

ALMAMATER STUDIORUM
UNIVERSITÀ DI BOLOGNA

Corso di Laurea Magistrale in

INGEGNERIA DEI PROCESSI E DEI SISTEMI EDILIZI

Tesi di Laurea in

DISEGNO

**“Rilievo e documentazione di uno spazio tricliniare
collocato a nord dei Giardini di Palazzo della
Villa Adriana”.**

Relatore:

Prof. Ing. LUCA CIPRIANI

Presentata da:

FAUSTO IMPEROLI

Correlatore:

Prof. Arch. FILIPPO FANTINI

Indice degli argomenti

1. <u>Introduzione</u>	
1.1 Obiettivi e finalità.....	2
2. <u>Cenni storici su Villa Adriana</u>	
2.1 Villa Adriana	3
2.2 Piazza d’Oro.....	16
2.3 Zona tricliniare a nord dei Giardini di Palazzo.....	19
2.4 Galleria fotografica del sito.....	26
2.5 Vie d’accesso e percorsi sotterranei.....	30
2.6 Storia delle planimetrie della Villa.....	32
2.7 Le misure romane e le tecniche di misurazione.....	49
3. <u>Metodi di rilievo</u>	
3.1 Modellazione Reality Based.....	53
3.2 Acquisizione dati con Laser Scanner (sensori attivi).....	54
3.3 Acquisizione dati tramite sensori passivi.....	55
4. <u>Creazione del modello tridimensionale</u>	
4.1 Elaborazione dati con Leica Geosystem Cyclone 6.0.....	59
4.2 Creazione di Reference Planes e Cutplanes.....	67
4.3 Esportazione del Modello in Autocad.....	74
5. <u>Confronto dei rilievi</u>	
5.1 Caso di studio confrontato con i vecchi rilievi.....	76
6. <u>Conclusioni</u>	82
7. <u>Ringraziamenti</u>	84
8. <u>Glossario</u>	85
9. <u>Bibliografia</u>	86
10. <u>Appendice</u>	89
11. <u>Allegati</u>	95

1. Introduzione

1.1 Obiettivi e finalità

Il settore dei beni culturali è di importante valore in un paese come l'Italia che gode di una percentuale altissima del patrimonio artistico e culturale mondiale, per tale motivo ha notevole peso la metodologia del rilievo da eseguire.

Nel corso degli anni si sono affinate sempre di più le tecniche di acquisizione dei dati, ciò è avvenuto in concomitanza con il processo tecnologico, diventato sempre di più un aspetto fondamentale del rilievo stesso.

L'oggetto di studio della tesi è Villa Adriana, nello specifico una zona tricliniare a nord dei giardini di palazzo, che si trova nella campagna tiburtina nei pressi di Tivoli.

L'obiettivo della tesi è quello di documentare l'oggetto in studio con strumenti di rilievo evoluti, inquadrandolo nella zona circostante, per ricavarne successivamente planimetrie, piante, prospetti e sezioni. Lo strumento utilizzato è il laser scanner Leica C5, uno strumento veloce che possiede un'elevata precisione nell'acquisizione dei dati.

Si è deciso di eseguire il lavoro con questo tipo di attrezzatura al fine di ricavarne un modello digitale 3D, per individuare e descrivere l'area oggetto di studio dato che in pochi hanno effettuato uno studio ed un rilievo accurato.



Vista aerea di Villa Adriana (immagine1 da: Google Maps)

2. Cenni storici sulla Villa Adriana

2.1. Villa Adriana

“Il paesaggio della campagna romana, dall’aspetto dolcemente ondulato, ma con valli intagliate a picco nel tufo, ricco di effetti sorprendenti, e talvolta addirittura drammatico, con gli alti monti albani e sabini sullo sfondo, deve aver esercitato sugli antichi lo stesso fascino di oggi. Seduzioni paesaggistiche lo motivano come anche la lussureggiante vegetazione e la ricchezza di acque che, rispetto alla metropoli di Roma, procurano pure un clima più piacevole. Specialmente attorno a Tivoli, ma anche più in là nelle zone montuose, vennero costruite, fin dall’epoca repubblicana, numerose ville, che documentano come questi posti dovessero essere stati amati e ricercati quali alternative alle predilette località marine. Essi avevano inoltre il vantaggio di essere al confronto velocemente raggiungibili da Roma. Nel caso di Tivoli fu soprattutto il fiume Aniene, scendente dai monti in mormoranti cascate, ad aver attirato il potenziale proprietario della villa; infatti l’acqua ebbe in tutte le ville un ruolo centrale. Ad attrarre però potevano essere anche panorami piacevoli o freschi boschi; il riferimento alla natura circostante era ad ogni modo di importanza decisiva”.¹

Villa Adriana si estende su un territorio di circa 120 ettari sui Monti Tiburtini, 28 chilometri a est da Roma. Voluta dall’imperatore Adriano, è stata realizzata in un breve arco di tempo nella prima metà del II secolo d.C., probabilmente tra il 117 e il 138 d.C..

La villa è situata in una posizione strategica sotto molti punti di vista, sia per la presenza di risorse e materiali sia per la vicinanza a vie di comunicazione.

“Quasi immediatamente dopo la sua ascesa, Adriano fece un programma per la creazione di una consistente residenza di campagna nelle colline della montagna tiburtina fuori Roma. Il risultato è stato la più grande villa conosciuta nel mondo romano. Un vasto palazzo e sede alternativa del governo, la villa appare quasi come una piccola città, per alcuni forse anche un impero in miniatura, audace esperimento nella progettazione e costruzione del suo edificio trasformava il sito in un vasto parco giochi architettonico, con qualche struttura che non aveva eguali nel mondo antico.”²

¹ *Storia dell’architettura italiana – Architettura romana – I grandi monumenti di Roma, a cura di Henner von Hesberg e Paul Zanker, Capitolo di Adolf Hoffman, Villa Adriana a Tivoli, Electa, 2009, pag 290-300*

² *Hadrian empire and conflict, Thorsten Opper, the british museum press, 2008, pag 130-165*



Vista aerea di Villa Adriana (immagine 2 da: Google Maps)

L'ubicazione di Villa adriana risultava ottimale, soprattutto sotto l'aspetto delle vie di comunicazione. La via Tiburtina garantiva un collocamento diretto con Roma e con la vicina città di Tivoli (in latino Tibur). Inoltre costituiva un'importante canale di comunicazione e trasporto anche il fiume Aniene, all'epoca navigabile e che permetteva di far giungere i materiali da costruzione delle cave circostanti: terra, sabbia, pozzolana, travertino, tufo calce, erano abbondantemente presenti nei pressi del sito di costruzione.

“La villa occupa una posizione che poteva difficilmente essere migliorata. In una combinazione di splendidi paesaggi, topografia dalle grandi risorse ed eccellente rete di infrastrutture. L'area della villa si estende su un lungo terreno costituito da tufo e confinato da piccole ad est e ovest nelle quali scorrono due corsi d'acqua che forniscono un ambiente lussureggiante. A nord, essi si uniscono e successivamente confluiscono nel fiume Aniene.

Il terreno presenta una leggera pendenza da sud verso nord che assicurava il drenaggio dell'acqua e permetteva la distribuzione dell'acqua tramite la rete idrica. È inoltre ottima l'esposizione alla luce solare e alle correnti d'aria; un santuario non distante forniva acqua solfuree per il riscaldamento.”²

“Rilievo e documentazione di uno spazio tricliniare collocato a nord dei Giardini di Palazzo della Villa Adriana”

Villa Adriana è un sito molto vasto, ed il concetto di villa non è da intendersi nel suo più stretto, in quanto è più simile ad una città che ad un edificio. Al suo interno sono presenti molti gruppi di edificio con determinate funzioni e spazi distinti tra luoghi pubblici, privati e di servizio. Anche il processo di costruzione è associabile a quello di una piccola città, con un centro di origine più antica e successivamente espansioni che hanno creato nuovi spazi delle varie destinazioni d'uso. Il nucleo del sito è infatti una piccola villa già esistente, risalente al II secolo d.C., che poteva offrire alcuni vantaggi: “essa era non lontana dalla via Tiburtina e quindi, per via del traffico, ottimamente collegate; il luogo regalava vedute affascinanti tanto sulle zone vicine quanto in lontananza: quando la visibilità è buona si vede addirittura la cupola di San Pietro a Roma; e non da ultimo Adriano potrebbe aver riconosciuto fin dall'inizio la lunga striscia di terra come un'attraente prospettiva di sviluppo. L'acqua, una delle condizioni fondamentali della vita in villa, era presente sul posto in effetti forse solo in modeste quantità, ma poteva essere facilmente condotta alla villa attraverso un acquedotto e molto probabilmente tale problema venne risolto in questo modo”¹

“Per capire la villa, è necessario riottenere un'idea di ciò che è stato perduto, per avere una visione globale degli spazi dal punto di vista funzionale. È importante che lo spazio sia visto come aree usate attivamente per scopi specifici. Il termine “villa”, come concetto in uso ai Romani associato all'ozio o al lusso è fuorviante. Si pensa spesso che questo sia il mondo privato di Adriano, dove poteva distaccarsi dalla vita pubblica e allontanarsi dalle relazioni con il senato. Ma questo era anche il luogo dove si svolgeva parte della vita politica imperiale, a cui partecipavano in maniera più informale solo i membri dell'élite imperiale.”²

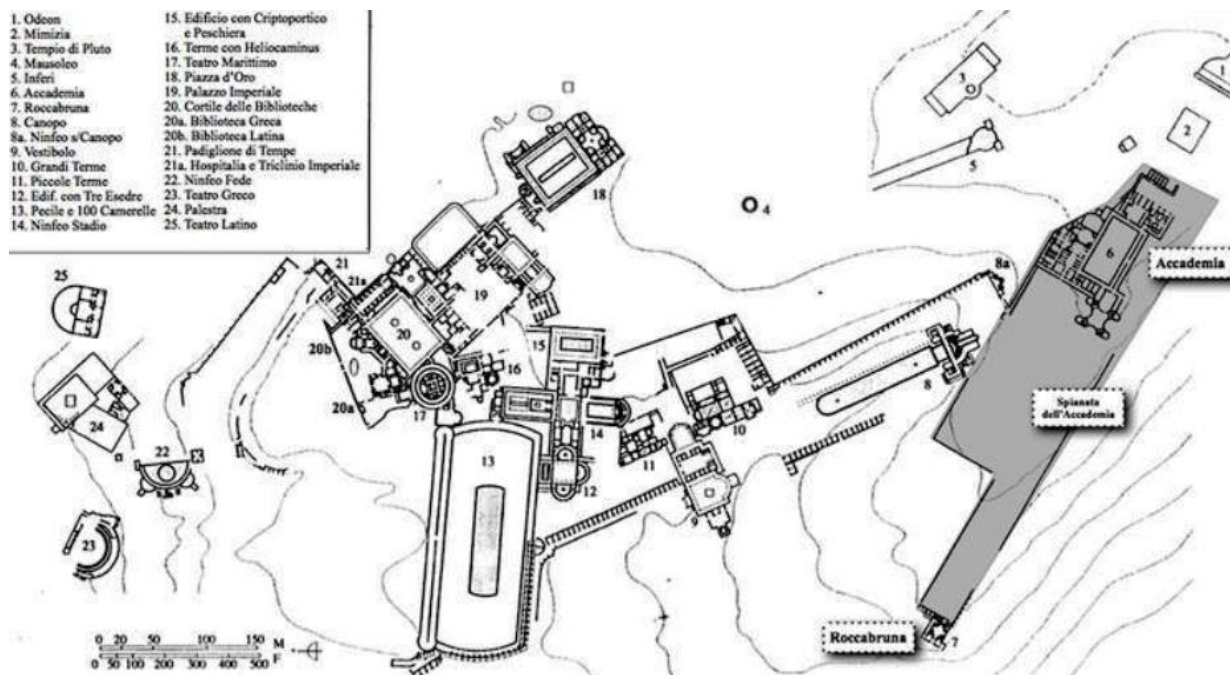


Immagine 3: Pianta generale. Evidenziata in grigio la spianata dell'accademia con gli edifici di Roccabruna e dell'accademia (elaborata da Ehrich 1989)

“Sarebbe sbagliato considerare la villa come spazio privato completamente estraneo agli affari politici. Al contrario, ci sono chiare prove che Adriano trattava affari di governo quando si trovava nella villa. Nell’agosto o settembre del 125, per esempio, inviò una lettera dalla villa agli ufficiali del santuario di Apollo a Delphi in Grecia.”¹

“Per la comprensione e una valutazione della villa di Adriano si dimostra un ostacolo il fatto che noi oggi possiamo osservare il risultato complessivo di un processo costruttivo a lungo persistente, che richiese almeno tutto il periodo di regno dell’imperatore dal 117 fin verso la sua morte nel 138 d.C., ma che gli inizi di questo processo furono assolutamente modesti e di facile orientamento e si successivi addensamenti e ampliamenti appartengono ai principi fondamentali di questo procedimento. Situazioni architettoniche intermedie devono aver avuto validità per lungo tempo ad essere state utilizzabili. Questi stadi temporanei di una probabilmente incerta progettazione a lungo termine, richiesero, con il desiderio ritenuto sicuro di poter utilizzare la villa in modo permanente, un’efficiente autarchia delle singole parti, o quanto meno di determinanti gruppi spaziali e fabbricati.”¹

Secondo recenti studi sui laterizi sui quali è riportata l'incisione di bolli o date consolari, è stata formulata l'ipotesi che Villa Adriana sia stata edificata attraverso due fasi di costruzione. La prima si fa terminare intorno al 125 d.C. (i bolli più antichi riportano la data del 117 d.C.), con la quale la maggior parte degli edifici era stata realizzata. La seconda fase, con anno di inizio 126 d.C., consistette tuttavia solo nell'ultimazione di una parte di edifici. "All'inizio – in parte ancora prima dell'ascesa al trono di Adriano – e al completamento dell'esistente antica villa a peristilio, furono piuttosto provvedimenti edilizi di piccolo formato, quelli con i quali l'imperatore pose nuovi accenti: le due così dette biblioteche; la villa circolare in miniatura sull'isola, detta teatro Marittimo; un impianto termale più piccolo, così detto Heliocamino; e, intercalato con un salone (sala dei filosofi), un lungo e ampio portico molto allungato verso occidente. Soprattutto le biblioteche e il teatro Marittimo sono creazioni architettoniche singolari, che sembrano improntate ad un uso personale dell'imperatore stesso. Con le loro complicate forme e combinazioni spaziali, che a prima vista non le lasciano assolutamente riconoscere uno specifico utilizzo, ma che di contro rendono possibili insolite esperienze spaziali e visive allineate per lo più in modo strettamente assiale, tali creazioni dimostrano già il carattere individualistico e sperimentale, che può valere quale una delle caratteristiche generali di gran parte di Villa Adriana. Quindi mentre questi primi edifici erano riservati a quanto pare alla persona dell'imperatore e potrebbero essere stati luoghi di ritiro privato, le successive costruzioni trasformano la villa a poco a poco in un luogo residenziale, alquanto ufficiale, che doveva soddisfare esigenze cerimoniali e di palazzo, ma in questo contesto non siamo informati sui particolari."¹

Nel complesso si contano oggi circa 900 tra stanze e corridoi. Un progetto molto vasto realizzato per parti, che probabilmente non è stato concepito già nella sua forma finale (anche se alcune ricerche sostengono il contrario), ma è stato oggetto di continui ampliamenti fino a raggiungere la sua massima espansione.

"Che il risultato finale fosse già esistito all'inizio dei lavori come una lontana visione dell'imperatore, è più tosto improbabile. Tutt'al più come work in progress, magari addirittura come architettura sperimentale, si può definire il tipo di procedimento costruttivo di questo impianto, che spinge all'estremo il concetto di villa e mette in ombra ogni costruzione paragonabile ad essa."¹



Il teatro Marittimo, una delle prime costruzioni della villa, nome fantasioso attribuito ad un edificio circolare con portico ionico, all'interno del quale corre un canale anulare che circonda una piccola isola su cui è costruita una villa in miniatura, comprendente un vestibolo curvilineo un peristilio a lati concavi con fontana centrale, un tablinio con stanze annesse, una piccola terma con apodyterium, frigidarium, calidarium e latrina. (immagine 4 da: Italparchi, area archeologica di villa Adriana).

“Né uno sguardo alla pianta di villa Adriana né una passeggiata tra le sue rovine lasciano riconoscere un concetto generale del progetto o della funzione complessiva dell’impianto.

In modo apparentemente arbitrario i singoli complessi architettonici si distribuiscono su tutta l’area e si notano direttamente tra loro; solo in casi eccezionali sono collegati con parti architettoniche che fanno da cerniera. A un’osservazione più attenta però si evidenziano regolarità che aiutano a spiegare sia il processo della progettazione che il concetto di utilizzazione. Abbiamo già citato come fattore essenziale della progettazione il privilegiare gli impianti verso l’interno; esso consentiva un’utilizzazione indipendente e flessibile di

questi singoli complessi. Un secondo elemento di progettazione altrettanto importante, ma completamente contrario, va visto nell'orientamento dell'architettura verso obiettivi e punti panoramici, che utilizza di volta in volta le particolari condizioni del luogo. Quest'aspetto sta talmente in primo piano che da esso sono deducibili in parti essenziali sia la posizione di quasi tutti i complessi architettonici della villa che, di conseguenza, tutta la sua pianta. Ciò era valido già per le prime costruzioni di Adriano, come le citate biblioteche, dava ad esse il loro orientamento alternato spiegabile solo in questo modo, e vale infine forse anche per l'impianto più famoso di Villa Adriana, la cosiddetta piazza d'Oro.”¹

Ma nonostante alcune fonti ritengano improbabile che villa sia stata realizzata seguendo un piano generale stabilito a priori, nuovi studi tendono a sostenere il contrario facendo leva su elementi quali i criptoportici, ovvero i corridoi sotterranei di servizio.

“Tuttavia recenti ricerche suggeriscono che il layout generale della villa era basato su un complesso piano maestro stabilito inizialmente. Questo piano prendeva l'ubicazione degli impianti idrici e di scarico, nonché una rete di passaggi sotterranei di collegamento che pare siano stati costruiti all'inizio della prima fase del progetto. Ancora più importante l'assetto naturale del terreno è stato radicalmente modificato, con lo spostamento di colossali volumi di terreno. In totale, furono costruiti cinque grandi terrazzamenti. La precisione del lavoro ingegneristico è dimostrata dalla corrispondenza del livello del terreno riscontrabile in aree a grande distanza l'una dall'altra.”²



*La Sala dei Filosofi: probabilmente è una biblioteca, cui si accede direttamente dal Teatro marittimo. Consta di una vasta aula rettangolare in cui si aprono sette nicchie destinate agli armadi per i libri.
(immagine5 da: tivolitouring.com)*

“La fantasia progettuale e la forza inventiva si concentrano sulla struttura e sull’allestimento dei vestiboli, dei cortili a giardino, delle stanze di ricevimento e intrattenimento, delle sale da pranzo, delle architetture per godersi il panorama, e infine anche delle costruzioni commemorative. A ciò si aggiungono terme, teatri, alloggi per gli ospiti ed edifici utili come le caserme e i depositi, che a seconda della gerarchia e del valore rappresentativo, erano anch’essi strutturati in modo più o meno dispendioso.

Tutti assieme formavano un esemble architettonico, caratterizzato da una ricchezza di alternanze quasi inesauribile, con un complesso intreccio di rapporti e un concetto di utilizzazione nel quale si poteva tener conto di tutte le esigenze del piacevole intrattenimento in una cerchia piccola o grande, e dell'accoglienza privata o ufficiale degli ospiti, a seconda dello status o anche dell'ora del giorno e delle condizioni atmosferiche legate alle diverse stagioni dell'anno. Alla flessibilità e agli effetti sorprendenti veniva così accordata la massima importanza. Un ruolo decisivo ebbe anche l'allestimento, al quale, seppur qui possiamo solo accennare: la decorazione dei pavimenti, le pareti e i soffitti, come anche il ricco ornamento scultoreo, l'utilizzo artistico dell'acqua e la strutturazione degli spazi liberi. Quasi ogni complesso architettonico fino agli impianti delle toilettes aveva giochi d'acqua che variavano in una molteplicità oltremodo grande il tema, analogamente alle pregiate decorazioni spaziali ricche di alternanze sia nei materiali, sia nelle forme che nei colori, con stimoli ottici e acustici e con gradita frescura.”¹

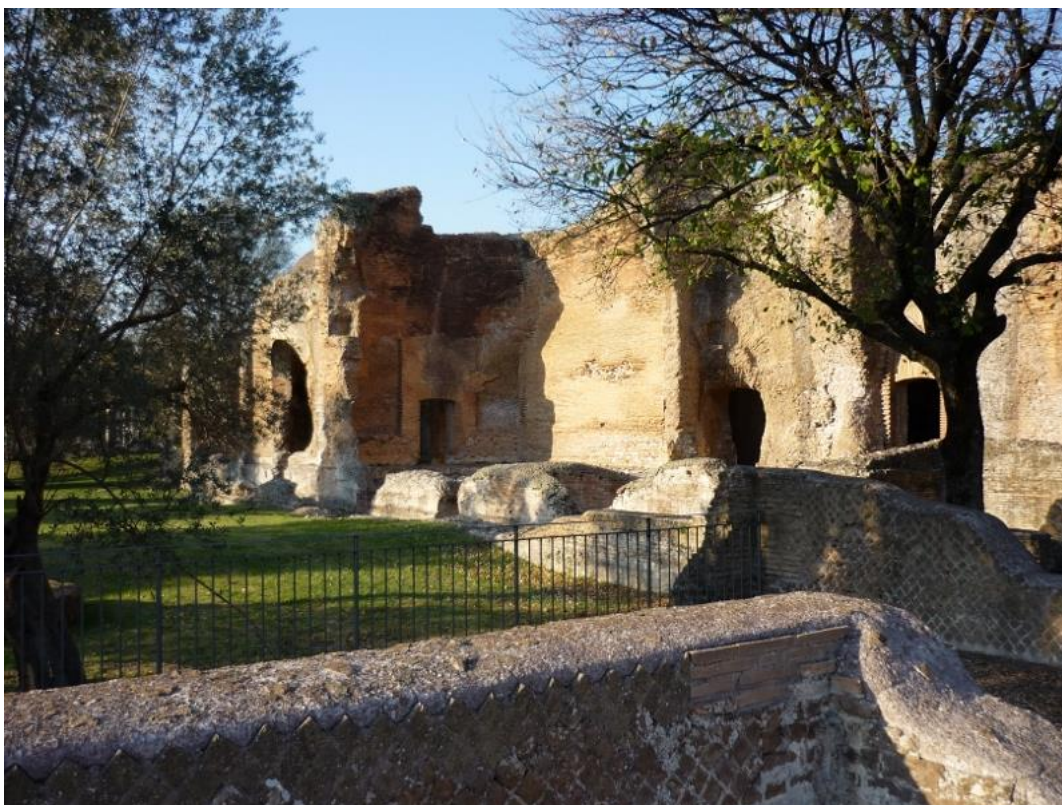
“In ambito edilizio la sua attenzione fu rivolta specialmente anche al miglioramento delle infrastrutture regionali. Il valore di simili provvedimenti l'imperatore lo seppe apprezzare anche nella sua propria villa: con una rete molto insolita e ramificata di strade di accesso e di approvvigionamento scavate nel tufo quali tunnel destinati forse soprattutto anche a quella di servizio. Solo con queste costruzioni sotterranee molto impegnative fu possibile rendere agibile il complesso architettonico e ad organizzare efficacemente non solo l'attività edilizia, ma soprattutto anche quella di servizio. Solo con queste costruzioni sotterranee molto impegnative fu possibile rendere agibile il complesso architettonico di villa Adriana cresciuto a poco a poco, addentrandosi in un conglomerato di non facile orientamento e che infine aveva trascorso tutti i limiti della precedente architettura delle ville.”¹



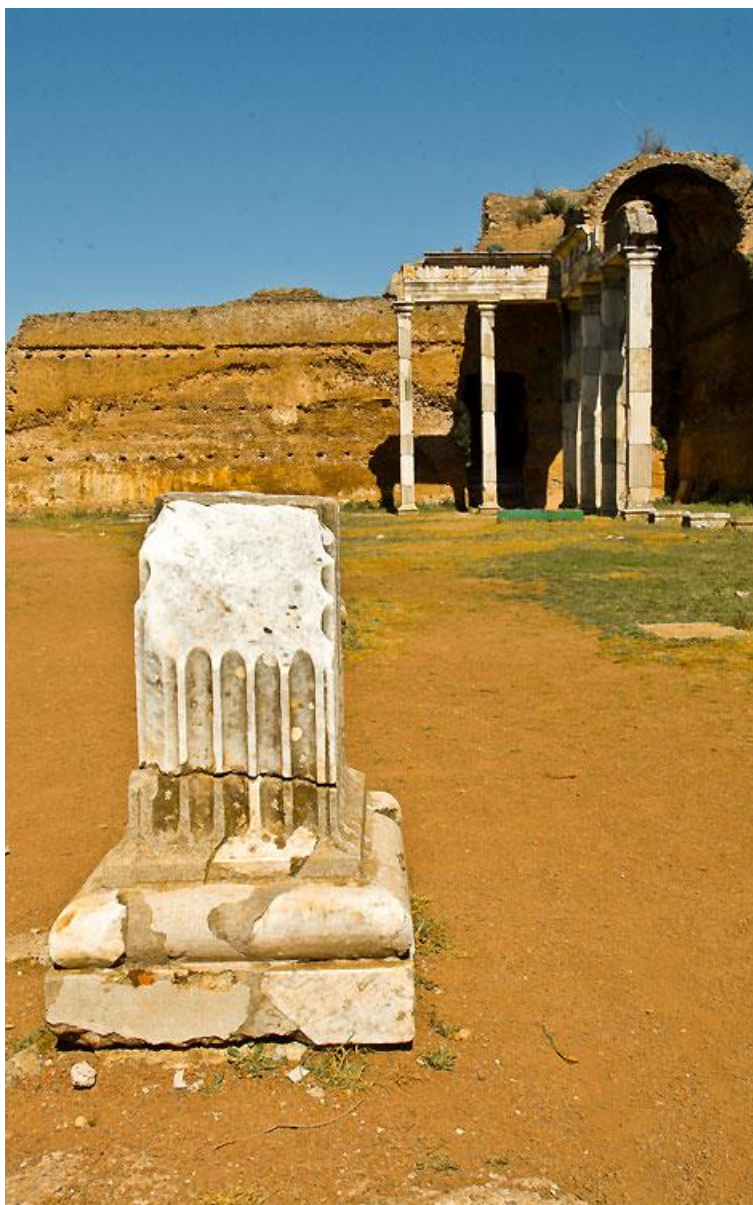
Canopo: il suggestivo e famoso complesso occupa una stretta e lunga depressione naturale, che fu regolarizzata e rinforzata con muri a contrafforti e sostruzioni precedute da tabernae (in cui è stato ricavato il Museo della Villa). Il centro della valle è occupato da un lungo canale (m. 119 x 18) con il lato nord curvo, circondato da un colonnato con architrave mistilineo, ai lati corrono altri due colonnati. Lungo il lato ovest le colonne centrali sono sostituite da sei cariatidi, quattro delle quali sono copie di quelle dell'Eretteo sull'Acropoli di Atene; le altre due raffigurano Sileni, si tratta di calchi in cemento, gli originali sono esposti al Museo, come il resto della decorazione rinvenuta entro il canale.(immagine 6 da: tivolitouring.com).



Grandi Terme: Complesso termale maschile. Lungo il lato ovest corre un corridoio esterno con i forni (praeturnia). Nella grande sala circolare va forse riconosciuto il bagno turco (sudatio) poiché non presenta impianti idraulici. Verso sud si succedono il tepidarium, il calidarium e una sala con tre piscine. A est del tepidarium è una grande sala con volta a crociera decorata a stucchi. Al centro è il frigidarium con due piscine, rettangolare e semicircolare. (immagine 7da:tivolitouring.com).



Piccole Terme: comprendono una sala ottagonale con pareti convesse e piane, identificabile forse come apodyterium, una piscina con lati absidati, il tepidarium, il frigidarium, con due grandi piscine absidate e la natatio. Si tratta con ogni probabilità di un complesso termale destinato esclusivamente alle donne. (immagine 8 da:tivolitouring.com).



Sala dei Pilastri Dorici: ampia sala rettangolare (m. 32 x 23), vera e propria Basilica, che deve il nome moderno alla presenza di un portico a pilastri con basi e capitelli dorici. La parte centrale della sala presentava un secondo piano, in cui si aprivano ampie finestre, e doveva essere coperta con una volta a padiglione. (immagine 9da:tivolitouring.com).

2.2. Piazza d'Oro

Piazza d'oro è un cortile a giardino ricco di elementi architettonici ed elaborate decorazioni. È un ampio spazio di forma rettangolare, orientato secondo l'asse NO-SE, il cui ingresso è rappresentato dal vestibolo ottagonale.

“Piazza d'oro è, fra gli edifici della Villa Adriana, uno dei più straordinari e nel corso dei secoli le sue originali forme architettoniche e la decorazione preziosa hanno affascinato visitatori e studiosi, a partire da Baldassarre Peluzzi e Pirro Ligorio. Posta in uno dei punti più elevati dell'area della villa, oltre il settore noto come Palazzo Imperiale, costituisce un nucleo autonomo rispetto al resto della residenza, realizzato in parte su una terrazza artificiale e dotato di un orientamento diverso da ogni altra costruzione, con un leggero disassamento rispetto anche allo stesso Palazzo Imperiale. Raggiungibile da quest'ultimo edificio tramite un portico aperto ad oriente verso la valle di Tempe, essa presenta a nord un padiglione d'ingresso a pianta ottagonale, coperto da una complessa cupola con oculo centrale, che immette in un quadriportico a doppia navata racchiudente un giardino ornato da una lunga vasca al centro. Il lato meridionale è occupato da una grande sala centrale polilobata, con lati concavi e convessi, decorata di fontane e dotata di latrine, oltre la quale si trova un ninfeo curvilineo che conclude scenograficamente l'asse principale della costruzione; ai lati sono due gruppi di sale coperte a volta aperte su due cortili con fontane;”³

“Questo cortile a giardino, straordinariamente ricco di elementi architettonici, con un raffinato vestibolo sormontato da una cupola sul lato d'accesso, culmina nel lato di fronte in un gruppo di spazzi trasversali, nel quale si manifesta in modo esemplare la ricchezza di idee, quasi traboccante, della villa: sull'asse longitudinale del giardino si allaccia, dopo un portico a due navate, di nuovo un ambiente centrale sormontato da una cupola, il cui spazio colonnato, con un ininterrotto andamento concavo e convesso oscilla in fuori e in dentro creando così una struttura spaziale leggera e dinamica che non conosce paralleli nell'antichità e che stimolerà all'imitazione in seguito solo gli architetti del barocco.

