

ALMA MATER STUDIORUM - UNIVERSITÀ DI BOLOGNA

Scuola di Ingegneria e Architettura

Dipartimento di Architettura (DA)

Corso di laurea Ingegneria Edile Architettura

TESI DI LAUREA IN DISEGNO DELL'ARCHITETTURA

Ricostruzione digitale e analisi storica:

Il progetto di Giuliano da Sangallo per il Mausoleo di Giulio II



CANDIDATO

Elena Masina

RELATORE:

Chiar.mo Prof.

Marco Gaiani

CORRELATORI

Prof. Sabine Frommel

Ing. Simone Garagnani

Indice

1. Introduzione	1
2. Analisi storico – documentale	5
2.1 Giuliano da Sangallo	5
2.2 Il progetto per un mausoleo di papa Giulio II	9
2.3 Fonti e riferimenti	15
3. La ricostruzione dell'inesistente	19
3.1 Metodi e obiettivi	19
3.2 La ricerca del modulo	23
3.3 La scelta del braccio fiorentino	37
3.3.1 Vettorializzazione della pianta	37
3.3.2 Vettorializzazione della sezione	42
3.3.3 Considerazioni su pianta e sezione	46
3.3.4 Generazione del primo modello tridimensionale	47
4. La rappresentazione dettagliata dell'architettura attraverso il modello digitale	53
4.1 Ordini architettonici e trabeazioni	53
4.2 L'avancorpo e le edicole	61
4.3 Organizzazione interna	67
4.4 Questioni aperte	71
4.4.1 Collegamenti verticali	71
4.4.2 Aperture ed illuminazione interna	74
4.5 Ipotesi di collocazione geografica del mausoleo	77
4.6 Le ipotesi fallite	83
5. Produzione del modello digitale	89
5.1 Ottimizzazione del modello	89
5.2 Ipotesi di utilizzo dei materiali	91
5.2.1 Analisi delle fonti	91
5.2.2 Applicazione dei materiali e rendering	95
5.3 Analisi dell'illuminamento con luce naturale	103

5.4 Prototipazione	109
6. Attendibilità delle fonti	113
7. Conclusioni	119
8. Bibliografia	123
9. Sitografia	125
10. Fonti iconografiche	127
11. Indice delle immagini	129

1. Introduzione

Questa tesi si pone l'obiettivo di proporre una ricostruzione digitale relativa al mausoleo commissionato nel 1505 da Papa Giulio II all'architetto Giuliano da Sangallo e di sviluppare una metodologia capace di restituire sia i caratteri del progetto Sangallescò sia i dubbi, le incertezze, le criticità che emergono dalla ricostruzione tridimensionale di un progetto di cui rimangono solo una pianta e un alzato. Il progetto è infatti relativo ad un manufatto mai realizzato, e l'oggetto della presente tesi di laurea è stato quindi duplice:

- Ricostruire tridimensionalmente il progetto
- Sviluppare una metodologia capace di permettere una lettura critica della ricostruzione realizzata a partire dai documenti originali e con l'ausilio del maggiore studioso di Giuliano da Sangallo oggi vivente, che è anche correlatore della tesi.

Il processo di ricostruzione ha inoltre permesso di portare alla luce nuovi interrogativi sul caso preso in esame, a cui si è cercato di rispondere o, almeno, di proporre una soluzione secondo criteri architettonici e costruttivi.

La scelta di questo tema si pone all'interno di un più ampio progetto di ricerca riguardante l'architetto Giuliano da Sangallo già intrapreso da Sabine Frommel, la quale ha pubblicato sul tema un volume monografico nel 2014⁶.

Nei prossimi capitoli verrà quindi illustrato come, partendo da un'analisi approfondita dei disegni originali dell'architetto, contenuti all'interno di una sua raccolta di schizzi chiamata *Codice Barberiniano*¹⁰, e avvalendosi del confronto con altre fonti, più o meno attendibili, ove il disegno risultava lacunoso ed incerto, si è giunti ad ottenere un modello tridimensionale che illustra l'aspetto che avrebbe potuto avere il mausoleo ideato dal Sangallo per papa Giulio II.

In particolare ci si soffermerà sugli strumenti scelti e sul metodo utilizzato per arrivare ad ottenere l'ipotesi ricostruttiva più plausibile, basato fondamentalmente su tre fasi:

- ANALISI delle FONTI
- FORMULAZIONE DI UNA SERIE DI IPOTESI

- SCELTA dell'ALTERNATIVA AL MOMENTO PIÙ PLAUSIBILE

Tale metodo ha guidato tutto il processo di ricostruzione ed è stato ripetuto più volte nel caso di modifiche o di introduzione di nuovi elementi all'interno del modello.

I software impiegati per la ricostruzione sono stati due, entrambi appartenenti alla Autodesk: Autocad e 3D Studio Max Design, entrambi nella versione 2014. Il primo è stato utilizzato nella fase iniziale di vettorializzazione dei disegni del Codice Barberiniano il secondo, invece, è stato impiegato per la generazione del modello partendo dai disegni bidimensionali realizzati in precedenza.

Il modello realizzato tramite questi strumenti è stato poi utilizzato per visualizzare le ipotesi in tre dimensioni durante la ricostruzione in modo da poter scegliere l'opzione più plausibile e, nella fase più evoluta, di effettuare analisi approfondite sulle ricostruzioni finali proposte.

In particolare sono stati realizzati rendering foto realistici del manufatto che illustrano le ipotesi sui materiali di finitura, render analitici per ottenere dei dati reali sulla luminanza e l'illuminamento all'interno del Mausoleo ed è stato fatto qualche test di stampa tridimensionale.

In conclusione è affrontato un argomento fondamentale che ha accompagnato tutta la fase di ricostruzione e che si è stato determinante sia per validare l'intero processo ricostruttivo sia per far sì che tutto il materiale prodotto fosse di più facile e trasparente lettura: l'attendibilità delle fonti.

Anche in questo caso il modello tridimensionale si è rivelato un'ottima risorsa poiché ha permesso di effettuare in modo semplice un'analisi dell'affidabilità di ogni elemento costitutivo del mausoleo e di realizzare immagini che fossero di facile comprensione sia per i tecnici che per un pubblico più ampio.

2. Analisi storico documentale

2.1 Giuliano da Sangallo

Giuliano da Sangallo nasce a Firenze tra il 1442 e il 1445; le dichiarazioni fatte al Catasto da Francesco di Bartolo Giamberti, padre di Giuliano, risultano infatti in contrasto tra loro e anche con ciò che dichiara in seguito lo stesso Sangallo.

Egli inizia la sua attività come legnaiolo e acquisisce nella bottega di Francione un ampio ventaglio di esperienze quali le tarsie, la prospettiva e la carpenteria fino ad arrivare, solo più tardi, alla progettazione architettonica vera e propria.

Il Sangallo si colloca a Firenze in un frangente storico dove la prassi architettonica è focalizzata su una rielaborazione dei modelli ereditati dalle generazioni precedenti, divisa da una dialettica tra tradizione e innovazione e nutrita dal gusto all'antica dei committenti umanistici.

L'autorità di tali modelli è anche sottilmente connessa alla loro volontà politica, poiché usano questo linguaggio, divenuto rapidamente inconfondibile, per rappresentare ed esibire la nuova identità del governo mediceo.

Infatti a partire dagli anni 80 del XV secolo comincia ad intessersi quel dialogo stretto ed intenso tra Giuliano da Sangallo e Lorenzo de' Medici, che darà origine ad un numero notevole di progetti e costruzioni: Santa Maria delle Carceri, le ville medicee di Poggio a Caiano e di Agnano, il progetto per il palazzo del Re di Napoli, la ristrutturazione del monastero di Cestello, la sagrestia di Santo Spirito, il convento di San Gallo (a cui il Sangallo deve il suo nome); e che farà dell'architetto uno dei protagonisti dell'innovazione nell'architettura fiorentina.

Questi progetti, pieni di novità linguistiche e sintattiche, dovettero suscitare stupore e ammirazione tra i contemporanei e contribuirono a plasmare Firenze secondo la visione del Magnifico, diffondendo fuori dalla Toscana la fama dell'architettura fiorentina.

Questi progetti, pieni di novità linguistiche e sintattiche, dovettero suscitare stupore e ammirazione tra i contemporanei e contribuirono a plasmare Firenze

secondo la visione del Magnifico, diffondendo fuori dalla Toscana la fama dell'architettura fiorentina.

Si collocano in questo periodo anche i progetti per Palazzo Strozzi e Palazzo Gondi nei quali il Sangallo rinnova il modello di Palazzo Medici.

Egli sperimenta anche, insieme al fratello Antonio, l'architettura militare, inaugurando una nuova era ed eclissando le pratiche legate alla precedente epoca del Francione.

La morte di Lorenzo nel 1492 pone fine ad un periodo di rapporti proficui e durevoli, fondati sulla reciproca fiducia. I successivi anni della sua carriera sono pertanto contrassegnati da continui spostamenti e da una produzione di impronta fortemente eterogenea, a causa dell'assenza di programmi pienamente condivisi e supportati dai committenti.

Agli anni tra il 1492-1494 sembra risalire il vestibolo della villa di Poggio a Caiano e nello stesso periodo il Sangallo realizza il vestibolo di Santa Maria dell'Umiltà.

Subito dopo la morte del Magnifico, il Sangallo compie un passo più erudito verso il patrimonio classico, favorito da esperienze dirette e dalla scomparsa del suo principale mecenate che era incline alla conservazione di certi idiomi locali.

La passione per l'Antico nel Sangallo ha trovato forma tramite una quantità impressionante di schizzi, rilievi, restituzioni e disegni raccolti nel *Taccuino senese* e nel *Codice barberiniano* durante tutto il corso della sua vita.

Il Sangallo trova poi un nuovo committente nella persona del cardinale Giuliano della Rovere che gli commissiona il palazzo dei Della Rovere a Savona e nel 1496 lo porta con sé in Provenza dove ha l'opportunità di studiare i monumenti antichi presenti.

Fino al 1499 il Sangallo prosegue il cantiere di Santa Maria delle Carceri e di Palazzo Gondi e nel 1501 dopo la morte di Gondi egli inizia anche la cappella funeraria in Santa Maria Novella.

Nel 1504, a seguito dell'elezione di Giuliano della Rovere al soglio pontificio come papa Giulio II, parte per Roma, dove spera di ricevere commissioni dal suo nuovo mecenate.

Grazie al soggiorno romano egli può approfondire la conoscenza dell'Antico e,

anche se non gli è facile tenere il passo di Bramante, a partire dal 1506 Giuliano arriva progressivamente ad avvicinarsi al Maestro urbinato e a vedere l'Antico con occhio nuovo ma senza abbandonare il proprio linguaggio personale.

Tuttavia il papa è poco convinto delle sue prestazioni e quindi già nel 1506 lo sostituisce con Bramante, per questo motivo molti suoi progetti tra cui quelli per San Pietro e, forse, per il Mausoleo di Giulio II rimangono soltanto su carta.

Nella primavera del 1509 quindi il Sangallo lascia Roma per tornare definitivamente in patria, dove si dedica al proseguimento del palazzo e della cappella dei Gondi e riceve anche nuovi incarichi prestigiosi.

Nei suoi ultimi tre anni di vita Giuliano tenta di lavorare ancora per i Medici che avevano riconquistato Firenze nel 1512 e con l'elezione di Leone X avevano conquistato il soglio papale.

Tuttavia il papa, figlio di Lorenzo de' Medici, preferisce il linguaggio più innovativo e grandioso di Bramante e di Raffaello, pertanto sarà Alfonsina Orsini, cognata del papa, a diventare la principale committente del Sangallo negli ultimi anni di attività, affidandogli l'incarico di realizzare il suo palazzetto in piazza dei Caprettari e i progetti per i palazzi medicei in piazza Navona a Roma e in via Laura a Firenze e per la facciata di San Lorenzo.

Nel 1515 si trasferisce nuovamente a Firenze seguendo Alfonsina Orsini e qui morirà nel 1516.

Giuliano da Sangallo si colloca tra i personaggi chiave del Rinascimento italiano, la sua opera si pone in diretta continuità con quella di Filippo Brunelleschi, Leon Battista Alberti e Michelozzo, i pionieri del primo Quattrocento, e traccia insieme a quella di Giuliano da Maiano, Francesco di Giorgio, Bramante e di Baccio Pontelli, le linee di indirizzo di una nuova fase stilistica.

Egli è l'unico protagonista che contribuisce in maniera significativa sia alla nascita del Rinascimento italiano, nella Firenze medicea, sia al suo culmine nella Roma di Giulio II e di Leone X⁶.

2.2 Il progetto per un Mausoleo di papa Giulio II

Nelle prime settimane del 1505 papa Giulio II decide di commissionare a Michelangelo Buonarroti il proprio monumento funebre e, secondo quanto dice Vasari, chiede a Giuliano da Sangallo, Michelangelo e ad altri artisti di trovare un sito adatto all'interno della basilica di San Pietro. Secondo l'aretino, il Sangallo avrebbe preferito una costruzione autonoma, nei pressi della basilica, e probabilmente propose al papa un progetto fondato su questa idea, da individuare forse nei disegni del *Codice barberiniano* che mostrano una planimetria e una sezione prospettica di una chiesa a pianta centrale, nella cui cappella maggiore è collocato un monumento funebre a tre livelli.

Se il mausoleo era veramente destinato a contenere le spoglie di Giulio II, l'architetto potrebbe averlo collocato vicino alle due rotonde tardo-antiche a sud della vecchia basilica, dove era stato sepolto anche Alessandro VI.

Nel progetto dell'edificio Giuliano da Sangallo si è ispirato al Pantheon sia per quanto riguarda il sistema costruttivo caratterizzato da nicchie rettangolari che si alternano a pilastri massicci, sia per l'organizzazione interna dove si susseguono un livello basamentale con un ordine corinzio di colonne tonde e a tre quarti, un secondo livello con paraste corinzie alternate a nicchie a conchiglia e tonde e, infine, una cupola emisferica.

I pilastri sono scavati da quattro chiocciole che presumibilmente salivano fino al livello d'imposta della cupola passando attraverso il secondo livello, il cui basso corridoio poteva essere illuminato da finestre esterne e da quattro scale a due rampe che dovevano consentire l'accesso ai balconcini sopra le porte, destinati forse ai cantori.

Tali supposizioni risultano incerte a causa della non completezza delle fonti grafiche reperite, riferite tra l'altro ad una fase precedente rispetto alla realizzazione del cantiere e quindi con un livello di dettaglio decisamente più basso rispetto ad un disegno esecutivo.

Gli ambienti posti sulle diagonali sono chiusi da colonnati e sembrano destinati ad ospitare delle cappelle, mentre i vani situati sugli assi principali servono come vestiboli.

Il Sangallo prolunga poi il vestibolo principale in un secondo vano di uguale grandezza che aggetta rispetto alla rotonda, esso si trova di fronte all'entrata principale ed è caratterizzato da colonne angolari tonde, analogamente al coro di San Bernardino ad Urbino, alla cappella Nerli di San Salvatore al Monte, alla cappella di Baldassarre Castiglione e alla cappella Ghisilardi presso San Domenico di Bologna, ovvero tutti i mausolei ispirati al modello antico sulla via Appia: il che sembra confermare l'ipotesi che il progetto sangallesco fosse destinato ad un mausoleo, nel quale lo spazio con le colonne angolari era destinato alla tomba e quello antistante all'altar maggiore.

Nel punto in cui il Sangallo ha inserito il prolungamento del vestibolo principale si possono notare linee sovrapposte e anche cancellate, per questo motivo è possibile supporre che la pianta fosse ancora in fase di studio e che tale modifica sia stata effettuata successivamente ad un primo schizzo. Il fatto che il Sangallo stesse ancora lavorando sulla pianta sembra confermato anche dal fatto che soltanto uno degli ambienti posti sulle diagonali presenta una più articolata scansione della parete di fondo costituita da una nicchia posizionata centralmente rispetto a due semicolonne.

La posizione destinata all'altare probabilmente doveva essere il centro della rotonda, poiché, nell'alzato, solo in questa zona vi è posto sufficiente ed adeguato. In questo modo il Sangallo si riallaccia al Mausoleo di Santa Costanza, come fa anche per la posizione della tomba, in fondo all'asse d'ingresso.

L'aspetto esteriore del monumento, che possiamo ricavare dal disegno della sezione, ricorda direttamente la rotonda raffigurata nella *Città Ideale* di Urbino, forse attribuibile al Sangallo ⁶.

Come quest'ultima, infatti, si erge su un podio di tre livelli di gradinate ed è articolato da due ordini di semicolonne corinzie; il piano superiore riceve luce da finestre rettangolari e il tetto piramidale termina in una lanterna.

All'esterno, nel caso del Sangallo, troviamo inoltre un basso attico rientrante che rinforza la cupola, come nel Pantheon.

Nel disegno della sezione si nota come i due ordini corinzi e le loro pesanti trabeazioni siano solo sommariamente accennati dall'architetto, come anche la lanterna, che ricorda quella brunelleschiana della Sagrestia Vecchia, tutti

argomenti che inducono a datare il progetto verso il 1505.

