

ALMA MATER STUDIORUM - UNIVERSITÀ DI BOLOGNA

SCUOLA DI INGEGNERIA E ARCHITETTURA

Corso di Laurea Magistrale in
Ingegneria dei processi e dei sistemi edilizi

TESI DI LAUREA

In

MODELLAZIONE BIM M

**DAL RILIEVO DIGITALE ALL'IPOTESI DI RICOSTRUZIONE
DELLA BIBLIOTECA GRECA DI VILLA ADRIANA**

CANDIDATO

Tommaso Stella

RELATORE:

Prof. Luca Cipriani

CORRELATORE:

Prof. Filippo Fantini

Anno Accademico 2018/2019

Sessione III

Sommario

<u>1</u>	<u>INTRODUZIONE</u>	4
1.1	OBIETTIVI	4
1.2	METODOLOGIE INTEGRATE: TECNOLOGIA E STORIA VERSO UNO SCOPO COMUNE	6
<u>2</u>	<u>VILLA ADRIANA</u>	8
2.1	STORIA E ARCHITETTURA	8
2.2	LE CUPOLE	15
2.3	LE BIBLIOTECHE DI VILLA ADRIANA	21
<u>3</u>	<u>RILIEVO DIGITALE, ELABORAZIONE DATI E RISULTATI FINALI TRAMITE LEYCA CYCLONE</u>	26
3.1	REVERSE MODELING E PIPELINE	26
3.2	RILIEVO TRAMITE LASER SCANNER	28
3.3	CAMPAGNA DI RILIEVO SULLE BIBLIOTECHE	30
3.4	TIMELINE DEL LAVORO SVOLTO SUL POSTO	33
3.5	ALLINEAMENTO SCANSIONI	38
3.6	RISULTATO FINALE	56
3.7	ELABORAZIONE RISULTATI FINALE DI CYCLONE	61
<u>4</u>	<u>ELABORAZIONE DATI SU GEOMAGIC E RISULTATI FINALI</u>	63
4.1	COSTRUZIONE DEL MODELLO MESH	63
4.2	ELABORAZIONE MODELLO FINALE MESH	67
4.3	ELABORATI FINALI	70
<u>5</u>	<u>ANALISI METODOLOGICHE E GEOMETRICHE</u>	72
5.1	PRINCIPI PROGETTUALI DEL MONDO ANTICO	72
5.2	SISTEMI DI MISURAZIONE E UNITÀ DI MISURA ANTICHI	74
5.3	MATERIALI DA COSTRUZIONE NELL'ANTICA ROMA	77

5.4	ICHNOGRAPHIA	81
5.5	ORTHOGRAPHIA	84
5.6	STUDIO DELLE VOLTE TRAMITE SEZIONI A PASSO COSTANTE E BEST FITTING	86
6	<u>IPOTESI DI RICOSTRUZIONE</u>	<u>90</u>
6.1	IPOTESI RICOSTRUTTIVA ATTUALE DELLA BIBLIOTECA GRECA	93
7	<u>CONCLUSIONE</u>	<u>100</u>
	BIBLIOGRAFIA	101
	RINGRAZIAMENTI	104

1 INTRODUZIONE

1.1 Obiettivi

L'obiettivo di questa tesi è mostrare i possibili vantaggi in funzione della portabilità e compressione dei dati ottenuti con strumenti dedicati all'entertainment nel campo dell'archeologia.

Esporrò in maniera dettagliata l'esperienza del rilevamento tramite l'uso di moderne tecnologie di acquisizione digitale dei dati e di *reverse modeling* e tramite questa tecnologia voglio fornire una valida documentazione in formato digitale della Biblioteca Greca di Villa Adriana (TI), completa sia dal punto di vista tridimensionale che di elaborati bidimensionali.

L'acquisizione di dati con strumentazioni differenti quali laser scanner e fotocamera digitale è dovuto all'ambito in cui ho lavorato, caratterizzato da superfici vaste e articolate e costituite da materiali differenti a causa anche dei restauri che si sono susseguiti negli anni.

Altre componenti che li definiscono sono anche le caratteristiche materiche e geometriche delle superfici oggetto di studio e lo scopo per il quale viene effettuato il rilievo, che spesso influiscono sulla scelta dello strumento che permette di ottenere il risultato migliore.

Si vuole pertanto creare un modello 3D nel quale evidenziare le potenzialità e i limiti nell'uso di *mesh* poligonali sottoposte a decimazione e cercare poi di creare una mappa di colore diffuso per ottenere render foto realistici.

A partire dal modello 3D realizzato, si vuole mostrare la possibilità di poter ricavare ogni tipo di sezione e vista, prospettiva ed ortogonale, in base alle finalità. Tali finalità possono essere:

- A scopo divulgativo
- Per pianificare interventi di restauro

Per questa tesi si intende realizzare:

- Tavole grafiche 2D sezioni, prospetti e piante
- Elaborati 3D

1.2 Metodologie integrate: tecnologia e storia verso uno scopo comune

“Attraverso questo ‘rinascimento digitale’ si renderanno disponibili [...] contenuti di elevata qualità per diverse generazioni mostrando la ricchezza della cultura e della storia europea”.¹

Il nostro Paese, più di altri, possiede enormi ricchezze dal punto di vista del patrimonio culturale. Tale privilegio comporta, nei confronti del patrimonio stesso, elevati doveri riguardanti la sua tutela e la sua valorizzazione. Questi ultimi aspetti sono due dei temi fondamentali e più discussi all’interno dell’ambito culturale italiano ai quali, oggi, se ne aggiunge un altro che mira all’evoluzione del patrimonio non prescindendo dalla sua tutela. L’attenzione si è spostata dalla pura conservazione alla conoscenza, regalando al bene un ruolo attivo e la dignità di un’identità culturale. La disciplina ingegneristica e anche architettonica, in tal senso, ha la possibilità di non essere solo un mezzo di comunicazione e conoscenza dei beni, ma anche di essere uno strumento per farne esperienza. Questo è reso possibile dalle nuove tecnologie digitali, che ne favoriscono e migliorano la gestione, la conservazione, il recupero e la fruizione. Il ruolo degli strumenti digitali ha inizio nel campo del rilevamento, dove, approcciandosi per la prima volta al manufatto, si avviano lo studio e le ricerche su di esso, per poi diventare fondamentali nell’ottenimento di un modello digitale, essenziale per lo sviluppo di chiavi di lettura dettagliate e precise del manufatto stesso. Si deve però considerare il fatto che i nuovi strumenti, per quanto fondamentali per una conoscenza comprensiva dei manufatti, necessitano sempre della sensibilità umana che consente di mantenere il rapporto tra bene culturale e macchina. È proprio nel “tra” che si inserisce l’ingegnere, che, in questa nuova situazione si trova a dover reinstaurare quel “rapporto di vicinanza” che l’utilizzo della macchina ha marginalizzato. Insieme al lavoro dell’ingegnere, collaboratrice in questo lavoro è l’archeologia che si pone come mezzo conoscitivo essenziale per predisporre le basi del lavoro. Le nuove tecnologie hanno quindi il ruolo di supportare la ricerca in fase di studio, la progettazione in fase di elaborazione, la comunicazione, la conoscenza e la

¹*Neelie Kroes, commissario della Commissione Europea e responsabile per l’agenda digitale*

fruibilità per tutti gli utenti. Il ruolo dell'ingegnere in questo caso assume un aspetto simile a quello di un direttore d'orchestra. Così come quest'ultimo, organizzando gli strumenti e coordinando le informazioni provenienti dalle diverse discipline può arrivare a ricostruire l'identità del bene. Risulta, quindi, sempre più evidente la necessità di uno sguardo trasversale nelle diverse discipline che permetta la sistematizzazione delle informazioni derivanti dagli studi, che siano questi storici o digitali, al fine di permettere una piena consapevolezza e fruibilità dei beni, intesa non solo come godimento diretto del patrimonio, ma come sua piena conoscenza e coscienza.

In conclusione il lavoro che si propone all'interno di questa tesi è un'indagine volta alla riscoperta di una parte di Villa Adriana. Lo studio ha l'obiettivo di far conoscere l'area delle biblioteche della Villa attraverso la cooperazione di metodologie di natura informatica e di natura culturale.

2 VILLA ADRIANA

2.1 Storia e architettura

A 28 chilometri dalla capitale, sui banchi tufacei che si allargano ai piedi dei Monti Tiburtini, sorge quello che un tempo fu il grandioso complesso residenziale dell'imperatore Adriano. Imperatore dalla personalità estremamente versatile e amante dell'architettura, cui si dedicò personalmente: le caratteristiche dell'impianto della Villa, che si differenziano dalle consuetudini architettoniche dell'epoca, dimostrano questa sua passione e competenza della materia.



Figura 1: Villa Adriana Fotoplano

Il sito è ubicato quattro chilometri a sud ovest di Tivoli, ai margini della campagna, in posizione leggermente rialzata. Nelle vicinanze, a est e nord est, il terreno si eleva bruscamente raggiungendo vette di cinquecento e mille metri. Per quanto splendidi possono essere, i paesaggi che si ammirano da queste altezze non sono però gli stessi della villa, che essendo collocata più a ponente domina orizzonte più vasto. Dal belvedere ovest si gode infatti un panorama a 180° che va dai colli Albani e i castelli Romani a sud

arriva a comprendere Monterotondo e, a nord ovest, il Soratte² (distante quaranta chilometri); a est si staglia invece il versante meridionale dei monti Sabini. Gran parte di questo panorama era visibile dalla terrazza est ovest; ma dal teatro sud, il punto più alto della villa, si offriva allo sguardo per intero. Tema importante della villa oltre alla sua ubicazione è come si riforniva d'acqua, si ipotizza tramite uno dei quattro acquedotti metropolitani – Marcio, Claudio, Anio Vetus e Anio Novus – che nel percorso dall'alto Aniene a Roma scendevano l'uno accanto all'altro sul fianco del monte Ripoli, circa 200 metri sopra il livello della villa. Dei quattro, il più probabile sembra l'Anio Novus, perché non molto tempo prima che Adriano desse inizio ai lavori di costruzione il cambiamento di sorgente ne aveva migliorato sensibilmente la qualità dell'acqua. Qualunque fosse il dotto sfruttato, questa veniva attinta a poco più di due chilometri a est della villa e trasportata perlopiù attraverso una tubatura sotterranea, finché la conformazione del terreno non imponeva il ritorno in superficie; a un certo punto il dotto si biforcava e sull'altura dei ruderi sud sono tuttora in piedi alcuni archi di uno dei due rami. Pare verosimile che la villa ricorresse a un sistema indipendente, perché in tal caso gli instancabili esploratori di acquedotti l'avrebbero senz'altro individuato, dovendo esse attraversare l'intrico delle quattro linee principali oppure seguire il loro stesso percorso. Qualsiasi siano state le disposizioni adottate, il consumo d'acqua alla villa era comunque qualcosa di prodigioso.

L'atmosfera romantica che si respira camminando per i sentieri della Villa, tra i suoi padiglioni d'acqua a pianta circolare o semicircolare e i suoi recinti, fa sì che lo spettatore si immerga in un mondo passato, che passo dopo passo prende vita tutt'attorno. Ed è così che le rovine di quel luogo sussurrano storie di più di 2000 anni fa, passando per i progetti dei *pensionnaires*³ francesi che, per oltre un secolo, a partire dalla metà del XVIII sec., studiarono la Villa, la cui architettura è ancora oggi tema dibattuto e oggetto di studio.

² Monte Soratte è una montagna del Lazio, nella provincia di Roma, alta 961 m.

³ L'accademia di Francia a Roma è un'istituzione artistica francese situata a Roma a Villa Medici, sulla collina del Pincio, che accoglie in residenza artisti e ricercatori per consentire loro di portare avanti i propri progetti di ricerca.

Uno dei temi di dibattito è sicuramente la scelta del sito che suscita perplessità in molti. R. Lanciani⁴, parlando a nome della maggioranza, dice che non è mai riuscito a capire perché Adriano abbia preferito un luogo così spoglio e insalubre. Perché non costruire sui più freschi pendii a mezzacosta? Il suo contemporaneo G. Boissier⁵, raramente assalito dal dubbio, afferma che “nessuno (panorama) dà ugual senso di grandiosità e di calma, di varietà e di proporzione”. P. Gusman⁶ concorda, definendo il sito mirabile e adattissimo alle “exigeantes fantaisies” dell’imperatore. T. Ashby⁷ accetta in parte tali posizioni: il luogo, scrive, è privo di attrattive ma concede più spazio di un terreno collinare a ampi giardini e terrazzamenti. S. Aurigemma⁸, benché sorpreso che Adriano non abbia edificato in collina, mette in rilievo i vantaggi offerti dal sito sostenendo che non opprime la sua magnificenza ed è invece tranquillo e riposante e al tempo stesso vasto e vario. Sono state fatte anche altre supposizioni: l’imperatore volle mantenersi distante dalle altre ville; la villa preesistente era forse di proprietà della famiglia di Sabina. Di recente, è riaffiorata prepotentemente l’ipotesi che il luogo sia stato scelto in base agli ambiziosi progetti architettonici e paesaggistici di Adriano, spiegazione questa che sembra in effetti la più plausibile. Costruire sopra il livello dell’acquedotto avrebbe causato grossi problemi e i pendii sottostanti erano già occupati. Presupponendo un andirivieni frequente fra Roma e la villa, il sito più a valle risultava più comodo.⁹

Villa Adriana non era solo una residenza imperiale, era un racconto della vita di Adriano e dei suoi viaggi in oriente, dai quali aveva tratto ispirazione. È anche per questo motivo che la sua architettura è un altro tema fondamentale di dibattito e viene considerata un caso unico nel mondo antico. Lo spirito nuovo e rivoluzionario che si cela nel suo disegno riguarda un autentico ribaltamento concettuale che sposta l’atto fondativo dalla normalità

⁴ *Rodolfo Lanciani è stato un archeologo, ingegnere e topografo italiano.*

⁵ *Gaston Boissier è stato un latinista e storico francese.*

⁶ *Pierre Gusman è stato uno storico dell’arte francese.*

⁷ *Thomas Ashby è stato un archeologo britannico.*

⁸ *Salvatore Aurigemma è stato un archeologo ed epigrafista italiano.*

⁹ *William L. McDonald, John A. Pinto Villa Adriana. La costruzione e il mito da Adriano a Luis I. Kahn. Pag. 33-34.*

all'eccezionalità. Ciò è dovuto all'introduzione di nuovi valori e di nuovi elementi di senso, che non rimettono in discussione l'esistente, anzi lo conservano. L'impianto di Villa Adriana, infatti, risulta policentrico e ipotattico, e ha introdotto nel cuore dell'architettura romana istituzionale il modello compositivo polare, mettendo in crisi il tipico modello a griglia ortogonale.

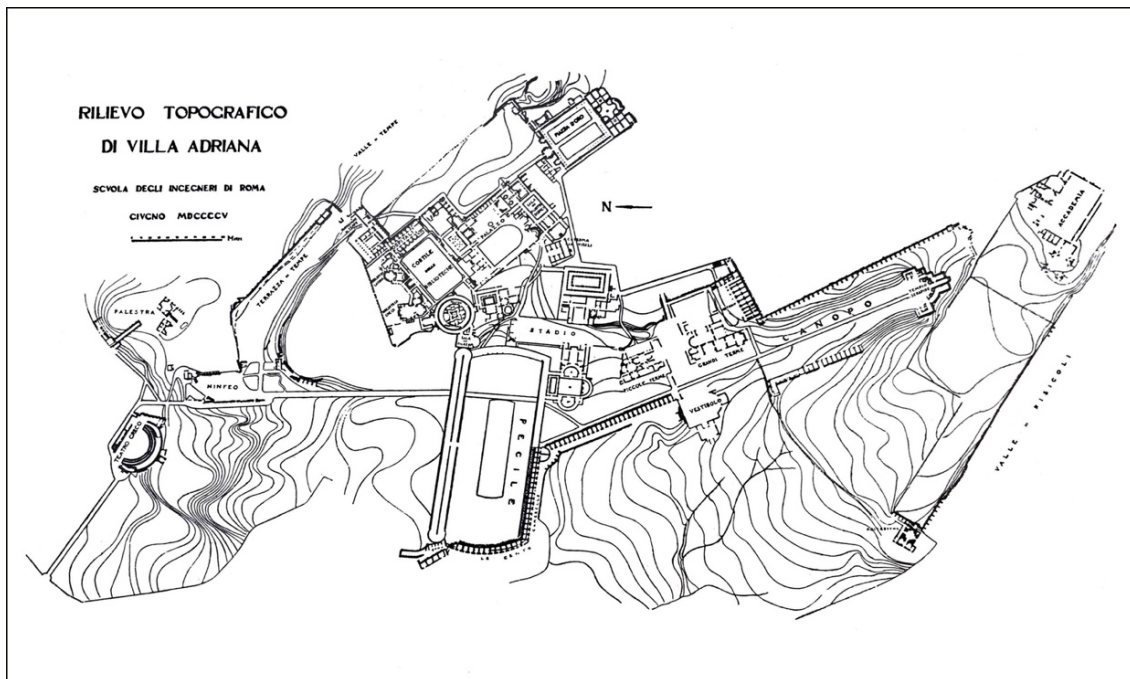


Figura 2: Ist. Poligrafico dello Stato, Villa Adriana. LA VILLA ADRIANA (Rilievo della Scuola degli Ingegneri di Roma. A. 1905)

Il modello polare si basa sulla compresenza, all'interno del progetto, di una serie di punti sensibili ai quali si attribuisce una funzione di centralità e, allo stesso tempo, di perno di rotazione rispetto di una serie calcolata di "mosse" compositive geometricamente "radiali".

Tractatus, ovvero il saggio sulla forma di Villa Adriana pubblicato nel 2012, individua nella topografia di Villa Adriana sette centri di irradiazione di cui due altamente

morfogenetici corrispondenti al centro della tholos¹⁰ del Tempio di Venere Cnidia e a quello della sala quadrilobata della Piazza d'Oro.

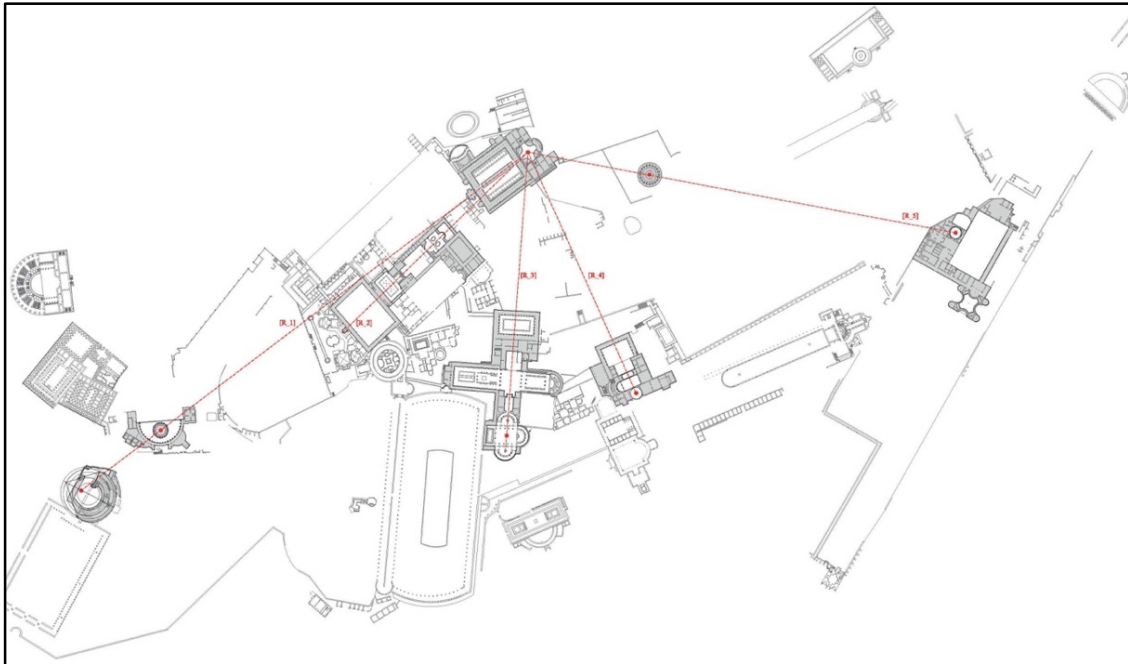


Figura 3: P. F. Caliari, *Tractatus logico sintattico. La forma Trasparente di Villa Adriana Centralità della Sala Quadrilobata della Piazza d'Oro Tav. II.I.*

Ci sono altre importanti centralità, ovvero architetture la cui forma è riconducibile ad un cerchio, o comunque ad una pianta centrale, da cui si sviluppano diverse serie di assi radiali che a loro volta connettono altre centralità gerarchicamente dipendenti. Queste sono da considerarsi i teatri alle due estremità della Villa, il Teatro Greco e l'Odeion dell'Accademia, il Teatro Marittimo, l'Antinoeion, palinsesto di riferimento dopo il suo ritrovamento nel 2001 e non presente nelle planimetrie storiche l'Edificio con Tre Esedre, il Grande Vestibolo e il Padiglione a pianta mistilinea dell'Accademia. Ma la Villa comprende anche edifici residenziali, terme, ninfei, padiglioni, giardini. Anch'essi si alternano secondo una distribuzione del tutto inusuale, che non rispecchia la consueta

¹⁰ In archeologia si intende per tholos una sala circolare, a volte interrata e generalmente realizzata a scopo funerario, coperta con una pseudocupola formata da file concentriche di conci lapidei sempre più aggettanti verso il centro fino a chiudere il vano senza realizzare una struttura spingente come sono le vere cupole.

sequenza di ville e domus. Gli edifici erano collegati tra loro non solo da percorsi di superficie, ma anche da una rete viaria sotterranea, sia carrabile che pedonale, utilizzata per i servizi.

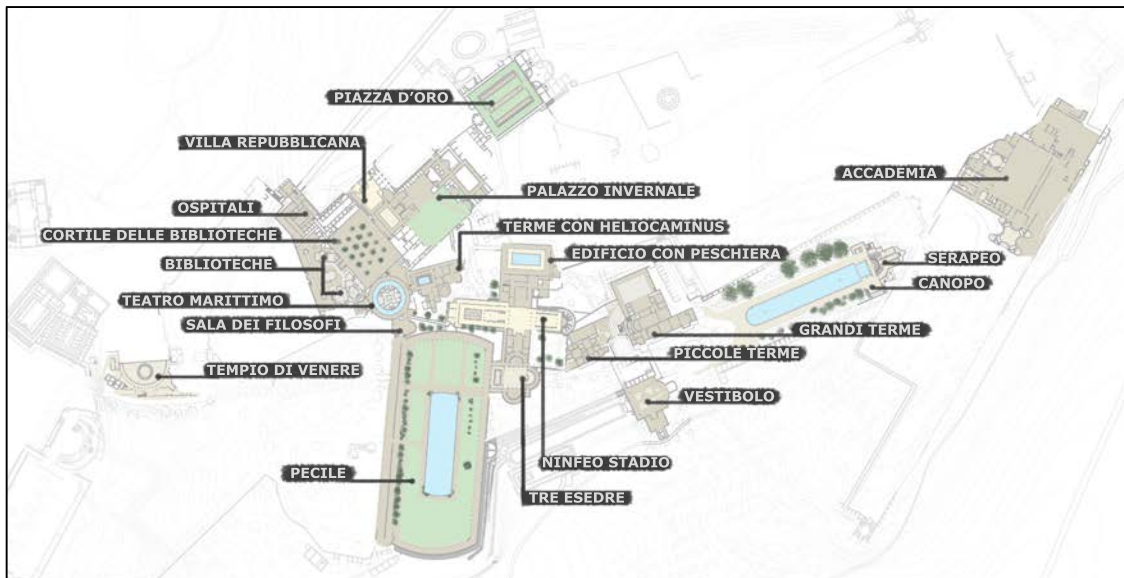


Figura 4: Rielaborazione planimetria di Villa Adriana.

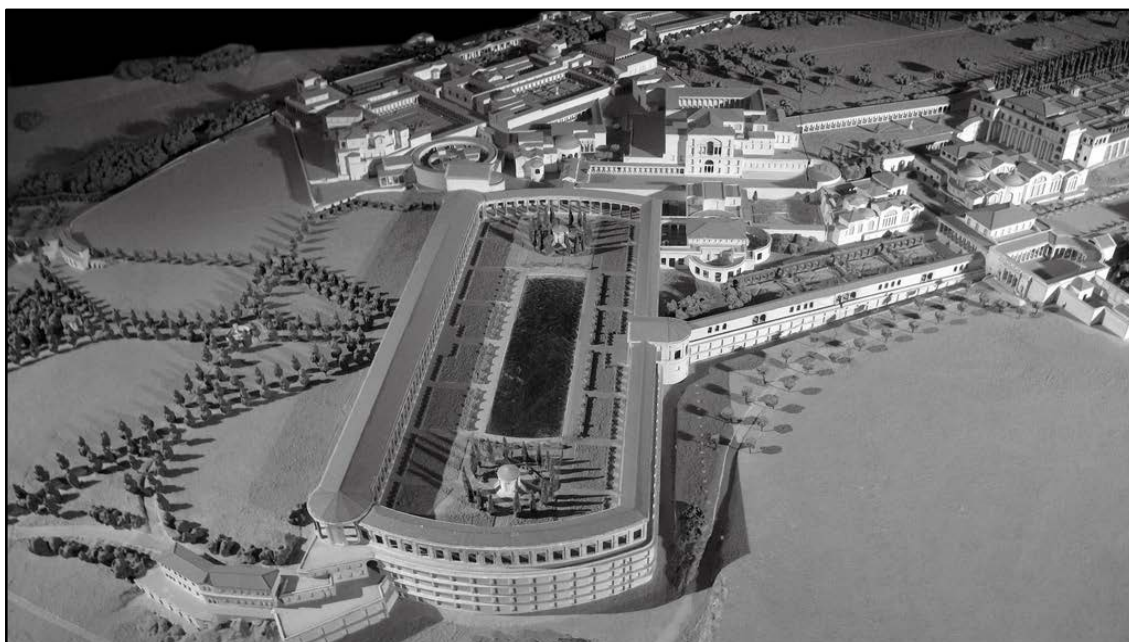


Figura 5: Modellino ricostruttivo di Villa Adriana.

Malgrado l'epoca medioevale abbia visto le spoliazioni di marmi e dell'apparato decorativo della Villa per il reimpiego dei materiali su altri fronti, la ricchezza della decorazione architettonica e scultorea del sito è stata oggetto di sistematiche ricerche a partire dal Rinascimento e, al giorno d'oggi, i principali musei d'Italia e d'Europa, espongono tra le loro opere alcuni esemplari provenienti da Villa Adriana, divenuta sito Unesco nel 1999.

In conclusione ad oggi possiamo affermare che la Villa Adriana è ancora largamente da scavare e da rendere più attraente.¹¹ Per quanto l'affermazione possa sembrare singolare dato il numero e la grandiosità dei monumenti di Villa Adriana, si può dichiarare con sicurezza che il sito offrirà ancora per molti decenni possibilità di scavi fruttuosi per coloro che s'interessano di discipline archeologiche e di architettura.

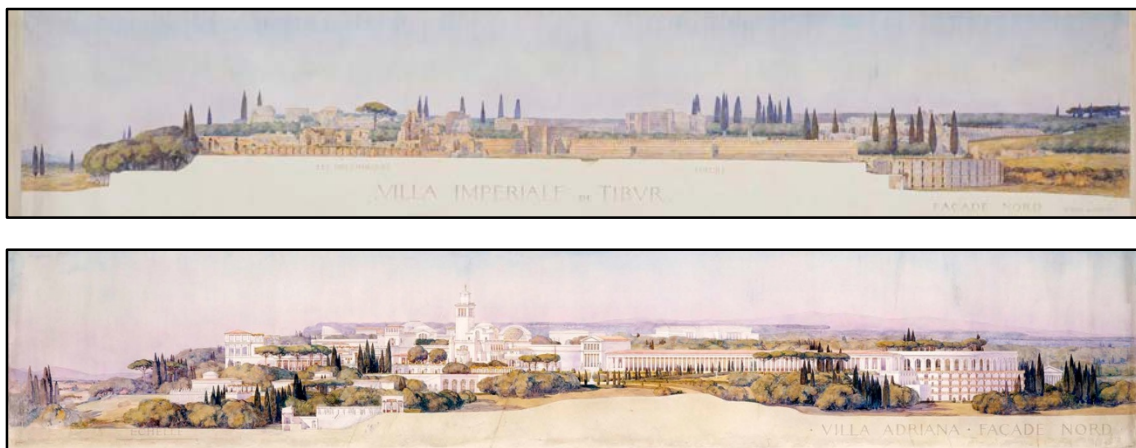


Figura 6: Disegni storici

¹¹ Istituto poligrafico e zecca dello stato, *Villa Adriana*, pag. 29.

2.2 Le cupole

La descrizione di Adriano riportata dalle fonti antiche, come si è già detto, è quella di un imperatore “architetto” impegnato a promuovere l’immagine del proprio principato attraverso una reinterpretazione personale dei precedenti canoni estetici. La sua attenzione si focalizza in particolar modo sul progetto di cupole che vedono nella loro realizzazione una serie di sperimentazioni formali. Queste ultime rese possibili grazie anche ad uno sviluppo di tecniche edilizie. Gli studi relativi agli spazi voltati antichi risultano molto complessi, non solo per l’analisi formale degli ambienti, ma anche per la conoscenza tecnica intrinseca degli elementi costitutivi di queste architetture. I sistemi voltati originali si possono osservare in alcuni di questi ambienti, ancora ben conservati. Altri, invece, hanno subito pesanti crolli e l’interpretazione delle soluzioni di copertura risulta difficile a causa degli articolati disegni planimetrici. La lettura comparata dei diversi ambienti presenti a Villa Adriana permette, però, di capire il funzionamento del sistema di soluzioni di copertura delle aule a sviluppo planimetrico concavo-convesso e semicircolare: uno dei più controversi e interessanti temi di dibattito su queste archeologie. I principali ambienti con queste caratteristiche vengono elencati a seguito:

Serapeo del Canopo

Padiglione noto con il nome di serapeo o tempio dedicato a Serapide ma destinato a banchetti. Ha la forma di esedra semicircolare prolungata da un lungo e alto corridoio coperto a botte e concluso da un’abside. La caratteristica forma della volta ha un andamento ribassato. Lo studio geometrico e metrologico per questa copertura è stato condotto sulle curve di livello che descrivono l’intradosso della copertura dello spazio riservato alla cenatio¹². Si può notare che le creste sono porzioni di calotta sferica il cui centro si trova in corrispondenza dell’incrocio tra l’asse di simmetria dell’edificio e il

¹² *La Cenatio di Villa Adriana è una sala da banchetti estiva con vista sull’acqua*

bordo della vasca esterna alla quota del terreno, diversamente da quanto riportato in studi



Figura 7: Serapeo del Canopo, Villa Adriana, Tivoli.

precedenti.¹³

Teatro Marittimo

Fa da cerniera fra il palazzo vero e proprio e le strutture del lato occidentale. Costruzione autonoma e isolata che deve la sua denominazione alle decorazioni ispirate a motivi marini e alla forma. È formato da un isolotto circolare con il diametro di 25 metri. Isolato da un muro circolare che serve da parete di fondo a un portico coperto da una volta. La mancanza di tracce riconducibili alla soluzione di questa copertura genera una difficoltà nel comprendere l'andamento di questa struttura. Si conserva però una decorazione architettonica frammentaria fatta di basi, colonne e trabeazioni che delineano un

¹³ Testo di Salza Prina Ricotti del 2001.

andamento planimetrico mistilineo. Alcuni degli spazi caratterizzati da icnografie ad andamento mistilineo sembrano essere il prodotto di una declinazione del tema



dell'ottagono.

Sala ottagonale delle Piccole Terme

L'edificio molto probabilmente era riservato alle donne, è di modeste dimensioni e presenta soluzioni architettoniche molto innovative. La facciata esterna presenta un aspetto ondulato con 3 nicchie. Il cuore dell'edificio è l'aspetto più interessante, è una sala ottagonale con pareti alternativamente convesse sulle quali poggia la cupola. La pianta di questa particolare sala ha un andamento rettilineo, alternato a quello curvilineo, sembra trarre origine da architetture orientali. La caratteristica che più ci interessa di questa parte dell'edificio è la presenza di cupole ad ombrello¹⁴.

Figura 8: Teatro Marittimo, Villa Adriana, Tivoli.

¹⁴ *Cupola a ombrello o a spicchi: quando è costruita a partire da un sistema di archi diametrali (quindi concentrici nella chiave di cupola).*



Figura 9: Esterno delle Piccole Terme, Villa Adriana, Tivoli



Figura 10: Dettaglio della copertura della sala ottagonale delle Piccole Terme.

Vestibolo di accesso alla Piazza d'Oro

Ha una pianta ottagonale con diametro di 10,35 metri. In esso si aprono 3 nicchie rettangolari e 4 nicchie semicircolari sull'asse delle diagonali.

Di fondamentale importanza in questo ambiente è la copertura che risulta essere uno dei primi esempi di spazio con cupola a “creste e vele”, caratterizzato da un impianto polilobato le cui nicchie rettangolari si alternano a quelle circolari.

Padiglione sud della Piazza d'Oro

I lati sono tutti curvi secondo un andamento concavo-convesso che produce in pianta originali punti di flesso. Si riscontra una certa difficoltà, dovuta alla mancanza di tracce riconducibili alla soluzione di copertura



Figura 11: Padiglione sud Piazza d'Oro, Villa Adriana, Tivoli.