Questa spettacolare sala curvilinea è raccolta da un incurvato cortile a ninfeo, che non solo rappresenta il massimo apice artistico nel mutamento delle zone d'ombra e di luce che si alternano, ma che con il movimento dell'acqua dà all'insieme quell'importate dimensione supplementare già citata.

³ *Adriano e la Grecia – studi e ricerche, Capitolo di Fabrizio Salvazzi, Piazza D'oro a Villa Adriana: architetture e meraviglie, Electa, 2014, pag 71-80*



(immagine 10 da: Ministero per i beni e le attività culturali Villa Adriana e Villa d'Est)

Sull'asse trasversale seguono alla sala centrale piccoli peristili con colonnati ugualmente incurvati e altri ambienti, dai quali si poteva godere quell'esperienza spaziale, ulteriormente accresciuta da splendide decorazioni in materiali pregiati, con la sua molteplicità di prospettive e colpi d'occhio dalle posizioni più diverse. Nonostante il suo carattere riservato e chiuso, la piazza d'Oro sta però direttamente sul margine nordorientale della lingua di terra citata all'inizio; infatti anche questa architettura interna non voleva rinunciare alle possibilità delle vedute panoramiche: sul suo lato a valle si trovano parecchi ambienti, uno dei quali strutturato come un elaborato ninfeo curvo, che lasciano spaziare lo sguardo sulla cosiddetta Valle di Tempe confinante a nord-est, con il suo lembo di tufo, e su Tivoli, che scorge in lontananza.”¹

Come per gli altri edifici di Villa Adriana, anche Piazza d'Oro non è definibile nelle sue funzioni sulla base della forma, distaccandosi da uno dei principi della tradizione architettonica romana.

“Rilievo e documentazione di uno spazio tricliniare collocato a nord dei Giardini di Palazzo della Villa Adriana”

È possibile che fosse luogo di diverse funzioni, ma sicuramente era uno spazio frequentato dall'imperatore, visti i numerosi elementi di pregio architettonico e decorativo. “Quasi tutti i studiosi sono concordi nel considerare il complesso un triclinio di frequentazione imperiale, che peraltro si affiancava agli altri molteplici presenti nella villa. Ma questo poteva non essere l'unica funzione: si sono proposti, oltre a quello simposiaco, usi come sala delle udienze oppure luogo di epifania imperiale. De Franceschini ipotizza che si tratti della biblioteca della villa, sulla base del confronto con il templum Pacis di Roma e con la Biblioteca di Atene, anche se non esclude la possibilità che la sala polilobata potesse essere impiegata per il banchetti. Stierlin vi vede un tempio – ninfeo, con la sala centrale ipetra utilizzabile come triclinio imperiale.

Altri aspetti di Piazza d'Oro sono stati indagati, come la struttura e il funzionamento del giardino, oppure elementi a temi della decorazione, mentre una lettura complessiva dell'edificio è stata spesso trascurata o risolta attraverso la ripetizione delle ipotesi prevalenti. Si vuole qui attirare l'attenzione su alcuni temi, che siano di aiuto e di proposta a una interpretazione generale dell'edificio.”³



(immagine 11 da: Digital Hadrian's Villa Project, su concessione del Ministero dei beni culturali-soprintendenza per i beni Archeologici del Lazio)

“Rilievo e documentazione di uno spazio tricliniare collocato a nord dei Giardini di Palazzo della Villa Adriana”

2.3. Zona tricliniare a nord dei giardini di Palazzo

La zona oggetto di studio, come riporta il titolo di questa tesi, è una zona a nord dei giardini del Palazzo Imperiale, come scrive la dott. Benedetta Adembri, sui “Giardini e verde di Villa Adriana” nel libro “Villa Adriana una storia mai finita”, “è un edificio cerniera per superare il dislivello tra la terrazza di Tempe e la zona residenziale di Palazzo, consentendo un accesso esterno attraverso i giardini, lungo il lato orientale della Villa compreso fra il Ninfeo con tempio di Venere e Piazza d’Oro”.⁴

In un altro testo “Ricerche sull’architettura di Villa Adriana” a cura di Cairoli Giuliani, il sito preso in esame è “Un lungo portico che fiancheggia ed isola l’estremità meridionale del Palazzo, evidentemente già esistente mettesse in comunicazione con il Ninfeo di palazzo e con tutta la grande area a nord est, che si affaccia sulla Valle di Tempe, il cui assetto antico ci è purtroppo ignoto ma che non è azzardato pensare come attrezzata prevalentemente a giardino”⁵. I libri citati descrivono la zona oggetto di studio in modo molto simile ed anche la destinazione assegnata ad essa, entrambi sostengono che la zona sia stata destinata a giardino.

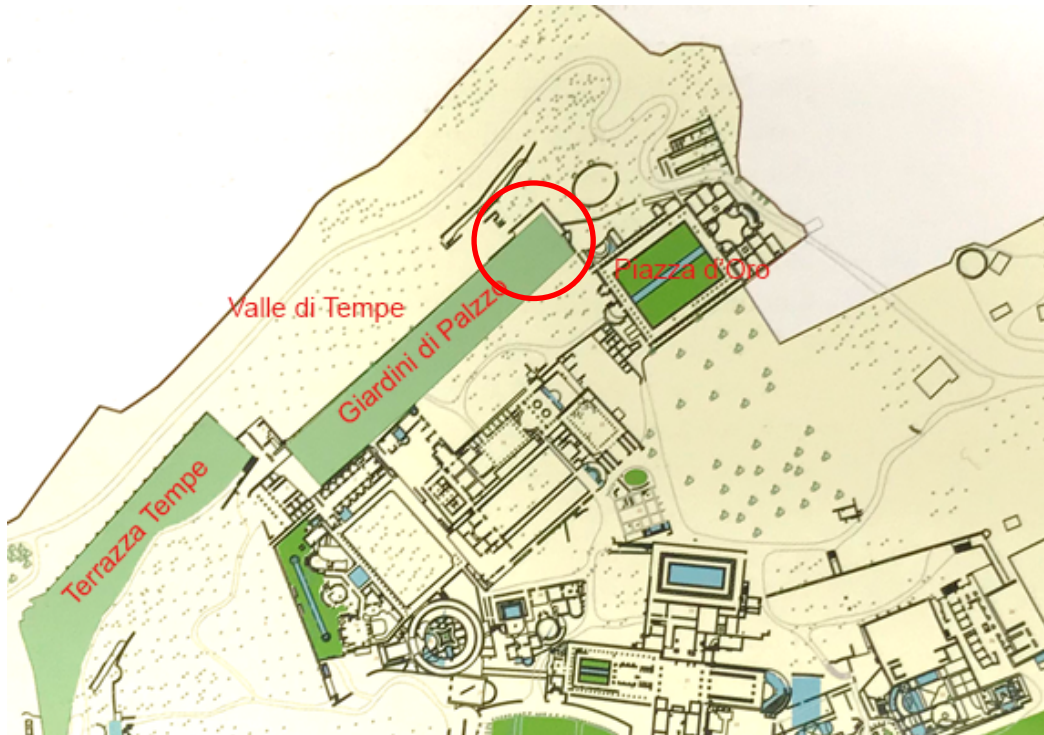


(immagine 12 : eseguita durante la campagna dei rilievi)

⁴ *Villa Adriana. Una storia mai finita. Novità e prospettive della ricerca, a cura di M.Sapelli Ragni, Capitolo di Benedetta Adembri “Giardini e Verde a Villa Adriana”, anno di pubblicazione 2010.*

⁵ *Ricerche sull’architettura di Villa Adriana a cura di Cairoli Giuliani, anno di pubblicazione 1975.*

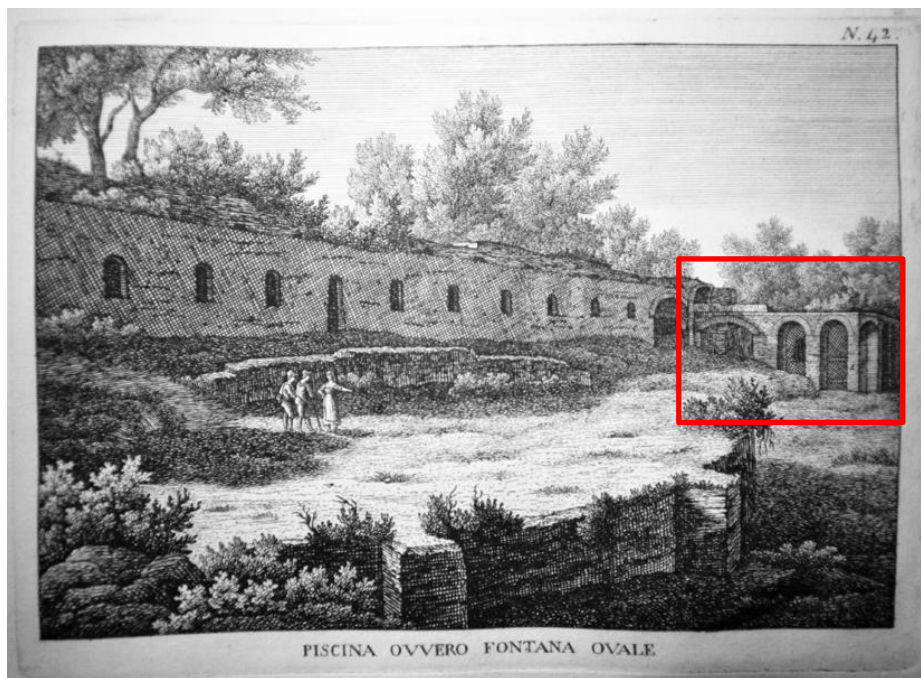
Come si può notare con la planimetria del centenario (prima planimetria della scuola d'ingegneria di Roma) fatta dall' "Università di Tor Vergata a Roma" sotto riportata non risultano rilievi in quella zona, la motivazione per il quale la zona non è riportata è molto semplice, la maggior parte dei studiosi, archeologi e ingegneri che hanno studiato ed elaborato le planimetrie si sono concentrati soprattutto sulle zone di maggior importanza (come ad esempio il Teatro Marittimo, il Palazzo Imperiale, il Canopo, le Terme ecc...) tralasciando le zone di passaggio o di collegamento che risultano di minor interesse.



(immagine 13 da: Villa Adriana. Una storia mai finita. Novità e prospettive della ricerca)

Nei capitoli successivi vedremo con lo studio delle planimetrie realizzate nel corso degli anni, che la zona presa in esame è quasi sempre trascurata, anche se dai numerosi rilievi eseguiti, si notano pavimenti molto pregiati, i quali lasciano intendere che in quel punto passassero persone molto importanti se non l'imperatore stesso.

Dall' immagini 8 si evince che oltre ad essere un collegamento, tra la Terrazza di Tempe e Piazza d'Oro, fosse anche un affaccio sul sottostante anfiteatro, come si può vedere nella vista prospettica realizzata da Agostino Penna (immagine 11).



(immagine 14 da: *Digital Hadrian's Villa Project*, veduta prospettica dall'anfiteatro eseguita da Agostino Penna e pubblicata in " *Pianta della Villa Tiburtina di Elio Adriano Augusto*").

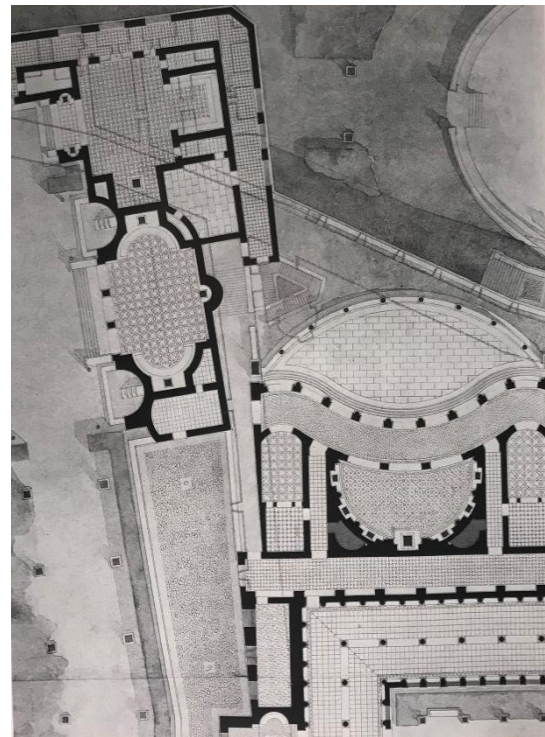
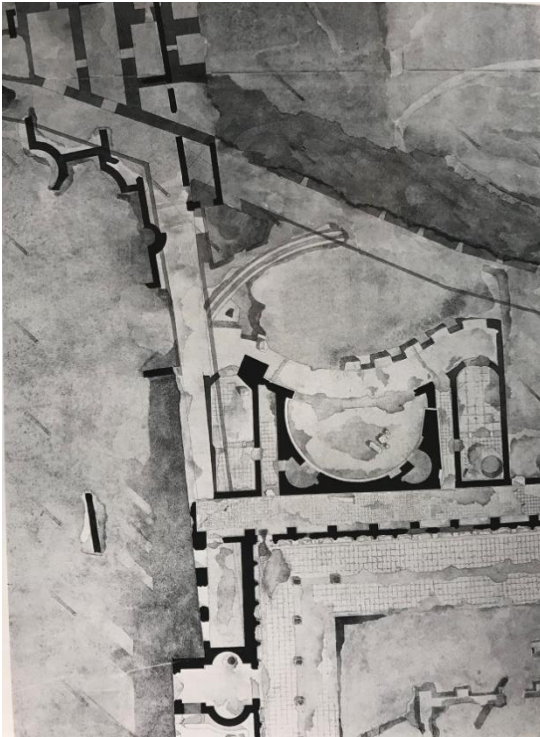
Sul libro "Mosaici Antichi in Italia - Sectilia Pavimenti di Villa Adriana"⁶ a cura di Federico Guidobaldi, l'area di indagine viene identificata come "Valle di Tempe".



(immagine 15 da: *Mosaici Antichi in Italia – Sectilia Pavimenti di Villa Adriana*)

⁶ *Mosaici Antichi in Italia – Sectilia pavimenti di Villa Adriana* a cura di Federico Guidobaldi con la collaborazione di Fulvia Olevano, Andrea Paribeni e Daniela Trucchi, anno di pubblicazione 1994.

Questo libro, che tratta della pavimentazione della Villa Adriana, è uno dei pochi che riporta l'area in questione sulle planimetrie dello stato di fatto della villa ed elabora anche la ricostruzione della pavimentazione dell'epoca.



(Immagini da: Mosaici Antichi in Italia –Sectilia Pavimenti di Villa Adriana, immagine 16 rilievo dell'esistente, Immagine 17 ricostruzione della pavimentazione dell'epoca).

Dall'immagini sopra inserite si può osservare che ci sono diverse tipologie di pavimenti che hanno il nome di "Sectile", tra loro sono tutti diversi e sono tra più pregiati dell'intera Villa Adriana. Con la campagna di rilievo si è potuto constatare l'importanza che hanno quei resti di pavimentazione, alcuni di essi nascosti sotto dei teli per non essere rubati dai visitatori.

Ad oggi sono presenti tre tipologie di pavimentazione in questa zona, e sono state catalogate nel libro sopra citato, "Sectilia pavimenti di Villa Adriana", con grande accuratezza e dettagli dei materiali di cui sono fatti.



Rettangoli in ardesia (29.5x15 cm), quadrati in ardesia (6 cm) e listelli in giallo antico (1 cm), (Immagini18 da: Mosaici Antichi in Italia –Sectilia Pavimenti di Villa Adriana)



Quadreti in giallo antico e porfido verde greco (15 cm), triangoli isosceli in porfido verde greco e porfido rosso (7.5 x 7.5 cm), triangoli isosceli in giallo antico (15 x 3.8 cm) rombi in giallo antico (diagg. =15 e 7.5 cm) listello di bordura in rosso antico (1 cm) e fascia di spessore lungo la parete sud-est in africano (10 cm). (immagine 19 da: Mosaici Antichi in Italia –Sectilia Pavimenti di Villa Adriana)

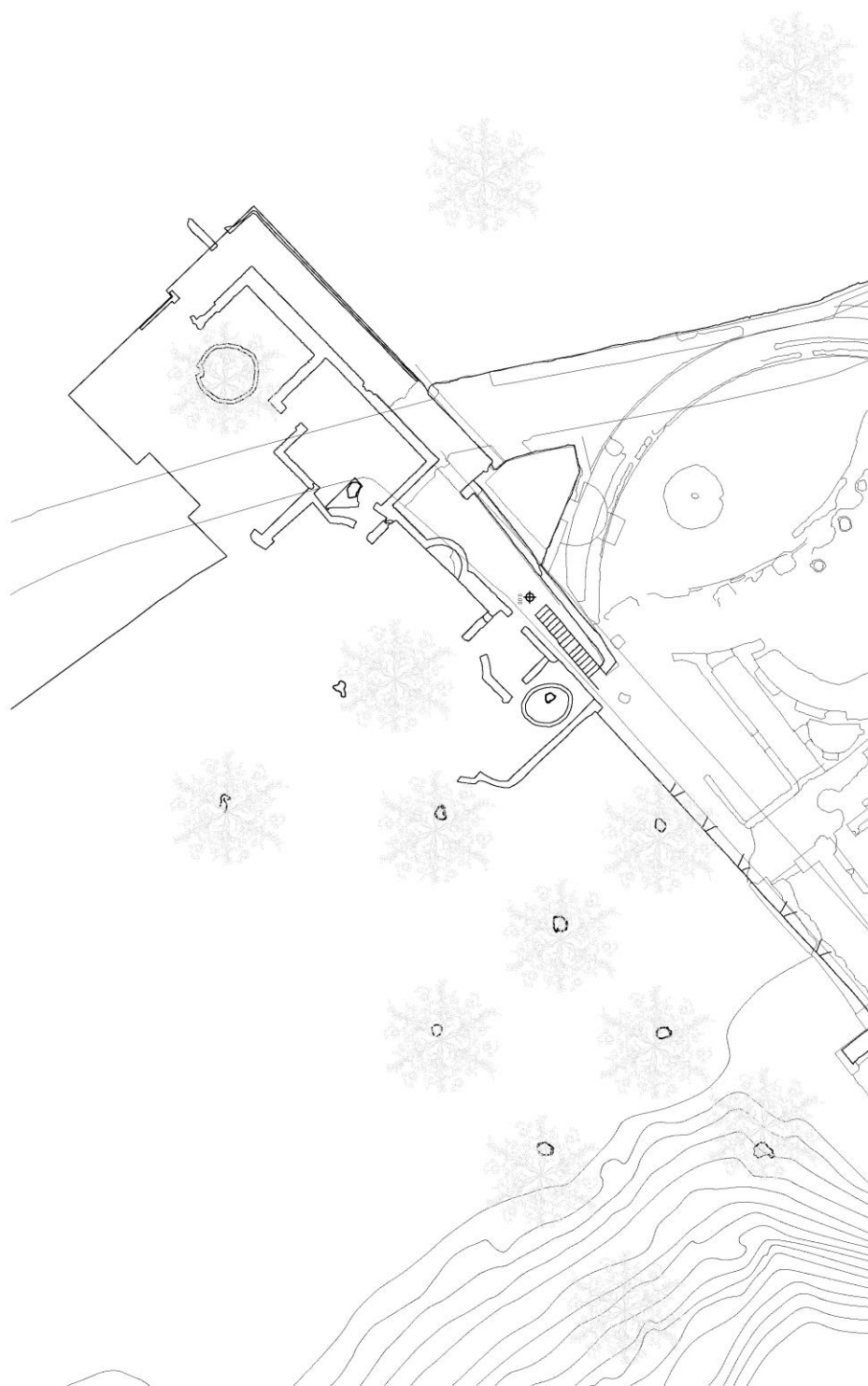


Rombi in alabastro di due dimensioni(diagg. = 22 e 11 cm; 24 e 12.2 cm) e listelli di ardesia a palombino (0.5 cm) (immagine 20 da: Mosaici Antichi in Italia –Sectilia Pavimenti di Villa Adriana)



Pianta Ricostruttiva di Piazza d'Oro eseguita da CH. L. Giarault nel 1985, con evidenziata la zona di studio (immagine 21 da: Mosaici Antichi in Italia –Sectilia Pavimenti di Villa Adriana).

2.4. Galleria fotografica del sito



Planimetria attuale del sito oggetto di studio



(Immagine 22)



(Immagine 23)



(Immagine 24)



(Immagine 26)



(Immagine 25)

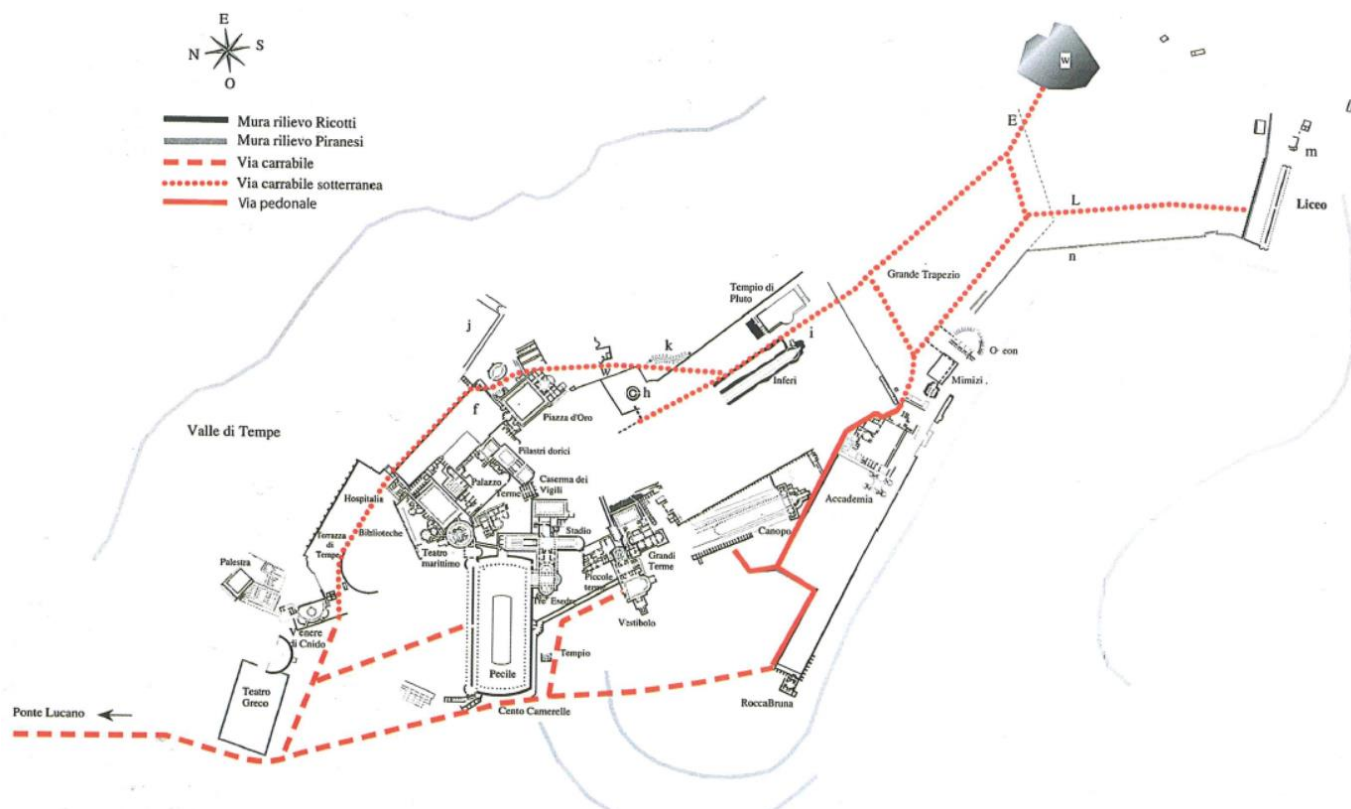


(Immagine 27)

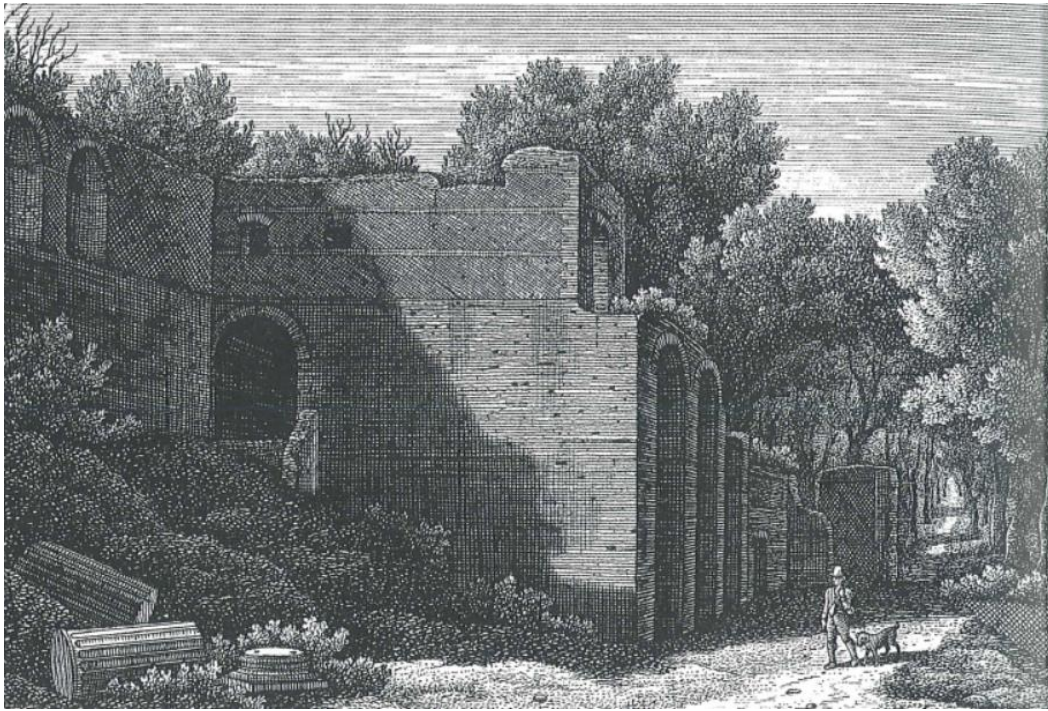
“Rilievo e documentazione di uno spazio tricliniare collocato a nord dei Giardini di Palazzo della Villa Adriana”

2.5. Vie d'accesso e percorsi sotterranei

Nel libro a cui ci siamo riferiti prima “Villa Adriana una storia mai finita” nel capitolo delle vie d'accesso, rafforza la tesi che la zona oggetto d'esame sia un collegamento tra la Terrazza di Tempe e la Piazza d'Oro, perché riporta le piante con le vie carrabili e in particolare risulta passare una via sotterranea proprio sotto l'area di studio. La via in esame solcava la Terrazza di Tempe fino al Padiglione di Tempe, che sembra sbarrare il percorso, il quale invece, come documentano le vedute di A. Penna passava dietro il ninfeo. Questa doveva proseguire, almeno nella visione adrianea, su un piano rilevato alla base del lunghissimo terrazzamento di circa 200 metri a nicchioni, ad oggi in parte crollato ed interrato ma ben visibile dai suddetti disegni, fino alla Piazza d'Oro. La sede carrabile si scorge di nuovo all'angolo sud del terrazzamento tra la cosiddetta area dei gladiatori e la Piazza d'Oro.



(immagine 28 da “Villa Adriana una storia mai finita” rilievo di Ricotti (1969-1973)).



Veduta prospettica con la galleria della via carrabile nella costruzione sotto il padiglione di Tempe di Agostino Penna e pubblicata in " Pianta della Villa Tiburtina di Elio Adriano Augusto " (immagine 29 da: Villa Adriana una storia mai finita).



Il bivio della via carrabile sotto la Piazza d'Oro (immagine 30 da: Villa Adriana una storia mai finita).

2.6. Le rappresentazioni planimetriche di Villa Adriana

Pianta di Villa Adriana di Pirro Ligorio

Nel corso del periodo romano, al servizio del cardiale Ippolito II d'Este, progetta la villa del prelado a Tivoli con i suoi sontuosi giardini e descrive Villa Adriana e gli scavi che il cardinale vi fa eseguire. Nei suoi trattati testimonia l'esecuzione, inizialmente in fieri, poi quale avvenuta, di una sua pianta della villa. L'elaborato, probabilmente lasciato a villa d'Este, dopo la morte di Ippolito II viene a lungo trascurato per poi essere adottato, all'incirca nel 1620, dal pittore Giulio Calderoni quale base di una veduta pittorica eseguita su una parete del salone del palazzo Cesi a Tivoli. La veduta sarà in seguito copiata dal vero nel 1637 dal geometra tiburtino Gismondo Stracha. Distrutto il palazzo nel corso dell'ultimo evento bellico mondiale, il piccolo disegno (26x53 cm) di Stracha, conservato nella biblioteca Vaticana costituisce una delle memorie più prossime a quella che doveva essere la pianta ligoriana.

Dall'attività grafico/architettonica di Pirro Ligorio a Villa Adriana si conservano alcuni disegni, per lo più schizzi, tra i quali una pianta parziale dell'area di Roccabruna e un disegno della Accademia che si conserva anche nella restituzione, in copia, eseguita da Contini e, in seguito, dai disegnatori incaricati da Robert Adam di copiare disegni antichi. Come già accennato, a Tivoli Ligorio è progettista della villa d'Este, anch'essa più volte celebrata anche per i maestosi giardini, ricchi di fontane e di giochi d'acqua, alla cui ideazione non possono che aver contribuito le esperienze vissute a Villa Adriana.”



Veduta pittorica della Villa (immagine 31: da Villa Adriana_ Passeggiate iconografiche).