Il Sangallo aggiunse le forti ombreggiature ad acquerello, caratteristiche invece della sua fase tarda, forse solo quando copiò frettolosamente il progetto nel *Codice barberiniano* qualche tempo dopo il 1505 e, se così fosse, soltanto allora avrebbe aggiunto il vano della cappella sepolcrale ⁶.

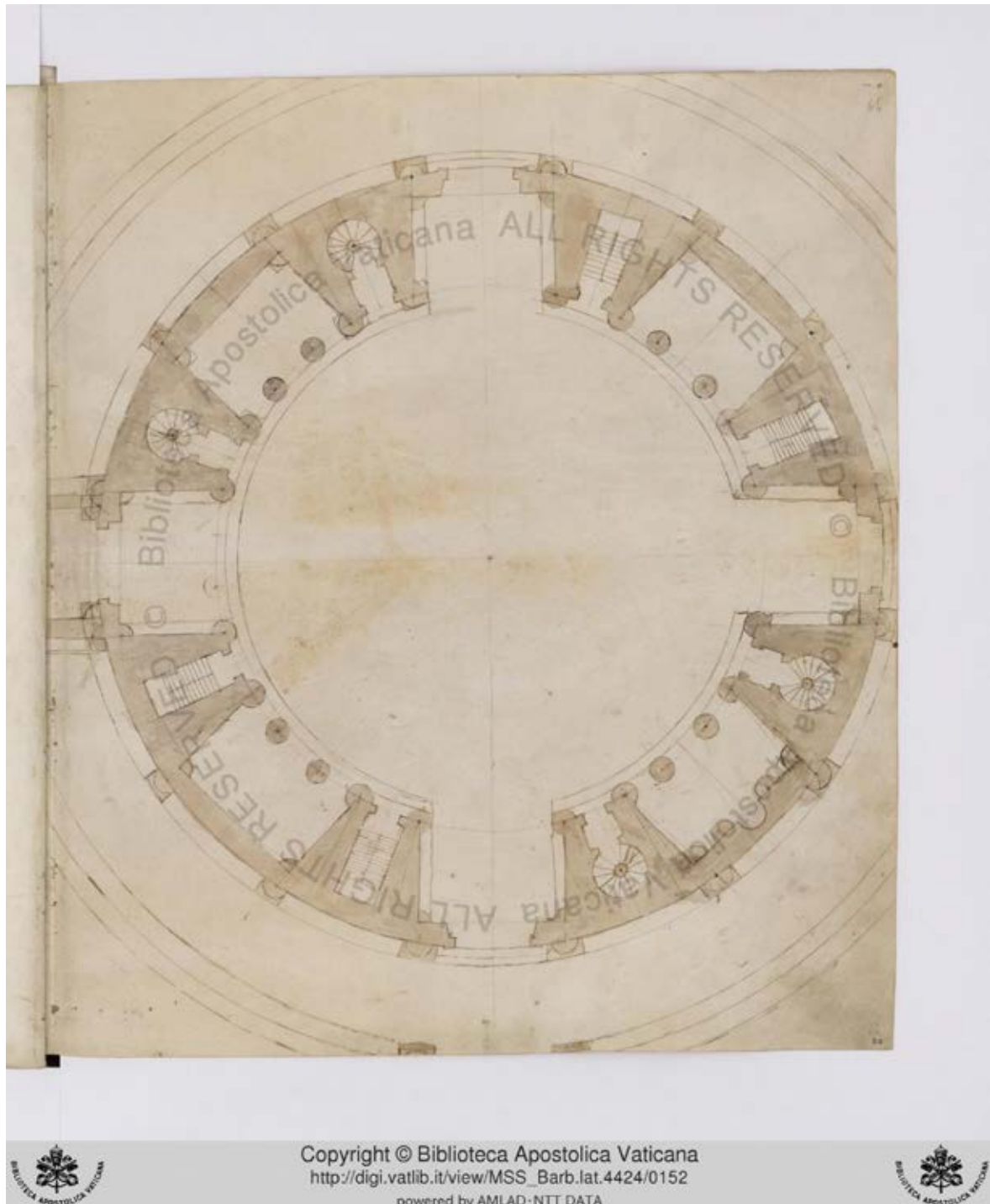


Figura 1: Giuliano da Sangallo , *Pianta del progetto per un mausoleo per il papa Giulio II*, *Codice Barberiniano*, f 66r [10]



Figura 2: Giuliano da Sangallo, *Sezione del progetto per un mausoleo per il papa Giulio II*, Codice Barberiniano, f 51v [10]

2.3 Fonti e Riferimenti

La fonte di partenza per dare forma al progetto per il Mausoleo di Giulio II è stata il *Codice Barberiniano*, una raccolta di schizzi, rilievi, restituzioni e disegni del Sangallo, alla quale egli si dedica con passione fino alla fine della sua vita⁶.

Qui egli disegna la planimetria e la sezione prospettica alle quali si è fatto riferimento per produrre un primo modello tridimensionale che poi è stato perfezionato nel tempo al fine di generare un'ipotesi ricostruttiva più completa e coerente possibile.

Questo processo non è stato immediato perché l'informazione presente nei disegni dell'autore, trattandosi di semplici schizzi, si è rivelata essere lacunosa e quindi non sufficiente per completare senza ambiguità il modello nei suoi aspetti costruttivi.

Per questo motivo è stato necessario utilizzare altre fonti, più o meno attendibili, che potessero almeno fornire un'indicazione plausibile per ricostruire quegli elementi architettonici soltanto abbozzati dal Sangallo nei suoi disegni.

Vengono quindi di seguito riportate le principali fonti a cui si è fatto riferimento, divise per categorie:

1. Schizzi dell'autore contenuti in un'altra raccolta di disegni: il *Taccuino Senese*
2. Progetti coevi dello stesso Sangallo; come ad esempio la Chiesa di Santa Maria delle Carceri a Prato, la Chiesa di Santa Maria dell'Umiltà a Pistoia, la Cappella Gondi all'interno della Chiesa di Santa Maria Novella a Firenze...



Figura 3: Giuliano da Sangallo, Chiesa di Santa Maria delle Carceri, Prato



Figura 4: Giuliano da Sangallo, Chiesa di Santa Maria dell'Umiltà, Pistoia, [6]

3. Dipinti di architettura coevi che ritraggono mausolei come la *Città Ideale* di Urbino, che conta tra i possibili autori anche lo stesso Sangallo, e la *Consegna delle Chiavi*, affresco che fa parte della decorazione del registro mediano della Cappella Sistina, ad opera del Perugino

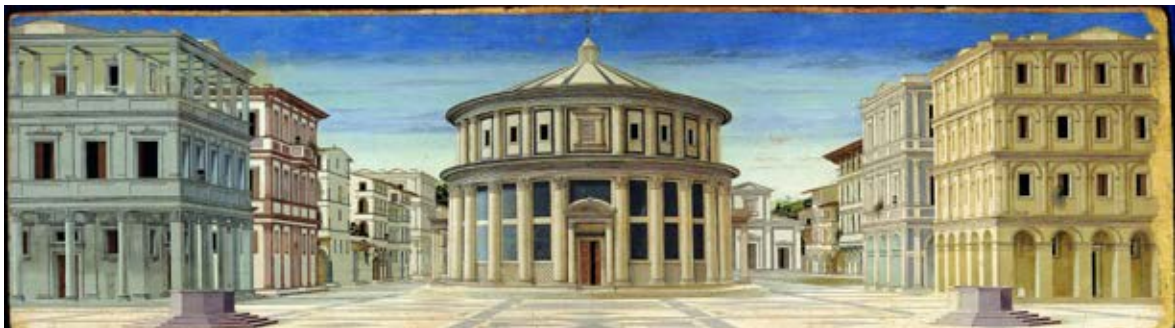


Figura 5: Ignoto, Città Ideale, Galleria Nazionale delle Marche, Urbino [15]



Figura 6: Pietro di Cristoforo Vannucci detto il Perugino, Consegna delle Chiavi, Cappella Sistina, Città del Vaticano [14]

4. Edifici tipologicamente affini come il Pantheon e il Mausoleo di Santa Costanza a Roma



Figura 7: Pantheon, Roma, [17]



Figura 8: Mausoleo di Santa Costanza, Roma, [18]

5. Trattati architettonici come quelli del Vignola o dell'Alberti

Nei casi in cui poi nemmeno i riferimenti davano indicazioni sufficienti, sono state fatte congetture basate su analisi critiche e considerazioni progettuali.

3. La ricostruzione dell'inesistente

3.1 Metodi e obiettivi

L'obiettivo della prima fase della tesi è stato quello di ottenere un modello tridimensionale attendibile di un'architettura non esistente.

Come già accennato nel capitolo precedente tuttavia, date le lacune presenti nei disegni dell'architetto, spesso è stato necessario ricorrere ad altre fonti per poter avere informazioni su come realizzare il modello nei suoi aspetti costruttivi e di dettaglio.

In questi casi è stata fondamentale la fase di confronto degli elementi presenti nei disegni originali con tutte le diverse fonti per cercare di capire di volta in volta quale esempio seguire e quindi come procedere.

In particolare, il metodo utilizzato per affrontare questo problema è stato strutturato in diverse fasi:

1. ANALISI dei disegni e delle fonti
2. FORMULAZIONE D'IPOTESI
3. SCELTA dell'ALTERNATIVA PIÙ PLAUSIBILE

Questo processo è stato ripetuto più volte durante la creazione del modello, a partire dalle prime fasi di valutazione metrica e dimensionale di pianta e sezione, fino ad arrivare alla definizione dei dettagli architettonici. Questo perché è stato necessario affinare il modello strada facendo e ad ogni introduzione di nuovi elementi è corrisposta un'analisi critica delle fonti necessaria per formulare ipotesi credibili.

Nel momento in cui poi si è trattato di scegliere l'alternativa più plausibile, si è tenuto conto di diversi elementi:

- l'opinione di storici esperti nello studio dell'architetto Giuliano da Sangallo, come la prof.ssa Sabine Frommel

- il riscontro positivo nel confronto con le altre fonti
- le valutazioni di possibilità costruttive stimate nella loro più plausibile realizzazione, attraverso criteri di composizione, tecnologia e materiali

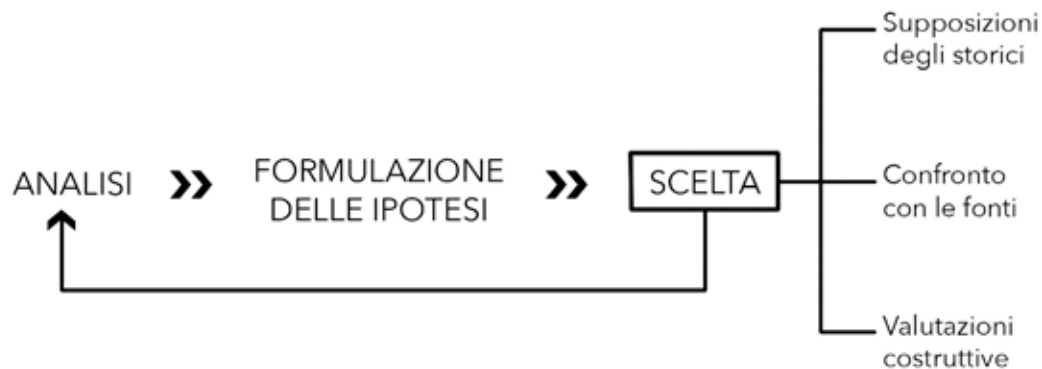


Figura 9: Schema del processo di ricostruzione

Tecnicamente è stata necessaria una prima fase di acquisizione delle fonti, in particolare i disegni originali del Sangallo tratti dal *Codice Barberiniano* custodito negli Archivi Vaticani ci sono stati forniti dalla prof.ssa Frommel e sono stati digitalizzati tramite scansione. La prof.ssa ci ha fornito anche una copia, già in formato digitale, del Taccuino Senese e il libro da lei stessa scritto, in formato cartaceo, su Giuliano da Sangallo; nel quale si trovano molte informazioni e, soprattutto, immagini dei progetti dell'architetto.

Questa è stata una buona base di partenza per cominciare l'analisi, procedendo poi nel lavoro, quando è stato necessario operare confronti con dipinti di architettura o con edifici tipologicamente affini al Mausoleo, ma non progettati dal Sangallo, lo strumento utilizzato è stato Google Immagini poiché forniva le immagini già in formato digitale ed è risultato lo strumento più veloce e più versatile per la quantità di materiale iconografico che mette a disposizione dell'utente.

I disegni originali, una volta digitalizzati, sono stati importati come immagini raster all'interno del software Autodesk Autocad nella sua versione 2014 al fine di vettorializzarli.

Inizialmente il disegno è stato ricalcato in maniera il più possibile fedele, seguendo quindi anche le imperfezioni, le asimmetrie e le dimensioni

leggermente diverse tra elementi dello stesso tipo, per poter effettuare le analisi per la ricerca di un modulo base che avesse guidato il Sangallo nel disegno e per effettuare quindi le valutazioni metriche e dimensionali.

Una volta trovato il modulo base, il disegno vettoriale è stato modificato in modo tale da essere il più coerente possibile con tale modulo, gli elementi sono stati uniformati ed è stata ripristinata una perfetta simmetria.

È stato quindi ottenuto un file dwg di pianta e sezione che è diventato la base di partenza per realizzare il modello tridimensionale.

Esso è stato infatti importato direttamente all'interno del software Autodesk 3D Studio Max Design 2014, senza particolari problemi di compatibilità dato che sia il software di partenza che quello di destinazione sono sviluppati dalla Autodesk, ed è stato utilizzato come guida per il posizionamento e il disegno delle sezioni degli elementi tridimensionali.

Tali elementi sono stati ottenuti a partire da forme bidimensionali (spline editabili), alle quali sono stati applicati dei modificatori di estrusione o rivoluzione attorno ad un asse oppure in altri casi sono stati utilizzati gli elementi nativi forniti dal software.

Per realizzare i decori presenti nei capitelli e nelle trabeazioni inoltre è stata utilizzata la tecnica del box modeling, cercando di non aumentare troppo il numero dei poligoni rendendo poi il file difficile da gestire in fase di lavoro.

Una volta terminata la modellazione è stato possibile applicare sulla geometria i materiali ed effettuare rendering realistici ed analisi illuminotecniche.

Sono stati applicati materiali di tipo Arc & Design ed è stato utilizzato Mental Ray come motore di rendering, ciò ha consentito di produrre effetti d'illuminazione realistici e fisicamente corretti.

Il software 3D Studio Max Design, inoltre, permette anche l'esportazione del modello in vari formati tra cui fbx, obj, stl per permettere l'interscambio con altri modellatori o per la stampa tridimensionale.

Nel caso del Mausoleo, infatti, è stata esportata in formato stl una porzione del modello per la stampa.

3.2 La ricerca del modulo

Per prima cosa sono stati analizzati i disegni tratti dal *Codice Barberiniano* cercando di capire quale potesse essere la scala in cui l'architetto aveva disegnato e se ci fosse una misura specifica in base alla quale i disegni erano stati proporzionati.

Confrontando la misura del diametro di una colonna in pianta con quello della sezione è stato possibile capire prima di tutto che esse erano state disegnate nella stessa scala, in secondo luogo si è proceduto ad analizzare diverse ipotesi per capire quale fosse la scala dei due disegni.

Con questo intento sono state digitalizzate sia la pianta che la sezione utilizzando il software Autodesk Autocad nella sua versione 2014 e sono stati riportati in proporzione metrica i disegni vettoriali ottenuti in maniera diversa a seconda dell'ipotesi presa in esame.

Di seguito verranno riportate tutte le ipotesi sviluppate e verranno espone le motivazioni per cui alcune sono state scartate per arrivare poi alla definizione dell'opzione finale per il dimensionamento dei disegni.

