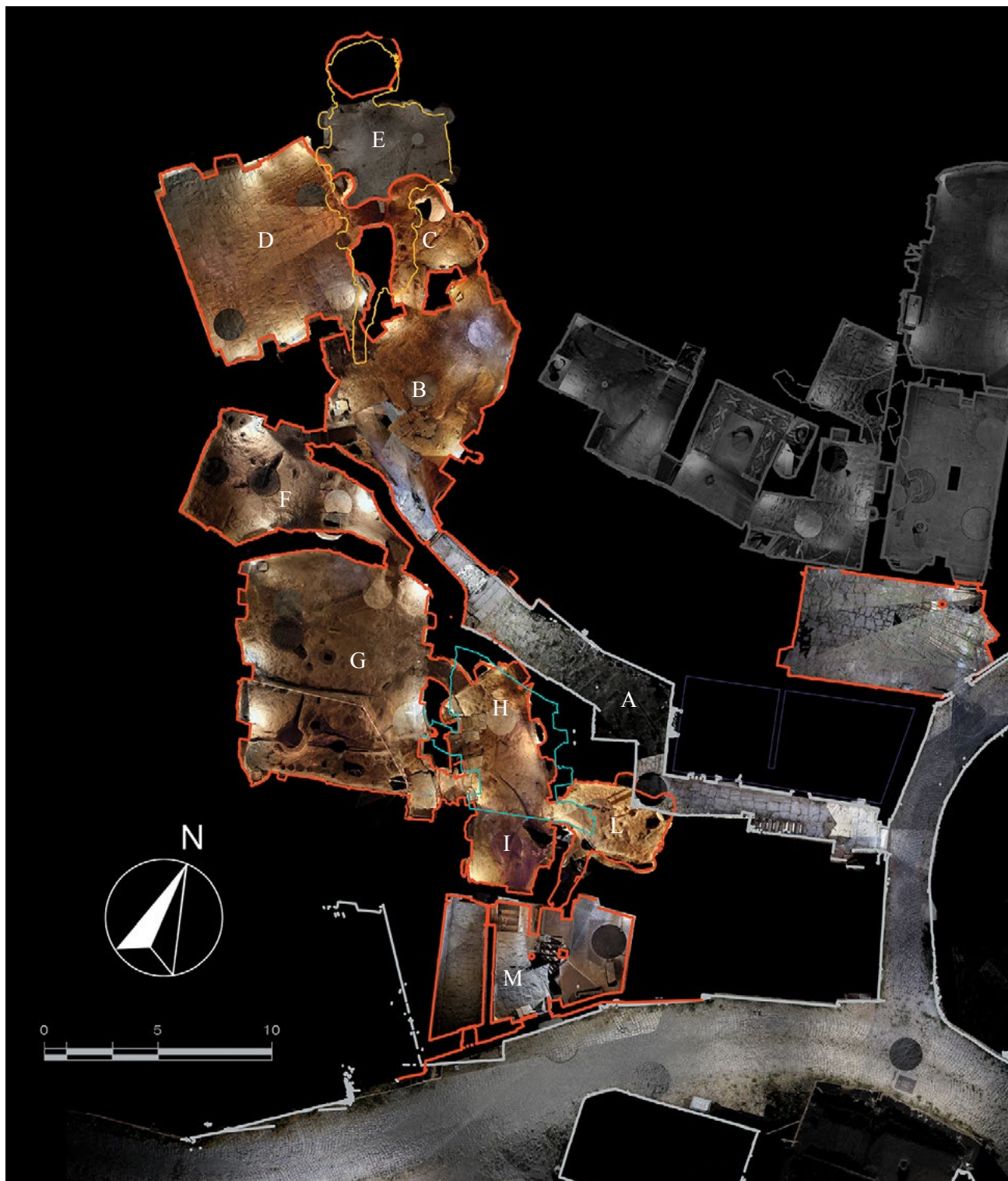
del livello interrato con la planimetria della superficie, si nota infatti come i gradoni del giardino, in corrispondenza degli ambienti costruiti, seguano il profilo delle murature sottostanti, mentre il corrispondenza degli ambienti scavati questa sovrapposizione non sia più riscontrabile, come nel caso più eclatante della stanza ricavata al disotto del vicolo, al di fuori dei confini delineati in superficie..

Altre considerazioni possono essere fatte riguardo agli ambienti scavati al livello più basso. Questi ambienti vanno necessariamente analizzati insieme agli ambienti adiacenti, con cui sicuramente comunicavano in passato, e che oggi non fanno parte dell'area musealizzata. Per questo motivo non abbiamo avuto la possibilità di visitarli e rilevarli, ma grazie agli elaborati prodotti dal team di studiosi turchi è possibile constatare come fossero parte di un unico complesso. Questa parte della struttura, interamente scavata nella roccia, potrebbe rappresentare il nucleo più antico dell'intera costruzione, che si è poi estesa verso sud, con l'aggiunta di ambienti costruiti all'esterno.

A mio avviso uno degli accessi al primitivo complesso era rappresentato dalla scala oggi occlusa dal tramezzo che separa gli ambienti soprastanti. Questa ipotesi nasce dalla posizione assiale rispetto ai locali in cui è realizzata e dalla forte usura dei gradini che la compongono. La scala odierna, se considerata la minore usura dei gradini e la posizione trasversale rispetto al passaggio al livello inferiore, ma in asse con una degli odierni varchi verso l'esterno, sembra essere studiata per il passaggio diretto e senza ostacoli di animali da allevamento. Questa potrebbe essere stata realizzata in fasi successive, quando gli ambienti sottostanti sono stati usati come ricovero per gli animali.

A sostegno dell'ipotesi di questa precedente destinazione d'uso è da rilevare la presenza delle numerose nicchie lungo il perimetro degli ambienti, che per la forma e l'altezza a cui sono poste sembra adatta ad essere usata come mangiatoia per il bestiame. La scala odierna, inoltre, sembra essere incompatibile con i segni scavati nel pavimento al livello superiore, legati probabilmente ad un'attività produttiva ed usati per l'allontanamento di liquidi, interrotti bruscamente dal vano dove è ricavata.

Le fasi di destinazione d'uso degli ambienti di questa parte del complesso, potrebbero quindi essere legate in un primo momento ad attività produttive, successivamente modificate e trasformate per essere destinate al ricovero degli animali per giungere alla funzione attuale di casa-museo.





Prospetto su Öztaş sokagi

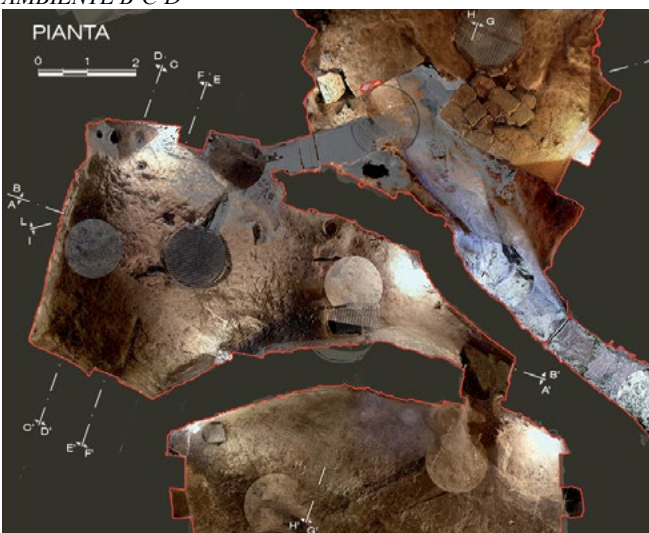
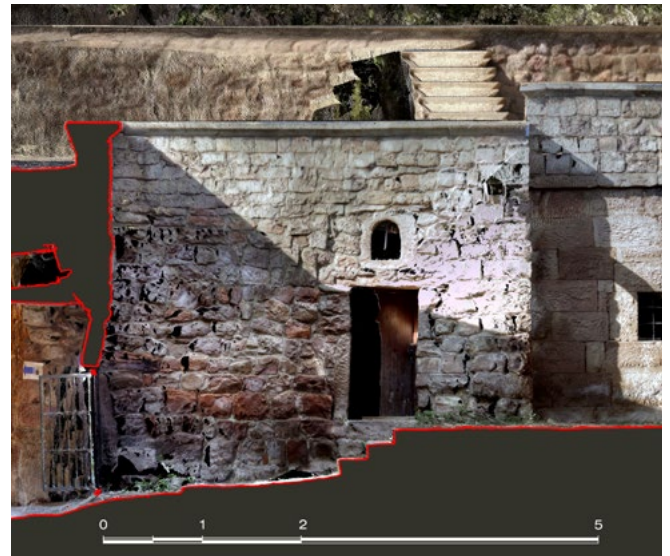
AMBIENTE A



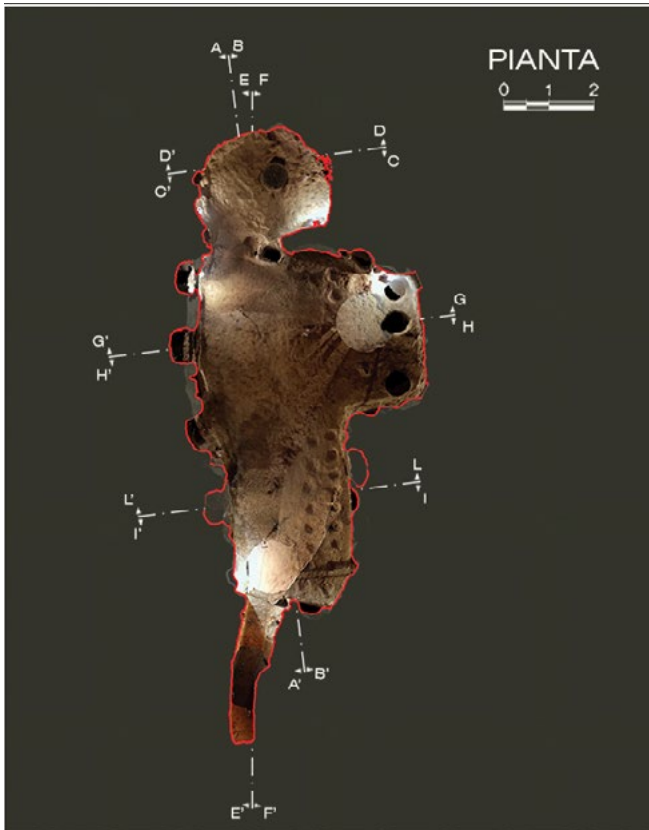
Dettaglio del portale di ingresso



AMBIENTE B-C-D

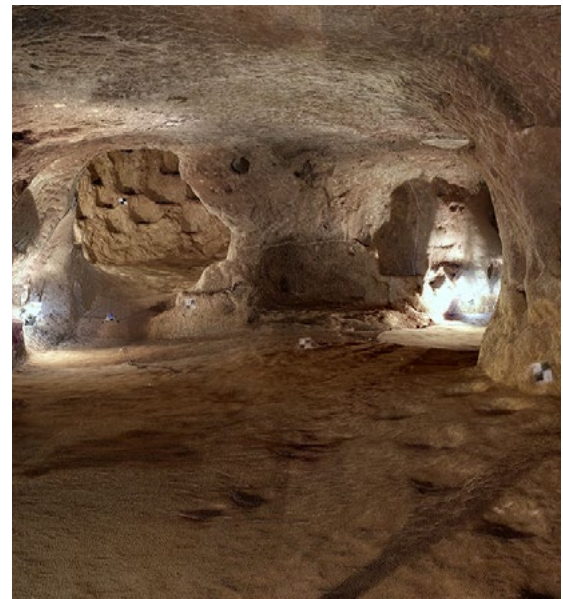
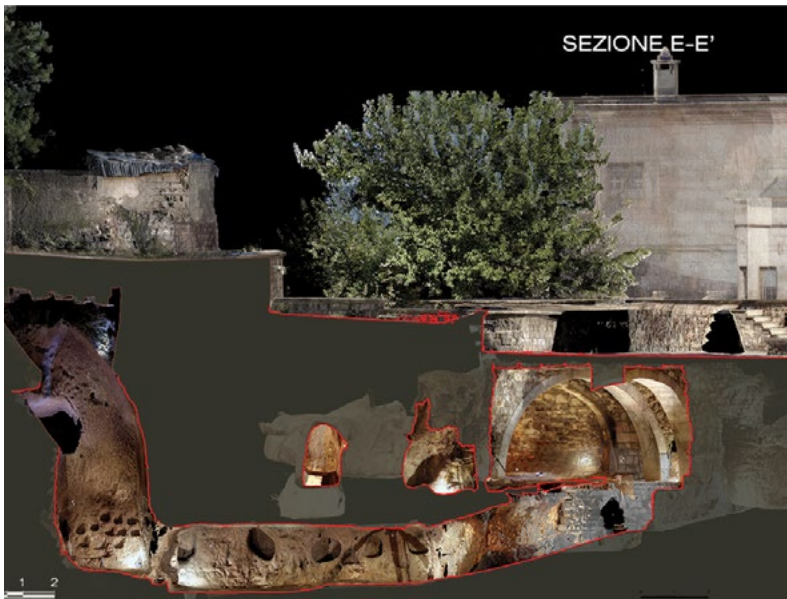


AMBIENTE E



3.2.3 Edificio B

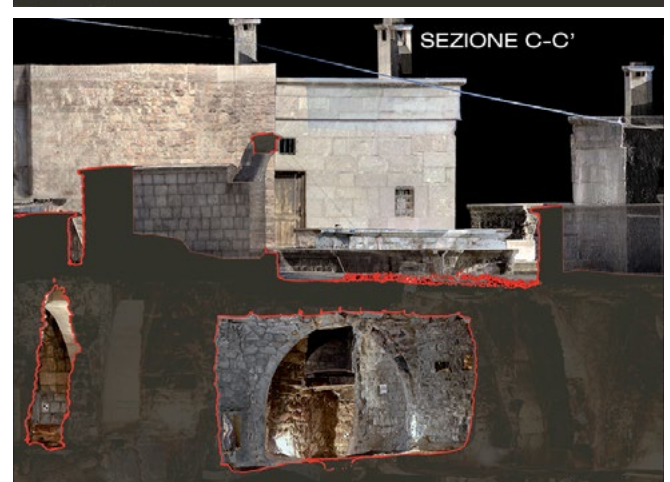
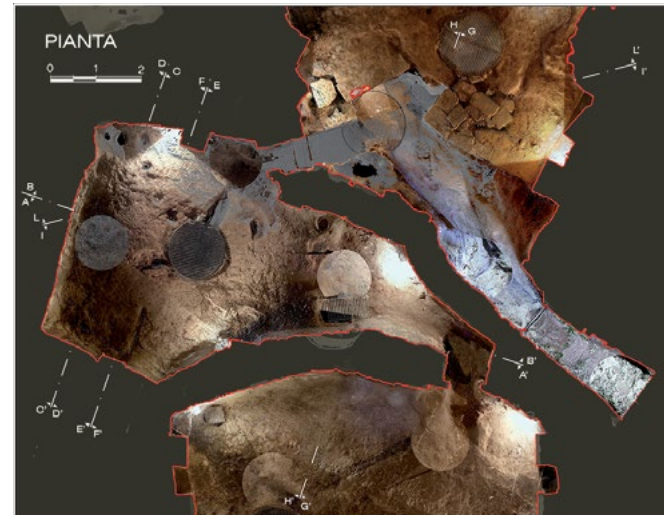
Proseguendo pochi metri verso valle, lungo Öztaş sokağı, incontriamo il secondo portale d'ingresso alla struttura museale. La distribuzione dei vari ambienti presenti è affidata ad uno stretto passaggio ricavato tra due edifici (A). Da questa sorta di corridoio a cielo aperto si raggiungono infatti alcuni ambienti posti sul lato destro. Questi ambienti, non fanno parte del museo, sono stati quindi visitati, ma non rilevati. Sul fondo dello stretto passaggio si trova una porta ribassata di alcuni scalini, e da questo punto ci introduciamo nella parte sotterranea del complesso. Il primo ambiente che incontriamo è molto articolato (B). Questo spazio è organizzato su di un solo livello, la pavimentazione risulta essere completamente scavata nella roccia, mentre la copertura è in lastre di tufo sostenute da archi. Su questo spazio si affacciano due aperture che conducono ad altrettanti ambienti (C-D), mentre nel pavimento, in asse con il varco di ingresso, è stato ricavato un passaggio, che digradando dolcemente conduce agli ambienti scavati ad un livello inferiore (E). Lungo questo percorso, sulla sinistra si apre un altro passaggio che per mezzo di tre gradini scolpiti irregolarmente nella roccia, conducono nell'ambiente adiacente (F). Questo primo ambiente (B) costituisce quindi oggi una zona di distribuzione a diversi



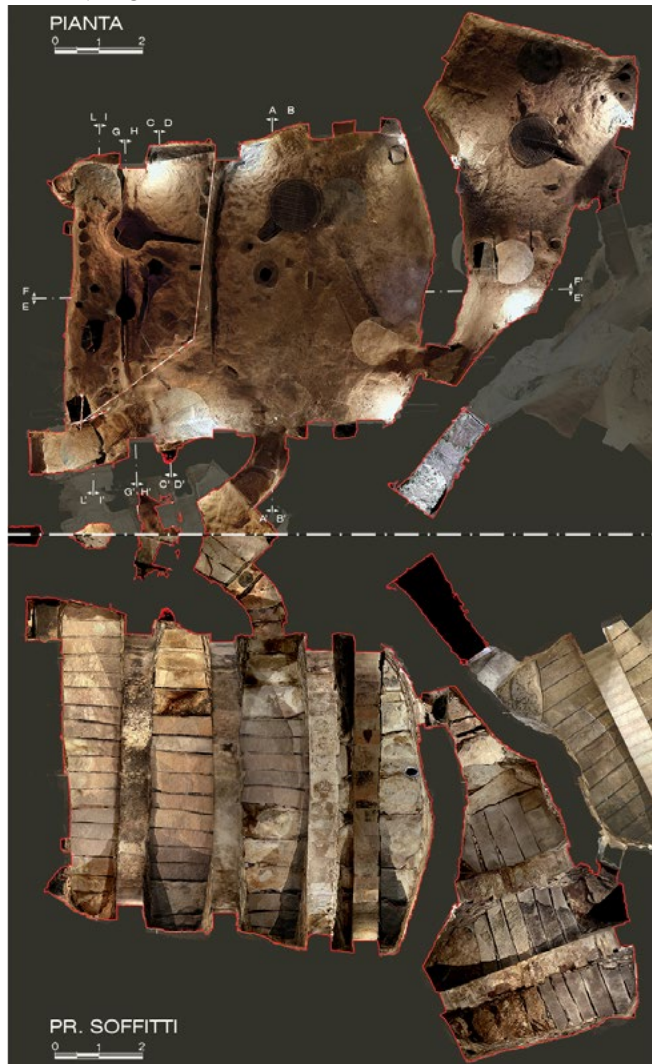
ambienti posti a diversi livelli. Gli ambienti al livello superiore sono raggiungibili attraverso due aperture poste sulla parete nord. Il più piccolo (C) è completamente scolpito nella roccia ed è caratterizzato da una cisterna realizzata nel pavimento, profonda 1,5 m e dal diametro di circa 1 m, che ne occupa gran parte della superficie. Sul lato ovest si apre un passaggio che conduce in un ambiente (D) dalla pavimentazione in blocchi di tufo e dalle pareti in pietra che sembra completamente costruito, se non per la parete est che è invece scavata nella roccia e corredata da nicchie ed alloggi di varia dimensione. Una porta posta sul lato sud riconduce nell'ambiente principale (B). Percorrendo lo stretto cunicolo scavato nel pavimento dell'ambiente principale, giungiamo in un ambiente completamente scavato nella roccia (E). Una volta entrati, si notano immediatamente delle piccole conche scavate nel pavimento, usate probabilmente per alloggiare altri recipienti come ad esempio delle anfore. Lungo le pareti perimetrali sono invece scavate delle profonde nicchie simili a mangiatoie per animali, ma è attraverso la porta posta sul fondo della stanza che raggiungiamo uno degli ambienti più particolari dell'intero complesso. Si tratta infatti di un alto camino (circa 9m) che raggiunge la superficie esterna. Lungo le pareti del condotto, fino ad un'altezza di 1,8 m sono scavate delle piccole nicchie, molto caratteristiche nella regione



AMBIENTE F



AMBIENTE G



anatolica, che lo rendono facilmente riconoscibile come piccionaia.