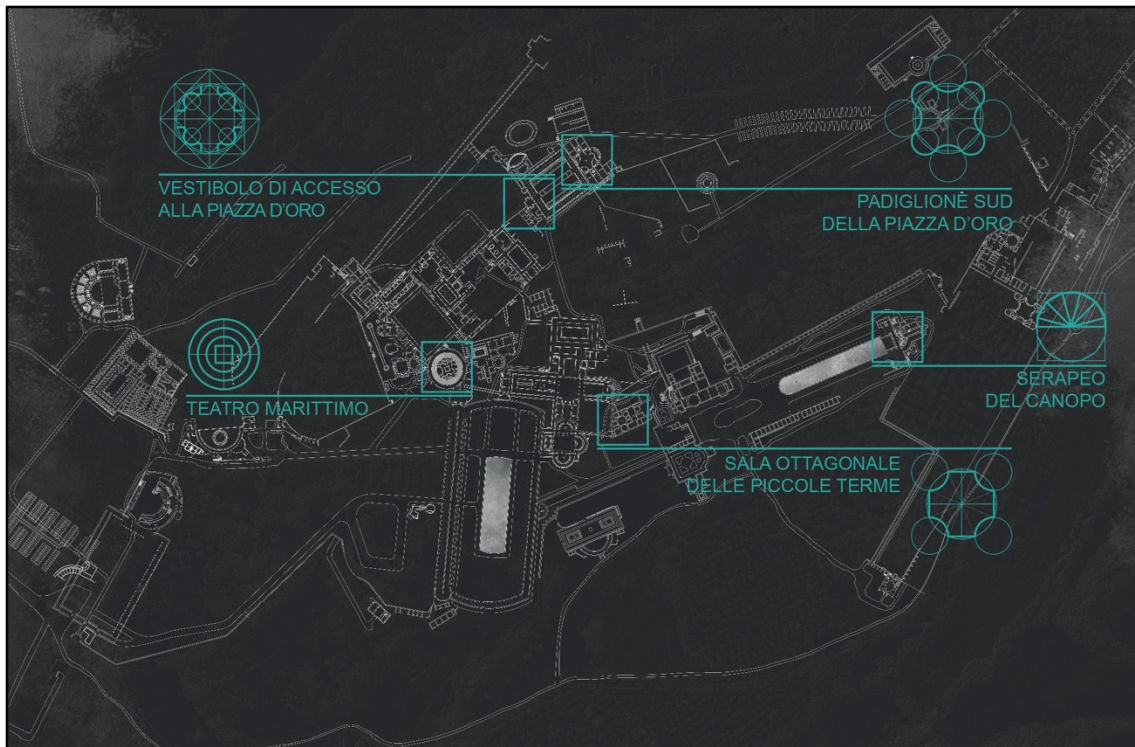


Figura 12: Localizzazione in pianta e schemi planimetrici dei principali ambienti con copertura a cupola di Villa Adriana, Tivoli

2.3 Le biblioteche di Villa Adriana

Fra l'ala di fabbrica cui si dà il nome di Ospitali e il famoso Teatro Marittimo si stende il "Cortile delle Biblioteche", il cui asse maggiore corre da nord-est a sud-est. Il nome "Cortile delle Biblioteche" è assolutamente arbitrario, ed è stato attribuito a questo peristilio perché il suo lato maggiore confina con il complesso chiamato Biblioteca Latina (la zona di fabbriche a superficie minore, a nord-ovest del cortile), e Biblioteca Greca (la zona di fabbriche a superficie più vasta, a ponente-mezzogiorno della prima).

Il peristilio¹⁵ misura m. 65,78 x 51 e contava 19 colonne corinzie sui lati maggiori, 14 sui minori: la zona era tenuta a giardino, ed erme di antichi personaggi sorgevano all'incrocio

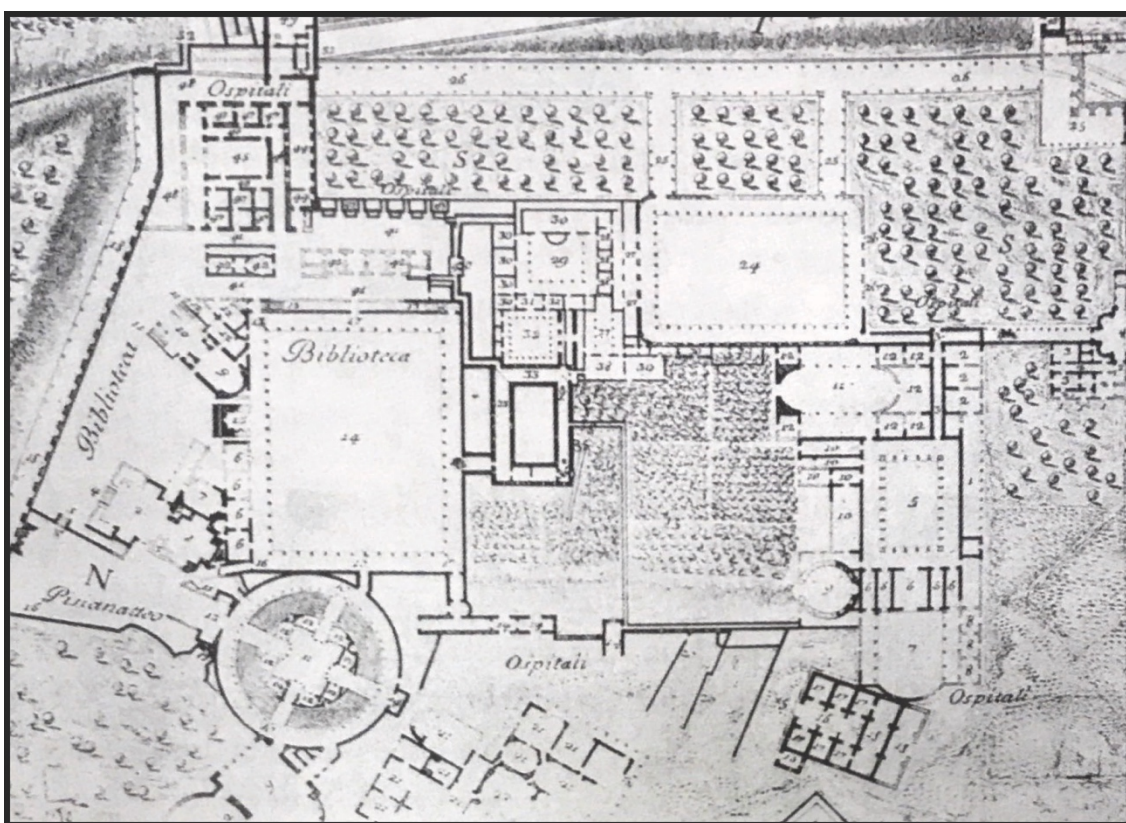


Figura 13: Ist. Poligrafico dello Stato, Villa Adriana, pag. 173. V.A. - «BIBLIOTECA» ED «OSPITALI» NELLA PIANTA DI V. V. DI FRANCESCO PIRANESI, A. 1781

¹⁵ Il peristilio era un cortile contornato da colonne sulle quali si poneva un tetto che si appoggiava alla casa. Veniva così a crearsi un portico le cui pareti erano spesso finemente decorate con pitture e mosaici.

dei viali. Due stretti corridoi aperti ai lati di una sola absidata in cui taluno ha riconosciuto un ninfeo, mettevano il peristilio in comunicazione con l'area delle due Biblioteche. Le Biblioteche hanno un'orientazione a pieno nord, diversa da quella sud-est-nord-ovest del peristilio, e comunicano fra loro mediante un portico che ha la forma di un mezzo esagono aperto su un giardino.

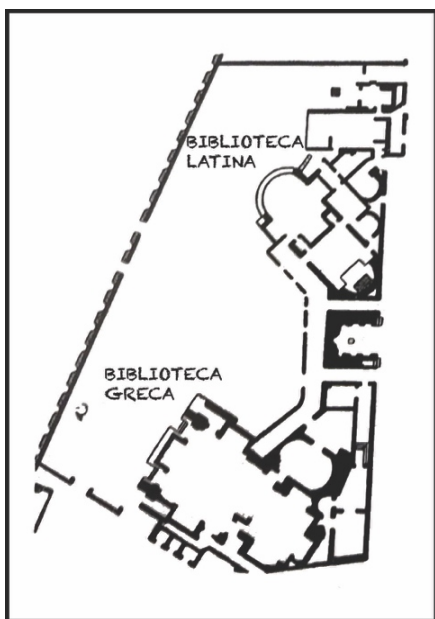


Figura 14: Poligrafico dello Stato, Villa Adriana. «BIBLIOTECA» LATINA E GRECA (dal «Rilievo topografico di Villa Adriana» a. 1905.

Non si sa quale fosse la vera funzione di questo complesso, il cui significato è stato ampiamente indagato e interpretato nel corso degli anni. Vengono definite “Biblioteche” per la presenza di importanti nicchie incastonate nelle antiche murature in *opus reticulatum*¹⁶, ma dato il loro orientamento a nord e l'ampio affaccio sul giardino potrebbero assumere anche il ruolo di triclini estivi. Potrebbero essere state dimora dell'imperatore Adriano, o ancora degli ingressi monumentali al palazzo. Il disegno architettonico di questi due edifici, connessi tra loro da un portico, è stato d'ispirazione per il progetto di molti altri complessi conosciuti a Roma. Ne è un importante esempio la relazione tra il complesso di Pio Clementino e il Cortile del Belvedere, che richiama quella tra il Cortile delle Biblioteche della

Domus, il Palazzo Imperiale di Villa Adriana, e l'insieme costituito da Teatro Marittimo, Terme con eliocamino¹⁷ e Biblioteche. In entrambi i casi, infatti, il profilo regolare di una preesistenza viene sollecitato dall'addossamento di volumi esterni disposti secondo una logica radiale diversa e dipendente da altre centralità. Un altro esempio è il chiostro di Santa Maria della Pace, a Roma, commissionato a Bramante dal Cardinale Oliviero Carafa attorno al 1500. Per risolvere la connessione tra Chiesa esistente e nuovo chiostro,

¹⁶ È una tecnica edilizia romana tramite cui si realizza il paramento di un muro in opera cementizia.

¹⁷ Un ambiente particolarmente riscaldato, oltre che dai raggi solari, anche da un sistema tradizionale ad ipocausto.

Bramante unì i diversi elementi architettonici secondo un principio di addossamento parziale, con un angolo di rotazione tra questi di 34°. Rapporto molto simile all'impianto cortile-Biblioteche di Villa Adriana, malgrado queste ultime presentino diversi: nello specifico, 63° nel caso della Biblioteca Greca e 47° per la Biblioteca Latina. *“Appare inoltre evidente che in entrambi i casi il vuoto generato dalla rotazione dei due volumi architettonici viene colmato con la creazione di microambienti interstiziali”*¹⁸.

Osservando singolarmente i due edifici si può notare come la Biblioteca Greca mostri l'antica presenza di tre piani, il superiore dei quali era dotato di impianto di riscaldamento a ipocausto¹⁹. Il piano intermedio, che non presentava connessioni dirette con il livello superiore, ospitava vani e corridoi di servizio lungo i quali si trovavano i *praeefurnia*: forni in materiale refrattario, di forma circolare o rettangolare e solitamente dalla copertura a volta, all'interno dei quali veniva bruciato il combustibile. Elemento essenziale della cosiddetta Biblioteca Greca è una coppia di sale a crociera, intercomunicanti, e di dimensioni diverse. La sala maggiore con piante a croce greca è aperta sul giardino, al quale si discende per mezzo di tre gradini. La sala minore, a sud della prima, è tutta chiusa attorno a una zona centrale quadrata, ed ha nicchioni rettangolari al centro dei lati sud, est e ovest; ciascuno dei quali è fornito, a sua volta, di due nicchiette semicircolari nei due fianchi brevi.

Un'impostazione simile è propria anche della Biblioteca Latina, a due piani, disegnata lungo un asse sul quale si dispongono due sale in sequenza. La sala anteriore, aperta sul giardino delle Biblioteche, si arricchisce di nicchie rettangolari mentre quella posteriore presenta, nella zona absidale, un basamento per un gruppo statuario. Entrambi gli ambienti dovevano essere rivestiti in marmo, che arricchiva sia il pavimento che le pareti e le cui tracce, al giorno d'oggi, si possono ammirare solo nei frammenti di pavimentazione dai motivi geometrici che resistono all'arroganza del tempo.

L'uno e l'altro di questi due complessi sarebbero, secondo il Kahler²⁰, due triclini estivi.

¹⁸ C. Gentilini e F. Pisacane, *“Bramante e l'influenza di Villa Adriana. Il Belvedere Vaticano e il Chiostro di S. Maria della Pace”*, articolo rivista *Ananke* n°84 agosto 2018.

¹⁹ *Era un sistema di riscaldamento usato nell'antica Roma, consistente nella circolazione di aria calda entro cavità poste nel pavimento e nelle pareti del luogo da riscaldare.*

²⁰ *Heinz Kahler è stato un archeologo tedesco.*

Nel 1881 Rodolfo Lanciani scoprì, nascosta nel vano di un sottoscala di questo complesso di fabbriche, una bella statua di Dionisio, riconoscibile dalla nebride che lo ricopre, e figurata in un atto di molle abbandono, con la testa reclinata da un lato. Insieme con la statua (che ora è esposta nel Museo Nazionale Romano) furono trovate 2672 monete in una lega d'argento, che recano la leggenda *senatus p.q.r. Roma caput mundi*.²¹

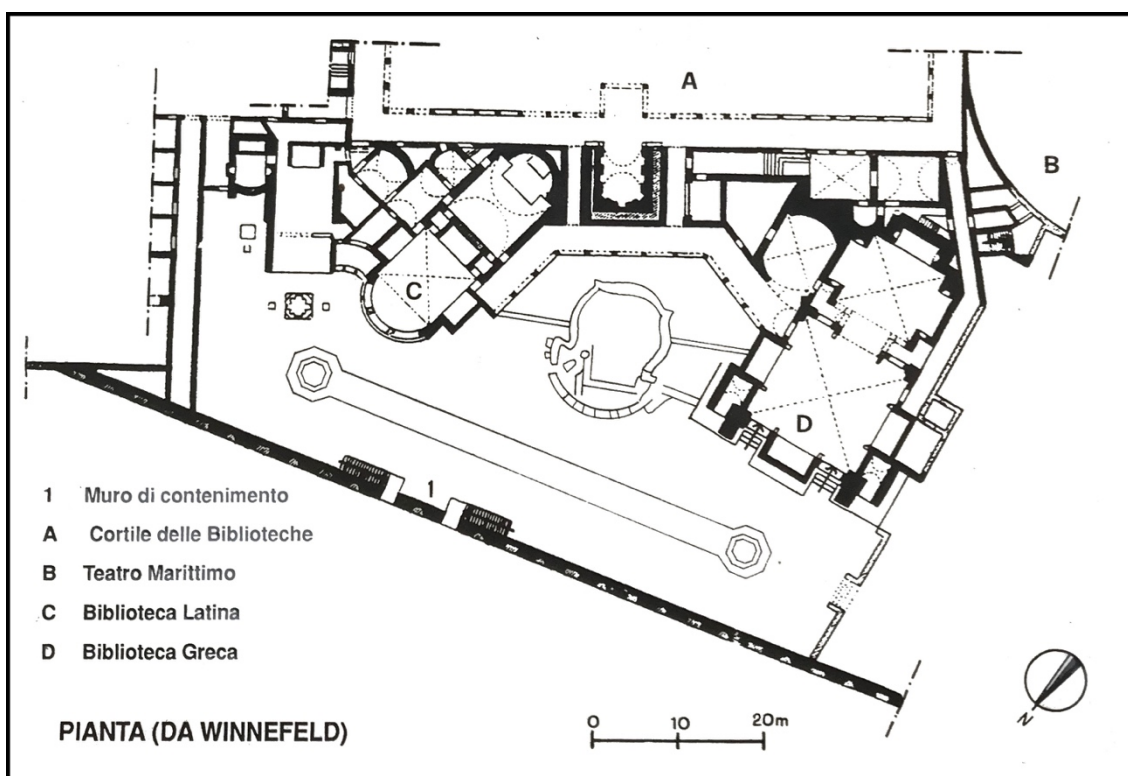


Figura 15: Planimetria Biblioteca Greca e Latina, elaborata da Herman Winnefeld (è stato un archeologo classico tedesco).

²¹ Istituto Poligrafico e zecca dello stato, *Villa Adriana*, pag. 174.



Figura 16: Vista lato est Biblioteca Greca, Villa Adriana, Tivoli.



Figura 17: Vista frontale lato sud Biblioteca Greca, Villa Adriana, Tivoli.

3 RILIEVO DIGITALE, ELABORAZIONE DATI E RISULTATI FINALI TRAMITE LEYCA CYCLONE

3.1 Reverse Modeling e pipeline

Il rilievo architettonico ottenuto mediante il processo di *reverse modeling* si basa sul concetto di inversione del processo che usualmente viene utilizzato per la modellazione e la rappresentazione. Se solitamente il principio è lo studio di piante e sezioni per arrivare poi alla costruzione di un modello tridimensionale, in questo caso avviene l'opposto: il punto di partenza è l'oggetto reale del quale si costruisce un modello *reality-based*, ottenuto tramite strumentazione di acquisizione dei dati avanzata, dal quale poi estrapolare le informazioni di pianta e sezione dell'oggetto indagato. Nel caso del rilievo delle Biblioteche di Villa Adriana da me svolto, sono stati inizialmente utilizzati strumenti di acquisizione attivi che, tramite scansioni successive, permettono l'ottenimento di un elevato numero di punti a risoluzione molto elevata che vengono poi allineati all'interno di un software, al fine di ottenere una nuvola di punti che descriva l'intero oggetto. Le informazioni contenute nella nuvola di punti devono essere elaborate all'interno di software in grado di approssimare la superficie rilevata in degli oggetti tridimensionali, detti mesh, costituiti da un altissimo numero di facce poligonali.

Avere chiaro fin da subito quali sono gli elaborati che si vogliono ottenere a termine del rilievo è fondamentale per poter progettare correttamente la campagna di rilevamento e la sequenza delle operazioni finalizzate al raggiungimento del risultato: questa sequenza viene chiamata *pipeline* o *workflow*. Di seguito riporto la pipeline redatta per il rilievo dell'area delle Biblioteche.

a. Creazione della nuvola di punti

- Studio dell'area e disegno dell'eidotipo.
- Posizionamento dei target.
- Acquisizione scansioni.

- Allineamento scansioni (software *Leica Cyclone*).
 - Controllo sistematico del perfetto allineamento.
 - Estrapolazione di ortoimmagini.
- b. Costruzione del modello mesh
- Divisione nuvola di punti in fence per l'esportazione.
 - Importazione di ogni singola fence in *Geomagic*.
 - Elaborazione delle mesh di ogni singola fence.
 - Unione delle mesh per la formazione di un unico modello.
 - Estrapolazione di piante e sezioni.
 - Estrapolazione di sezioni progressive per lo studio delle volte.
 - Decimazione del modello mesh unito per alleggerimento ed esportazione.
- c. Elaborazione dei dati
- Rappresentazione grafica dei risultati ottenuti dalle ortoimmagini *Cyclone*.
 - Rappresentazioni del rilievo da *Geomagic*.
 - Confronto tra piante a diverse quote.
 - Renderizzazione del modello per rappresentazione 3D.
 - Studio delle proporzioni per ipotesi ricostruttive.

3.2 Rilievo tramite laser scanner

Gli strumenti che permettono il rilevamento di date superfici possono essere principalmente suddivisi in due categorie, quelli a “sensori attivi” e a “sensori passivi”.

I sistemi di rilevamento tradizionali, come metri rigidi o a cordella, calibri, etc., permettono di rilevare in maniera diretta riferendosi ai punti singolari della superficie. Nella maggior parte dei casi però venendo a contatto diretto con la superficie da rilevare, alcune dimensioni e caratteristiche dell’oggetto rilevato, possono essere non del tutto precise. Il risultato di questo tipo di rilievo, consente di ottenere una serie di proiezioni ortogonali e sezioni correttamente quotate.

Ma nel caso bisogna effettuare dei rilievi di edifici complessi, tipici ad esempio delle categorie di costruzioni appartenenti ai beni culturali ed archeologici, come nel nostro caso, in cui nella maggior parte dei casi questi sono privi di punti singolari, un rilievo di questo tipo risulterebbe non del tutto corretto e molto complicato. Perciò l’uso di questa metodologia tradizionale comporterebbe tempi molto lunghi per la fase di rilievo a causa dell’elevato numero di punti che occorre individuare per definire delle forme tanto articolate.

Per questo motivo si è trovata la soluzione a questo problema, con l’utilizzo di strumenti digitali per l’acquisizione tridimensionale.

Sia che vengono usate tecniche basate sulle immagini catturate che sensori ottici passivi (come fotocamere digitali), che tecniche di rilevamento basate su sensori ottici attivi (come laser scanner), è possibile ottenere sequenze di informazioni che descrivono in maniera spaziale l’oggetto in maniera molto precisa tramite un numero elevato di punti disposti in uno spazio 3D a risoluzione elevata.

Questi punti rilevati permettono di ottenere una nuvola di punti, detta anche “point cloud”, la quale verrà trasformata tramite una serie di passaggi descritti successivamente in una

superficie definita “mesh”²², che definisce al meglio la superficie reale oggetto di rilievo. Le operazioni che si susseguono e che permettono di arrivare al modello digitale, interessa l’utilizzo di hardware e software che aiutano l’utente durante il processo di metamorfosi dei dati che derivano dagli strumenti di acquisizione.

Durante diverse campagne di rilievo delle Biblioteche, sono stati utilizzati strumenti a “sensori attivi” detti anche Range-based.

Le strumentazioni basate su sensori attivi, emettono un segnale elettromagnetico con luce laser, il quale viene poi registrato dallo strumento per poterne ricavare la misura della distanza (range) dell’oggetto rilevato, in un tempo relativamente breve e con un accuratezza²³ che può variare in base al tipo di apparecchio utilizzato. Ma oltre all’accuratezza può influire anche la calibrazione del sensore, ossia l’aggiustamento del sensore per permettere la corrispondenza del segnale in uscita dallo strumento, anche se di ottima qualità tende a deteriorarsi, peggiorando le sue qualità e prestazioni, quindi anche l’usura e lo sporco contribuiscono al buon funzionamento delle strumentazioni.

Il rilevamento con i metodi a sensori attivi permette la misurazione di distanze senza che avvenga il contatto diretto con la superficie di cui si sta effettuando il rilievo. Questo permette di acquisire una grande quantità di dati 3D e in breve tempo, ottenendo come risultato una nuvola di punti densa e non strutturata, dalla quale occorrerà poi estrarne gli elementi più significativi, nella quale sono presenti informazioni della superficie rilevata. Le strumentazioni laser scanner che vengono usati per la misurazione della distanza, che siano a tempo di volo o a variazione di fase, sono definiti come “scanner distanziometrici” o “ranging scanner”.

²² Una mesh poligonale, in computer grafica, è un reticolo che definisce un oggetto nello spazio, composto da vertici, spigoli e facce.

²³ Accuratezza: è il grado di concordanza tra il risultato di una misurazione e il valore vero del misurato

3.3 Campagna di rilievo sulle Biblioteche

Qualunque sia la tecnica utilizzata per il rilievo, la prima azione da compiere sul campo è quella di redigere un eidotipo a mano nel quale schematizzare l'architettura che si andrà a rilevare. L'eidotipo costituisce la base fondamentale per tutte le azioni successive della campagna: nel nostro caso è stato utile per segnare sia dove sono stati posti i target che le postazioni successive in cui sono state effettuate le scansioni. Progettare con attenzione la campagna di rilievo sin dal principio è necessario per portare a termine il lavoro nella maniera più efficiente possibile. Numerose sono le variabili da tenere in considerazione al momento della progettazione: alcune legate alla strumentazione d'acquisizione utilizzata, quindi, la risoluzione desiderata al termine del rilievo, il raggio di azione dello strumento, il grado di errore ammesso; altre legate alle caratteristiche dell'oggetto da rilevare, come ad esempio le proprietà dei materiali presenti e la presenza di sporgenze o



Figura 18: Laser scanner C5 Leica.

parti dell'elemento stesso che possono andare a creare zone d'ombra al momento dell'acquisizione dati. Prestare attenzione a questo ultimo punto è importante perché zone d'ombra rendono impossibile l'acquisizione del dato e quindi comportano la creazione di lacune nel modello finale.

Per il rilievo dell'area delle biblioteche è stato scelto il laser scanner *Leica* che si basa sul tempo di volo (*time of flight*). Nella scelta delle postazioni nelle quali effettuare le scansioni si devono tener conto il raggio di azione del laser e la risoluzione finale desiderata. Lo studio in questione tratta dell'integrazione di vari rilievi effettuati su Villa Adriana, più precisamente sulla zona delle Biblioteche, e di come sono stati elaborati al fine di ottenere un modello 3D totale. Si è partiti dalla raccolta di dati e campagne di rilievo

realizzate durante il Workshop internazionale di rilievo archeologico-modellazione reality based svolto dal 26 agosto al 2 settembre 2017 a Villa Adriana e una successiva campagna di rilievo svolta da me insieme al Prof. F. Fantini a gennaio 2019. Tali rilievi avevano come obiettivo quello di rilevare digitalmente parti diverse delle Biblioteche e di effettuare, sulla base di esse, uno studio dettagliato di tipo architettonico e storico. Come prima operazione è stato necessario recarsi presso Villa Adriana, alle porte del Comune di Tivoli, per prendere visione della parte interessata dal presente studio. Una volta in loco si è proceduto alla realizzazione dei rilievi attuali soprattutto per poter effettuare un confronto tra la documentazione precedente e i nuovi dati a nostra disposizione. Lo strumento utilizzato come esplicitato in precedenza è stato un Laser scanner, modello C5, della casa produttrice Leica. Il laser è composto da un treppiede regolabile, una base calibrata e da una parte superiore che costituisce il vero e proprio strumento. Ha un campo visivo di 360° in orizzontale e 270° in verticale.



Figura 19: Esempio campo visivo di un laser scanner.

Una volta individuato il punto preciso in cui effettuare il rilievo e aver deciso il numero di stazioni necessarie a garantire un risultato accurato e più preciso possibile, si è proceduto a montare la strumentazione in corrispondenza della prima stazione. È stato fondamentale regolare lo strumento sia in altezza che a livello. Successivamente si è agganciato lo strumento in sommità e si sono impostati i parametri di scansione. Tale operazione si è resa necessaria in quanto le scansioni possono essere regolate secondo l'intensità: più l'immagine richiesta è elevata, infatti, maggiore è il tempo che lo strumento impiega per concludere l'iter di scansione.

Una volta acceso e settato il Laser scanner C5 inizia a ruotare di 360°, molto lentamente, sull'asse orizzontale. Contemporaneamente l'ottica centrale ruota molto velocemente sul

proprio asse verticale lanciando un laser che, infrangendosi su qualunque ostacolo, batte più punti simultanei che formeranno una nuvola di punti (point cloud).

Alla fine di questo processo di scansione è stato generato un file con estensione ptx, esportabile su PC, che è stato elaborato con il software Cyclone (sempre della medesima Leica). Una volta aperto il file su PC esso ha assunto le sembianze di una vera e propria nuvola di punti dal colore monocromatico che, a seconda della densità dei punti, ha assunto un'intensità più o meno maggiore. Da quanto emerso sopra si evince che il lavoro analizzato in questo studio consta di due parti ben distinte: la prima è realizzata in situ, anche chiamata "campagna di rilievo", mentre la seconda si svolge al computer e viene denominata "post processing".

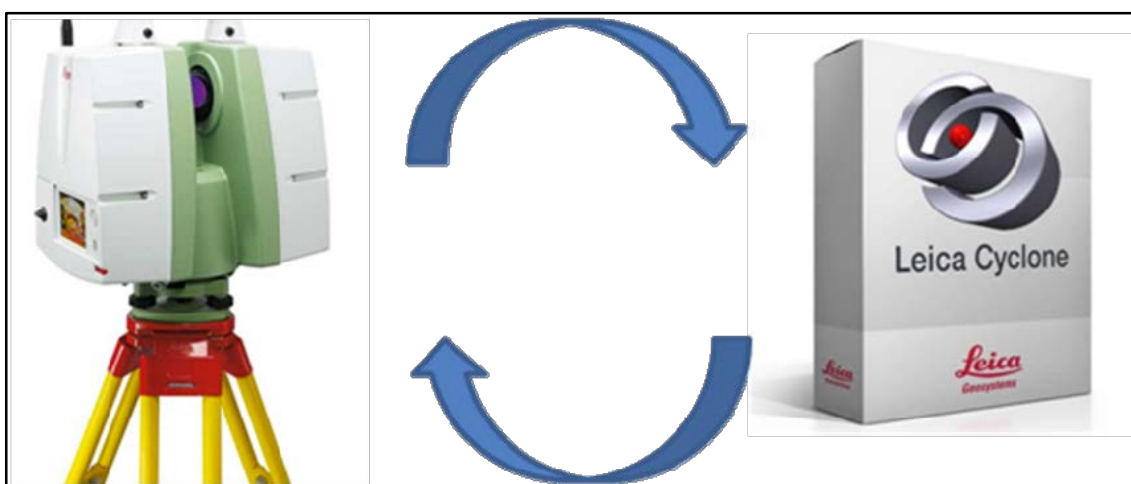


Figura 20: Interscambiabilità tra il laser scanner e il software Leica Cyclone.

Ovviamente è necessario ripetere il procedimento di scansione per un numero di volte tale da consentire un quadro preciso e privo di errori. È inoltre importante rilevarle in maniera consecutiva e in modo geograficamente logico, altrimenti si rischia di non riuscire a collegarle in fase di post processing. A supporto di questo sono stati elaborati in loco anche degli eidotipi raffiguranti le parti scansionate al cui interno sono stati individuati i target.

3.4 Timeline del lavoro svolto sul posto

Prima di iniziare il rilievo è buona abitudine accertarsi delle condizioni atmosferiche in cui è in grado di lavorare lo strumento in modo tale da consentire intervalli di accettabilità abbastanza ampi. Tuttavia c'è da notare che è sconsigliabile effettuare una scansione in condizioni estreme, in particolare, valori troppo differenti della temperatura potrebbero alterare la misura della distanza a causa della diversa densità dell'aria in due momenti di scansione abbastanza lontani uno dall'altro. Non ci sono finora studi precisi sull'influenza di tali variazioni estreme. Per quanto riguarda l'umidità le conclusioni si possono trarre con maggiore certezza: è sicuramente sconsigliabile effettuare delle scansioni con tassi di umidità molto alti. In tali condizioni, infatti, le goccioline d'acqua sospese in aria o sugli oggetti da scansionare possono fungere da finte superfici di riflessione per i raggi laser, alterando così in maniera imprevedibile la misura.

Come prima fase del lavoro è importantissimo dare ampio spazio alla realizzazione degli eidotipi. È buona pratica realizzare degli eidotipi che rappresentino la configurazione schematica della zona in analisi, le varie localizzazioni dello scanner, l'estensione delle singole acquisizioni sull'oggetto, la posizione, il tipo e il nome dei target che si intende utilizzare. Lo scopo degli eidotipi è avere una traccia del posizionamento dei target così da rendere il lavoro su Cyclone più semplice dal punto di vista dell'individuazione dei punti da allineare. Quando si devono eseguire prese da posizioni sopraelevate e vengono utilizzati ponteggi o sistemi elevatori è inoltre necessario assicurarsi della stabilità del supporto poiché oscillazioni anche minime dello scanner in fase di acquisizione comporterebbero irrecuperabili deformazioni della range map.

Analizziamo le differenti campagne di rilievo, i target assegnati in loco sono stati inseriti solo ed esclusivamente in due campagne di rilievo nell'agosto 2017.

Il mio lavoro preliminare è stato quello di riordinare le scansioni e i target della campagna di rilievo 1 di agosto in cui sono presenti 19 target comuni, successivamente attraverso i file .pxt e alle range maps ho analizzato le scansioni della campagna di rilievo 2 di agosto

e ho cercato di trovare punti naturali in comune per l'allineamento delle varie scansioni ed infine ho provato ad allinearle a tutte le altre.

Campagne di rilievo:

- | | | | |
|---|--------------|--------------|-----------------------|
| 1 | Agosto 2017 | n. target 57 | |
| | Agosto 2017 | n. target 26 | (Target in comune 19) |
| 2 | Agosto 2017 | NO TARGET | |
| 3 | Gennaio 2019 | NO TARGET | |

Nelle pagine seguenti analizzo schematicamente e in ordine cronologico tutte le campagne di rilievo effettuate sulla zona della Biblioteca Greca di Villa Adriana con relativa numerazione dei target dove sono presenti.



Figura 21: Campagna di rilievo numero 1.

LEGENDA:

⊕ Campagna n.1 agosto 2017 con n. target 57

< Target campagna n.1

⊕ Campagna n.1 agosto 2017 con n. target 26



Figura 22: Campagna di rilievo numero 2.