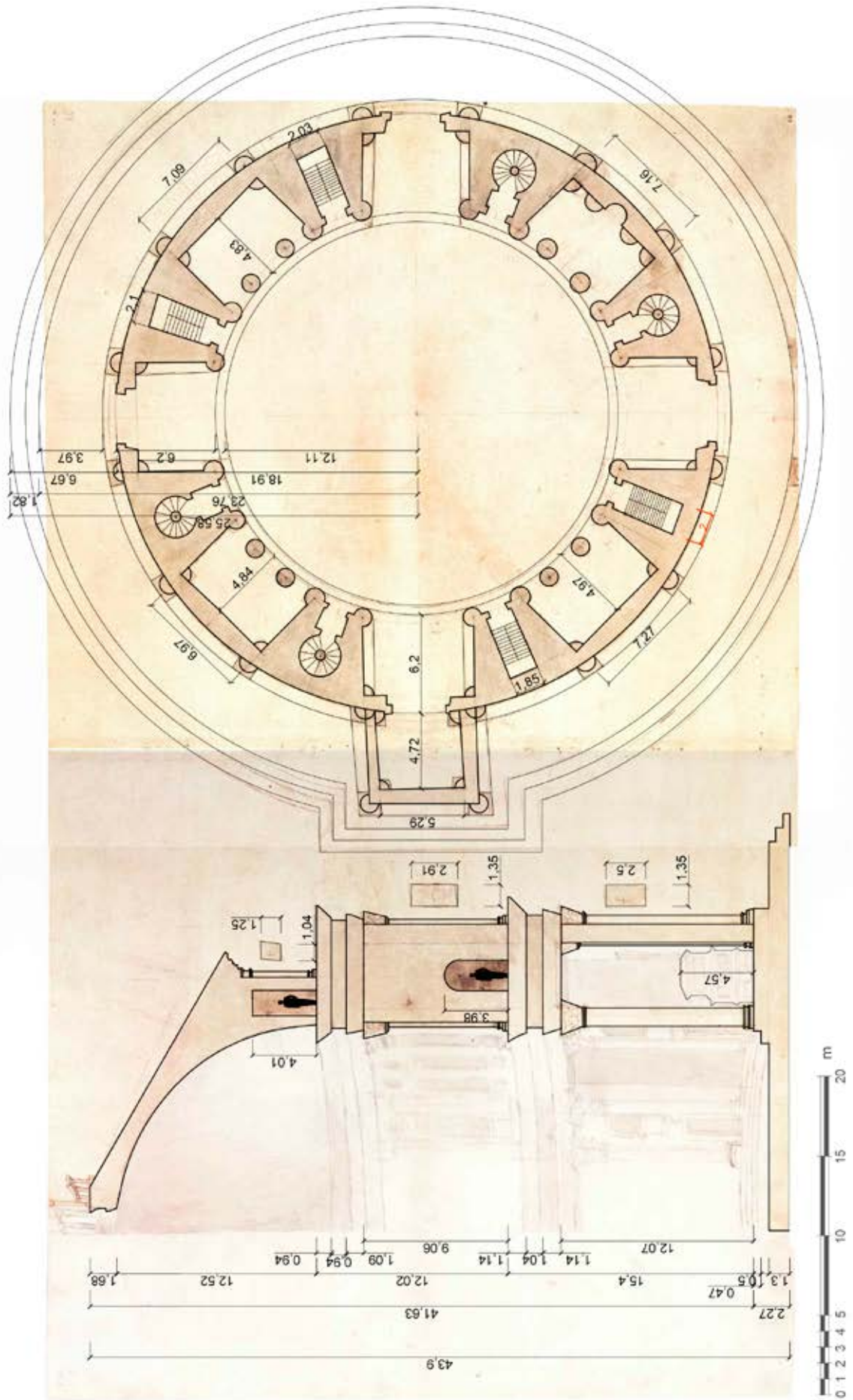
Ipotesi 1

Dalle indicazioni fornite dalla prof.ssa Frommel derivanti dai suoi studi su Giuliano da Sangallo l'altezza del primo registro di colonne doveva essere presumibilmente di 11,25 metri, la cupola si sarebbe impostata a circa 20 metri di altezza e avrebbe avuto un raggio di 9 metri.

Tuttavia avvalorando tale ipotesi e scalando di conseguenza tutto il disegno, risulta un'altezza di entrambi i deambulatori del secondo e del terzo ordine di circa 2,9 metri, tale dimensione è decisamente sproporzionata rispetto alla funzione di servizio che tali spazi dovevano avere.

Figura 10: *Ipotesi 1 applicata a pianta e sezione*

Figura 11: *Ipotesi 2 applicata a pianta e sezione*



Ipotesi 2

Nella pianta disegnata dal Sangallo sono presenti 8 vani scala, 4 a chiocciola e 4 a due rampe. Si è quindi ipotizzata una dimensione di circa 1 m per rampa, scalando proporzionalmente sia pianta che sezione. Anche in questo caso, andando ad analizzare nuovamente i deambulatori del secondo e del terzo ordine si nota come esse siano, ancora una volta, sovradimensionati in altezza.

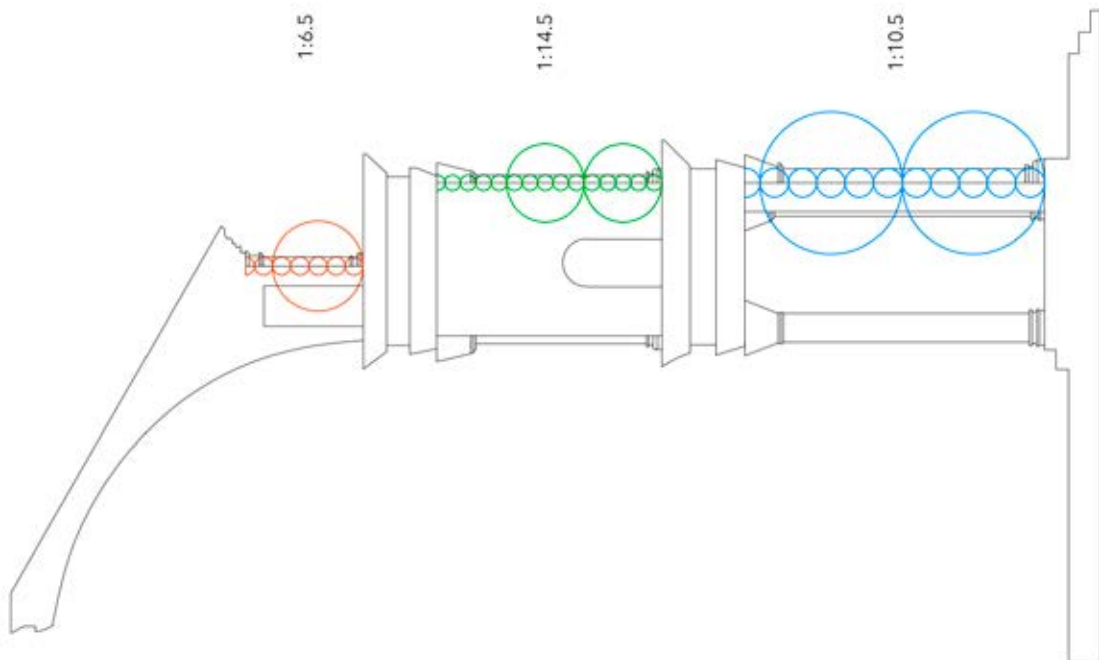
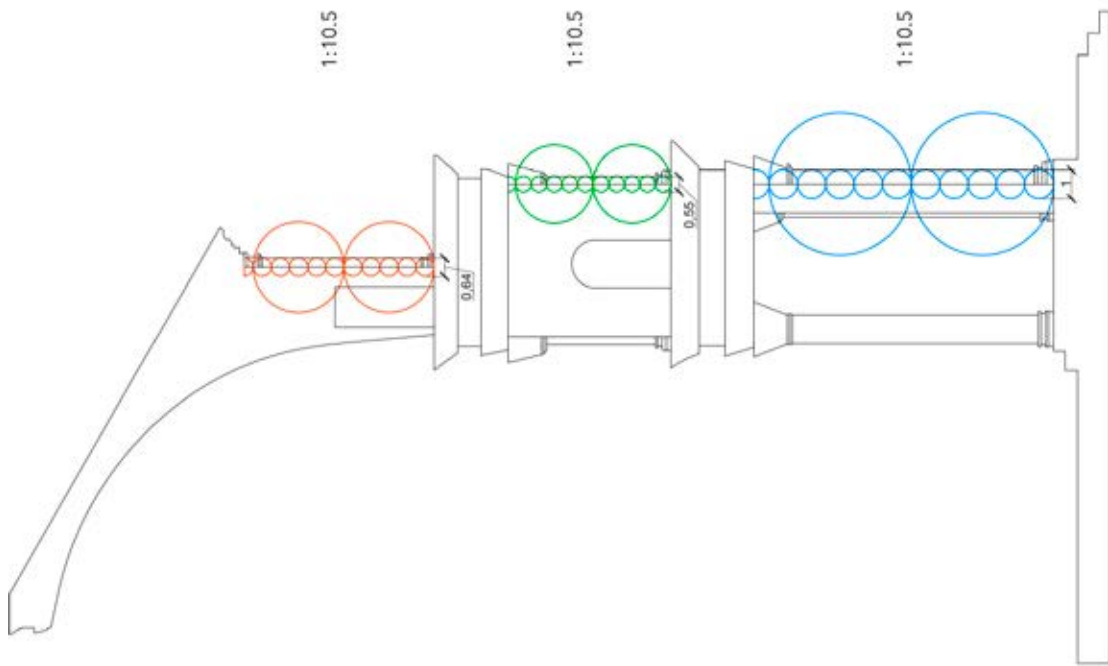
Ipotesi 3

Le proporzioni dell'ordine corinzio, che il Sangallo ha utilizzato per il Mausoleo, vanno dall' 1:10 all'1:11, cioè l'altezza della colonna dovrebbe essere tra le 10 e le 11 volte il diametro della colonna stessa.

Si è quindi proceduto a valutare sul disegno realizzato in Autocad questa proporzione al fine di comprendere se l'altezza delle colonne disegnate dal Sangallo la rispettava.

Tuttavia solamente il primo ordine rispecchia perfettamente il rapporto (1:10,5) mentre nei due ordini sovrastanti non si ritrova in nessun modo la stessa proporzione e anzi, cercando di riproporla si altera completamente il disegno del Sangallo, modificando sostanzialmente l'aspetto dell'alzato.

Figura 12: *Ipotesi 3 applicata alla sezione*



Ipotesi 4

Questa ipotesi è stata vagliata analizzando un disegno presente sul *Taccuino Senese* del Sangallo su suggerimento della prof.ssa Frommel.

Esso raffigura tre colonne dei tre diversi ordini: dorico, ionico e corinzio.

La colonna corinzia viene suddivisa sia in 13 che in 20 parti, pertanto è stato effettuato il tentativo di suddividere le colonne raffigurate nella sezione del Mausoleo sia in 13 che in 20 porzioni con lo scopo di trovare un modulo che l'architetto potesse aver utilizzato per proporzionare il disegno.

Inoltre le indicazioni riportate sulla trabeazione sembrano suggerire che ognuna delle tre fasce costituisca un modulo, oppure che essa sia stata suddivisa in 4 parti dal Sangallo.

Basandosi quindi su tali supposizioni si è tentato anche di suddividere la trabeazione sia in 3 che in 4 parti, cercando un modulo base.

Tuttavia in nessuno dei casi è stato trovato un modulo perfettamente adattabile a tutti i livelli

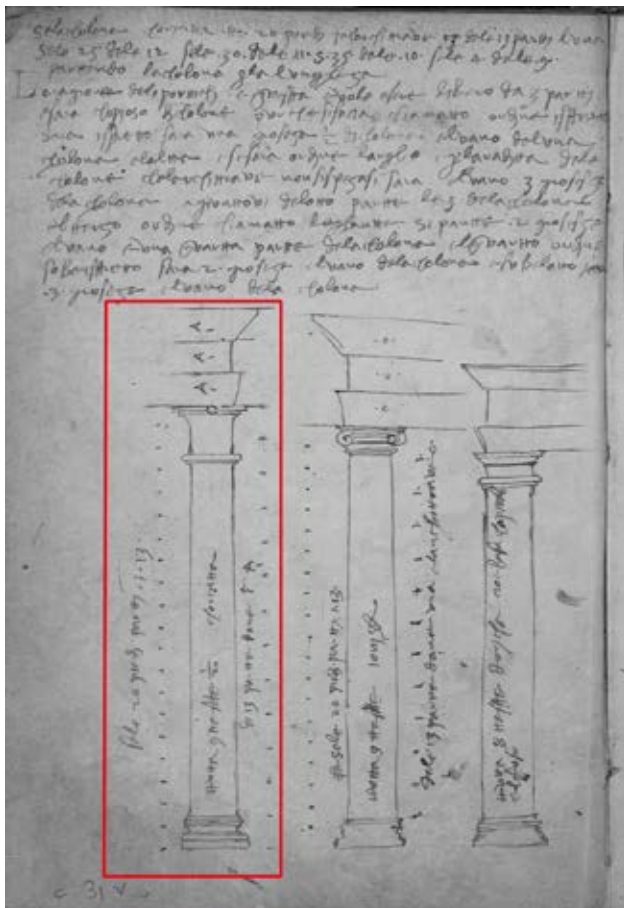
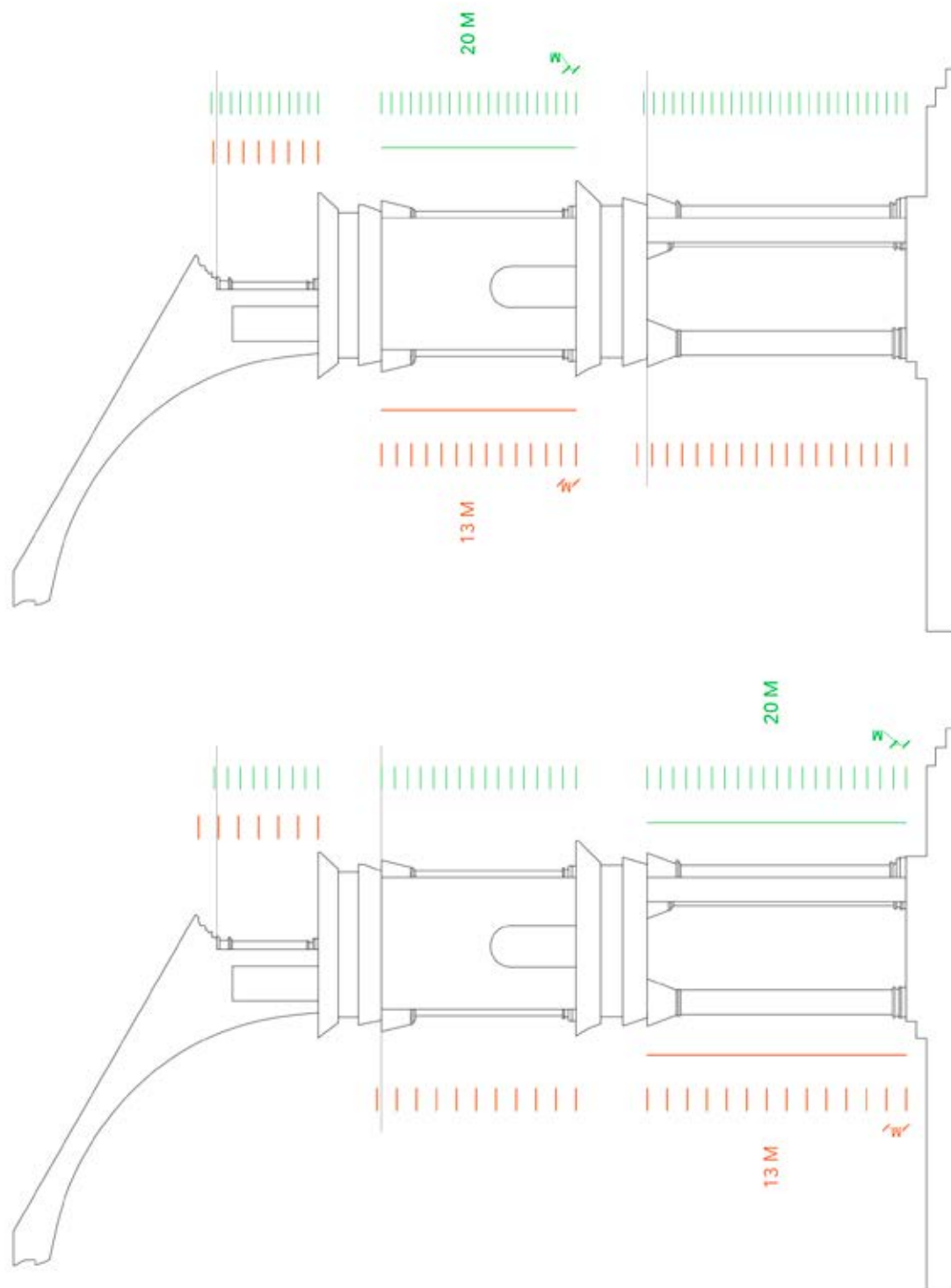