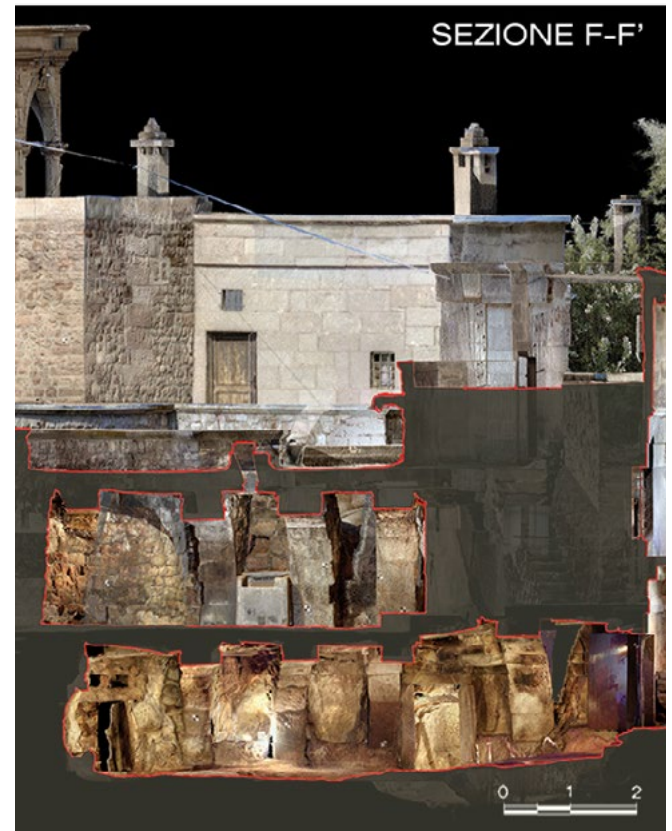
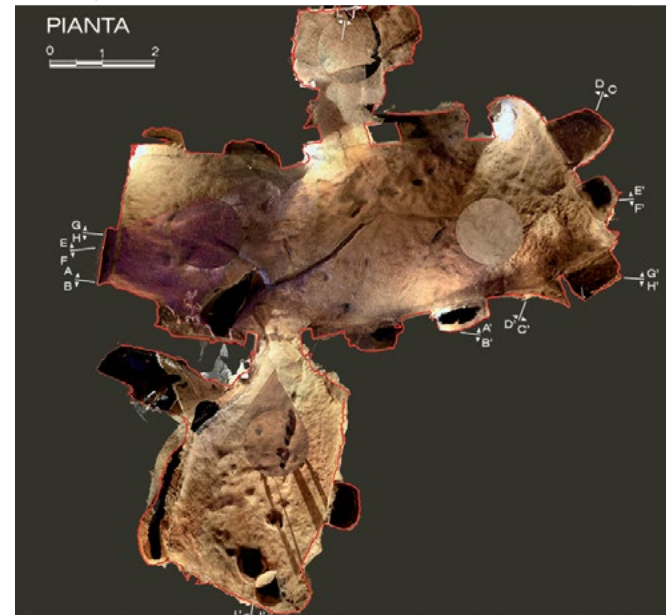
Come accennato in precedenza, risalendo dallo stesso cunicolo è possibile imboccare un breve passaggio posto sul lato destro per raggiungere un altro ambiente (E) Si tratta di uno stretto ambiente dalla forma allungata, dalle pareti in pietra e coperto dalla tipica copertura piana in tufo. Gli unici elementi che caratterizzano questo locale sono: un vaso profondo circa 1,5 m ed una conca meno profonda scavata nel pavimento in roccia nuda. Da questi elementi scavati nel suolo partono delle tracce scolpite, che come nella parte di edificio prima descritta, sembrano far parte di un sistema di raccolta di liquidi. Da notare come la conca più profonda si trovi accostata al muro in pietra che separa questo ambiente da quello posto a sud, e come la presenza del muro stesso ne abbia ridotto le dimensioni dell'imbocco. Questo lascia supporre che questa muratura sia stata realizzata successivamente allo scavo del pavimento, e che probabilmente questo ambiente fosse un tempo parte di un ambiente più esteso. L'ambiente limitrofo (F), posto a sud, manifesta infatti delle caratteristiche simili, sono presenti vasi scavati nel terreno, dai quali dipartono dei piccoli canali per la raccolta di liquidi. Gli elementi più interessanti di questo spazio si trovano però nella parte sud della stanza. In questa area il pavimento risulta essere rialzato di circa 20 cm rispetto al resto del locale. Su questo piccolo palco si rileva la presenza di numerosissime tracce scavate nel suolo, sono presenti piccoli canali utili a convogliare liquidi, lungo le pareti si trovano delle conche che probabilmente sostenevano contenitori più piccoli, ma sono presenti anche fori, dalla forma circolare che attraversano



il solaio in pietra per raggiungere gli ambienti sottostanti. Gli ambienti posti al di sotto di questa stanza risultano oggi fortemente danneggiati e pericolanti, tanto da essere esclusi dal percorso museale, ma possono essere studiati consultando gli elaborati prodotti da A. Yamaç durante il rilievo del 2014 (pag. 119). Tutti questi elementi scavati nella superficie del pavimento, consentono di ipotizzare, che si trattasse effettivamente di un ambiente destinato ad attività produttive, anche se in questo caso risulta complicato individuare l'effettiva attività svolta al suo interno. Sulla parete est di questo grande ambiente è presente un'apertura posta in alto che conduce in una piccola camera (H), completamente costruita in pietra e dalla pavimentazione realizzata in tufo. All'interno di questa piccola camera sono presenti due cisterne di modeste dimensioni e dalla forma cubica, costruite in blocchi di tufo. Sulla stessa parete si aprono due passaggi che conducono ad una stanza posta ad un livello più basso (L). L'apertura più a nord è posta allo stesso livello dell'intera stanza, mentre l'altra, più a sud, è posta ad un livello ribassato, nonostante non siano presenti tracce di gradini o sistemi adatti a vincere il dislivello di quasi un metro. Nella stanza affiancata a questo grande ambiente produttivo, solo il piano di calpestio e la pareti nord ed est risultano essere scavati nella roccia mentre gli altri elementi sono realizzati in pietra. Questo ambiente comunica direttamente con una camera più piccola posta ad est (I), e sui pavimenti di entrambe si aprono varchi che probabilmente conducevano ad ambienti scavati ad un livello inferiore, ma che risultano oggi occlusi da macerie e blocchi di pietra probabilmente distaccatesi di conseguenza ad un crollo. Nella piccola ca-



AMBIENTI I-L



mera è presente anche uno stretto pozzo dal diametro di 50 cm che si sviluppa verso il basso. L'elemento più caratteristico di questi ambienti è un sistema di chiusura a porta macina, tipico delle città sotterranee. Questo ingegnoso sistema di difesa e chiusura, perde assolutamente di senso con la conformazione attuale degli spazi. Le aperture che mettono in comunicazione i due ambienti adiacenti sono infatti due, una dotata di sistema di chiusura, mentre l'altra completamente libera. Attraversata questa stanza, alcuni gradini conducono agli ambienti costruiti in superficie (M) posti a sud. La differenza di quota tra gli ambienti costruiti e quelli ricavati nel sottosuolo è di circa 1,5m in questo punto, ed attraversata una piccola stanza raggiungiamo l'esterno su Mimar Sinan Müllesi.

3.2.4 Osservazioni ed ipotesi

Anche a proposito di questa ala del complesso è possibile, osservando gli elementi architettonici presenti allo stato attuale, formulare delle ipotesi sulla configurazione che questo sistema di ambienti collegati aveva nel passato.

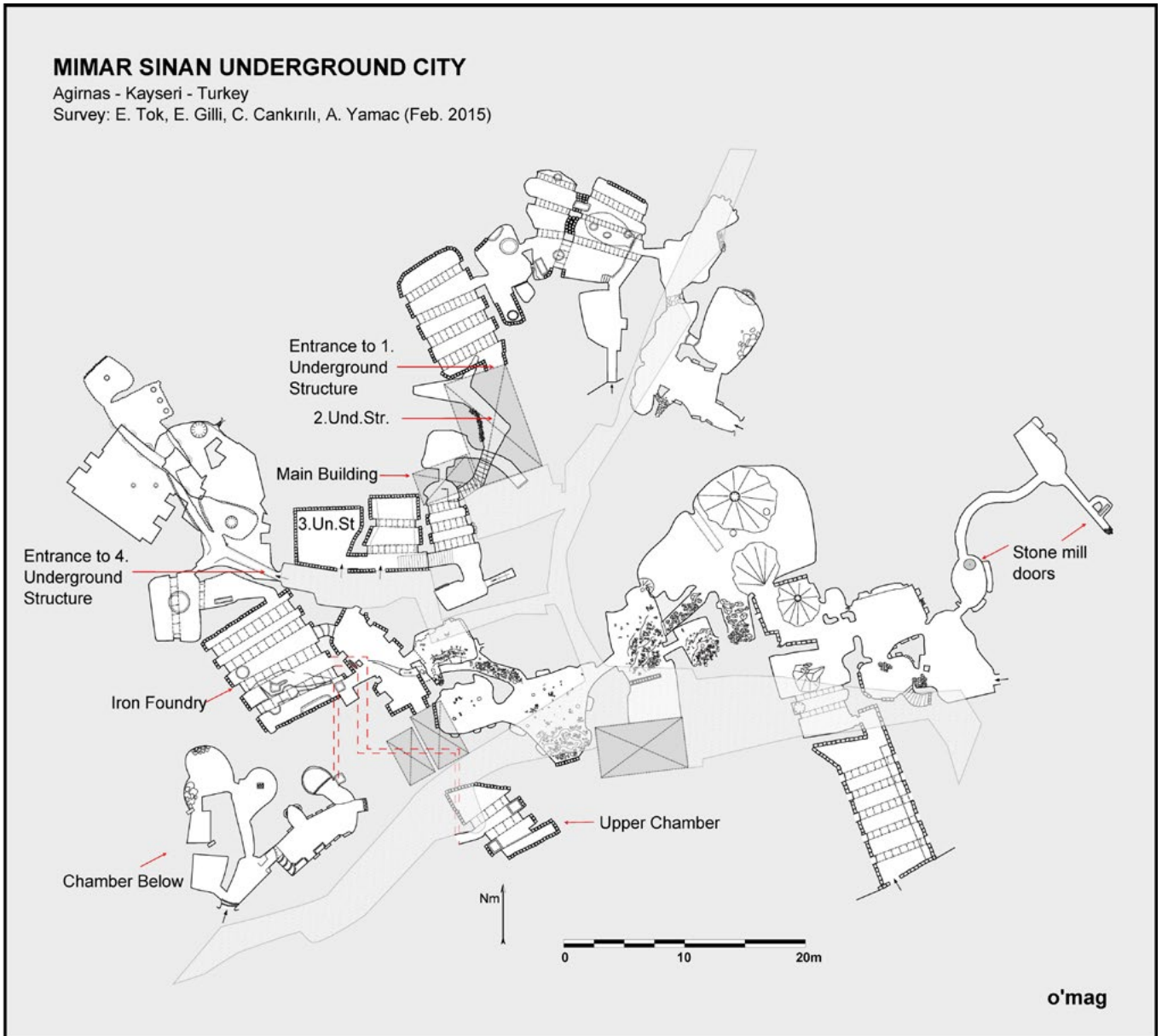
Le prime considerazioni possono essere formulate sulle incongruenze rilevate negli ambienti appena descritti. La presenza delle due aperture poste a livelli differenti nella grande aula dalle funzioni produttive, induce a pensare ad un crollo del solaio in corrispondenza dell'apertura realizzata più in basso. A conferma di questa tesi è possibile constatare la presenza di un'apertura, oggi sbarrata da una porta, nell'angolo sud-est, che oggi appare molto rialzata rispetto al piano di calpestio dal quale si dovrebbe accedere, mentre sembra essere posta ad una altezza compatibile con il livello dell'intera stanza. Altro elemento che consente di ipotizzare il crollo del solaio, è la posizione della porta macina. La conformazione attuale, infatti fa perdere senso alla realizzazione di questo sistema di chiusura. È necessario ricordare, come le porte-macina non rappresentassero solamente un sistema difensivo per proteggersi dalle invasioni di popoli nemici, ma anche uno strumento per isolare alcuni ambienti che racchiudevano oggetti preziosi e materiali di valore. In questo caso la chiusura perderebbe completamente la sua funzione data la presenza di un'altra apertura che conduce nello stesso ambiente. La presenza di un solaio al disopra di questo varco, farebbe riacquistare alla porta-macina la funzione desiderata, sbarrando l'unico accesso agli ambienti posti al livello sottostate, oggi inaccessibili. Questa ipotesi giustificherebbe

anche l'assenza di sistemi di collegamenti verticali tali da far superare agilmente il dislivello tra i due ambienti adiacenti. Altre considerazioni possono essere formulate sulle pareti di divisione tra lo stesso ambiente produttivo e quello adiacente, la sua posizione infatti, che quasi occlude l'invaso scavato a terra, porterebbe a pensare che sia stato realizzato in secondo momento per separare i due ambienti che in una fase precedente formavano un'unica grande aula.

Per quanto riguarda l'attività svolta all'interno di questi spazi, alcuni studiosi, sostengono che si trattasse di una fonderia (A.YAMAÇ 2015a), questa ipotesi è stata formulata partendo dal mestiere svolto dal padre di Mimar Sinan, che sembra svolgesse l'attività di carpentiere (YAMAÇ 2015a, NECİPOĞLU 2009), questa ipotesi è a mio parere azzardata, mancando in questi ambienti un sistema di aerazione e camini posizionati e dimensionati in modo da permettere di allontanare i fumi e la fuliggine prodotti da queste lavorazioni, di cui non si trova traccia evidente su nessuna superficie. Verosimilmente questa ipotesi potrebbe essere valida solo se, la copertura di questi ambienti sia crollata e poi ricostruita in fasi successive, una volta abbandonata l'attività produttiva, oppure se l'attività di fonderia, fosse svolta all'esterno, se quindi gli ambienti preposti alla produzione si trovassero a cielo aperto, non provvisti di una copertura.



Sistema di chiusura a porta macina della casa-museo di Mimar Sinan (ambiente I) (foto di M. Scalzo)



3.3 METODOLOGIA DI RILIEVO PER LA CASA-MUSEO DI MIMAR SINAN

L'esperienza maturata negli ultimi anni ha dimostrato come tecnologie di rilievo digitale siano perfettamente idonee al rilievo di architetture complesse ed articolate come quelle scavate nella roccia.

La buona riuscita di una campagna di rilievo con tecniche digitali è però condizionata da molti fattori che potrebbero compromettere un buon livello qualitativo dei dati raccolti.

E' indispensabile dunque stabilire in primo luogo la tipologia di oggetto da rilevare, in base alle dimensioni, alla complessità geometrica e agli spazi disponibili per posizionare lo strumento e, non ultimo, il risultato finale da ottenere.

Nel caso particolare della casa-museo di Mimar Sinan, la conformazione del complesso, costituito da un nucleo sotterraneo scavato nella roccia, e da ambienti costruiti, in parte nel sottosuolo, in parte emergenti in superficie, è quindi la prima caratteristica di cui tener conto. In secondo luogo, ha influito in modo determinante, il poco tempo a disposizione per la documentazione di un complesso così articolato. La campagna di rilievo si è svolta nel mese di agosto del 2015 in soli quattro giorni. La complessa articolazione degli spazi, la scarsa illuminazione di molti ambienti e la necessità di svolgere le operazioni di raccolta dati in tempi limitati, ci ha quindi indirizzato sull'uso di strumentazione laser scanner.