LEGENDA:

⊕ Campagna n.1 agosto 2017 con n. target 57

< Target campagna n.1

⊕ Campagna n.1 agosto 2017 con n. target 26

⊕ Campagna n.2 agosto 2017

◁ Target campagna n.2 inseriti da me durante il lavoro digitale di allineamento delle scansioni

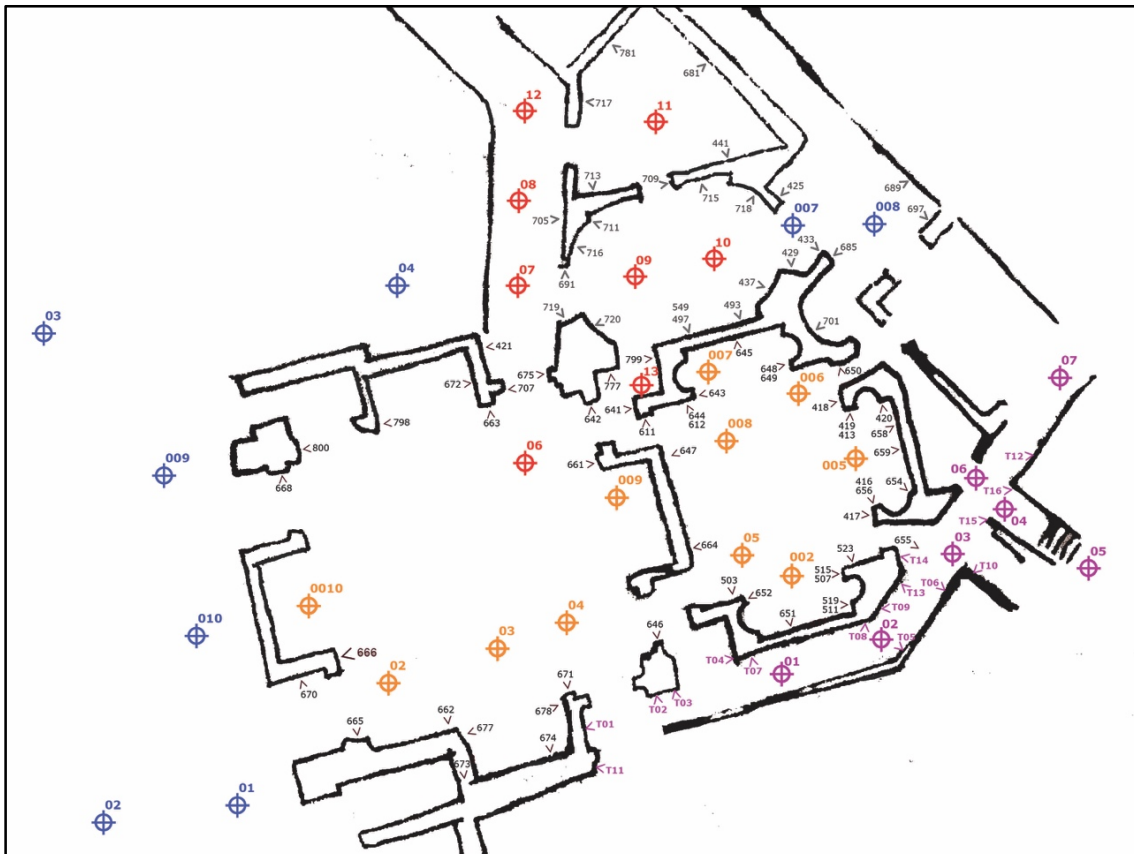


Figura 23: Campagna di rilievo numero 3.

LEGENDA:

⊕ Campagna n.1 agosto 2017 con n. target 57

< Target campagna n.1

⊕ Campagna n.1 agosto 2017 con n. target 26

⊕ Campagna n.2 agosto 2017

< Target campagna n.2 inseriti da me durante il lavoro digitale di allineamento delle scansioni

⊕ Campagna n.3 gennaio 2019

3.5 Allineamento scansioni

Le range maps ottenute dallo scanner laser 3D vengono generalmente allineate fra loro utilizzando dei software appositi in dotazione con lo strumento. In questa sede, per effettuare tale operazione, è stato utilizzato il software Cyclone (Leica Geosystems).

L'insieme delle range maps, fra loro allineate, costituisce la cosiddetta nuvola di punti che dovrebbe descrivere per intero l'oggetto del rilievo. Quando l'oggetto ripreso è particolarmente vasto e complesso risulta indispensabile esportare la nuvola di punti che lo rappresenta per porzioni più piccole. Questa operazione è particolarmente utile poiché il tempo impiegato dal processo di triangolazione, che trasformerà la point cloud in mesh, è tanto maggiore quanto più elevato è il numero di punti che costituisce la nuvola.

Le scansioni vanno unite una ad una individuando almeno 4 punti in comune tra le nuvole da unire, ogni punto scelto deve avere un numero univoco: è utile costruirsi una tabella per tenere sotto controllo il processo di unione. Ad ogni nuova registrazione va fatta una doppia verifica: la prima avviene al momento dell'unione, verificando che l'errore calcolato dal software sia trascurabile; la seconda è fatta manualmente sulla nuvola verificando con sezioni progressive l'assenza di errori e la perfetta verticalità. Il modello così ottenuto è relativo ad un'area molto vasta e complessa che racconta parti della Villa in precedenza poco indagate, e permette di capire le connessioni tra questa area e l'adiacente Teatro Marittimo.

Analizziamo fase per fase l'allineamento delle scansioni attraverso il software Cyclone.

OPERAZIONI PRELIMINARI:

1. Preliminarmente a qualsiasi altra operazione è necessario creare una cartella di lavoro. Nella finestra “Navigator” > in “Servers” vi sono due cartelle, entrambe con il nome del computer; quella da utilizzare è la prima (senza la dizione “unshared”).
2. Cliccare con il pulsante dx sul nome del computer > “databases” > “add” > indicare il percorso della cartella dove si trovano i file ptx (o pts) e dare un nome al file .imp (lo stesso nome automaticamente viene inserito nel casella “Database Name”). Chiudere la finestra “Configure Database”.

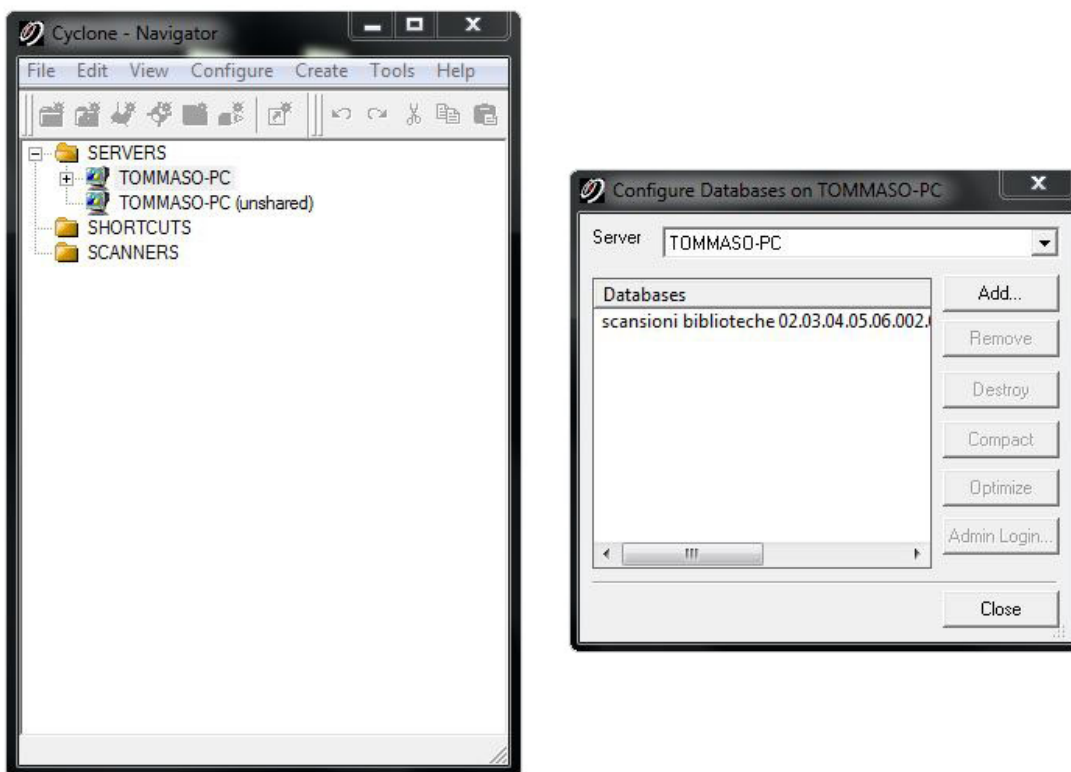


Figura 24: Screenshot di cyclone della fase 1 e 2 delle operazioni preliminari.

3. Aprire la sottocartella (+) annidata dentro la cartella con il nome del computer. Al suo interno si trova il database creato in precedenza.



Figura 25: Screenshot di cyclone della fase 3 delle operazioni preliminari.

4. Cliccare con il pulsante dx sul nome del database > “import” > si apre la finestra “import from file”: scegliere i file ptx da importare. Selezionare assieme tutti i files da importare > “open” > scegliere l’opzione “separate original clouds”. Il software importa i files (creando una copia di quelli originali) e per ognuno di questi dà origine ad uno ScanWorld (\perp).

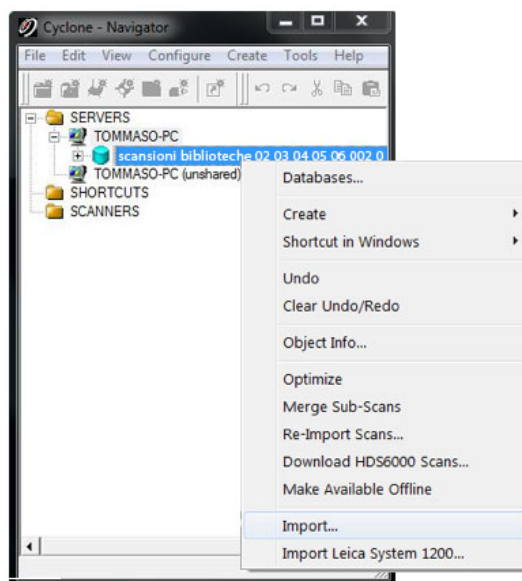


Figura 26: Screenshot di cyclone della fase 4 delle operazioni preliminari.

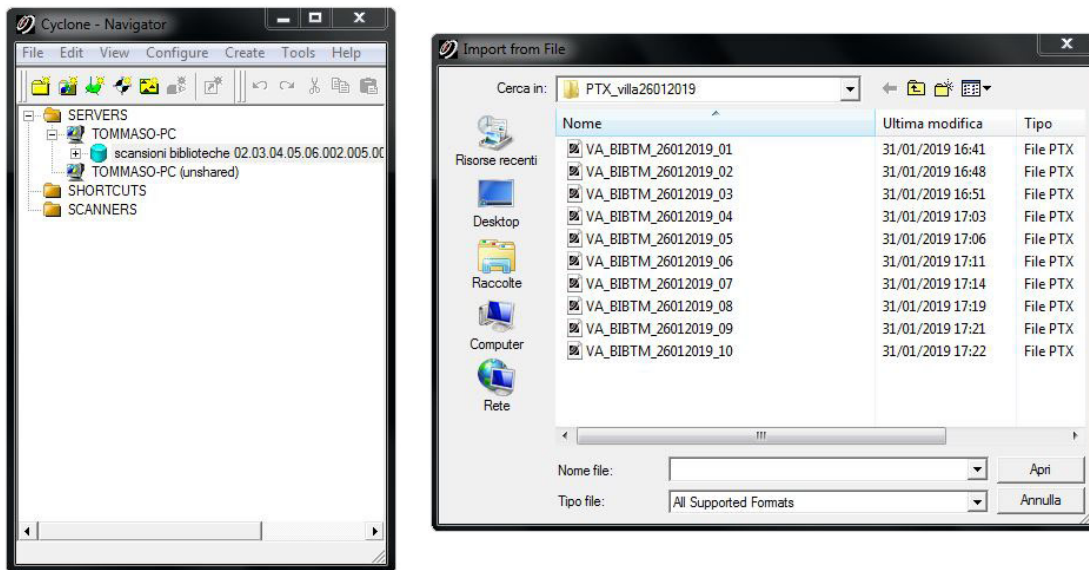


Figura 28: Screenshot di cyclone della fase 4 delle operazioni preliminari. Scelta delle scansioni da importare all'interno del programma.

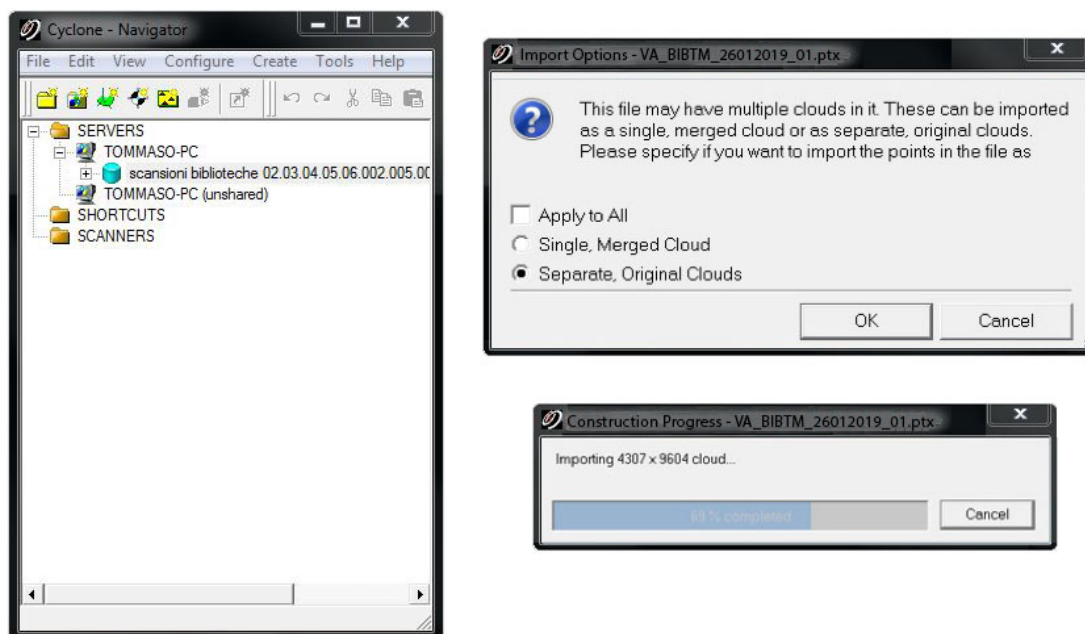


Figura 27: Screenshot di cyclone della fase 4 delle operazioni preliminari. Importazione scansioni all'interno del programma.

5. Aprire la cartella del primo ScanWorld (ha lo stesso nome del file importato); al suo interno aprire a sua volta la cartella “ModelSpace”. Cliccare con il pulsante dx sulla cartela presente > “Create and Open ModelSpace View”.

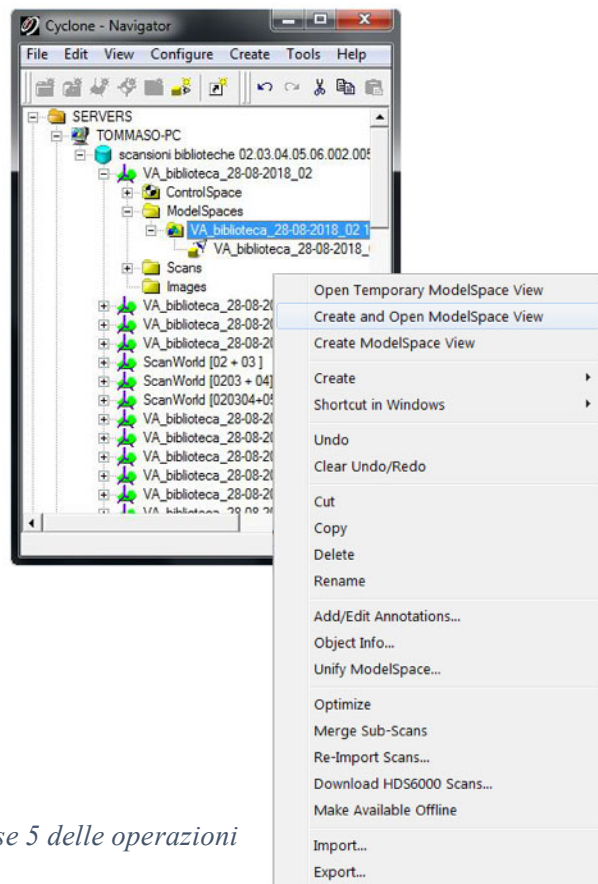
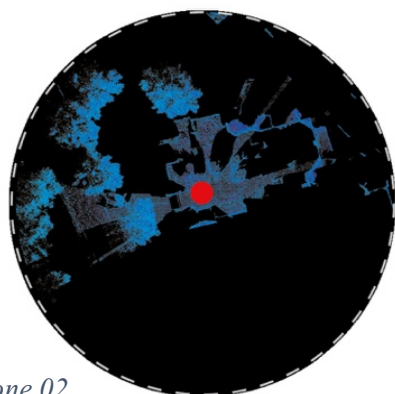
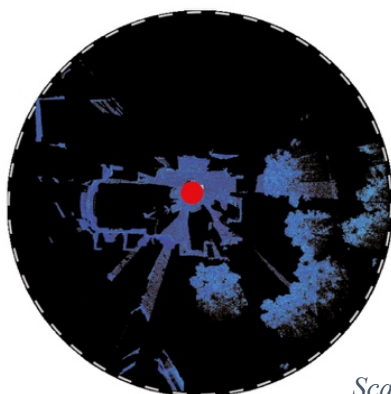


Figura 29: Screenshot di cyclone della fase 5 delle operazioni preliminari.

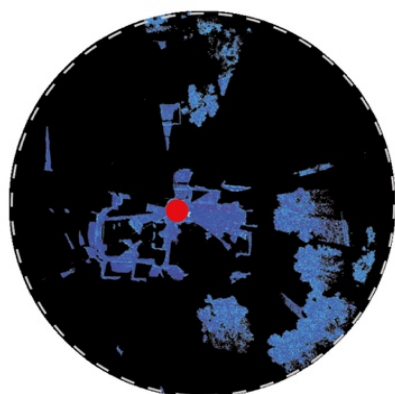
6. Ripetere la stessa operazione del punto 5 per il secondo ScanWorld e così per tutti i successivi.



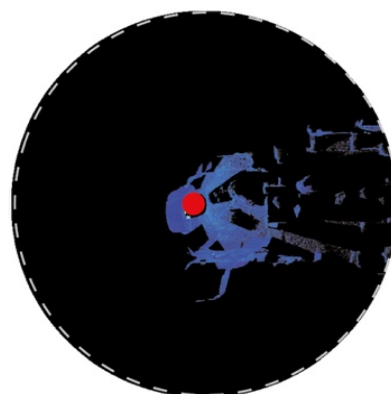
Scansione 02



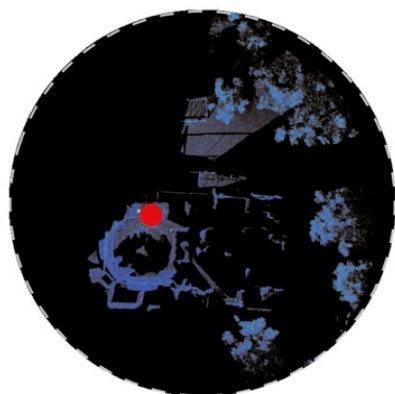
Scansione 03



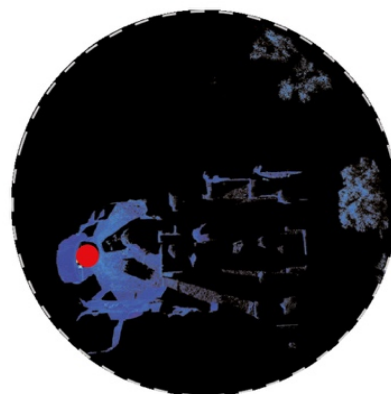
Scansione 04



Scansione 05



Scansione 002

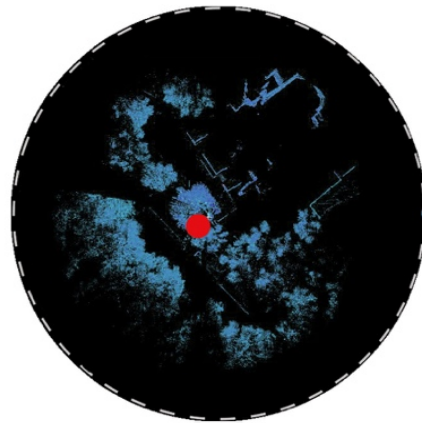


Scansione 005

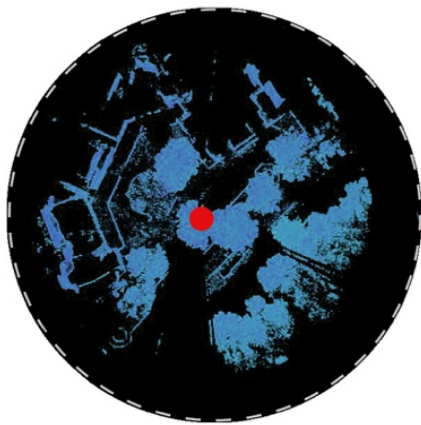
Figura 30: Esempi di singole scansioni importate su cyclone della campagna numero 1 di agosto 2017.



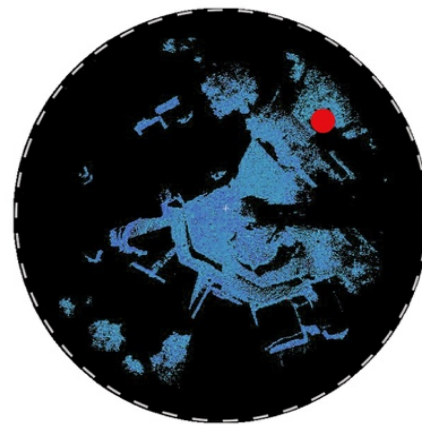
Scansione 01



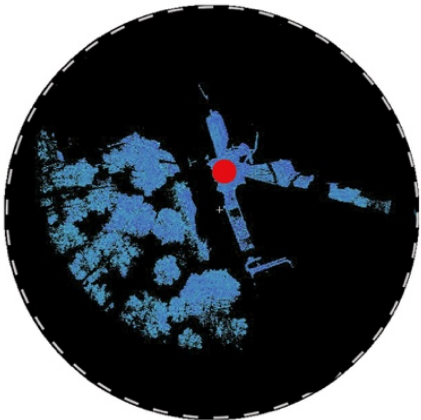
Scansione 02



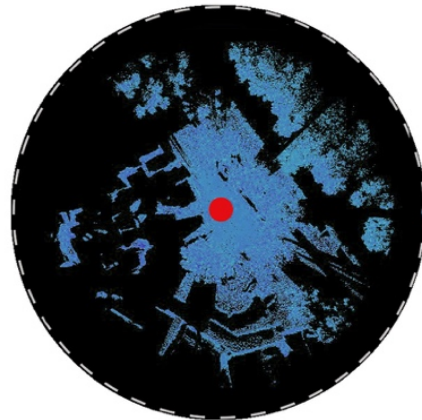
Scansione 03



Scansione 04



Scansione 08



Scansione 09

Figura 31: Esempi di singole scansioni importate su ciclone della campagna numero 3 di gennaio 2019.

REGISTRAZIONE DELLE NUVOLE:

1. L'operazione di messa a registro si compie nel "ControlSpace", pertanto, prima di procedere con la messa a registro delle singole scansioni è necessario fare una copia di ciascuna nuvola nel "ControlSpace" di ciascun "ScanWorld".

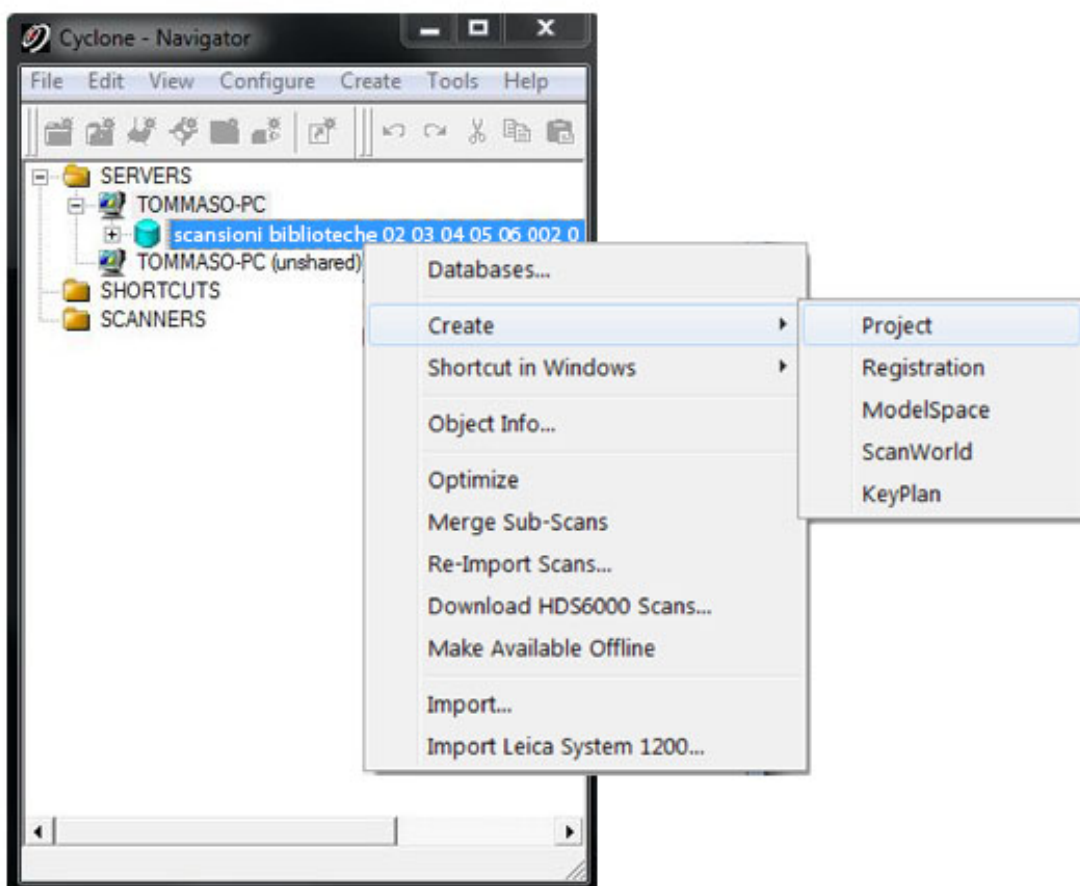


Figura 32: Screenshot di cyclone della fase 1 della registrazione delle nuvole.

2. Andare nel “ModelSpace” (nell’immagine aperta) > “Selection” > “Select All”. Tornare nel menù a tendina > “Tools” > “Registration”> “Copy to ControlSpace”.

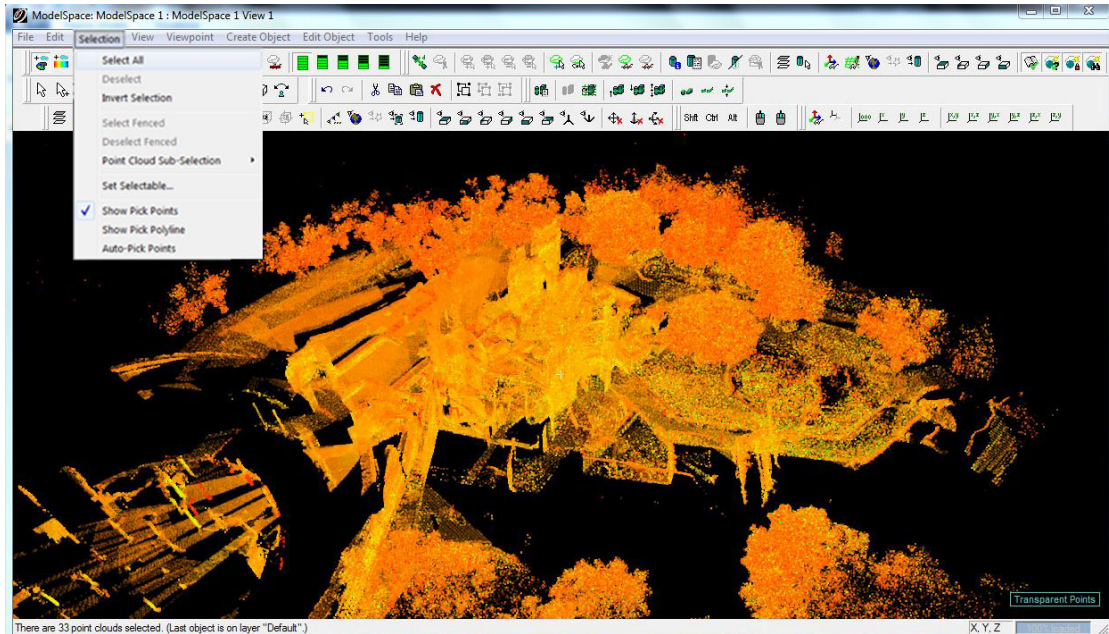


Figura 33: Screenshot di cyclone della fase 2 della registrazione delle nuvole.

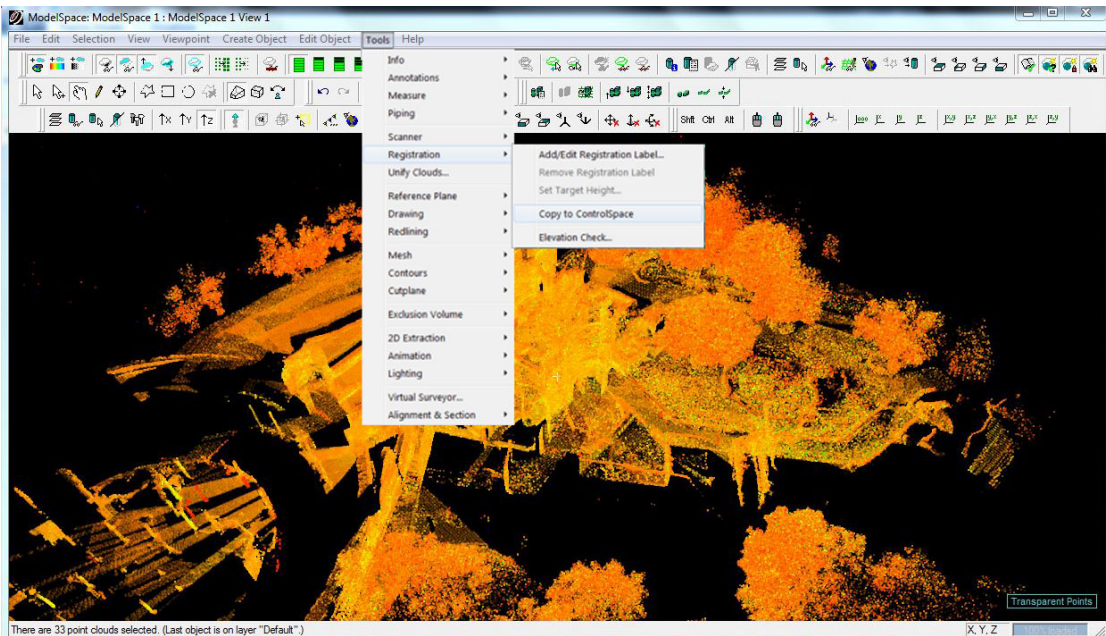


Figura 34: Screenshot di cyclone della fase 2 della registrazione delle nuvole.

3. Tornare nella finestra “Navigator” > andare nella cartella “ControlSpace” e con un doppio click su di essa aprire il “ControlSpace”. Se la nuvola è rimasta selezionata > “Selection” > “deselect”.

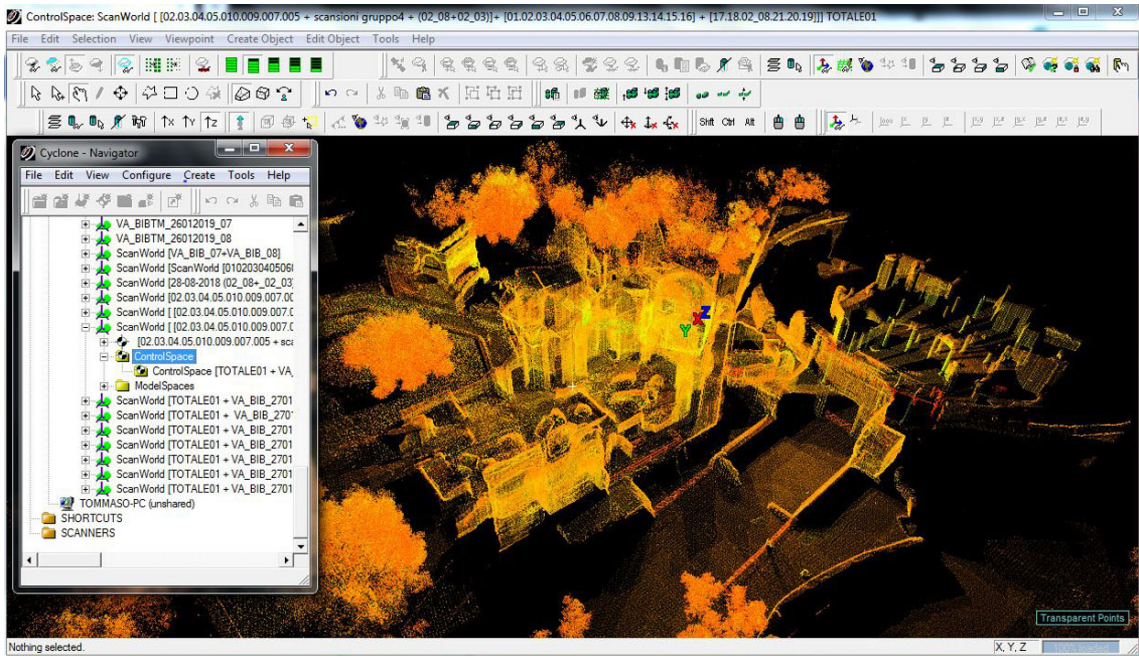


Figura 35: Screenshot di cyclone della fase 3 della registrazione delle nuvole.

4. Ciascuna nuvola è necessario individuare dei punti comuni denominati “Label”. Nel nostro caso abbiamo una parte delle scansioni con dei Target già numerati e classificati nel nostro eidotipo

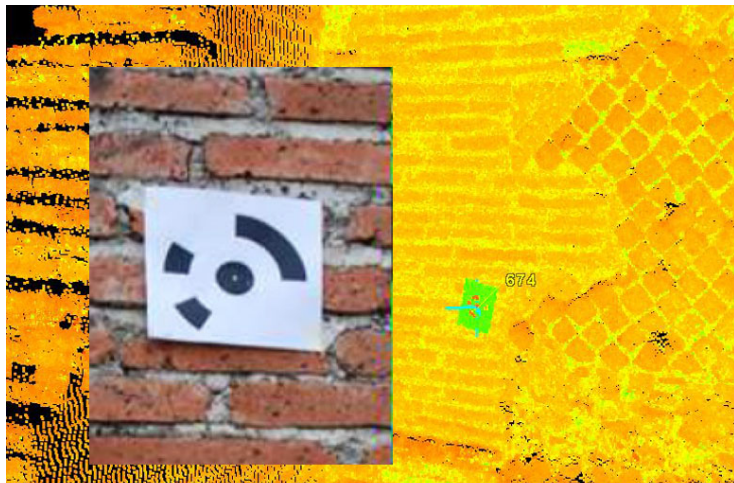


Figura 36: Esempio di target inserito sul muro nella realtà e target ritrovato all'interno della scansione di cyclone

durante la prima fase del rilievo sul posto e quindi l'assegnazione dei "Label" risulta molto più semplice: selezionare il punto desiderato > "Tools" > "Registration" > "Add/Edit Registration Label" > assegnare un nome univoco (nel nostro caso è necessario assegnare ai Label lo stesso nome del punto corrispondente al nostro eidotipo).