Figura 13: Giuliano da Sangallo, Schizzo tratto dal *Taccuino Senese*

Figura 14: *Suddivisione in 13 e in 20 parti del primo, secondo e terzo ordine*



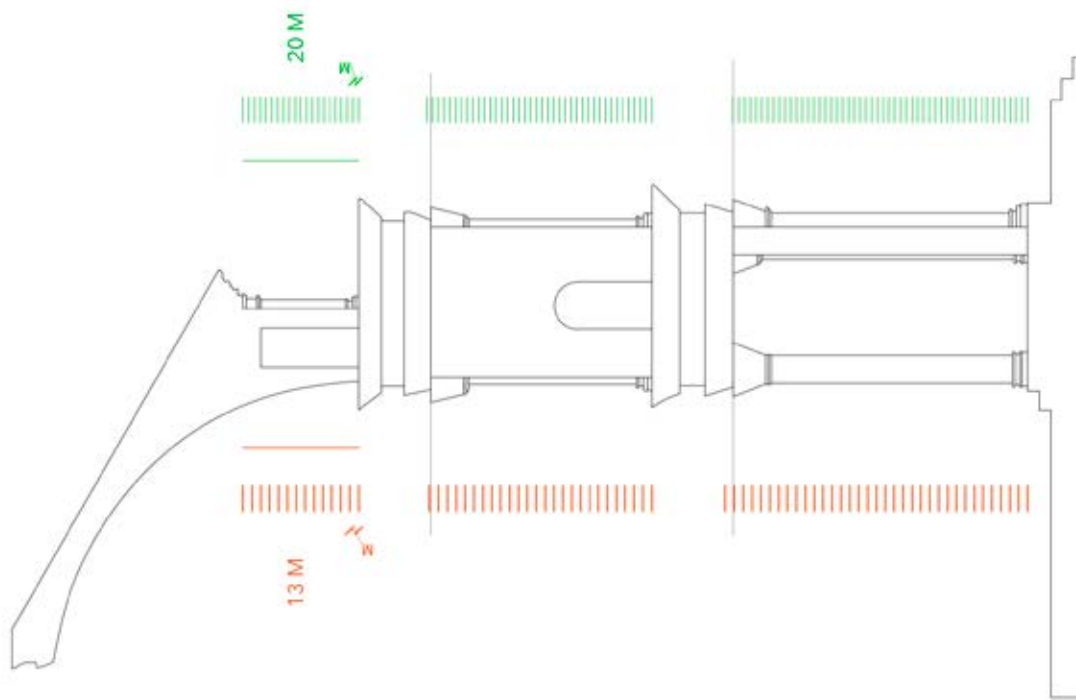
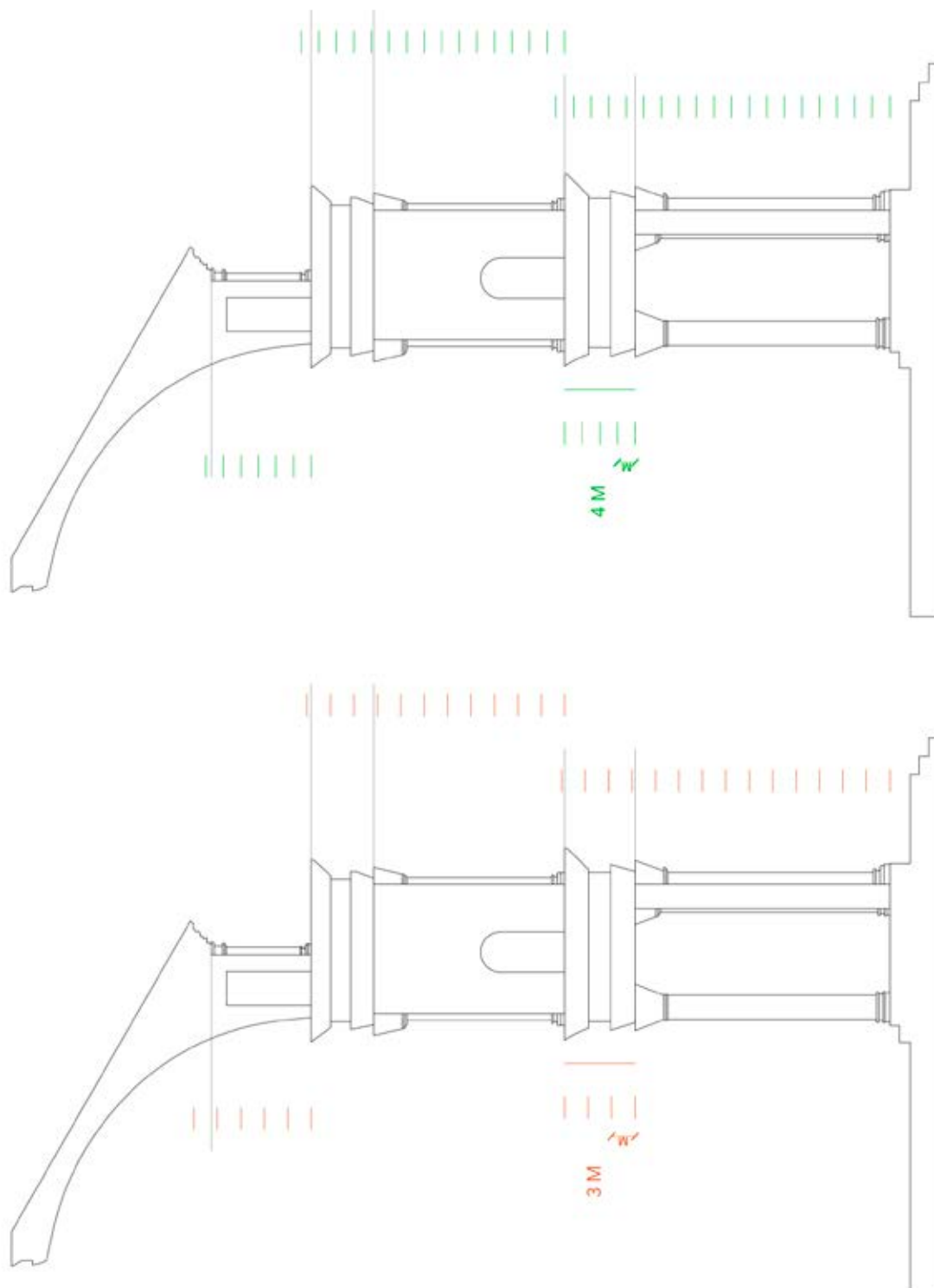
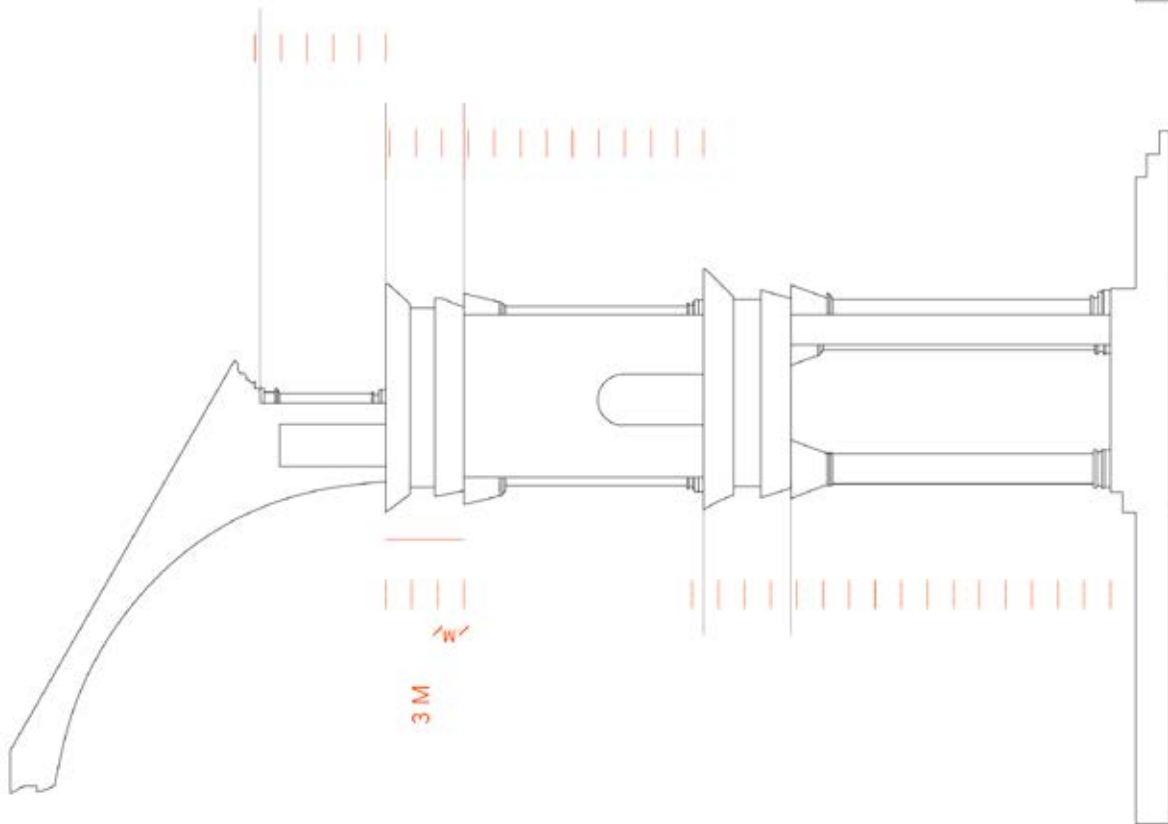
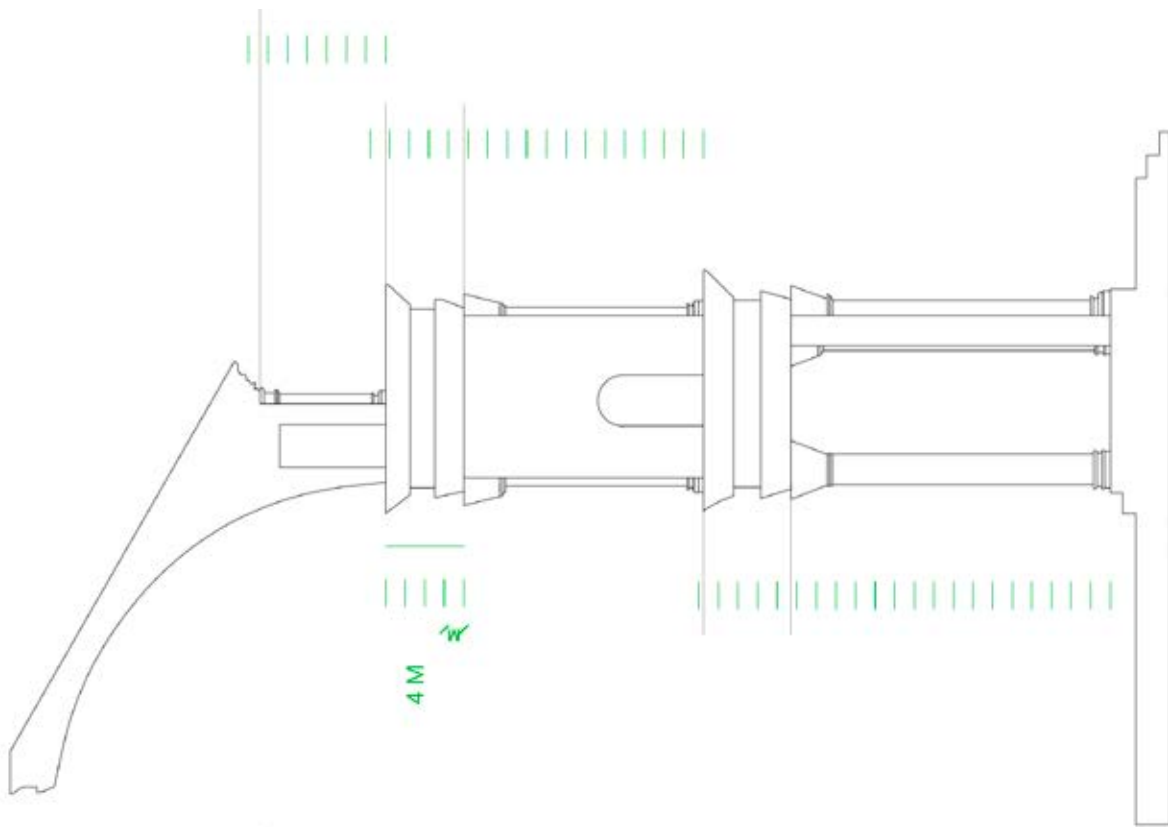


Figura 15: *Suddivisione in 3 e in 4 parti della trabeazione del primo e del secondo ordine*





Ipotesi 5

L'ultima ipotesi che è stata presa in considerazione è stata realizzata grazie al confronto all'interno del progetto "Giuliano da Sangallo" con un tesista che stava lavorando sul tema di Santa Maria delle Carceri.

Egli, analizzando la pianta della chiesa ha notato che presentavano una scala metrica ripartita in 5 moduli che è stata riscontrata anche nei disegni del mausoleo. Applicando questa scala e ipotizzando che ogni modulo rappresenti un braccio fiorentino (58,6 cm), le distanze tra gli elementi sono di valore intero e un diametro di colonna sarebbe esattamente pari a un modulo.

Questa dunque è stata giudicata l'ipotesi più plausibile per mettere in scala i disegni poichè è stata poi ulteriormente avvalorata dalle considerazioni espresse dalla prof.ssa Frommel; pertanto si è proceduto a riportare in scala adeguata pianta e sezione secondo il modulo del braccio fiorentino che è stato arrotondato alla misura di 58 cm.

Figura 16: Individuazione della scala metrica ripartita in 5 moduli sui disegni del Sangallo

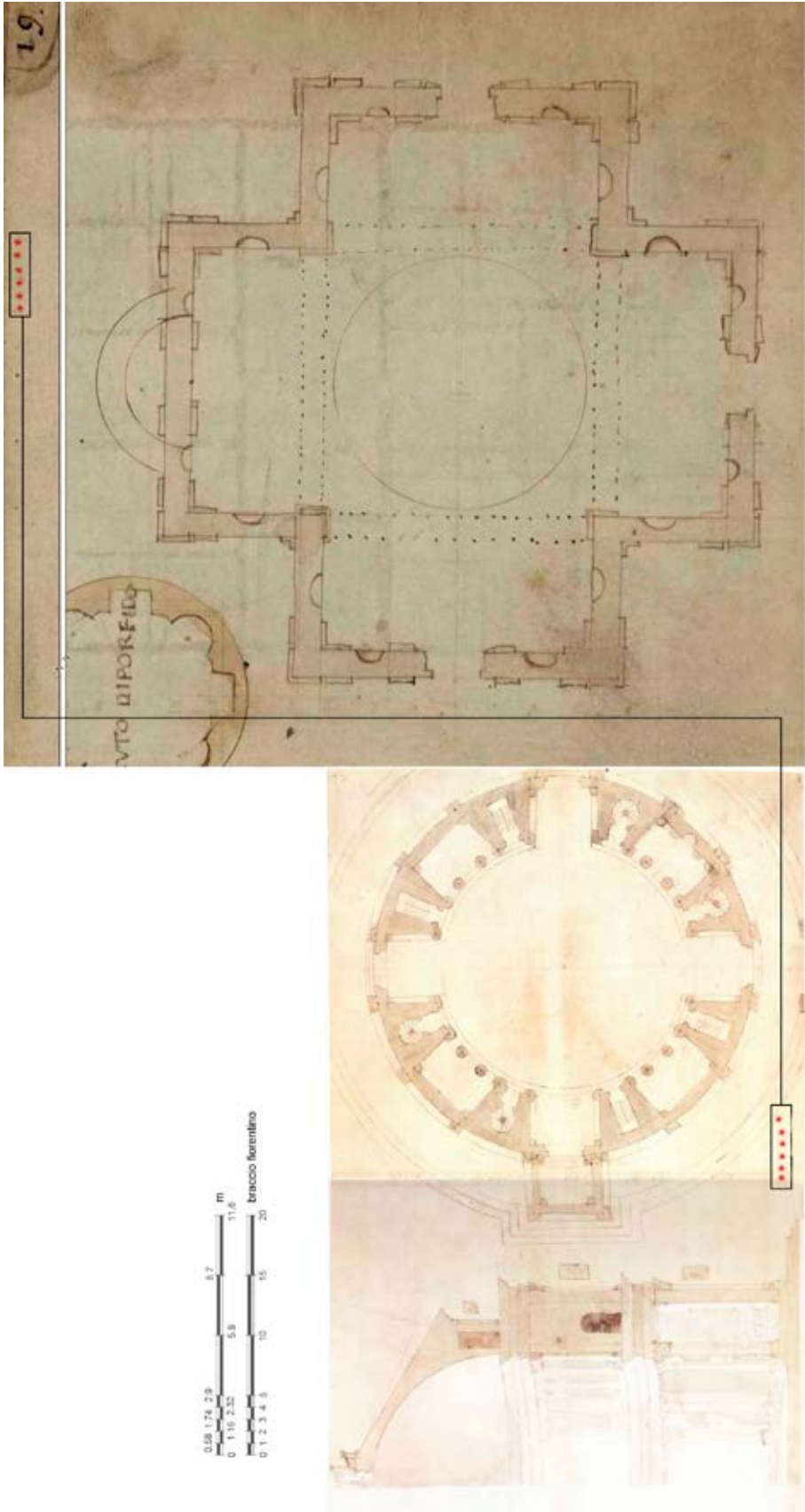
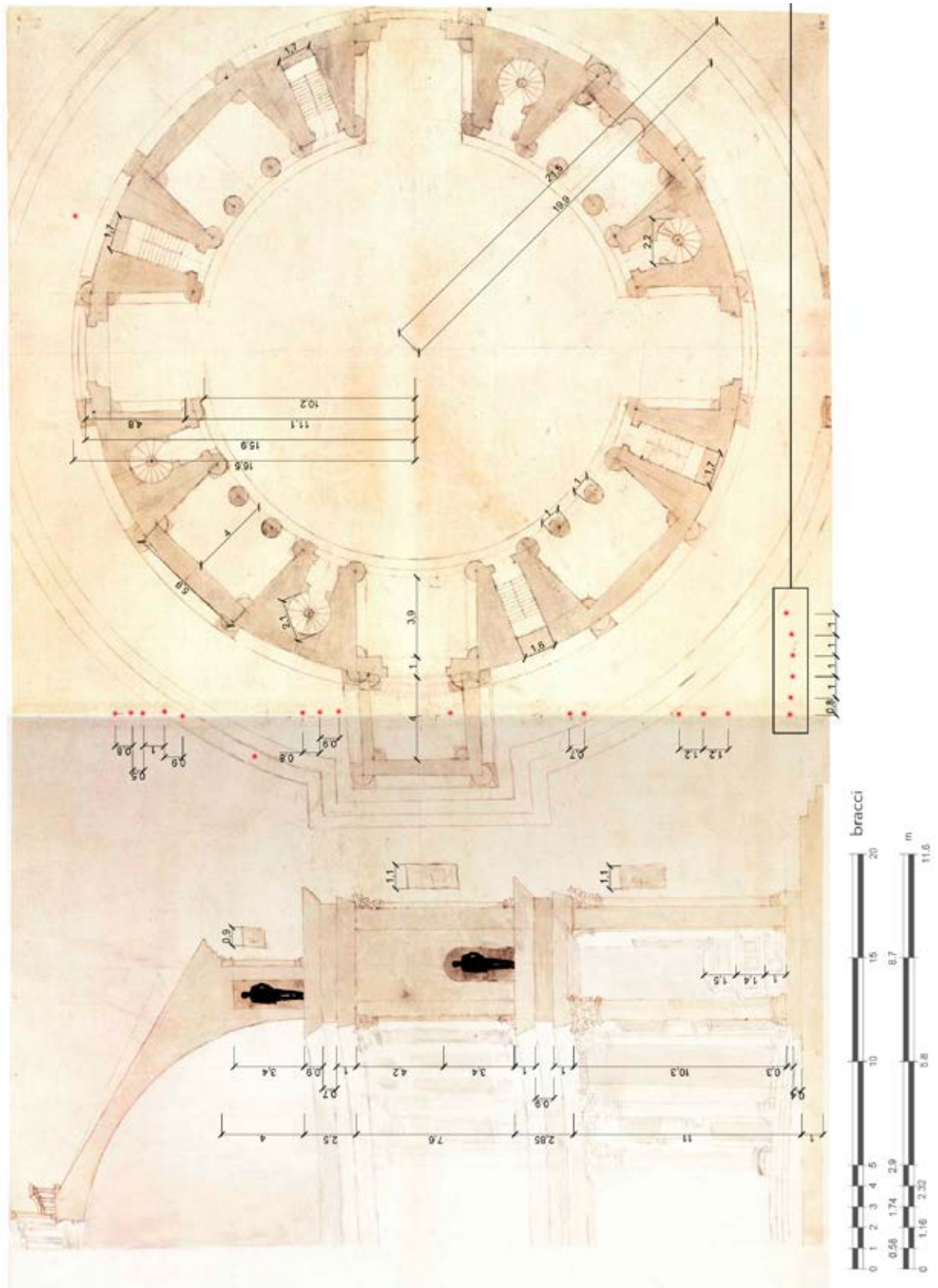