Dopo aver valutato e confrontato le caratteristiche tecniche dei laser scanner disponibili sul mercato, ma anche il loro peso, le dimensioni e la possibilità di poter integrare una fotocamera digitale, è stato scelto un laser scanner Z+F 5006h. Grazie alla sua capacità di acquisire punti ad alta risoluzione in un range di 79 m lo scanner Z+F 5006h può essere usato in tutte le applicazioni. I dati vengono acquisiti ad altissima velocità, fino a un milione di punti al secondo, inoltre, è stato progettato per essere maneggevole, flessibile e facilmente controllabile. Questo può essere controllato con un display con tastiera integrata o a distanza tramite palmare, e i dati possono essere salvati nell'hard disk interno. Le caratteristiche di precisione ed accuratezza, e la maneggevolezza fanno di questo laser scanner lo strumento adatto al rilievo di queste architetture. Il laser scanner, come abbiamo visto, consente di acquisire una grande quantità di coordinate spaziali in un tempo brevissimo, inoltre è possibile rilevare l'intera geometria di uno spazio, rimandando l'elaborazione degli elaborati ad una fase successiva da svolgersi in ufficio. Tale metodologia è opposta

a quella del rilievo tradizionale, dove le scelte degli elementi fondamentali da rilevare vengono fatte in campagna, e questo riduce molto i tempi necessari al rilevamento.

La semplicità e velocità di acquisizione ed elaborazione dei dati non ci devono far trascurare:

2. la fase di progettazione delle prese con laser scanner
3. un'adeguata acquisizione di immagini fotografiche
4. la corretta elaborazione dei dati e registrazione delle nuvole di punti
5. l'estrazione di elaborati grafici

Questi semplici passaggi influiscono molto sulla qualità della nuvola di punti ottenuta dal rilievo digitale.

3.3.1 Fase di presa della misura

Per la buona riuscita di un rilievo è necessario studiare la geometria dell'oggetto da rilevare e la disposizione degli elementi che lo compongono in modo da ottenere una nuvola di punti uniforme e priva di zone d'ombra. (parti di superficie di cui non è possibile rilevare la misura di punti a causa di occlusioni fisiche che ne impediscono la vista)

Per comprendere uno spazio e progettare un rilievo in grado di descrivere completamente un edificio, è consigliabile effettuare un sopralluogo ed eseguire una schematizzazione grafica della struttura. Questa prima analisi consente individuare i punti critici e stabilire il numero di scansioni da effettuare e il posizionamento dello strumento per la presa dei punti.

La fase di progettazione dei punti di presa è determinata quindi principalmente dalla geometria dell'oggetto da rilevare e dalla sua tipologia. Nel caso della casa di Mimar Sinan, è fondamentale la comprensione della relazione tra interno ed esterno, tra sotterraneo e superficiale. Il rilievo dunque includerà sia l'esterno del complesso, che gli ambienti interni. Le parti costruite in superficie, con il giardino e le coperture, sono assimilabili ad oggetti convessi chiusi, rilevati dall'esterno, muovendosi attorno all'oggetto stesso. Gli ambienti interni, sia costruiti che scavati, sono invece oggetti concavi chiusi e per un loro rilievo è necessario muoversi all'interno dell'oggetto garantendo l'acquisizione di tutte le zone d'ombra. Per ridurre le zone d'ombra e le occlusioni, in modo particolare negli ambienti sotterranei, spesso articolati e caratterizzati da numerosi elementi scolpiti nelle superfici rocciose o addossati alle pareti, la posizione dello scanner va scelta accuratamente per ogni punto di presa. Lo scanner va posizionato di volta in volta in modo da garantire la maggiore visibilità dell'area da rilevare riducendo i fenomeni d'ombre dovuti



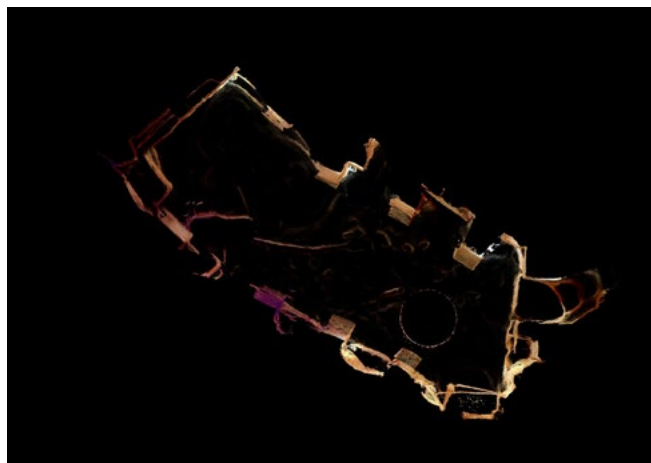
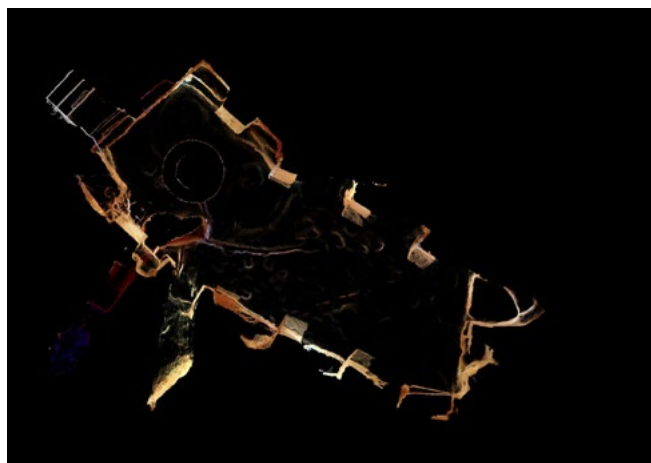
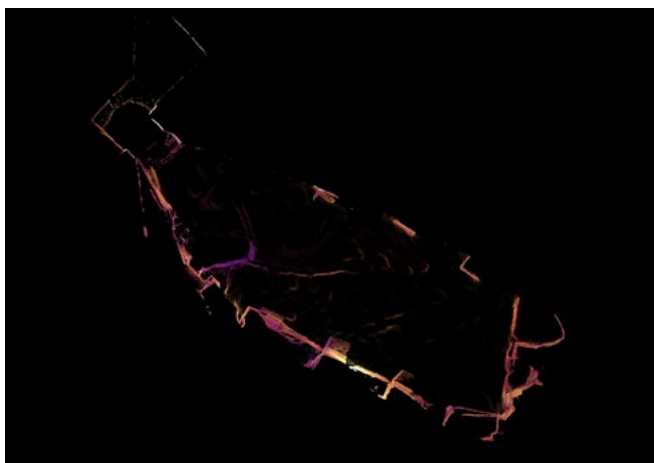
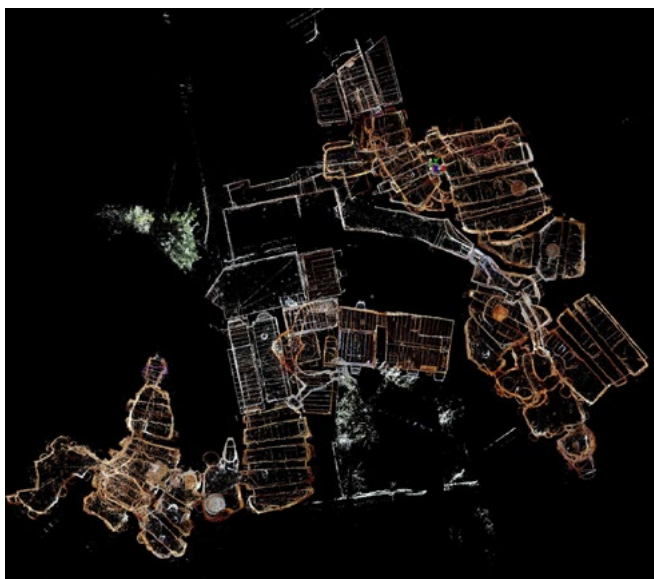
Vista assonometrica dell'esterno del complesso rilevato. Immagine estratta dal programma Leica geosystem Cyclone.



Vista assonometrica di una singola nuvola di punti che compone il modello totale. In rosso è evidenziata la posizione dello strumento al momento della presa delle misure. Immagine estratta dal programma Leica geosystem Cyclone.



Vista assonometrica di tre nuvole di punti allineate e registrate. In rosso sono evidenziate le posizioni dello strumento al momento delle prese delle misure. Immagine estratta dal programma Leica geosystem Cyclone.



pagina a fianco in alto a sinistra: il rilievo completo degli interni del complesso scavato; a destra: il rilievo completo di un singolo ambiente; nelle altre immagini: le singole nuvole di punti usate per realizzare un rilievo completo dello stesso ambiente



alla presenza di oggetti, sotto squadri, ecc. In questo senso è opportuno ridurre al minimo la presenza di ostacoli che creino ombre sull'oggetto e di eseguire un numero di scansioni sufficienti a misurare ogni punto delle superfici, muovendosi intorno agli elementi architettonici.

La qualità dei punti 3D rilevati dal laser scanner è funzione anche dell'angolo con cui il raggio laser incide sulla superficie da rilevare. Se l'angolo di incidenza è troppo elevato può accadere che il segnale di ritorno non sia interpretato correttamente causando errori nella misura. Una vista frontale dell'oggetto, migliora la qualità del modello finale e questo fattore influisce molto ad esempio nel rilievo degli stretti passaggi che collegano gli ambienti. All'interno dei cunicoli infatti le dimensioni ridotte e la forma allungata, vincolano il posizionamento dello scanner e costringono ad eseguire molte scansioni per descrivere una piccola porzione del complesso. L'angolo di incidenza influisce inoltre sulla distanza tra punti rilevati, producendo nuvole più o meno dense, e condizionando la risoluzione omogenea del modello finale. L'omogeneità del modello garantisce una buona accuratezza geometrica nella misura della distanza e può essere ottenuta posizionando lo scanner ad una distanza mediamente costante rispetto alla superficie da rilevare o modificando il passo di misurazione dello strumento.

Eseguire più scansioni omogenee di un stesso ambiente da diverse posizioni, garantirà inoltre, una buona sovrapposizione tra nuvole di punti, facilitando la fase di registrazione delle stesse.

Per facilitare l'unione delle scansioni è opportuno avvalersi del supporto offerto dai target. Negli ambienti scavati, a causa dell'impossibilità di individuare elementi dalle geometrie facilmente riconoscibili, che potrebbero essere scelti come punti (morfologici) comuni a due scansioni, l'uso dei target è fondamentale. La registrazione delle nuvole di punti per mezzo di punti noti posizionati sulla scena, risulterà dunque molto più rapida, grazie al riconoscimento automatico dei target da parte della maggioranza dei software in attualmente in uso (Leica Cyclone, Autodesk Recap, Gexcel Reconstructor) garantendo così un grado di accuratezza elevato. Il posizionamento dei target è un'operazione da non sottovalutare, questi devono essere infatti opportunamente posizionati in relazione alla posizione dello strumento, e possibilmente non allineati tra loro. Per effettuare la registrazione devono essere rilevabili dallo strumento almeno tre target comuni a due scansioni. Questo può generare delle complicazioni in ambienti mol-

to stretti o nel collegare due vani adiacenti. Negli ambienti scavati, spesso i vani sono collegati da stretti cunicoli, dove il posizionamento dei target è fortemente vincolato dalle dimensioni e dalle geometrie, per questo è consigliabile l'uso di target sferici, che posizionati all'interno del passaggio risultano essere visibili da più posizioni e possono quindi essere rilevati più facilmente dallo strumento

3.3.2 acquisizione di immagini

Lo scanner oltre a raccogliere informazioni riguardo alle coordinate dei punti è in grado di acquisire informazioni riguardo alla riflettanza di ogni punto restituendo così una mappatura 3D in grado di fornire una prima indicazione della risposta di un oggetto colpito dal raggio laser. Questa informazione può essere visualizzata come immagine equirettangolare, generalmente in toni di grigio.

La possibilità di sostituire all'immagine in scala di grigi altre immagini equirettangolari a colori, consente di aumentarne il contenuto informativo della nuvola di punti.

Nel caso dello strumento usato per il rilievo della casa di Mimar Sinan, lo scanner Z+F 5600h, è stato possibile raccogliere delle immagini adatte alla mappatura delle nuvole. Questo strumento infatti è dotato di una testa panoramica, che se opportunamente calibrata, consente di sostituire la fotocamera allo scanner, ad ogni postazione, mantenendo invariato il punto di presa.

Il principio di ripresa è lo stesso usato per la cattura di fotografie a 360°, una volta fissata la fotocamera alla testa panoramica, è possibile scattare immagini in ogni direzione, per poi unirle, attraverso software dedicati, in un'unica immagine bidimensionale.

Le immagini ottenute tramite questo processo possono essere quindi usate, oltre che per la mappatura delle nuvole di punti, anche per la realizzazione di virtual tour interattivi.

È evidente che la realizzazione della mappatura è garantita dall'acquisizione di immagini di buona qualità. Le immagini devono avere caratteristiche di luminosità e contrasto omogenee tra loro. Negli ambienti sotterranei ottenere un risultato accettabile, non è così scontato, in quanto l'illuminazione di questi spazi, non è certamente adeguata alla raccolta di immagini omogenee.

L'assenza di fonti di luce naturale, rende infatti questi spazi molto bui, e nei casi in cui un ambiente è dotato di aperture verso l'esterno, si vengono a generare zone di forte contrasto di luce ed ombra, che possono compromettere l'omogeneità

della mappatura.

Nel caso del complesso di Ağırnas, per rendere visitabile l'area musealizzata, gli ambienti sono stati dotati di sistemi di illuminazione artificiale, costituiti da lampade ad incandescenza posizionate, in alcuni casi, in modo da creare giochi d'ombra, che rendono gli spazi più affascinanti, ma che complicano la raccolta di immagini omogenee e veritiere dal punto di vista cromatico. L'impossibilità di usare sistemi di illuminazione mobili, studiati di volta in volta per illuminare la scena, sia per carenza di fondi, ma anche per mancanza di tempo per tali operazioni, ci ha costretto ad usare tecniche fotografiche in grado di affievolire i contrasti luminosi, come ad esempio la cattura di immagini HDRI. (High Dynamic Range Imaging). Queste immagini si basano sull'idea di scattare più immagini di uno stesso soggetto a diverse esposizioni, per ottenere una sola immagine con la corretta esposizione sia delle zone più scure che delle zone più chiare.

La stessa tecnica fotografica è stata applicata anche all'esterno dell'edificio, anche in questo caso infatti, l'articolazione volumetrica del complesso, generava molte zone a forte contrasto luminoso.

Questo processo di ripresa, necessità, ovviamente, di più tempo per l'acquisizione delle immagini, ma consente di ottenere buoni risultati qualitativi adattandosi alle condizioni di illuminazione della scena al momento del rilievo.

Il tempo necessario all'acquisizione fotografica, dipende ovviamente dalla scelta della attrezzatura, la lunghezza focale influisce infatti sul numero di immagini necessarie a catturare l'intero ambiente. Nel caso del museo, è stata usata una fotocamera Canon 5000d con obiettivo fish eye (d.f. 8mm). Questa attrezzatura ha permesso di riprendere completamente lo spazio con soli sette scatti.

Una volta raccolte le immagini, ed elaborate in immagini equirettangolari (PTGui), la mappatura dei punti della nuvola viene effettuata generalmente in modo automatico dai software forniti dai produttori dello scanner insieme alle operazioni di pre-processamento. Dunque con un minimo sforzo in fase di acquisizione dati, è possibile acquisire informazioni cromatiche dell'oggetto, che:

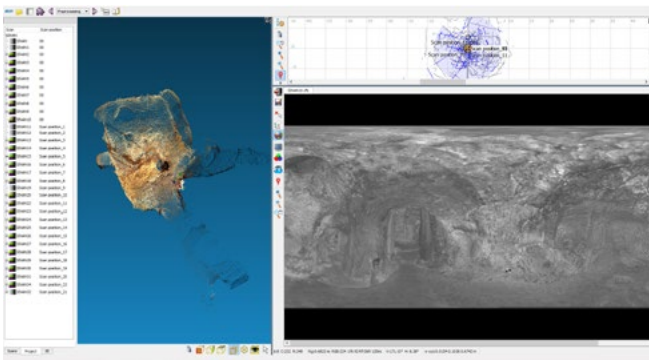
- semplificarlo la visualizzazione del rilievo rendendo le scansioni più vicine alla sensibilità dell'occhio umano;
- incrementano le informazioni tematiche che semplificano le operazioni di misura ed estrazione di elementi geometrici dal modello 3D;
- permettono di estrarre viste ortografiche 2D direttamente dal



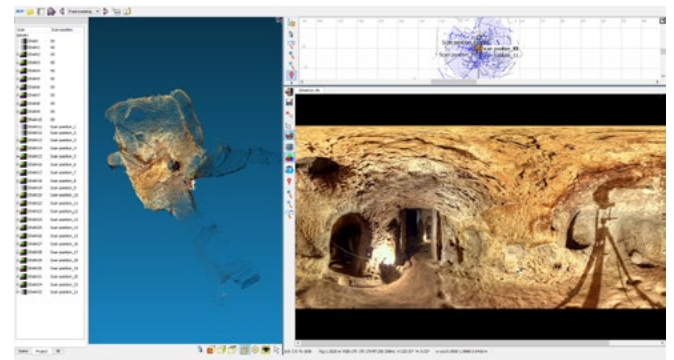
Sequenza di immagini scattate in fase di presa delle misure sostituendo allo scanner la fotocamera digitale. Con sole sette immagini è possibile riprendere tutte le superfici dell'ambiente rilevato (in questo caso ambiente L). È possibile notare la disuniformità nella luminosità delle immagini, che può essere ridotta producendo immagini HDRI frutto di scatti ad esposizione multipla



Immagine equirettangolare dell'ambiente L. Dopo la realizzazione delle immagini HDRI le fotografie sono state unite in un'unica immagine usando il programma PTGui



Screenshot del programma Z+F LaserControl. Nella parte destra dell'immagine si può osservare il dato di riflettanza originale rilevato dal laser scanner



Screenshot del programma Z+F LaserControl. Nella parte destra dell'immagine si può osservare come l'immagine equirettangolare frutto degli scatti fotografici sia stata applicata alla nuvola di punti

modello 3D

- permettono di creare modelli tridimensionali fotorealistici per prodotti multimediali e animazioni 3D.

3.3.3 Fase di registrazione

Una volta associate le fotografie alle nuvole di punti tridimensionali, ed eseguite le fasi di pre-processamento dei dati, è possibile procedere alla fase di allineamento delle singole nuvole in un unico modello tridimensionale.