Pianta di Villa Adriana di Francesco Contini

Il cardinale Francesco Barberini incaricò l'architetto Francesco Contini di realizzare una planimetria di Villa Adriana. L'architetto iniziò a lavorare nel 1634, come è desumibile da un grafito ritrovato in un criptoportico del palazzo imperiale e oggi andato perduto; in esso Contini descriveva la notevole difficoltà dell'impresa che stava realizzando. La pianta venne completata e pubblicata nel 1668, quindi più di trent'anni dopo. La pubblicazione consiste in due piante, la prima di piccola grandezza, pari a cm 54 di lunghezza e 19,5 di altezza; la seconda lunga cm 220 e alta 78. Entrambe le piante fanno riferimento a un libretto descrittivo di otto pagine. Lo studio di Contini è fondamentale per la conoscenza di Villa Adriana, per una serie di motivi: è in assoluto la prima planimetria che si conosca e verosimilmente la prima che sia stata realizzata; tutti i rilievi eseguiti nei secoli successivi hanno confermato la stessa impostazione e lo stesso orientamento e dislocazione dei singoli complessi archeologici; l'opera rappresenta una dettagliata sintesi di tutte le conoscenze fino ad allora acquisite, poiché, oltre a verificare direttamente sul campo le singole caratteristiche delle strutture architettoniche, le relaziona alle indicazioni e alle indagini effettuate precedentemente da Pirro Ligorio. A questo proposito va subito chiarito che, contrariamente a quanto erroneamente ritenuto da molti studiosi nel passato, il lavoro di Contini non è da considerare una semplice trasposizione e "rilucidatura" della pianta del Ligorio. Come è stato dimostrato da E. Salza Prina Ricotti, Contini realizzò effettivamente il rilievo attraverso una lunga e continua ricognizione sul terreno; inoltre della pianta del Ligorio non vi è alcuna testimonianza diretta o indiretta. Dell'architetto napoletano si conoscono invece numerosi appunti, schizzi e indicazioni che Contini tenne in grande considerazione. La planimetria descrive innanzitutto i confini dell'area archeologica, estendendoli fino ai Colli di Santo Stefano e questa è la prima indicazione di Ligorio che viene recepita. Una caratteristica fondamentale dell'opera di Contini, decisamente collegata alla concezione culturale dell'epoca, è rappresentata dal fatto che la planimetria non si limita a descrivere il rudere per quello che è, ma lo completa idealmente e fornisce una descrizione ipotetica di come fu e della funzione che svolse. Evidentemente questa era un'esigenza prioritaria, poiché bisognava fornire una risposta ai numerosi interrogativi che le strutture della Villa, così imponenti e dalla forma così originale, ponevano. Del resto anche i possidenti, i mecenati e gli stessi committenti, che a partire dal Cinquecento e nei secoli a seguire avevano continuato a depredare il sito archeologico senza curarsi troppo di capire e

contestualizzare le opere d'arte prelevate, sentivano adesso la necessità di comprendere e di stabilire criteri di valutazione. Ecco perché il cardinale Barberini incaricò un architetto di realizzare la pianta, per anteporre finalmente la comprensione del sito alla semplice spoliatura. Pertanto Contini non si limitò a completare idealmente le piante degli edifici, ma corredò la parte grafica con una descrizione, attribuendo alcune funzioni e identificando i singoli edifici secondo le indicazioni di Pirro Ligorio. Nonostante la pianta di Contini costituisca una notevole sintesi della complessità architettonica di Villa Adriana, confermata peraltro dai risultati delle ricerche che si sono succedute fino ai nostri giorni, presenta tuttavia una grave inesattezza, a proposito di un teatro, collocato sulla sponda orientale del fosso della Ferrata, nella cosiddetta Valle di Tempe. Gli studi più recenti hanno infatti dimostrato che questo edificio, comunemente denominato Teatro Latino, non esiste. Va inoltre segnalato che Contini errò nell'attribuire al cosiddetto Teatro Greco (che invece esiste ed è effettivamente un teatro) la funzione di naumachia. L'affidabilità del risultato e la regolarità del disegno planimetrico, al di là degli eventuali errori interpretativi, furono rese possibili anche grazie alla collaborazione del matematico Gaspare Berti, con il quale Contini aveva realizzato anche il rilievo delle catacombe di Domitilla.

La conoscenza e la diffusione dell'attività dell'architetto a Villa Adriana suscitarono molto interesse tra gli architetti del tempo e principalmente in Borromini, affascinato dalle forme originali e articolate, come nel caso degli ambienti a pianta centrale.

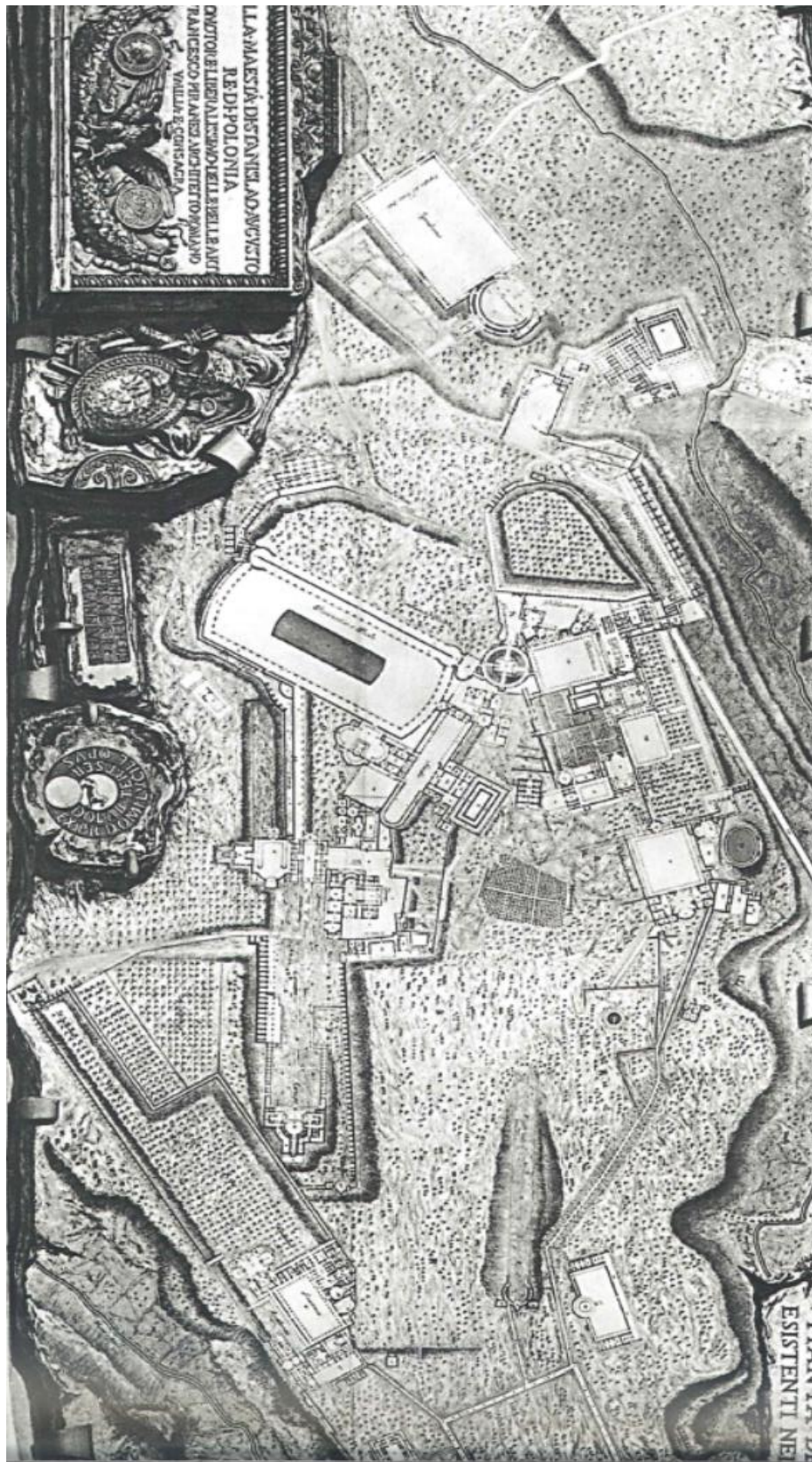


(immagine 32 da: Villa Adriana una storia mai finita).

Pianta di Giovan Battista Piranesi

La pianta fu stampata nel 1781 a opera di Francesco, figlio di Giovan Battista Piranesi. È costituita da sei fogli ed è disegnata in scala 1:1020, se rapportata all'attuale sistema metrico decimale. L'impostazione generale si rifà alla pianta di Contini, perché anch'essa include i ruderi in località Colli di Santo Stefano come appartenenti alla Villa. La questione più dibattuta riguarda l'attribuzione dell'opera. Giovan Battista Piranesi morì nel 1778 nel frontespizio della pianta, pubblicata come libretto nel 1781, e riportato il nome di Francesco Piranesi quale autore dell'incisione. Tuttavia è noto che Piranesi padre frequentò Villa Adriana fin dal 1741, come testimoniato dalla sua firma apposta sulle pareti del criptoportico sottostante il complesso del palazzo imperiale; inoltre, altri graffiti del 1763 e del 1765 dimostrano una frequentazione costante e, specialmente nell'ultimo decennio, intensa e rivolta allo studio della forma planimetrica della Villa. Ma un'ulteriore testimonianza a favore della tesi che l'autore dell'opera sia Giovan Battista proviene dal ritrovamento dello studio preparatorio a quello della planimetria definitiva. Questo elaborato ha la stessa scala della planimetria, è anch'esso organizzato su sei fogli, porta la data del 1777 e le annotazioni sono firmate da Giovan Battista Piranesi. Per ciò che riguarda invece la caratteristica prevalente dell'opera, si può affermare che permane, come nel caso di Contini, la volontà di oltrepassare il limite imposto dal contesto reale dei ruderi emergenti, per descriverli e interpretarli secondo le proprie conoscenze e la propria sensibilità. Quando osserviamo le piante di Contini e Piranesi viene sempre da chiedersi dove finisca la documentazione oggettiva e dove inizi l'interpretazione soggettiva. Ma nel caso di Piranesi la differenza è suggerita dal fatto che l'artista adottò un diverso segno grafico per distinguere le murature esistenti da quelle ipotizzate: un tratto pieno e continuo nel primo caso e un tratto leggero e puntinato nel secondo. Un'altra caratteristica dell'opera di Piranesi è connessa alla sua personalità artistica e, in particolare, alla sua attività di incisore. Infatti, la presentazione della planimetria è impostata scenograficamente, come se la stessa pianta fosse incisa su una lastra marmorea dai bordi irregolari, a sua volta agganciata al muro retrostante con alcune grappe metalliche. Inoltre, intorno al disegno sono riportati, sempre come se fossero incisi su una lastra marmorea, il frontespizio dell'intestazione e vari elementi architettonici, quali frammenti di colonna e bolli laterizi. Questo espediente scenografico rappresenta una costante dell'opera di Piranesi. Infatti, nelle vedute prospettiche disegna sempre in primo piano alcuni frammenti architettonici

che servono ad accentuare l'effetto di profondità. Nel caso della planimetria della Villa l'adozione di questo espediente serve ad avvalorare la finzione scenografica della rappresentazione sulla lastra marmorea. Ma c'è ancora un altro aspetto da segnalare: nella visione di Piranesi è rappresentato il gusto dell'epoca, il compiacimento per il fascino del rudere e, insieme a questo, anche il permanere della cultura barocca, che è possibile cogliere, per esempio, nel caso delle vedute, nell'indugiare dell'artista sulla descrizione della vegetazione che avvolge le strutture o, nel caso della pianta, quando si compiace di disegnare i bordi irregolari delle lastre marmoree, perfino della stessa iscrizione. Va osservato, tuttavia, che grazie alla sua esperienza di incisore e alla sua sensibilità artistica, quando Piranesi descrive la planimetria della Villa riesce anche a rendere l'effetto del rilievo e del chiaroscuro e a dare così risalto all'altimetria del terreno e al disegno del paesaggio circostante. L'opera di Piranesi è corredata da una serie di commenti, in tutto 434, in cui l'architetto descrive i vari edifici per ciò che riguarda le funzioni, le caratteristiche architettoniche, le eventuali opere d'arte rinvenute e le indicazioni circa le proprietà del sito. Molti studiosi hanno, almeno inizialmente, sottovalutato l'opera di Piranesi, forse perché attribuita al figlio Francesco. Ma occorre considerare che, pur riconoscendo a quest'ultimo un ruolo determinante soprattutto per aver dimostrato la capacità di risolvere i problemi che la pubblicazione dell'opera comportava, non si può disconoscere la complessità della stessa e il grande impegno richiesto rendendo poco verosimile considerarla il frutto di un giovane architetto, per quanto capace, come nel 1781 era Francesco Piranesi.



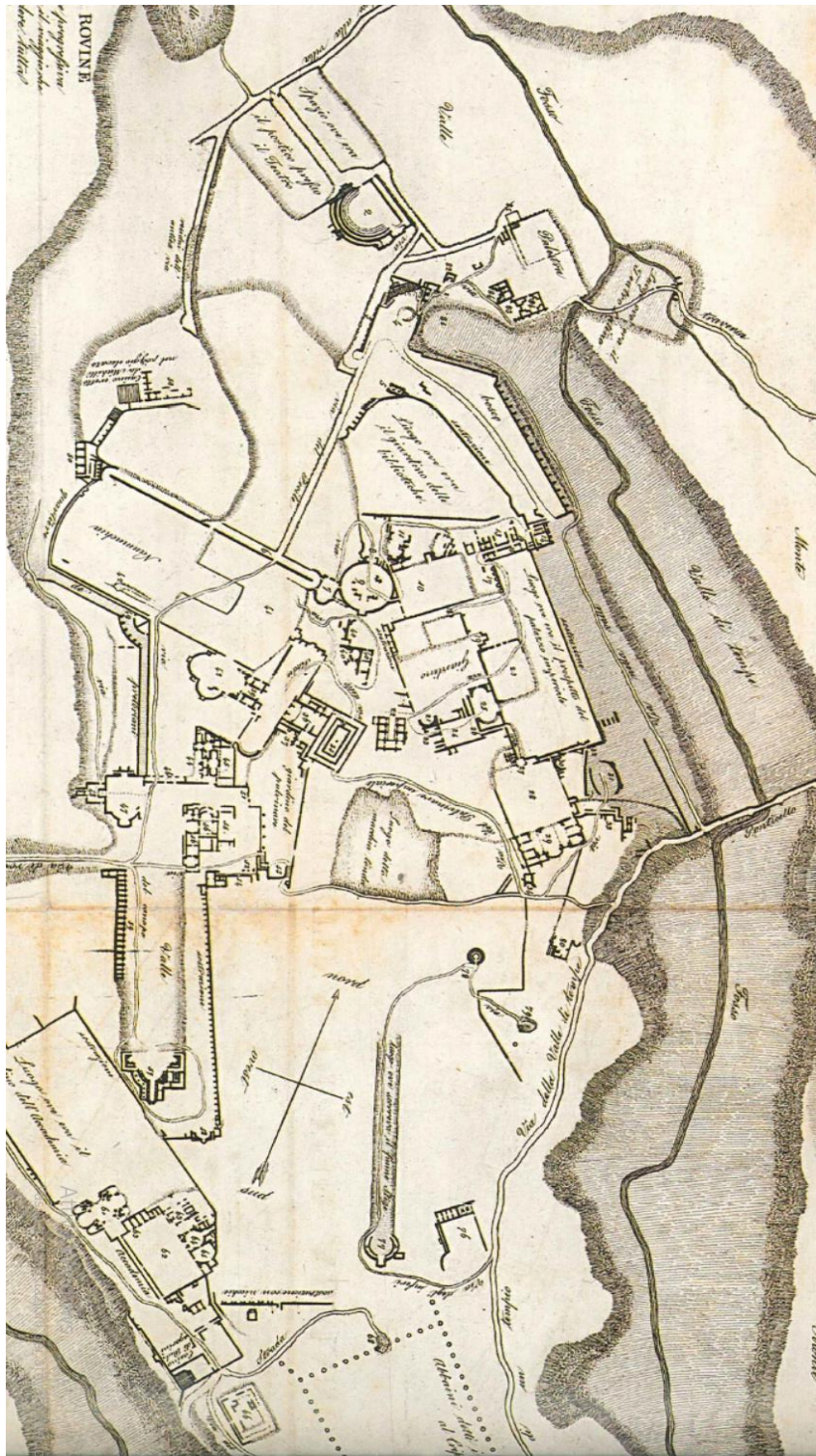
(immagine 33 da: Villa Adriana una storia mai finita)

“Rilievo e documentazione di uno spazio tricliniare collocato a nord dei Giardini di Palazzo della Villa Adriana”

Pianta Generale di Villa Adriana di Penna

Agostino Penna è, fra gli studiosi dell'Ottocento, quello che diede il maggiore apporto alla documentazione grafica su Villa Adriana. La sua ricerca, pubblicata tra il 1831 e il 1836 con il titolo *Viaggio Pittorico*, rappresenta una testimonianza fedele e particolareggiata di tutta la Villa. Essa si compone di una raccolta di vedute prospettiche, suddivisa in quattro volumi. Penna redasse e pubblicò anche separatamente la pianta di Villa Adriana con il titolo "Pianta della Villa Tiburtina di Elio Adriano Augusto, secondo lo stato attuale delle rovine. Dello studio di Penna fa parte anche una veduta prospettica dell'intero complesso archeologico (cm 116 x 74,5) intitolata *Veduta generale degli avanzi della Villa Tiburtina di Elio Adriano Augusto nelle vicinanze di Tivoli*. L'attività di Penna si caratterizza quindi per la sua complementarietà attraverso la lettura planimetrica si ha modo di localizzare i singoli punti di vista da cui sono state realizzate le vedute prospettiche, mentre la visione complessiva offre un'immagine dall'alto, sintetica, di tutto l'insieme. L'intento dello studioso fu quello di consentire al lettore una conoscenza del luogo il più possibile esaustiva. L'aspetto innovativo della sua opera va valutato sotto due prospettive: l'oggettività della rappresentazione, ottenuta attraverso immagini grafiche prive di ricostruzioni ipotetiche che possano indurre nel lettore equivoci interpretativi; la necessità di illustrare tridimensionalmente gli edifici e il loro contesto, progettando un percorso di visita consequenziale, attraverso il quale immaginare una sorta di viaggio virtuale all'interno della Villa. Nei singoli volumi che racchiudono le vedute della Villa, Penna accompagna ogni immagine con una pagina di commento, nella quale, oltre a illustrare e a ipotizzare le funzioni alle quali erano destinati i singoli edifici, aggiunge anche valutazioni critiche rispetto alle opinioni espresse dai suoi predecessori. La planimetria di Penna presenta la stessa impostazione di quelle di Contini e Piranesi, sia per quanto riguarda l'estensione della villa, comprendente i ruderi in località Colli di Santo Stefano, sia perché descrive il profilo perimetrale del cosiddetto Teatro Latino. Il disegno planimetrico si caratterizza per l'estrema linearità con la quale vengono individuati i singoli perimetri degli edifici. Infatti, le costruzioni più importanti ed emergenti sono contraddistinte con un segno netto e continuo, ma all'interno dei singoli comparti non vi sono ulteriori suddivisioni spaziali. Inoltre, di molti complessi si intuisce appena il volume o l'ingombro, come se si volesse lasciare intendere che si tratta di strutture ormai coperte di terra. Se si confronta la pianta di Penna con quelle dei predecessori, così ricche di particolari, si nota

innanzitutto una sorta di laconicità descrittiva. Forse questo può voler significare che il rilievo di Penna è avvenuto in una fase successiva a quella in cui le strutture erano state riportate alla luce e documentate graficamente da Contini e Piranesi. Ma indubbiamente significa anche che l'autore intende comunicare il senso di abbandono della Villa. La planimetria di Piranesi sembra quasi restituircela nella sua integrità, con le strutture ricostruite e delineate perfettamente, persino nel paesaggio, caratterizzato da alberature disposte secondo una maglia geometrica regolare. La pianta di Penna, invece, disegna appena i tratti di mura più importanti, accenna l'altimetria del terreno e i corsi dei fossi che circondano l'area archeologica. Per interpretare ancora meglio il rilievo planimetrico ci è d'aiuto la veduta generale dalla quale si può capire che effettivamente il paesaggio è caratterizzato da pochi ma significativi elementi emergenti: innanzitutto la struttura delle Cento Camerelle, che marca il territorio con il caratteristico andamento segmentato; il segno netto del muro del Pecile; il perimetro circolare del cosiddetto Teatro Marittimo; il complesso delle Tre Esedre leggermente evidenziato; la cavea del Teatro Greco; verso sud le sostruzioni della valle del Canopo con in testa la struttura voltata del Serapeo; infine, sul lato estremo, il complesso della Torre di Roccabruna quasi integro e, sullo sfondo, il cosiddetto Odeon. Tutte queste strutture, rispetto alla visione alla quale siamo abituati oggi, appaiono come affogate nella coltre della campagna circostante, prevalentemente incolta e caratterizzata da raggruppamenti di alberature di querce e cipressi. Quindi si può constatare come la pianta e la veduta descrivano in maniera coerente la stessa situazione architettonica e paesaggistica, dimostrando così la volontà di documentare il sito archeologico secondo aspetti prettamente realistici.



(immagine 34 da: *Villa Adriana una storia mai finita*)

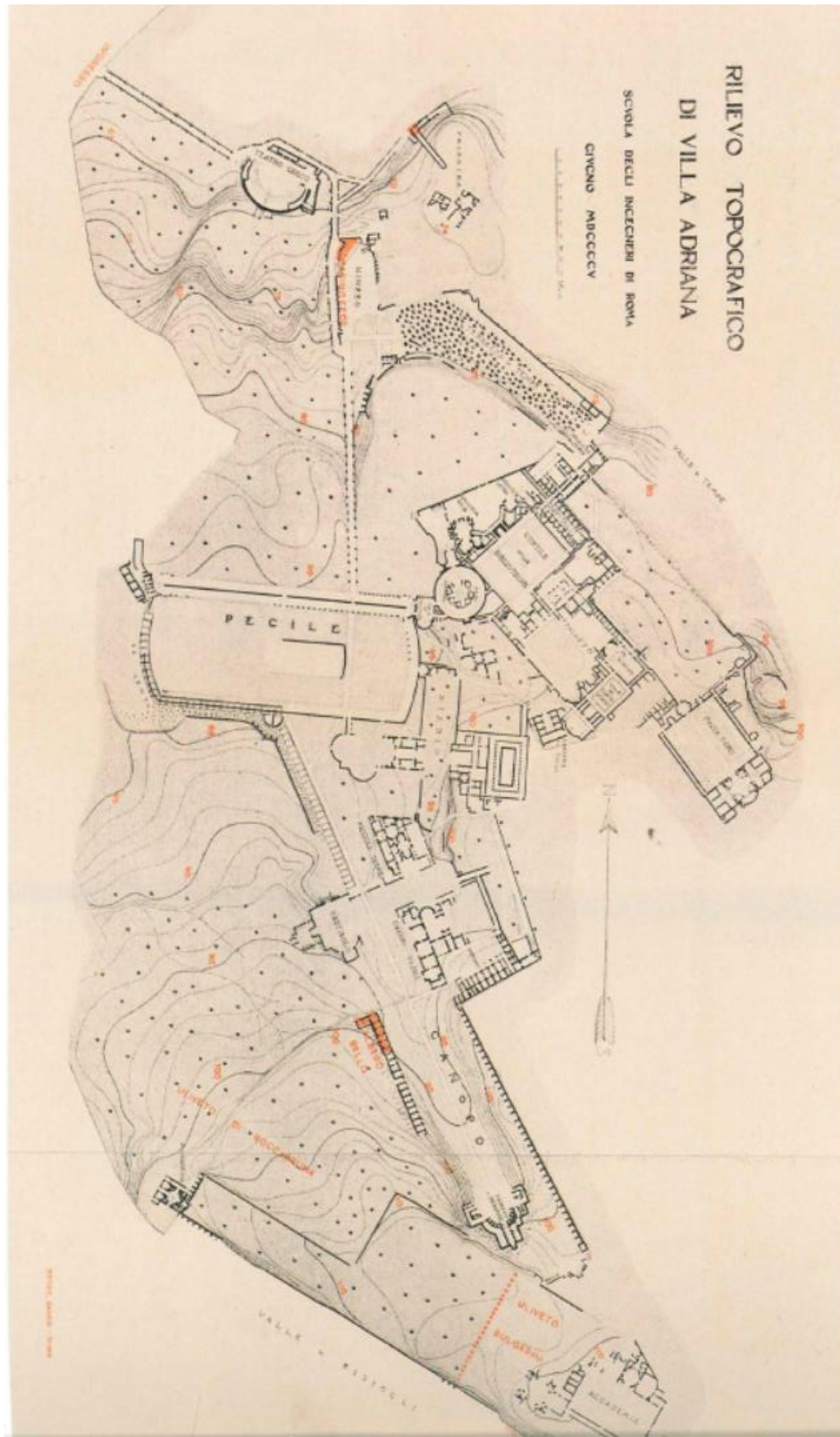
Pianta di Villa Adriana redatta dalla scuola di Ingegneria di Roma

Il rilievo della Scuola degli Ingegneri di Roma fu realizzato nel 1905 e pubblicato nel 1906. Si tratta di un evento che segna un importante cambiamento nella storia della documentazione di Villa Adriana, in quanto per la prima volta vengono rilevate le strutture archeologiche con l'impiego di nuove strumentazioni topografiche di notevole precisione. Nella pubblicazione del 1906, intitolata *La Villa Adriana: guida e descrizione*, Rodolfo Lanciani presenta il rilievo con queste parole: "La pianta, la cui riduzione dal 500 al 3000 noi offriamo agli studiosi e ai visitatori, è stata rilevata dagli alunni della Scuola degli Ingegneri di Roma nel giugno del 1905, sotto la direzione dei professori V. Reina e U. Barbieri.

È la prima e la sola pianta del Tiburtinum Hadriani che meriti fede assoluta, sia per la diligenza degli operatori, sia per la perfezione degli strumenti geodetici usati nel rilevarla, sia per la grande autorità di chi ha guidati i lavori. Essa rappresenta le fabbriche comprese dentro i confini della proprietà dello Stato, e accessibili liberamente ai visitatori". Dunque la notevole fiducia che Lanciani ripone nei confronti della planimetria della Scuola degli Ingegneri è certamente una garanzia circa l'effettiva esattezza dell'opera. Del resto occorre ricordare che lo stesso Lanciani, oltre a essere archeologo, era anche ingegnere e, in quanto tale, fermamente convinto che la documentazione scientifica dello scavo e più in generale delle strutture archeologiche dovesse essere prioritariamente subordinata al rilievo topografico, eseguito con la massima precisione. Già dalla metà dell'Ottocento i progressi delle scuole di architettura e ingegneria nel campo del rilievo e della rappresentazione grafica avevano trovato applicazione nella tecnica della pratica costruttiva quotidiana e quindi era ormai tempo di trasferire l'utilizzo di tali nuove metodologie anche nel campo archeologico, almeno secondo quanto ritenuto da Lanciani. Il disegno planimetrico in questione si presenta in una scala al 3000, in tutta la sua estensione: si tratta di una planimetria che non comprende alcune parti della Villa, come per esempio l'Odeon e gli Inferi, che non furono rilevati perché situati in proprietà privata. La stessa planimetria è riportata in una scala più di dettaglio, al 500, e suddivisa quindi in tre parti. Il disegno riporta anche le curve di livello e ciò costituisce un elemento di assoluta novità: l'altimetria consentiva di effettuare nuove valutazioni circa la conoscenza del sito archeologico, in quanto permetteva di mettere in relazione la forma degli edifici con l'orografia del territorio. Indubbiamente la caratteristica di questo rilievo è l'essenzialità del segno grafico, ma è pur vero che questa connotazione è in qualche modo rispondente sia alla necessità di porre chiarezza, di creare cioè riferimenti certi ed essenziali,

sia al fatto che nella realtà del contesto la gran parte degli edifici era prevalentemente nascosta dal terreno. Un'altra considerazione degna di nota che questo rilievo rappresenta una sorta di verifica topografica di tutte le planimetrie precedenti e si può tranquillamente affermare che nessun edificio del complesso archeologico si discosti sensibilmente dalla forma, dalla dimensione o dall'orientamento in base ai quali è stato rappresentato nelle piante di Contini, Piranesi o Penna.

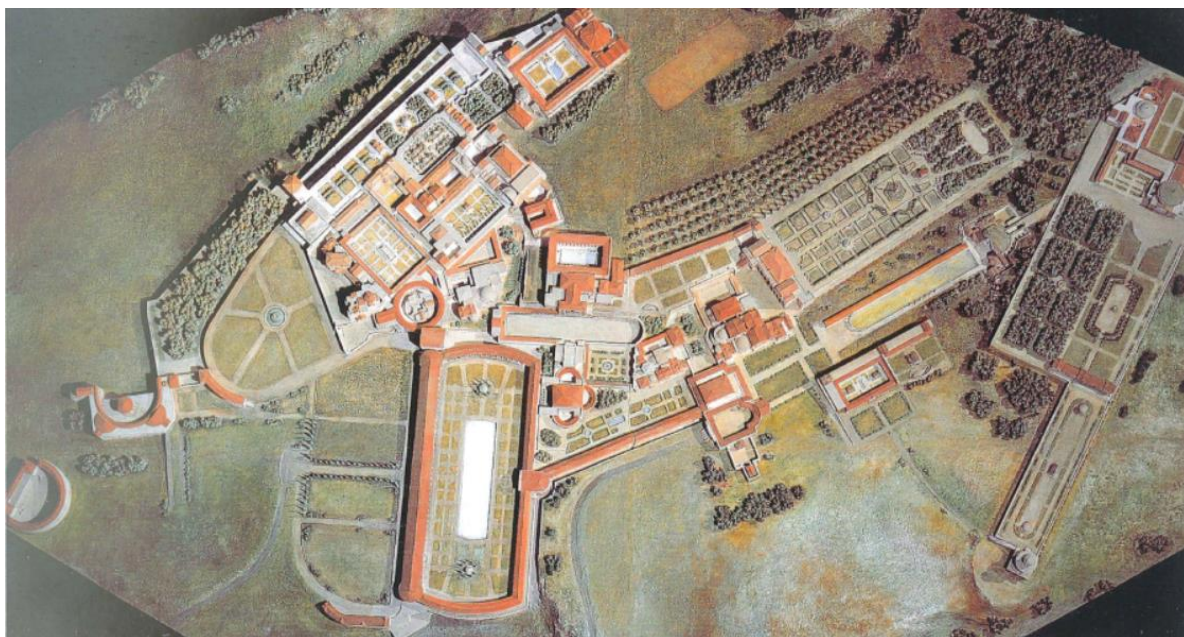
)



(immagine 35 da: Villa Adriana una storia mai finita)

Plastico di Villa Adriana di Italo Gismondi

L'architetto Italo Gismondi realizzò il plastico di Villa Adriana in due occasioni: la prima fu rappresentata dalla Mostra Augustea della Romanità, avvenuta nel 1938, la seconda in concomitanza con alcuni lavori di sistemazione effettuati nella Villa stessa. Sia il primo sia il secondo plastico vennero realizzati in base al rilievo effettuato dalla Scuola degli Ingegneri di Roma. Questo rilievo era infatti essenziale per la realizzazione della conformazione in scala dell'altimetria del territorio, oltre che per la precisione che richiedeva la disposizione degli edifici del complesso. La seconda versione, cioè quella conservata nella stessa Villa Adriana, fu realizzata nel 1956 ed è rispetto alla prima, più aggiornata, in quanto rielaborata una serie di acquisizioni che gli scavi realizzati in quegli anni avevano evidenziato. Per esempio Gismondi rielabora la zona del Canopo, che era stato oggetto di indagine in quello stesso periodo, modificando il lato nord del bacino d'acqua secondo la più idonea forma curva, oppure modifica la torre di Roccabruna adeguandola agli scavi e alle ricerche effettuate da Lugli, scegliendo così di riproporre la costruzione su due livelli piuttosto che su tre. Ma al di là di quelle che sono le specifiche notazioni di aggiornamento, il plastico di Gismondi rappresenta un utile strumento didattico, in quanto illustra in maniera sintetica ed efficace la complessità della Villa. È, se vogliamo, il punto di arrivo di una ricerca che muove i primi passi dagli studi di Ligorio, dalle planimetrie di Contini e Piranesi, in quanto la realizzazione del plastico, pur con le dovute differenze, è ispirata dalla stessa esigenza pressante di dare un'immagine ricostruttiva, anche a costo di commettere alcune imprecisioni e comunque correndo il rischio di essere smentiti dal continuo progredire delle indagini e dalla conseguente acquisizione di nuovi dati. L'utilità del plastico è rappresentata anche dal fatto che costituisce uno strumento di verifica ogni qual volta si intraprendono nuove indagini, poiché consente di rapportare immediatamente le singole situazioni all'intero complesso archeologico. Rappresenta inoltre un valido elemento di confronto per la formulazione di quelle ipotesi ricostruttive che si prospettano in occasione delle esecuzioni di nuove indagini conoscitive.