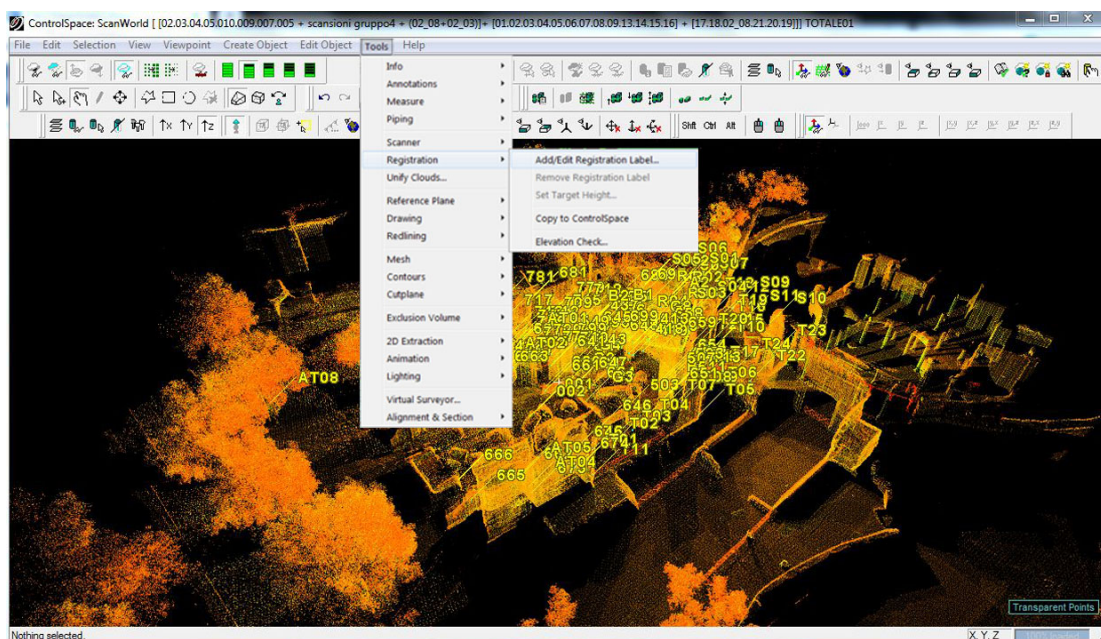


Figura 37: Screenshot di cyclone della fase 4 della registrazione delle nuvole.

In altre nuvole invece è stato necessario individuare dei punti comuni nelle varie scansioni mediante punti facilmente riconoscibili nell'architettura e visibili in entrambe le nuvole prese in considerazione. È un'operazione molto complessa perché bisogna passo passo farsi una scheda dettagliata, in modo tale da rendersi conto in quale scansione si va ad inserire il "Label".

01	T01									
02	T01	T02	T03	T04	T05	T06				
03	T01		T03		T05	T06	T07	T08		
04	T01						T07	T08	T09	T10
05						T06			T09	T10
06										
07										
08										
										T10

Figura 38: Tabella di riconoscimento dei Label elaborata da me per aiutarmi nell'allineamento corretto delle scansioni.

Qui di seguito riporto un esempio di due diverse scansioni, in particolare le scansioni 09 e 010 effettuate nell'ultima campagna di rilievo di gennaio 2019. Vediamo che per inserire il "Label" ho preso in considerazione lo spigolo del muretto, un classico esempio di un elemento architettonico facilmente riconoscibile in entrambe le nuvole di punti prese in considerazione.

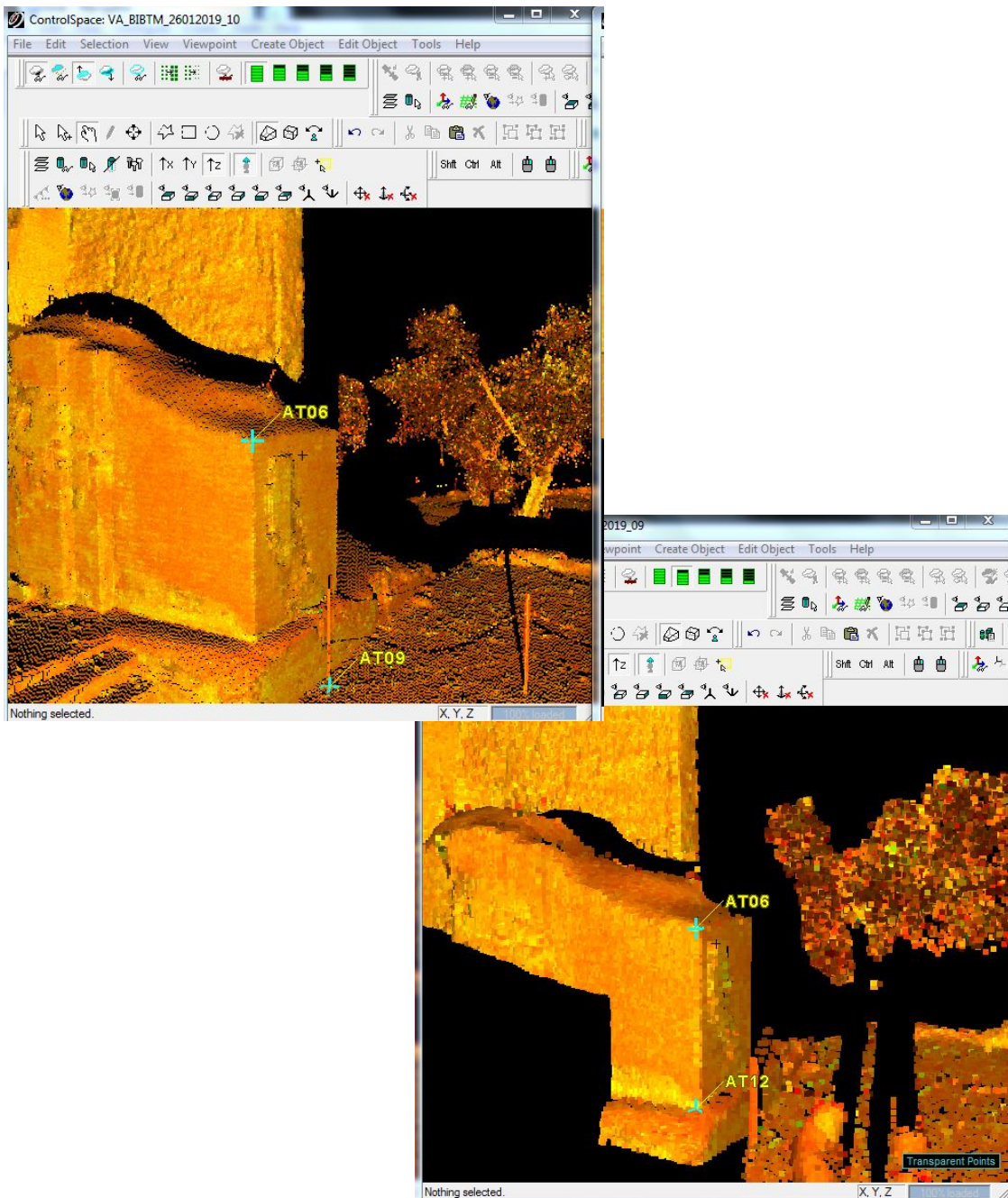


Figura 39: Esempio del punto AT06 facilmente riconoscibile nell'architettura presente in due scansioni differenti.

5. Compiere l'operazione soprastante per almeno 4 punti comuni su due nuvole diverse.
6. Chiudere i ControlSpace.
7. Tornare alla finestra "Navigator" > nella cartella "Database" > pulsante dx > "Create Registration" > dare un nome alla registrazione (solitamente si inserisce il nome della prima nuvola + il nome della seconda nuvola e così via) > cliccare due volte sull'icona per aprire il menù di registrazione.

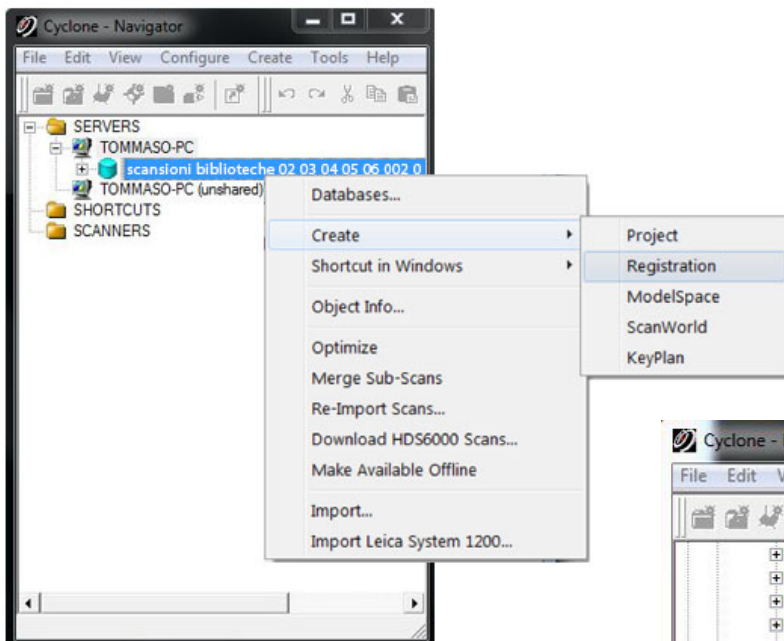


Figura 40: Screenshot di cyclone della fase 7 della registrazione delle nuvole.

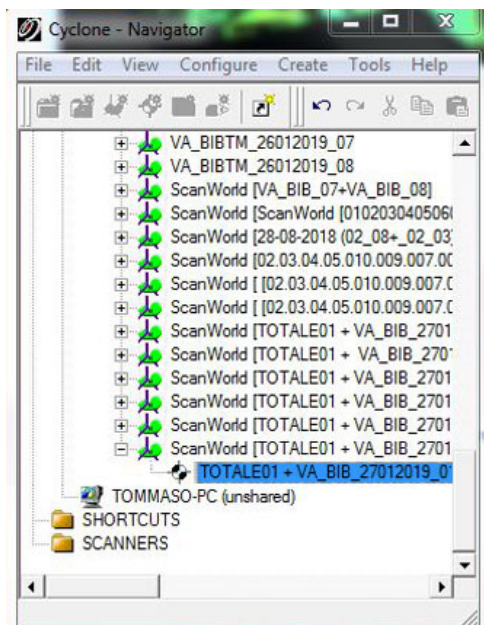


Figura 41: Screenshot di cyclone della fase 7 della registrazione delle nuvole.

8. Dal menù a tendina > “ScanWorld” > “Add ScanWorld” > caricare le due nuvole di punti che si desidera unire.

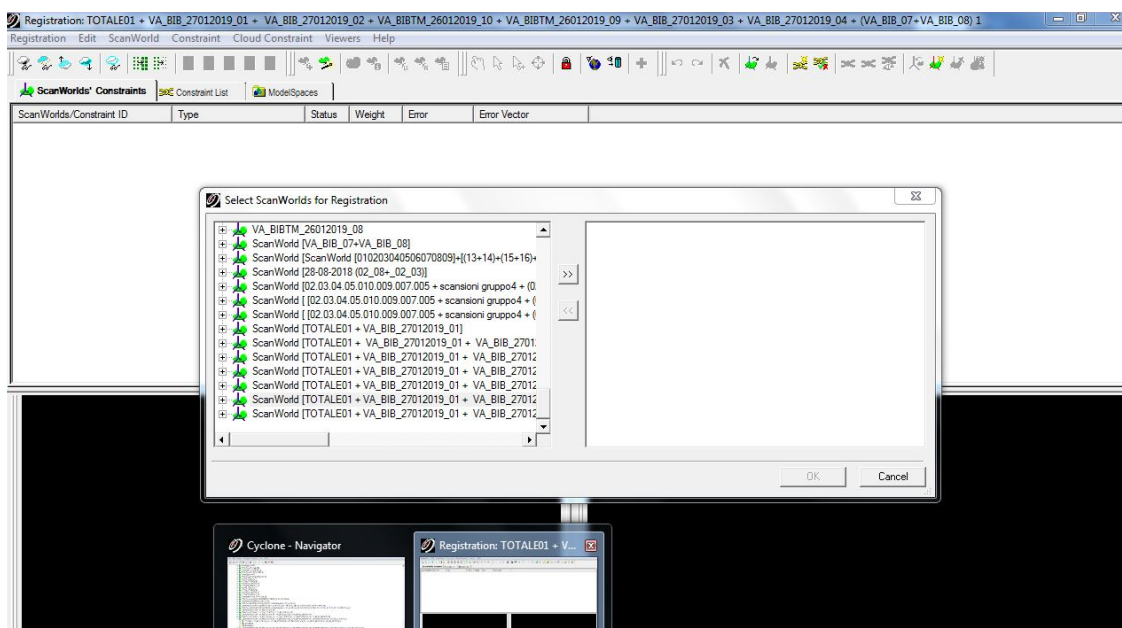


Figura 43: Screenshot di cyclone della fase 8 della registrazione delle nuvole. Caricamento delle due nuvole di punti che si desidera unire.

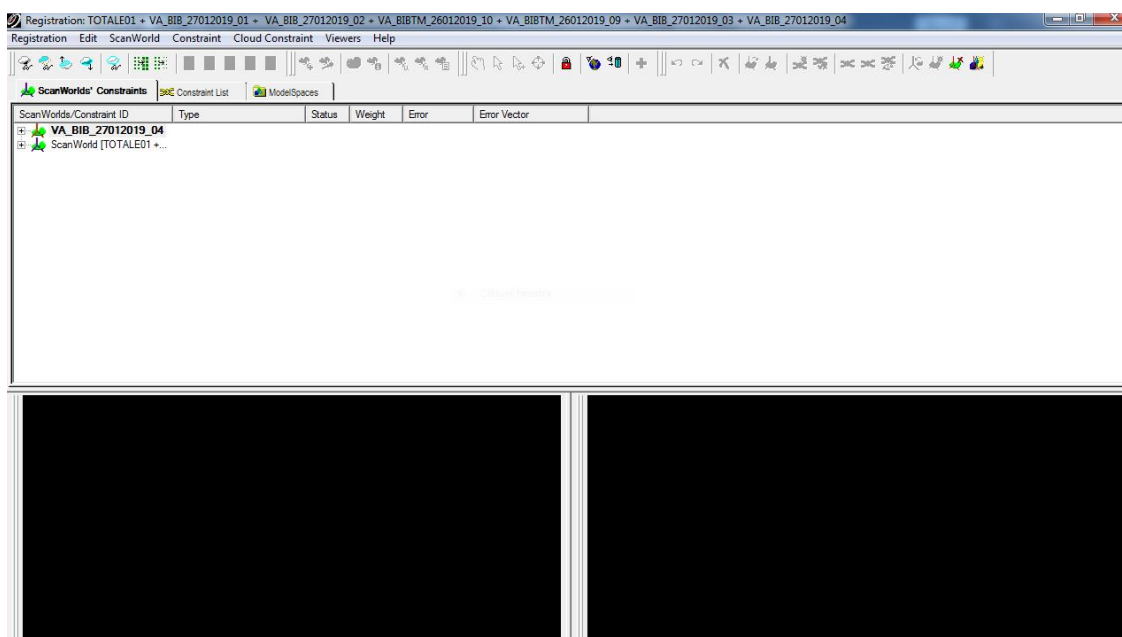


Figura 42: : Screenshot di cyclone della fase 8 della registrazione delle nuvole. Le due nuvole di punti caricate all'interno della fase di registrazione in cyclone.

9. Dal menù a tendina > “Constraint” > “Auto-Add Constraints”.

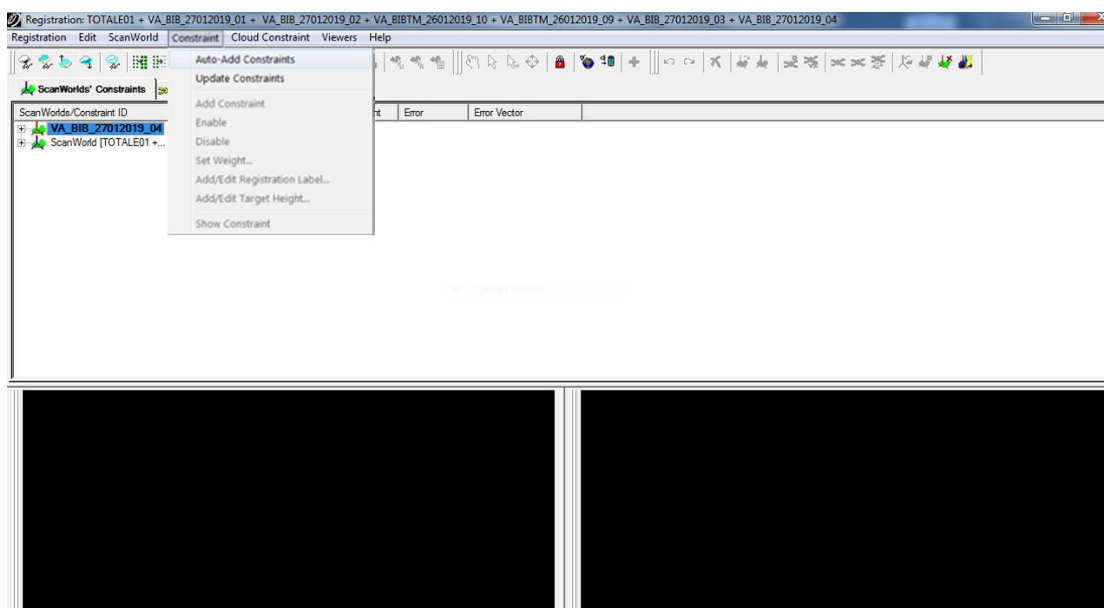


Figura 44: : Screenshot di cyclone della fase 9 della registrazione delle nuvole. Auto correzione degli errori.

10. Cambiare menù: “Constraint List” (sotto il menù principale) > andare sul menù a tendina > “Registration” > “Register”.

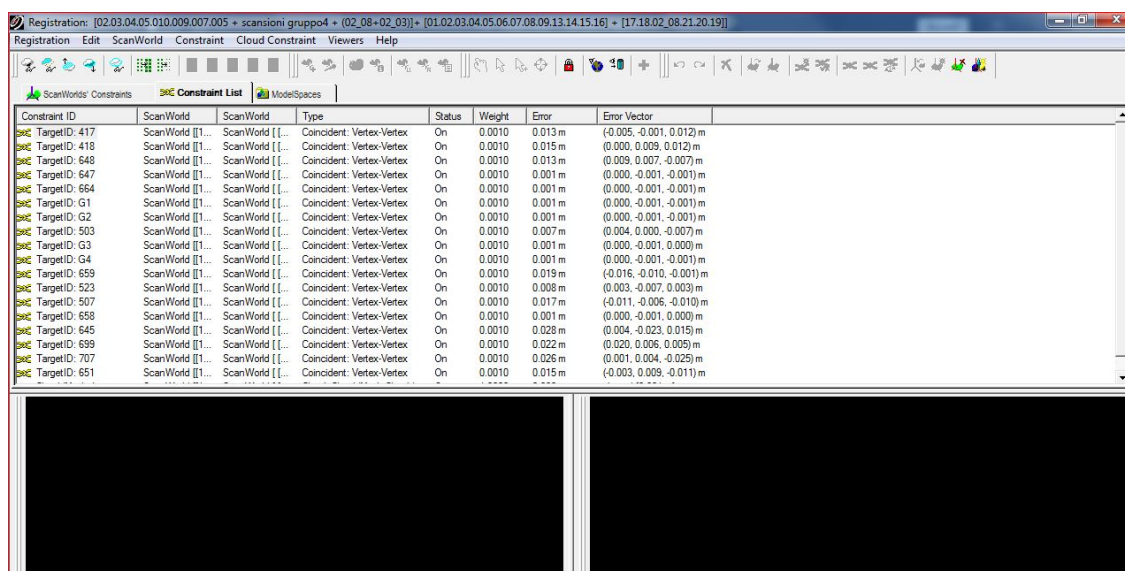


Figura 45: : Screenshot di cyclone della fase 10 della registrazione delle nuvole. Registrazione Target delle due nuvole unite.

11. Controllo degli errori: cliccare su “Error” per metterli in ordine di errore.
12. Cliccare sull’ID con l’errore minore (devono comparire le nuvole)

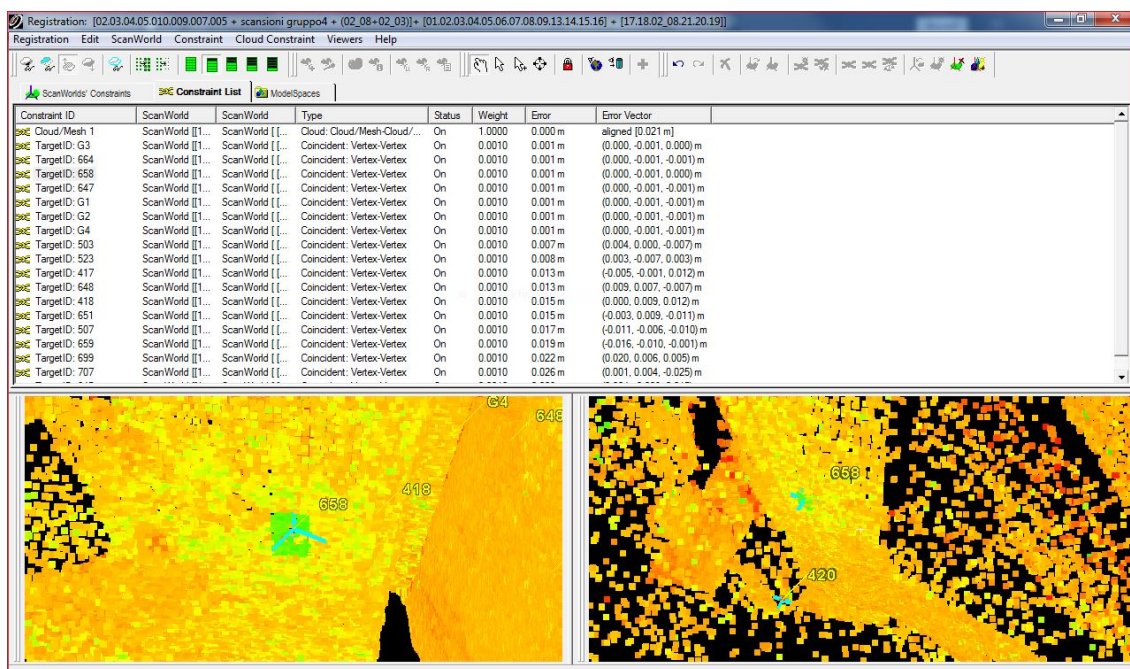


Figura 46: Screenshot di cyclone della fase 12 della registrazione delle nuvole. Correzione errore minimo.

13. Sul menù a tendina > “Cloud Constraint” > “Add-Cloud Constraint”.
14. Sul menù a tendina > “Registration” > “Register”

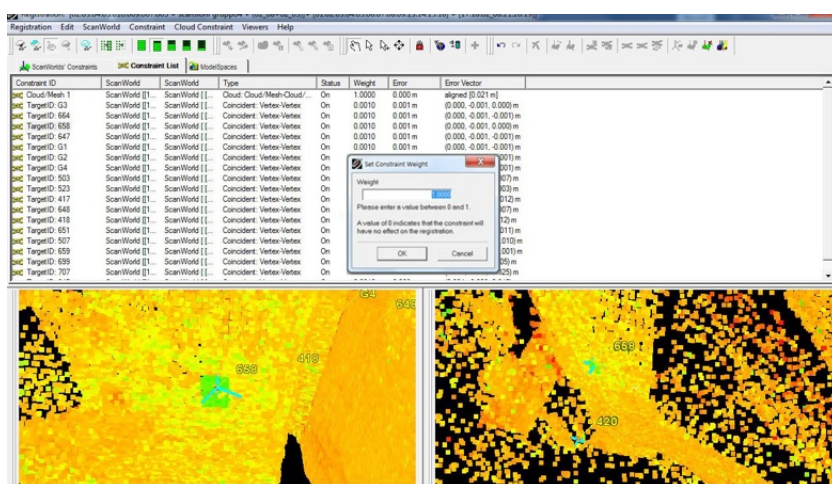


Figura 47: Screenshot di cyclone della fase 15 della registrazione delle nuvole. Calibrare l'errore.

15. Andare sul punto con più errore e calibrare il peso del punto > pulsante dx > “Set Weight” (0.1 per poco peso).

16. Sul menù a tendina > “Registration” > “Register”. Se necessario reiterare il processo descritto sopra fino a quando l’errore della cloud mesh rientra nei 3 mm.
17. Sul menù a tendina > “Registration” > “Freeze Registration”.

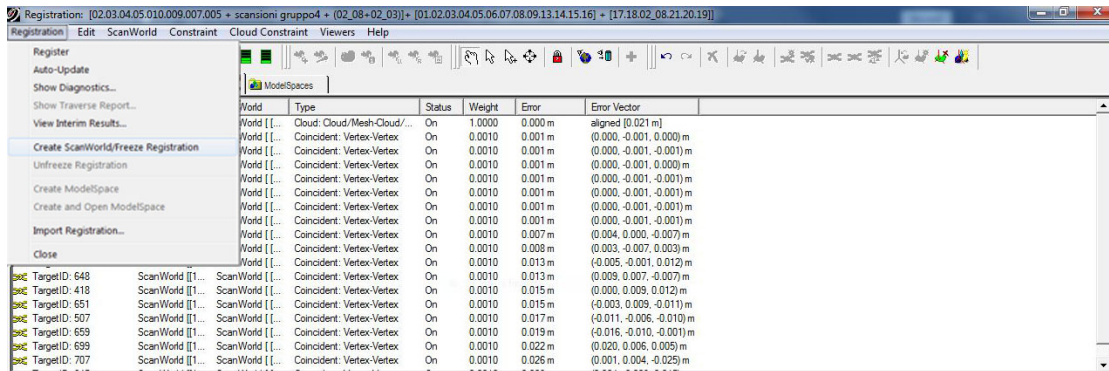


Figura 48: Screenshot di cyclone della fase 17 della registrazione delle nuvole. Registrazione finale delle nuvole unite.

18. Sul menù a tendina > “Registration” > “Create ScanWorld”.
19. Nella finestra “Navigator” > “ModelSpace” > “Create ModelSpace” > “Create and Open ModelSpace View”

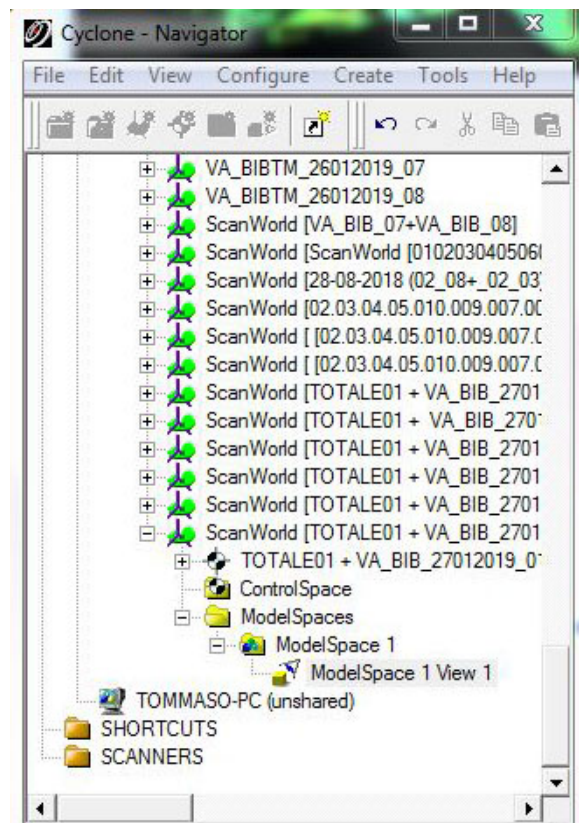


Figura 49: Screenshot di cyclone della fase 19 della registrazione delle nuvole. Creazione ModelSpace finale della registrazione delle nuvole di punti.

3.6 Risultato finale

Riportiamo qui di seguito degli screenshot effettuati dal programma cyclone per mostrare il risultato finale dell'unione della totalità delle scansioni che avevo a disposizione:

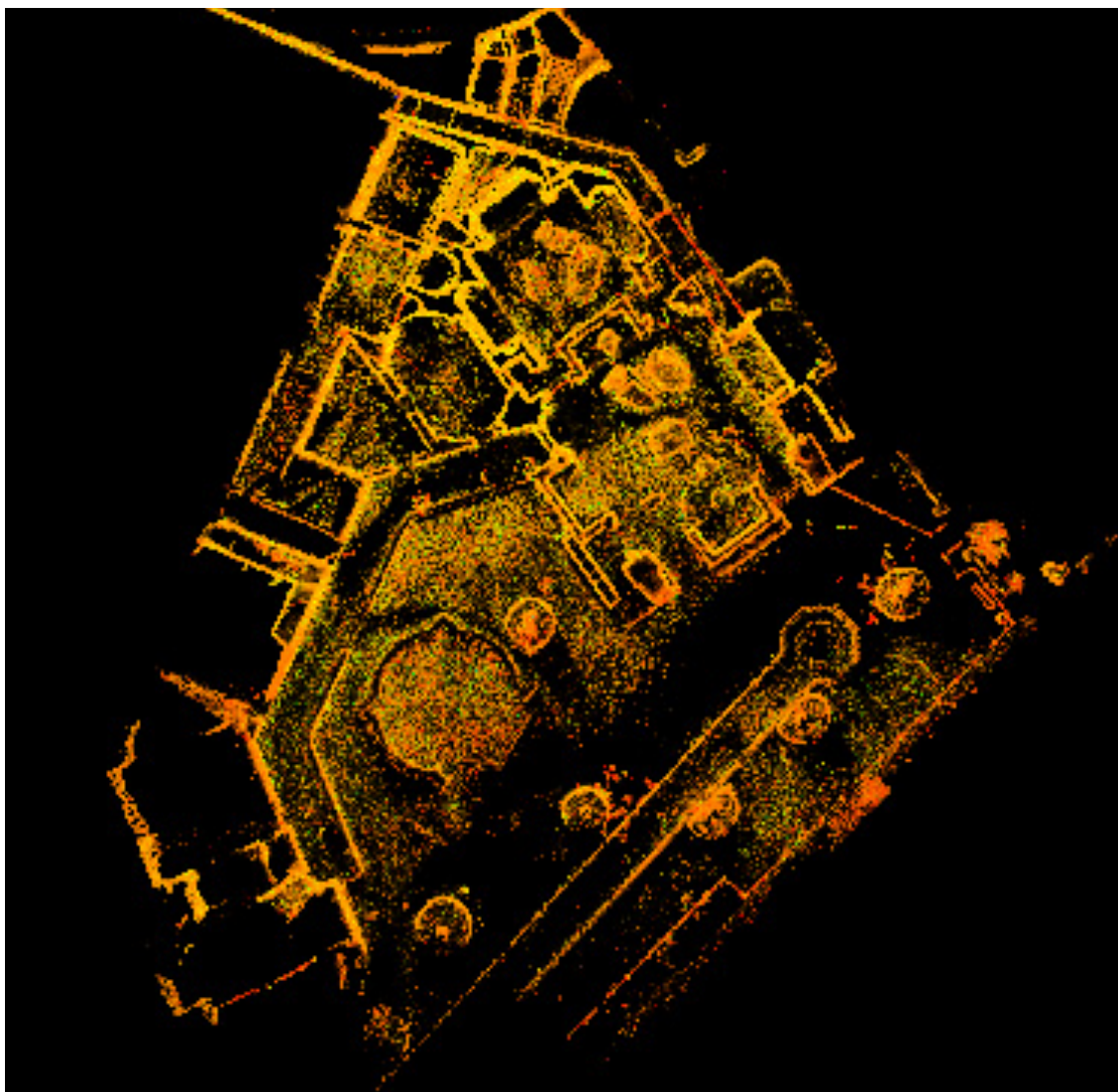


Figura 50: Ortoimmagine della Biblioteca Greca esportata dal software Leica Cyclone.