Dopo l'acquisizione, le diverse viste devono essere roto-traslate in un unico sistema di riferimento. I software disponibili sul mercato sono numerosi, ed offrono diverse modalità di allineamento basate principalmente sulle metodologie di individuazione dei punti comuni tra le scansioni. I punti possono essere individuati in modo automatico, in modo semiautomatico, o manuale. Questo può dipendere dall'uso o meno dei target.

Nel caso del rilievo di Ağırnas, sono stati piazzati numerosi target facilmente riconoscibili sulla scena, questo ha consentito di usare per l'allineamento, il programma fornito da Leica, Cyclone.

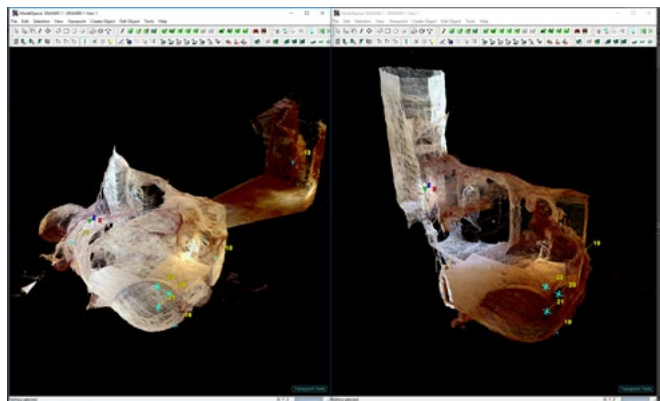
Questo software, come altri, mette a disposizione del rilevatore degli strumenti di riconoscimento semi-automatico dei target. Una volta selezionato manualmente un punto di un target, il software è in grado di individuare con esattezza il centro del target stesso. Dopo aver individuato e nominato univocamente i centri di almeno tre target comuni a due nuvole di punti, è possibile procedere con il loro allineamento. Tale processo, avviene automaticamente, ed il programma è in grado di fornirci indicazioni sull'errore medio dell'allineamento, che risulta essere immediatamente valutabile.

Una volta ripetuta questa operazione per ogni singola nuvola di punti, otterremo un modello tridimensionale dell'intero complesso.

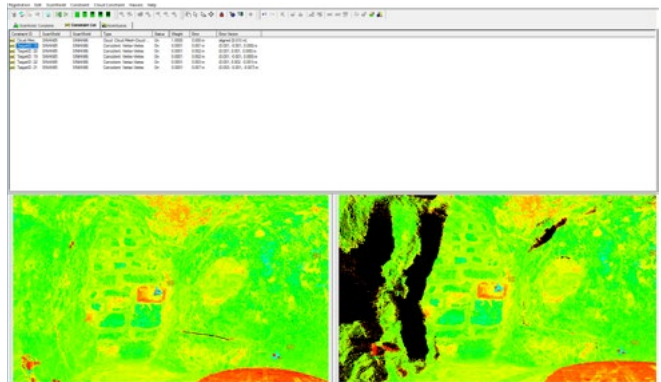
Per la realizzazione del complesso di Mimar Sinan sono state necessarie 163 scansioni allineate in un'unica nuvola di punti.

3.3.4 Estrazione elaborati

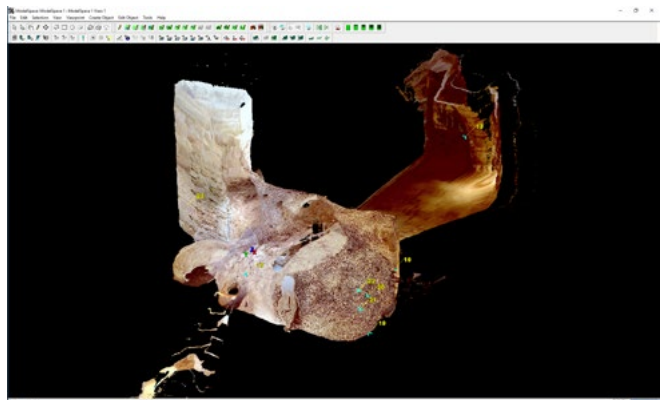
Una delle fasi che hanno fatto del rilievo digitale lo strumento più adatto, e più usato, per il rilievo degli oggetti architettonici è sicuramente quello dell'estrazione degli elaborati grafici. Uno dei vantaggi del rilievo digitale è quello di poter effettuare a posteriori alcune scelte riguardanti ad esempio i



Screenshot del programma Cyclone; due nuvole di punti dell'ambiente 6, che possiedono un buon livello di sovrapposizione e all'interno delle quali è possibile individuare dei punti comuni. I punti comuni alle due nuvole di punti vengono nominati univocamente attraverso delle label.



Screenshot del programma Cyclone; durante la fase di registrazione le nuvole i punti vengono allineate sulla base dei punti omologhi individuati. In alto è possibile leggere l'errore rilevato nella registrazione espresso numericamente e che può essere ridotto attraverso l'uso di target.



Screenshot del programma Cyclone; le due nuvole di punti registrate

punti in cui eseguire le sezioni, oppure come tagliare l'oggetto in modo da realizzare degli spaccati assonometrici o degli esplosi. Nel caso delle architetture scavate questo passaggio ha sempre limitato la descrizione dettagliata degli ambienti attraverso rilievi ed elaborati tradizionali. Il numero di misurazioni che possono essere prelevate con metodi tradizionali è estremamente limitato rispetto alle tecniche digitali, e di conseguenza il numero degli elaborati che possono essere realizzati spesso non è sufficiente a descrivere accuratamente un oggetto. Se la descrizione di un singolo ambiente risulta essere molto complicata è possibile immaginare la complessità nel rilievo di un intero insediamento. Queste difficoltà possono essere risolte facilmente al termine del processo di rilievo con laser scanner. La nuvola di punti ottenuta al termine della registrazione costituisce un archivio di informazioni geometriche e colorimetriche che "fotografano" lo stato di fatto di un'architettura sia dal punto di vista geometrico che delle caratteristiche superficiali.

Per estrarre degli elaborati adatti alla descrizione, il più completa possibile, della casa di Mimar Sinan, ci siamo avvalsi del software Reconstructor jrc di Gexcel, che possiede al suo interno strumenti semplici ed efficaci per estrarre informazioni, ed esportarle in formati di interfaccia con l'ambiente CAD o con software di modellazione 3D. I fondamentali strumenti di analisi ed estrazioni delle informazioni forniti sono:

1. Definizione di piani (Create plane),
2. Estrazione di sezioni (Create Cross Section),
3. Esportazione delle sezioni in ambiente CAD,
4. Creazione di viste ortografiche (Create Orthophoto),
5. Estrazione di viste prospettiche

Definizione di piani (Create plane)

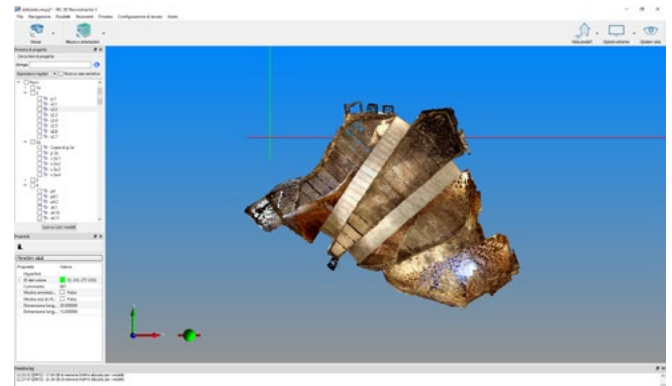
La definizione di un piano è funzionale alle successive operazioni di:

1. estrazione di sezioni,
2. creazione di viste ortografiche,
3. creazione di viste prospettiche

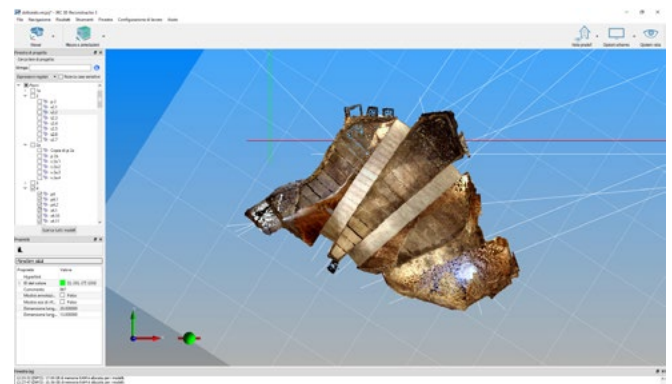
All'interno dello spazio di lavoro, possono essere definite diverse tipologie di piano:

vincolati ad un'asse, paralleli ad un piano, interpolante punti o mesh, per tre punti o libero.

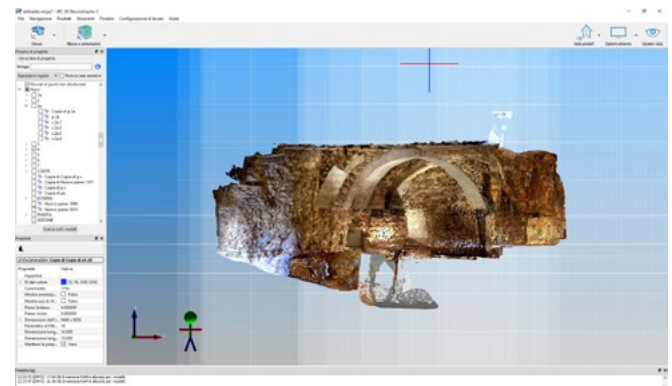
Il piano ha una dimensione (Length, Width) che può essere modificata, ha un sistema di riferimento il cui centro può essere fissato numericamente o prendendo degli oggetti come



Screenshot del programma JRC 3D Reconstructor di Gexcel; vista planimetrica della nuvola di punti completa dell'ambiente B



Screenshot del programma JRC 3D Reconstructor di Gexcel; vista planimetrica dell'ambiente B con individuati i piani di sezione utili alla sua rappresentazione



Screenshot del programma JRC 3D Reconstructor di Gexcel; vista frontale dell'ambiente B con individuati i piani di sezione utili alla sua rappresentazione

riferimento. Le rotazioni attorno agli assi analogamente agli spostamenti lungo i tre assi x,y,z, vengono modificati numericamente. I piani una volta definiti vengono conservati nel progetto. La facilità con la quale è possibile creare e posizionare accuratamente un piano, risponde perfettamente alle esigenze del rilievo in ambienti in roccia, non ponendo limiti all'estrazione di elaborati che possano descrivere al meglio ogni elemento architettonico.

Creazione delle sezioni (Create Cross Section)

Avendo definito i piani, è possibile creare le sezioni e salvarle all'interno del progetto. Ogni piano, posizionato accuratamente nella fase precedente, può essere usato come piano di sezione della nuvola di punti. Le sezioni create con i piani, sono costituite da un fascio di polilinee, ogni polilinea corrisponde all'interpolazione dei punti tagliati in ogni singola nuvola di punti che costituisce la nuvola di punti unita. Le sezioni sono immediatamente visibili all'interno dello spazio di lavoro, con colori differenziati in modo da consentire modifiche o correzioni. Dato un piano, è possibile estrarre delle sezioni multiple indicando numericamente il passo, che deve intercorrere tra una sezione e quella successiva lungo l'asse z. Per ogni sezione, inoltre, essendo relazionata ad uno specifico piano, è possibile conoscere le coordinate spaziali riferite al sistema di riferimento impostato

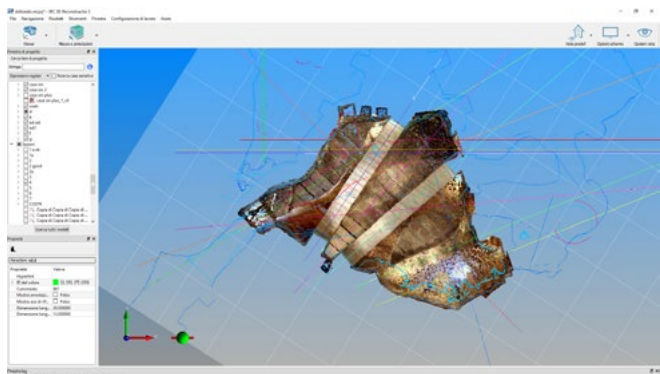
Esportazione delle sezioni

Le polilinee che costituiscono le sezioni, possono essere facilmente esportate in formati di interfaccia per ambienti CAD (.dxf). Sezioni create in Reconstructor possono, quindi, essere importate in AutoCAD, ad esempio, per eseguire misurazioni specifiche, con accuratze millimetriche, per modificare, impaginare o stampare elaborati bidimensionali.

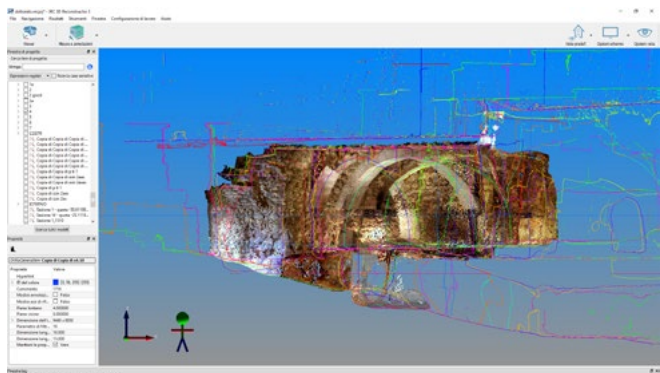
Le sezioni importate, essendo dotate di coordinate associate, acquisiscono automaticamente la posizione originale, e tutte le sezioni di un unico ambiente, o dell'intero complesso, possono essere posizionate secondo un unico sistema di riferimento, mantenendo così la posizione relativa. Questo è fondamentale per ricostruire schematicamente un ambiente, attraverso le sole linee di sezione, ed evita errori di dimensionamento, scala e posizionamento.

Creazione di viste ortografiche (Create Orthophoto)

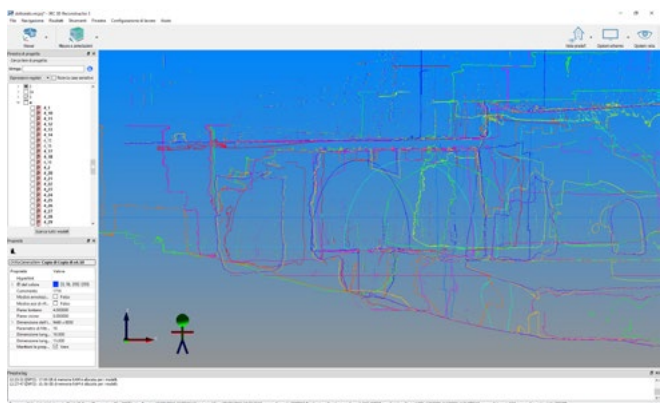
Un altro strumento offerto dal programma è quello messo a disposizione per l'estrazione d'immagini ortografiche dal



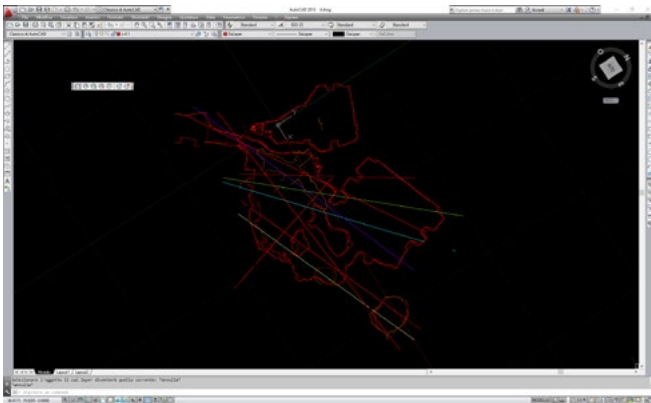
Screenshot del programma JRC 3D Reconstructor di Gexcel; vista planimetrica dell'ambiente B e delle sezioni realizzate per mezzo dei piani posizionati precedentemente



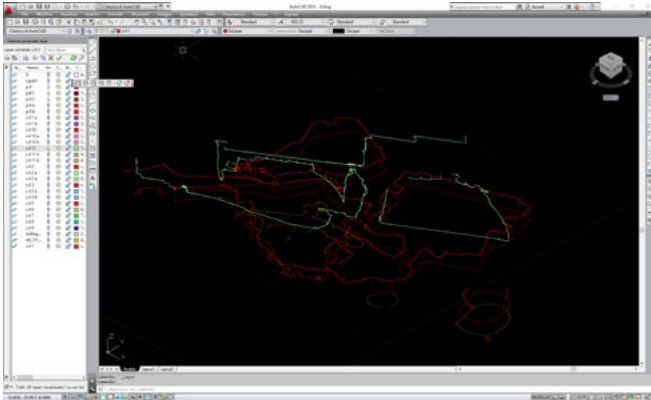
Screenshot del programma JRC 3D Reconstructor di Gexcel; vista frontale dell'ambiente B e delle sezioni realizzate per mezzo dei piani posizionati precedentemente



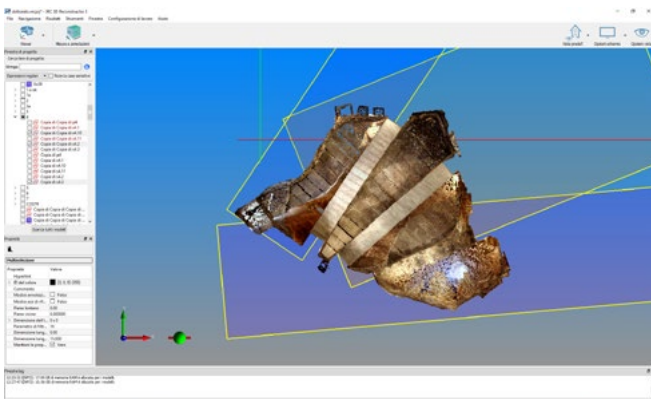
Screenshot del programma JRC 3D Reconstructor di Gexcel; visualizzazione delle sole sezioni realizzate per l'ambiente B. Le linee di sezione sono costituite da polilinee



Screenshot del programma Autodesk AutoCAD; vista planimetrica delle sezioni realizzate per descrivere l'ambiente B. Ogni singola sezione è posizionata automaticamente nello spazio di lavoro seguendo il sistema di riferimento principale



Screenshot del programma Autodesk AutoCAD; vista assometrica di alcune sezioni realizzate per descrivere l'ambiente B.