(immagine 36 da: Villa Adriana una storia mai finita)

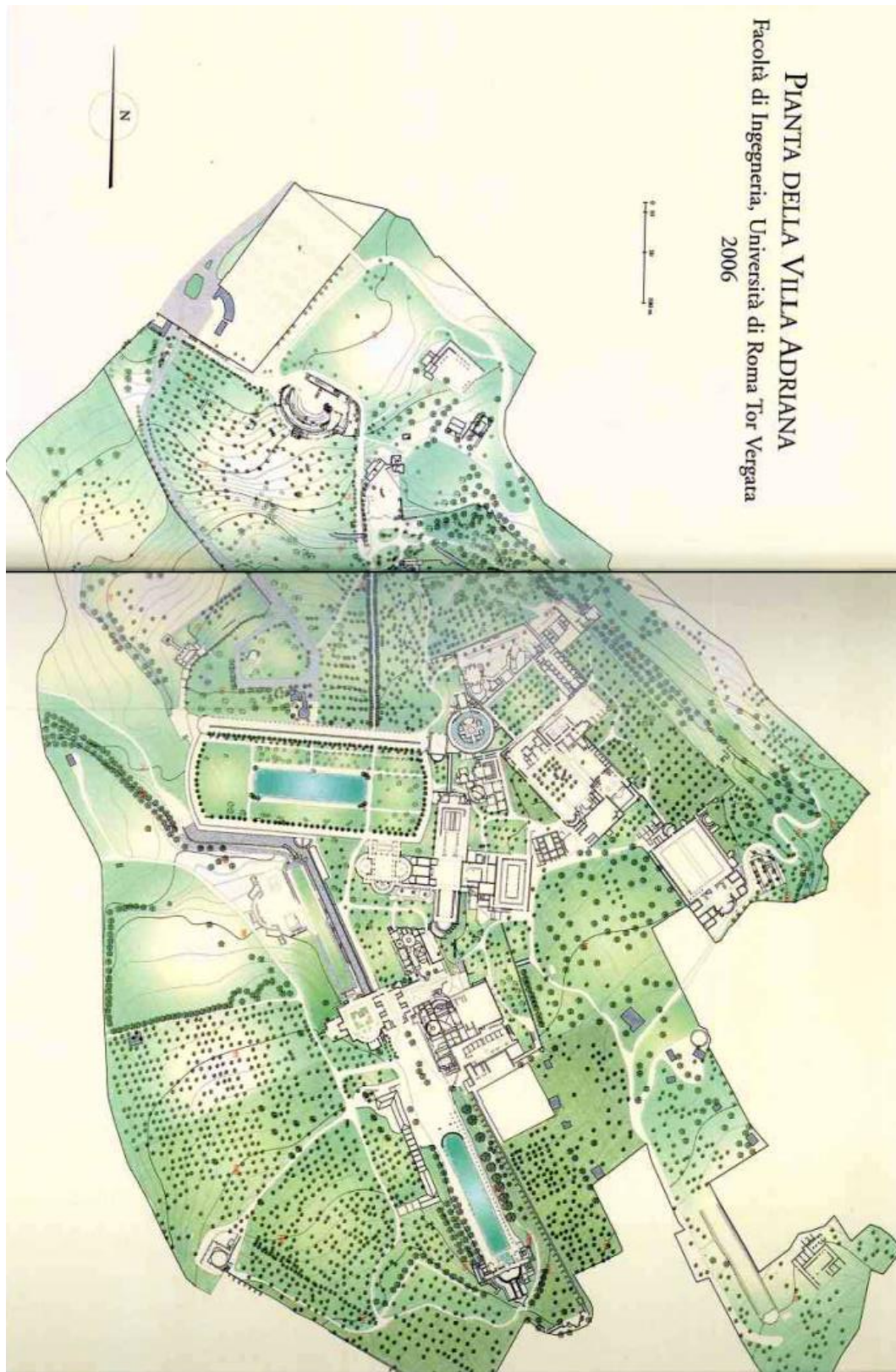


(immagine 37 da: Villa Adriana una storia mai finita)

Pianta di Villa Adriana redatta dalla facoltà di Ingegneria dell'Università di Tor Vergata

La pianta redatta dalla Facoltà di Ingegneria dell'università di Roma Tor Vergata rappresenta, in ordine di tempo, l'ultimo studio planimetrico effettuato su Villa Adriana. La novità essenziale di quest'opera, che vuole al tempo stesso celebrare il centenario della realizzazione della pianta della scuola degli Ingegneri di Roma, consiste nell'impiego delle moderne metodologie digitali. L'innovazione dunque non è di poco conto, poiché è chiaro che l'uso del CAD consente di rendere sempre aggiornabile il rilievo, permettendo di inserire gli apporti che provengono dalla continua attività della ricerca archeologica. Oltre tutto questo lavoro è ancora più apprezzabile perché è stato realizzato grazie al contributo determinante degli studenti, così come era nello spirito della pianta del 1905 (pubblicata nel 1906), alla quale appunto si ricollega idealmente. Entrando nello specifico, la pianta in oggetto è stata realizzata attraverso una rete di poligoni che ha collegato i principali complessi archeologici tra loro. Inoltre, è stata eseguita la rilevazione altimetrica del contesto inserendo anche il disegno delle alberature. Al di là delle caratteristiche proprie dell'elaborazione digitale, costituita dall'insieme dei layers, in cui sono ben distinte tutte le specifiche tecniche dello studio, quali la costruzione topografica, le linee del perimetro dei singoli edifici, i confini amministrativi dell'area archeologica, le curve di livello secondarie e principali, gli agganci con il sistema di riferimento catastale, occorre apprezzare anche la veste grafica con la quale la planimetria è stata presentata, che risulta anche molto accattivante.

Dal punto di vista della completezza il rilievo si è però limitato ai confini amministrativi, escludendo quindi la presenza dell'area nord – ovest, quali per esempio la cosiddetta Accademia, che peraltro era già stata compresa nella planimetria del 1905. La visione completa della villa, così come è stata sempre rappresentata dai tempi di Contini, dev'essere considerata una condizione necessaria per poter apprezzare pienamente la portata di questo grande impegno. La realizzazione dell'intera planimetria è premessa indispensabile anche per l'auspicata acquisizione delle aree archeologiche di Villa Adriana che ricadono nella proprietà privata e per lo studio delle strutture architettoniche che sono al di là degli attuali confini.



((immagine38 da: Villa Adriana una storia mai finita))

2.7. Le misure romane e le tecniche di misurazione

Sviluppo delle tecniche di misurazione dal commercio all'ingegneria militare

Lo sviluppo delle tecniche di misurazione e quelle economiche avvennero nello stesso momento. questo perché quando il baratto scomparve lasciando spazio agli scambi commerciali, nacque la necessità di possedere campioni tarati per regolare le vendite. I primi scambi avvennero attraverso la pesate un esempio è “aes rode”.

Successivamente l'uso del sistema di misure unificato divenne il mezzo attraverso il quale si poteva ottenere un preciso controllo durante la riscossione dei tributi o nell'elargizione dei terreni ai soldati. L'impero Romano per la sua estensione territoriale, il suo sistema politico burocratico e centralizzato, contribuì fortemente al miglioramento delle tecniche metrologiche. Altra caratteristica dell'Impero Romano era il potente e temuto esercito che divenne tale soprattutto grazie alle conoscenze tecnico ingegneristiche applicate in battaglia.

All'interno dei “Gromatici veteres, gromatici antichi”, si può comprendere come l'ingegneria militare fosse strettamente correlata all'approccio tecnico del *Corpus agrimensorum Romanorum* (opere di agrimensura). L'ingegneria militare romana durante le numerose campagne belliche si sviluppò precocemente e con essa anche la geometria che andava a supportare le esigenze pratiche quotidiane come la costruzione di trincee, passaggi e strade. Nell'edificazione dei ponti già a quel tempo si era in grado di determinare in tempi rapidi la larghezza dei fiumi osservandone il parallelismo delle sponde. Durante le fasi strategiche operative l'uso della geometria permetteva in breve tempo stimare le distanze dal nemico, le dimensioni del territorio con successiva pianificazione e disposizione dell'accampamento. mentre nelle fasi d'azione era usata per comprendere le dimensioni del campo di battaglia con il successivo posizionamento di macchine belliche: catapulte, baliste, onagro e scorpioni.

L' unità di misura romana : il pes

Il concetto di misura si fondava sull'idea che essa fosse una bellezza finita, che nasceva attraverso una distribuzione precisa d'intervalli uguali tra loro.

L'unità di misura veniva scelta in base a determinate caratteristiche quali: semplicità, reperibilità, riproducibilità e precisione.

I primi tre criteri hanno spinto gli studiosi del tempo ad utilizzare unità antropometriche.

Durante il passare del tempo i sistemi di misure cambiarono, i greci inizialmente ritenevano che il 10 fosse il numero perfetto, poiché 10 erano le dita presenti nelle mani ed anche Platone confermò la perfezione di questo numero perché esso conteneva le singole unità.

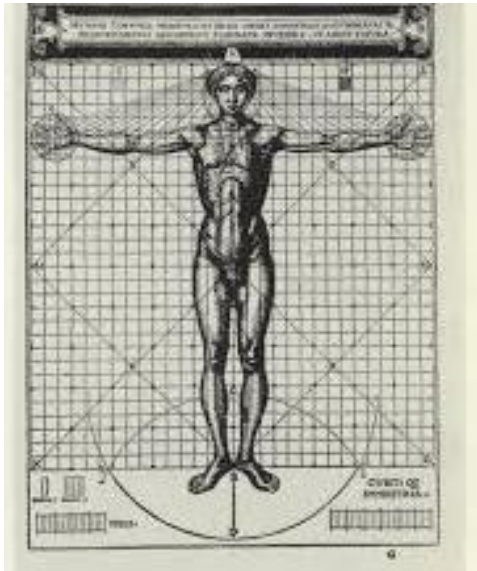


Immagine 39

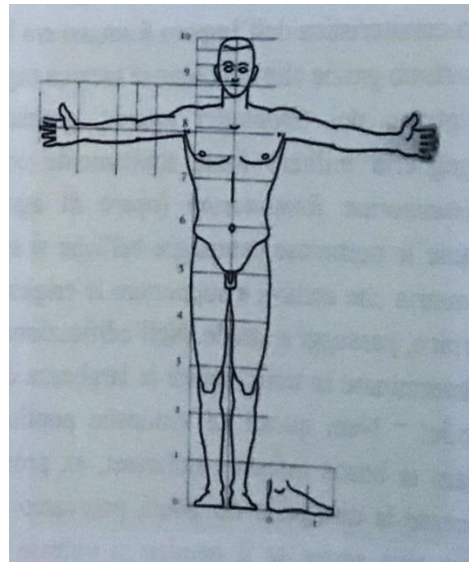


immagine 40

Nel De Architettura Vitruvio scrisse: “Come nel corpo umano la proprietà simmetrica dell'euritmia deriva dalla proporzione fra gomito, piede, palma della mano dito ed altre piccole parti, lo stesso avviene nella realizzazione delle opere. I matematici romani ritennero che il numero più appropriato per essere definito perfetto fosse il sei. Ragionando sempre per mimesis il piede dell'uomo corrisponde alla sesta parte della sua altezza e dunque il corpo umano risultava essere limitato a sei misure. Dal 6 iniziò a nascere una classificazione numerica in cui i numeri inferiori ad esso si conteggiavano mediante divisione(l'uno era il

sesto, il due era il secondo, il tre era la metà e così via) mentre per i numeri maggiori ad esso si aggiungono determinate quantità ad esempio il numero 8 era uguale a 6 più il terzo ovvero 2. La cultura romana prese spunto sia da quelle egizie che greche per riprodurre il metodo di misurazione lineare. Ad esempio nell'affrontare il problema della variabilità dell'unità di misura da persona a persona gli egizi scelsero di uniformare tutto alla misura del cubito del faraone in carica, i romani a loro volta uniformarono la loro attraverso l'unità del piede romani (pes).

Il prototipo del PES ROMANUS era collocato nel tempio di Iunio Moneta ed è per questa ragione che anziché Romanus si può denominare Pes Monatelis. L'ingegnere romano Sandriè sostiene che il piede era già in uso nel mondo greco ed etrusco e derivato da quello attico che misurava circa 29.65 cm. I metrologi hanno tutt'oggi pareri discordi circa il valore metrico del piede, ma l'equivalente metrico normalmente accettato è di cm 29.6.

I pareri controversi nascono dalle diverse testimonianze rivenute nel corso degli anni negli edifici e annotazioni romane. Ad esempio nella casa di Giulio Polibio a Pompei e su alcune tavole reperite ad Eraclea al piede si attribuiva una lunghezza pari a 27-28 cm probabilmente questa unità era adottata dalle popolazioni osco-umbre.

Nell'interpretazione e traduzione del filologo tedesco Kral Lachmann del Corpus agrimensurum il piede riportava una lunghezza pari a 29.57 cm. In alcuni aree di Villa Adriana a Tivoli è stato riscontrato un piede pari a 29.56 come nel tempio di Venere. Nella Villa imperiale tiburtina a seguito di analisi geometriche dell'Ara sepolcrale di Statilius Aper il piede romano venne stimato pari a 29.20 cm. Nella zona del triclinio è stato necessario capire quale piede fosse stato adottato e a quale distanza si ripetessero gli interassi della maglia planimetrica.

Misure lineari e di superficie

Il pes poteva essere ripartito o moltiplicato e così nacquero le unità di misura lineari utilizzate dai romani. Il piede corrispondeva o a 4 palmi, o 12 unciæ o 16 digiti dove il digitus era la misura romana più piccola con cui poteva essere ripartito il piede, e nel caso vi fossero state misure più piccole si usava quest'ultimo.

Ai fini della ricerca modulare è stato necessario creare delle tabelle in cui si sono catalogate tutte le misure lineari e superficiali maggiormente utilizzate dai romani così che durante l'analisi sia planimetrica che altimetrica si potessero avere i giusti riferimenti. È stato preso come riferimento il pes di lunghezza 0.296 m ovvero quello normalmente accettato.

Unità romana	Latino	Piede	SI decimale
dito	digitus	1 / 16	18,525 mm
palm	palmus	1 / 4	7,41 cm
piede	pes	1	29,64 cm
cubito (gomito)	cubitus	1½	44,46 cm
passo semplice	gradus	2½	0,741 m
passo doppio	passus	5	1,482 m
pertica	pertica	10	2,964 m
atto (arpento)	actus	120	35,568 m
stadio	stadium	625	185,25 m
miglio	miliarius	5000	1,482 km
lega	leuga	7500	2,223 km

Misure di lunghezza romane (Immagine 41 da: www.romanoimpero.com)

Unità romane	Latino	Actus Quadratus	SI decimale
piede quadrato	pes quadratus	1 / 14 400	~ 878 cm ²
pertica quadrata	scripulum	1 / 144	~ 8,78 m ²
	actus minimus	1 / 30	~ 42,2 m ²
verga	clima	1 / 4	~ 316,25 m ²
acro	actus quadratus	1	~ 1265 m ²
iugero	iugerum	2	~ 2529 m ²
eredio (mattutino)	heredium	4	~ 5059 m ²
centuria	centuria	400	~ 50,6 ha
"quadruplica" (salto)	saltus	1600	~ 202,3 ha

Misure di superficie romane (Immagine 42 da: www.romanoimpero.com)

3. Modellazione Reality Based

Come modellazione reality based, talvolta definita anche come reverse modeling, si intende quel processo con cui avviene la creazione di un modello digitale tridimensionale a partire dall'oggetto reale. “ Il Reverse Modeling (RM) è il processo con il quale è possibile dedurre la rappresentazione della forma dall'acquisizione digitale del modello fisico. Le finalità del processo possono essere diverse, nel design può essere utilizzato sia per le operazioni di restyling che per operazioni più prettamente progettuali. Attualmente le metodologie e le tecniche utilizzate non seguono delle procedure standard, mostrano invece una dicotomia di comportamenti nei confronti del problema, in alcuni casi sono prevalenti le operazioni artigianali, in altri le azioni mirano al massimo rigore per il conseguimento dell'estrema accuratezza nel risultato. Nel processo progettuale dell'oggetto di design, il RM ha un ulteriore compito, risolvere lo scollamento esistente tra il prototipo ed il modello progettato, assumendo un ruolo attivo nel percorso ideativo dell'oggetto.

Solo una ricerca sperimentale di tipo applicativo consente di analizzare i problemi, i metodi e le tecniche di conversione da un modello numerico (nuvola di punti , rilievo) al modello matematico (progetto digitale).”⁴

Il Reverse Modeling non trova corrispondenza in un'unica tecnica universale applicabile, al contrario sono numerose le metodologie a disposizione, ognuna delle quali si adatta meglio a diverse tipologie di rilievo. Spesso è addirittura difficile saper a priori quale possa essere la tecnica più indicata al proprio caso di studio, occorre procedere sperimentalmente valutando di volta in volta il risultato prodotto da ciascun rilievo.

Nel rilievo della zona settentrionale di Piazza d'Oro, sono state impiegate due tecniche di rilievo la prima consiste nel rilievo tridimensionale tramite scansione laser (laser scanner), la seconda, definita Structure from Motion (Sfm), con la quale è avvenuta l'acquisizione del colore proprio dei muri ed è stata creata la texture applicabile al modello 3D.

⁴ *Il Reverse Modeling per il progetto di design – Michele Calvano, 2012*

3.1. Acquisizione dati con laser scanner (sensori attivi)

Il rilievo 3D con laser scanner permette di ottenere un modello 3D in scala e orientato nello spazio dal momento in cui si caricano le **range maps** acquisite, mentre nella fotomodellazione, occorre misurare la distanza tra i diversi punti omologhi, che possono essere ad esempio, punti naturali o target applicati sulla superficie da rilevare.

In occasione della campagna di rilievo per Piazza d'Oro è stata utilizzata una strumentazione a “**Sensori Attivi**” anche detta **range-based**.

Gli strumenti basati sui sensori attivi emettono un segnale elettromagnetico con luce laser che viene poi registrato dalla strumento per ricavarne una misura di distanza (range), in un tempo relativamente breve e con un'accuratezza⁸ che varia in base al tipo di apparecchio utilizzato.

La misurazione della distanza viene ottenuta senza necessità di contatto con la superficie di cui si effettua il rilievo; tale misura si ottiene dal dispositivo grazie alla misurazione della porzione di luce riflessa che viene determinata dal sensore in relazione alla misura note emessa dalla sorgente.

I sensori attivi possono così fornire direttamente una grande quantità di dati 3D e in breve tempo, permettono di ottenere come risultato una nuvola di punti densa e non strutturata (da cui bisognerà estrarre gli elementi più significativi), con informazioni metriche della superficie rilevata.⁹

Il rilievo effettuato con Laser Scanner opera misurando decine di migliaia di punti al secondo, permettendo la creazione di una “nuvola di punti” e per ogni misurazione in base alla densità della nuvola di punti che viene scelta dall'operatore, il sistema fornisce l'intensità del segnale di ritorno che descrive la superficie dell'oggetto scansionato.

⁸ *L'accuratezza è il “grado di concordanza tra il risultato di una misurazione e il valore vero del misurato” (Modelli digitali 3D in archeologia: caso di Pompei, B. Benedetti, M. Gaiani, F. Remondino, Edizione della Normale di Pisa, 2010, pag 355).*

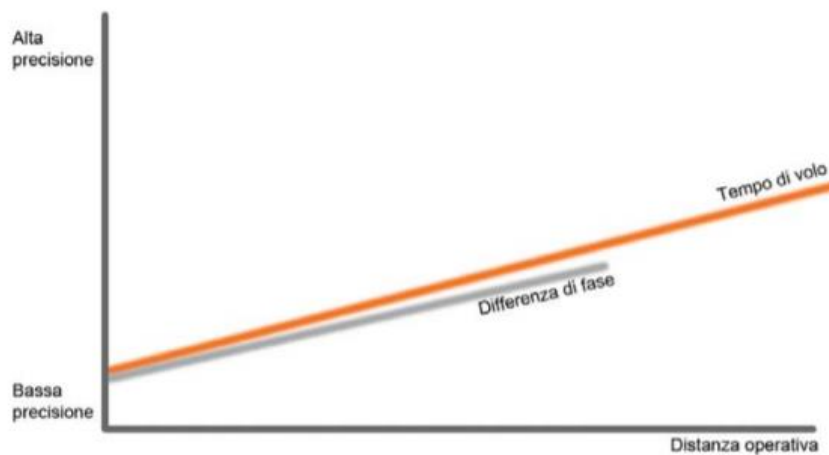
È la parte di errore dovuta a cause di carattere sistematico. La variazione di una misura è originata principalmente da due fattori: il primo dovuto dal fatto che si ha una condizione diversa da quella prevista teoricamente, il secondo è dovuto alle possibili variazioni aleatorie di parametri che interferiscono nel processo di misurazione.

⁹ *Nel caso si utilizzi Laser scanner con fotocamera integrata si avranno anche informazioni sulla cromaticità dell'oggetto di rilievo.*

Le due campagne di rilievo sono state effettuate in due periodi diversi, in cui:

- La prima si è svolta nel 2014 con una strumentazione Laser Scanner a variazione di fase “Z+F Imager 5010 C”;
- La seconda campagna invece è stata effettuata nell’aprile del 2015 con il Laser Scanner “Leica Scanstation C5”, strumento con principio di funzionamento con tempo di volo.

La differenza con due sistemi diversi sta nel fatto che i sistemi a “variazione di fase” (Phase Shift) permettono di misurare la distanza attraverso l’emissione, dal Laser Scanner, di un’onda modulata, che è calcolata confrontando la fase dell’onda emessa con quella ricevuta dopo la riflessione della superficie oggetto di studio; mentre quella a “tempo di volo” (T.o.F., Time of Flight) sono dei sistemi che misurano la distanza attraverso la misurazione del tempo impiegato dalla luce Laser per raggiungere l’oggetto e ritornare al sensore, e sono utilizzati per il rilievo 3D di grandi superfici o siti.



Schema che definisce l’andamento qualitativo della precisione nel posizionamento di un punto di scanner a tempo di volo e a differenza di fase.(immagine 43 da: www.geomaticaeconservazione.it)

Gli strumenti utilizzati per la misurazione della distanza, sia a tempo di volo che differenza di fase, vengono definiti scanner distanziometrici, o ranging scanner.

Dal prodotto finale tirato fuori dalla prima campagna di rilievi è stato possibile notare che gli scanner a variazione di fase risentono maggiormente delle condizioni ambientali avverse e dalle tipologie di materiale dell’oggetto. Una delle più importanti cause di errori che interferiscono nell’accuratezza e nell’incertezza di un rilievo con sensori attivi è:

- **Penetrazione della luce sulla superficie**, dove ciò causa la riflessione di un segnale a diversa profondità, dovuto alle proprietà del materiale, come da esempio nel marmo in **quanto si presenta come una superficie traslucida**.
- **Differenza di misura**, che sono causati dallo spostamento della misura de centroide dell'immagine dello spot rispetto ad una superficie perfetta.

Durante la prima campagna di rilievo si è utilizzato lo scanner fisso a variazione di fase **Z+F IMAGER 5010C** e le sue caratteristiche sono :

- Fotocamera calibrata integrata;
- Immagine a colori ad alta risoluzione grazie alla Z+F high Dynamic Range Technology;
- Scansione a 360° a 80 Mpixel;
- Sensore laser alta velocità;
- Sicurezza garantita dalla classe 1 del laser;
- Conforme a IP 53: resistente ad acqua e polvere;



Durante la seconda campagna di rilievo si è usato uno scanner fisso a tempo di volo **Leica Scanstation C5** e le sue caratteristiche sono:

- Fotocamera digitale ad alta risoluzione integrata, autoregolante con zoom per riprese video;
- Scansione a 360°x270°, immagine singola 4 Mpixel;
- Sensore laser ad altissima velocità compatto;
- Sicurezza garantita dalla classe 3R (IEC 60825 – 1) del laser;
- Conforme a IP 54: resistente a polvere e acqua;
- Funzionamento garantito da pieno sole a buio completo.



Per l'esecuzione del primo rilievo, sono stati utilizzati dei **rad coded target**, mentre nel successivo rilievo sono stati utilizzati dei punti naturali (come spigoli o punti riconoscibili in entrambi le scansioni) su cui fare riferimento per unire in fase successiva le varie scansioni. Per ogni registrazione occorre che vi siano tre punti in comune o tre target posti su piani differenti; in fase di progettazione si è perciò pensato su come apporre i target (nel primo rilievo) in modo da non avere problemi durante la fase di registrazione delle

scansioni, avendo cura che durante la fase di messa a registro delle scansioni, si abbiano tra una scansione e l'altra almeno 3 punti in comune.

Prima di eseguire le scansioni con il Laser Scanner durante la campagna di rilievo dell'aprile 2015 con scanner a tempo di volo è stato in primis posizionato il treppiede cercando il più possibile di metterlo con la base in posizione orizzontale, poi montato il laser Scanner su di esso, ed una volta che è stato fissato si è messo in bolla lo strumento.

Dopodichè sono state definite le impostazioni dello strumento in base al tipo di scansione che si voleva ottenere , è stata creata una cartella in modo da poter suddividere le varie scansioni effettuate nei diversi monumenti, ed è stata realizzata per prima una scansione a bassa densità di tutta la visuale dello scanner, e terminata la scansione è stata selezionata la porzione che interessava maggiormente e scansionata di nuovo a media densità.(infittimento).

Una volta effettuate tutte le scansioni, occorre scaricare tutto il materiale dello scanner sul computer e filtrare le nuvole di punti in modo da eliminare il rumore eccessivo, determinato ad esempio dalla luce del sole.

A seconda del tipo di programma che si utilizzerà nelle fasi successive, è necessario scaricare le scansioni in determinati formati. Il programma con cui abbiamo scelto di lavorare è stato "**Leica Geosystems Cyclone 6.0**", per cui i file sono stati scaricati ed esportati in formato PTX.

3.2. Acquisizione dati tramite sensori passivi

Per definizione, sistemi a sensori passivi non necessitano di fonti luminose esterne, ma acquisiscono la luce già presente nella scena. Sono tecniche di rilievo tipiche della topografia e fotogrammetria, ed una di queste è lo strumento from Motion (SfM). Con structure from Motion è definita una tecnica di generazione 3D tramite acquisizione di immagini 2D. l'input è costituito da un set di fotografie che ritraggono l'oggetto del rilievo da diverse angolazioni; l'output è costituito da una scena contenente il modello 3D dell'oggetto provvisto di texture del colore e la posizione e l'orientamento della camera in corrispondenza di ogni foto.

“Basata su algoritmi di computer vision, la SfM estrae i punti notevoli delle singole foto, desume i parametri fotografici e incrocia i punti riconoscibili su più foto, trovando le coordinate nello spazio dei punti stessi.”¹⁰ La prima operazione svolta dal software dedicato alla Structure from Motion consiste nell'individuare per ogni foto un insieme di punti notevoli determinando quelli omologhi nelle varie foto. “ Alla base della SfM c'è un algoritmo chiamato SIFT, che sta per “Scale – Invariant feature Transform”. Si tratta di un metodo che estrae i punti notevoli da un immagine, raggruppandoli allo scopo di fornire un “riconoscimento di forme” per la computer vision.”¹⁰

Applicando trasformazioni di rototraslazione alle singole foto, in modo tale da far combaciare i punti omologhi nello spazio tridimensionale, il software è in grado di determinare la posizione nello spazio dei punti omologhi individuati in precedenza, punti che in realtà fanno parte dell'oggetto rilevato. L'obiettivo di questa fase non è tuttavia la creazione del modello 3D, ma la determinazione di posizione o orientamento delle camere. L'insieme di punti generato è infatti definito nuvola rada, o sparse cloud, dato che il numero di punti è troppo basso per visualizzare un modello tridimensionale con un dettaglio soddisfacente (i punti sono stati impiegati solamente per determinare l'orientamento delle camere). L'operazione successiva permette la creazione della nuvola densa, o densa cloud, posizionando un elevato numero di punti determinati dalla corrispondenza tra i fotogrammi. In seguito avviene la creazione del modello 3D vero e proprio, tramite la triangolazione della nuvola di punti. Fase finale, consiste nella proiezione dei fotogrammi scattati sul modello 3D per generare la texture.

¹⁰ Expportocanoma.blogspot.it – SfM – Structure from Motion (prima parte)

4. Creazione del modello tridimensionale

Le scansioni tridimensionali fornite dal Laser Scanner, nonostante l'elevata precisione dei dati forniti, non sono pronte per l'utilizzo da parte degli utenti finali. Innanzitutto, le scansioni non rappresentano un modello tridimensionale, ma sono un immenso insieme di punti (nuvola di punti) con coordinate spaziali difficilmente interpretabili a livello visivo e che quindi non fornisce un supporto utile agli scopi finali quali la documentazione o lo studio archeologico/architettonico. Inoltre, nel caso di scansioni multiple (spesso necessarie per rilevare un'estesa scena nella sua interezza), le nuvole di punti devono essere unite in modo da generare un unico modello complessivo. Nella stessa fase è necessario rimuovere tutte quelle aree scansionate dallo scanner che tuttavia costituiscono elementi indesiderati o appartenenti all'intorno. Altro ostacolo all'utilizzo finale del modello riguarda la dimensione finale dello stesso e le capacità computazionali che richiede per la visualizzazione tridimensionale. Occorre eseguire un processo di alleggerimento che permette l'utilizzo e l'esplorazione del modello da parte di utenti tramite tradizionali personal computer.