Figura 17: Applicazione dell'ipotesi 5 a pianta e sezione, le quote sono espresse in bracci fiorentini



Studio sui diametri delle colonne

Essendo state notate alcune piccole differenze tra i diametri delle colonne disegnate in pianta dal Sangallo, è stato fatto anche uno studio sugli elementi circolari disegnati in pianta, suddividendoli in base al diametro maggiore o minore.

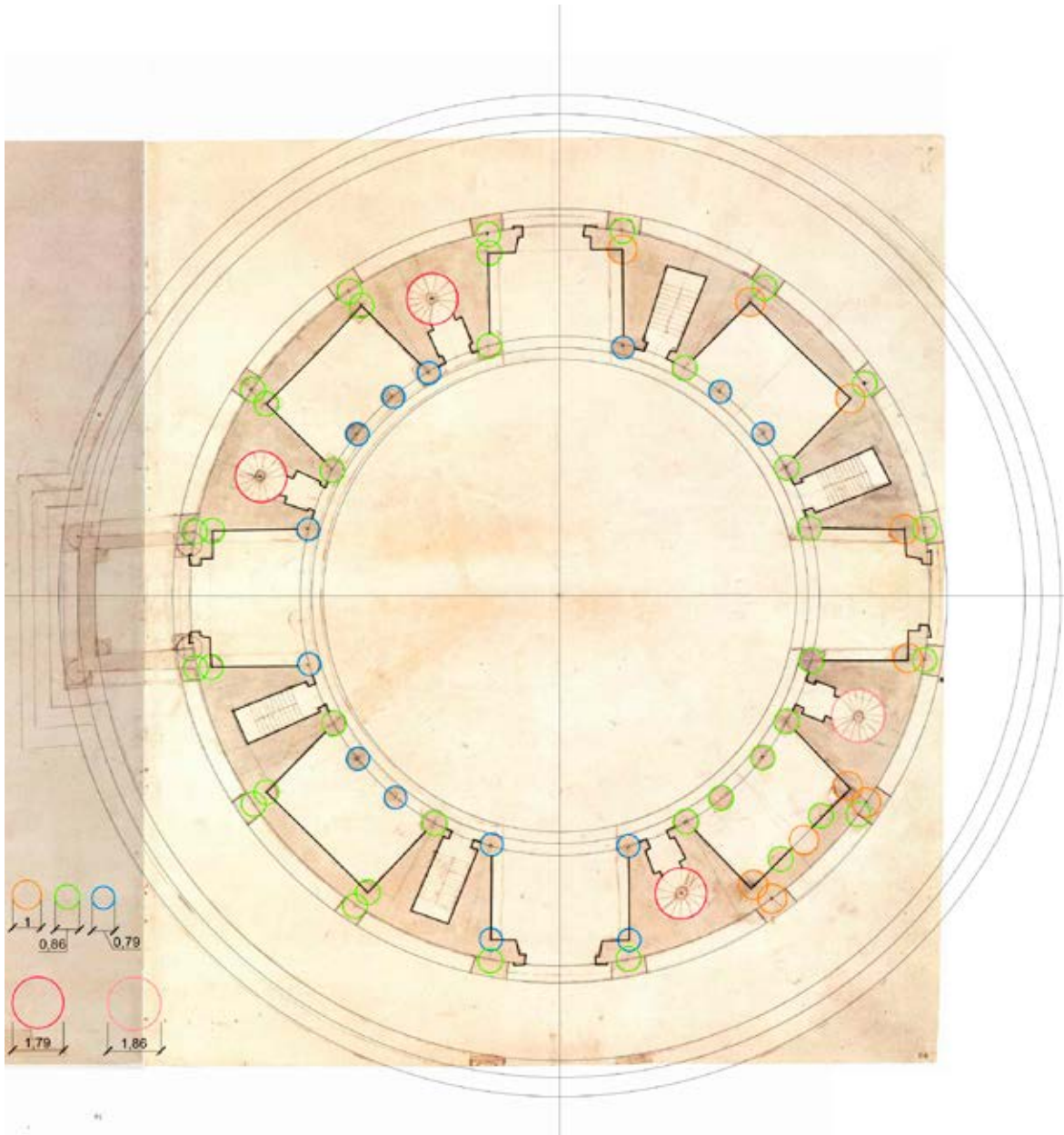


Figura 18: *Analisi dei diametri delle colonne*

3.3 La scelta del braccio fiorentino

Una volta scelto il modulo, i disegni originali di pianta e sezione sono stati digitalizzati utilizzando una proporzione metrica in base ad esso e il disegno vettoriale è stato modificato impiegando il braccio fiorentino come guida.

Inoltre è stato necessario utilizzare anche multipli e sottomultipli del braccio, che sono stati anch'essi approssimati in base alla misura di riferimento.

Si elencano di seguito tali multipli e sottomultipli espressi in centimetri:

- BRACCIO FIORENTINO = 58 cm
- PASSETTO = 2 BRACCI = 116 cm
- SOLDI = 1/20 BRACCIO = 2,9 cm
- $\frac{1}{2}$ BRACCIO = 10 SOLDI = 29 cm
- $\frac{1}{4}$ BRACCIO = 5 SOLDI = 14,5 cm
- $\frac{3}{4}$ BRACCIO = 15 SOLDI = 43,5 cm

Si è cercato inoltre di ottenere una certa simmetria, in particolare in pianta, che il disegno cartaceo non rispecchiava perfettamente, ma che sicuramente era perseguita dall'architetto.

3.3.1 Vettorializzazione della pianta

Per tracciare la pianta è stato riportato il modulo base più volte a partire dal punto centrale per individuare l'ampiezza del raggio dei cerchi di costruzione disegnati dal Sangallo, le cui tracce sono ben visibili sui disegni originali.

Essi delineano la posizione dei vari elementi, in particolare le colonne e le colonne a tre quarti all'interno del mausoleo, il muro esterno, le semicolonne addossate al muro e i gradini che vanno a costituire il podio sul quale si erge il mausoleo.

In seguito è stata analizzata la posizione dei vani scala che risultano posizionati a 45° l'uno dall'altro e delle nicchie, poste sulle diagonali anch'esse a 45° rispetto ai vestiboli.

A questo punto si è cercato di capire l'esatta posizione delle colonne a tre quarti, i cui centri sono stati collocati su uno dei cerchi di costruzione tracciati in

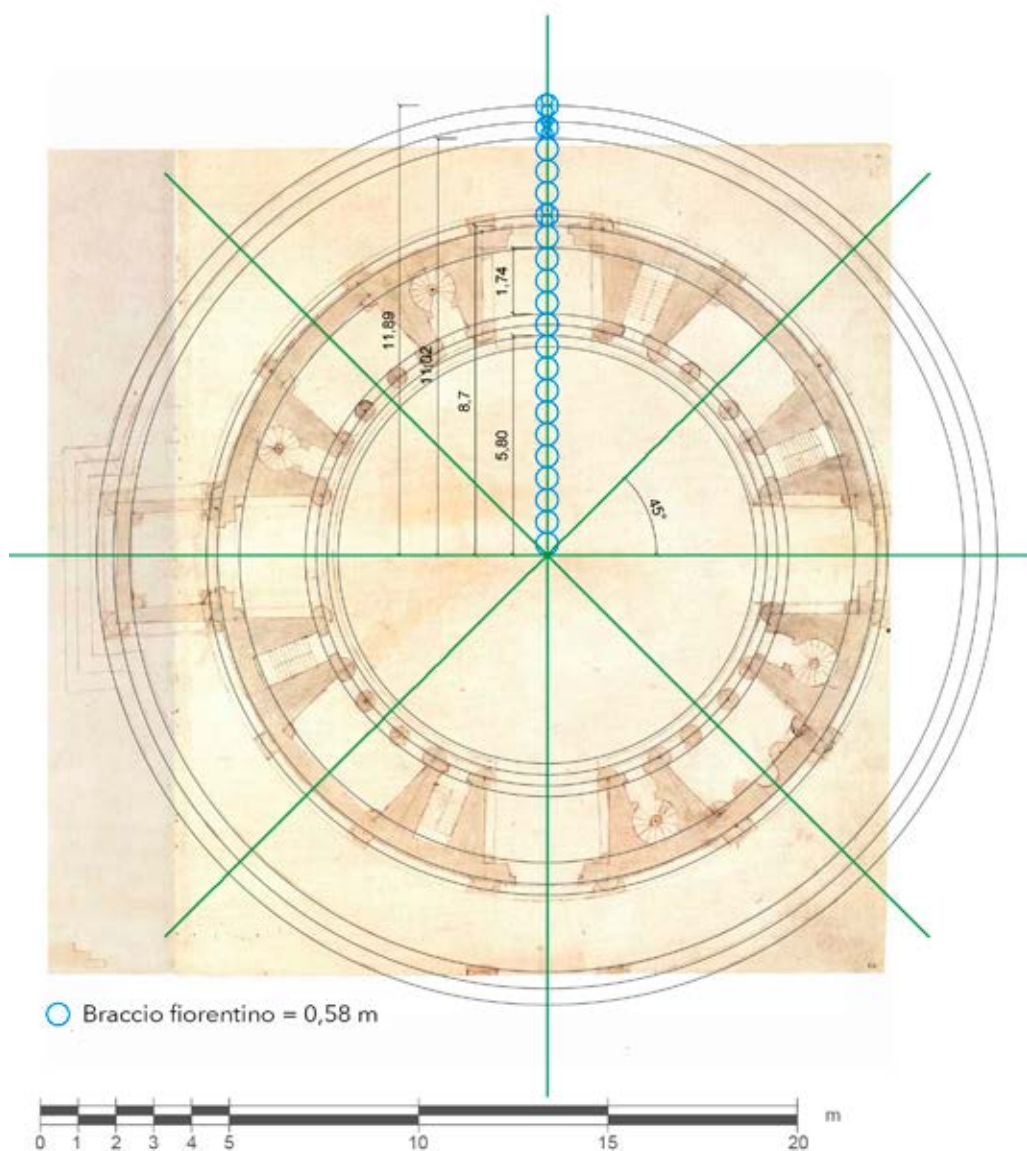


Figura 19: Analisi della posizione dei cerchi di costruzione e delle nicchie

precedenza.

La loro ubicazione è stata individuata a 15° rispetto all'asse centrale delle nicchie e dei vestiboli.

Le due colonne che schermano le nicchie invece sono ad una distanza dall'asse centrale della nicchia di $\frac{3}{4}$ di braccio.

Una volta tracciate le linee principali si è proceduto poi a cercare di definire l'ampiezza dei vani scala, dei vestiboli e delle nicchie, utilizzando sempre il modulo del braccio fiorentino come guida. Lo stesso procedimento è stato utilizzato per definire le dimensioni del vano che prolunga uno dei vestiboli.

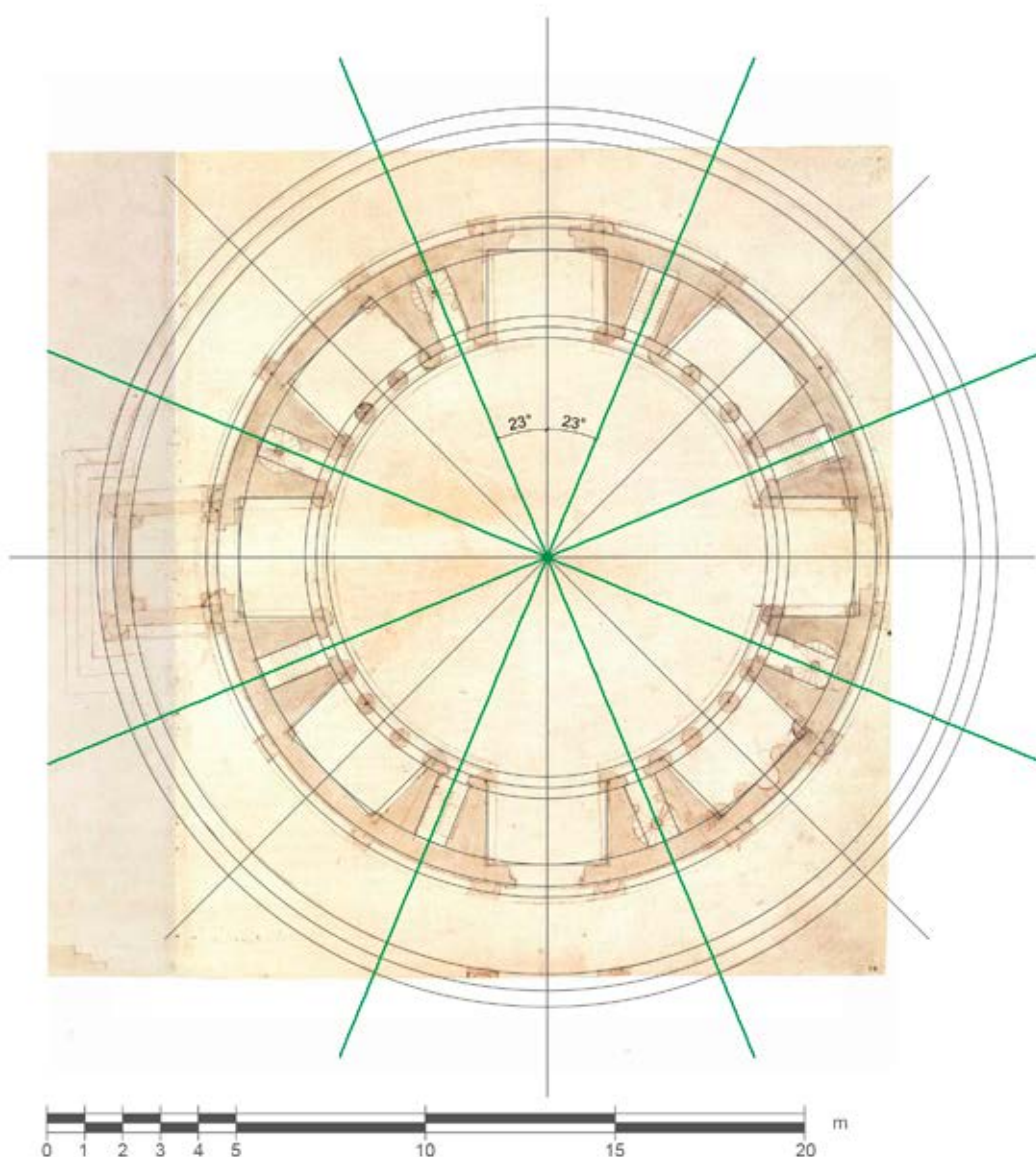


Figura 20: *Analisi della posizione dei vani scala*

Una volta note le posizioni degli elementi principali si è proceduto a disegnare la pianta.