Screenshot del programma JRC 3D Reconstructor di Gexcel; visualizzazione planimetrica delle ortocamere ricavate direttamente dai piani di sezione, per estrarre delle immagini ortometriche.

modello. Per ottenere una migliore qualità della vista ortografica, è opportuno estrarla da una Mesh impostata su parametri di qualità massima, tuttavia è possibile estrarre le immagini ortografiche direttamente dalle nuvole di punti con buoni risultati. Questa scelta influisce sicuramente sulla qualità delle immagini, quindi è sempre opportuno valutare il livello di dettaglio finale che si vuole ottenere nella rappresentazione.

Nello spazio di lavoro di Reconstructor, gli stessi piani usati per l'estrazione delle sezioni possono essere trasformati in camere ortografiche capaci di catturare un'immagine bidimensionale del modello. Le dimensioni dell'area di ripresa corrispondono a quelle impostate per il piano (x, y), e l'immagine sarà proiettata ortogonalmente, secondo la direzione z. La 'profondità' del volume, che si vuole proiettare, è definito da due piani, che determinano i limiti dello spazio interessato alla rappresentazione. Il settaggio dei due piani è fondamentale, poiché saranno catturati solo gli oggetti che si trovano entro i limiti spaziali impostati per ogni singola camera, mentre quelli posti all'esterno saranno esclusi.

Le ortofoto possono essere esportate come immagini (.tiff ; .jpeg), che si prestano ad essere sottoposte a processi di post produzione per migliorarne le qualità.

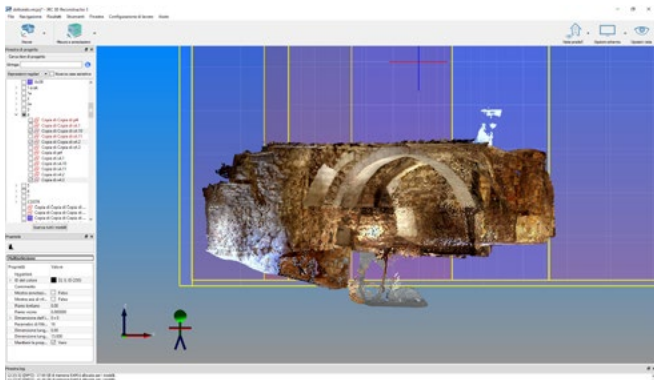
Esportazione di immagini ortografiche

Le ortofoto possono essere esportate come immagini (.tiff, .jpeg) ed essere importate in AutoCAD come raster 2D, conservando i riferimenti delle informazioni di scala e posizioni nel file di testo prodotto in fase di esportazione. Nel caso in cui un'immagine corrisponda alla sua determinata polilinea di sezione, è possibile sovrapporle automaticamente, ottenendo così una visualizzazione completa dal punto di vista geometrico e cromatico-materico.

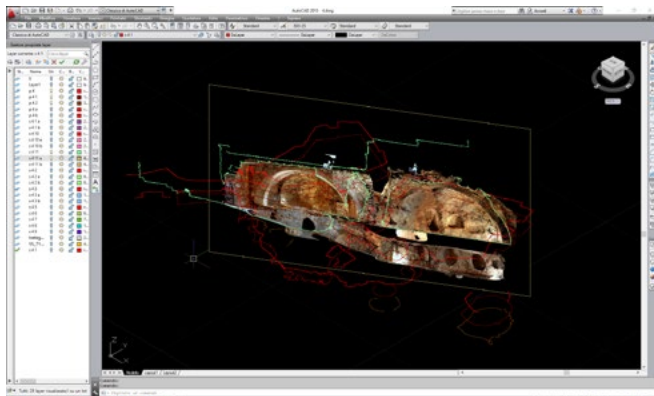
Avendo importato nello spazio CAD, è possibile misurare qualsiasi elemento appartenente non solo alle linee di sezione, ma anche sull'immagine stessa.

Le immagini che si possono estrarre attraverso le camere ortografiche non sono esclusivamente quelle legate alle sezioni; è possibile produrre delle viste assometriche dell'intero edificio, o sezionare la nuvola di punti per realizzare spaccati o esplosi assometrici.

Gli elaborati in proiezione ortogonale e le viste assometriche, estratte con l'esportazione ortografica del caso studio presentato, hanno facilitato la comprensione dello sviluppo spaziale nel sottosuolo e le relazioni tra gli ambienti, conservando un livello di misurabilità molto accurato.



Screenshot del programma JRC 3D Reconstructor di Gexcel; vista frontale delle ortocamere ricavate direttamente dai piani di sezione, per estrarre delle immagini ortometriche.



Screenshot del programma Autodesk AutoCAD; vista assonometrica di una delle sezioni realizzate per descrivere l'ambiente B con applicata l'immagine ortografica corrispondente



Rappresentazione finale di una delle sezioni realizzate per descrivere l'ambiente B ottenuta sovrapponendo le polilinee che costituiscono la linea di sezione e l'immagine corrispondente

Estrazione di viste prospettiche

Un altro metodo di rappresentazione possibile, sfruttando direttamente le nuvole di punti, è la proiezione prospettica. Questo genere di visualizzazione, permette di ottenere delle rappresentazioni realistiche dell'oggetto. Impostando adeguatamente i parametri di controllo della fotocamera virtuale inserita nello spazio di lavoro, è possibile ottenere delle viste che si avvicinano alla vista dell'occhio umano, e quindi più facilmente interpretabile e comprensibile.

I parametri di controllo delle camere, sono anche in questo caso il piano vicino ed il piano lontano, per delimitare l'area di ripresa, ma il parametro fondamentale, è l'apertura angolare della stessa.

L'angolo del campo di ripresa, oltre a determinare la superficie catturata, è il responsabile, insieme alla rotazione del piano di proiezione, delle distorsioni prospettiche di un'immagine, in particolare delle linee cadenti.

Per ovviare al problema è dunque necessario impostare un angolo di campo visivo, vicino il più possibile a quello della vista umana (circa 60°) e porre attenzione alla rotazione del piano di proiezione, che al fine di evitare linee cadenti troppo accentuate dovrà essere posto in posizione verticale, e parallelo alla superficie da catturare.

Questo metodo di rappresentazione, per le sue caratteristiche, è destinato quindi alla produzione di viste realistiche di impatto, più che alla estrazione delle misure. Tuttavia è sempre possibile desumerle con la fotogrammetria. Nel caso di riferimenti geometrici assenti, posizionando il quadro perfettamente verticale, conoscendo la sua posizione e l'angolo di apertura della stessa, è comunque possibile risalire alle caratteristiche geometriche e dimensionali

Alla conclusione di questo elaborato processo di rilevamento, si hanno disponibili un elevato numero di informazione che possono essere estratte dal modello tridimensionale, che sia costituito da mesh poligonali, che come nel caso della casa-museo di Ağırnas, dalle sole nuvole di punti. Ovviamente l'esperienza e la sensibilità dell'operatore, che deve effettuare delle scelte per la rappresentazione, sono tra i fattori che possono condizionare una descrizione esaustiva dell'oggetto studiato, ma i mezzi a sua disposizione facilitano molto questo compito. La facilità con cui possiamo estrarre numerose sezioni, la semplicità nell'applicare immagini al modello e la possibilità di far interagire più software per la rappresentazione di un unico oggetto, facilitò il compito del rilevatore.



Viste prospettiche del complesso museale della casa di Mimar Sinan, catturate con JRC 3D Reconstructor direttamente dalle nuvole di punti. In alto: viste esterne del complesso; a sinistra il cortile terrazzato e a destra il complesso visto da Öztaş sokagi. In basso: viste dei locali interni, a sinistra l'ambiente 11 e a destra l'ambiente B

NOTE

- 1 A venti chilometri di distanza a sud-ovest dall'attuale Kayseri si trova il sito archeologico di Kültepe, dove sono state rinvenute tavolette scritte da mercanti che operavano in questa zona, e rappresentano le più antiche tracce della lingua Ittita;
- 2 All'inizio del X secolo, era la seconda metropoli del patriarcato, immediatamente dopo la sede di Costantinopoli;
- 3 In turco *defter* (libro) *tahir*. Generalmente contenevano dettagli sui villaggi, capi famiglia, etnia e religione (da cui dipendeva l'ammontare delle tasse), ed uso del terreno rappresentava uno strumento utile al controllo delle attività dei cittadini;
- 4 Il *Devşirme* era una legge ottomana che prevedeva il pagamento delle tasse per i fedeli della religione cristiana, non per mezzo di tributi monetari, ma attraverso la cessione dei propri figli maschi all'impero. I bambini venivano poi convertiti alla religione cristiana, e spesso arruolati come novizi alla corte del sultano;
- 5 In turco, *Yniçeri*, anche detti *beuluk*. comprendevano la fanteria che formava la guardia personale e dei beni del sultano ottomano. Nato sotto il sultano Orhan I (XIV sec.) fu abolito da Mahumud II nel 1826;
- 6 Dal turco: grande architetto Sinan
- 7 Negli ultimi anni della sua vita, Sinan decise di dettare delle note autobiografiche a Mustafa Sai. Sono giunte a noi cinque versioni delle autobiografie, tre sono conservate negli archivi del palazzo di Topkapı e mai circolati in pubblico. Un testo senza titolo (*Adsız Risāle*), il *Risāletü'l-mi'mātiye* (trattato di architettura) ed il *Tuhfetü'l mi'mārin* (regalo degli architetti). Altre due versioni sono largamente circolate in più copie: una versione lunga intitolata *Teizkiretü'l buyān* (memorie bibliografiche della costruzione) e una versione abbreviata *Teizkiretü'l- ebniye* (memorie bibliografiche degli edifici). Sinan potrebbe aver avuto familiarità ed essere ispirato dalle biografie di Filippo Brunelleschi (1446) e Michelangelo (1564) scritte rispettivamente dai loro colleghi Antonio di Tuccio Manetti (1480s) ed Ascanio Condivi (1553)
- 8 Il numero di progetti intrapresi da Sinan è massiccio: 79 moschee, 34 palazzi, 33 bagni pubblici, 19 tombe scuole, 16 ospizi, 7 madrasse (scuole religiose) e 12 caravanserragli, oltre a granai, fontane, acquedotti ed ospedali. (da *enciclopedia britannica*). Redigere una lista precisa dei monumenti progettati da Sinan è compito arduo anche per le discrepanze presenti nelle autobiografie e nei documenti pervenuti. nel *Teizkiretü'l buyān* vengono attribuiti a Sinan 98 progetti tra cui 80 moschee, più di 400 masjid (luoghi di preghiera), 60 madrasse, 32 palazzi, 19 mausolei, 7 scuole coraniche, 17 ospizi, 3 ospedali, 7 ponti, 15 acquedotti, 6 magazzini, 19 khan (caravanserragli) e 33 bagni turchi.
- 9 Per approfondimenti sull'argomento si consiglia la lettura di *The age of Sinan. Architectural culture in the Ottoman Empire* di G.Necipoglu, 2011, Londra.
- 10 Il termine "divino", usato per Brunelleschi e Michelangelo, è applicato anche a Sinan dal suo biografo. L'intento è quello di enfatizzare il genio donato da dio. Sinan era chiamato anche "divino maestro" (*'aziz kārđān*) o "divino architetto" (*mi'mār mubārek*);
- 11 In turco denominati *Sokak*;
- 12 Dal turco, casa di Mimar Sinan;
- 13 Le numerazioni identificano gli ambienti dell'edificio A (fig pag.101). Gli elaborati inseriti nel testo sono estratti dalle tavole allegate alla conclusione del testo;
- 14 Questo sistema, detto ad archi a diaframma, è largamente usato negli ambienti della casa-museo, è molto diffuso nell'intero villaggio di Ağırnas (Sozen 1988) e nei villaggi dell'Anatolia Centrale;
- 14 Partendo dallo spessore del solaio e dello strato sovrastante è possibile formulare ipotesi riguardanti la natura dell'edificio
- 15 Oggi le cavità ricavate nella pavimentazione sono coperte e messe in sicurezza da griglie metalliche;
- 16 Le caviglie scolpite nella roccia sono elementi architettonici molto frequenti negli ambienti rupestri. La posizione in cui è scavato suggerisce differenti destinazioni d'uso. Ad esempio, se ricavato nel soffitto, era probabilmente usato per appendere oggetti o cibo evitando il contatto col terreno. In alcuni casi veniva usata anche per agganciare le culle dei bambini.
- 17 La presenza di tre condotte per il ricambio d'aria risulta essere eccessivo per uno spazio così angusto.
- 18 *çfr* nota 13
- 19 Vedi planimetria a pag. 119



CONCLUSIONI

4.1 CONSIDERAZIONI SULLE PROBLRMATICHE DEL RILIEVO DI ARCHITETTURE SCAVATE E STRATIFICATE

“in geologia la stratigrafia viene definita Branca delle scienze della Terra che studia l'ordine, la successione, l'età, la litologia delle formazioni rocciose e i loro rapporti laterali e verticali.” (da: stratigrafia, in Treccani.it – Enciclopedie on line, Istituto dell'Enciclopedia Italiana, 2016)

Su questa scienza si sono poi fondati i principi della ricerca archeologica che ne ha applicato principi per studiare e capire i reperti, ricostruendo la storia degli strati per associarla alla cronologia del manufatto.

Presto questo concetto è stato esteso alle architetture, anche se l'interpretazione delle stratificazioni risulta essere più complessa. Le stratificazioni infatti in architettura non avvengono necessariamente per sovrapposizioni di strati di diversi materiali successivi nel tempo, ma spesso una stratificazione può essere rappresentata dalla chiusura di una porta, dall'apertura di una nuova finestra o la costruzione di un nuovo muro. La muratura stessa può essere frutto di diverse stratificazioni succedutesi nel tempo, basti pensare agli strati di intonaco o di pittura che si possono sovrapporre sulla superficie muraria. Altri indicatori di diverse fasi cronologiche nella costruzione di un edificio, sono i materiali e le tecniche costruttive, che spesso sono diversificate all'interno di uno stesso edificio seguendo quelle che sono le pratiche in uso in un determinato periodo storico.

Spesso quindi la lettura stratigrafica del manufatto, ha consentito di risalire alla storia di un edificio, ricostruendo la sequenza di sovrapposizioni che ha condotto alla forma attuale. Lo stesso processo è stato utile anche alla ricostruzione urbanistica di alcuni centri e ad individuare le trasformazioni che hanno portato alla attuale organizzazione di interi quartieri, (esempio chiaro ed evidente è la presenza del teatro di epoca romana in via torta a Firenze, facilmente intuibile osservando l'andamento curvilineo della strada). Non sempre però gli elementi di trasformazione sono evidenti, spesso la stratificazione è conseguente alla distruzione delle architetture precedenti mentre in altri casi le trasformazioni sono state talmente profonde da portare alla perdita delle strutture originali. Anche in questi casi è però possibile individuare delle tracce residue, anche solo nell'impianto degli stessi edifici o delle fonti storiche che testimoniano la loro trasformazione. La ricerca di fonti storiche sia scritte che grafiche che descrivano

un edificio è il primo passo per una lettura accurata della stratificazione di un edificio. Le rappresentazioni grafiche, che si tratti di rappresentazioni artistiche, di semplici schizzi o veri e propri rilievi metrici, hanno sempre fornito importanti indicazioni sulle trasformazioni, aggiunte o demolizioni intervenute su di un edificio, su un complesso o su un'intera città. Il ruolo del disegno per un tentativo di ricostruzione delle fasi cronologiche e costruttive risulta essere fondamentale, e a maggior ragione la produzione di nuovi elaborati tridimensionali e bidimensionali, sempre più accurati e completi rendono possibile un'analisi più profonda.

Il caso delle architetture scavate, o quelle architetture che si sono sviluppate partendo da un nucleo ricavato scavando nella roccia, presentano delle particolari complicazioni legate alla lettura della stratigrafia architettonica rispetto alle architetture tradizionali.

Le strutture scavate nella roccia presentano infatti delle particolari caratteristiche che in molti casi rendono impossibile una ricostruzione storica precisa. Il rilievo di queste architetture, la loro rappresentazione e la loro analisi sono influenzate da fattori che possono derivare dalla natura dell'edificio stesso, ma anche dalla morfologia del paesaggio in cui è ricavato e dalle condizioni fisiche presenti in tali spazi. Tutti questi fattori sono fondamentali anche nelle scelte metodologiche in fase di rilievo, possono quindi condizionare le scelte della strumentazione, influiscono nella pianificazione della fase di acquisizione dei dati e creano delle complicazioni in fase di elaborazione dei dati e nella restituzione grafica dell'oggetto in esame.

Le principali problematiche delle architetture rupestri stratificate, che possono condizionare lo svolgimento di una campagna di rilievo e la sua successiva rappresentazione sono:

- La natura scultorea
- Il paesaggio
- L'accessibilità
- La luce

4.1.1 La natura scultorea

Le principali caratteristiche di cui tener conto, nel rilievo e nell'analisi di un'architettura scavata, dipendono dalla natura scultorea del manufatto. Lo scavo della roccia per ricavare spazi vuoti all'interno di un massiccio, ha prodotto insedia-

menti molto complessi e articolati, organizzati su più livelli sfalsati, senza un' apparente logica nell'aggregazione. Gli spazi sono caratterizzati da geometrie spesso indefinite, chiusi da superfici curve prive di spigoli vivi e con curvature gobbe. È facilmente immaginabile, infatti, la semplicità con cui queste architetture sono state trasformate per rispondere al cambiamento delle esigenze degli utenti. Gli spazi abitabili sono stati modificati continuamente, con aggiunta di nuovi elementi funzionali per le attività da svolgere all'intero; nicchie, edicole, cisterne, aperture sono state scavate nella roccia in tempi diacronici, tuttavia realizzati seguendo gli stessi criteri, usando gli stessi metodi, e gli stessi strumenti per secoli. La lavorabilità della roccia ha portato a ricavare allo stesso modo nuovi ambienti fino alla creazione d'interi complessi. Spesso è difficile comprendere come si siano svolti gli scavi, e quali siano state le fasi e il periodo, anche se a volte distanti nel tempo, in cui la roccia è stata scavata fino a raggiungere la complessità attuale degli insediamenti.