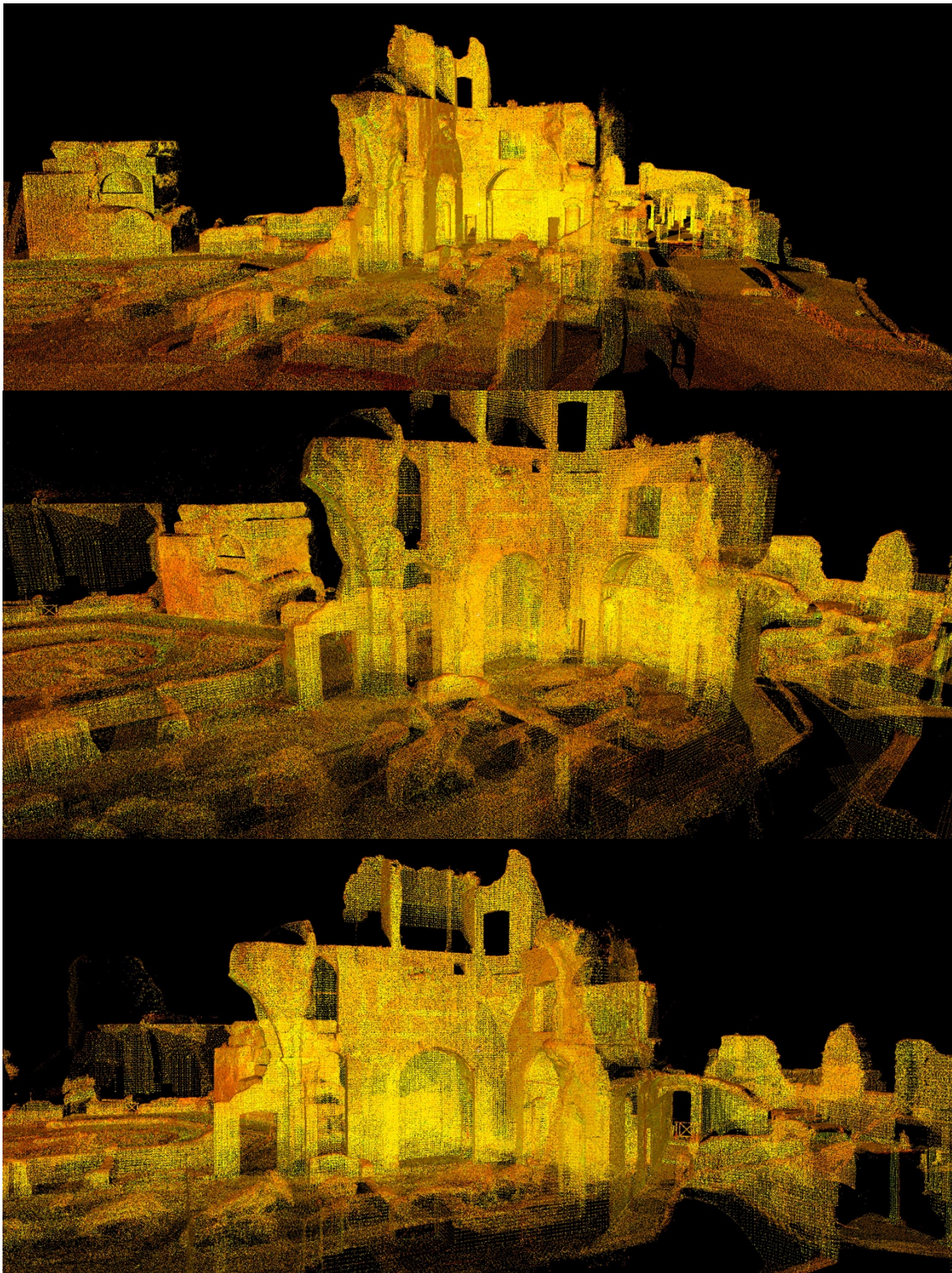


Figure 51: Immagini generali dei risultati finali dell'allineamento completo delle scansioni della Biblioteca Greca esportate dal software Leyca Cyclone.

SEZIONI

Tramite il programma Cyclone è possibile realizzare dei “Cut Plane” per realizzare sezioni verticali. Qui di seguito riportiamo degli esempi di quattro differenti sezioni della Biblioteca Greca:

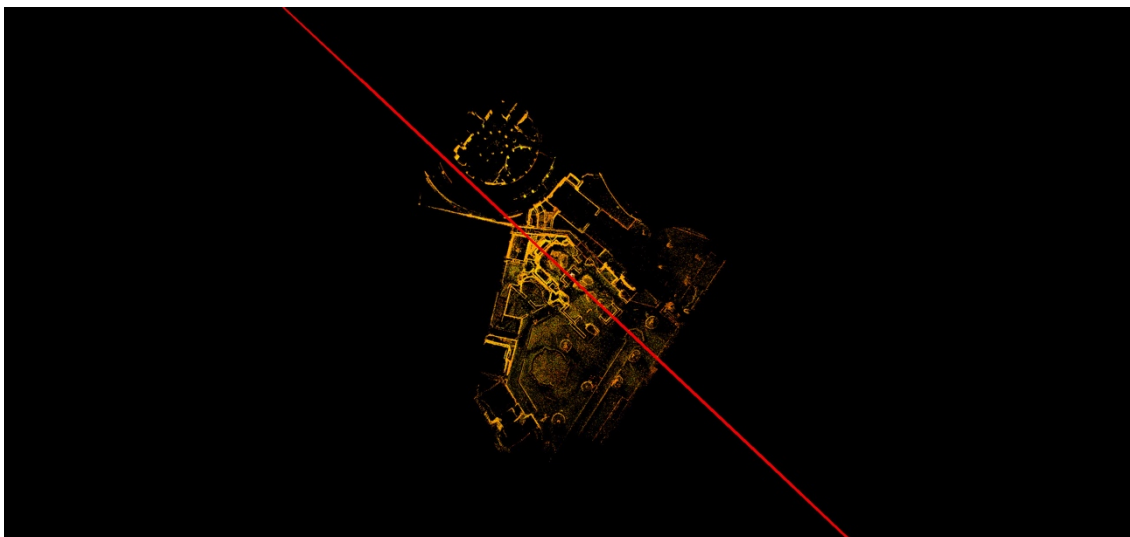


Figura 52: Piano di sezione del lato lungo della Biblioteca Greca. Piano di sezione inserito all'interno del software Leica Cyclone e successivamente ho esportato l'immagine.

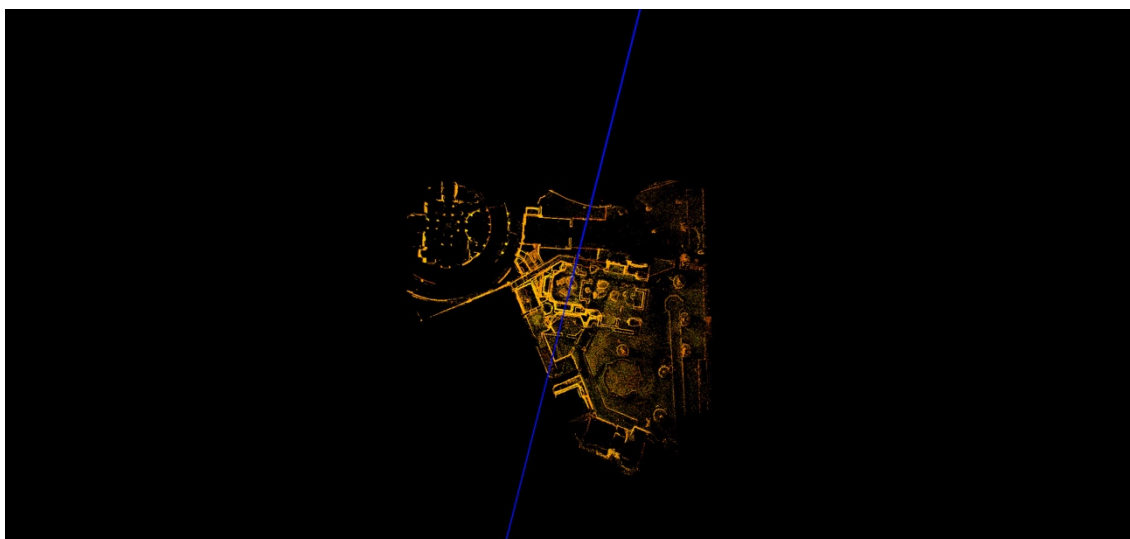


Figura 53: Piano di sezione del lato corto della Biblioteca Greca. Piano di sezione inserito all'interno del software Leica Cyclone e successivamente ho esportato l'immagine.

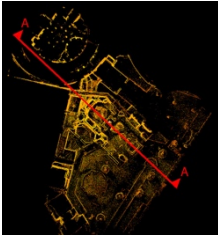
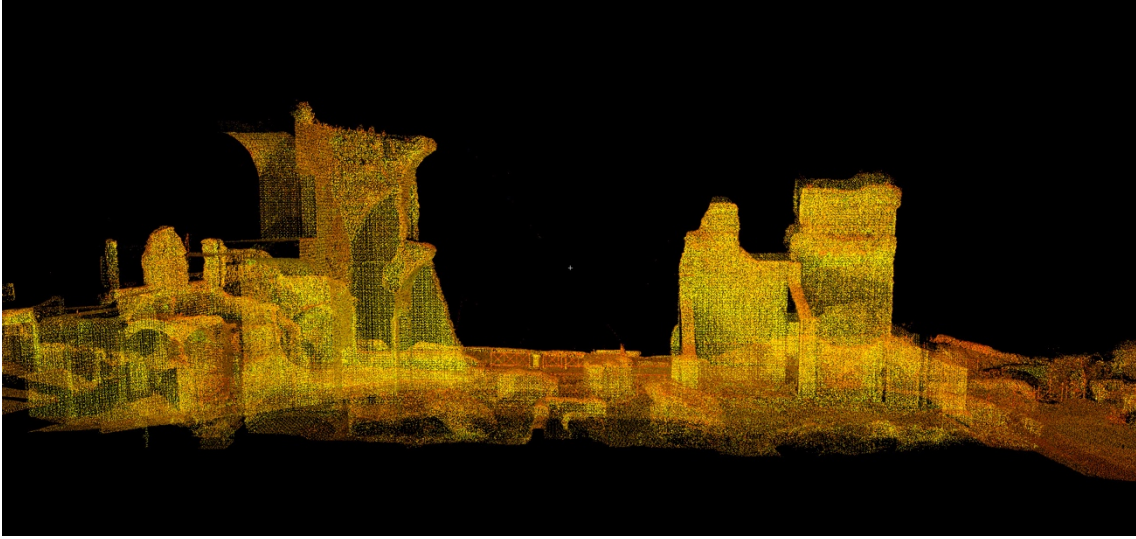


Figura 54: Sezione A della Biblioteca Greca esportata dal software Leica Cyclone.

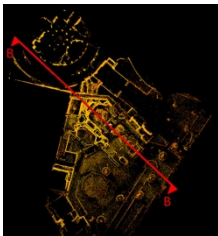
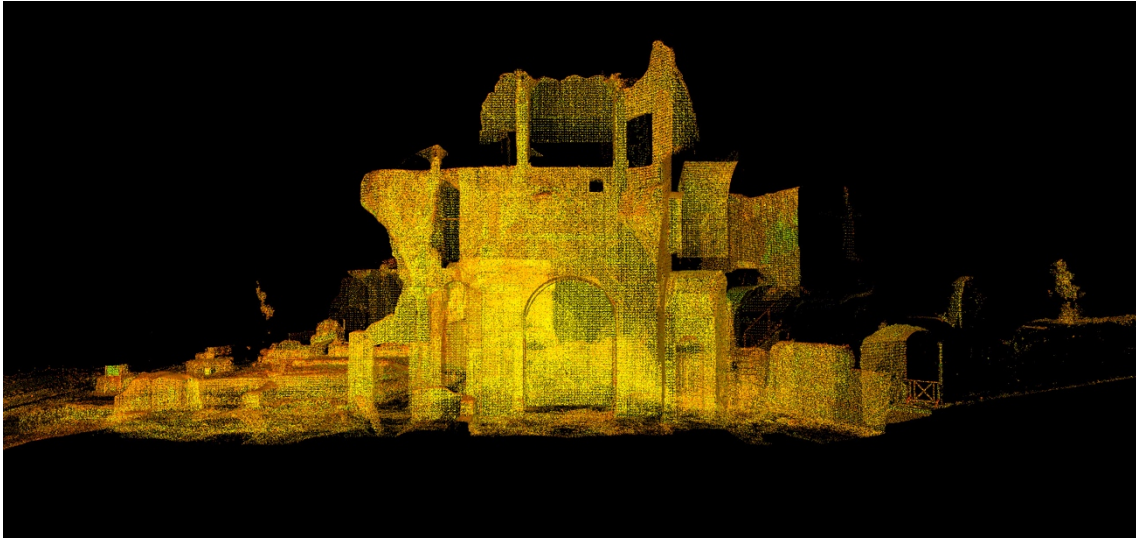


Figura 55: Sezione B della Biblioteca Greca esportata dal software Leica Cyclone.

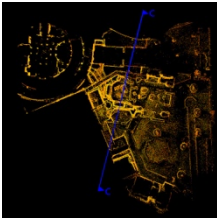
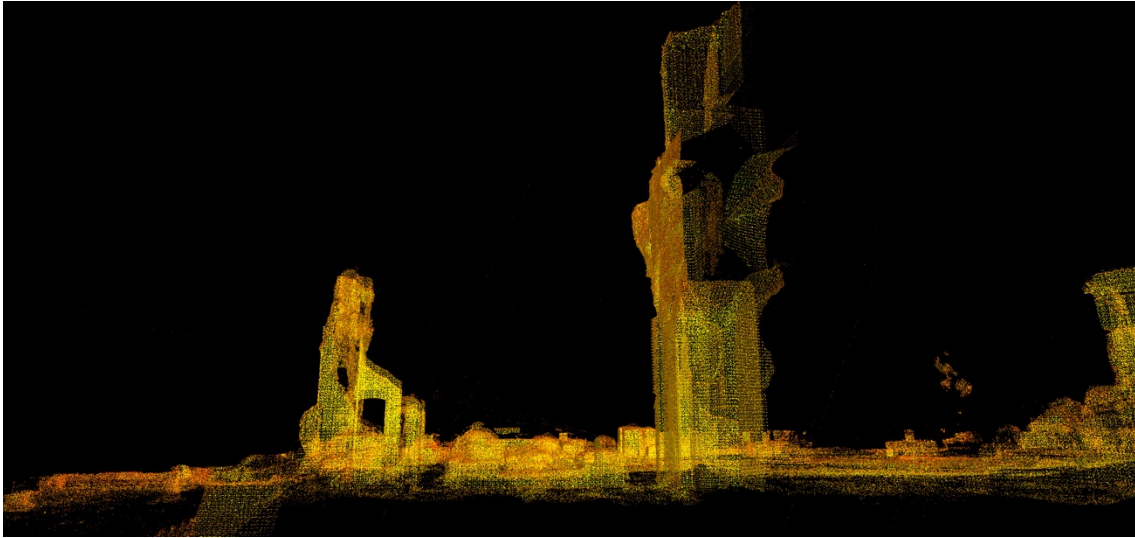


Figura 57: Sezione C della Biblioteca Greca esportata dal software Leica Cyclone.

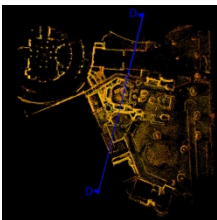
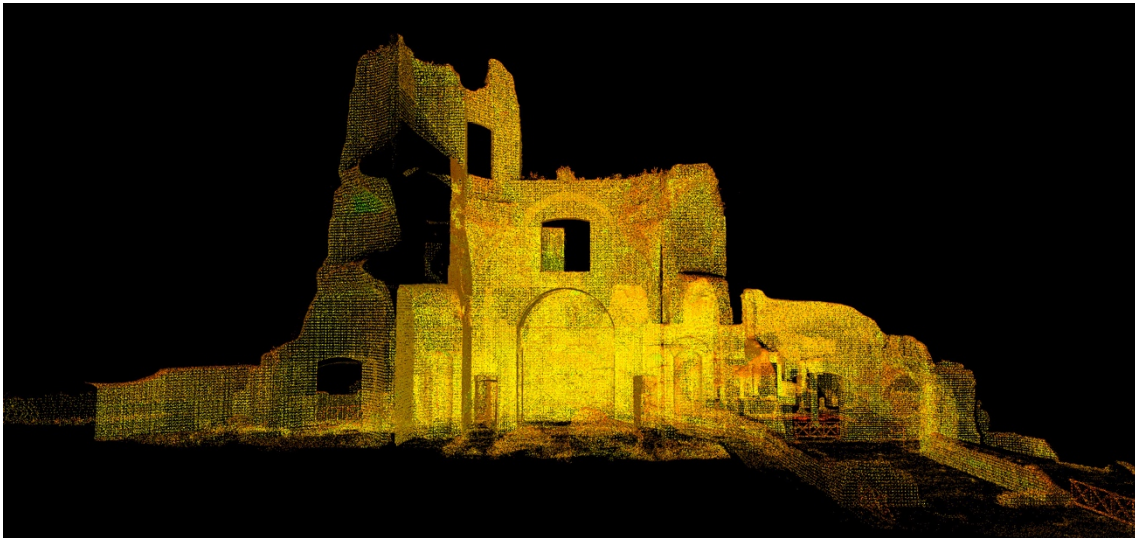


Figura 56: Sezione D della Biblioteca Greca esportata dal software Leica Cyclone.

3.7 Elaborazione risultati finale di Cyclone

Ognuna delle fasi precedentemente descritte è fondamentale per l'ottenimento di un rilievo che sia veritiero, affidabile e accompagnato da elaborati grafici finali di alta qualità. Da *Cyclone* come già detto è stato possibile ricavare delle sezioni orizzontali e verticali iniziali grazie all'esportazione di ortoimmagini²⁴ parziali ad alta risoluzione ricomposte poi all'interno di Autocad. Questo procedimento è possibile grazie al file .TWF che viene creato al momento dell'esportazione; questo file contiene i dati delle coordinate e mantiene inalterata la scala rendendo così possibile ricomporre esattamente le immagini, estratte anche a zoom differenti, senza commettere errori di scala o di posizionamento.



Figura 58: Pianta della Biblioteca Greca di Villa Adriana ottenuta mediante la rielaborazione dell'ortoimmagine estrapolata da Leica Cyclone e rielaborata con l'aiuto di AutoCad.

²⁴ Una ortofoto o ortoimmagine è una fotografia aerea che è stata geometricamente corretta e geo referenziata in modo tale che la scala di rappresentazione della fotografia sia uniforme, cioè la foto può essere considerata equivalente ad una carta geografica.

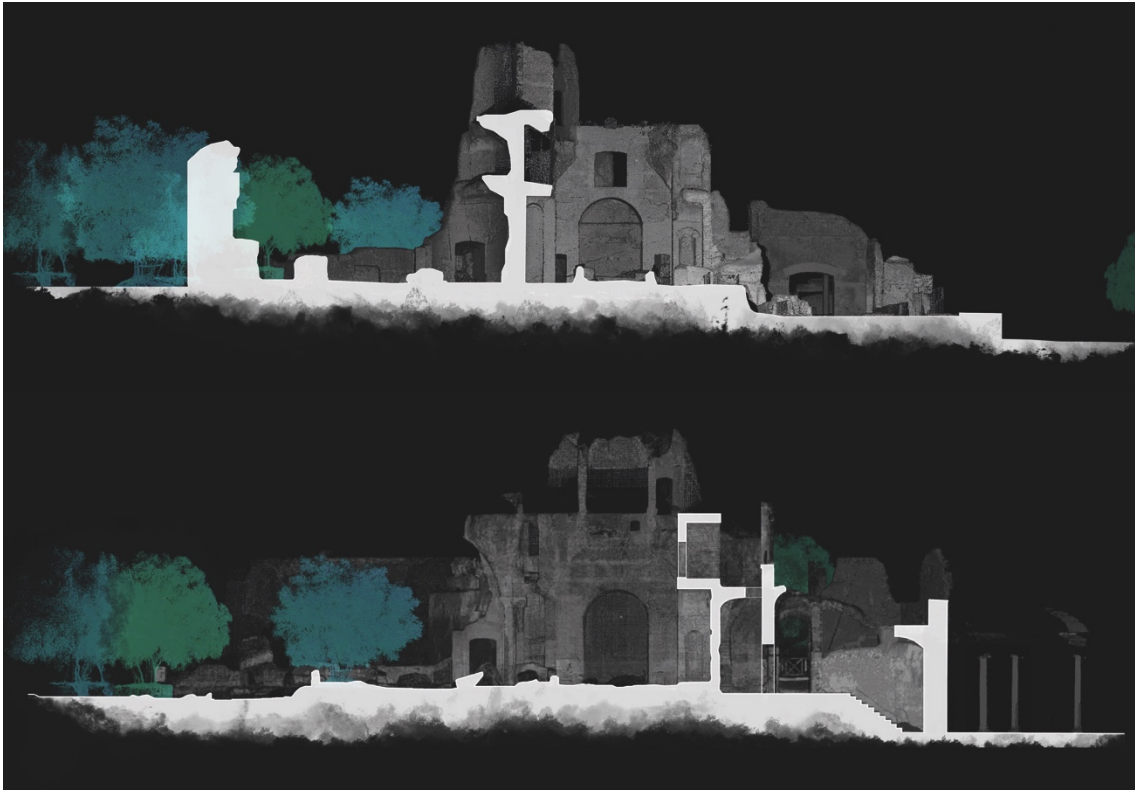


Figura 59: Sezioni della Biblioteca Greca di Villa Adriana ottenute mediante la rielaborazione delle immagini estrapolate da Leyca Cyclone e rielaborate con AutoCad.

4 ELABORAZIONE DATI SU GEOMAGIC E RISULTATI FINALI

4.1 Costruzione del modello mesh

Ottenuta la nuvola di punti completa è necessario trasformarla in un modello di superfici, affinché sia possibile estrapolarne piante e sezioni esatte. La costruzione del modello avviene tramite un software di reverse modeling “*Geomagic*” che permette di calcolare superfici (mesh) a partire da nuvole di punti. Per ottimizzare il lavoro è stato deciso di suddividere la nuvola di punti in più parti, dette fence. Scegliere di non importare l’intera nuvola di punti in *Geomagic*, oltre a permettere di calibrare per ogni parte la precisione desiderata al momento del calcolo, è necessario per chi si appresta a tale operazione senza la possibilità di utilizzare un computer ad altissime prestazioni: la quantità di informazioni da elaborare sarebbe insostenibile o comporterebbe tempi di calcolo estremamente lunghi per un computer di medie prestazioni.

La divisione in fence non può essere eseguita in maniera arbitraria ma va studiata tenendo in considerazione la natura dell’elemento. Si tratta quindi di dividere pavimento da ciò che è muratura e da elementi distinti quali colonne, capitelli o, come nel nostro caso, da ciò che rimane dell’attacco delle cupole per poterne studiare l’andamento con maggior dettaglio.

Questa prima divisione non è ancora sufficiente per poter avere delle fence gestibili all’interno di *Geomagic*, è necessario infatti dividerle ulteriormente. Tale divisione deve essere fatta individuando la presenza di elementi di cesura già all’interno dell’architettura stessa in modo tale che venga garantita il più possibile la continuità degli elementi architettonici.

Per la frammentazione è quindi utile individuare la sovrapposizione degli ordini, se presenti, o suddividere l’elemento nelle sue parti costitutive. Nel nostro caso una delle facciate è stata suddivisa in sei parti: la superficie della facciata, la nicchia, il pavimento,

la sala superiore e i due spicchi di volta, separatamente. Per esportare l'intera area da noi indagata è stato necessario ricorrere alla sua suddivisione in 55 fence.

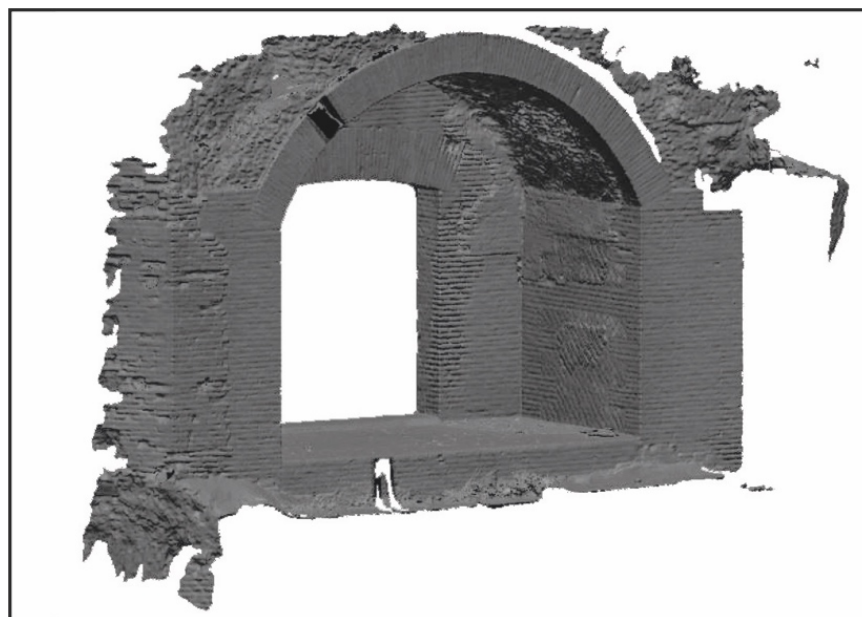


Figura 60: Esempio di singola fence di elementi architettonici in cui è stata divisa la Biblioteca Greca.

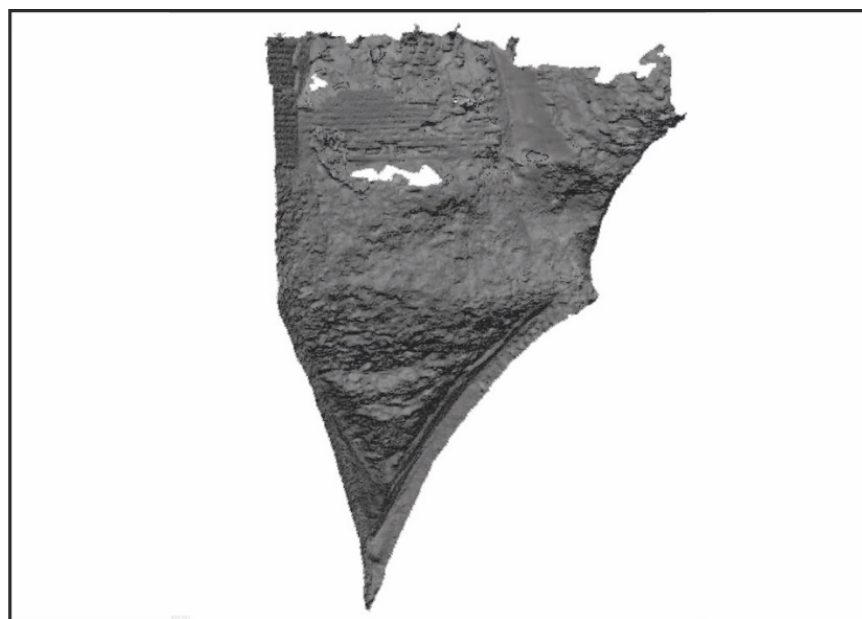


Figura 61: Esempio di singola fence di elementi architettonici in cui è stata divisa la Biblioteca Greca.

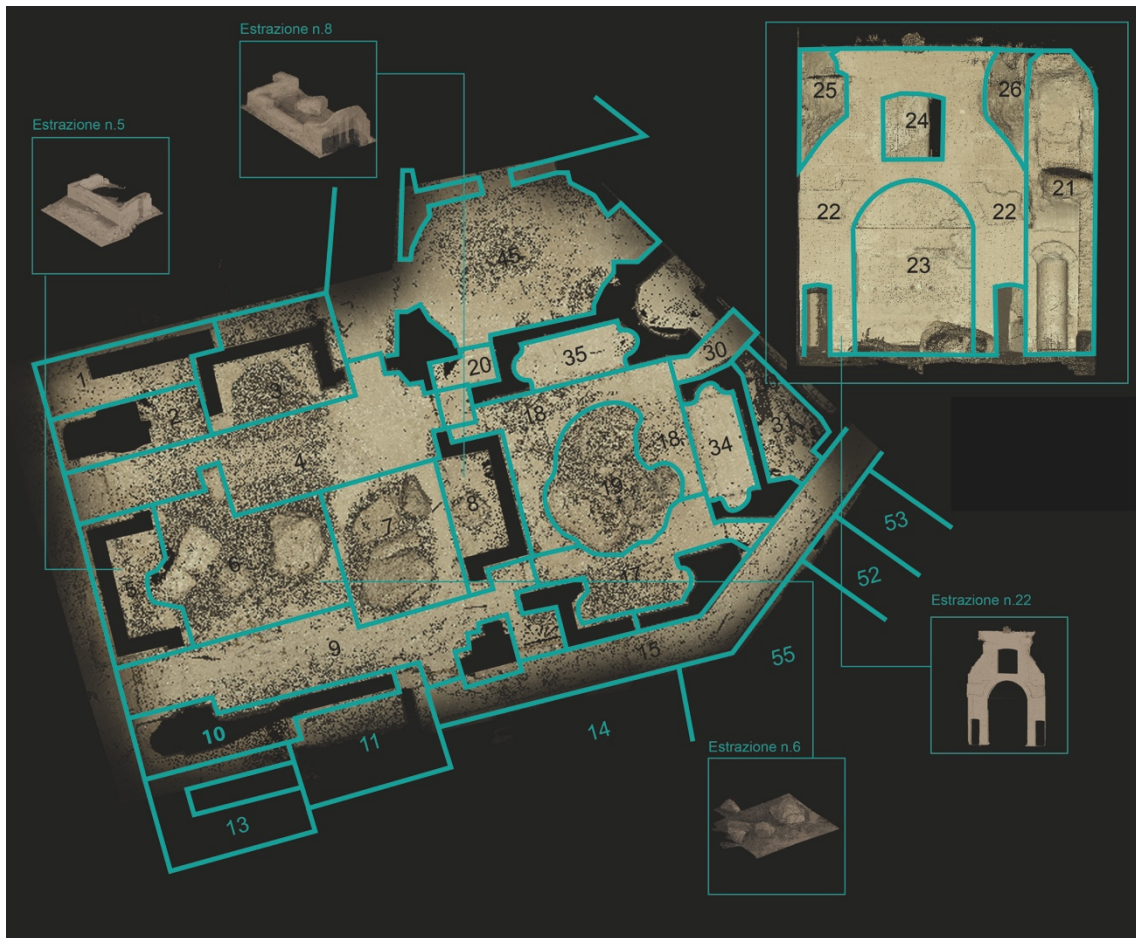


Figura 62: Schemi della divisione della nuvola di punti in singole fence.

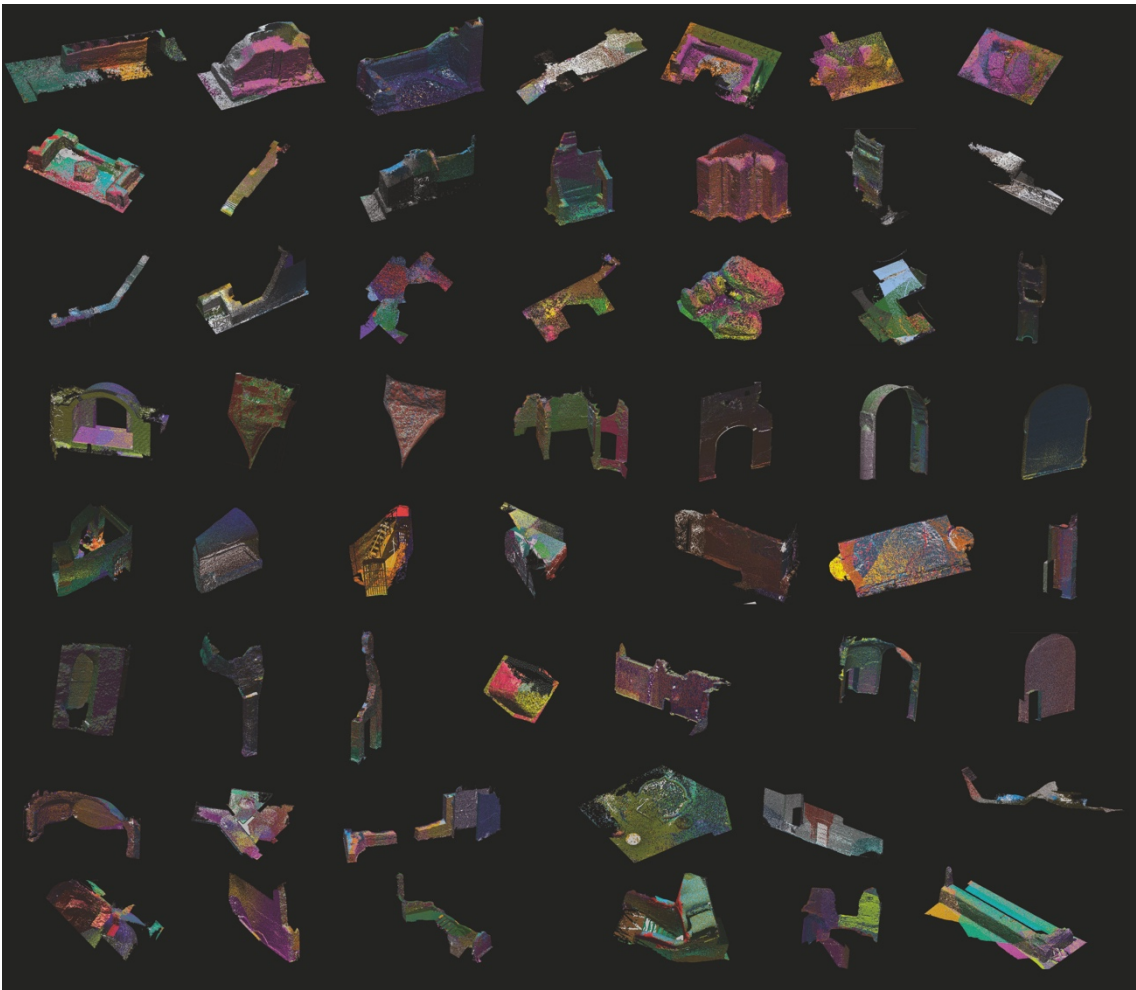


Figura 63: Rappresentazione delle 55 fence in cui è stata divisa la nuvola di punti.

4.2 Elaborazione modello finale mesh

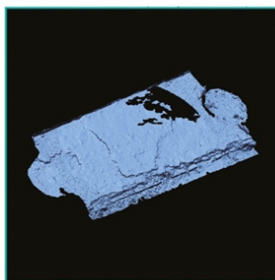
Terminata la suddivisione si può procedere con l'importazione in Geomagic e quindi con la costruzione della superficie delle diverse parti. Nell'importazione il software riconosce i dati provenienti dalle singole scansioni, tenendoli divisi in diversi livelli. Questo rende possibile indagare ancora una volta la precisione dell'allineamento avvenuto in Cyclone e, nel caso di lievi scostamenti, correggere l'errore mediante un nuovo allineamento della scansione errata. Ottenute tutte le mesh ad alta risoluzione, esse vengono riunite in un unico file dal quale poter estrarre, mediante piani di sezione, la base 2D sulla quale poi redigere le sezioni e le piante a noi necessarie per la rappresentazione geometrica del rilievo e per gli studi delle proporzioni che regolano l'architettura delle Biblioteche.