Si è notato inoltre che i diametri delle colonne si discostavano leggermente gli uni dagli altri, come anche quelli dei vani delle scale a chiocciola. In particolare si evidenzia la presenza di tre misure diverse per le colonne e di due per le scale a chiocciola. Tali differenze sono state considerate trascurabili poiché si è pensato potessero essere dovute all'impresione del disegno su carta e si è deciso di adottare come diametro delle colonne la misura del braccio fiorentino (58 cm) e per le scale a chiocciola il passetto (116 cm)

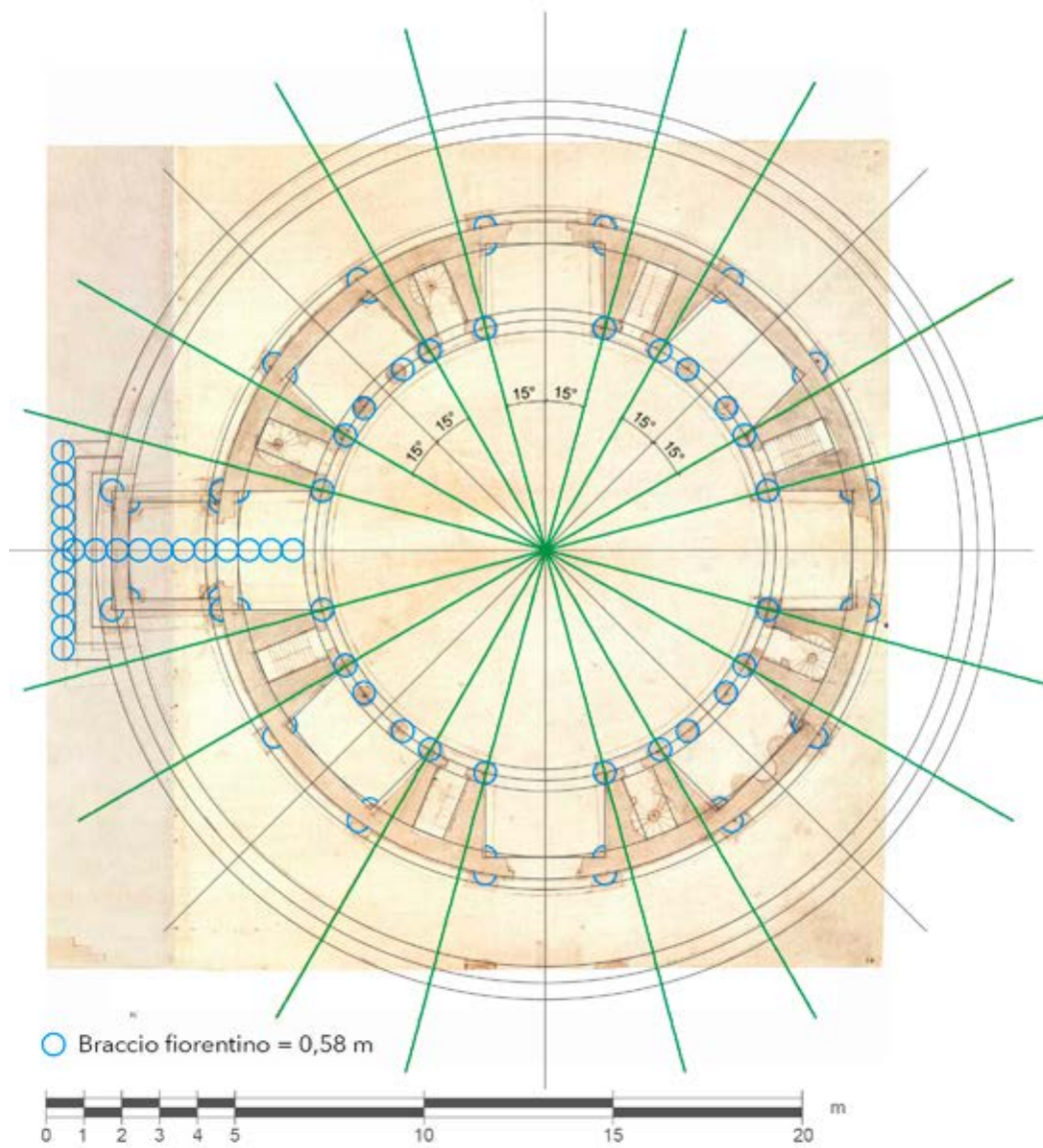


Figura 21: *Analisi della posizione delle colonne a tre quarti e dell'avancorpo*

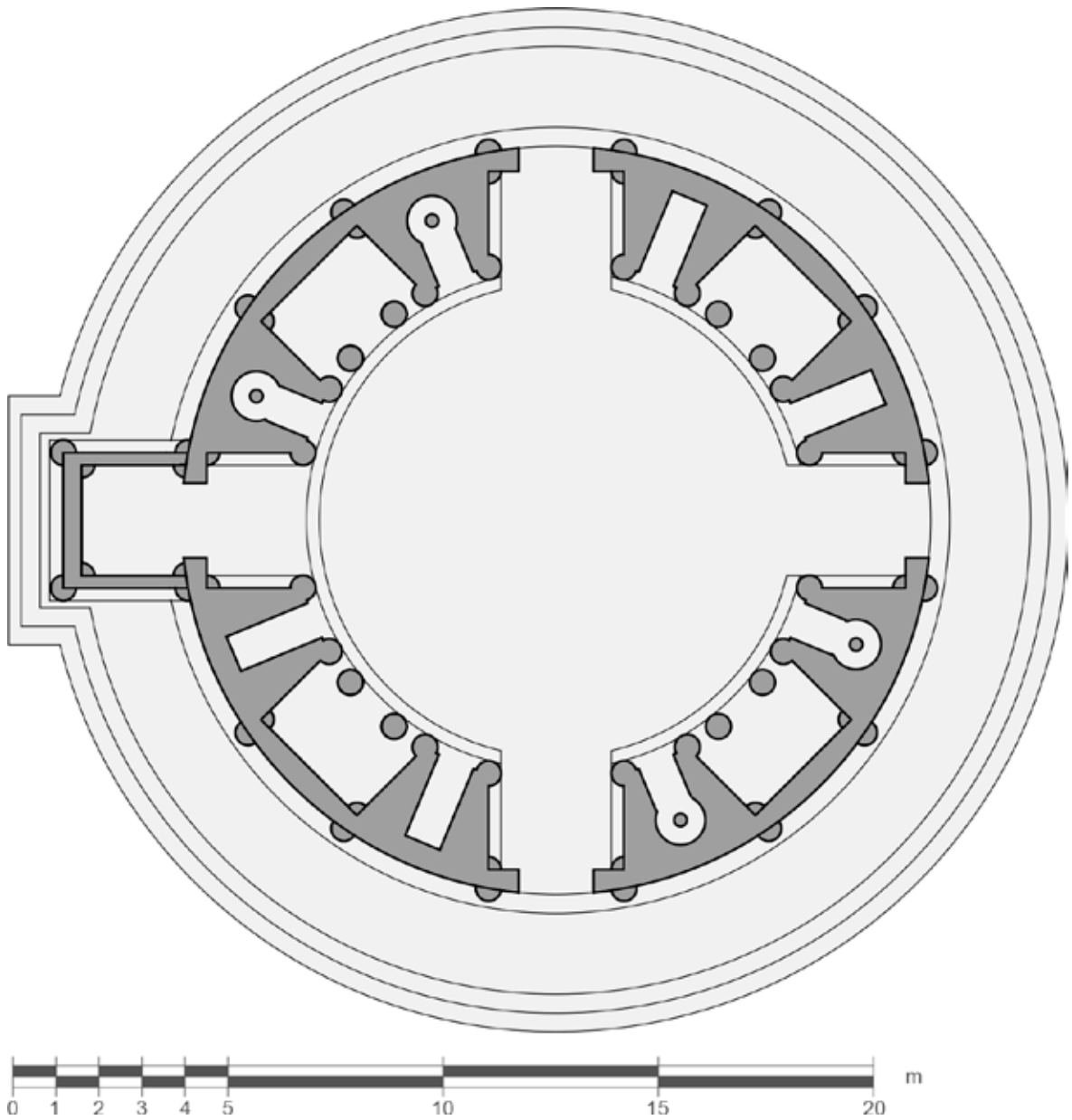


Figura 22: *Pianta del mausoleo ricostruita*

3.3.2 Vettorializzazione della sezione

Anche la sezione come la pianta, rispetta le proporzioni dettate dal braccio fiorentino. Ognuno dei tre ordini è stato analizzato singolarmente e suddiviso secondo il modulo del braccio, così come ogni elemento architettonico (basi, fusti, capitelli, trabeazioni) all'interno dell'ordine stesso.

Sono stati poi sovrapposti tutti i livelli in modo da ottenere l'altezza totale del monumento che risulta pari a circa venti metri escludendo la lanterna e i gradoni basamentali.

Sono stati analizzati anche gli spessori dei muri, le altezze e le larghezze di corridoi e le dimensioni delle finestre (tracciate a margine di ogni piano dallo stesso Sangallo).