In alcuni casi, come nell'architettura rupestre o ipogea, è evidente che, avendo scavato in senso orizzontale o verticale partendo dalla superficie, gli ambienti posti più in profondità sono presumibilmente gli ultimi scavati.

Questa ipotesi può non valere, ad esempio, negli insediamenti ricavati nei pinnacoli. In questi casi infatti non è detto che gli ambienti alla base della formazione rocciosa corrispondano agli scavi più antichi. Va considerato, infatti, che anche l'intervento degli agenti atmosferici potrebbe aver modificato la fragile roccia, che erosa dal vento e dalla pioggia avrebbe determinato l'abbassamento del piano di calpestio, portando alla luce nuove superfici sui ripidi fianchi rocciosi e offrendo col tempo nuovi volumi da scavare, sotto a quelli già realizzati. Tuttavia il livello attuale potrebbe nascondere piani più bassi coperti dai detriti portati a valle o dai crolli.

Inoltre, la ricostruzione cronologica dello sviluppo di un edificio in roccia è resa molto complessa dall'omogeneità dei materiali in cui è scavato. Tuttavia, è importante ricordare che l'asportazione della roccia è un'operazione irreversibile, se è quindi possibile ricavare una nuova apertura in una parete, senza sforzo e senza lasciare traccia dell'intervento, per chiudere un'apertura, o per frazionare uno spazio è necessaria un'aggiunta di materiale. In questi casi l'intervento a posteriore è facilmente individuabile. La discontinuità appare evidente, spesso è realizzata con materiali differenti e con elementi dalla geometria ben definita, che contrastano con le geometrie organiche dello spazio scolpito. Spesso interventi

realizzati in muratura, sono stati necessari per il consolidamento strutturale di alcuni ambienti, salvaguardando così la stabilità di spazi che presentavano cenni di fratture e cedimenti, a volte ancora leggibili sulle superfici in roccia.

Le opere murarie, come abbiamo visto nei casi di cavità antropizzate, servivano anche per ampliare gli insediamenti verso l'esterno, emblematico è il quartiere di Finikia in Santorini (GR) o per coprire spazi che si trovavano originariamente all'esterno, ne è prova l'occlusione dei patii nelle case grotte di Paterna (ES); queste addizioni costituiscono ulteriori complessità stratigrafiche.

Lo scavo di nuovi elementi e l'aggiunta di materia per edificarne altri, hanno dato luogo ad ambienti eterogenei, con volumetrie articolate e caratterizzate da anfratti e rientranze che rendono complesse le operazioni di rilievo. La scelta del metodo e degli strumenti di misura più adatti per questi ambienti, naturali e artefatti, è dunque fondamentale. Il rilievo con i metodi tradizionali, richiede solitamente tempi molto dilatati con scarsi risultati relativi all'affidabilità complessiva e alla discrezionalità della scelta dei piani di sezione. La mancanza di allineamenti e spigoli vivi rende infatti impossibile l'utilizzo delle forme architettoniche quale supporto alla misurazione, costringe il rilevatore a costruire un sistema ausiliario di piani di riferimento sui quali riportare la posizione dei punti naturali, assunti soggettivamente come notevoli.

Inoltre, contribuiscono alla complessità delle operazioni di rilievo le pavimentazioni degli ambienti, ricavate a quote sfalsate, raramente perfettamente orizzontali e spesso caratterizzate da tracce e segni di uso, utili per la comprensione delle attività che vi si svolgevano. Altrettanto importante da studiare e comprendere è la relazione che le architetture ipogee e rupestri in genere, ma soprattutto per le cavità antropizzate, hanno con l'esterno. Inoltre è fondamentale, ai fini dello studio della stabilità e i fattori di rischio, determinare il volume roccioso posto sopra di un ambiente scavato, determinarne la posizione in relazione alla superficie, oltre ad osservare come il complesso esaminato si sia adattato al paesaggio naturale, dove esso costituisce la stessa struttura-infrastruttura urbana, sfruttandone le caratteristiche. Gli strumenti di misurazione tradizionali, risultano quindi non perfettamente idonei a raccogliere una così vasta mole di dati.

Le condizioni, a volte estreme, e le limitazioni alla mobilità influiscono anche sulle modalità di conduzione del rilievo integrato, anche se si avvale delle diverse tecniche digitali; queste ne riducono i tempi sia in fase di acquisizione dei dati

che in fase di restituzione delle misure, elaborati bidimensionali e tridimensionali, essendo sicuramente gli strumenti più adatti alla rappresentazione di architetture scavate; tuttavia a volte, sia perché non si hanno disponibili strumenti adatti agli ambienti, per esempio strumenti adatti alle ridotte strutture di passaggio o di quelle idriche, sia perché gli stessi operatori non sono speleologi, ci si deve avvalere di strumenti messi a punto per tecniche di rilievo tradizionali, che seppur con sezioni discrezionali, restituiscono informazioni utili sulle conoscenze raggiunti dai popoli nella realizzazione delle infrastrutture necessarie alla vita nei territori avversi.

4.1.2 Il paesaggio

“paesaggio” designa una determinata parte di territorio, così come è percepita dalle popolazioni, il cui carattere deriva dall'azione di fattori naturali e/o umani e dalle loro interrelazioni” (Convenzione europea del paesaggio, art. 1 comma A, Firenze, 20 ottobre 2000)

I paesaggi rupestri, e le architetture scavate direttamente nella roccia, sono una delle espressioni più chiare delle relazioni tra attività naturali e attività umane. Il legame tra queste due componenti è molto forte, si condizionano vicendevolmente creando un'armonia dal punto di vista sia estetico che ecologico.

La comprensione di questo fenomeno antropico non può quindi prescindere dallo studio dei caratteri territoriali. È fondamentale localizzare un'architettura scavata all'interno del territorio nel quale è stata realizzata per poter comprendere la logica che ha portato alla sua escavazione. La posizione di un insediamento, non è mai casuale, è legata alle condizioni imposte dal territorio, e una volta realizzato e sviluppato entra a far parte di esso, arricchendolo e trasformandolo.

Nel caso delle cavità artificiali, il paesaggio, il territorio, la roccia, rappresentano, dal punto di vista architettonico, anche un altro elemento più funzionale, il guscio, la pelle, l'involucro. Una parete rocciosa, o la sommità di un altopiano, rappresentano quindi la manifestazione di un'architettura all'esterno.

Molti ambienti scavati, in modo particolare quelli destinati alla professione del culto religioso, erano dotati di facciate scolpite, decorate, colorate, la parete rocciosa si trasforma, quindi, in facciata architettonica. La contestualizzazione territoriale, è una componente fondamentale per qualsiasi genere di architettura, e l'assenza di un intorno, di un guscio, ad avvolgere le architetture scavate, ne compromette totalmente

un'analisi completa.

Lo studio dei rapporti tra architettura interna e paesaggio esterno, consente inoltre di comprendere meglio anche le caratteristiche di un'architettura e le tecniche costruttive usate per realizzare un manufatto. Questo particolare legame che si crea tra architettura in roccia ed il territorio che lo avvolge, si ripercuote ovviamente sul rilievo e la rappresentazione delle architetture. Il territorio naturale deve essere necessariamente rilevato e rappresentato contestualmente alle creazioni artificiali. Per il rilievo del paesaggio devono essere affrontate problematiche distinte da quelle che si possono incontrare nel rilevamento di un ambiente interno (F. BORGOGNI, 2007). In primo luogo, va tenuta in considerazione l'estensione dell'oggetto da rilevare, che spesso è rappresentato da intere gravine, pareti rocciose ed altopiani, per i quali è necessario dotarsi di specifiche strumentazioni laser a lungo raggio, capaci di rilevare accuratamente oggetti posti anche a centinaia di metri di distanza.

Il rilievo di estese porzioni di territorio, presenta però anche il problema degli ostacoli che possono creare zone d'ombra durante la fase di misurazione con il laser scanner. Uno degli elementi che provocano occlusioni e che più frequentemente compromette il rilievo digitale, è rappresentato dalla vegetazione. Questa impedisce al raggio laser di colpire direttamente il terreno e di conseguenza ne compromette una misurazione affidabile. I progressi tecnologici nel campo del rilievo digitale con strumentazione laser, hanno portato alla creazione di strumenti capaci di ridurre sostanzialmente le difficoltà nel rilievo del paesaggio, attraverso il frazionamento del raggio laser, che grazie al full wave form, consente di penetrare nella vegetazione e raggiungere il suolo. L'uso di questa tecnologia, risulta essere quindi molto utile nella misurazione e nella conseguente rappresentazione dei paesaggi rupestri, spesso avvolti da una folta vegetazione.

Per la localizzazione di una determinata porzione di territorio all'interno di una area più vasta è consigliabile l'uso di rilevatori GPS, in grado di fornire le coordinate della posizione dello strumento ad ogni ripresa, ed integrare il rilievo digitale con rilievi topografici che prendendo come riferimento punti noti, permettono un posizionamento accurato dell'oggetto nel territorio.

4.1.3 L'accessibilità

Una particolare caratteristica delle architetture scavate, che di solito non è generalmente necessario tenere in considerazione

nello studio di architetture tradizionali, è l'accessibilità. Le architetture ricavate nella roccia, come abbiamo già visto in precedenza, possono essere ricavate su pareti rocciose e pinnacoli spesso difficilmente raggiungibili. Questo elemento può condizionare la scelta della metodologia di rilievo, infatti, è necessario valutare la trasportabilità della strumentazione: il peso e l'ingombro degli strumenti potrebbero non essere adatti a percorrere passaggi stretti e scoscesi. Oltre ai problemi di accessibilità, in molti complessi derivanti dalla morfologia del terreno, dai crolli o dal degrado della roccia in cui erano scavati i percorsi di accesso, è necessario considerare che generalmente gli ambienti interni sono angusti e di dimensioni ridotte, spesso collegati da stretti cunicoli difficilmente percorribili in posizione eretta. Non è insolito che le dimensioni degli ambienti interni limitino la possibilità dei movimenti necessari alla raccolta dei dati; a volte, anche solo manovrare una fotocamera posta su di un treppiede è un'operazione complessa.

L'accessibilità alle strutture in roccia può essere compromessa, ancora, da crolli parziali che bloccano gli accessi alle diverse camere, costituenti un complesso. Gli accessi, soprattutto nelle unità poste all'intero dei centri abitati, e che ancora sfruttano le cavità nella roccia, spesso sono bloccati e tamponati per impedirne il passaggio; a volte, come accade nel complesso sotto le mura di Avanos, i tamponamenti dividono le diverse proprietà, in cui sono state suddivisi gli ambienti sotterranei. Complessi molto estesi nel sottosuolo, oggi sono stati frazionati in piccole unità, che compromettono una loro lettura unitaria e una corretta analisi.

4.1.4 *La luce*

Per una raccolta di dati esaustiva, tale da descrivere un'architettura, è necessario documentare anche l'aspetto cromatico di una costruzione.

Per una corretta campagna fotografica, che sia mirata alla sola raccolta d'informazioni o a una restituzione fotogrammetrica, elemento fondamentale è un'adatta illuminazione, omogenea, senza forti contrasti di luce e ombra, questi influenzerebbero la corretta resa dell'aspetto cromatico e metrico.

Se per le architetture, costruite in superficie, il problema è risolvibile tenendo debitamente conto della traiettoria solare o adottando adeguati sistemi di illuminazione artificiale, per le architetture scavate, la scarsa illuminazione condiziona in modo rilevante le fasi di ripresa.

Negli ambienti sotterranei, dunque sprovvisti di fonti di luce

naturale e aperture verso l'esterno, le condizioni d'illuminazione sono decisamente scarse o nulle, questo pone in primo luogo il problema della corretta restituzione dei colori per le superfici scavate. Al fine di creare un'illuminazione omogenea, possono essere posti dei sistemi d'illuminazione artificiale, date però le geometrie articolate degli spazi, si dovrebbero usare numerosissimi punti luce per illuminare ogni rientranza nella roccia ed evitare contrasti di luce e ombra. Questo, oltre al costo elevato, e al tempo necessario per allestire ogni scena, influirebbe però anche su di un eventuale rilievo con laser scanner 3D, 'sporcando' la nuvola di punti. Per ovviare, in parte e dove è possibile, ai problemi dell'illuminazione è quindi consigliabile usare sistemi di illuminazione direttamente collegati alla camera di ripresa o l'uso di un treppiede, per sfruttare i lunghi tempi di esposizione di cui sono capaci le moderne fotocamere digitali.

4.2 CONSIDERAZIONI SULLE PROBLRMATICHE DELLA RAPPRESENTAZIONE DI ARCHITETTURE SCAVATE E STRATIFICATE

Come si è precedentemente detto, l'utilizzo di strumentazioni digitali, oltre a rendere più rapido e affidabile il processo di misurazione, permette al rilevatore di posticipare alla fase di restituzione scelte discrezionali per la rappresentazione che avrebbero vincolato l'intero processo sin dalle prime fasi di lavoro. La possibilità di scegliere i piani di sezione, sia in pianta che in alzato, una volta ottenuta una nuvola di punti, consente il superamento di una serie di problematiche legate allo svolgimento di un rilievo tradizionale in siti rupestri, che non coinvolgono solo la fase di presa delle misure, ma si ripercuotono anche nella fase di restituzione grafica.

La mancanza degli allineamenti dei vani nei complessi ricavati nella roccia, non consente di individuare chiaramente dei piani di sezione che attraversino contemporaneamente tutti gli spazi che li costituiscono; infatti viene a mancare una percezione complessiva dello spazio, le complesse volumetrie e, ancor di più, la perdita di orientamento, cambiando le strutture assialità e direzioni, non permettono al rilevatore di prefigurarsi una visione globale del sistema edificio. La complessità della prefigurazione e restituzione, permane anche quando si è già costituito un modello tridimensionale; a causa della distribuzione planimetrica e altimetrica dei locali, è necessario sezionare i singoli ambienti seguendo le direzioni più significative e a quote differenziate, in modo da poterne descrivere gli elementi più caratteristici. Per descrivere accuratamente

un ambiente scavato nella roccia servirebbero, dunque, numerosissime sezioni. Oltre alla mancanza di allineamenti, a influire sul numero di sezioni si sommano la scabrosità e l'andamento irregolare delle superfici; a ogni variazione della posizione del piano di sezione, infatti, corrisponde una particolare e unica sezione non potendo sfruttare considerazioni geometriche nello sviluppo delle volumetrie.

La realizzazione di un elevato numero di sezioni è resa possibile da moderni software in grado di estrarre automaticamente le linee sezioni dalla nuvola di punti, sotto forma di polilinea, utilizzabili attraverso applicativi di tipo CAD. La descrizione metrica dei complessi sotterranei ottenuta con strumentazione digitale è dunque affidabile, questi offrono ancora un'efficace descrizione cromatica dei locali sotterranei, pertanto è possibile l'estrazione di fotopiani di singole parti con informazioni multiple. La rappresentazione materica nel modello 3D è affidata alle immagini fotografiche eseguite al momento del rilievo.

La strumentazione usata condiziona molto il risultato del prodotto finale; essendo i rilievi eseguiti nel tempo, la qualità stessa di alcuni fattori, quale ad esempio la qualità fotografica e materica nella restituzione, sono soggetti ad un invecchiamento veloce dei dati, essendo gli strumenti e i software di acquisizione e restituzione in continuo e veloce aggiornamento migliorativo.

Nei casi studiati, sono stati sperimentati metodi differenti per la cattura delle immagini, ottenendo risultati decisamente dissimili. Dal punto di vista cromatico, il risultato più convincente è sicuramente quello ottenuto con le tecniche fotogrammetriche, dove la qualità delle immagini condiziona l'intero processo di restituzione dell'oggetto; per quanto riguarda l'uso della strumentazione laser scanner, i risultati variano molto. Per il rilievo del complesso di Ali Torun e Saklı Kilise, eseguito con uno scanner a fotocamera integrata, è stato addirittura impossibile applicare una mappatura alle scansioni, l'oscurità degli ambienti non ha consentito, infatti, di raccogliere nessuna informazione fotografica.

Per il rilievo del complesso di Santa Marina, eseguito, negli ambienti interni, con la stessa strumentazione è stato possibile scattare delle fotografie, ma la qualità dell'immagine risulta essere scarsa e non soddisfacente, ad esempio, per uno studio accurato delle eventuali pitture murarie o delle incisioni. Il risultato più soddisfacente e adattabile a diversi livelli di lettura è certamente quello usato per il rilievo della casa-museo di Mimar Sinan, che grazie all'integrazione di immagini

ad alta risoluzione restituisce un rilievo completo delle componenti cromatiche e materiche.

I modelli tridimensionali consentono, oltre che di rappresentare le architetture in modo tradizionale, fondamentale ad esempio per la comprensione degli spessori dei solai e delle pareti, di ottenere visualizzazioni di suggestivo impatto visivo, come rappresentazioni prospettiche e animazioni virtuali, che certamente ne facilitano la descrizione e la divulgazione.

4.3 CONSIDERAZIONI FINALI

In seguito alle considerazioni esposte, si può concludere che, la documentazione di un rilievo 3D, nella maggior parte dei casi, è elaborata e studiata combinando diverse tecniche sia per la raccolta dei dati sia per la loro restituzione e lettura, combinandone i vantaggi e sopperendo agli eventuali limiti di ciascuna singola tecnica e strumentazione a disposizione. Infatti, al momento, non esiste una singola strumentazione per il rilievo che sia portatile e flessibile, in grado di acquisire, sviluppare e restituire elaborati accurati a costi contenuti e in tempi rapidi.

La grande quantità di dati raccolti con tecniche digitali, e la possibilità di estrarre diverse tipologie di elaborati, modelli virtuali bidimensionali e tridimensionali, digitali e solidi, soddisfano le richieste degli usi specifici per i diversi utenti. È importante, dunque, stabilire quali siano le rappresentazioni più adatte alla tipologia ed il livello di analisi che si vuole eseguire.

La documentazione della Casa Museo di Mi'mār Sinān è finalizzata alla lettura del complesso architettonico scavato nel sottosuolo, per comprenderne l'organizzazione degli spazi, le tecniche costruttive e le funzioni svolte al suo interno, quindi a supporto delle ipotesi che le varie modifiche e le stratificazioni di elementi architettoniche possono suggerire.