“ Nella modellazione tridimensionale digitale dei beni culturali un tema sicuramente non facile riguarda l'eterna dualità tra la capacità del modello di rappresentare verosimilmente la realtà, e l'impiego computazionale per restituire adeguatamente questa somiglianza al soggetto fruitore. Sappiamo bene che quando il modello nasce da un processo di acquisizione la mesh che lo descrive è formata da tante piccole faccette poligonali, i cui vertici sono proprio i dati acquisiti strumentalmente. Se deve essere rappresentata una geometria molto articolata dovrà essere impiegata un'elevata risoluzione. In altri termini il processo di scansione implica un campionamento spaziale con una densità tanto più elevata quanto maggiore è la ricchezza formale dell'oggetto da scansionare.”¹¹

Per determinare il campionamento ci si basa sul teorema di Nyquist-Shannon, originariamente formulato nella teoria delle comunicazioni. Il teorema afferma che per ricostruire l'andamento analogico di una funzione sinusoidale, occorre avere un campionamento ogni mezzo periodo T . Trasportando il teorema in chiave di rilievo, dato il minimo dettaglio (espresso in mm) che si vuole rilevare (equivalente al periodo T), il campionamento dovrà avere una precisione pari a metà di tale valore.

¹¹ Il ritorno all'immagine – Nuove procedure image-based per il cultural per il cultural heritage, Giorgio Verdiani, 2011

“Questa stima in nel caso citato ¹² fornì un valore minimo del dettaglio pari a mezzo millimetro, e il passo di campionamento fu stabilito in 0.25 mm, il che significa, per una forma più o meno cilindrica alta 180 cm e con una base di mezzo metro, un numero di punti pari a circa 30 milioni. Considerando che ogni punto ha tre coordinate spaziali (x, y, z), e che ogni coordinata è costituita da un numero floating-point (32 bit = 4 byte), possiamo andare avanti nel ragionamento stimando che il file finale possa avere una dimensione approssimativamente pari a $30 \times 3 \text{ componenti} \times 4 \text{ byte/componente} = 360 \text{ Mbyte}$.

Visualizzare un modello come questo è tuttora non banalissimo se non si dispone ai un'adeguata quantità di memoria, e di un hardware di accelerazione grafica che velocizzi la formazione dei singoli frame di restituzione del modello ombreggiato. All'inizio degli anni 2000 richiedeva addirittura un computer di punta, appositamente configurato allo scopo. Ebbene, se queste sono le dimensioni in gioco (e adesso a oltre dieci anni di distanza si arriva agevolmente a superare questi numeri di un fattore dieci), il fatto che si tenda a render pubblici e fruibili dati e modelli tridimensionali riferiti ai Beni Culturali se da un lato è ricco di implicazioni straordinarie dal punto di vista dell'utente, d'altra parte rende sempre più urgenti gli sforzi nella direzione dello sviluppo di metodologie di visualizzazione del modello digitale che rendano meno oneroso il passaggio dal dato digitale 3D ai rendering bidimensionali che lo rappresentano, tanto più tra il modello digitale e la sede dove si forma la sua visualizzazione, ci sia di mezzo una rete di comunicazione.”¹²

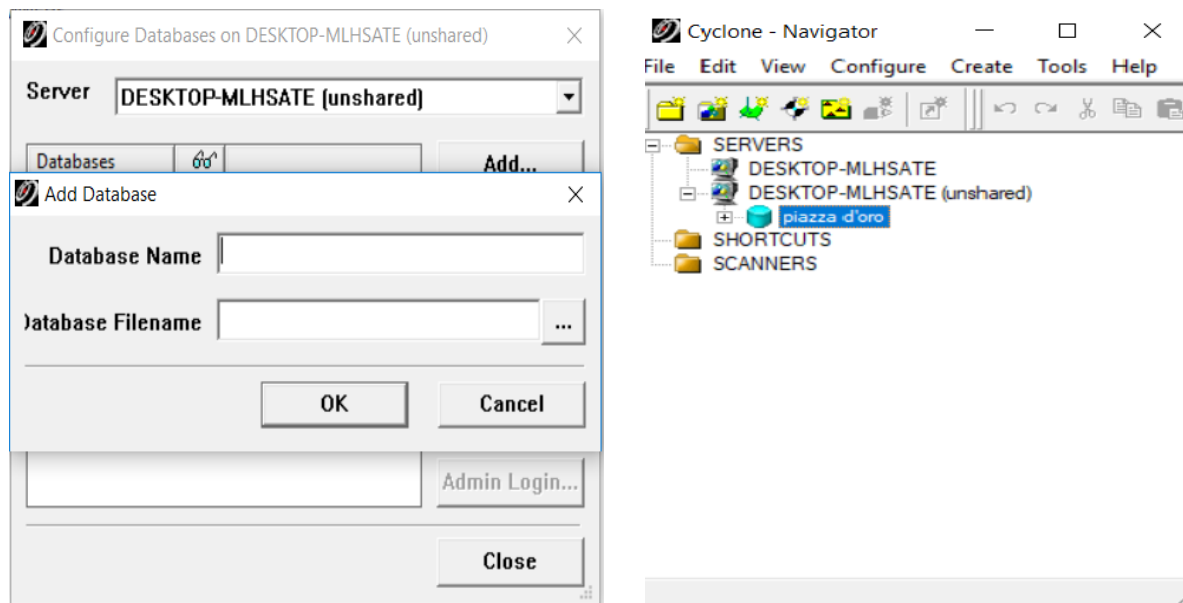
¹² High accuracy 3D modeling of Cultural Heritage: the digitizing of Donatello's "Maddalena" IEEE Transactions on Image Processing, Guidi G, Beraldin J-A, atzeni C., 13-3 (2004), pag 370-380.

4.1 Elaborazione dati : Leica Geosystems Cyclone 6.0

Messa a registro delle scansioni

Scaricate ed esportate tutte le scansioni dal Laser Scanner occorre effettuare la messa a registro, in modo da ottenere una nuvola di punti completa che comprende tutte le diverse scansioni effettuate durante il rilievo in Piazza d'Oro.

Per eseguire la messa a registro occorre innanzitutto creare un nuovo “database” che permette di inserire e registrare a suo interno tutte le registrazioni effettuate con il Laser Scanner.

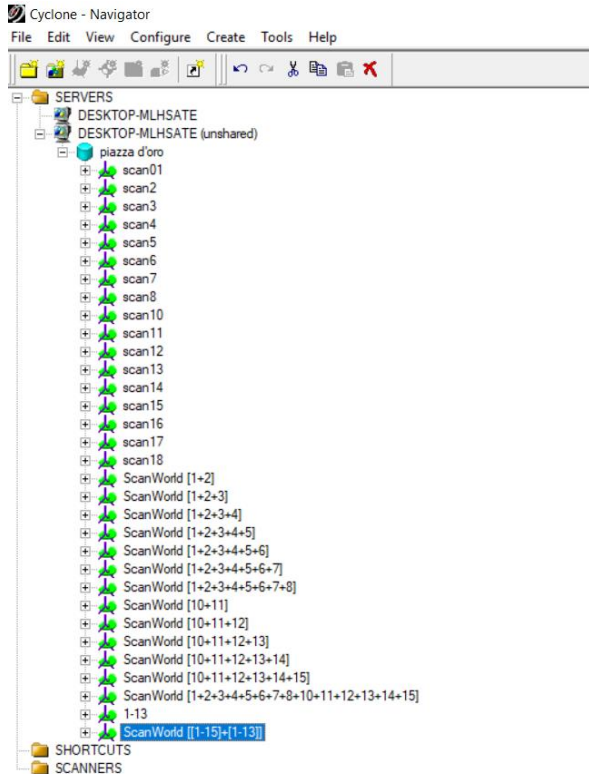


Creazione del database (Immagine 44/45)

Il file di database che verrà a crearsi sarà un file di Cyclone, quindi in formato IMP.

In realtà era già stato creato un database con le scansioni eseguite nel rilievo del 2014, e si potevano inserire le scansioni effettuate all'interno del database esistente, in modo da avere una point cloud ancora più completa; ma si è preferito crearne uno nuovo in maniera da poter evidenziare le eventuali differenze dovute all'utilizzo di Laser Scanner diversi, e da poter confrontarli in seguito. Il file creato sarà in formato .IMP, e conterrà al suo interno un database in cui sono state inserite tutte le scansioni in formato .PTX con le relative registrazioni, e permetteranno di ottenere un'unica nuvola di punti complessiva del secondo rilievo. L'operazione di inserimento delle diverse scansioni ha richiesto pochi minuti in quanto i file non erano di grandi dimensioni.

Una volta importata la scansione, questa diventa uno “Scanworld” che al suo interno conterrà diverse cartelle e le più importanti sono: il control space e il model space.



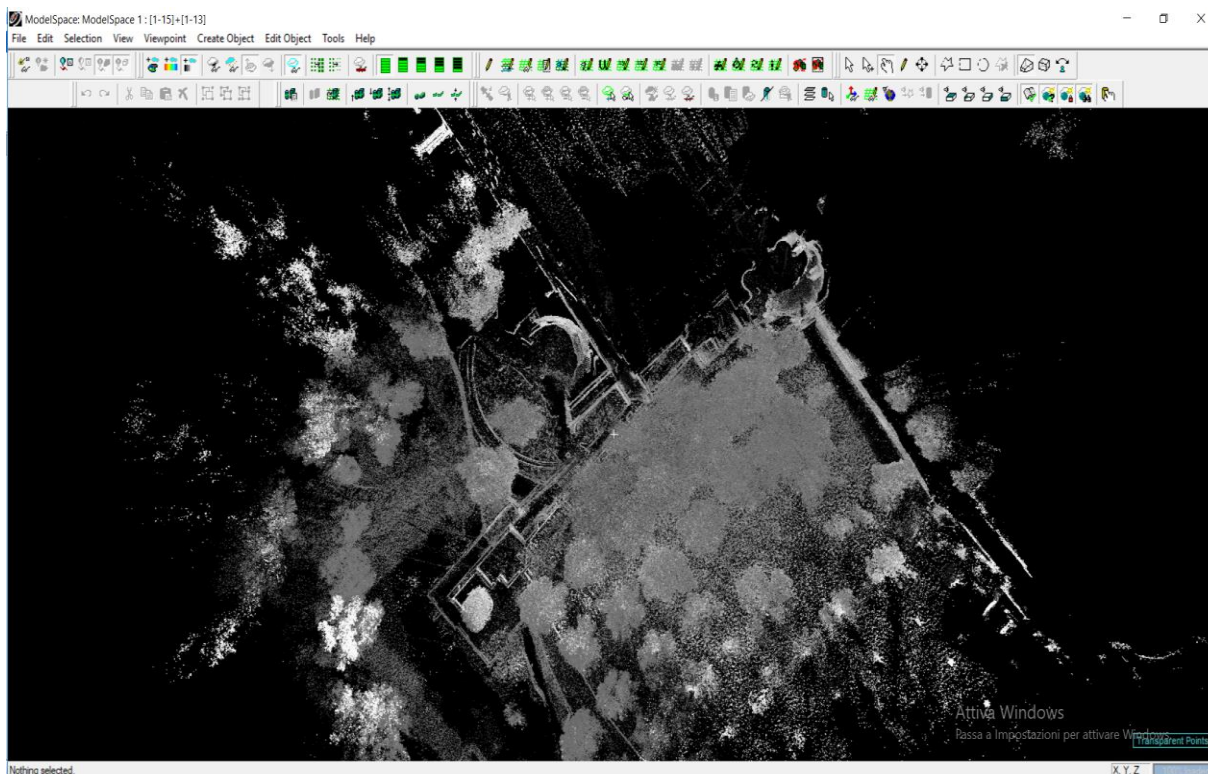
Lista di tutte le scansioni all'interno del database (Immagine 46);

Creazione del model space (Immagine 47)

“Il MODEL SPACE” racchiude al suo interno tutti gli elementi: essi permetteranno di allineare le una scansioni con l'altra attraverso dei tie point, che forniscono un primo allineamento della nuvola di punti che perfezionerà questo primo allineamento iniziale.

Per un buon allineamento delle scansioni occorre scegliere almeno 3 tie point distribuiti in punti differenti della nuvola, pretesi in entrambe le nuvole da registrare.

Il “Model space” serve invece per nominare e selezionare tutti i tie point, ed anche per disegnarci polilinee, curve e taglio per visualizzare la nuvola di punti parziale.



Model space finale con tutte le scansioni unite (Immagine 48)

Quindi aprendo il Model Space e crea una vista, si è eseguito l'inserimento dei tie point cercando il più possibile di essere precisi, evitando errori grossolani, in modo da evitare problemi di allineamento nelle fasi successive. Inoltre i vari punti omologhi sono stati numerati, ed è fondamentale che in entrambe le scansioni da registrare risultino nominati con lo stesso numero, altrimenti il programma non sarà in grado di associare, e quindi non sarà in grado di associarli, e quindi non sarà possibile portare a termine il processo di registrazione. Creati tutti i punti omologhi, questi vengo automaticamente registrati nel control space, in cui saranno presenti solo tali punti, quindi è necessario copiare la nuvola all'interno del control space. Successivamente sono state inserite nel database tutte le altre scansioni effettuate in loco che bisognava registrare.

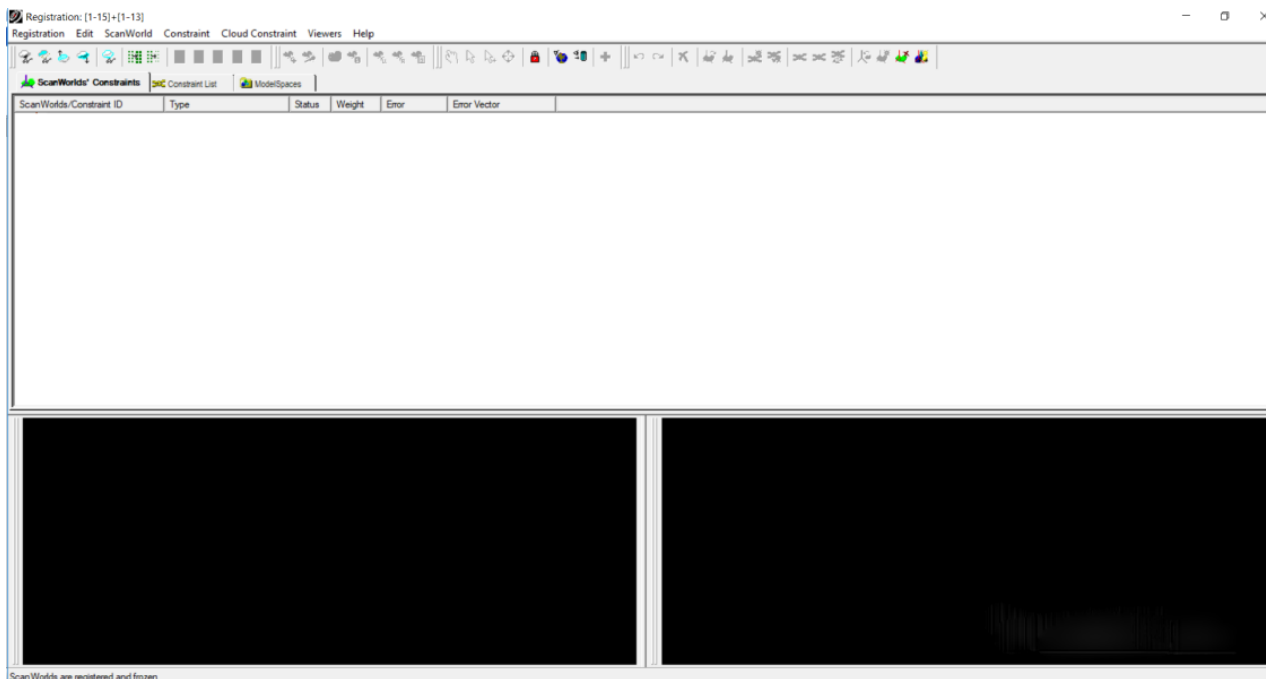
Per eseguire la registrazione delle scansioni, sono state registrate due scansioni per volta, la prima scansione è stata scelta come base e lasciata fissa, e le successive sono state roto-traslate per far combaciare i tie point delle diverse nuvole. Verificato che le scansioni contenevano nel control space oltre ai tie point anche la nuvola di punti e che presentavano

almeno 3 punti omologhi necessari per l'allineamento, è stato possibile eseguire la registrazione di una scansione sull'altra.

La registrazione in genere è stata nominata con il numero della prima scansione e registrazione seguita dal simbolo “+” e successivamente il nome il nome della seconda scansione (ad esempio ScanWorld [01+02], ScanaWorld[01+02+03], ecc....).

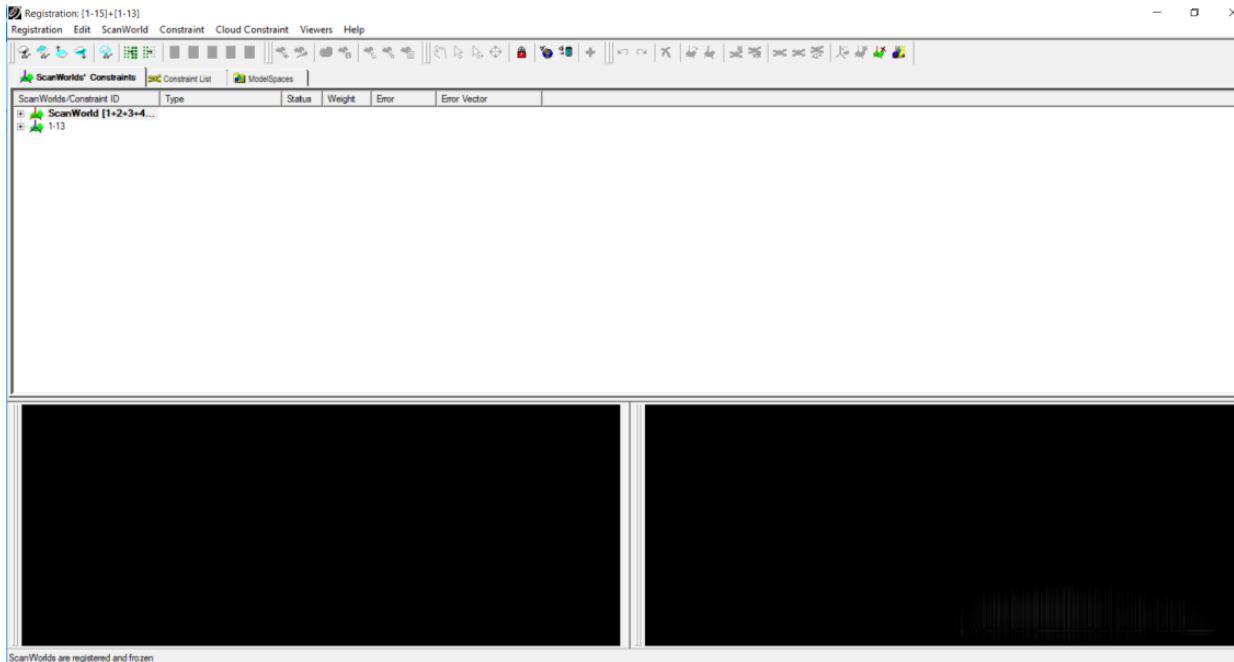
Una volta creata la nuova registrazione, è stata copiata la nuvola di punti nel control space che conteneva solo i tie point, avendo cura di disabilitare i “Vertex”.

In questo modo quando verrà eseguita la registrazione, prima una in maniera approssimata e successivamente una finale, potranno essere usati prima i soli punti omologhi, e in seguito anche tutti gli altri tie point presenti in modo tale da ridurre al minimo gli errori di allineamento. L'icona creata dalla registrazione, che aprirà una finestra in cui saranno presenti le due schermate, dove compariranno le due nuvole di punti delle due scansioni da allineare.



Registrazione di due scanworld (Immagine 49)

Saranno scelte le scansioni da inserire, cliccando su “ScanWorld” e dopo su “Add ScanWorld”.



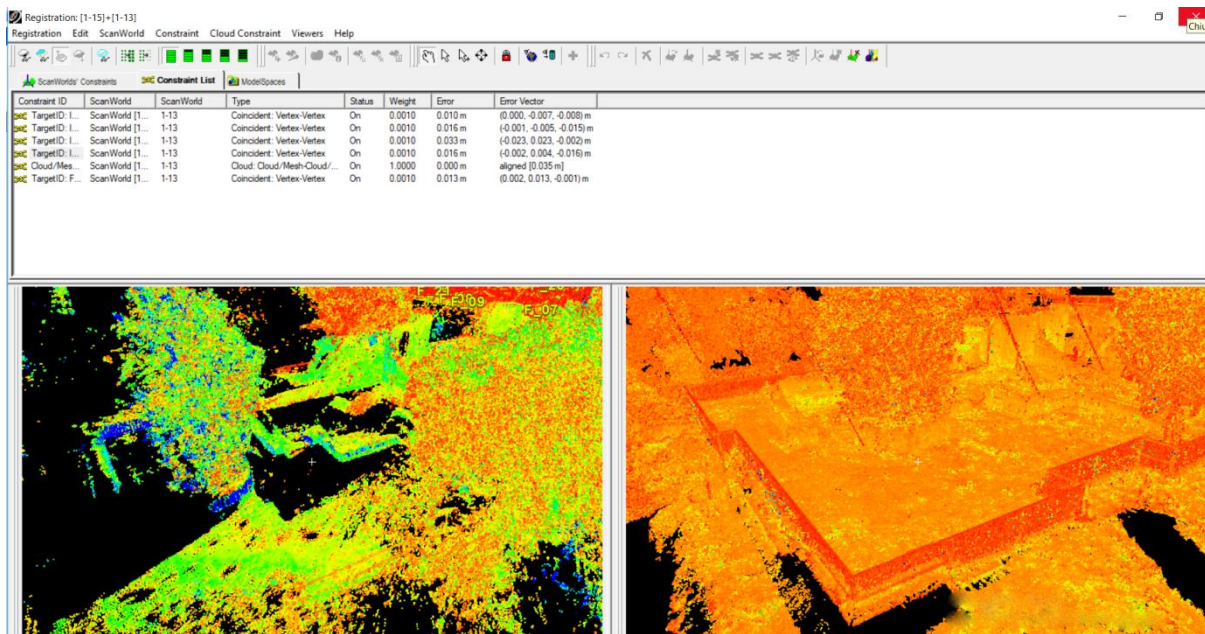
Registrazione di due scanworld con assegnazione di quella predominante (Immagine 50)

Il motivo per cui la “ScanWorld [1+2+3+4...]” risulta in grassetto sta a significare che questa rimarrà bloccata nella sua posizione originale, mentre la “1+13” subirà una rota-traslazione in modo che i tie point delle due nuvole di punti combaceranno per l’allineamento. A questo punto bisogna eseguire un primo allineamento, e quindi far riconoscere i target al programma, nella “Constraint List” appariranno i tie point che appartengono ad entrambe le scansioni e dato che non sono stati evidenziati errori grossolani, si è potuto avviare una prima registrazione.

Effettuata questa prima registrazione compariranno per ogni target gli errori, cioè di quanto si discostano i target con lo stesso nome delle due diverse scansioni, tenendo conto della densità delle scansioni e che non erano presenti punti ben precisi e riconoscibili nelle due scansioni, particolare attenzione è stata posta nel posizionarli nello stesso punto, cercando comunque di restare nell’ordine del centimetro. Infatti il massimo errore che si è rilevato durante la registrazione delle scansioni è stato all’incirca di 2 cm.

Non essendo presenti perciò errori eccessivi si è potuto proseguire nella registrazione, senza che questi compromettessero l’esatto allineamento delle nuvole di punti, nel caso in cui fossero stati presente dei target con errori elevati, sarebbe stato possibile disabilitare tali target e mantenere solo quelli con l’errori minori, avendo però sempre almeno tre tie point presenti.

Inoltre nelle due schermate sottostanti si è avuta la possibilità di verificare l'eventuale presenza di errori grossolani, o magari di aver confuso il nome dei target, come è successo in alcune registrazioni, ma che sono state poi risistemate.



Registrazione di due scanworld con lista dei tie point collegati (Immagine 51)

Non avendo riscontrato imprecisioni si è potuto proseguire con la registrazione finale basata su algoritmo ICP¹³ (Iterative Closet Point) i quali tengono conto sia dei tie point che della nuvola di punti.

Prima di eseguire la registrazione definitiva è stato necessario definire quanto i tie point potessero influenzare il risultato finale, nel nostro caso per il valore dei “Weight” si è scelto di non azzerarlo, ma assumerlo pari 0.001.

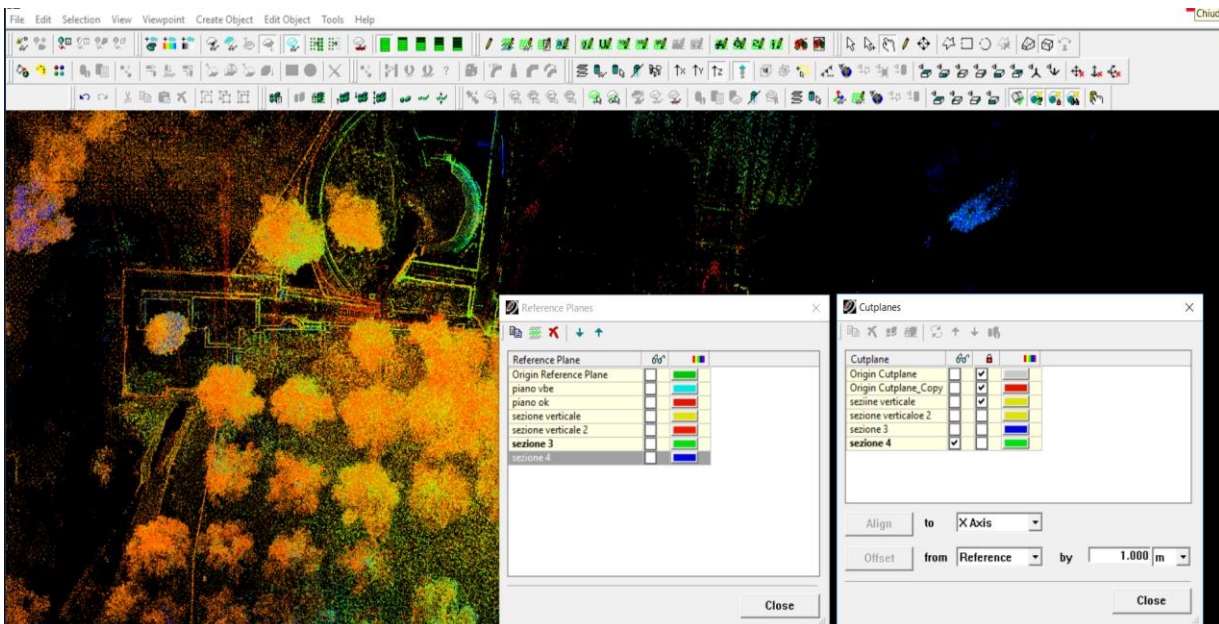
A questo punto i “pesi” dei target hanno assunto dei valori differenti rispetto ai precedenti per cui si è potuto eseguire una nuova registrazione. Da cui ne è risultato, che soltanto in una registrazione la Cloud/Mesh non è pari a zero, questo significa che le due nuvole non sono allineate correttamente ma ciò è dovuto ad alcuni fattori esterni e non ad errori nell'allineamento delle nuvole, ma li vedremo nel capitolo successivo.

¹³ ICP Iterative closest point è un algoritmo utilizzato per minimizzare la differenza tra due nuvole di punti. L'ICP viene spesso utilizzato per ricostruire superfici 2D o 3D da diverse scansioni, localizzare robot e ottenere una pianificazione ottimale del percorso (soprattutto quando l'odometria della ruota non è affidabile a causa del terreno scivoloso), per co-registrare i modelli ossei, ecc.

Con il tasto Create “ScanWorld/Freeze Registration” è stato quindi possibile creare dalla registrazione un modello formato dalle due ScanWorld.

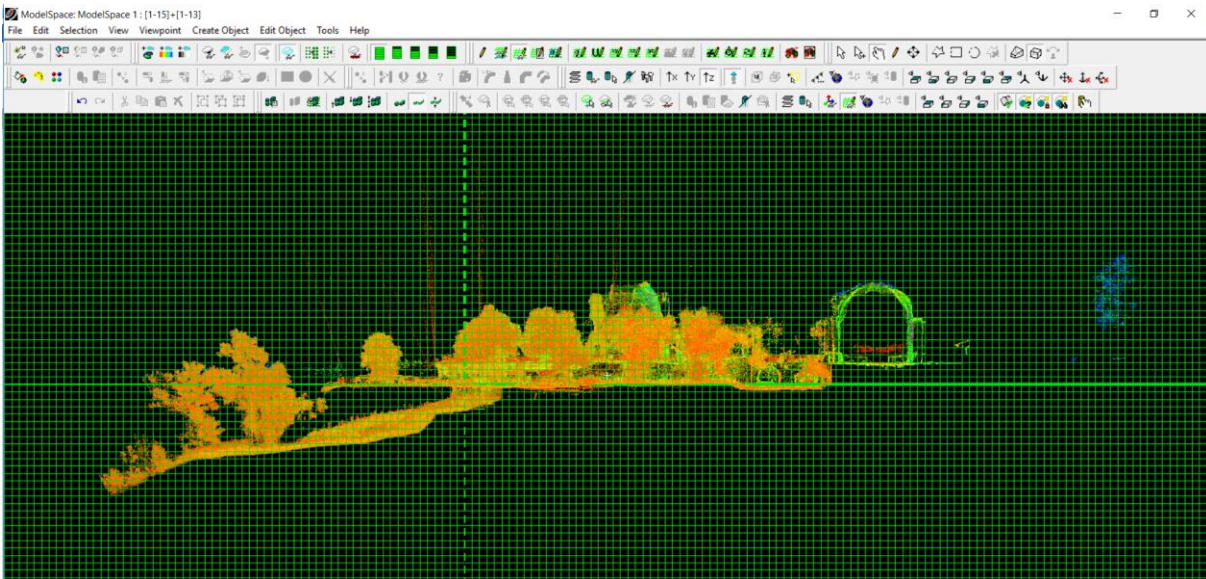
Una volta messe a registro le prime due scansioni, è stato possibile convertire le registrazioni in ScanWorld e in esso si è potuto controllare le differenze di posizioni dei tie point, ed anche in questo nuovo Control Space è stato necessario copiare la nuvola di punti poiché erano presenti solo i tie point. Questo processo è stato effettuato per tutte le scansioni, ed i modelli ottenuti possono essere utilizzati per creare quindi piante e sezioni.

Prima di tutto si orienta la nuvola creando un sistema di riferimento, questo poi viene usato per inserire piani di riferimento (reference planes) e piani di taglio (cutplanes), facendo coincidere il piano di taglio con quello di riferimento, è possibile visualizzare solo una parte (slice) della nuvola di punti, ottenendo una pianta o una sezione in base all'orientamento del piano di sezione.