Problematiche

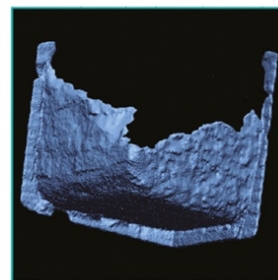
Nonostante l'attento lavoro in fase di allineamento, si sono verificati alcuni errori dovuti all'arco di tempo trascorso tra l'inizio del rilievo e la sua elaborazione. Questi si sono concentrati nella parte di collegamento tra le Biblioteche e i vani retrostanti dove, al momento dell'esportazione, sono emerse scansioni non allineate correttamente ma perfettamente distinguibili da quelle corrette. Data l'entità dello scostamento è stata ritenuta opportuna la loro eliminazione poiché un riallineamento a posteriori avrebbe potuto compromettere la correttezza dei dati restanti. Un'ulteriore problematica riguarda l'ampiezza dell'area indagata che, nonostante la divisione in fence, ha portato alla creazione di file molto pesanti al momento della riunificazione del modello. Per questo motivo si è dovuta mantenere una divisione in tre macro aree del modello ad alta risoluzione, dalle quali sono state estrapolate tre piante parziali da riunire in *Autocad*. È stato possibile ottenere il modello intero solo dopo l'alleggerimento dei file attraverso la decimazione dei poligoni che costituiscono le mesh. Questo modello, seppure meno dettagliato, è stato utile al momento della restituzione grafica degli elaborati.

TABELLA RIASSUNTIVA
DEL NUMERO DI FENCE
UTILIZZATE:

FENCE	PUNTI	MESH
1	1.334.437	2.655.646
2	1.746.606	3.481.757
3	3.958.217	7.900.847
4	1.192.215	2.374.080
5	3.708.997	7.395.027
6	4.477.401	8.911.176
7	5.274.832	10.509.234
8	4.061.960	8.100.137
9	681.095	1.355.035
10	2.901.790	5.784.020
11	5.657.795	11.272.056
12	6.560.275	13.073.124
13	2.245.427	4.469.031
14	1.066.846	2.122.829
15	701.201	1.392.515
16	3.701.462	7.369.745
17	1.656.042	3.287.254
18	1.136.983	2.259.349
19	6.314.515	12.551.565
20	993.034	1.973.120
21	2.019.630	4.018.919
22	2.389.728	4.759.790
23	8.644.177	17.263.708
24	1.131.348	2.247.281
25	1.858.801	3.699.996
26	1.339.345	2.670.907
27	2.651.613	5.266.853
28	2.558.167	3.699.996
29	4.431.154	8.833.688
29	3.423.567	6.832.322
30	10.508.183	20.937.614
30	8.076.318	16.081.045
31	4.577.111	9.113.652
32	3.258.393	6.484.156
33	3.606.303	7.175.457
35	1.405.020	2.794.663
36	897.442	1.788.760
36	2.691.739	5.369.810
37	3.074.831	6.125.543
38	1.190.135	2.369.546
39	1.569.874	3.128.432
40	225.324	448.173
41	301.282	599.278
42	1.027.226	2.039.758
43	958.670	1.908.284
44	689.136	1.365.620
45	631.671	1.255.989
46	467.091	925.841
47	1.938.109	3.854.863
48	2.081.990	4.143.928
49	1.529.525	3.045.717
50	3.957.923	7.892.920
51	3.373.808	6.731.989
52	3.520.650	7.018.090
53	3.520.650	7.018.090
54	3.015.479	6.012.440
55	1.747.437	3.475.021
somma	159.659.980	316.635.686



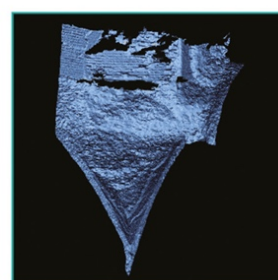
Fence n.35



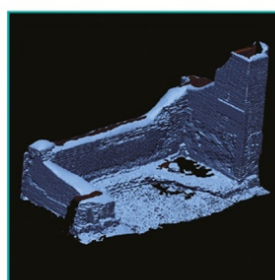
Fence n.40



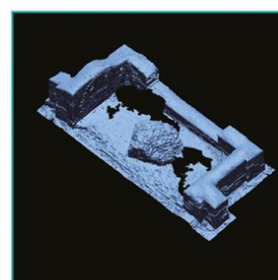
Fence n.28



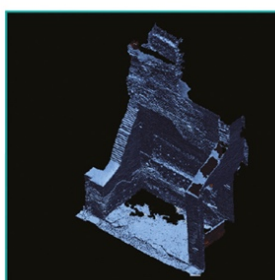
Fence n.25



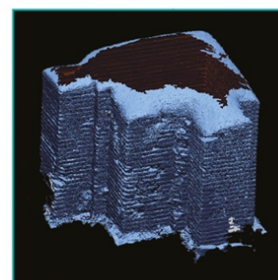
Fence n.3



Fence n.8



Fence n.11



Fence n.12

Figura 64: Esempi di alcune Fence elaborate all'interno del software Geomagic.

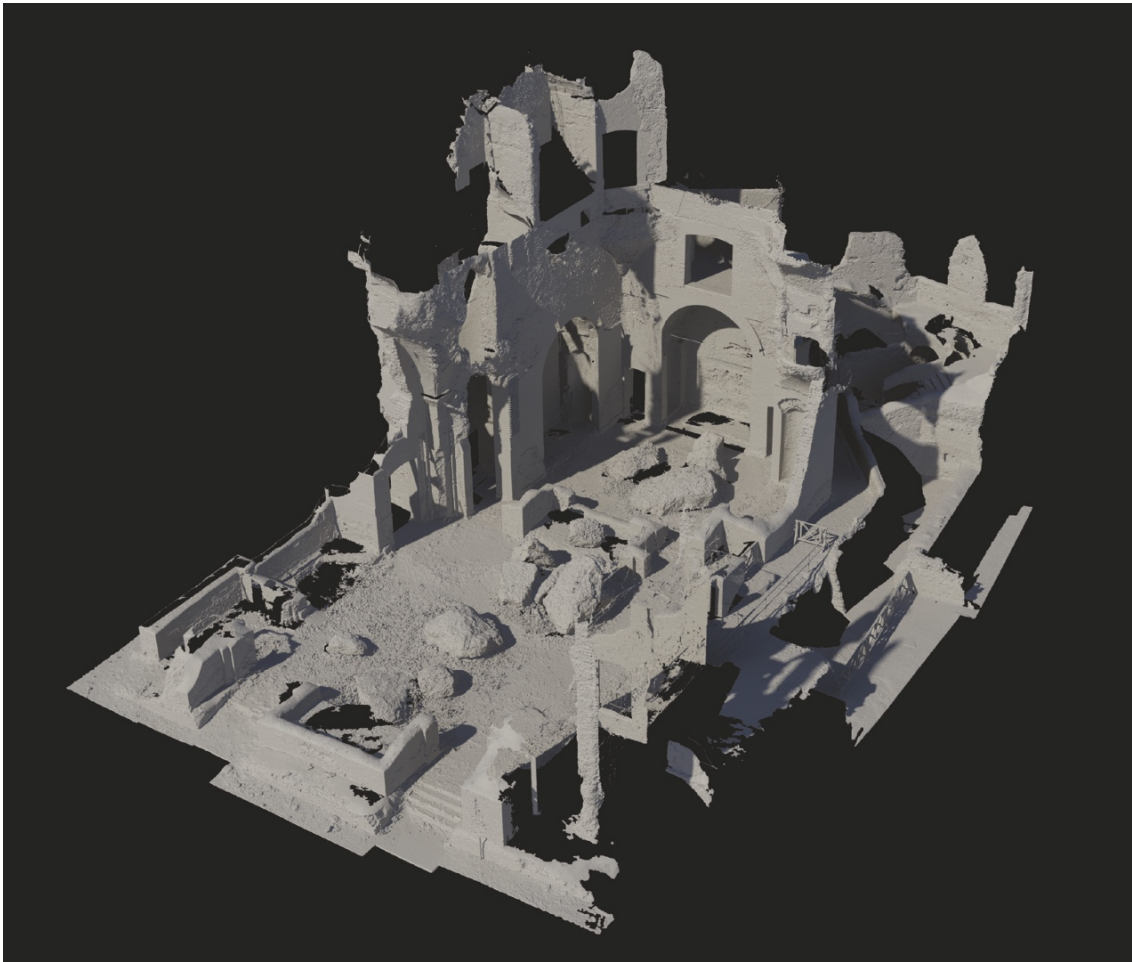


Figura 65: Risultato finale dell'unione delle singole mesh generate su Geomagic in un unico modello mesh.

4.3 Elaborati finali

Una volta conclusa l'elaborazione completa del modello mesh 3D si procede con il rilievo geometrico digitale e successivamente tagliando il modello mesh ed estraendo il profilo 2D delle superficie sezionata. Ciò che si ottiene è ancora ben lontano da un elaborato finale leggibile; esso infatti seppur scientifico nelle misure è mancante di tutti quegli elementi grafici che rendono comprensibile l'architettura: il passaggio su software per il disegno 2D è obbligatorio per poter redigere elaborati completi. Inoltre, è possibile arricchire tali elaborati 2D con la renderizzazione delle parti in vista tramite un software esterno. Per far ciò si procede con l'esportazione del modello di mesh nel formato .obj che permette di comunicare con il software di renderizzazione prescelto, nel nostro caso *3dStudioMax Design*. Concluso il lavoro di ridisegno è possibili iniziare uno studio sulle misure e sulle proporzioni che regolavano lo spazio antico, cercando di comprenderne la natura. *Geomagic* permette, infine, di estrarre dal modello sezioni successive ravvicinate grazie alle quali indagare nel dettaglio le caratteristiche della fabbrica. La parte più interessante da studiare all'interno dell'area delle Biblioteche è certamente inerente alle volte che coprivano questi spazi. Tagliando gli spicchi di volte rimasti integri con sezioni a passo costante è possibile ricavare curve di livello progressive così da poter avanzare alcune ipotesi sulla loro forma originaria.

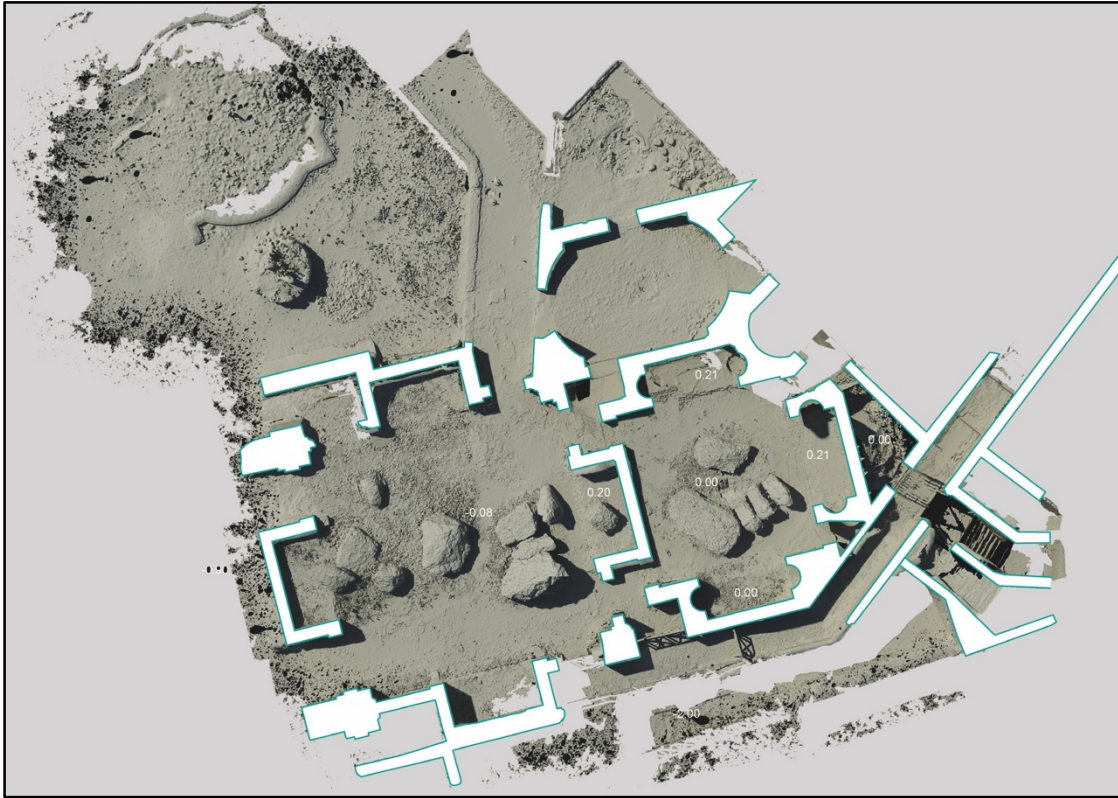


Figura 67: Pianta della Biblioteca Greca di Villa Adriana, sezionata a 30cm di altezza, su base renderizzata tramite 3DStudioMax Design

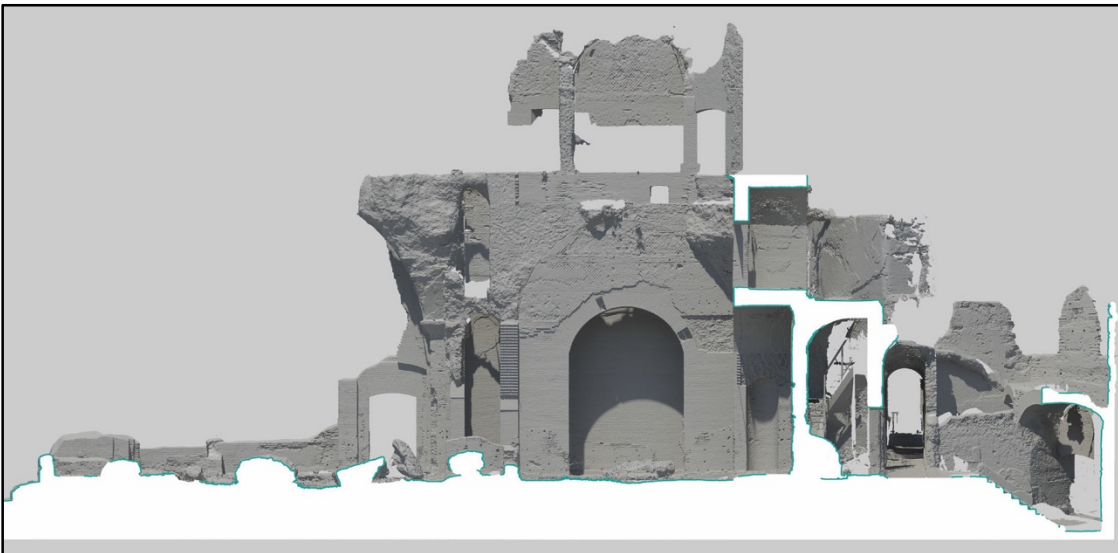


Figura 66: Sezione della Biblioteca Greca di Villa Adriana su base renderizzata tramite 3DStudioMax Design

5 ANALISI METODOLOGICHE E GEOMETRICHE

5.1 Principi progettuali del mondo antico

Al fine di una miglior comprensione degli edifici antichi, di una loro adeguata interpretazione e dell'elaborazione di un valido metodo di analisi, sono fondamentali lo studio e l'acquisizione dei principi progettuali del mondo antico. A tal proposito è doveroso citare Vitruvio²⁵, i cui precetti, presenti nel suo *De Architectura*²⁶, continuano a perdurare nei secoli e hanno via via assunto valore universale. Secondo il trattatista, ciò che permetteva agli antichi di governare l'elaborazione di un progetto e la sua successiva esecuzione era una sequenza di tre passaggi definita "*dispositio*". *Ichnographia*, *orthographia* e *scaenographia* sono i tre elementi che la vanno a comporre.

Per *ichnographia* si intendono la progettazione planimetrica di un edificio, la distribuzione delle funzioni e il dimensionamento degli ambienti.

L'*orthographia* riguarda la progettazione in alzato che, mantenendo una stretta relazione con quella in pianta, ne rispetta le proporzioni e ne è una logica conseguenza.

La *scaenographia* poi, che è l'elemento più ambiguo e dal significato meno chiaro, riguarda l'aspetto tridimensionale e prospettico di un edificio, in particolare si sofferma sull'aspetto percettivo ed ottico e del controllo dell'aspetto finale dello stesso a partire da punti di vista privilegiati.

Altri punti alla base della teoria della costruzione antica derivano dal mondo ellenistico e vengono ripresi anche nel trattato vitruviano; *simmetria*, *eurithmia* e *decor* sono la triade che regola l'aspetto più estetico, prestazionale e organizzativo di edificio e cantiere.

²⁵ Marco Vitruvio Pollione è stato un architetto e scrittore romano, attivo nella seconda metà del I secolo a.C., considerato il più famoso teorico dell'architettura di tutti i tempi.

²⁶ Il trattato *De architettura* di Vitruvio, dedicato ad Augusto, il quale aveva in mente un rinnovamento generale dell'edilizia pubblica, sono 10 libri scritti probabilmente tra il 29 e il 23 a.C. Il trattato è l'unicointegro testo latino di architettura e pertanto il più portante giunto fino ai nostri tempi.

La *simmetria* riguarda la composizione generale dell'edificio, basata su una griglia formata da moduli base derivanti dal sistema antropometrico romano, moduli formati da accorpamenti di un numero ben definito di *pedes* (ecc..) predeterminato da calcoli fatti dall'architetto. Si ottiene così un tracciato di base che facilita il dimensionamento dell'edificio e le proporzioni tra le parti, arrivando all'*eurithmia*. Quest'ultima si pone come scopo il raggiungimento di una composizione armonica tra le parti, sia in pianta che in alzato, trovando un legame tra misure lineari e misure di superficie.

Il *decor* infine, è relativo all'uso di determinate soluzioni architettoniche in riferimento alla funzione dell'edificio di progetto, un esempio è la scelta in base alla quale si utilizza l'ordine dorico, ionico o corinzio. L'acquisizione di queste nozioni, in unione all'analisi dei sistemi di misura dell'epoca e, successivamente, all'utilizzo delle nuove tecnologie e metodi di rilievo, saranno fondamentali nello studio delle architetture prese in considerazione, nel capirne proporzioni, moduli base e relazioni tra le parti.

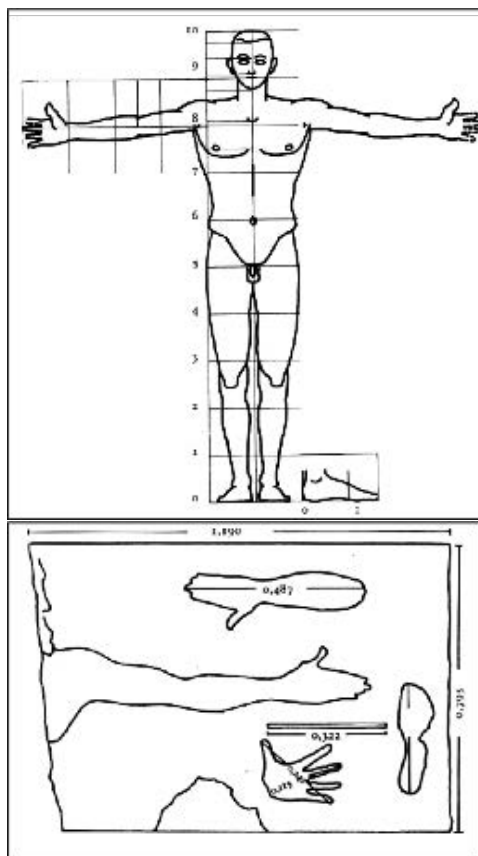


Figure 68: Schemi dei sistemi di misurazione antropometrici antichi.

5.2 Sistemi di misurazione e unità di misura antichi

“Poiché il corpo dell’uomo è così composto per natura che nella testa il volto dal mento alla sommità della fronte e all’inizio inferiore dei capelli costituisce la decima parte, così pure il palmo della mano dal polso all’estremità del dito medio altrettanto [...]. E il piede è la sesta parte dell’altezza dell’uomo”, scriveva Vitruvio nella sua opera *De Architectura*, uno dei due principali trattati dell’antichità riguardanti l’architettura. Il secondo trattato riferito ai sistemi di misurazione in epoca romana era invece il *Corpus Agrimensorum Romanorum*, chiamato anche *Gromatici Veteres*, che riportava le indicazioni e i metodi pratici per la misurazione del territorio. Ogni edificio del passato veniva progettato su una serie di regole base che ancora oggi permangono nei trattati e nei manuali antichi. Le unità di misura delle antiche civiltà erano misure legate alle esigenze della vita quotidiana e si basavano sia sul corpo umano sia sulle attività svolte dall’uomo e dagli animali, ad esempio durante il lavoro nei campi. Per questo motivo non rappresentavano di per sé riferimenti precisi ed univoci e la loro imprecisione risulta compatibile con un contesto che manteneva una congruità d’insieme.

Misure lineari

L’unità di misura lineare utilizzata nell’antica Roma era il piede, e precisamente il *pes porrectus*, dove il termine *porrectus* significa “disteso”, quindi piede di lunghezza, pari a 0,296m. Questa unità di misura si divide su base duodecimale di origine italica e su base greca. Il *palmus maior* (spanna) corrisponde alla distanza tra il mignolo e il pollice della mano aperta, mentre il *palmus minor* alla larghezza del palmo della mano; il *pollex* (o uncia) corrisponde invece alla larghezza del pollice, mentre il *digitus* a quella di un dito.

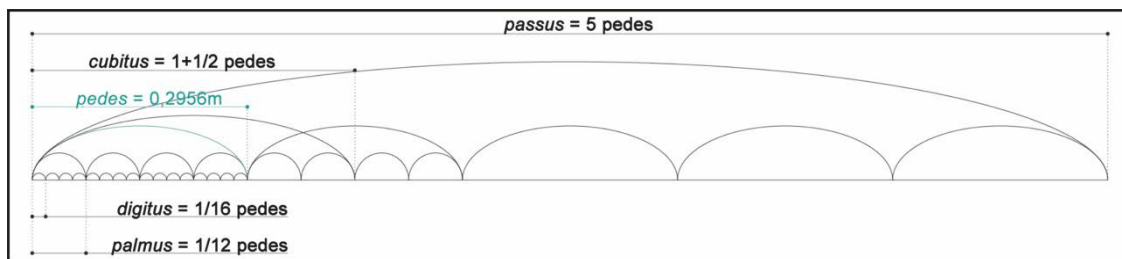


Figura 69: Schema di proporzioni tra misure lineari.

Le misure lineari riportate nella prima tabella possono ritenersi in relazione a misure statiche, perché ricavate da parti del corpo umano e utilizzate per misurare solitamente manufatti immobili. Quelle comprese nella seconda tabella sono invece correlate ai movimenti dell'uomo, per questo motivo possono essere intese come dimensioni dinamiche, che misurano distanze percorribili.

Misure di superficie

Il *pes* era l'unità base fondamentale non solo per le misurazioni lineari: la principale unità di misura di superficie era il *pes quadratus* (anche *constratus*), di dimensioni pari a 0,0875 mq. Accanto all'*actus quadratus* (120x120 piedi) venivano utilizzati l'*actus minimus* (120x4 piedi) e l'*actus duplicatus* (= *iugerum*, 240x210 piedi).

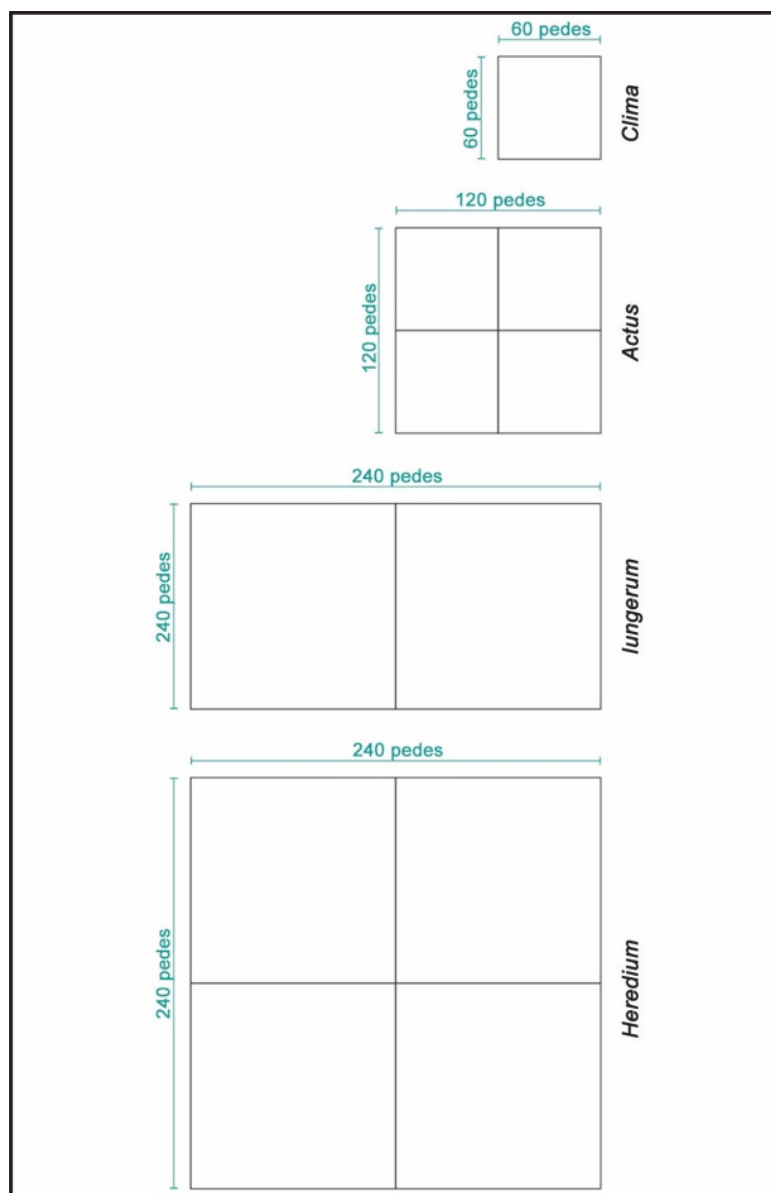


Figura 70: Schema di proporzioni tra misure di superficie.

Tabelle riassunte sulle unità di misure lineari e di superficie:

Piede e suoi sottomultipli secondo la divisione greca						
	<i>Palmus maior</i>	<i>Palmus minor</i>	<i>Pollices</i>	<i>Digiti</i>	<i>m</i>	<i>mm</i>
<i>Pes porrectus</i>	11/3	4	12	16	0,296	295,81
<i>Palmus maior</i>		3	9	12	0,221	221,85
<i>Palmus minor</i>			3	4	0,073	73,95
<i>Pollex o uncia</i>				11/2	0,024	24,65
<i>Digitus</i>					0,018	18,49

Piede e suoi multipli							
	<i>Actus</i>	<i>Pertica</i>	<i>Passus</i>	<i>Gradus</i>	<i>Cubiti</i>	<i>Pedes</i>	<i>m</i>
<i>Miliarium</i>	41 2/3	500	1.000	2.000	3.333 1/3	5.000	1.478,9
<i>Actus</i>		12	24	48	80	120	35,4
<i>Pertica</i>			2	4	6 2/3	10	2,958
<i>Passus</i>				2	3 1/3	5	1,479
<i>Gradus</i>					11 1/2	2 1/2	0,739
<i>Cubitus</i>						1 1/2	0,443
<i>Pes</i>							0,296

Misure di superficie							
	<i>Centuriae</i>	<i>Heredia</i>	<i>Iugera</i>	<i>Actus quadratus</i>	<i>Scripula</i>	<i>Pedes quadrati</i>	<i>mq</i>
<i>Saltus</i>	4	400	800	1.600	290.000	23.040.000	201.600
<i>Centuria</i>		100	200	400	57.000	5.760.000	50.364
<i>Heredium</i>			2	4	576	57.000	5.040
<i>Iugerum</i>				2	288	28.000	2.520,6
<i>Actus quadratus</i>					144	14.000	1.259,45
<i>Scripulum</i>						100	8,75
<i>Pes</i>							0,0875

5.3 Materiali da costruzione nell'antica Roma

Accanto alle unità di misura si apre l'argomento relativo alle tecniche costruttive utilizzate nell'edilizia antica. Come scrive C. F. Giuliani ne *“L'edilizia nell'antichità”*, Roma, 2018: «L'alta qualità delle murature romane è spesso stata attribuita a particolari segreti di confezione. Nella realtà è più logico pensare che il vero segreto sia stato la cura nella scelta e nella combinazione dei materiali, nel loro giusto dosaggio, nella stagionatura, nell'accorta scelta dei tempi di costruzione ecc.».

La tecnica costruttiva che più di tutte contribuì a portare l'architettura Romana all'apice dello sviluppo fu l'*opus caementicium*, che rientra nella muratura ordinaria di pietrame naturale a pezzatura irregolare. Il nome deriva dai *caementa* (da cadere, tagliare, spezzare), ovvero i frammenti di pietra uniti alla malta a formare un impasto.

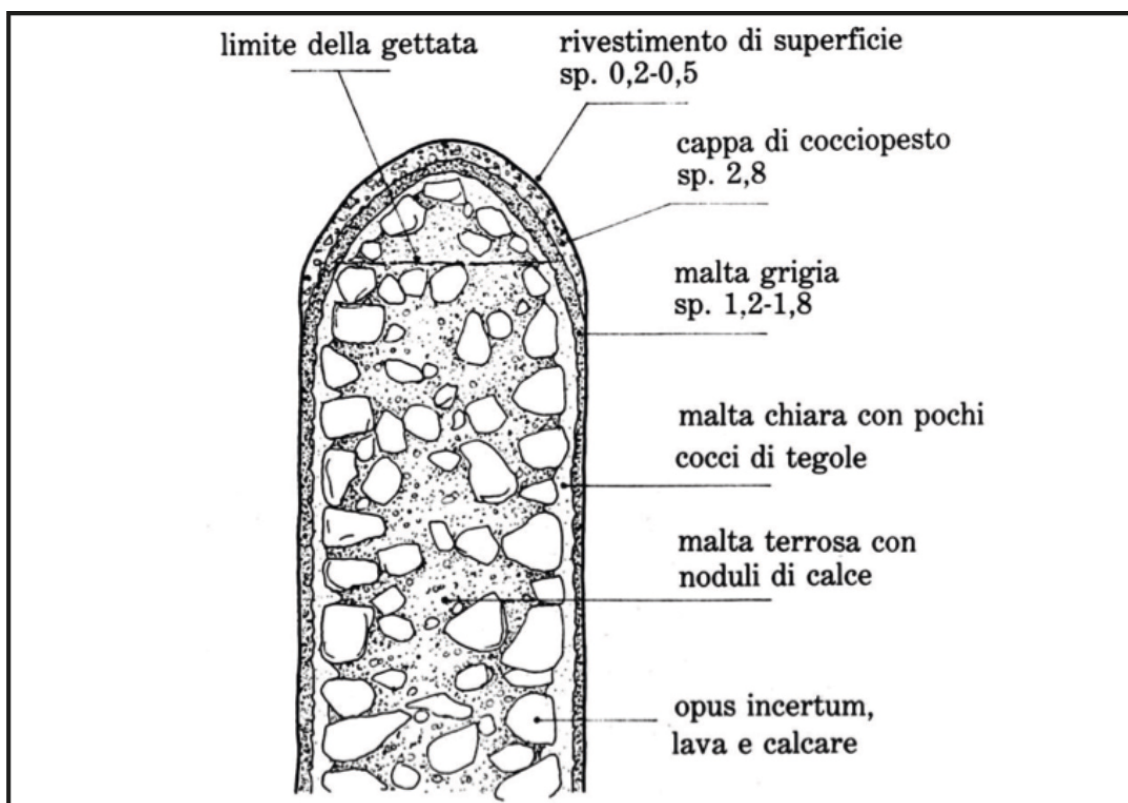


Figura 71: Schema degli elementi costituenti l'*opus caementicium*.

Vitruvio ne descrive la composizione: «*structura ex caementis calce et harena* (v, 12, 5); *genus pulveris [pozzolana] mixtum cum calce et caemento.*» L'impasto da solo era utilizzato solitamente nelle fondazioni, perché più pesante rispetto a quello utilizzato nelle volte, ma di regola è stato anche adoperato come nucleo interno dei muri. Molte sostruzioni dell'area settentrionale di Villa Adriana presentano una muratura in cui la cortina è composta dello stesso pietrame del nucleo, ma scelto e allettato con maggior cura.

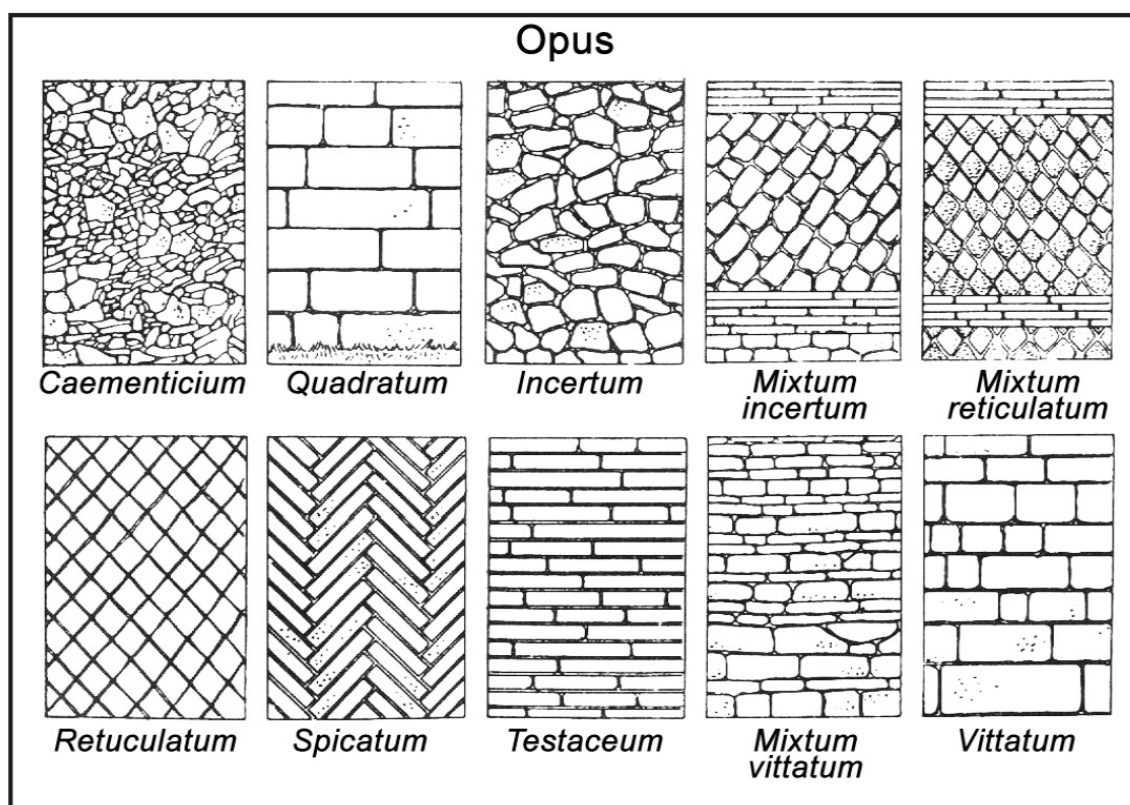


Figura 72: Schema dei diversi tipi di opus romani.