Per questo scopo sono state estratte, direttamente dalle nuvole di punti, delle rappresentazioni assonometriche e prospettiche, per descrivere chiaramente l'intero complesso; questi elaborati mostrano le relazioni tra gli ambienti scavati e costruiti, la loro complessa e disorientante distribuzione nel sottosuolo e in superficie. Sono state estratte, inoltre le doppie proiezioni ortogonali, che hanno facilitato la lettura degli elementi materici degli ambienti, la localizzazione delle tracce scolpite nella roccia, oltre che consentire un'agile misura degli elementi architettonici.

La versatilità dei modelli tridimensionali consente, inoltre, un loro uso per scopi molto differenti, potrebbe essere sfruttato

ad esempio per individuare le criticità strutturali, per sviluppare un progetto di recupero degli ambienti scavati, o per la semplice divulgazione secondo i diversi modelli di comunicazione.

La fase di presa delle misure, l'acquisizione d'immagini e l'estrazione degli elaborati, sono fasi fondamentali che necessitano di una programmazione o progetto preliminare che aiuti a individuare le caratteristiche peculiari e a superare le limitazioni imposte dall'ubicazione sotterranea degli spazi da rilevare.

L'iter procedurale descritto, quindi, vuole fornire, se non un vero e proprio standard da seguire per il rilievo di complessi scavati nella roccia, delle considerazioni generali, estensibili a qualsiasi architettura, utili per eseguire un progetto preliminare per un rilievo corretto, ogni luogo ha problematiche che occorrerà valutare, ponendo attenzione a caratteristiche che potrebbero compromettere il rilievo e la rappresentazione affidabile di un'architettura scavata.

Il rilievo eseguito alla Casa Museo di Mi'mār Sinān durante

la missione del 2015, è inoltre il primo rilievo affidabile del complesso, ed ha consentito, e consentirà, discussioni, considerazioni e ipotesi posti su elaborati accurati.

E' importante ricordare che il rilievo e la rappresentazione di quest'arcaica tipologia architettonica-urbana-paesaggistica, che va oltre il tradizionale, concorre ad una piena conoscenza valore storico, culturale e tecnico dell'abitare in roccia; mira alla salvaguardia e alla conservazione di un patrimonio sviluppato in differenti ambiti territoriali, che coinvolge ed accumuna culture distinte tra loro; fornisce testimonianze di come il vivere in grotta abbia rappresentato per molti popoli la migliore soluzione per lo svolgimento delle principali attività quotidiane, e in alcuni casi mai abbandonata.

Il rilievo e la rappresentazione d'interi insediamenti, prima scavati, e poi ampliati in superficie dando luogo a interi villaggi e città, dichiarati Patrimonio dell'Umanità, qual è Matera, facilita la comprensione, la divulgazione e la tutela di un importante patrimonio culturale spesso trascurato e destinato inesorabilmente a scomparire.



Il sigillo di Mimar Sinan, 1565.

BIBLIOGRAFIA

- AA.VV., 1967, *Il sottosuolo di Napoli. Relazione della Commissione di Studio*, a cura del Comune di Napoli,, 466 pp;
- AA.VV.,2005, *Atti del Convegno Cavità Naturali e Artificiali della Grande Guerra*, Circolo Ufficiali Presidio Militare di Trieste Villa Italia, 11-12 giugno 2005, Centralgrafica snc, Trieste;
- P.L. ABBATANGELO, 1966, *chiese-cripte e affreschi italo-bizantini di Massafra*, Taranto, vol.I pp. 178-195;
- V. ALBERTINI, A. BALDI, C. ESPOSITO, 1997, *Napoli la città riscoperta - viaggio nel sottosuolo di Napoli*. Associazione Napoli Sotterranea, 196 pp;
- A. ARECCHI, 2001, *La casa nella roccia. Architetture scavate e scolpite*, Mimesis, Milano
- T. ASHBY, 1935, *The Aqueducts of Ancient Rome*. Clarendon Press, Oxford;
- A. AYHAN, 2004, *Geological and Morphological Investigations of the Underground Cities of Cappadocia Using GIS*, PhD Thesis, ODTU, Ankara;
- L. BANCHI BARRIVIERA, 1962, *Le chiese in roccia di Lalibela e di altri luoghi del Lasta*, in *Rassegna di studi etiopici*, Istituto per l'Oriente C. A. Nallino, vol 18 pp. 5-76
- L. BANCHI BARRIVIERA, 1963, *Le chiese in roccia di Lalibela e di altri luoghi del Lasta*, in *Rassegna di studi etiopici*, Istituto per l'Oriente C. A. Nallino, vol 19 pp. 5-94
- S. BELTRAMO, 2009, *Stratigrafia dell'architettura e ricerca storica*, Carocci, Roma
- B. BENEDETTI, M. GAIANI, F. REMONDINO, 2010,(A CURA DI), *Modelli digitali 3D in archeologia: il caso di Pompei*, Edizioni della Normale, Pisa, 2010.
- S. BERTACCHI, M. PASQUINI 2011, *Rilievo e rappresentazione delle chiese rupestri di Palagianello in Puglia*, in (a cura di) S. Bertocci, S. Parrinello, *Architettura eremitica. Sistemi progettuali e paesaggi culturali*. Atti del II convegno nazionale di studi, Vallombrosa, 24-20 settembre 2011, Edifir, Firenze, pp. 240-245..
- S. BERTOCCI, M. BINI, 2012, *Manuale di rilevamento architettonico ed urbano*, CittàStudi, Novara.
- G. BERTUCCI, R. BIXIO, M. TRAVERSO (a cura di), 1995, *Le Città sotterranee della Cappadocia*. Opera Ipogea, 1, Erga edi-zioni, Genova, 140 pp.;
- F. BORGOGNI, 2007, *Rilievo integrato alla grande scala: il caso di Merida*. in *Metologie integrate per il rilievo, il disegno, la modellazione dell'architettura e della città*. (a cura di) E.Chiavoi;M. Filippa, Gemini Editore, Roma. pp.41-46
- F. BORGOGNI, 2011, *Rilievo per immagini: la fotomodellazione*, Tesi di dottorato del Ciclo XXIV.
- R. BIXIO, 2002, *Repertorio delle strutture sotterranee della Cappadocia*, in Bixio R., Castellani V., Succhiarelli C. (eds.) *Cappadocia, le città sotterranee*, pp.293-307, Istituto Poligrafico e Zecca dello Stato, Roma;
- R. BIXIO, V. CASTELLANI, C. SUCCHIARELLI (a cura di), 2002, *Cappadocia - le Città sotterranee*. Ist. Poligrafico e Zecca dello Stato, Roma, 319 pp;
- R. BIXIO, A. DE PASCALE, A. MAIFREDI, M.TRAVERSO, 2009, *Ahlat 2007. Una nuova area di insediamenti sotterranei nella Turchia orientale* , «Opera ipogea» I, , pp.43-48;
- R. BIXIO, V. CALOI, A. DE PASQUALE, V. CASTELLANI, M. TRAVERSO, J. TRIOLET, L. TRIOLET, 2012a, *Cappadocia, records of underground sites*, Archaeopress publisher of British Archaeological Report (BAR), International Series 2413, Oxford;
- R. BIXIO, A. DE PASCALE, 2012b, *Segni di fede nelle montagne e nelle pietre dall Turchia orientale: croci incise armena nel territorio di Ahlat*, in *Arceologia Medievale*, XXXIX, pp. 283-298;
- G. BODON, I. RIERA, P. ZANOVELLO, 1994, *Utilitas necessaria (sistemi idraulici nell'Italia romana)*. Progetto Quarta dimensione, Grafiche Folletti, Milano;
- R. CAPRARA, 2011 a, *Rupestrian Culture*, in AA.VV., *The Rupestrian settlements in the circum-mediterranean area*, Chrima cinp project, il David, Firenze,, pp 13-18;
- R. CAPRARA, 2011 b, *Classification of rupestrian settlements*, in AA.VV., *The Rupestrian settlements in the circum-mediterranean area*, Chrima cinp project, il David, Firenze, pp 41-51;

- R. CAPRARA, 2015, *la chiesa rupestre altomedievale di Santa Marina a Massafra (Taranto)*, in AA.VV. Archeogruppo, bollettino dell'archeogruppo "E.Jacovelli", Massafra,
- Archivio della Collegiata di Massafra, Libri Baptizinorum, vol.3 c.168 v;
- R. CAPRARA, C. CRESCENZI, M. SCALZO, 1983, *Il territorio nord del comune di Massafra*, Firenze, Il David.
- R. CAPRARA, F. DELL'ACQUILA, 2007, *il villaggio rupestre di madonna della scala a Massafra (Taranto)*, Massafra;
- R. CAPRARA, F. DELL'ACQUILA, 2008, *note sull'organizzazione urbanistica degli insediamenti rupestri. Tra Puglia e Mediterraneo 2005* in AA.VV. insediamenti rupestri di età medievale: abitazioni e strutture produttive. Atti del convegno di studio. Grottaferrata, 27-29 ottobre 2005, Spoleto, centro italiano di studi sull'alto medioevo, pp.182-215;
- E. CAPPÀ, G. CAPPÀ, 1991, *Cavità artificiali nei massi di tufo verde sul Monte Epomeo (isola d'Ischia - Campania - Italia)*; Notiz. Sez. CAI Napoli, n. 1, 45-54.;
- V. CASTELLANI, 1999, *La civiltà dell'acqua*. Editorial Service System, Roma, 256 pp.;
- C. CHERUBINI, L. CUCCHIARARO, C. GIASI, RAMUNNI, 1993.a, *Elaborazioni statistiche fisiche e meccaniche di vari tipi di calcareniti pugliesi*. Atti Conv. Int. "Le pietre da costruzione: il tufo calcareo e la Pietra Leccese", Bari 26-28 maggio;
- C. CHERUBINI, S. GERMINARIO, R. PAGLIARULO, RAMUNNI, 1993b, *Caratterizzazione geomeccanica delle calcareniti di Canosa in relazione alla stabilità degli ipogei*. Atti Conv. Int. "Le pietre da costruzione: il tufo calcareo e la Pietra Lec-cese", Bari 26-28 maggio 1993;
- M. G. CIANCI, 2008, *La rappresentazione del Paesaggio, Metodi, strumenti e procedure per l'analisi e la rappresentazione*, Alinea, Firenze.
- P. CLINI, 2008, *Il rilievo dell'architettura – Tecniche, metodi ed esperienze*, Alinea editrice, Firenze
- H. COMERT, 2008, *Koramaz Vadisi*, Agirnas Belediesi, Kayseri;
- V. COTECCHIA, G. CALÒ, G. SPILOTRO, 1985, *Caratterizzazione geolitologica e tecnica delle calcareniti pugliesi*. Atti III Conv. Naz. su "Attività estrattiva dei minerali di 2a categoria", Bari 17-19 gennaio 1985;
- C. CRESCENZI, *Italian rupestrian Culture*, in *Rupestrian landscape and settlements, workshops and survey results*, Firenze, Il David, 2012. pp. 57-88;
- C. CRESCENZI, 2011, *Rupestrian culture in Italy* in AA.VV., *The Rupestrian settlements in the circum-mediterranean area*, Chrima cinp project, il David, Firenze, pp 151-152;
- C. CRESCENZI, C. GIUSTINIANI, G. RICCHERA, 2015, *Religious buildings in Ortahisar (Turkey). The survey of the complex of Sakli and Ali Torun Kilise*, in AA.VV. *Proceedings of International Congress of Speleology in Artificial Cavities "Hypogea 2015" - Italy*, Rome, March 11/17 - 2015
- E. D'ANNIBALE, 2011, *Fotogrammetria Close-Range e Visual Design per i Beni Culturali*. Tesi di Dottorato, Università Politecnica delle Marche.
- N. D'ARBITRIO, L. ZIVIELLO, 1991, *Ischia. L'architettura rupestre delle case di pietra*. Edizioni Scientifiche Italiane, 142 pp.;
- L. DE LUCA, 2011, *La fotomodellazione architettonica. Rilievo, modellazione, rappresentazione di edifici a partire da fotografie*, Dario Flacovio Editore, Palermo.
- A. DE PASCALE, 2011, *Rupestrian Cultures of Turkey: reflections on the analysis and classification of a fragile heritage*, in AA.VV., *The Rupestrian settlements in the circum-mediterranean area*, Chrima cinp project, il David, Firenze, pp 13-18;
- F. DELL'ACQUILA, 2010, *Note sul cristianesimo nel Gebel Nefusa (Libia)* «Quaderni Friulani di Archeologia» XX, pp.109-115;
- F. DELL'ACQUILA, A. MESSINA, 1998, *Le chiese rupestri di Puglia e Basilicata*, Adda editore, Bari.
- F. DELL'ACQUILA, G. FIORENTINO, C. BENCINI, 2007, *Abitazioni rupestri a Nalut (Libia). Seconda missione, febbraio 2007*, in *Grotte e dintorni*, n.13 giugno, pp. 21-56.
- M. DELLE ROSE, F. GIURI, P. GUASTELLA,

- M. PARISE, M. SAMMARCO, 2006, *Aspetti archeologici e condizioni geologico-morfologiche degli antichi acquedotti pugliesi. L'esempio dell'Acquedotto del Triglio nell'area tarantina*. Opera Ipogea, nuova serie, n. 1-2, pp. 33-50;
- E. DI LABIO, 2004, *I dati sintetici. L'albero delle tipologie. Dati catastali*, Opera Ipogea, Genova, anno VI, n. 2-3, pp. 9-79;
 - E. DI LABIO, 2006, *Catasto Nazionale delle Cavità Artificiali. Aggiornamenti: Abruzzo, Lazio, Piemonte, Toscana, Trentino Alto Adige*, Opera Ipogea, Genova, anno VIII, n. 1-2, pp. 89-94;
 - M. DI SALVO, 1999, *Chiese d'Etiopia. Il monastero di Narga Sellase*, Skira, Milano
 - M. DOCCI, M. GAIANI, D.MAESTRI, 2011, *Scienza del disegno*, CittàStudi, Torino.
 - S. EL-HAKIM, J.-A. BERARDIN, M. PICARD, L. COURNOYER, 2008, *Surface reconstruction of large complex structures from mixed range data – the erchtheion experience*, in proceedings of XXI congress ISPRS 2008, Beijing, china, 3-11 luglio 2008
 - A. EVANGELISTA, 1991, *Cavità e dissesti nel sottosuolo dell'area napoletana*. Atti Conv. "Rischi naturali ed impatto an-tropico nell'area metropolitana napoletana", Napoli Facoltà di Ingegneria, 7-8 giugno 1991, Acta Neapolitana, Guida Editori, 195-218;
 - E. EVANGELISTA, A. FLORA, F. DE SANCTIS, S. LIRER, 2005, *Il rischio connesso alla presenza di cavità in aree urbane: il caso di Napoli*. In: N. Russo, S. Del Prete, I. Giulivo, A. Santo (a cura di), *Grotte e speleologia della Campania*. Elio Sellino editore, 186-187.;
 - G. FANGI, 1995, *Note di fotogrammetria*, Edizioni CLUA.
 - D.C. FONSECA, 1970, *Civiltà rupestre in terra ionica*, Ed. Besetti, Roma-Milano
 - D.C. FONSECA, 1981, *La Cappadocia tra mito storiografico e realtà storica*, in *Le aree omogenee della civiltà rupestre nell'ambito dell'Impero Bizantino: la Cappadocia*, in (a cura di) C.D. Fonnseca, *Atti del Quinto Cnvegno Interazionale di Studio sulla Civiltà Rupestre Medievale nel Mezzogiorno d'Italia (Lecce - Nardò, 12-16 ottobre 1979)* Galatina, pp.13-21
 - E. FUSAN ALIOGLU , Y. KOSEBAY ERKAN, M. ALPER, B. ALPER, 2012, *Rock carved spaces in Ortahisar*, in AA.VV., *The Rupestrian settlements in the circum-mediterranean area*, Chrima cinp project, il David, Firenze
 - E. FUSAN ALIOGLU , Y. KOSEBAY ERKAN, M. ALPER, B. ALPER, 2012, *Rupeestrian mosues in Ortahisar*, in AA.VV., *The Rupestrian settlements in the circum-mediterranean area*, Chrima cinp project, il David, Firenze
 - F. GHERLIZZA, M. RADACICH, 2005, *Grotte della grande Guerra*. Club Alpinistico Triestino - Gruppo Grotte, Trieste, pp. 352;
 - C. GIUSTINIANI, 2015, *Journey in Ethiopia: the church of beta Giyorgis in Lalibela*, in S.Bertocci, P.Puma, *Contemporary Problems of Architecture and Construction*. Proceedings of 7th international conference, La Scuola di Pitagora, Firenze, pp. 695-700.
 - R. C. GONZALEZ, R. E. WOODS, *Digital Image Processing*, Prentice Hall, New Jersey, 2001.
 - G. GUIDI, M. RUSSO, J.A. BERARDIN, 2010, *Acquisizione 3D e modellazione poligonale*, McGraw-Hill Companies, Milano
 - S. HALL, F. DE SANCTIS, G. VIGGIANI, A. EVANGELISTA, 2004, *Impiego della tecnica delle emissioni acustiche nella previsione dei dissesti in cavità: studi preliminari in laboratorio*. Atti I Conv. "Stato dell'arte sullo studio dei fenomeni di sinkhole e ruolo delle Amministrazioni statali e locali nel governo del territorio", 20-21 maggio 2004, APAT, Roma, 467-478;
 - E.C. HARRIS, 2003, *The stratigraphy of standing structures*, con alcune considerazioni in nota di R.Parenti, in *Archeologia dell'Architettura*, VIII, All'Insegna del Giglio, Firenze, p.p.9-16
 - M. INBASI, 1992, XVI. *Yüzyıl Baclarında Kayseri, Kayseri*;
 - A.IPPOLITO, 2007 *La costruzione dei modelli per il rilievo archeologico*, in *Metologie integrate per il rilievo, il disegno, la mollazione dell'architettura e della città*. (a cura di) E.Chiavoi;M. Filippa, Gemini Editore, Roma, pp.27-40
 - A.IPPOLITO, F. BORGOGNI, 2007, *I modelli nei rilievi di architettura*, in (a cura di) E.Chiavoi;M. Filippa, *Metologie integrate per il rilievo, il disegno, la mollazione dell'architettura e della città*. , Gemini Editore, Roma.