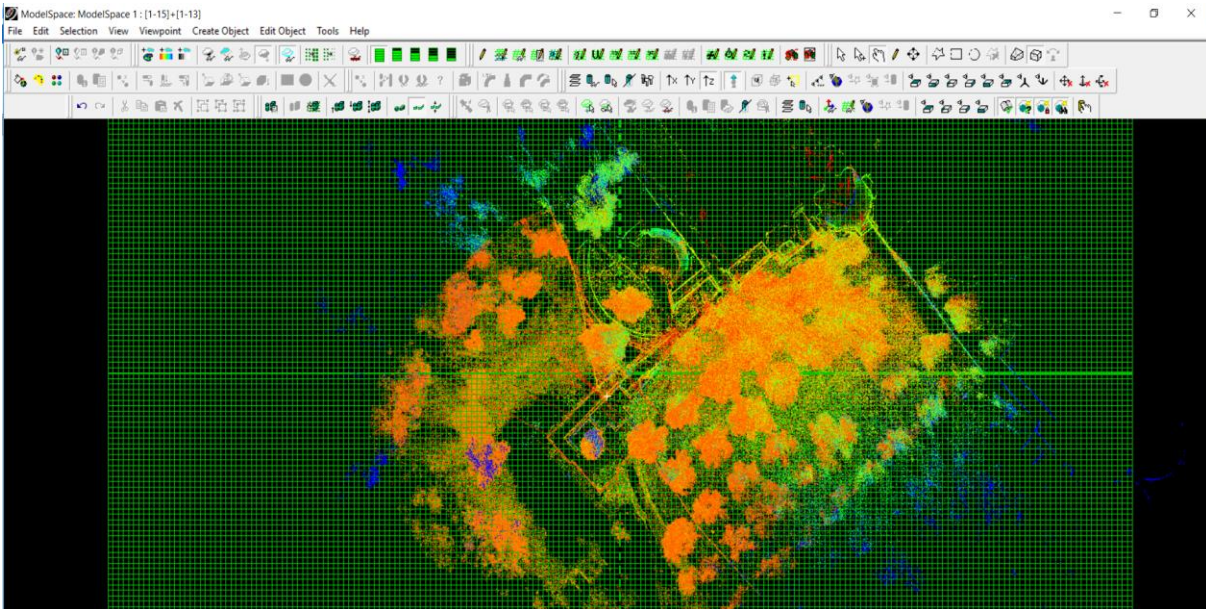


Creazione di reference plane e cutplane (Immagine 52)

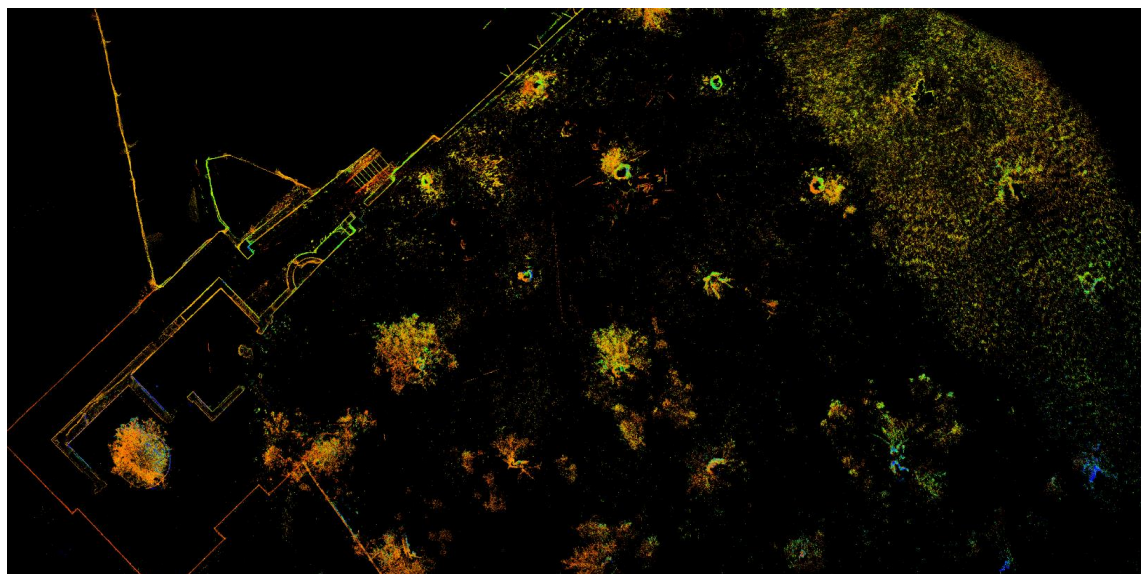
Mentre per il elementi in vista il comando da usare è half space, che consente la visualizzare metà della nuvola tagliata da cutplane. Una volta create le sezioni non resta che esportare delle orthophoto e ricalcare su Autocad.



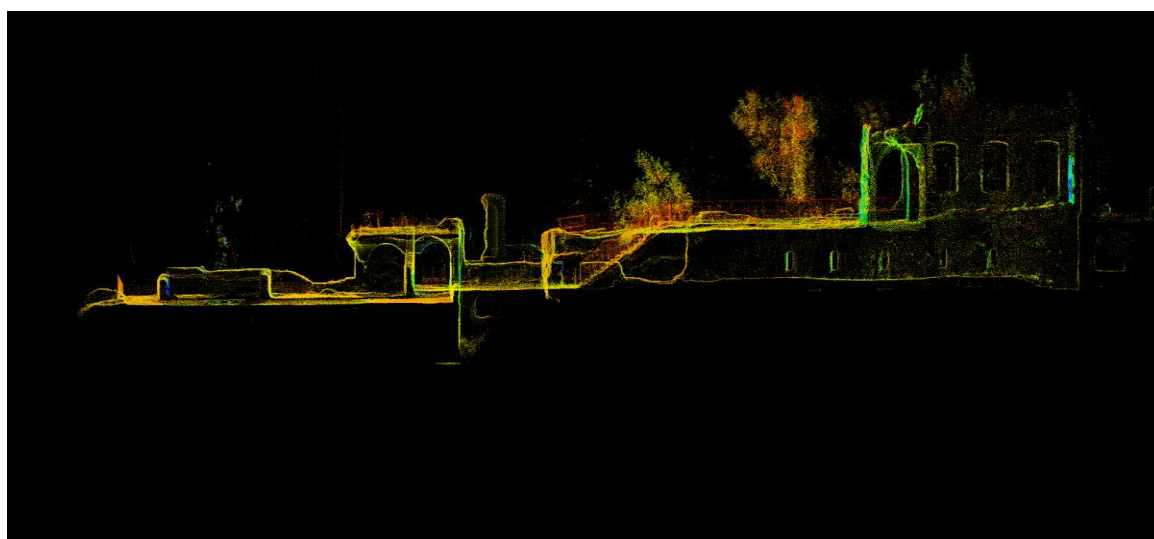
Piano di sezione verticale (Immagine 53)



Piano di sezione orizzontale (Immagine 54)

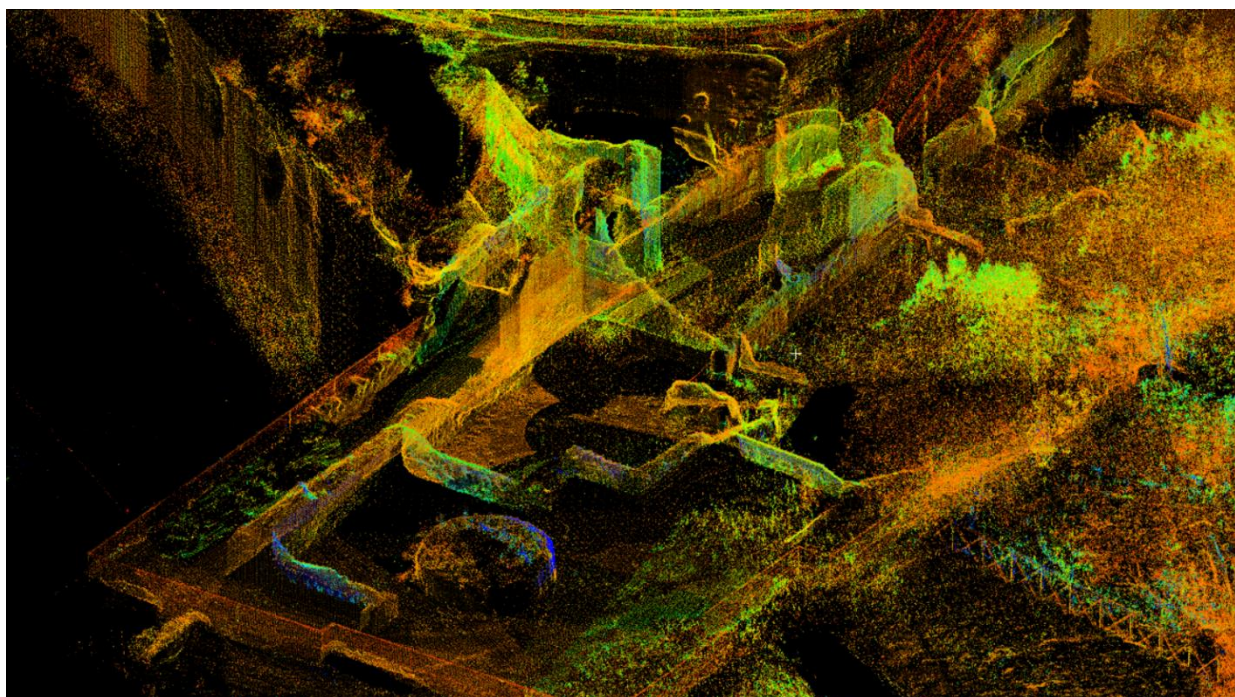


View slice sezione orizzontale (Immagine 55)

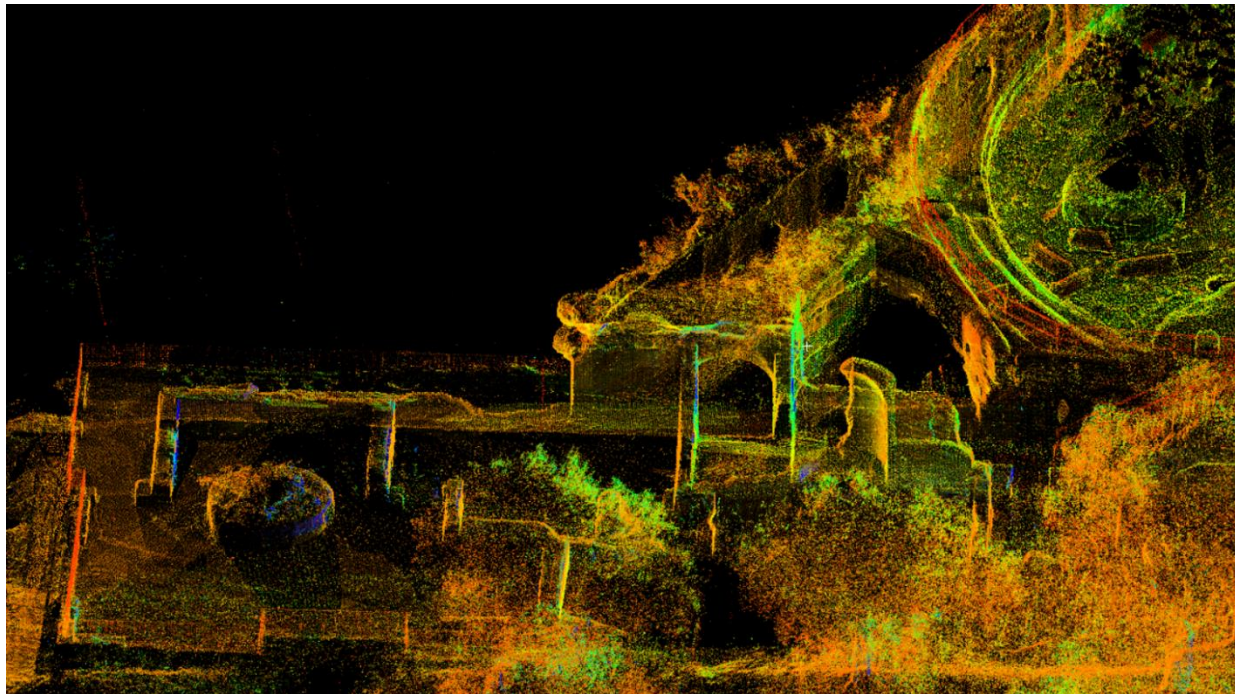


View slice sezione verticale (Immagine 56)

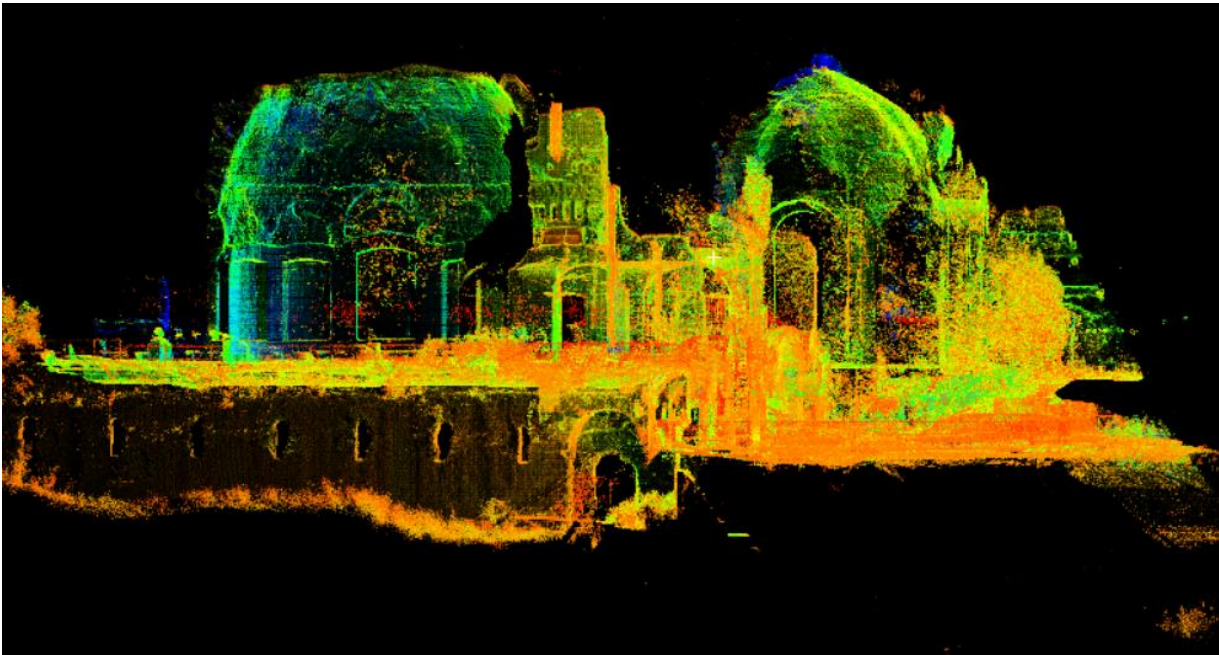
Di seguito sono riportate alcune immagini della nuvola finale.



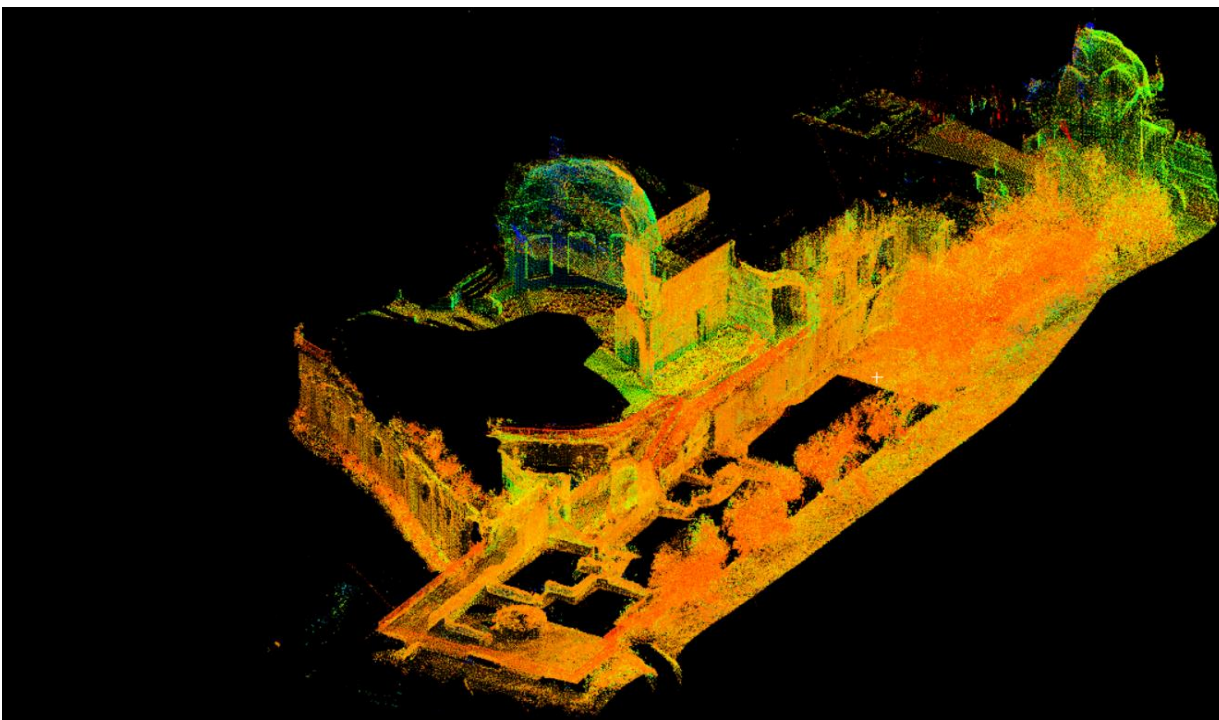
Vista prospettica area oggetto di studio (Immagine 57)



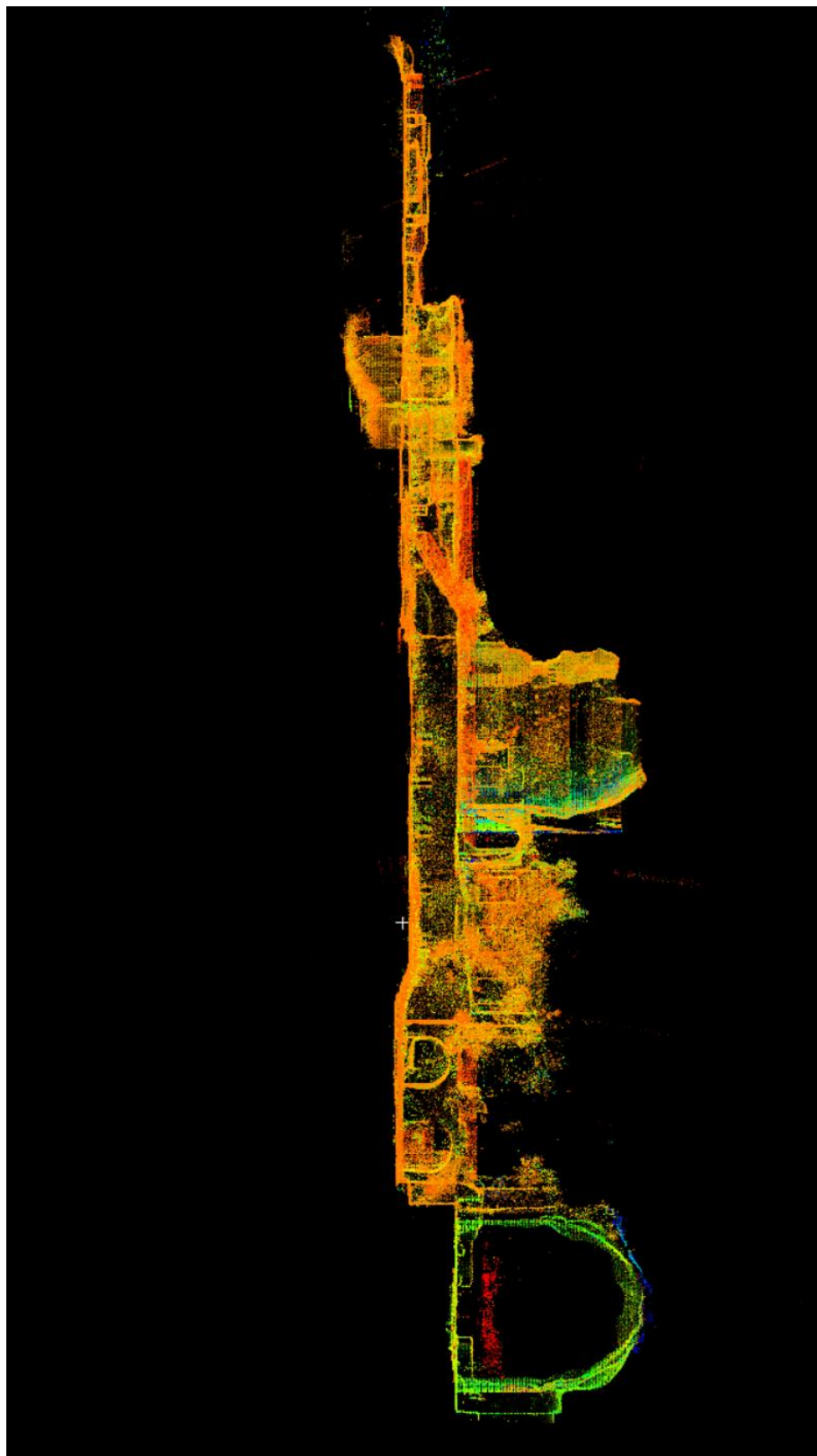
Vista prospettica area oggetto di studio (Immagine 58)



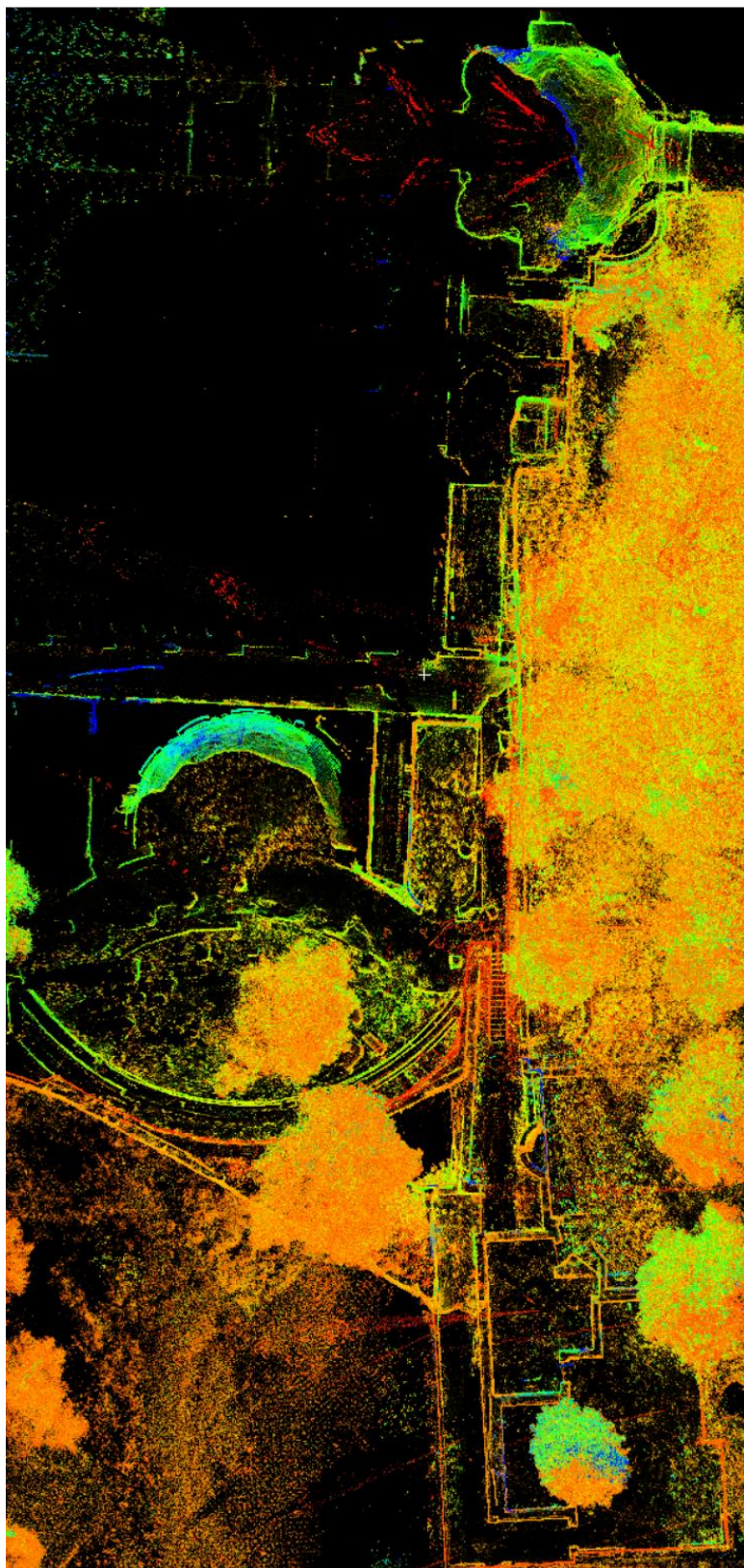
Vista trasversale di tutta l'area d'interesse (Immagine 59)



*Vista prospettica della zona oggetto di studio, triclinio, criptoportico, strada sotterraneo e vestibolo
(Immagine 60)*



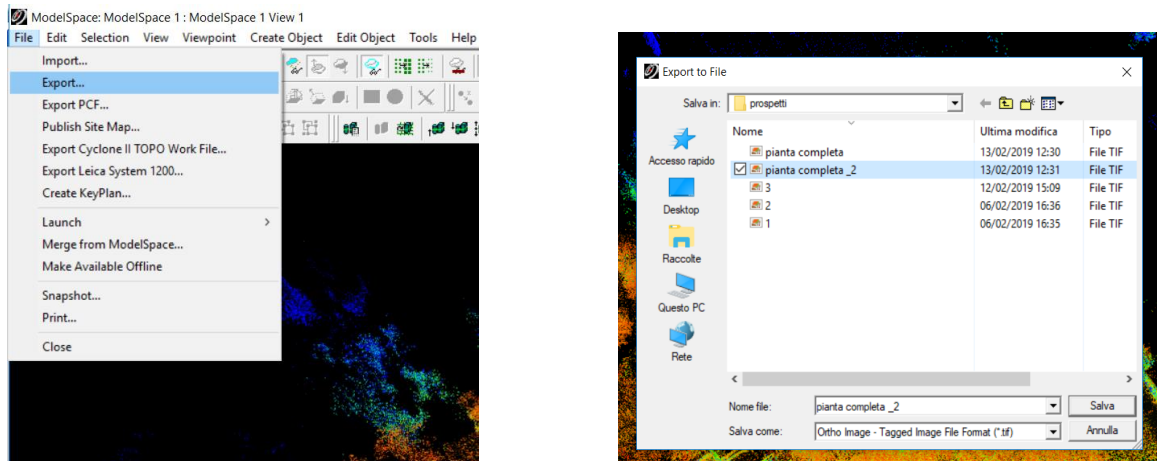
Sezione longitudinale di tutta l'area d'interesse (Immagine 61)



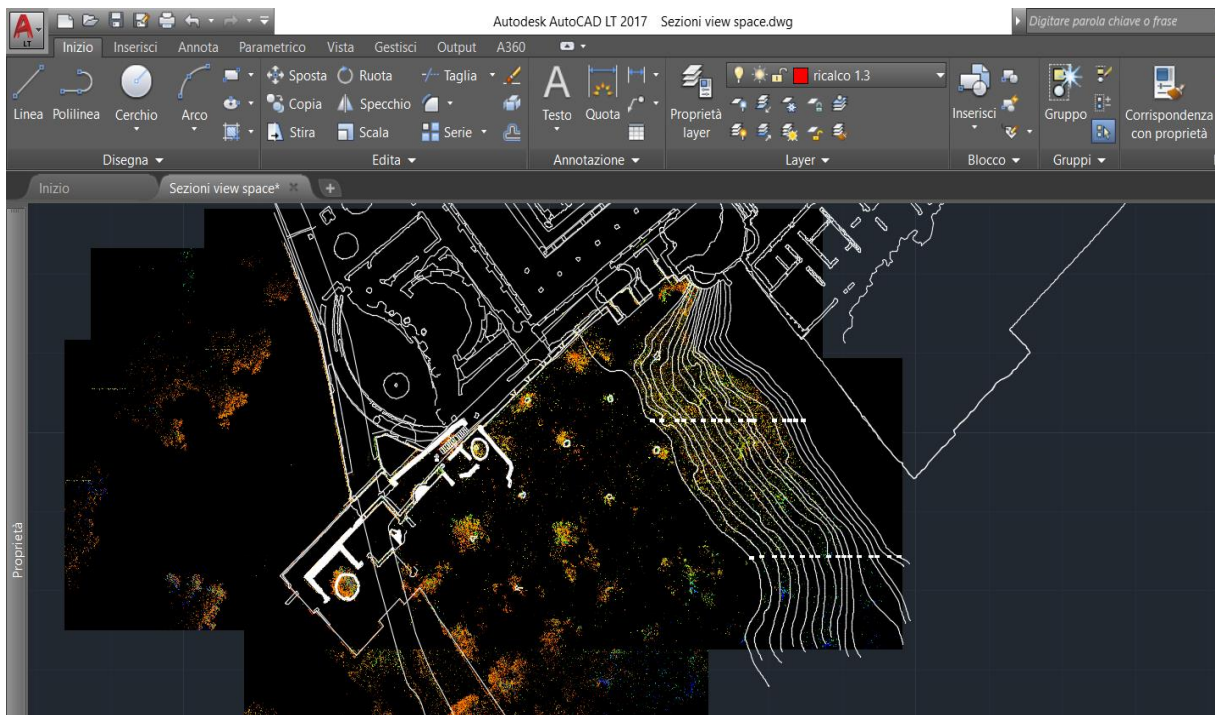
Vista dall'alto di tutta l'area d'interesse (Immagine 62)

Esportazione in Autocad e ricalco

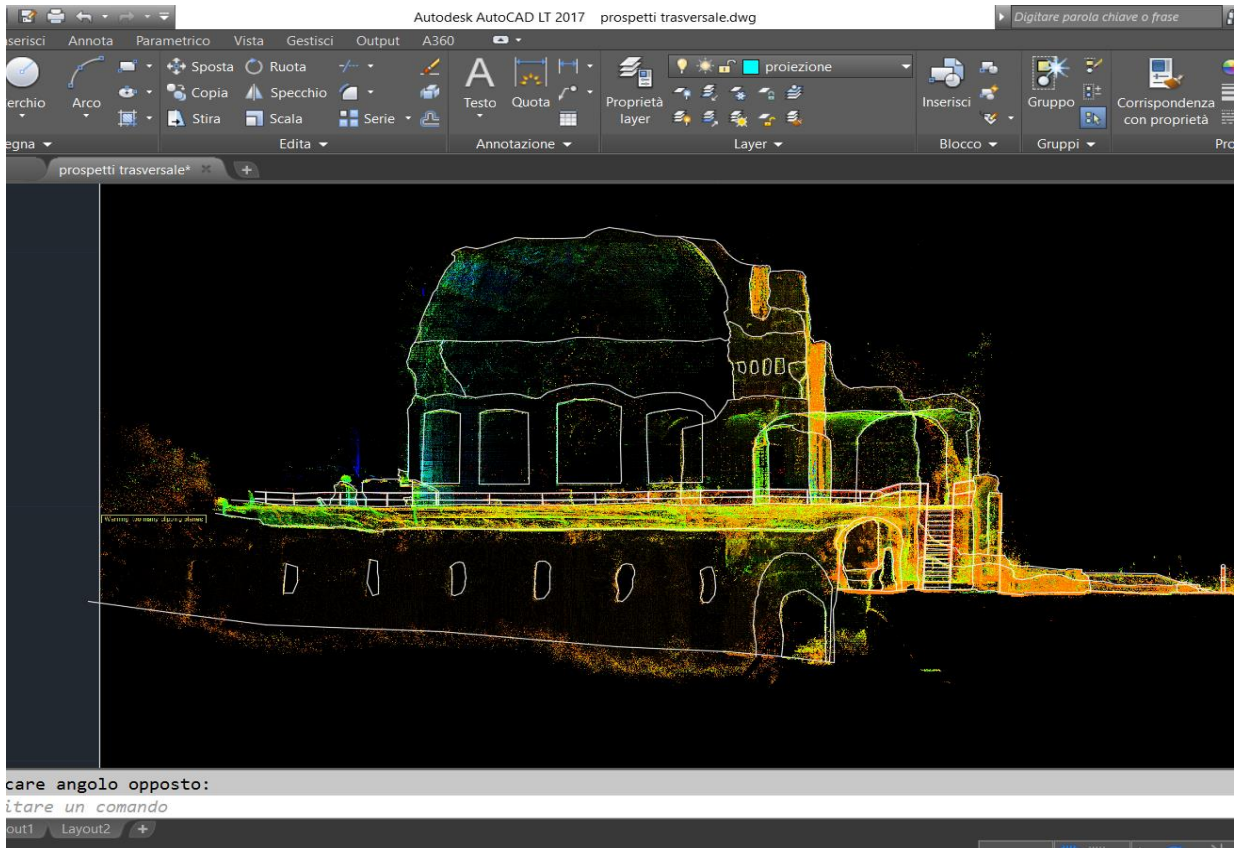
Una volta create le sezioni orizzontali e verticali, con Cyclone, è possibile esportarle in autocad sotto forma di orto-immagini, in modo da poterle ricalcare e successivamente analizzare e studiare nello specifico.