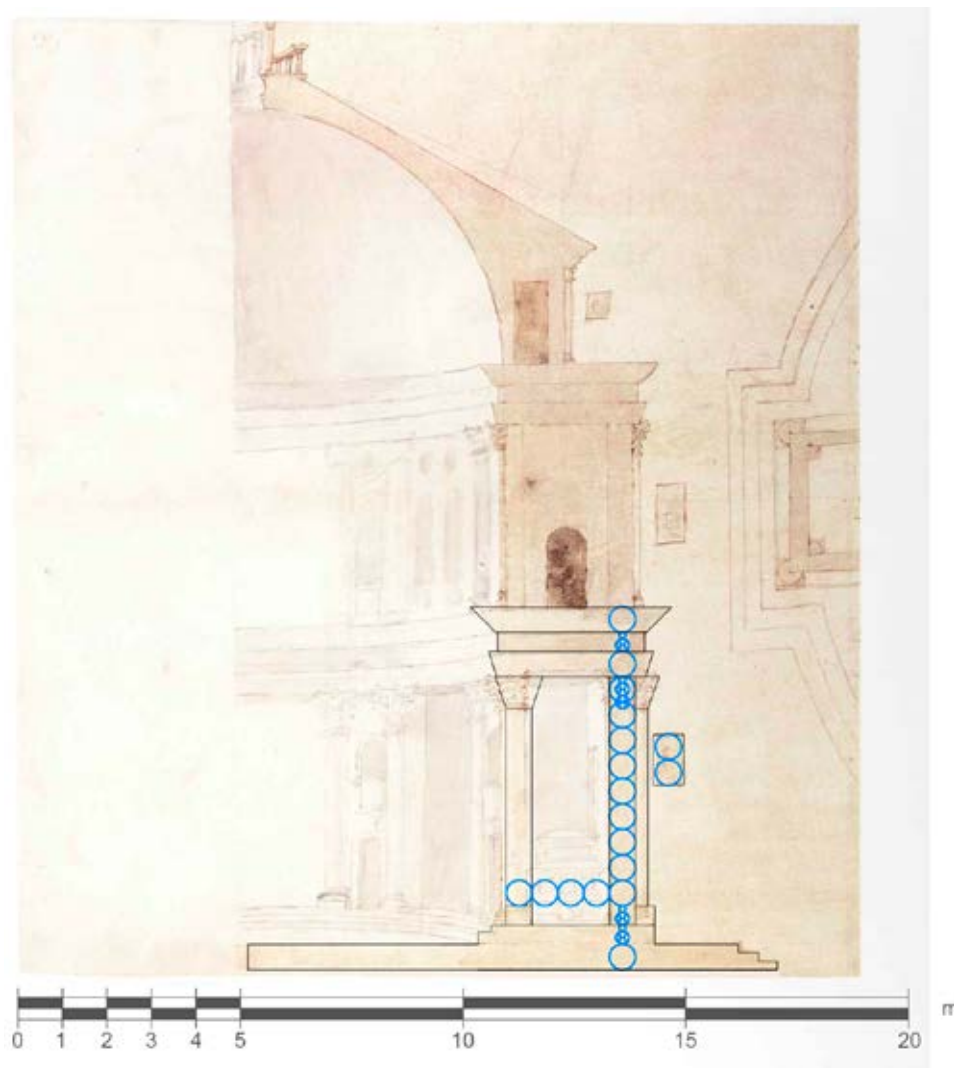


Figura 23: Analisi del primo ordine di colonne secondo il braccio fiorentino

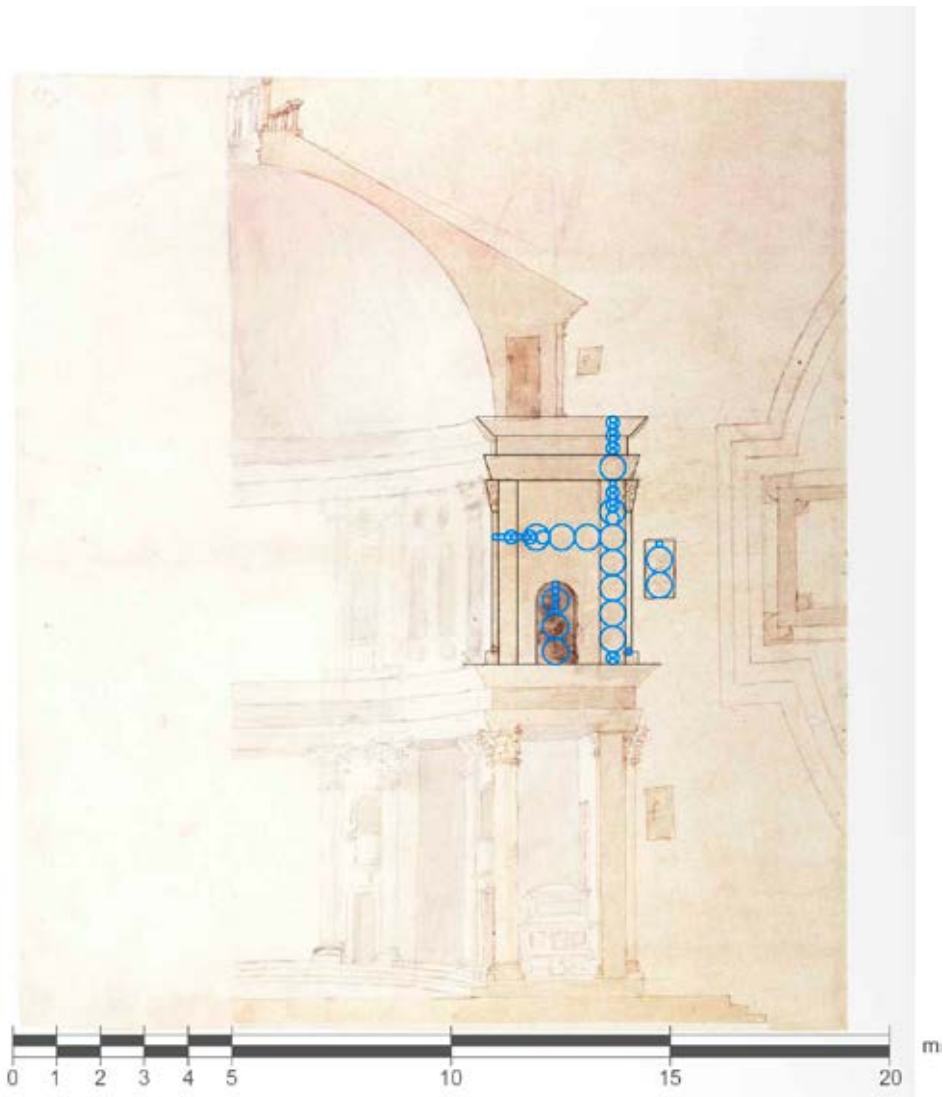


Figura 24: *Analisi del secondo ordine di colonne secondo il braccio fiorentino*

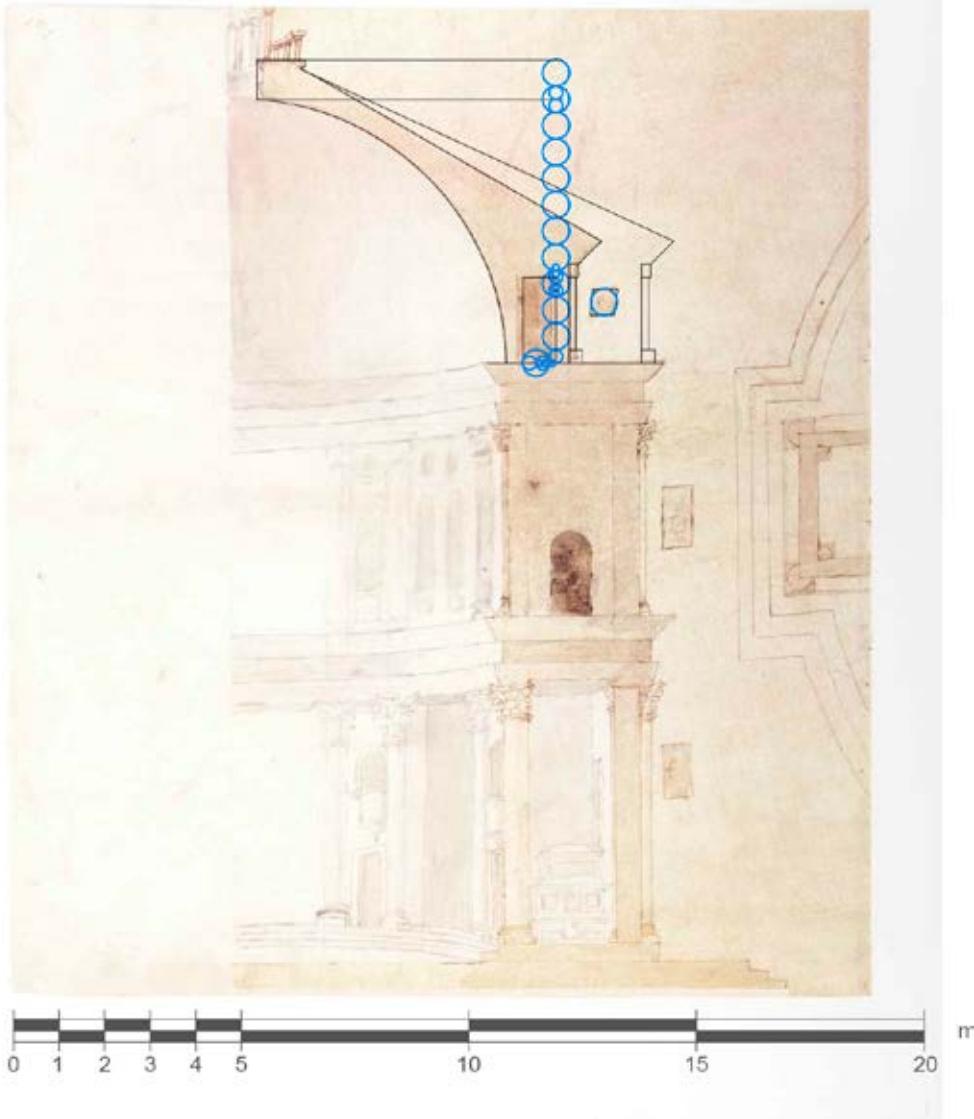


Figura 25: *Analisi del terzo ordine di colonne secondo il braccio fiorentino*

Analizzando il disegno della sezione inoltre è emersa una leggera traccia disegnata dal Sangallo che ipotizzava un terzo ordine in linea con i due sottostanti, in modo da creare una struttura perfettamente cilindrica.

Non avendo ulteriori elementi per valutare se questa ipotesi fosse stata scartata dall'architetto e quindi cancellata sulla carta o se al contrario egli avesse pensato di modificare la sezione del mausoleo in tal senso, in questa fase sono state portate avanti entrambe le ipotesi con l'obiettivo di operare un confronto tra esse in seguito, grazie al primo modello tridimensionale.

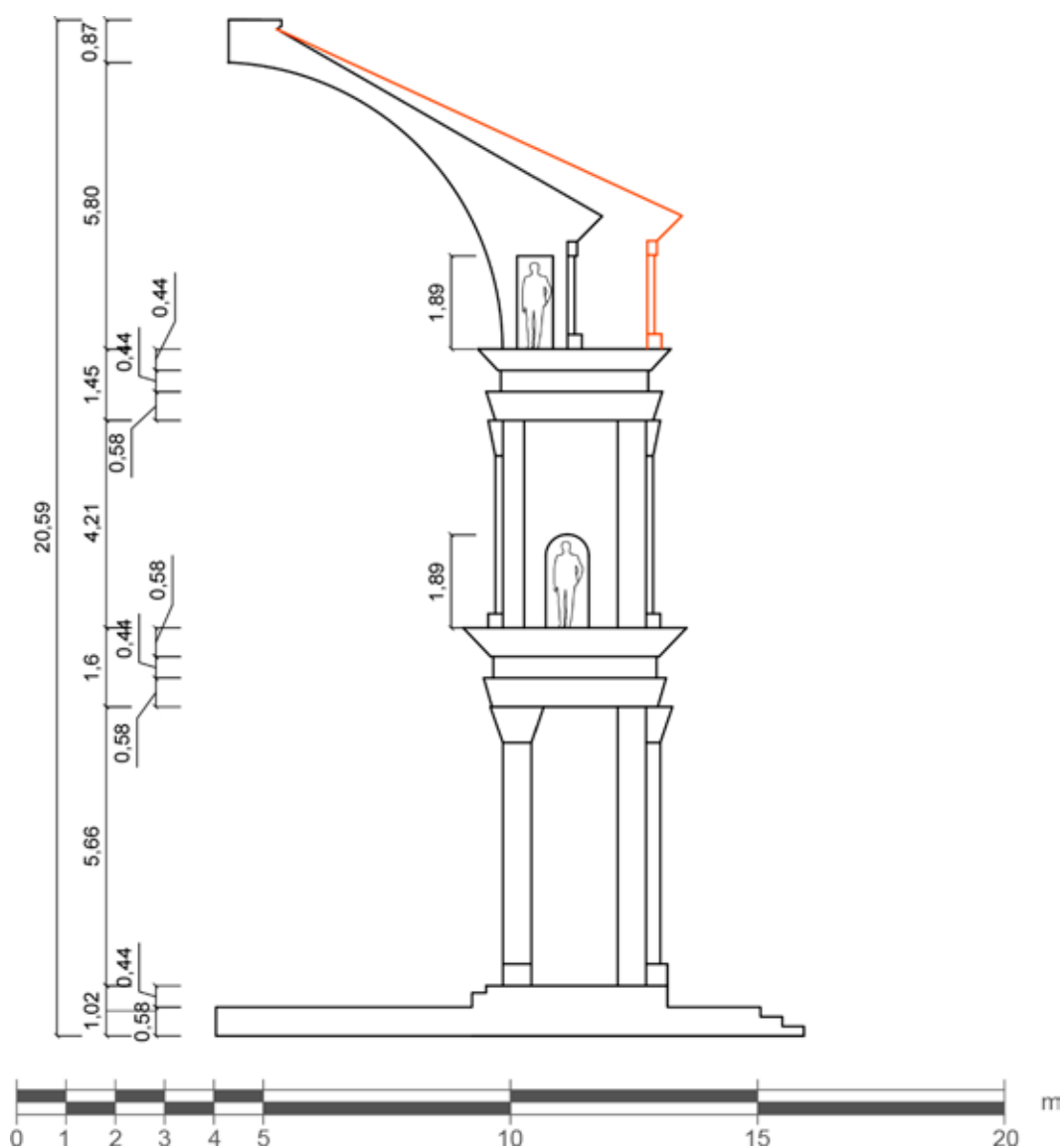


Figura 26: Sezione vettorializzata con ipotesi di avanzamento del terzo ordine

3.3.3 Considerazioni su pianta e sezione

È stata analizzata anche la posizione in cui il Sangallo ha disegnato la sezione sulla pianta, come si vede dalla figura 23.

Confermando la supposizione della prof.ssa Frommel, si può dire che la sezione probabilmente è stata disegnata in un momento precedente rispetto alla pianta o comunque la pianta è stata rimaneggiata in una fase successiva rispetto al primo disegno.

Infatti, ipotizzando che il prolungamento del vestibolo sia stato pensato per ospitare il sarcofago, la sezione, che mostra il sarcofago, dovrebbe trovarsi in posizione A, tuttavia tale sezione colloca il sarcofago nel vestibolo e non mostra il vano di prolungamento che quindi è stato aggiunto successivamente rispetto al momento del disegno della sezione.

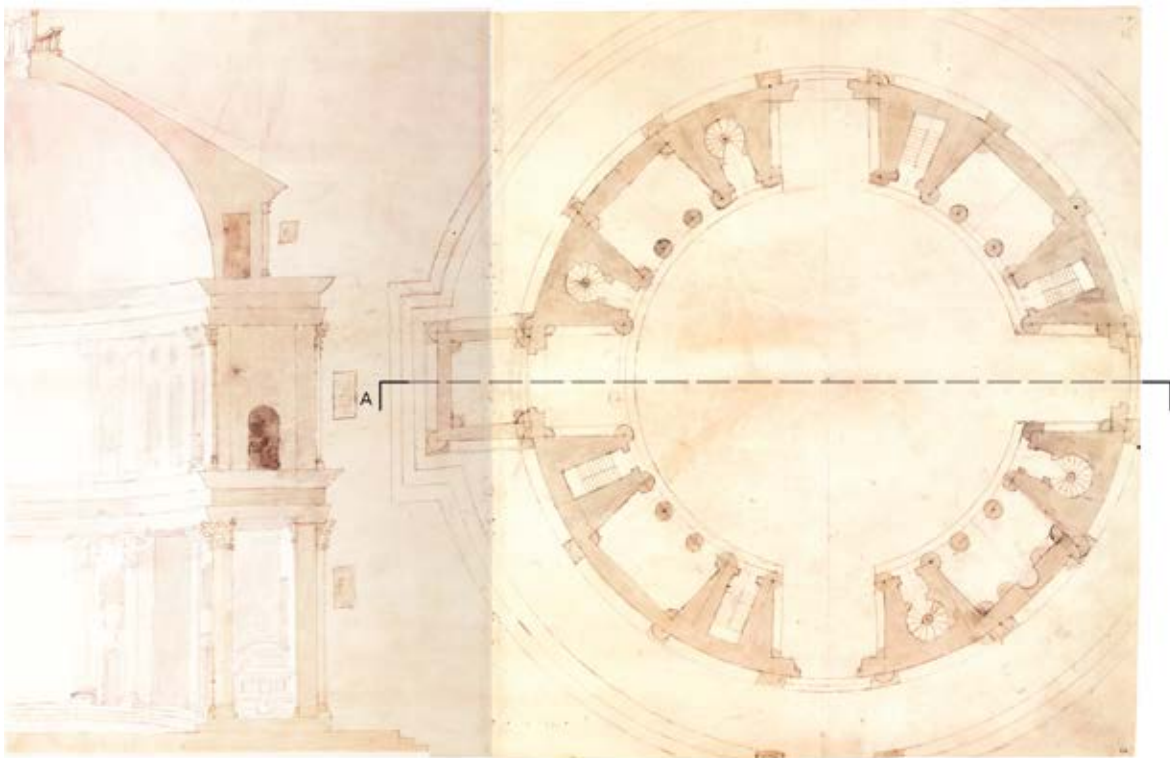


Figura 27: *Posizione della sezione sulla pianta*

3.3.4 Generazione del primo modello tridimensionale

Una volta disegnate pianta e sezione è stato possibile realizzare le due versioni del modello tridimensionale basate sulle due diverse ipotesi sopra citate.

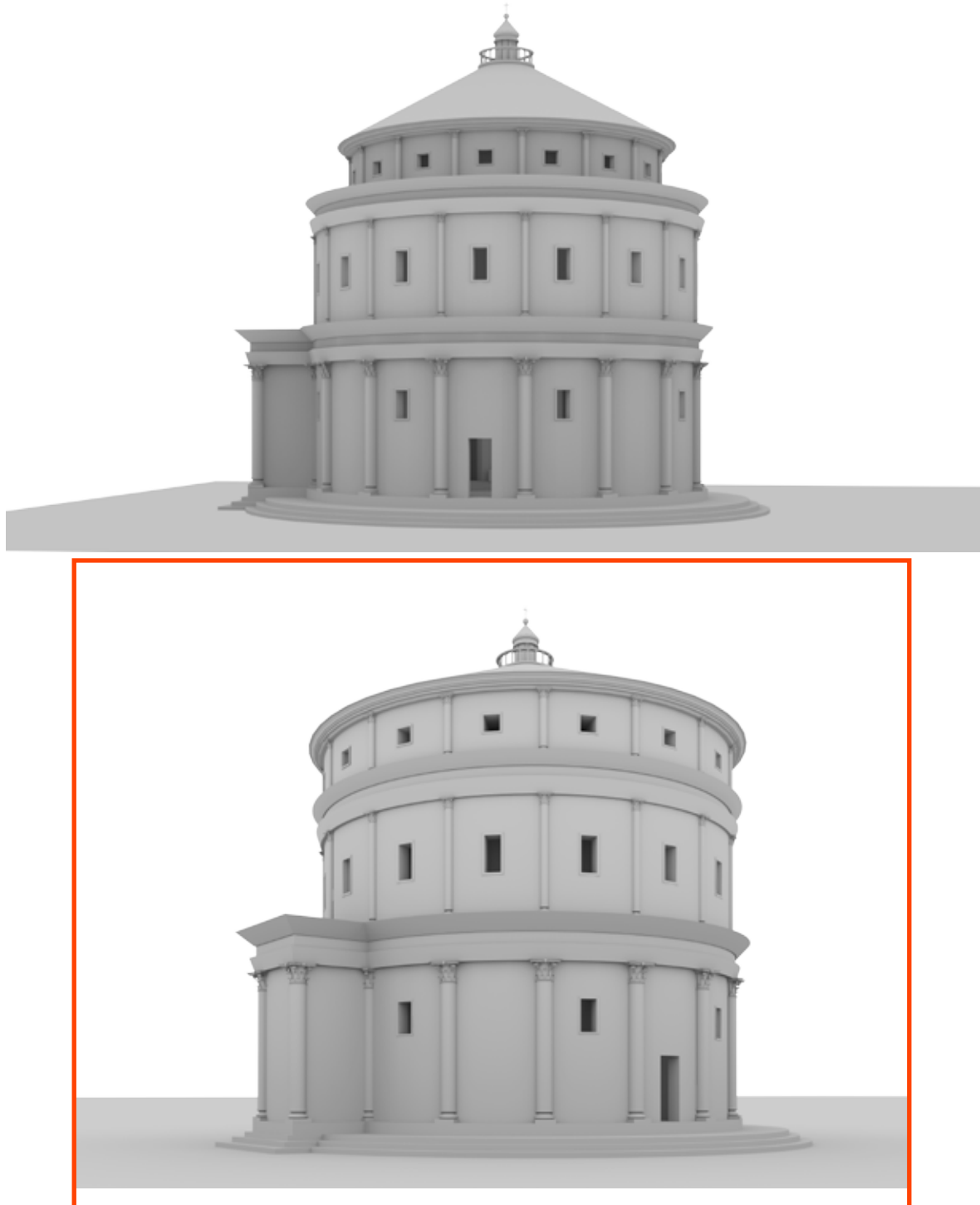


Figura 28: Modello tridimensionale preliminare del mausoleo di Giulio II, in alto l'ipotesi principale, in basso la variante riportata in sezione

Operando un confronto risulta evidente che la prima immagine della figura 24 presenta un edificio dalle proporzioni più armoniose che rispecchia maggiormente i canoni compositivi rinascimentali, pertanto l'ipotesi che seguiva la linea del tetto appena abbozzata (nel riquadro arancione) dal Sangallo è stata scartata anche con parere favorevole della prof.ssa Frommel.

Durante la realizzazione del modello inoltre sono emerse alcune problematiche:

- il disegno della lanterna in sezione è incompleto, pertanto inizialmente si è pensato di seguire il modello di Santa Maria delle Carceri per quanto riguarda l'ordine delle colonne (corinzio per il corpo della lanterna e ionico per il parapetto) e la *Città Ideale* per il tetto terminale a punta.



Figura 29: Particolare della lanterna del Mausoleo di Giulio II

- le finestre disegnate a lato in sezione riportate nel modello 3D ricalcano esattamente le dimensioni indicate in sezione dallo stesso Sangallo e anche l'altezza ai vari livelli è la stessa da lui indicata. In particolare per quanto riguarda il piano terra si è ipotizzato che le aperture fossero disposte solamente in corrispondenza dei vani scala poiché nella *Città Ideale* non sono presenti e dalla pianta del Sangallo non si evince la loro posizione. Questa ipotesi è stata fatta poiché si è pensato che le nicchie, all'interno di un mausoleo, dovessero essere luoghi di raccoglimento e preghiera e quindi abbastanza bui. Sia nel Mausoleo di Santa Costanza che nel Pantheon, infatti, le nicchie sono sempre cieche. Per il posizionamento in altezza come già anticipato, si fa fede al disegno della sezione del Sangallo, dove si riscontra

un decentramento in verticale solo delle finestre del piano terra. Le finestre del primo e del secondo piano, al contrario, vengono centrate in altezza e collocate in ogni intercolunnio, tenendo sempre come riferimento la *Città Ideale*.