- pp. 47-52.
- E. JACOVELLI, 1960, *Gli affreschi bizantini di Massafra*, Massafra
 - C. JOLIVET LÉVY, 1991, *Les église byzantines de Cappadoce*, Édition CNRS, Paris.
 - C. JOLIVET LÉVY, 1997, *La Cappadoce, memoire de Bysance*, Edition CNRS, Paris
 - C. JOLIVET LÉVY, 2001, *L'arte della Cappadocia*, ed. JacaBook, Milano
 - C. JOLIVET LÉVY, M. KAPLAN, J.P. SODINI, *Les Saints et leur Sanctuar a Bysance*, Paris.
 - C. LAPAGE, J. MERCIER, 2005, *Les eglise historique du Tigray/The ancient churches of Tigray*. Paris:APDF
 - R. MELE, S. DEL PRETE, 1998, *Fenomeni di instabilità dei versanti in Tufo Verde del Monte Epomeo (isola d'Ischia - Campania)*. Boll. Soc. Geol. It., 117 (1), 93-112;
 - P. MENEGHETTI, 2013, *Il Mereghetti*. Dizionario dei film 2014, 3 voll., Baldini & Castoldi, 2013
 - M. MENEGHINI, 2008, *Situazione aggiornata del Catasto Nazionale delle Cavità Artificiali della Società Speleologica Italiana*, Atti del 6° Convegno Nazionale di speleologia in cavità artificiali, 30 maggio-2 giugno 2008, Napoli, Opera Ipogea, anno X, n. 1-2, pp. 235-260;
 - M. MENEGHINI, 2010, *Aggiornamento dei dati del Catasto nazionale delle cavità Artificiali*, Atti del 7° Convegno Nazionale di speleologia in cavità artificiali, 4-8 dicembre 2010, Urbino;
 - R. MIGLIARI, 2006, *V.I.A Virtual Interactive Architecture*, in M. Unali, *Lo spazio digitale dell'architettura italiana, idee, ricerche, scuole, mappa*. Edizioni Kappa, Roma.
 - R. MIGLIARI, 2008, *Prospettiva dinamica nterattiva - La tecnologia dei videogiochi per l'esplorazione dei modelli 3D di architettura*, Edizioni Kappa, Roma, pp.6-17
 - R. MIGLIARI, 2009, *Geometria Descrittiva, Volume II - Tniche e applicazioni*, CittàStudi, Torino
 - R. MINGUCCI, 2016, *Modellazione digitale Informativa per l'analisi e la rappresentazione del Paesaggio Urbano*, in (a cura di)S. Brusaporci, *Sistemi Informativi Integrati per la tutela, la conservazione e la valorizzazione del Patrimonio Architettonico Urbano: MIUR PRIN COFIN 2006*, Gangemi Editore spa, Roma, pp 144-153
 - MIKHAIL, E.M., BETHEL, J.S., MCGLONE J.C., *Introduction to modern photogrammetry*, John Wiles and Sons, Inc. 2001;
 - A.A. MONTI DALLA CORTE, 1940a, *Un gioiello archeologico fa le montagne del Lasta: Imerehana Christos*, in, Bollettino della Reale società geografica itaiana ser. vii 5, 6: 363-8.
 - A.A. MONTI DALLA CORTE, 1940b, *Lalibelà. le chiese ipogee e monolitiche e gli alti monumenti eievali del Lasta*, Società Italiana Arti Grafiche, Roma
 - G. NECIPOĞLU, 2005, *The Age of Sinan: Architectural Culture in the Ottoman Empire*, Reaktion book, Londra.
 - M. NICOLETTI, 2009, *L'architetture delle caverne*, Laterza, Bari.
 - S. PARRINELLO, 2013, *Disegnare il paesaggio*, Edifir, Firenze, 2013.
 - S. PARRINELLO, F. PICCHIO, 2013, *Dalla fotografia digitale al modello 3D dell'architettura storica*, in *Disegnare con*, a cura di Pablo Rodríguez-Navarro, Vol.6, n°12, 2013.
 - M. PASQUINI, 2011, *Integrated surveying systems for buried architecture* in AA.VV., *The Rupestrian settlements in the circum-mediterranean area*, Chrima cinp project, il David, Firenze, pp 175-182;
 - M. PASQUINI, 2013, *La documentazione dell'architettura sepolcrale ipogea nel bacino del Mediterraneo*. Università degli studi di Firenze, tesi di dottorato XXVI ciclo;
 - G. PECORELLA, A. FEDERICO, M. PARISE, A. BUZZACCHINO, P. LOLLINO, 2004, *Condizioni distabilità di complessi rupestri nella Gravina Madonna della Scala a Massafra (Taranto, Puglia)*. Grotte e dintorni, anno 4, n. 8, 3-24.;
 - D.W. PHILLIPSON, 2009, *Ancient church of Ethiopia*, Yale University Press, New Haven, Conn.;
 - D.W. PHILLIPSON, 2012, *Foundation of an african civilization*, Addis Abeba University press
 - F.PICCHIO, 2015, *Scomporre e riconfigurare il paesaggio. Ambienti virtuali e modelli di analisi per la costituzione di sistemi gestionali*. Tesi di Dottorato, Università degli studi di Firenze, XXVIII ciclo, 2015.
 - PIERROT-DESSEILLIGNY, M., DE LUCA, L., REMONDINO F., *Automated image-based*

- procedures for accurate artifacts 3D modelling and orthoimage generation*, Proc. 23th Int. CIPA Symposium, 2011, Prague, Czech Republic;
- A. PICIOCCHI, C. PICIOCCHI, 2005, *Le cavità artificiali della Piana Campana*. In Russo N., Del Prete S., Giulivo I., Santo A. editors: *Grotte e speleologia della Campania*, Sellino ed. Avellino, pp.175-182;
 - F. REMONDINO, S. EL-HAKIM, 2006, *Image-based 3D modelling: a review*, The Photogrammetric Record, Vol. 21(115), pp. 269-291;
 - F. REMONDINO, S. EL-HAKIM, A. GRUEN, L. ZHANG, 2008, *Development and performance analysis of image matching for detailed surface reconstruction of heritage object*, IEEE Signal Processing Magazine, Vol. 25(4), pp. 55-65;
 - F. REMONDINO, S. DEL PIZZO, T. H. KERSTEN, S. TROISI, 2012, *Low-cost and open-source solutions for automated image orientation – a critical overview*, in Lecture notes in computer science, 7616, Springer-Verlag, Berlin Heidelberg
 - F. RINAUDO, 2007, *Principi di funzionamento e tecniche di acquisizione*, in F. Sacerdote, G. Tucci a cura di, *Sistemi a scansione per l'architettura e il territorio*, Alinea Editrice, Firenze
 - F. RITCHIN, *Dopo la fotografia*, Piccola Biblioteca Einaudi, Torino, 2012.
 - L. RODLEY, 1985, *Cave monasteries of Byzantine Cappadocia*, Cambridge University Press, Cambridge.
 - P. RODRIGUEZ-NAVARRO, 2012, *Digital photogrammetry versus the system based on active 3D sensors*. in *Expresión gráfica arquitectónica*, numero 20. 2012.
 - P. RODRIGUEZ-NAVARRO, 2013, *Alcune riflessioni sul "Disegno con la fotografia digitale"*, in *Disegnare con*, a cura di Pablo Rodríguez-Navarro, Vol.6, n°12.
 - M. SCALZO, 1995, *Il rilievo di architetture per sottrazione. Un esempio: il complesso di Sant' Antonio Abate a Massafra*, in "Archeogruppo" 3, pp. 95-108
 - M. SCALZO, 2002, *Sul rilievo di architetture rupestri*, archeogruppo, Massafra.
 - M. SCALZO, 2010, *Il fenomeno rupestre in Toscana dal III al XVIII secolo: alcune considerazioni preliminari*, in (a cura di) S. Bertocci, S. Parrinello architettura eremitica. Sistemi progettuali e paesaggi culturali. Atti del convegno nazionali di studi, Monte Senario 19-20 giugno 2010, Edifir, Firenze.
 - M. SCALZO, (in corso di stampa), *Chiese rupestri di Cappadocia: alcune considerazioni su esempi "minori"*, in AA.VV, *Atti del convegno I paesaggi del sottosuolo. Paesaggi geologici, archeologici, minerari e delle acque*, 27-28 giugno 2014, parco Archeominerario di San Silvestro (LI)
 - M. SCALZO, C. GIUSTINIANI, 2015, in AA.VV, *Italian survey & international experience*, 36° convegno internazionale dei docenti della rappresentazione - undicesimo congresso uid - parma 18 • 19 • 20 settembre 2014, Gangemi Editore Spa, pp. 713-718
 - C.M. SCIALPI, 2011, *Comunicare il paesaggio mediterraneo dall'habitat rupestre*, in *Rupestrian settlement in the mediterranean region*. from archeology o good practices for their restauration and protection, iinternational seminar in "terra Jonica", Massafra aprile-maggio 2011, Firenze, Il David, pp. 69-83;
 - M. SGRENZAROLI, G.P.M VASSENA, 2007, *Tecniche di rilevamento tridimensionale tramite laser scanner*, Brescia, Starrylink;
 - C. SUCCHIARELLI, 2002, *Geomorfologia, forme di erosione e insediamenti sotterranei*. In Bixio R., Castellani V, Succhia-relli C. (a cura di), *Cappadocia - le Città sotterranee*, Ist. Poligrafico e Zecca dello Stato, Roma, 59-76;
 - Y. TEWOLDEMEDHIN, 1969, *Introduction generale aux eglises monolithes du Tigray*. in *Procidings of the third international conference of ethiopian studies*, 3 Vol. pp.83-98, Addis Ababa: Haile Sellassie I University Institute of Ethiopian Studies;
 - N. THIERRY, 1965, *Eglises rupestres de Cappadoce*, *Journal de Savants*, vol 4, n.1, Prigi, pp. 625-635
 - N. THIERRY, 1965 *Quelques èglise inèdites en Cappadoce*, *Corso di cultura sull'arte ravennate e bizantina* vol 12, Ravenna pp. 579-602
 - N. THIERRY, 1969 *Quelques monuments inèdits ou mal connus de Cappadoce, centre de Macan, Cavusin et Goreme*, in *Information de l'histoire de l'art*, pp. 14-25
 - N. THIERRY, 1981 *Monuments du Cappadoce de*

l'antiué romaine au moyen age byzantin, in (a cura di C.D Fonseca, Atti del V Cnvegno Interazionale di Studio sulla Civiltà Rupestre Medievale nel Mezzogiorno d'Italia (Lecce - Nardò, 12-16 ottobre 1979) Galatina, pp.29-73

- N. THIERRY, M. THIERRY, 1961, *Voyage archeologique en Cappadoce*, in *Revue des etudes byzantines*, vol 19, pp. 419-437.
- N. THIERRY, M. THIERRY, 1963, *Une nouvelle èglise rupestre en Cappadoce: Cambazli Kilise à Ortahisar*, in *Journal de Savants*, Paris, pp.5-24
- J.L. VERDU', 2011, *La arquitectura excavada en el mediterráneo. El proyecto CHRIMA*. Arché VI, pp.75-86;
- G. VOSSelman, H. G. MAAS, 2010, *Airborne and Terrestrial Laser Scanning*, Whittles Publishing, Dunbeath, Caithness, Scotland, UK;
- H. H. VU, R. KERIVEN, P. LABATUT, J.-P. PONS, 2009, *Towards high-resoluion large-scale multi-view stereo*, proceedings of IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, pp. 1430-1437;
- A. YAMAÇ, E. TOK, 2015a, *An Architets underground city*, in "Opera Ipogea" I/2015, pp. 39-46.
- A. YAMAÇ, E. TOK, B. FIIKEI, 2015b, *Underground cities of Kayseri (Turkey)*, in AA.VV Proceedings of International Congress of Speleology in Artificial Cavities "Hypogea 2015" - Italy, Rome, March 11/17 - 2015, pp.92-99
- O. YORUKOGLU, 1989, *Underground Cities in Cappadocia*, Ankara;
- F. ZEVI, 1994, (a cura di), *Neapolis*. Banco di Napoli - Guida Editore, 300 pp;

ABSTRACT

Lo scopo di questa ricerca è stato quello di analizzare e comprendere, attraverso il rilievo e la rappresentazione, gli edifici storici scavati nella roccia e gli edifici derivanti da un loro sviluppo edificato in superficie. Questo lavoro, frutto di uno studio protrattosi per alcuni anni, nell'ambito di progetti di ricerca internazionali e viaggi di studio, si propone di fornire una testimonianza di come "il vivere nel sottosuolo" sia una vera e propria cultura oltre che una pratica costruttiva, spesso mai abbandonata fino ai giorni nostri. Gli insediamenti sotterranei sono stati scavati, dove il terreno era adatto, da varie civiltà in luoghi remoti, indipendentemente dalla religione e periodo storico.

Spesso le strutture ricavate nel sottosuolo, sono state successivamente modificate, adattate a nuove esigenze ed usate con diverse funzioni. In alcuni casi gli spazi si sono estesi in superficie creando tipologie miste. Partendo da un nucleo antico scavato, gli edifici si sono sviluppati in superficie, sono stati costruiti nuovi volumi con tecniche tradizionali, dando luogo così ad un fenomeno di stratificazione architettonica, che oggi caratterizza interi centri urbani.

Per comprendere queste particolari tipologie costruttive, è necessario identificare alcuni fattori distintivi, coinvolgendo: la natura della roccia dove sono state ottenute, la morfologia del territorio, il paesaggio, le tecniche costruttive, la distribuzione e l'uso degli spazi.

Le procedure di rilievo digitali e le tecniche di rappresentazione moderne, costituiscono uno strumento che si adatta perfettamente allo studio dei complessi scavati.

Uno degli obiettivi del progetto di ricerca, è quello di identificare le problematiche legate alle diverse tecniche di rilievo digitale, dalla fotogrammetria al laser scanner, ed alla rappre-

sentazione di questi oggetti architettonici estremamente articolati.

A partire da alcuni casi studio, mirati all'analisi di diverse tipologie di edifici scavati nella roccia (la chiesa ipogea di Beta Giyorgis, a Lalibela, in Etiopia; il complesso rupestre di Santa Marina, a Massafra, in Italia; le chiese di Sakli ed Ali Torun, a Ortahisar, in Turchia), per arrivare alla casa-museo del "divino maestro" Mimar Sinan ad Ağırnas. Abbiamo eseguito rilievi e rappresentazioni affidabili ed accurate, utili per una catalogazione tipologica, per un'analisi dimensionale e materica, e per lo studio delle fasi di trasformazione degli oggetti architettonici, che li hanno modificati per diventare come appaiono oggi. È stato quindi possibile formulare delle ipotesi su come gli oggetti studiati si siano evoluti, sia nelle fasi di scavo, che nelle fasi di utilizzo.

L'uso del rilievo digitale, ha facilitato la raccolta dei dati sulle architetture "in negativo", dalla fase di acquisizione della misura a quella di estrazione di elaborati. Le strumentazioni laser scanner, hanno consentito di acquisire dati di estese porzioni di territorio antropizzato, all'interno delle quali sono realizzate le architetture, ed ha fornito una visualizzazione tridimensionale complessiva di interi insediamenti molto articolati ed il loro rapporto con l'esterno.

La produzione di nuovi disegni, sempre più accurati ed affidabili, contribuisce a preservare la memoria di questi monumenti destinati a scomparire. La flessibilità nell'utilizzo dei modelli 3D offre, inoltre, la possibilità di creare rappresentazioni mirate a studi specifici ma anche, ricostruzioni virtuali, animazioni digitali ed elaborati che facilitano la comprensione e la divulgazione di questo straordinario patrimonio culturale ed architettonico.

ABSTRACT

The aim of this research study was to analyze, through the survey and representation the historical carved buildings.

This work, is the result of a study that lasted for several years, in the context of international research projects and study trips, aims to provide a testimony of how “living underground“ is a true culture as well as a building practice. Underground buildings have been excavated where the soil was suitable, from various civilizations in remote places, independently of religion and historical period.

Often, the structures formed in the subsurface, were subsequently modified, they have been taken to new requirements and used with different functions. In some cases the spaces are extended to the surface creating mixed typologies. Starting from an ancient excavated core, the buildings are developed on the surface, new volumes have been built with traditional techniques, thus giving rise to an architectural stratification phenomenon, which today characterizes whole urban centers.

To understand these particular building types, it is necessary to identify some distinguishing factors, involving: the nature of the rock where they were obtained, the morphology of the territory, the landscape, the construction techniques, the distribution and use of spaces. The digital survey procedures and modern representation techniques, constitute an instrument that is perfectly suited to the carved complexes.

One of the goal of the research project is to identify the problems related to the different surveys and representation techniques, from photogrammetry to laser scanner, of these architectural objects.

Starting from few case studies, focused to the analysis of different types of buildings carved into the rock (The under-

ground church Beta Giyorgis, Lalibela, Ethiopia; The cave complex of Santa Marina, in Massafra, in Italy; the churches of Sakli and Ali Torun, Ortahisar, Turkey), to arrive to the house of the “divine master” Mimar Sinan in Ağırnas. we performed reliable and accurate surveys and representations, useful for a typological cataloging, for a dimensional and material analysis, and for the study of the processing steps of architectural objects, which have modified them to become as they appear today. It was then possible to formulate some hypotheses on how studied objects evolved, both in digging phases, and the phases of use.

The use of digital survey has facilitated the collection of data on “subtractive” architectures, from the acquisition of the measure, to the production of drawings. The laser scanner instruments, made it possible to acquire data over large portions of man-made land, and provides a three-dimensional visualization of whole articulated complexes and their relationship with the outside and landscape. The production of new drawings, more and more accurate and reliable, helping to preserve the memory of these monuments destined to disappear. The flexibility in the use of 3D models also offers the possibility of creating representations aimed to specific studies but also, virtual reconstructions, digital animations and documents that facilitate the understanding and dissemination of this extraordinary cultural and architectural heritage.