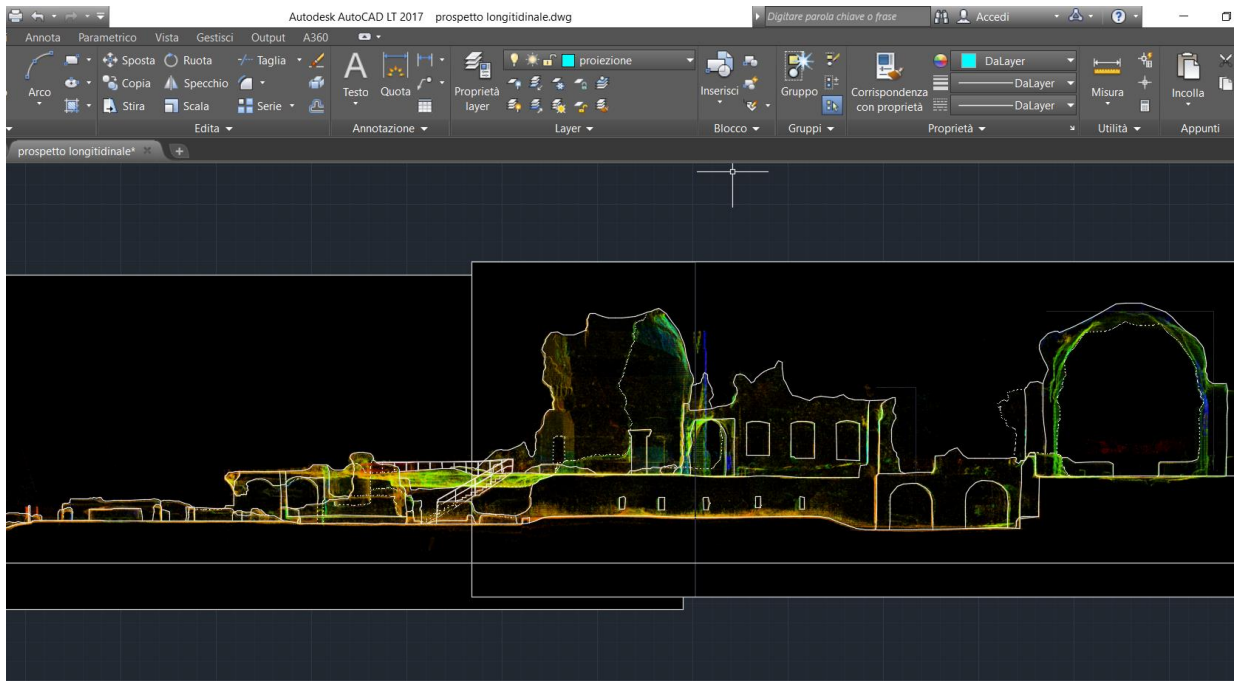
Esportazione da Cyclone ad Autocad (Immagine 63)



Ricalco della sezione orizzontale in Autocad (Immagine 64)



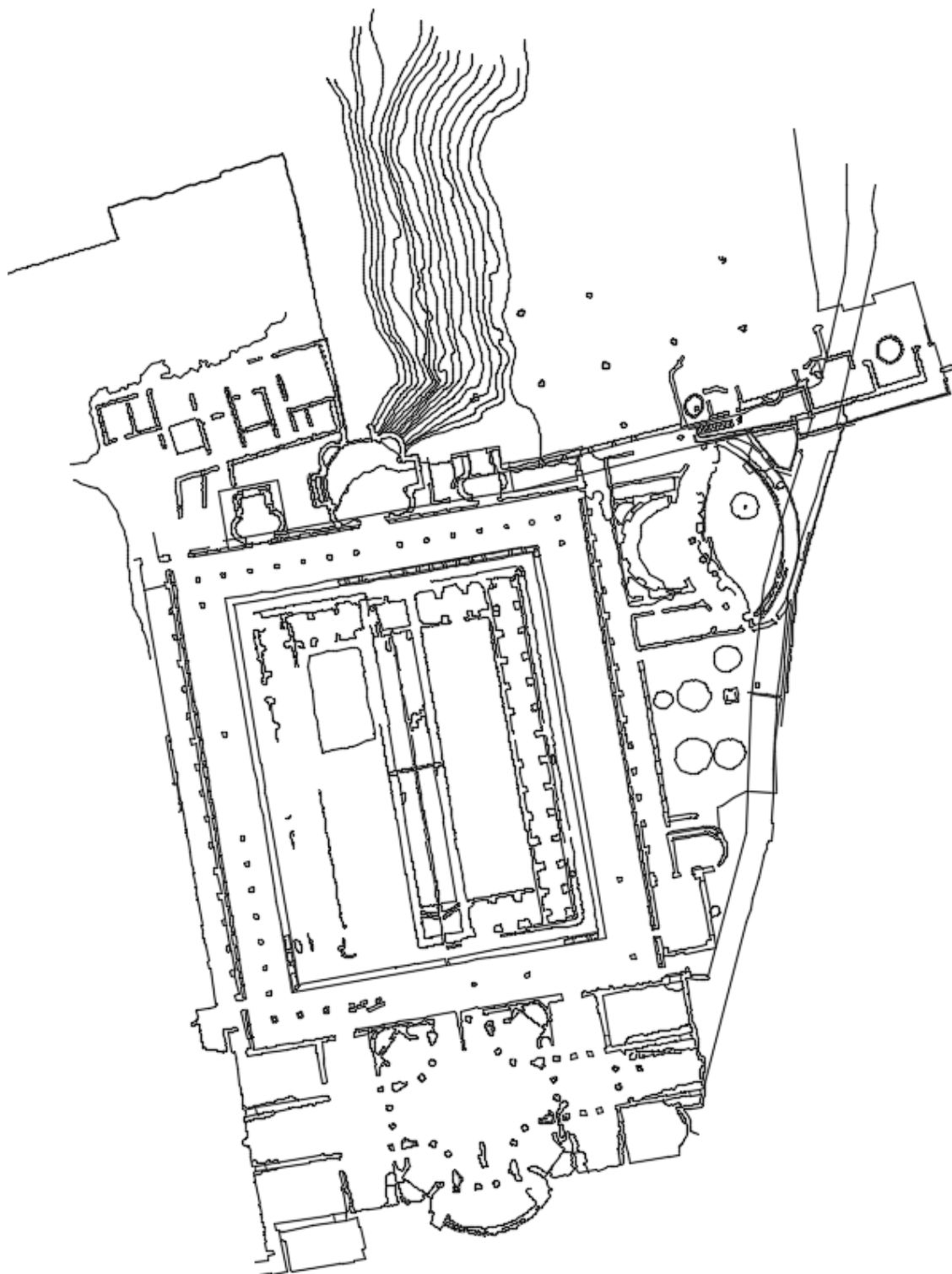
Ricalco della sezione verticale B-B in Autocad (Immagine 65)



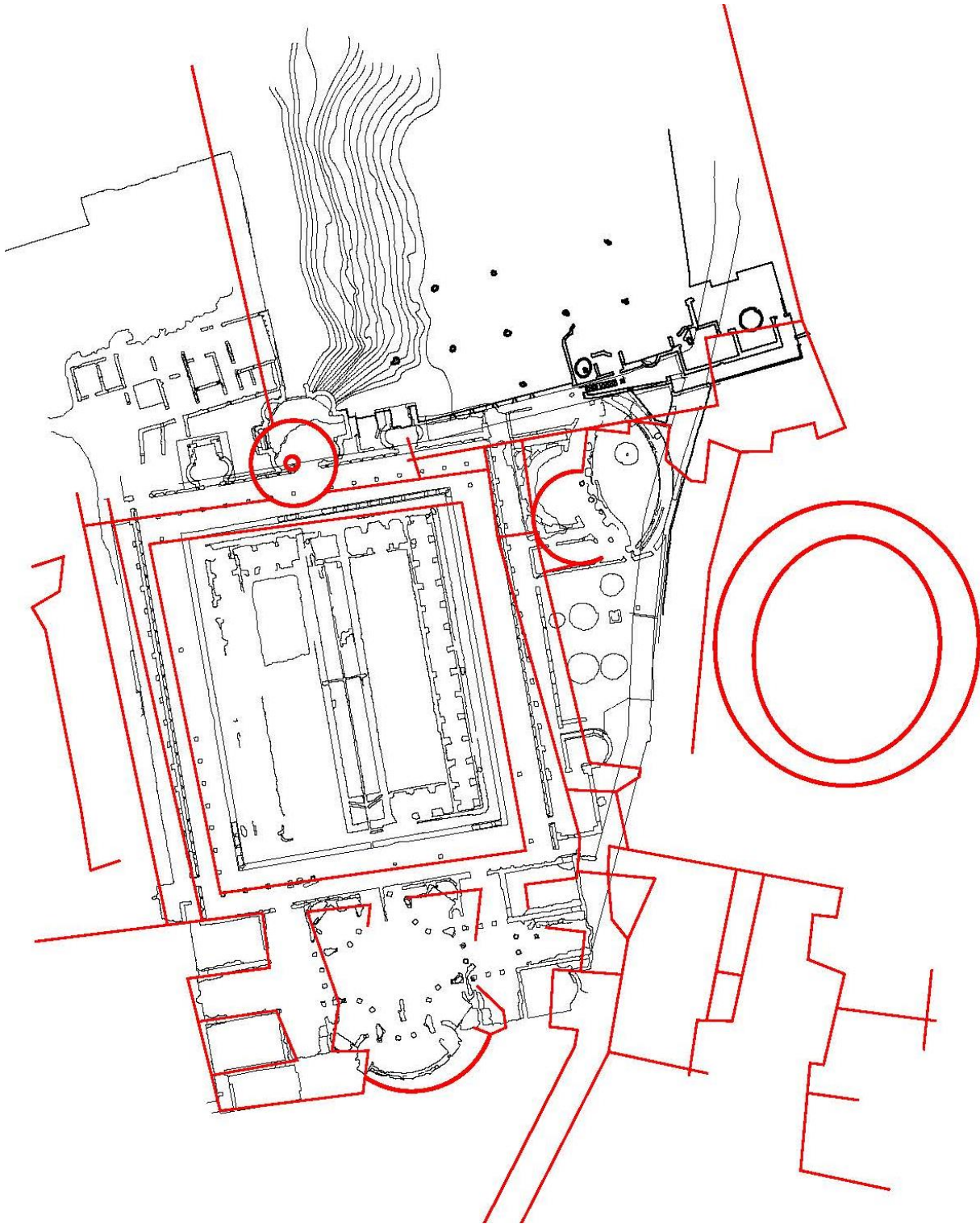
Ricalco della sezione verticale A-A in Autocad (Immagine 66)

5. Confronto dei rilievi eseguiti nel corso del tempo

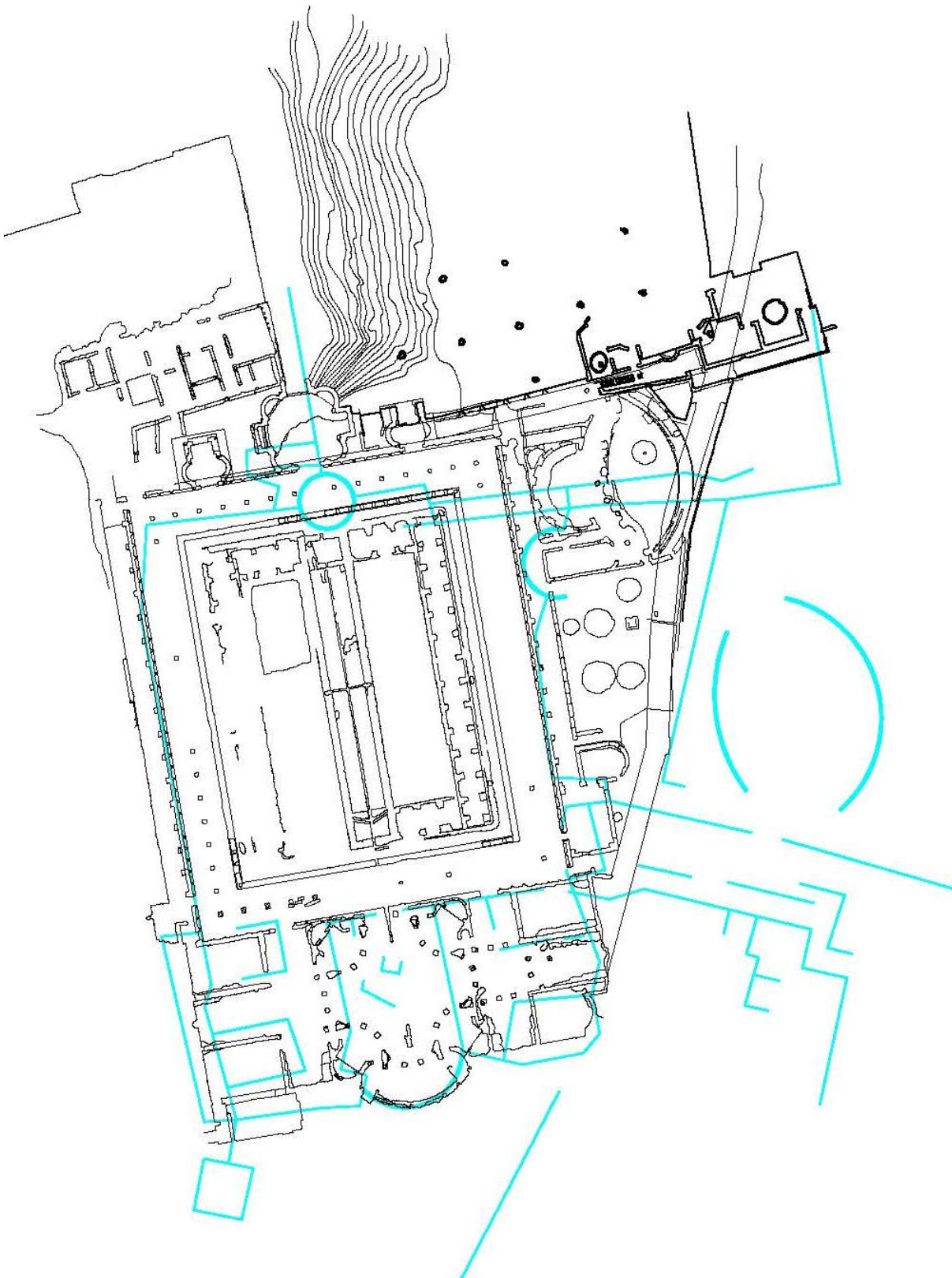
5.1 Pianta della di Piazza d'Oro e zona Tricliniare eseguita dopo gli ultimi rilievi



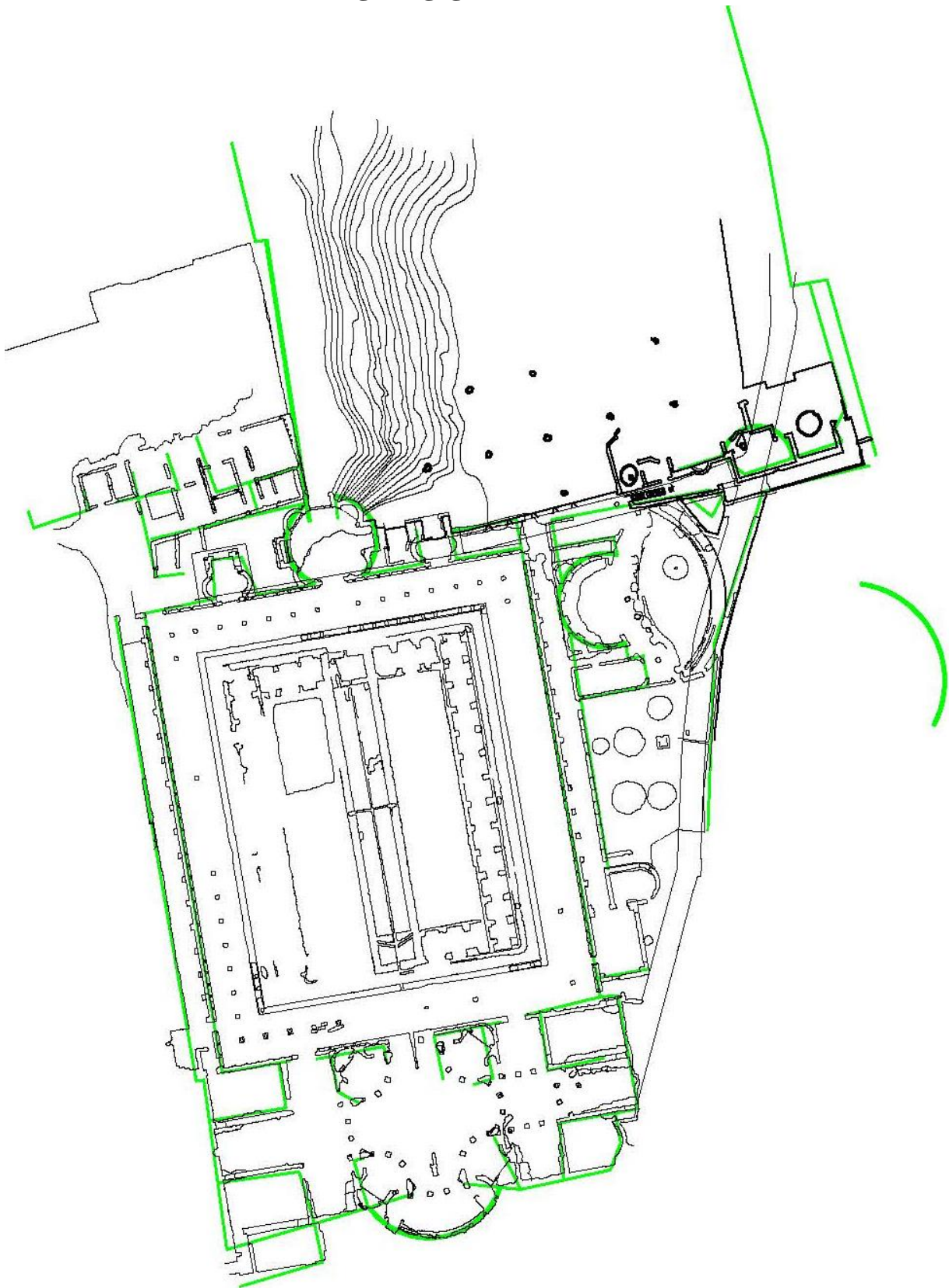
5.2 Confronto con Pianta di Giovan Battista Piranesi (1781)



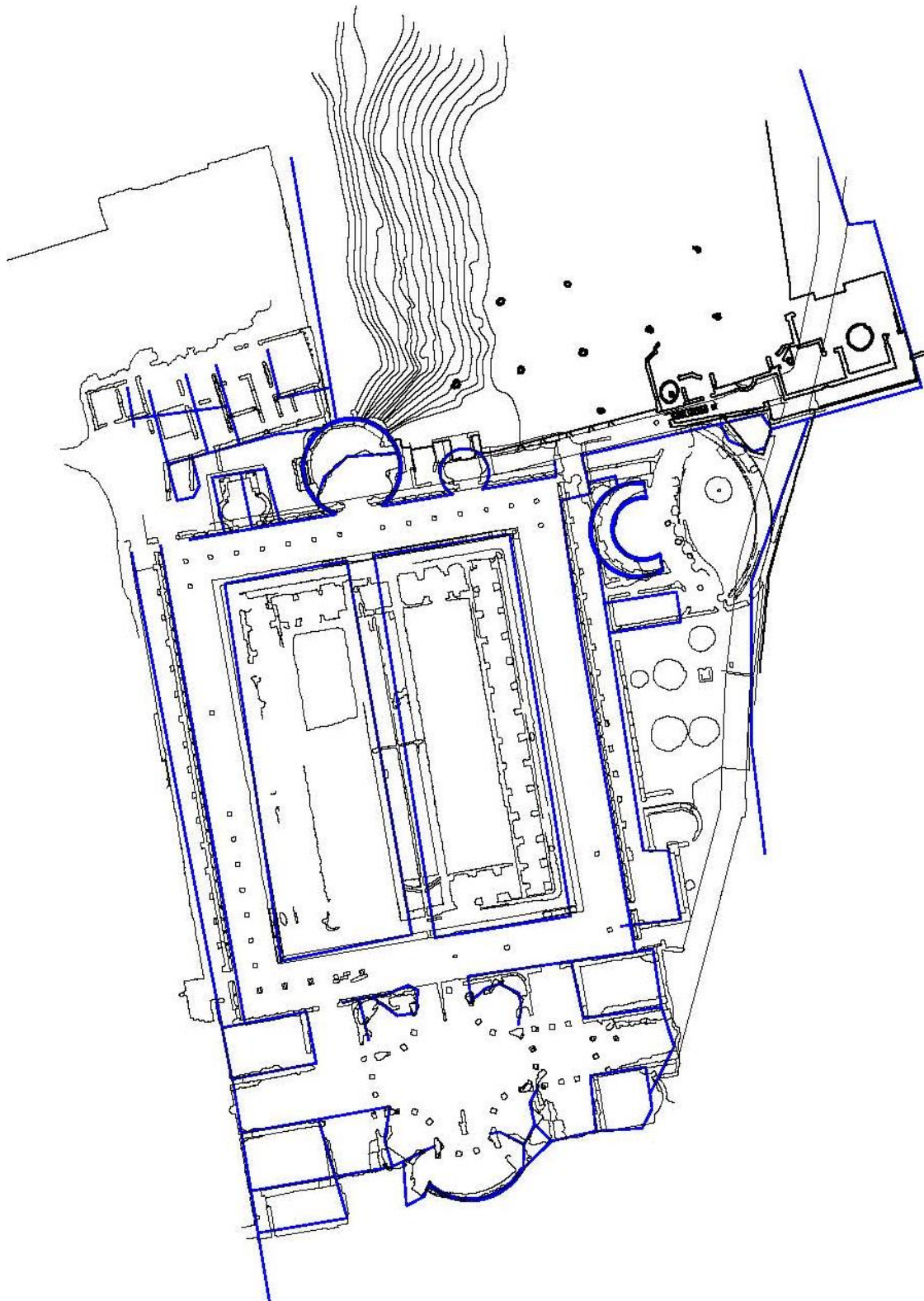
5.3 Confronto con Agostino Penna (1831-1836)



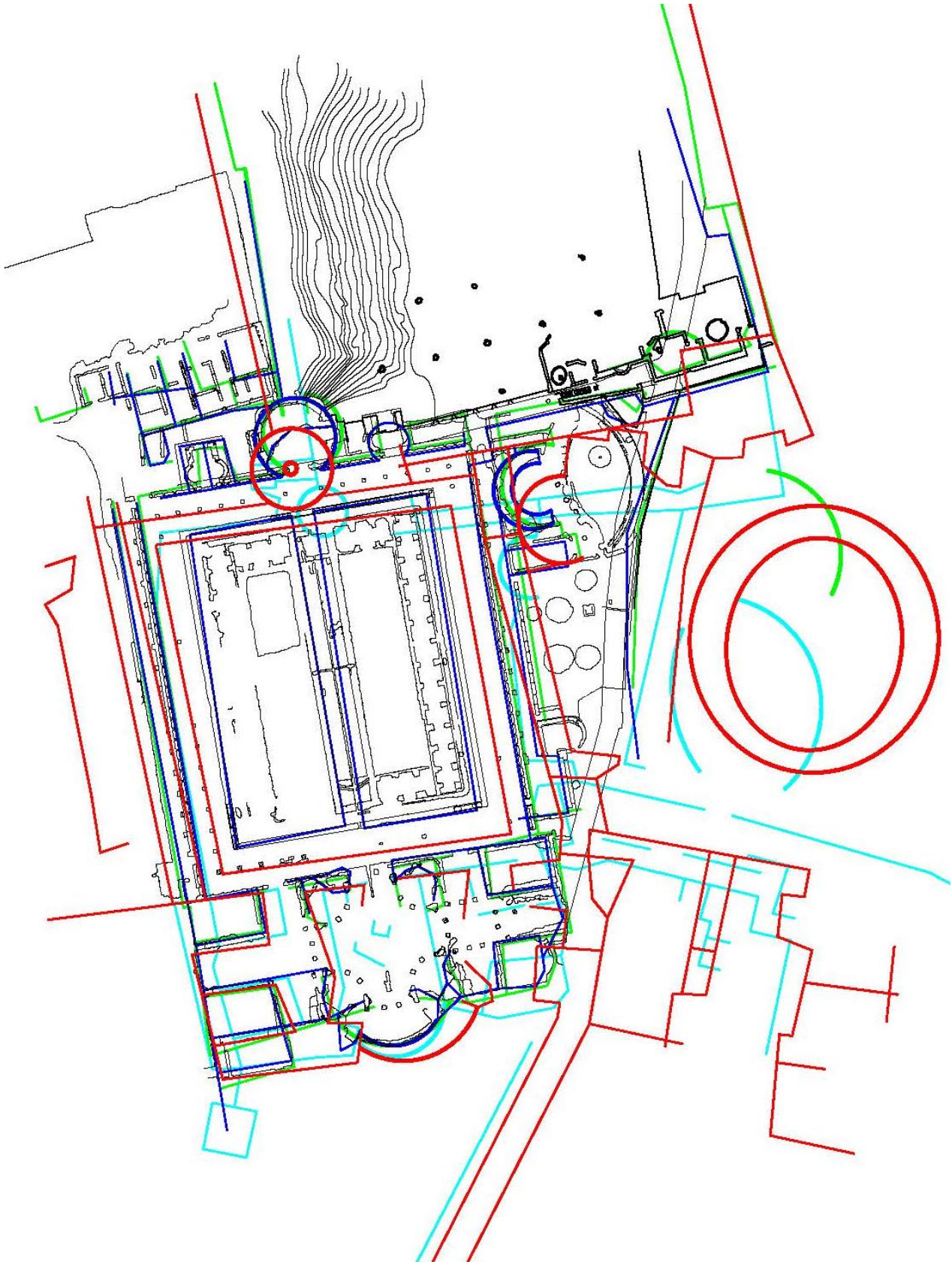
5.4 Confronto con scuola degli Ingegneri (1905)



5.5 Confronto con l'Università di Roma Tor Vergata (2005)



5.6 Confronto Generale con le planimetrie più rilevanti



6. Conclusioni

La zona Tricliniare oggetto di questa tesi, nel corso degli anni ha subito una serie di traforazioni che hanno cambiato quasi del tutto il suo aspetto esteriore. Ad oggi è possibile vedere una serie di ruderi e alcuni pavimenti dell'epoca, i quali ci lasciano dedurre l'importanza che avesse quella zona negli anni migliore di Villa Adriana.

La scelta di analizzare la configurazione attuale della zona con tecniche di rilevamento digitale ha il duplice intento: di documentare l'oggetto di studio con strumenti di rilievo evoluti, inquadrandolo nella zona circostante, per ricavarne successivamente planimetrie, piante, prospetti e sezioni e inoltre una volta ottenuti gli elaborati confrontarli con i rilievi eseguiti nel corso degli anni.

L'attività di rilievo con il laser scanner è stata suddivisa in tre fasi fondamentali: acquisizione dei dati (fase di campagna), elaborazione dei dati catturati e restituzione di elaborati bidimensionali (fase di post-produzione).

Le campagne di rilievo sono state due, la prima condotta mediante l'utilizzo dello scanner fisso a variazione di fase Z+F IMAGER 5010C, la seconda con lo scanner Leica C5 a tempo di volo, e ci hanno permesso di acquisire una mole di dati metricamente affidabili per la descrizione di tutta l'area. Sono state eseguite 18 scansioni per coprire l'intera zona.