Per “*calce et harena*” si intende un impasto di più elementi, in questo caso calce e sabbia, indicato con il termine “malta”. La malta di terra fu abbastanza utilizzata nell’antichità. Inglobate nella Villa Adriana si trovano ancora dei labili resti di murature con legante di terra. La pozzolana, detta anche “*pulvis puteolanus*”, è un prodotto di deiezione vulcanica in forma di lapillo minuto. Originariamente il termine indicava esattamente il prodotto proveniente dall’area di Pozzuoli e Vitruvio la descrive come arena fossile di colore nero

o rosso. Si tratta di un materiale ad alto contenuto di silicio che garantisce elevate prestazioni. A differenza della sabbia comune, infatti, può essere impiegato in acqua perché in grado di solidificarsi. Altre caratteristiche positive sono che richiede una minore quantità di calce e risulta più economico rispetto ad altri materiali. Per la sua resistenza e leggerezza cominciò ad essere impiegato sempre più spesso nella costruzione delle volte, favorendo la diffusione di nuovi sistemi costruttivi dal carattere innovativo e flessibile.²⁷



Figura 73: Struttura muraria della Biblioteca Greca di Villa Adriana.

²⁷ John B. Ward-Perkins, *Architettura Romana*, 1974



Figura 74: Struttura muraria della Biblioteca Greca di Villa Adriana.



Figura 75: Struttura muraria della Biblioteca Greca di Villa Adriana.

5.4 Ichnographia

Dalle piante, ottenute tramite Geomagic sezionando il modello mesh completo, e dalla loro rielaborazione che ha portato ad avere una descrizione fedele dello stato attuale della Biblioteca Greca, è stato possibile condurre uno studio geometrico e compositivo su quest'ultima riscontrando nelle proporzioni del disegno valori consoni sia al sistema di progettazione che al sistema di misurazione utilizzato nell'antica Roma, come si può notare negli schemi a lato. Lo studio, mirato alla ricerca dei principi regolatori generatori di questo spazio, si è concentrato sui due vani che costituiscono la Biblioteca: un vano maggiore aperto con due ingressi verso il giardino e uno minore più in prossimità del Teatro Marittimo. Entrambi i vani si basano su una griglia che ha per modulo base la misura di un passus semplice (0,74cm) e si basano su un quadrato di 45 pedes (18 passus). Lo spazio centrale della sala maggiore coincide proprio con questo quadrato, intorno al quale si aprono quattro

nicchie, una per lato, la cui profondità è definita dalla circonferenza circoscritta al quadrato stesso (tre passus semplici o anche cinque cubiti). I pilasti su cui si imposta la volta che copre questo spazio definiscono un quadrato più piccolo rispetto al precedente che misura 42 pedes. Andando a studiare anche la circonferenza inscritta a tale quadrato è emerso che, oltre a regolare la composizione dello spazio in alzato, come vedremo nel

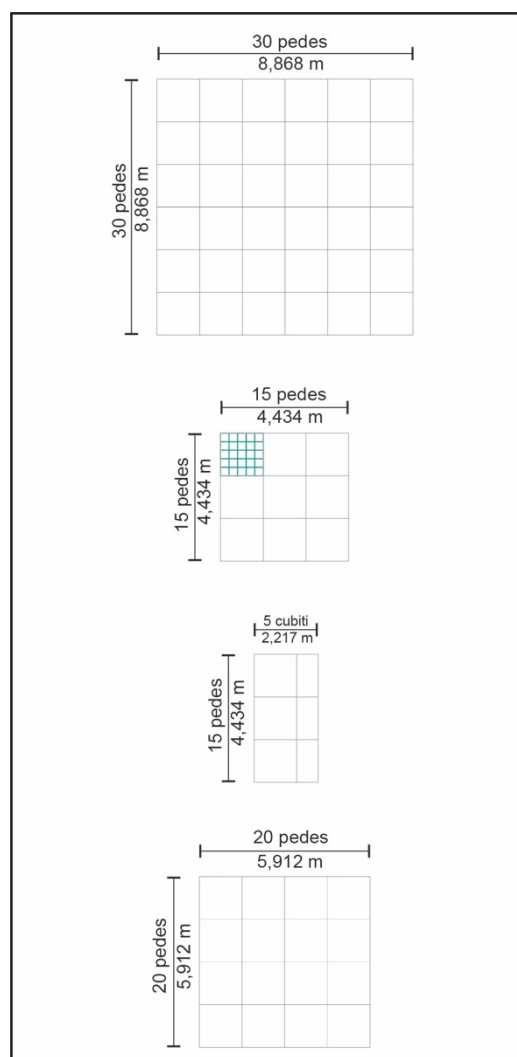


Figura 76: Schemi degli studi metrologici e geometrici riguardanti le proporzioni in pianta della Biblioteca Greca di Villa Adriana.

prossimo capitolo, essa è anche generatrice in pianta dello spazio della sala minore: coincide infatti con l'ampiezza delle nicchie, mentre lo spazio centrale è descritto dal quadrato di lato 30 pedes, inscritto in tale circonferenza.

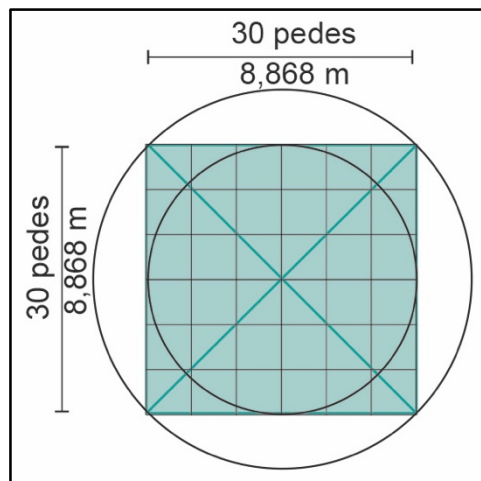


Figura 77: Schema dello studio metrologico e geometrico delle proporzioni della sala minore principale della Biblioteca Greca di Villa Adriana.

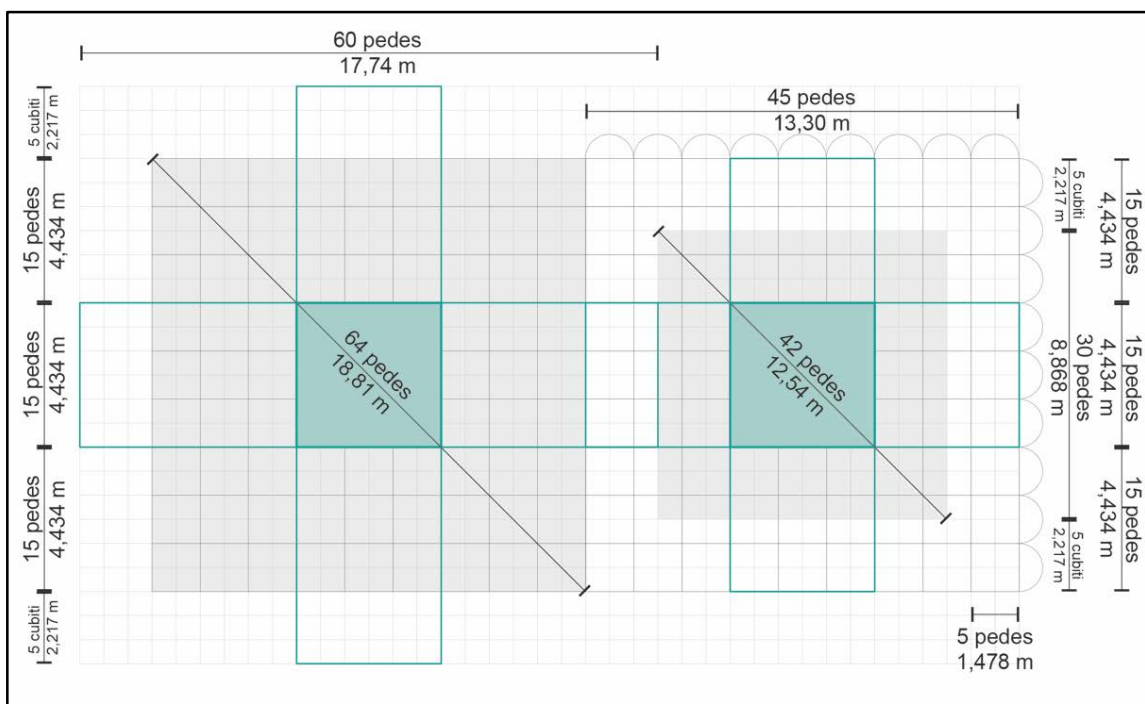


Figura 78: Schemi degli studi metrologici e geometrici riguardanti le proporzioni in pianta della Biblioteca Greca di Villa Adriana.

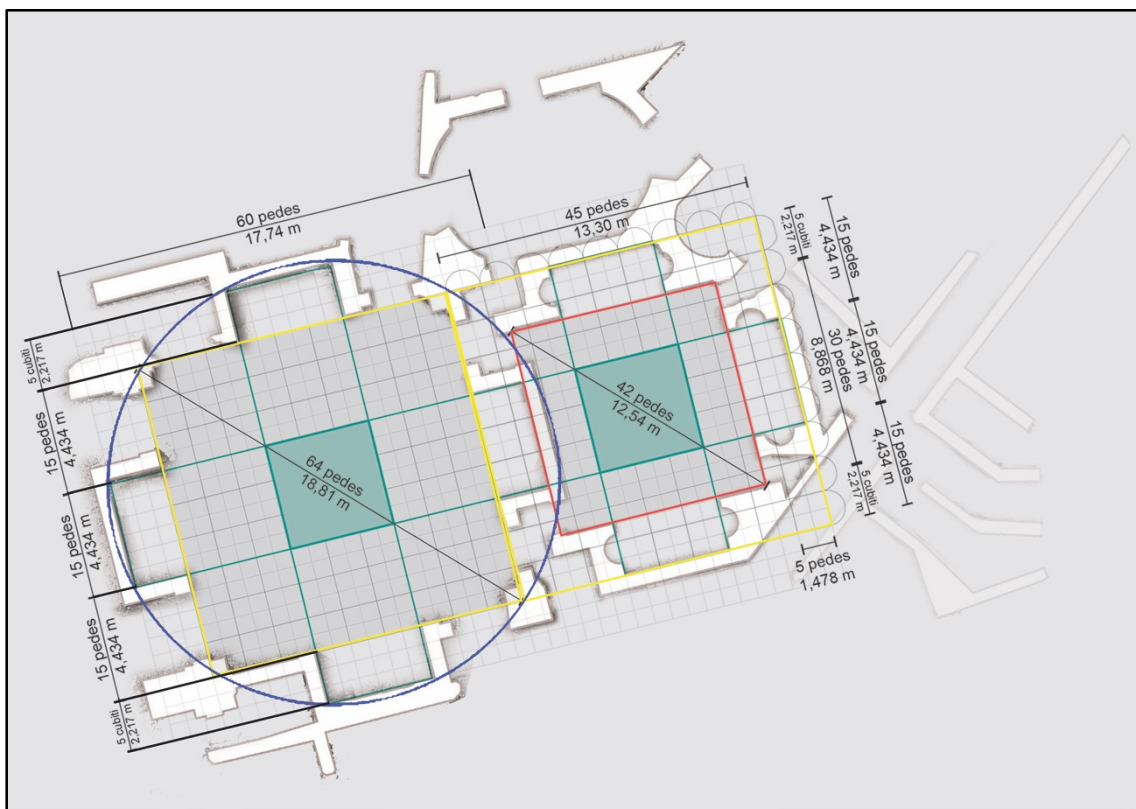


Figura 79: Schemi degli studi metrologici e geometrici riguardanti le proporzioni, sovrapposti alla pianta della Biblioteca Greca di Villa Adriana.

5.5 Orthographia

I risultati derivanti dall'analisi metrologico-geometrica delle sezioni della Biblioteca Greca sono la riprova della veridicità delle teorie sui principi costruttivi dell'antica Roma che sostenevano un forte rapporto tra la progettazione in pianta (ichnographia) e quella in alzato (orthographia); quest'ultima vista come logica conseguenza delle proporzioni studiate in planimetria. La sezione della Biblioteca è, appunto, strettamente legata alle misure e geometrie sulle quali è basata la pianta, quasi come se fosse generata direttamente da queste. Le coperture di entrambi gli spazi sono dimensionate in base alla circonferenza inscritta del quadrato di 42 *pedes* che genera la pianta. Avendo queste la stessa circonferenza di partenza, si potrebbe pensare, erroneamente, che avessero la stessa soluzione di copertura; invece, nonostante il punto di partenza fosse lo stesso si vede che, come emerso nello studio delle sezioni progressive a passo costante fatto sugli spicchi di volta conservati, le coperture che si generano sono di natura diversa una dall'altra. Questo conferma l'amore di Adriano per la sperimentazione di soluzioni architettoniche per gli spazi voltati particolari, diversificate ed innovative.

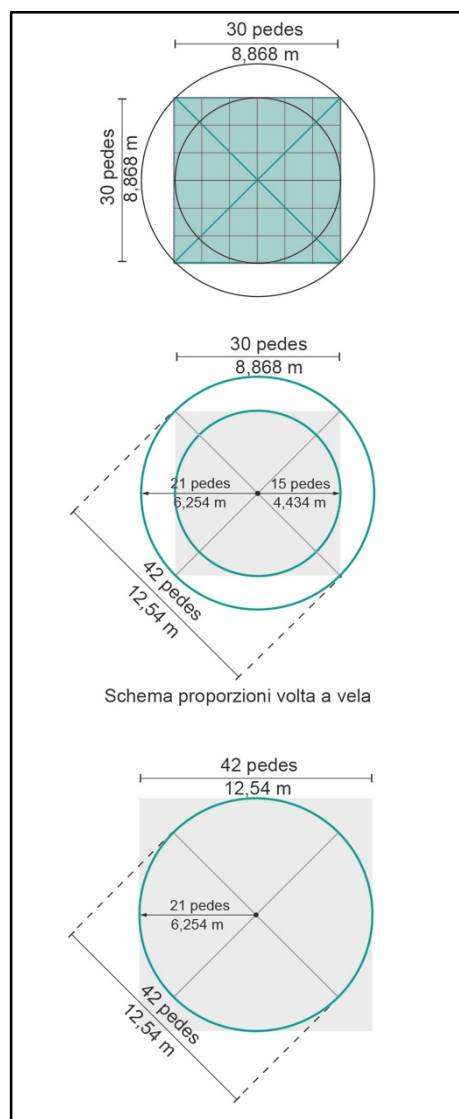


Figura 80: Studi metrologici e geometrici delle proporzioni in alzato e delle volte della Biblioteca Greca di Villa Adriana.

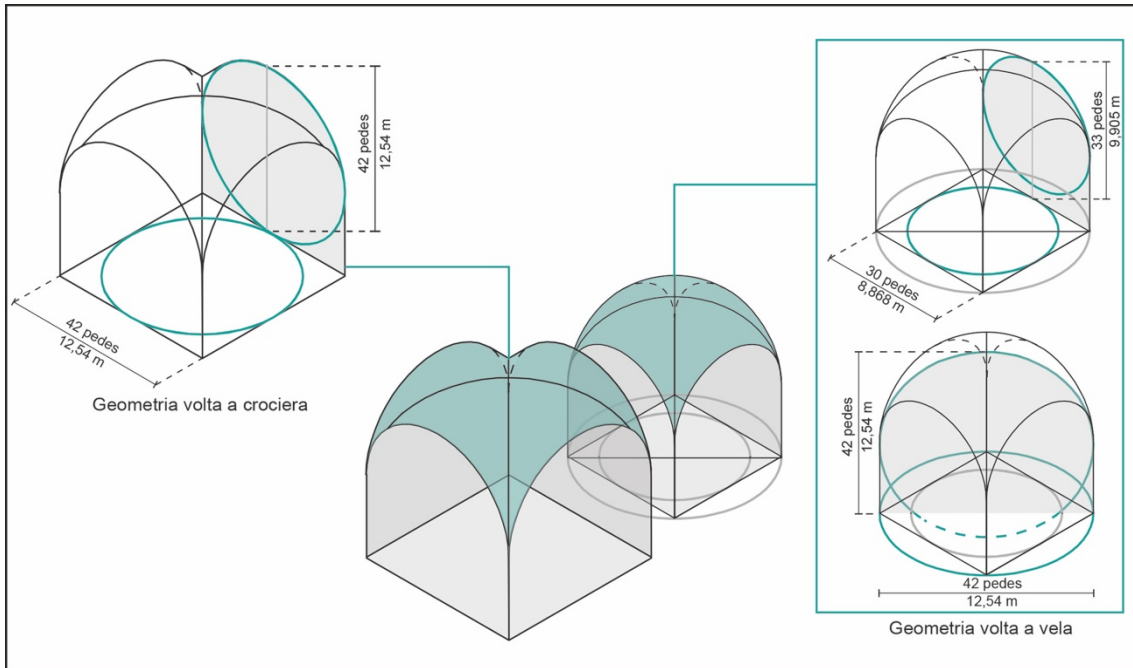


Figura 81: Studi metrologici e geometrici delle proporzioni in alzato e delle volte della Biblioteca Greca di Villa Adriana.

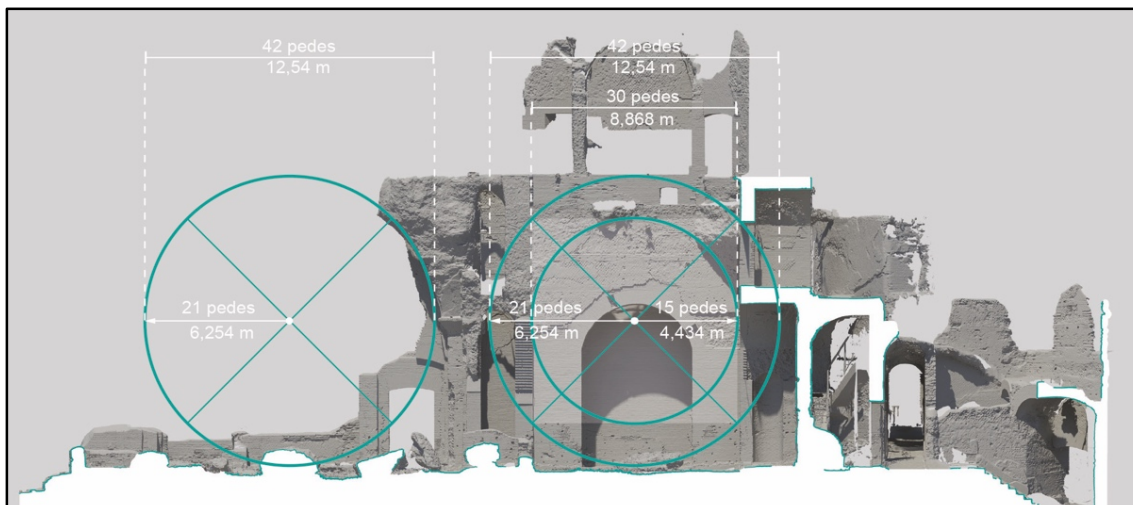


Figura 82: Studi metrologici e geometrici delle proporzioni in alzato e delle volte della Biblioteca Greca di Villa Adriana, sovrapposti alla sezione renderizzata dello stato di fatto.

5.6 Studio delle volte tramite sezioni a passo costante e best fitting

Grazie al modello 3D costruito a partire dal rilievo laser, successivamente trasformato in modello di superfici mesh, è stato possibile studiare, mediante delle sezioni progressive a passo costante, l'andamento degli spicchi delle volte e indagarne la geometria originaria. Per studiare la natura delle coperture si sono svolti due tipi di analisi: la prima riguardante la forma dei frammenti di volta rimasti, sezionando ogni 15 cm la porzione di muratura conservata; la seconda focalizzata sul ricavare, tramite il modello mesh realizzato con il supporto dei software *Geomagic e Rhinoceros*, le circonferenze di *best fitting* cioè quelle che più si avvicinano alle geometrie originali. Incrociando i dati ottenuti



Figura 83: Pianta della Biblioteca Greca di Villa Adriana sovrapposta alla base con sezioni a passo costante.

dalle due indagini è stato verificato che lo spicchio di volta conservatosi nel vano maggiore, nel lato di congiunzione con gli spazi retrostanti, appartiene a una volta a crociera e coincide con una circonferenza con diametro pari a 42 *pedes*, proprio come quella che caratterizza la pianta. Nel vano retrostante invece gli spicchi conservati sono due: in questo caso la curva di *best fitting* misura 30 *pedes* e per un'altezza di 33 *pedes*. Gli spicchi analizzati mediante le sezioni progressive a passo costante suggeriscono però una geometria diversa dalla crociera, essa ricorda di più una volta a vela. Indagandone la curva di *best fitting* diagonale si è visto come essa sia costruita a partire

da una sfera di diametro di 42 *pedes*. Abbiamo quindi ipotizzato che le due volte, pur avendo geometrie diverse, potessero essere state proporzionate usando la stessa geometria di base che si ritrova anche in pianta. Le stesse misure ricorrenti in pianta ed alzato, e la presenza di maglie modulari, confermano la teoria vitruviana secondo cui uno dei principi fondamentali dell'architettura antica fosse la *simmetria* volta al raggiungimento dell'*eurithmia*: composizione armonica e proporzionata dell'edificio in tutte le sue parti.

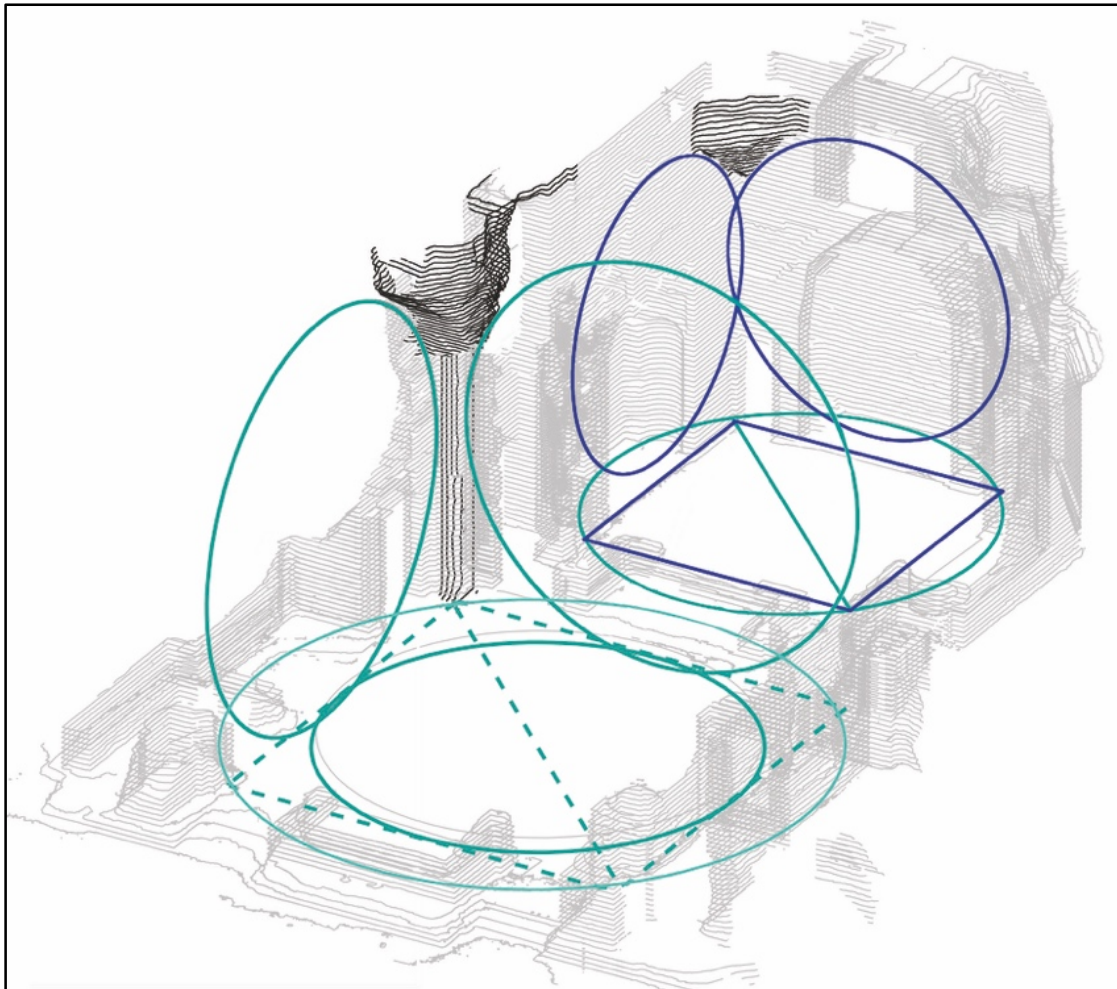


Figura 84: Studi metrologici e geometrici delle proporzioni in alzato e delle volte della Biblioteca Greca di Villa Adriana.

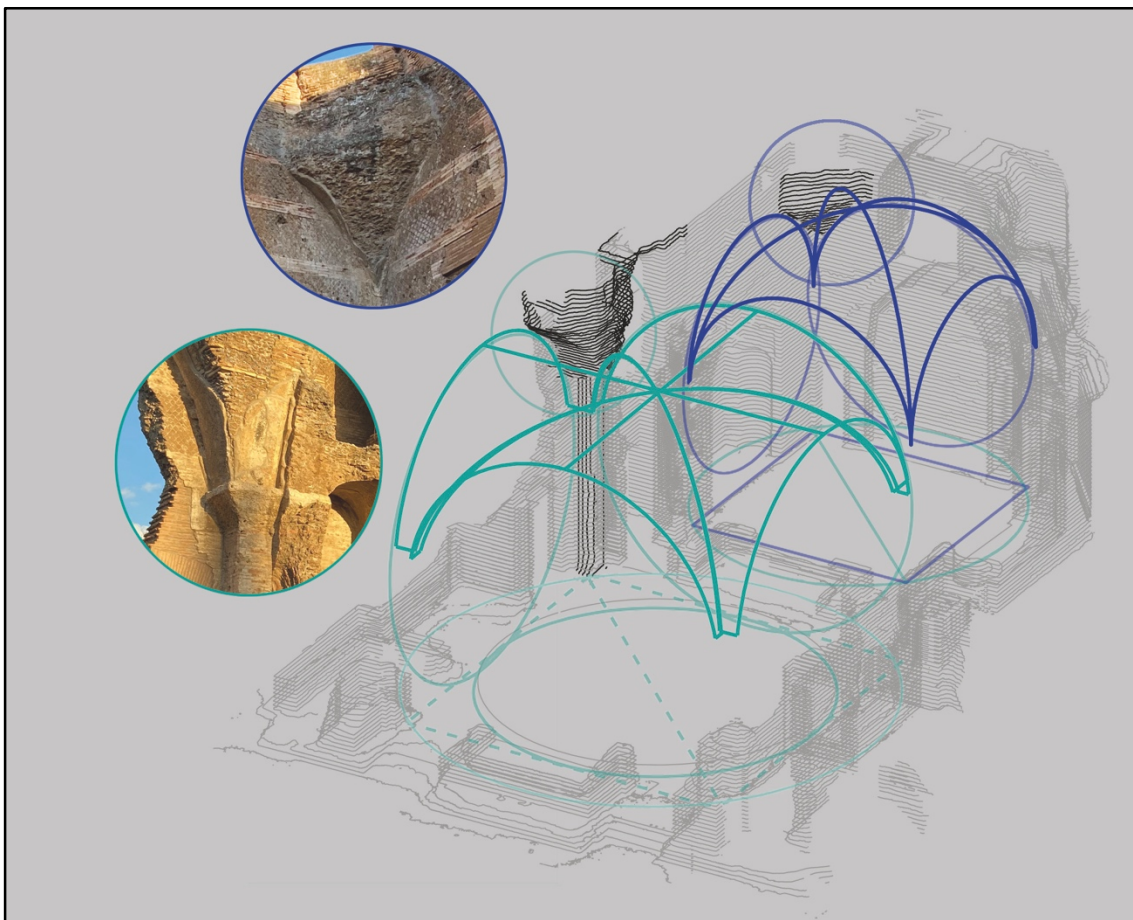


Figura 85: Studi metrologici e geometrici delle proporzioni in alzato e delle volte della Biblioteca Greca di Villa Adriana.

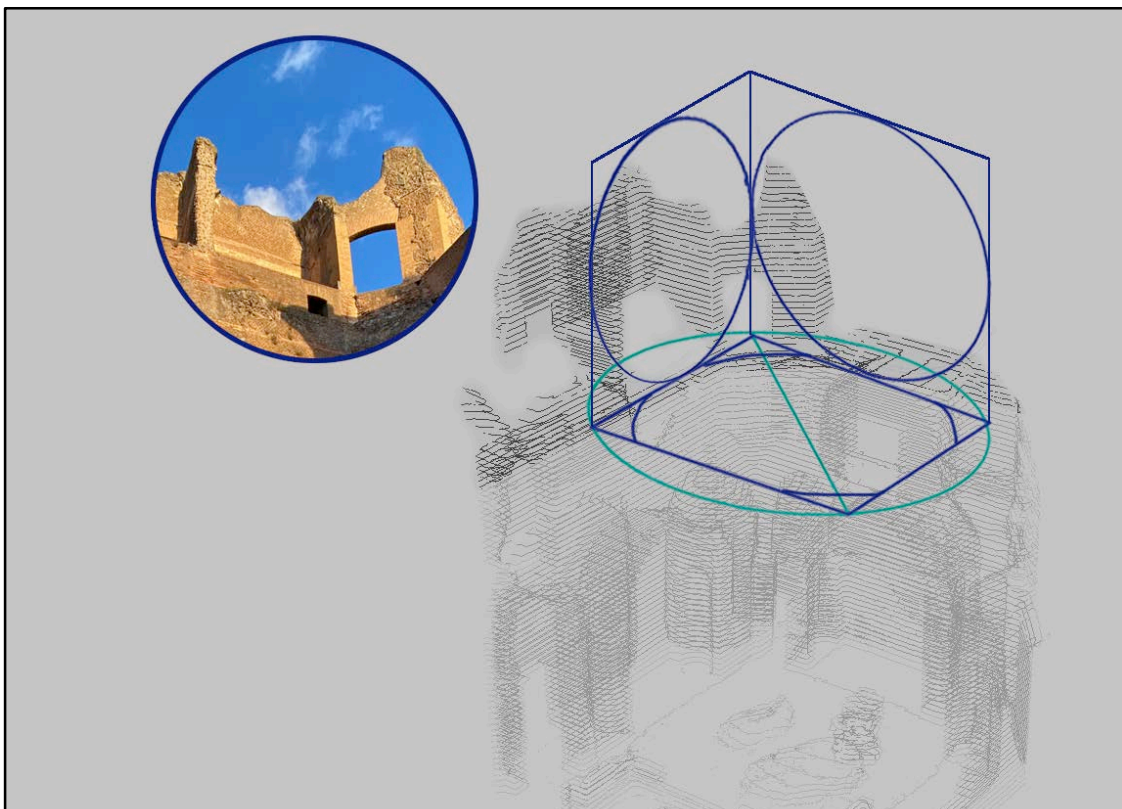


Figura 86: Studi metrologici e geometrici delle proporzioni in alzato della volta del piano superiore della Biblioteca Greca di Villa Adriana.

6 IPOTESI DI RICOSTRUZIONE

Ipotesi passate: da Pirro Ligorio²⁸ ai Pensionnaires francesi Villa Adriana è fin dai tempi passati, meta di artisti e turisti che in presenza dei suoi resti archeologici elaborano schizzi, piante e ipotesi di ricostruzione. Dopo il suo “riconoscimento” quattrocentesco, passando per l’epoca del *Grand Tour*²⁹, fino ad arrivare ai giorni nostri sono stati effettuati molteplici studi, alcuni basati più su un vagheggiamento intellettuale e un’interpretazione personale delle rovine, altri invece su analisi attente e dirette.

Il primo a dare la sua interpretazione della Villa fu Pirro Ligorio che, nel 1549, ne pubblicò una veduta ricostruttiva a volo d’uccello che avrebbe influenzato poi gli studi dei due secoli successivi. Quest’ultima venne copiata in una pittura murale da G. Calderoni³⁰ e successivamente, nel 1657, da S. Stracha in un foglio 26x53 cm.



Figura 87: Veduta di Villa Adriana, Sigismondo Stracha.

²⁸ Pirro Ligorio (1513-1583) è stato un architetto, pittore e antiquario italiano.

²⁹ Il Grand Tour era una lunga missione dell’Europa continentale intrapresa dai ricchi dell’aristocrazia europea a partire dal XVII sec. e destinato a perfezionare il loro sapere con partenza e arrivo in una medesima città. L’Italia con le sue eredità della Roma antica, con i suoi monumenti, divenne uno dei posti più popolari da visitare.

³⁰ Giulio Calderoni è stato un pittore italiano

Subentrò nel 1632 Francesco Contini³¹ che, coinvolto dal cardinale F. Barberini, pubblicò nel 1668 una nuova pianta della Villa basandosi sui dati presenti nella planimetria di Ligorio. Quest'ultima però venne interpretata male in alcune sue parti e ciò provocò la presenza di errori nell'elaborato più recente. È doveroso poi citare Giovanni Battista Piranesi, grande studioso di Villa Adriana che, da giovanissimo (1751), pubblicò la sua pianta delle “*parlanti ruine*” (*cit.*).