Una volta terminata la campagna di acquisizione, nella fase di post produzione sono state esportate tutte le scansioni ed eliminate le parti non necessarie alla documentazione. In seguito alla fase di elaborazione dei dati ed alla registrazione delle diverse scansioni necessarie per completare la zona di studio mediante i punti comuni, si è ottenuta una nuvola di punti densa globale descrittiva dell'intero complesso.

Il disegno degli elaborati principali ha costituito la base per lo studio della zona Tricliniare.

Dalla nuvola tridimensionale, tramite piani di riferimento orizzontali e verticali scelti opportunamente, è stato possibile estrarre le informazioni utili per produrre gli elaborati che descrivono l'area: sono state ottenute orto-immagini bidimensionali, successivamente inserite in Autodesk Autocad 2017 per l'operazione di ripasso degli elementi più rilevanti al fine di creare un disegno vettoriale.

Gli elaborati 2D sono stati realizzati in scala 1:100 per un totale di 4 disegni che rappresentano la planimetria del complesso con la vicina Piazza d'Oro, la planimetria della Zona Tricliniare, sezione trasversale e longitudinale dell'intera zona.

Grazie alle informazioni catturate con la scanner, è stato possibile misurare le altezze del Triclinio e del Vestibolo d'ingresso a Piazza d'Oro, confrontandoli si deduce che la loro altezza fosse la stessa, la quale con il sistema di misurazione romana il "piede" risulta essere di 37 piedi + $\frac{3}{4}$ di piede.

Gli elaborati descrivono lo stato attuale della zona Tricliniare contestualizzandolo con una planimetria generale che inquadra l'oggetto di studio davanti al Triclinio e adiacente la Piazza d'Oro.

I vantaggi che ci sono stati con il rilievo tramite laser Scanner sono molteplici: tempo di acquisizione dei dati ridotto, elevata precisione, accuratezza del rilievo e nel nostro caso anche nessun contatto con gli oggetti grazie al non utilizzo dei target.

Nonostante tutti i vantaggi fin qui esposti, si deve considerare il fatto che il rilievo mediante scanner ha alcuni limiti, lo strumento non rileva in maniera critica, ovvero scegliendo i punti notevoli di un edificio, come spigoli o discontinuità dell'oggetto, ma agisce in maniera automatica misurando i punti su di una griglia impostata dall'operatore, può accadere che in fase di restituzione si presentino aree con mancanza o insufficienza di dati che il rilevatore deve integrare con altre metodologie (misurazioni a mano, confronto con le fotografie).

Nel rilievo eseguito per il caso di studio sono state riscontrate problematiche con la vegetazione, molto presente nell'area, ed ha causato l'alterazione di alcuni tie point che grazie al software Leica Cyclone sono state risolte, con l'aumento dei punti tra le scansioni da allineare e la pulizia di alcune parti non influenti tramite un comando del programma.

Una volta concluso l'elaborato finale si è potuto confrontarlo con i rilievi del passato anche se il paragone con le prime planimetrie è poco giudicabile visto la differenza notevole di strumenti utilizzati, invece con le planimetrie realizzate nell'ultimo secolo pur non essendo molto dettagliate si notano le linee principali coincidenti.

Inoltre per quanto riguarda la zona Tricliniare la quale sempre trascurata e poco rilevata si ha una documentazione ed un elaborato molto dettagliato che prima non esisteva.

7. Ringraziamenti

Un sincero ringraziamento al mio relatore prof. Luca Cipriani, per la sua disponibilità e avermi dato la possibilità di approfondire questo studio.

Al mio correlatore prof. Filippo Fantini per la sua grande disponibilità e per avermi sostenuto durante tutto il periodo di tesi e avermi dato tantissimi consigli.

Alla dottoressa Benedetta Adembri, direttrice dell'area di Archeologica di Villa Adriana, per la sua disponibilità, per i tanti consigli forniti durante le visite alla Villa.

Ai miei genitori che mi hanno sostenuto lungo tutto il mio percorso e non hanno mai smesso di credere in me.

Ai miei amici di studio Daniele, Valerio, Giuliano e Antonio che grazie anche a loro e il sostegno fornitoci a vicenda sono riuscito a conseguire questo traguardo.

8. Glossario

- Reverse modeling: processo di creazione di un modello digitale attraverso la scansione di un oggetto reale.
- Structure from motion: tecnica di rilievo con la quale si determina la posizione di punti nello spazio tramite l'acquisizione di set di fotografie scattate da angolazioni differenti.
- Laser Scanner: strumento che misurando il tempo di ritorno di un elevato numero di impulsi laser, calcola la posizione nello spazio dell'insieme dei punti colpiti.
- Point cloud: nuvola di punti; insieme di punti di cui è definita la posizione nello spazio tridimensionale ed eventuali informazioni secondarie.
- Mesch: modello tridimensionale poligonale costituito da vertici, spigoli e facce.
- Time of Flight (T.o.F, tempo di volo): sono dei sistemi che misurano la distanza attraverso la misurazione del tempo impiegato dalla luce Laser per raggiungere l'oggetto e ritornare al sensore, e sono utilizzati per il rilievo 3D di grandi superfici o siti.
- Phase Shift (variazione di fase): sistemi che permettono di misurare la distanza attraverso l'emissione, dal Laser Scanner, di un'onda modulata, che è calcolata confrontando la fase dell'onda emessa con quella ricevuta dopo la riflessione della superficie oggetto di studio

9. Bibliografia e sitografia

1. Storia dell'architettura italiana – Architettura romana – I grandi monumenti di Roma, a cura di Henner von Hesberg e Paul Zanker, Capitolo di Adolf Hoffman, Villa Adriana a Tivoli, Electa, 2009, pag 290-300
2. Hadrian empire and conflat, Thorsten Opper, the british museum press, 2008, pag 130-165
3. Adriano e la Grecia – studi e ricerche, Capitolo di Fabrizio Salvazzi, Piazza D'oro a Villa Adriana: architetture e meraviglie, Electa, 2014, pag 71-80
4. Villa Adriana. Una storia mai finita. Novità e prospettive della ricerca, a cura di M.Sapelli Ragni, Capitolo di Benedetta Adembri “Giardini e Verde a Villa Adriana”, anno di pubblicazione 2010.
5. Ricerche sull'architettura di Villa Adriana a cura di Cairolì Giuliani, anno di pubblicazione 1975.
6. Mosaici Antichi in Italia – Sectilia pavimenti di Villa Adriana a cura di Federico Guidobaldi con la collaborazione di Fulvia Olevano, Andrea Paribeni e Daniela Trucchi, anno di pubblicazione 1994
7. Il Reverse Modeling per il progetto di design – Michele Calvano, 2012
8. Modelli digitali 3D in archeologia: caso di Pompei, B. Benedetti, M. Gaiani, F. Remondino, Edizione della Normale di Pisa, 2010, pag 355.
9. Il ritorno all'immagine – Nuove procedure image-based per il cultural per il cultural heritage, Giorgio Verdiani, 2011
10. High accuracy 3D modeling of Cultural Heritage: the digitizing of Donatello's “Maddalena” IEEE Transactions on Image Processing, Guidi G, Beraldin J-A, atzeni C., 13-3 (2004), pag 370-380
11. Rilievo e rappresentazione dell'Architettura e dell'Ambiente, la conoscenza del corpus agrimensorum romanorum”, 2004, Tesi di dottorato di ricerca, Università degli studi di Firenze, Dipartimento di Progettazione dell'Architettura.

12. S.Aurigemma, “Villa Adriana”, 1996, Istituto Poligrafico dello Stato
13. F. Remondino, A. Rizzi, G. Agugiario, B. Jimenez, F. Menna , F. Nex, G. Bagatti, “Rilievi e Modellazione 3D”, 15° Conferenza Nazionale ASITA, 18 Novembre 2011, Reggio di Colorno.
14. P. Gros, “Vitruvio, De Architectura 1”, Editore Einaudi.
15. R. Sandri, “Misure, progettare e costruire nell’antica Roma. Sacralità e rigore tecnico-scientifico. I complessi preliminari per la suddivisione del territorio e la nascita di una città”, Informazione, Volume 115; Storia dell’ingegneria.
16. G. E. Cinque, E. Lazzeri, “Analisi geometriche e progettuali in alcuni complessi di Villa Adriana”, 2011, Facoltà di Ingegneria, Università degli studi di Roma Tor Vergata.
17. F. Fantini, “Lessico e metodi del progetto nel mondo antico”, Presentazione Workshop di rilevamento Archeologic 2016, Dipartimento di Architettura Facoltà di Ingegneria Alma Mater Studiorum-Università degli studi di Bologna.
18. V. Vincenti, “Mosaici Antichi in Italia.
19. G. E. Cinque e N. Marconi “Villa Adriana, passeggiate iconografiche”.
20. www.geomaticaeconservazione.it
21. Exportocanoma.blogspot.it – SfM – Structure from Motion (prima parte)
22. Villa Adriana la pianta del centenario- 1 gennaio 2006 (Benedetta adembri-Giuseppina Enrica Cinque)
23. Ricerche sull’architettura di Villa Adriana (Cairolì Giuliani) De Luca editore 1975.
24. Villa Adriana il sogno di Imperatore - 2001 (Eugenia Salsa Prima Ricotti)

25. Nuovi sostegni all'ipotesi di una grande sala cupolata alla Piazza d'Oro di Villa Adriana (Andrea Moneti).

26. Villa Adriana. La costruzione e il mito da Adriano a Louis I. Kahn. Ediz. – 27 mag 2006 di William L. MacDonald (Autore), John A. Pinto (Autore)

10. Appendice

11.1 Elaborazione dati con Agisoft Photoscan

Agisoft Photoscan è un programma che permette di creare dei modelli 3D automaticamente attraverso l'uso di immagini fotografiche, usando delle tecniche dette Structure from Motion (SfM).¹⁴

Il modello che se e ricava è un 3D dotato di texture.

La creazione di questo modello viene effettuata attraverso quattro fasi :

1. Si effettua l'allineamento delle immagini fotografiche; il programma infatti , confronta le diverse foto, ritrovando così la posizione della camera nello spazio durante la ripresa di ogni fotogramma. In questo modo permette di realizzare una nuvola di punti omologhi che servono per la ricostruzione dell'oggetto.
2. Partendo dalle immagini allineate durante la prima fase, si genera una nuvola di punti densa.
3. Il programma basandosi su una nuvola di punti ricostruisce una mesh poligonale 3D che raffigura l'oggetto che è stato oggetto di studio. L'algoritmo è l'Arbitrary usato per generare la mesh di un oggetto non bidimensionale.
4. Nell'ultima fase si procede con la creazione di una texture descrittiva del materiale dell'oggetto, e esportando ortofoto dell'oggetto secondo delle viste orientate.

Durante la cattura delle immagini fotografiche per permettere una ricostruzione del modello, occorre che ogni singolo punto sia presente in almeno due fotogrammi, ma per una migliore ricostruzione è meglio che si presenti in almeno cinque fotogrammi. È opportuno inoltre evitare le riprese quando il cielo presenta luce troppo intensa, mentre sono migliori le riprese con un cielo coperto, in quanto permettono di evitare la presenza di ombre o il loro movimento. Questo procedimento non è applicabile nel caso di superfici trasparenti, riflettenti o piatte , o se l'oggetto che si fotografa è in movimento.

Per evitare un eccessivo rumore durante la cattura delle immagini, occorre mantenere gli ISO su un valore di 100, ma nel caso in cui ci sia in presenza di poca luce è possibile aumentare il valore fino ad un massimo di 400 ISO. Inoltre l'apertura del diaframma e il tempo di

¹⁴ È una tecnica che permette di realizzare immagini 3D attraverso l'uso di una sequenza di immagini bidimensionali (fotografie) che possono essere accoppiate attraverso dei segnali di movimento.

esposizione è opportuno che si imposti con dei valori che rimangano costanti durante tutte le riprese.

All'inizio di ogni set di immagini bisogna utilizzare o un pannello grigio di riferimento, o una tavolozza con tasselli colorati per permettere le successive operazioni di bilanciamento, in modo da eliminare le componenti ambientali dominanti. Questi pannelli devono essere posizionati, nella prima fotografia, adiacenti o parallelamente alla superficie presa in considerazione, in modo che in ogni set d'immagini sia presente il pannello di riferimento, che ci permetterà di applicare i valori di bilanciamento a tutte le foto del set.

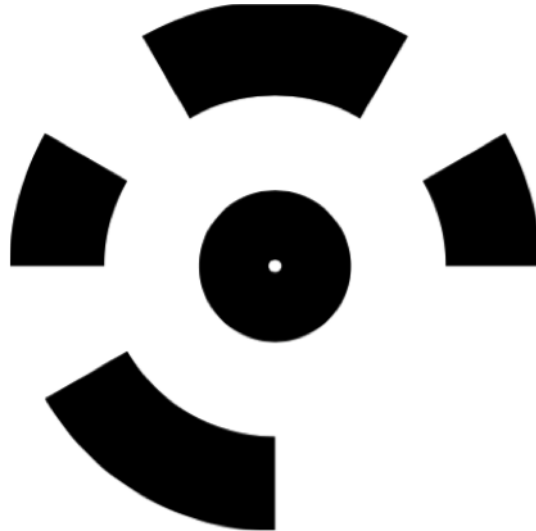
Le fotografie inoltre sono state salvate in formato RAW (o NEF, a seconda del tipo di camera usata) e non in formato JPG, in quanto quest'ultimo è un formato distruttivo che non avrebbe fornito un'ottima qualità al modello finale.

Con il plugin CAMERA RAW di Photoscan è stato possibile aprire le foto in formato RAW ed effettuare il bilanciamento delle immagini; una volta eseguito il bilanciamento verrà salvato il file in formato .XMO che permette di registrare tutti i valori di bilanciamento in modo da avere la possibilità di inserire automaticamente gli stessi parametri in tutto il set d'immagini.

Per applicare il bilanciamento a tutto il set di fotografie, bisogna aprire tutte le immagini che sono state salvate in formato RAW e applicando le impostazioni scelte con il file .XMP corrispondente. In questo modo le immagini bilanciate potranno essere caricate in Photoscan, almeno che non si abbia bisogno di creare delle maschere.

Le maschere vengono inserite nel caso in cui occorre nascondere delle parti di immagini che non sono necessarie ai fini della ricostruzione del modello, poiché potrebbero aumentare in modo eccessivo i tempi di calcolo del progetto (vegetazione, persone porzioni di cielo.....); in genere si mascherano anche le superfici che si presentano sottili o filiformi che il programma non riesce a ricostruire, e in cui sarebbe proiettata la texture in maniera sbagliata durante la fase di mappatura (ringhiere, pali,...), e si cerca comunque di mascherare piccole porzioni dell'immagine in quanto si potrebbero perdere tutti i punti di riferimento per l'allineamento. Una volta create, possono essere importate e caricate nel progetto.

Il programma Photoscan dà la possibilità di creare dei target di riferimento da posizionare nella zona oggetto di studio prima della fase di cattura delle immagini. Questi target sono numerati e tutti diversi e vengono riconosciuti automaticamente dal programma in un passaggio prima dell'avviamento, e permette di diminuire così i tempi di elaborazione.



Una volta che il programma ha riconosciuto automaticamente i vari Target, è preferibile controllare le immagini, così da evitare errori dovuti a punti casuali riconosciuti come Target. Effettuato questo passaggio si può eseguire l'allineamento delle immagini.

In seguito si potrà poi inserire le coordinate (x,y,z) per ogni target, in modo da rototraslare o scalare il modello.

Per eseguire l'allineamento automatico delle immagini, si devono prima trovare la posizione delle fotocamere insieme all'orientamento di ogni fotografia, per ricostruire il modello a nuvola di punti rada, impostando l'accuratezza in high e abilitando la presenza delle maschere. Questo processo inizia con il ricercare i punti omologhi nelle fotografie, e stimando la scena. Inoltre la velocità di questo processo va in base alla quantità di RAM del computer utilizzato. Dopo l'allineamento ne risulterà una nuvola di punti con la geometria dell'oggetto con le diverse foto visualizzate con l'asse di ripresa della fotocamera. Prima di eseguire il passaggio successivo bisognerà controllare che le fotografie siano allineate correttamente e nel caso in cui non lo siano, a disabilitare o eliminare dall'elaborazione.

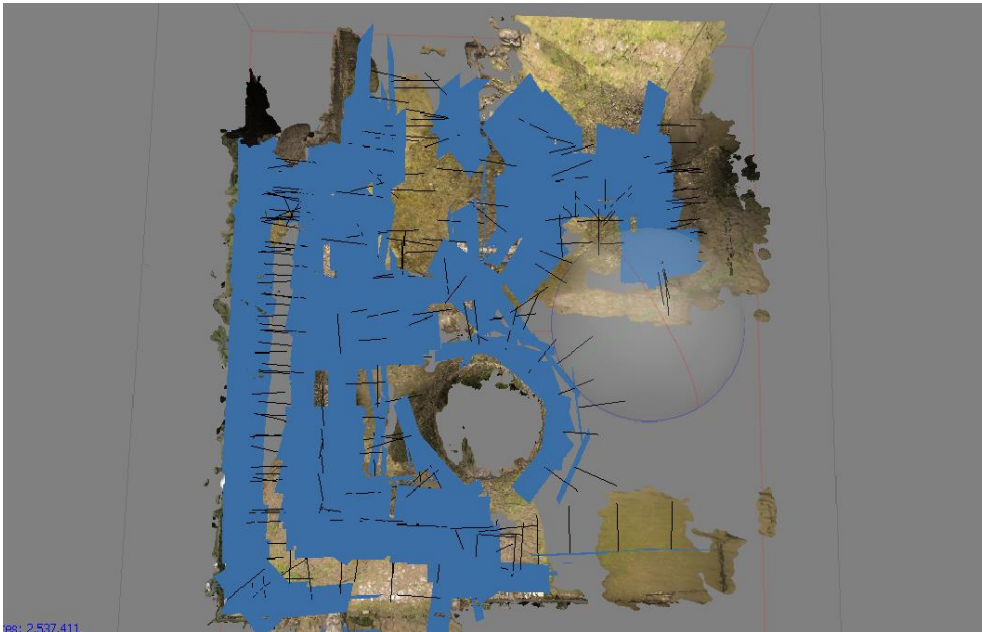
Successivamente è possibile effettuare un'ottimizzazione, cioè cercare di attutire l'effetto delle deformazioni non lineari date dalla foto modellazione, tenendo conto dei valori di orientamento interno della fotocamera; e ne risulterà un sensibile spostamento dei punti della nuvola.

Effettuati tutti questi passaggi, è stato poi possibile proseguire con la costruzione della mesh. Questo processo inizia con la ricostruzione della profondità (Reconstructing Depth) e la ricostruzione della mesh (Generating Mesh). Quello che si ottiene è una mesh con un colore

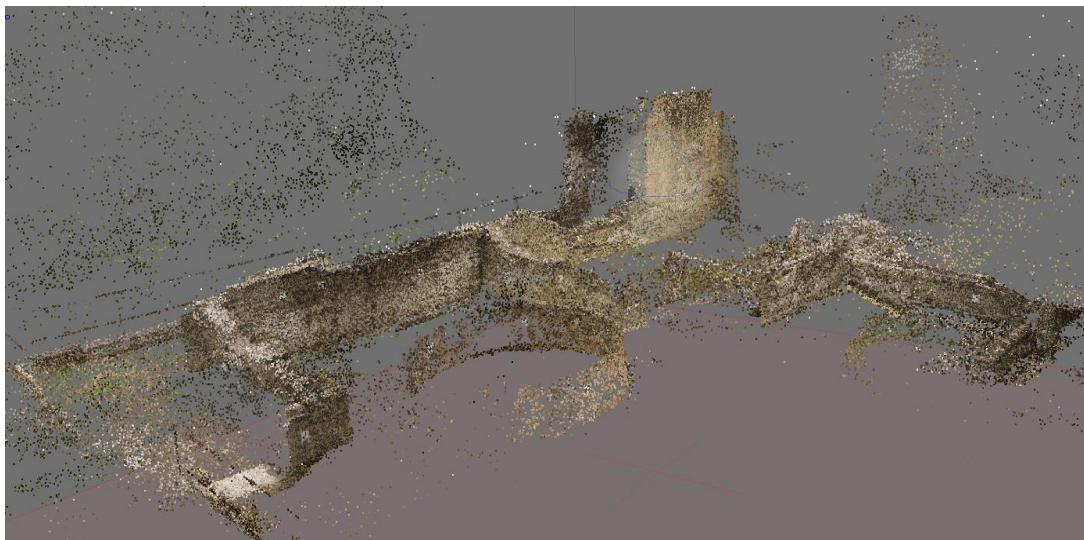
apparante, che può essere texturizzata o corretta dagli errori, come ad esempio eliminazione di parti dell'oggetto ricostruito ma che non sono utili.

La mesh creata è possibile esportarla come modello, e modificarla con altri software di editing avanzato. Il modello ottenuto da questa serie di passaggi è pronto, e permette di eseguire la mappatura automatica.

I parametri che sono stati utilizzati sono: il mapping mode che è stato scelto come generic usato per le geometrie arbitrarie, il blending mode selezionato in mosaicc, in modo da avere una migliore qualità delle ortofoto e della texture , poiché sceglie in maniera automatica la foto più appropriata. Perciò effettuato quest'ultimo passaggio , il file è stato salvato ed esportato in modo da rendere poi possibile l'uso con altri programmi.



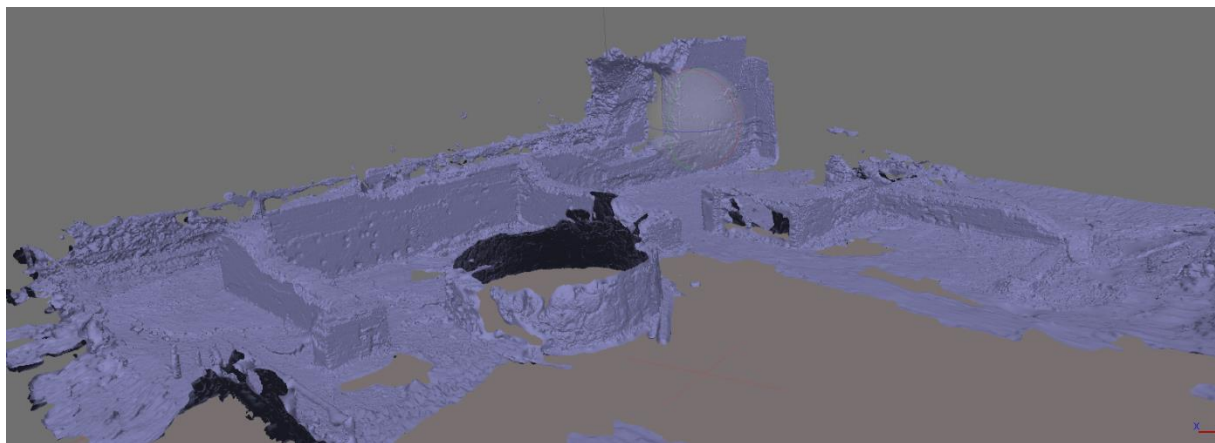
Acquisizione di immagini, individuazione dei punti caratteristici, messa in corrispondenza dei punti omologhi (immagine)



Nuvola rada di punti, ricostruzione 3D tramite punti sparsi (immagine)



Nuvola densa di punti, ricostruzione 3D tramite nuvole dense (immagine)



Modello mesh generato da una maglia di triangoli i(mmagine)



Viste modello texturizzato (immagine)

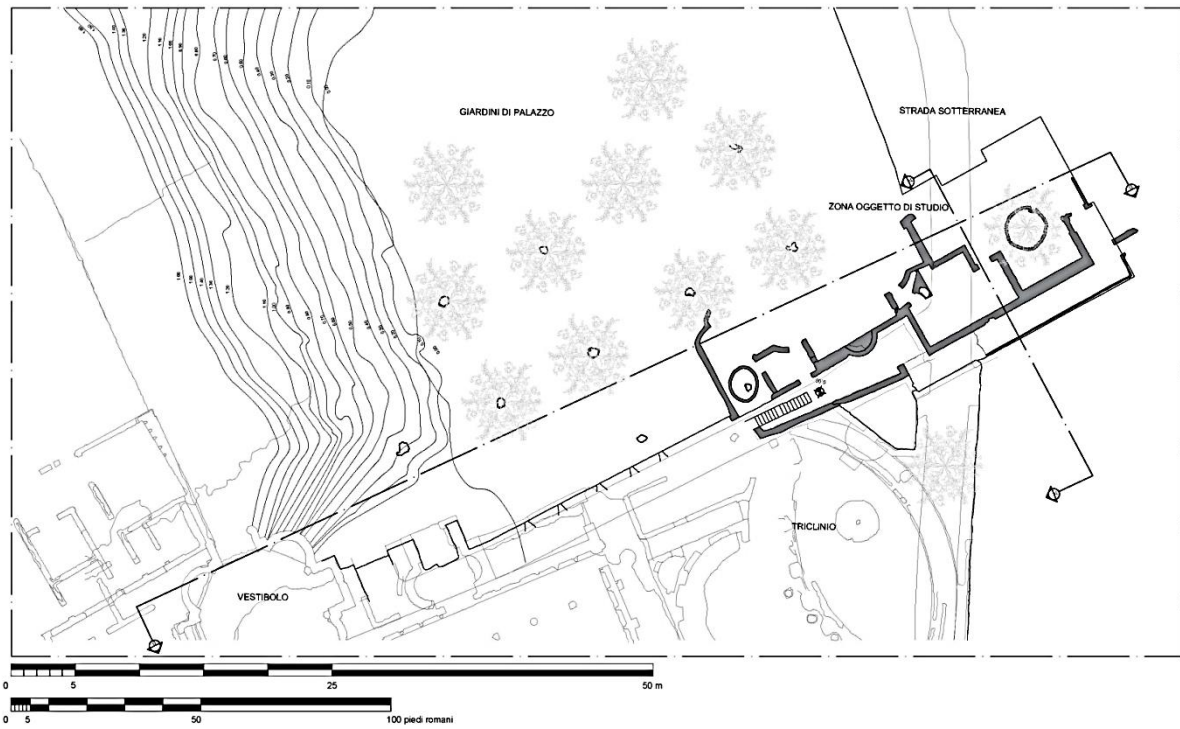


Livello di dettaglio fotorealistico(immagine)

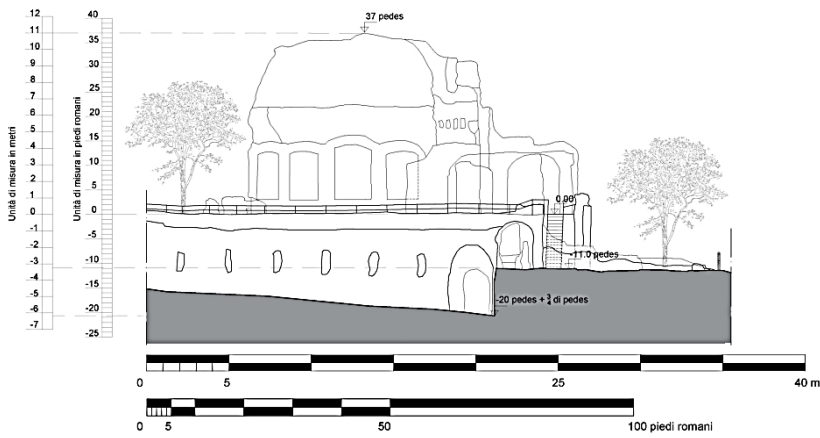
11. Indice Allegati

11.1 Pianta Zona Tricliniare.....	
11.2 Sezione A-A.....	
11.3 Sezione B-B.....	
11.4 Sezione longitudinale con nuvola.....	
11.5 Sezione trasversale con nuvola.....	

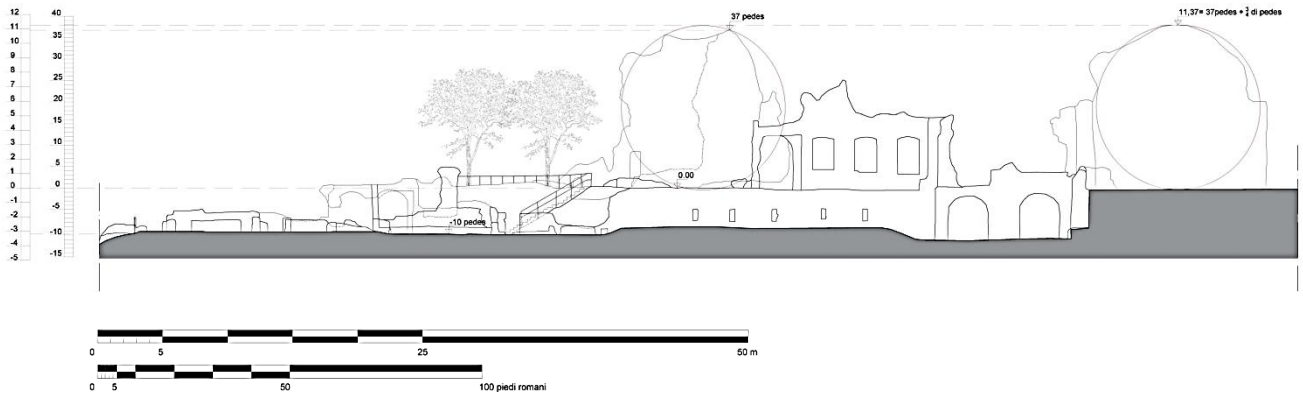
11.1 Pianta Zona Tricliniare



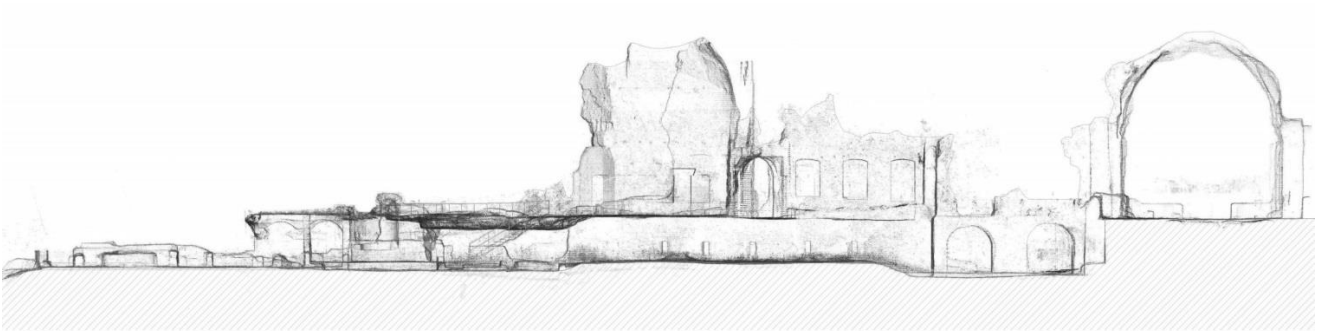
11.2 Sezione A-A



11.3 Sezione B-B



11.4 Sezione longitudinale con nuvola



11.5 Sezione trasversale con nuvola