Dal 1700 in Europa si diffuse il *Grand Tour* che aveva Roma come tappa immancabile. In Francia questo venne istituzionalizzato con il *Grand Prix de Rome* grazie al quale architetti, scultori, pittori ecc. giungevano nella città per apprezzarne i monumenti ed imparare da essi. In particolare si deve far riferimento agli ospiti dell'*Ecole Nationale Supérieure des Beaux-Arts* presso Villa Medici a Roma. I cosiddetti *pensionnaires* lavorarono per circa mezzo secolo sulle rovine di Villa Adriana in modo organizzato scientificamente al fine di una metodologica ricerca della verità in alternativa alla visione poetico-drammatica di Piranesi e a quella più caratteristica dei pittori paesaggisti. Essi erano sottoposti ad una rigorosa disciplina di approccio ai monumenti divisa in tre passaggi: il rilievo o documentazione,

l'interpretazione e la ricostruzione. I rilievi eseguiti sono analitici: in certi casi riproducono con rigore fotografico ogni dettaglio del monumento, arrivando a costituire testimonianza storica del suo stato; in altri vengono riprodotti

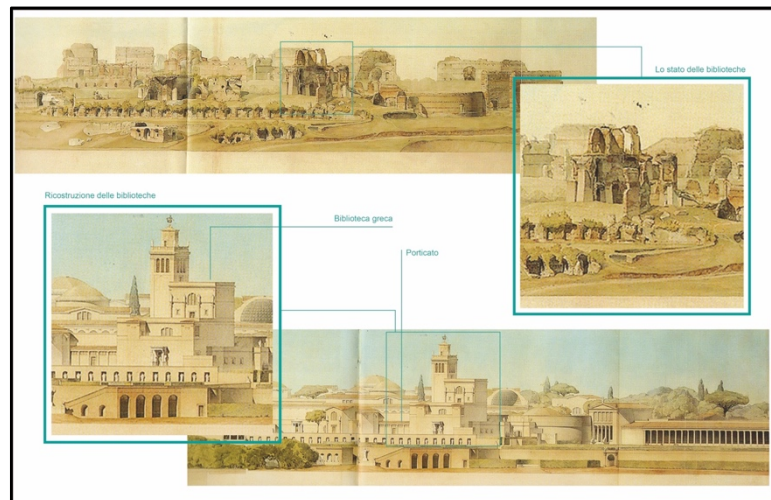


Figura 88: Sezione territoriale dello stato di fatto di Villa Adriana e proposta ricostruttiva, Charles Louis Boussois *pensionnaires*.

³¹ Francesco Contini (1599-1669) è stato un architetto e pittore italiano.

solo i caratteri originari e in altri ancora si tiene conto degli scavi archeologici in corso o si sofferma l'attenzione su aspetti decorativi e pavimenti. Per quanto riguarda, invece, le ipotesi di ricostruzione, è sicuramente da citare Charles Louis Boussois, ultimo *pensionnaire* a lavorare sulla Villa tra il 1909 e il 1913. Egli realizzò una planimetria dello stato di fatto, arrivando finalmente alla correzione degli errori presenti negli elaborati precedenti, e si dedicò al disegno di una vista tridimensionale assonometrica a volo d'uccello dell'intero complesso. Quest'ultima è un'innovazione rispetto alle viste precedenti poiché si relaziona sia con la planimetria dello stato di fatto che con quella della ricostruzione.

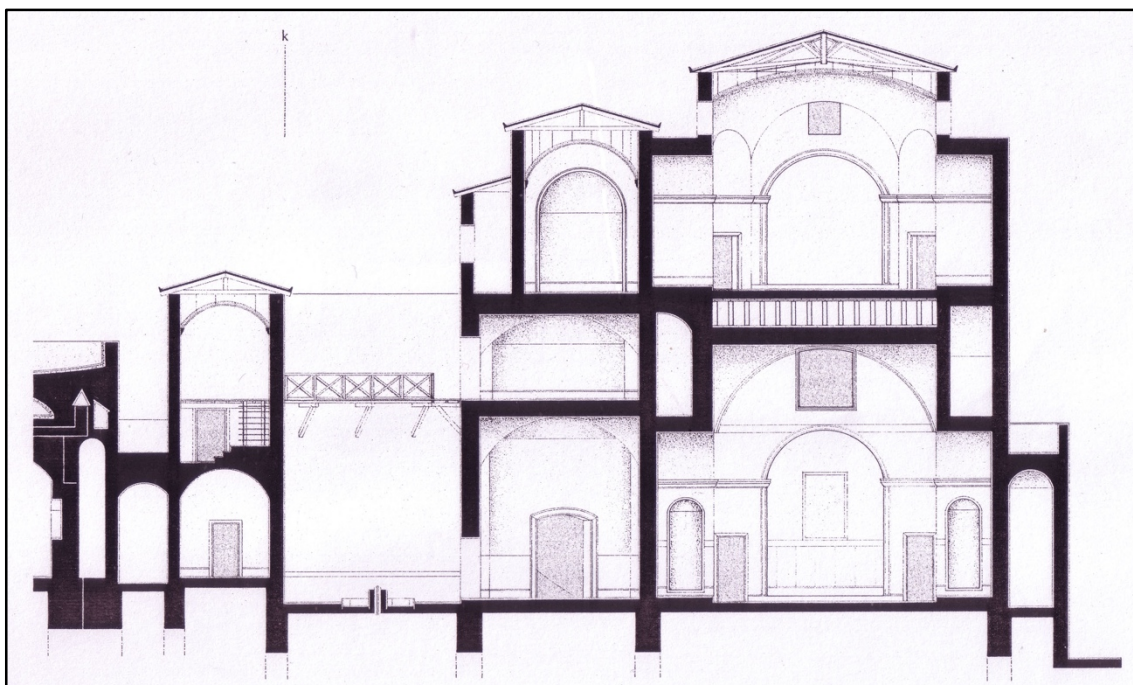


Figura 89: Ipotesi recente di sezione della Biblioteca Graeca di Villa Adriana di KLeibrink (architetto tedesco).

6.1 Ipotesi ricostruttiva attuale della Biblioteca Greca

Il passo successivo agli studi delle proporzioni, delle geometrie e dei principi costruttivi alla base del complesso della Biblioteca, è sicuramente quello di provare ad ipotizzarne la ricostruzione delle geometrie originarie e cercare di capirne la disposizione degli ambienti e la loro distribuzione. Secondo gli studi effettuati, la Biblioteca Greca farebbe parte di un più ampio sistema di connessioni, questa infatti sarebbe collegata direttamente al Teatro Marittimo per mezzo di una scala e alla Biblioteca Latina per mezzo del porticato del cortile delle biblioteche.

Composto da tre piani, il complesso sarebbe caratterizzato da una distribuzione verticale tramite una scala che, a partire dal Teatro Marittimo, porterebbe ai piani superiori dove si troverebbero, al primo piano la stanza privata dell'imperatore Adriano, isolata da tutti gli altri ambienti con accesso privato da una stanza nascosta sul retro, e un corridoio di servizio circumnavigante lo spazio voltato, mentre al secondo piano, probabilmente piano nobile riscaldato tramite *ipocausto*, un ambiente a pianta ottagonale.

Una delle caratteristiche più sorprendenti di questo edificio, secondo le analisi effettuate, sarebbe la presenza di un differente tipo di volta per ogni ambiente analizzato: i due vani principali della biblioteca presenterebbero una volta a crociera ed una a vela; i corridoi e le scale delle volte a botte; il corridoio sul retro al primo piano una successione di volte a crociera; infine, la saletta accessoria alla biblioteca sarebbe caratterizzata da una variante della volta a crociera.

Questi ultimi dati dimostrerebbero, ancora una volta, l'amore di Adriano per le sperimentazioni e le innovazioni in ambito architettonico che caratterizzano tutta la Villa.

Io personalmente con il supporto del modello mesh ricreato su Geomegic e la successiva esportazione del modello su Rhinoceros, mi sono concentrato sulla geometria del vano principale della Biblioteca Greca nonché la parte con più resti in cui è visibile in parte anche la geometria del piano superiore. In particolare mi sono reso conto della pianta

ottagonale del piano superiore e della presenza, in essa, di quattro lati su otto (i più corti) leggermente curvi il che porta a pensare alla straordinarietà dell'architettura di questa struttura con una volta probabilmente a padiglione a pianta ottagonale proprio in questo vano superiore principale e nel piano terra invece sono chiaramente presenti segni di una presenza di volta a crociera come abbiamo visto in precedenza.

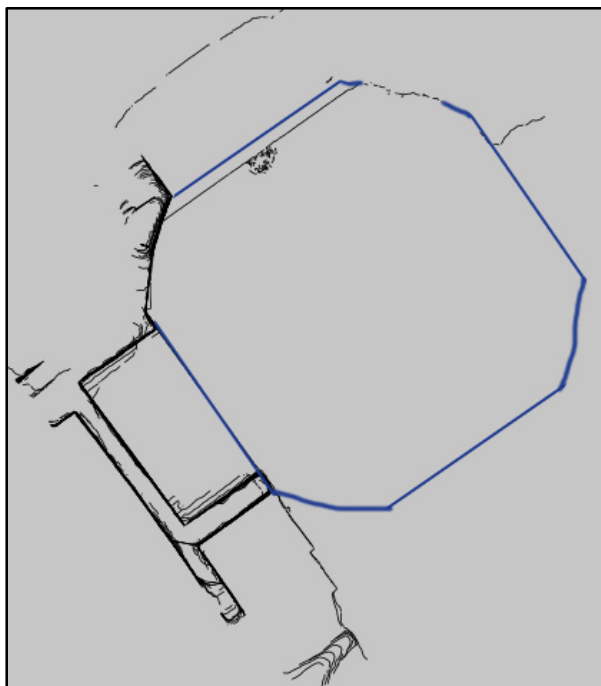
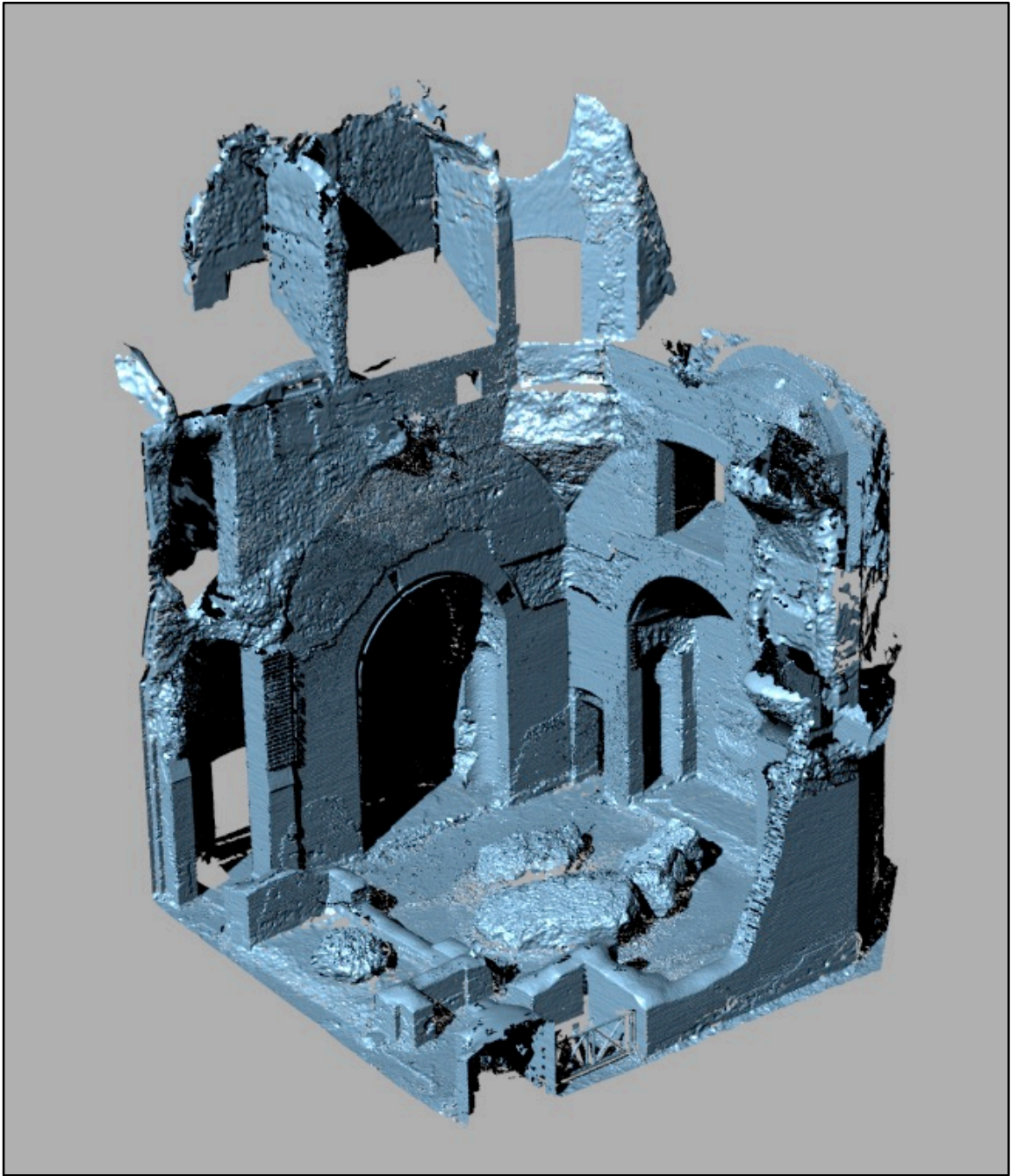
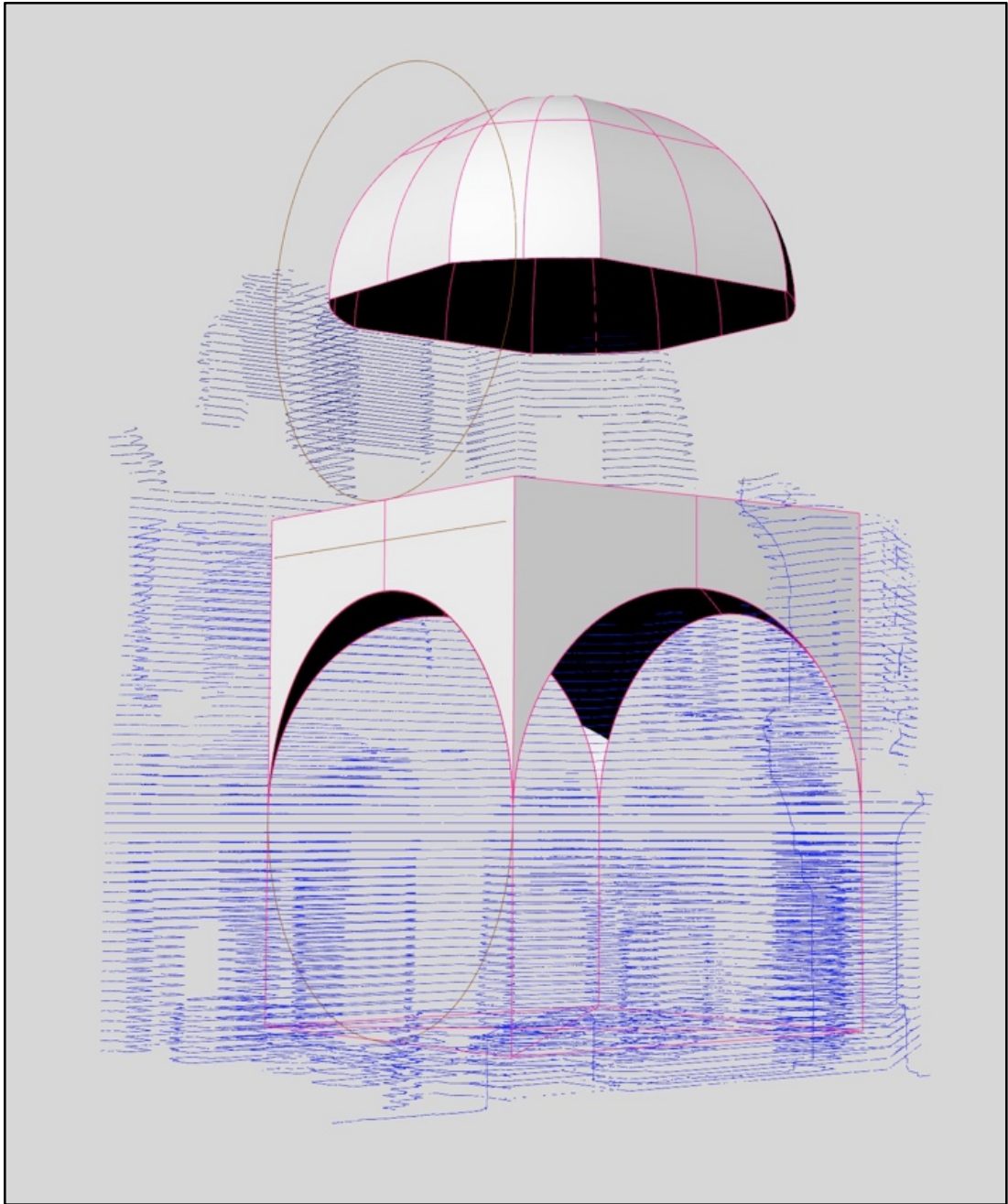
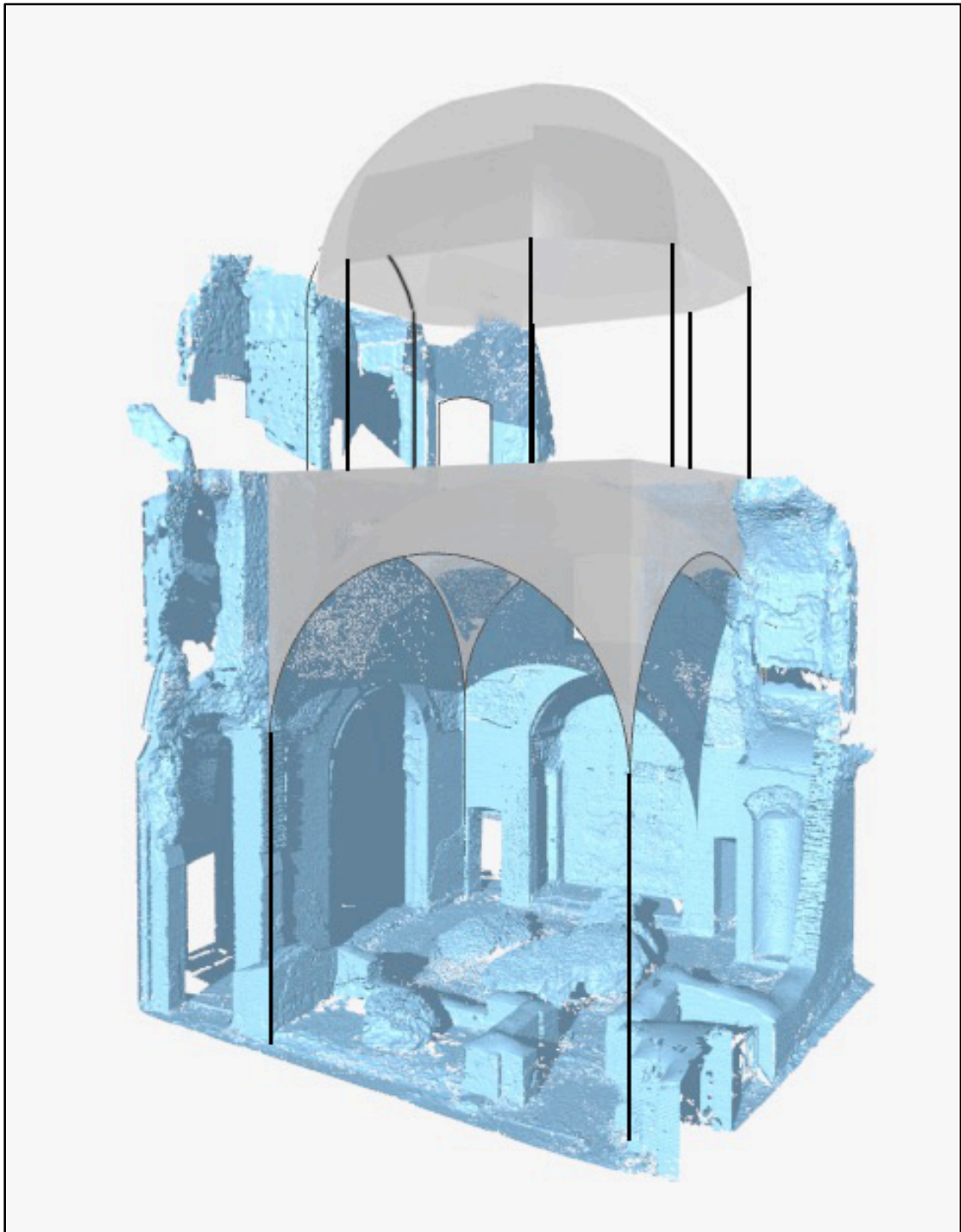
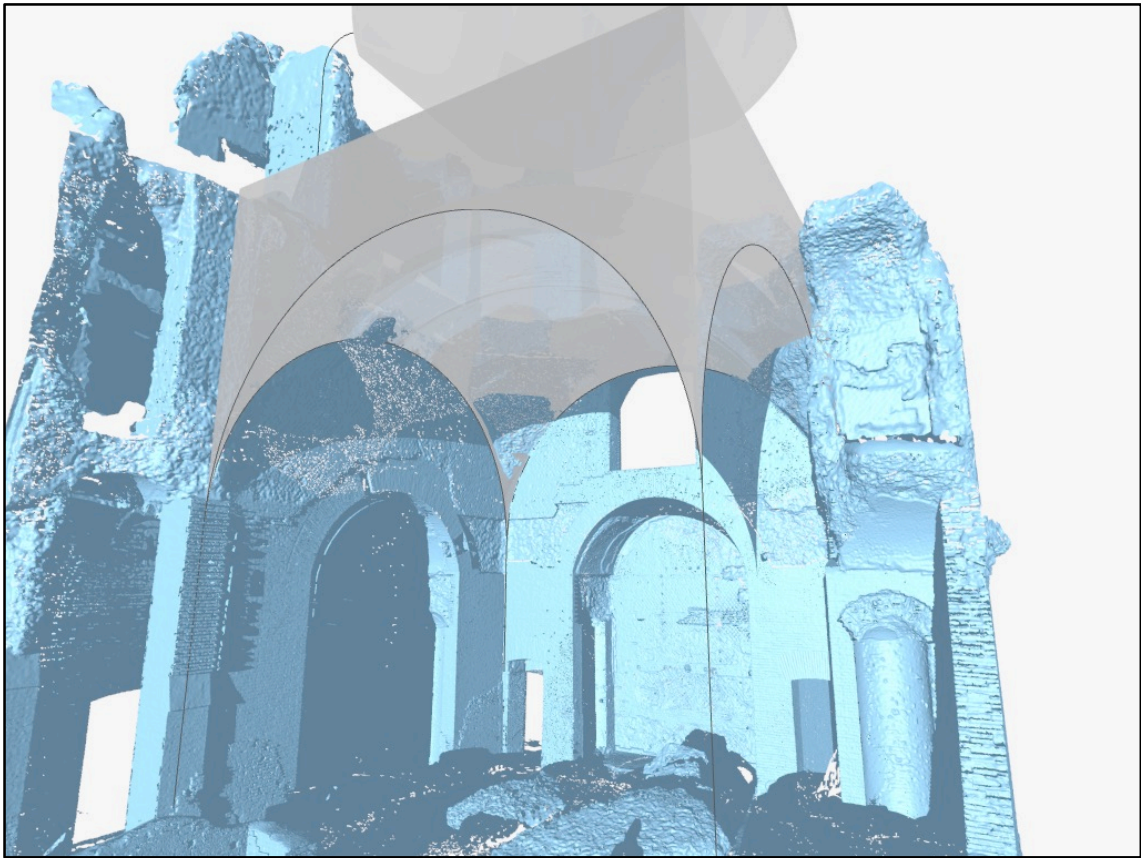


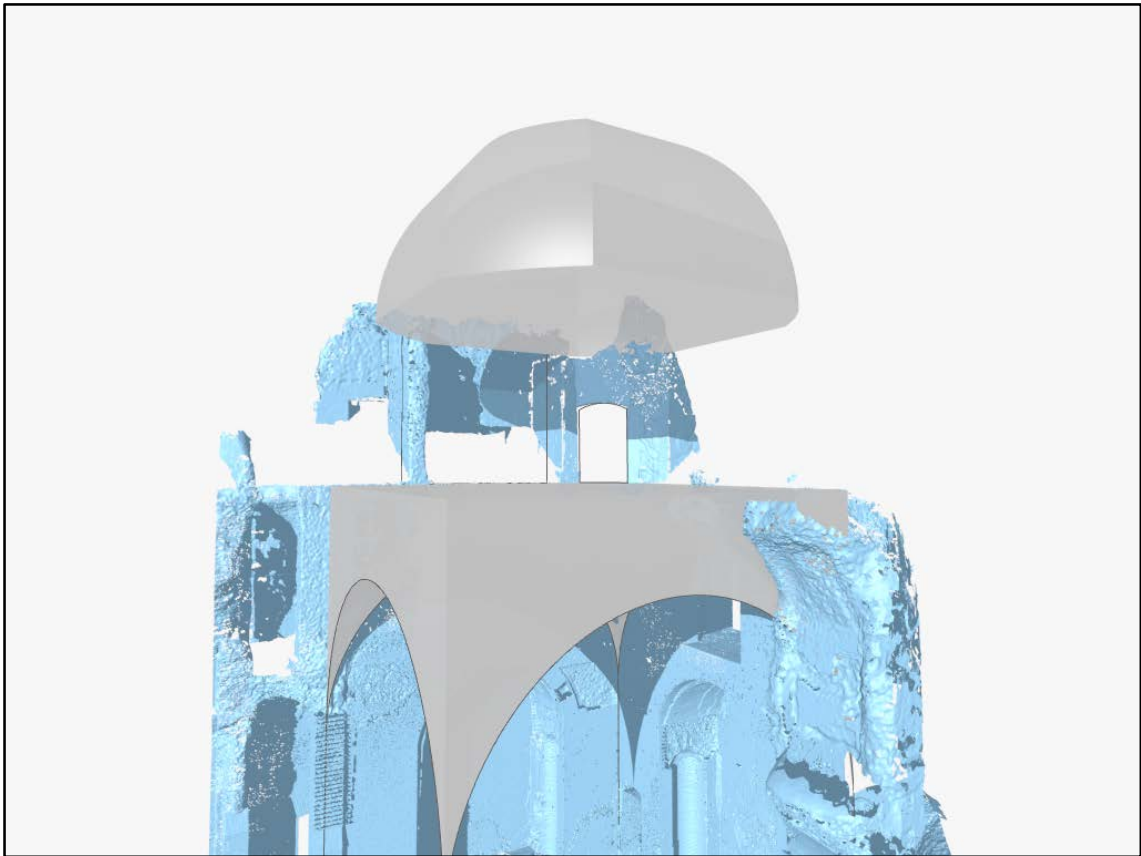
Figura 90: Sezione in pianta con disegno del probabile andamento del piano secondo della Biblioteca Greca di Villa Adriana in cui si nota il lato curvo dell'ottagono











7 CONCLUSIONE

Il presente studio, svolto seguendo una metodologia integrata tra più conoscenze storiche e nuove tecnologie digitali, ha permesso, tramite differenti tipologie di costruzione di modelli digitali ricavati da una serie di rilievi mediante laser scanner, di rintracciare la genesi geometrica e costruttiva degli spazi voltati presenti nell'area del complesso delle Biblioteche di Villa Adriana. L'attenzione si è focalizzata soprattutto sulla struttura pluriplano della Biblioteca Greca.

Nel disegno compositivo emerso dalle analisi spaziali di questo ambiente si evidenziano delle misure modulari relazionabili ad altri spazi voltati e a pianta centrale di Villa Adriana, permettendo a questa archeologia di rientrare in una griglia interpretativa generale più ampia. In particolare si può notare come le proporzioni della pianta seguano una maglia di 5x5 *pedes*, dove 5 *pedes* corrispondono a 1 *passus*. Questa griglia proporzionale è stata utilizzata, ad esempio, anche nello studio della pianta della Sala Ottagonale delle Piccole Terme.

Il caso della Biblioteca Greca presenta inoltre un rapporto di eccentricità tra cerchio inscritto all'interno del quadrato della pianta coincidente con il retro dell'edificio e tra cerchio circoscritto: eccentricità che si ritrova anche nello studio della sezione.

Da successive ipotesi dedotte direttamente dall'osservazione dell'andamento della muratura emergono cinque diverse tipologie di volte: la volta a botte, principale generatrice di ulteriori composizioni, la volta a crociera, la volta a base ottagonale, la volta a stella e la volta a vela.

Un aspetto che emerge da quest'ultima analisi è la continua ricerca di innovazione e sperimentazione, sia tecnologica che formale, che impegna l'imperatore "architetto" nel progetto di studio e costruzione di volte e cupole capaci di resistere allo scorrere dei secoli per ricordare e far perdurare nel tempo l'immagine dell'Impero che Adriano era riuscito a costruire.

Bibliografia

Libri:

Giovanni Pelliccioni, Le cupole romane <La stabilità>, Paleani editrice 1986

William L. McDonald, John A. Pinto, Villa Adriana la costruzione e il mito da Adriano a Luis I. Kahn, Mondadori Electa 2006

Salvatore Aurigemma, Villa Adriana, editore Istituto poligrafico e zecca dello stato, Roma 1996

Cairolì F. Giuliani, L'edilizia nell'antichità, Carocci editore, 2018.

John B. Ward-Perkins, Architettura Romana, Electa, 1974.

Riviste:

DISEGNARECON, rivista digitale che si occupa di ricerche legate al Disegno di Architettura.

S. Di Tondo, F. Fantini, Gli ambienti a pianta centrale di Villa Adriana: anticipazione di una nuova estetica, n.9, giugno 2012.

SCIRES-IT, rivista digitale che si occupa di promuovere ricerche riguardanti le nuove tecnologie in supporto al patrimonio architettonico e culturale.

L. Cipriani, F. Fantini, S. Bertacchi, Criteri di indagine degli spazi voltati nell'ambito dell'architettura storica e in archeologia, n.2, 2013.

B. Adembri, L. Cipriani, F. Fantini, S. Bertacchi, Reverse designing: an integrated

method for interpreting ancient architecture, n.2, 2015.

Nexus Network Journal. Architecture and Mathematics, rivista cartacea e digitale che si occupa di pubblicare ricerche riguardanti l'architettura e la matematica.

C. Bianchini, F. Fantini, Dimensioning of Ancient Buildings for Spectacles Through Stereometrica and De mensuris by Heron of Alexandria, n.17, 2015.

M. R. Ytterberg, The Hidden Order of Hadrian's Villa, and the Order of Modern Architecture, n.15, 2013.

'ANANKE, rivista che si occupa di tematiche riguardanti il restauro, la conservazione e dibattiti d'attualità sul patrimonio costruito.

XIX secoli a Villa Adriana. Interferenze e folgorazioni iconiche (118 - 2018), 84, Altralinea edizioni s.r.l., Firenze, agosto 2018.

Siti internet:

www.disegnarecon.unibo.it

www.sciresit.it

www.nexusjournal.com

www.villaadriana.beniculturali.it

www.abitare.it/it/ricerca/recensioni/2018/03/30/tecnologia-architettura-libro/?refresh_

ce-cp

www.civita.it/Associazione-Civita/Il-Giornale-di-Civita/Il-Giornale-di-Civita/Comunicare-il-patrimonio-culturale-tra-intermediazione-e-nuove-tecnologie-Editoriale

www.cniscintille.it/rinascimento-digitale-nuove-tecnologie-la-fruizione-del-patrimonio-culturale/

www.issuu.com/architettoserra/docs/tesi/30

Ringraziamenti

Desidero ricordare tutti coloro che mi hanno aiutato nella stesura della tesi con suggerimenti, critiche ed osservazioni.

Ringrazio anzitutto il professor F. Fantini per il suo supporto e aiuto senza il quale questa tesi non esisterebbe.

Un ringraziamento in particolare va alla mia famiglia, mio padre mia mamma e mio fratello che nonostante il “lungo” e tortuoso percorso di studio, nel bene e nel male mi hanno sempre sostenuto e hanno sempre creduto in me.

Voglio ringraziare tutti i vecchi amici di sempre, Zimbetto Sandrone il Mister Emiglio Pippo Luchino Maddimo Max Riki Paolino Vins Alessio (la bionda) Bob e il piccolo Difi (sperando di non aver dimenticato nessuno) che mi “sopportano” da sempre, e la mia seconda famiglia di CrossfitPescara in particolare Alex e Debbie.

Menzione speciale a Mattia collega amico e compagno di università da tempi immemori, e soprattutto il Mac di Mattia senza il quale la stesura finale della tesi non sarebbe stata possibile.

Ci tengo a ringraziare in particolare il mio amico e fisioterapista preferito Luca che negli ultimi mesi ha contribuito alla mia “integrità” fisica e i miei compagni di allenamenti (ma non solo) preferiti, Alessandra Andrea e Veronica che negli ultimi mesi mi hanno supportato nella riuscita del mio ultimo esame d’inglese e con la consapevolezza che nonostante la mia distrazione di questa laurea rimango comunque il più forte.

Infine ringrazio chiunque mi abbia dato un supporto in questi tre anni qui a Ravenna, è stata una bellissima esperienza in cui ho conosciuto tanti nuovi amici che mi porterò dietro per sempre, in particolare il mio compagno di corso Marco con il quale abbiamo condiviso gioie e dolori, ma soprattutto dolori nel supernamente di qualche esame. Non per minor importanza c’è da ringraziare CrossfitRavenna che ha contribuito non poco alla

mia crescita personale e a concludere il mio percorso di studio, in particolare ci tengo a ringraziare Michele.

Per concludere tutti i nuovi amici conosciuti in questo ultimo anno.