Figura 30: Particolare della Città Ideale: le finestre sono presenti soltanto al primo ordine e sono posizionate in ogni intercolunnio e centrate in altezza



Figura 31: Sezione disegnata dal Sangallo, in rosso le finestre

- analizzando la pianta, si può vedere che il Sangallo prevede due gradini per passare dal centro della rotonda al livello delle nicchie su cui poggia anche tutto il colonnato perimetrale. Questo cambio di livello non è presente nei tre vani in corrispondenza degli ingressi, pertanto risulterebbe impossibile raggiungere l'esterno scendendo due ulteriori gradini.

Quindi nella ricostruzione tridimensionale sono stati considerati gli ingressi alla stessa quota delle nicchie aggiungendo i due gradini anche in corrispondenza dei vestiboli.

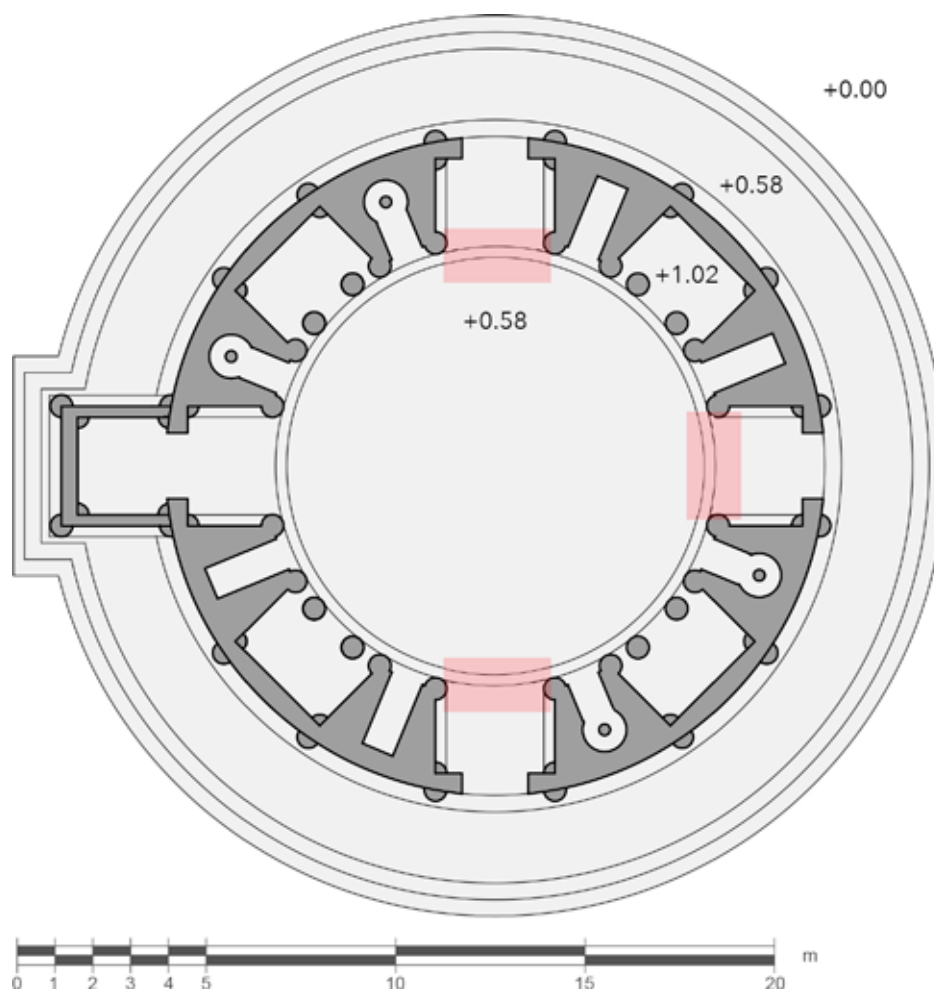


Figura 32: Pianta del mausoleo di Giulio II con l'indicazione dell'aggiunta dei gradini in corrispondenza dei vestiboli

4. La rappresentazione dettagliata dell'architettura attraverso il modello digitale

Una volta ottenuto il primo modello tridimensionale si è proceduto per gradi andando ad analizzare più in dettaglio tutti gli elementi architettonici ancora abbozzati.

Prima di tutto è stato affrontato il tema dell'ordine corinzio andando ad analizzare sia colonne e paraste più nel dettaglio per quanto riguarda base, fusto e capitello, sia le trabeazioni, cercando di capire quali sezioni adottare per completare il disegno solamente abbozzato dal Sangallo.

In seguito è stato approfondito sia il tema dell'avancorpo, che spezza la perfetta simmetria della rotonda, spiegando come e perché si è deciso di ripristinarla, sia l'organizzazione interna del mausoleo.

Infine sono stati trattati gli argomenti che sono risultati essere più critici nella realizzazione del modello tridimensionale e saranno illustrate alcune ipotesi riguardo la possibile posizione che il mausoleo potesse occupare in Vaticano.

4.1 Ordini architettonici e trabeazioni

Dal disegno originale della sezione, nonostante i capitelli siano solamente abbozzati, si può vedere che l'ordine architettonico utilizzato dal Sangallo nel progetto è soltanto quello corinzio, sia per le semicolonne esterne che per le colonne e le paraste interne.

Come mostrato nell'analisi preliminare per la ricerca del modulo, analizzando le proporzioni delle semicolonne esterne, ci si accorge che, mentre il primo ordine rispecchia perfettamente le proporzioni dell'ordine corinzio (nello specifico 1:10,5), così non è per il secondo e per il terzo ordine di semicolonne, che non lo rispettano per nulla.

Tuttavia modificando le altezze dei vari ordini in modo da rispettare la stessa proporzione del primo, si altera completamente l'aspetto del mausoleo disegnato dal Sangallo.

Si è quindi deciso di modellare la colonna tridimensionale sulla base di quella del primo ordine, in modo da mantenere una proporzione corretta e di adeguare dimensionalmente tale colonna all'altezza del secondo e del terzo ordine.

Sia base che capitello sono elementi soltanto abbozzati nel disegno del Sangallo, inizialmente quindi sono stati semplificati ma, in seguito, per ottenere una sezione più precisa si è fatto riferimento agli schizzi del *Taccuino Senese* per quanto riguarda la base, mentre per il capitello è stato preso ad esempio quello dell'edicola dell'altare di Santa Maria delle Carceri.

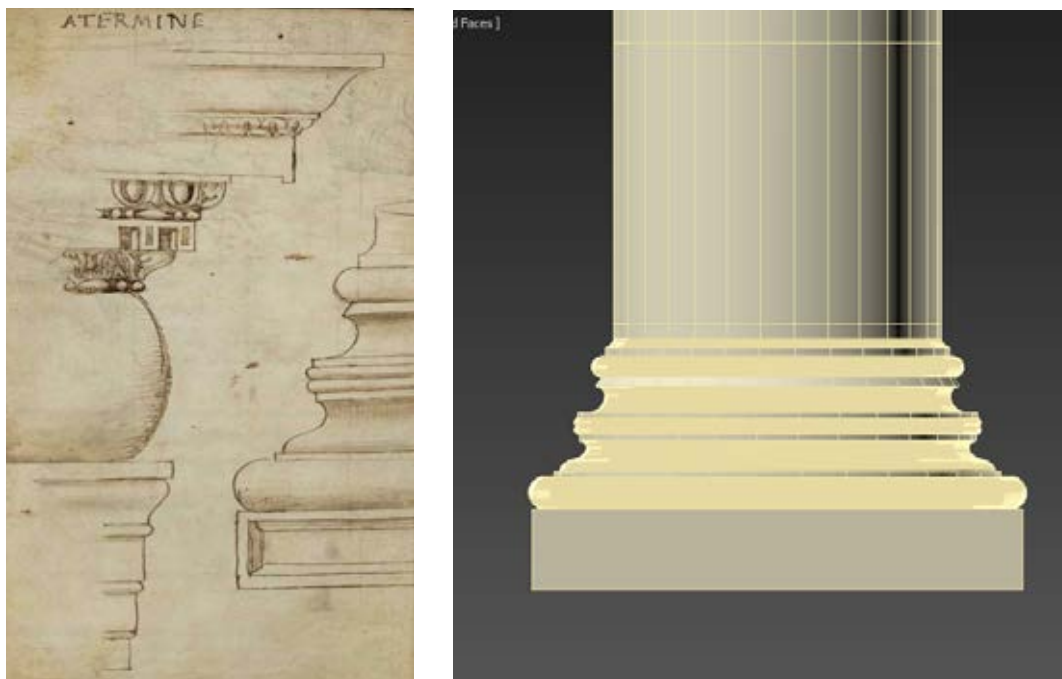


Figura 33: A sinistra, disegno del Sangallo tratto dal *Taccuino Senese*, a destra, fase di modellazione della base

In particolare esso è caratterizzato da foglie d'acanto distribuite su due corone, otto foglie per corona, sfalsate tra loro, sormontate da ovoli e dardi, le volute sono disposte sui quattro angoli e tagliano l'abaco sporgendo solo leggermente in diagonale e i due elici al centro di ogni lato completano la decorazione; sull'abaco inoltre sono disposti centralmente quattro fiori, uno per lato.

Osservando il disegno originale, il fusto delle colonne non sembra essere

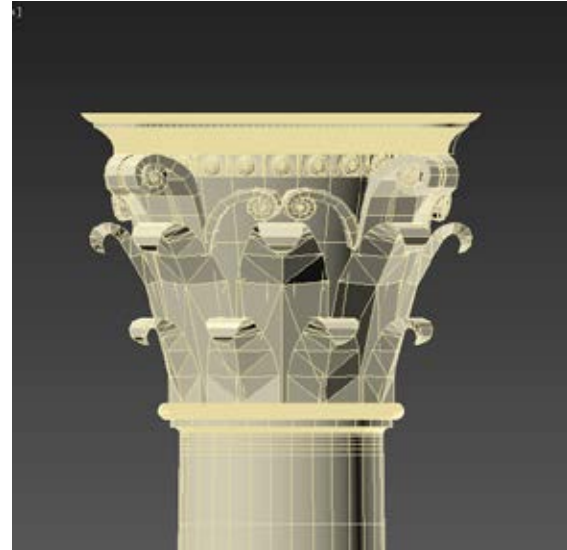


Figura 34: A sinistra, Santa Maria delle Carceri, Prato, particolare dell'edicola dell'altare, a destra fase di modellazione del capitello

rastremato, pertanto inizialmente il modello tridimensionale del fusto è stato realizzato come un cilindro perfetto, scelta rafforzata dal fatto che anche nella Città Ideale le colonne sono prive di entasi.

Tuttavia andando a posizionare le colonne e le colonne a tre quarti all'interno della rotonda si è notato come i capitelli fossero davvero molto vicini e in alcuni punti addirittura fossero a contatto l'uno con l'altro.

Questa problematica si riscontra anche tra le basi che, nonostante non siano a contatto, sono comunque molto vicine.

È possibile che il Sangallo non avesse ben chiara questa situazione poichè in pianta egli ha disegnato solamente la sezione del fusto delle colonne, senza l'ingombro delle basi.

Nella modellazione si è cercato di migliorare questo aspetto rastremando le colonne secondo la regola del Vignola, in questo modo almeno i capitelli non risultano più a contatto; per quanto riguarda le basi invece, sono rimaste abbastanza vicine tra loro poichè non c'è modo di spostare le colonne senza alterare profondamente il disegno del Sangallo.

Nessuno dei fusti è stato scanalato, sia perchè il Sangallo disegna fusti lisci sia per le colonne che per le paraste, sia perchè sia nella *Città Ideale* che nella *Consegna delle Chiavi* le colonne non sono scanalate; tuttavia non si esclude che l'architetto



Figura 35: Vista dell'interno del mausoleo, che mostra uno stadio iniziale di definizione delle colonne e delle trabeazioni



Figura 36: Vista dell'interno del mausoleo che mostra lo stadio finale di definizione degli elementi, con applicazione dei materiali (vedi capitolo 5.2)

lo prevedesse dato l'utilizzo di tale tecnica in altri suoi progetti.

Per quanto riguarda le trabeazioni, esse sono suddivise in 3 parti ma non vengono ulteriormente dettagliate nella sezione prospettica del mausoleo.

Osservando i disegni presenti nel *Taccuino Senese* e il rilievo di Santa Maria delle Carceri si è deciso proporre un'ipotesi per dettagliarle maggiormente, in particolare di utilizzare per la parte superiore un profilo presente in Santa Maria delle Carceri, per la parte inferiore è stato utilizzato un schizzo del *Taccuino Senese* (vedi figura 32, sinistra) mentre la parte centrale, come di consuetudine per il Sangallo, è rimasta liscia.

Come si nota dal dipinto della *Città Ideale* e dalla *Consegna delle Chiavi* del Perugino le trabeazioni del corpo esterno sono alquanto sobrie, senza alcuna decorazione; dunque nella ricostruzione del modello tridimensionale si è scelto di seguire questi due riferimenti.

Al contrario, all'interno del mausoleo, si è optato per inserire dei decori nella fascia superiore ed inferiore della trabeazione che consistono in una fascia di ovoli e dardi e una di dentelli nella parte alta della trabeazione e, nella parte inferiore, una fascia di astragali con fusarole e perline e una con solo perline.

Tali decori sono stati modellati secondo gli esempi della trabeazione di Santa Maria delle Carceri e dei disegni presenti nel *Taccuino Senese*.

Per la fascia centrale sono state analizzate diverse opzioni: nel caso di Santa Maria delle Carceri per esempio essa presentava un motivo decorativo con il giglio fiorentino che ovviamente non è stato possibile utilizzare per il Mausoleo essendo un edificio progettato per essere costruito in Vaticano; oppure nel caso di Santa Maria dell'Umiltà la fascia centrale viene evidenziata da un cambio di materiale come testimonia il marmo rosso che risalta rispetto al grigio della pietra serena utilizzata per le altre fasce.

Si è scelto dunque di lasciare liscia la fascia, questo argomento comunque verrà affrontato più approfonditamente nel capitolo relativo all'applicazione dei materiali.

Le sezioni utilizzate per ogni fascia sono state ridimensionate in base allo spessore di quelle disegnate dal Sangallo, in questo modo è stata rispettata la proporzione originale tra le fasce.

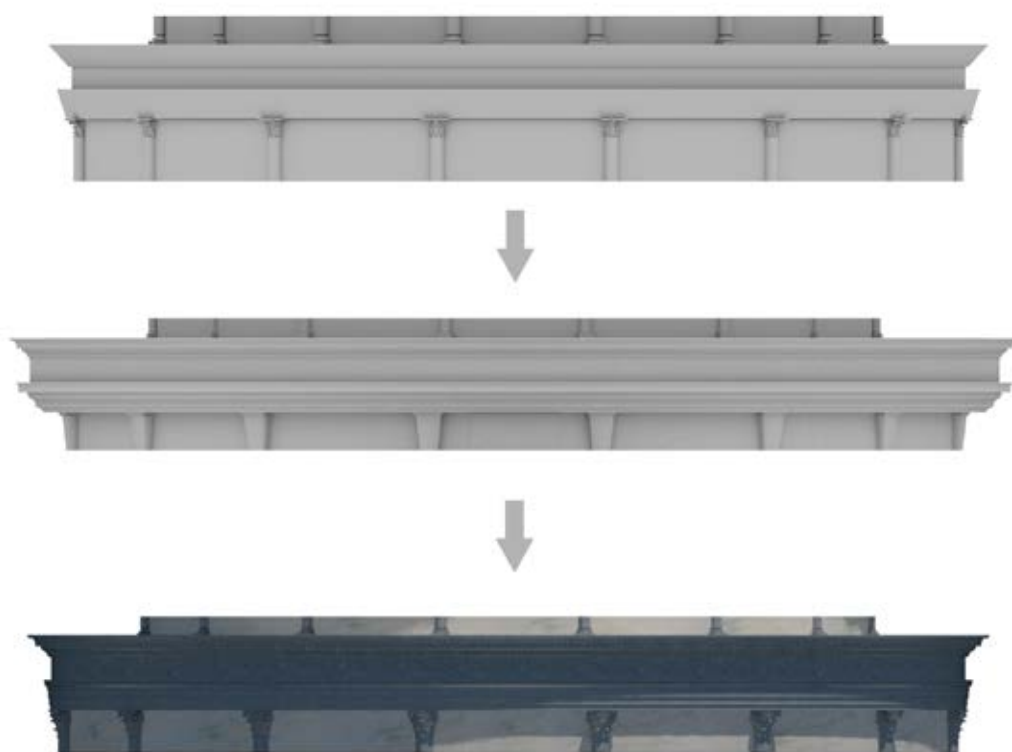


Figura 37: *Evoluzione della trabeazione del secondo ordine*

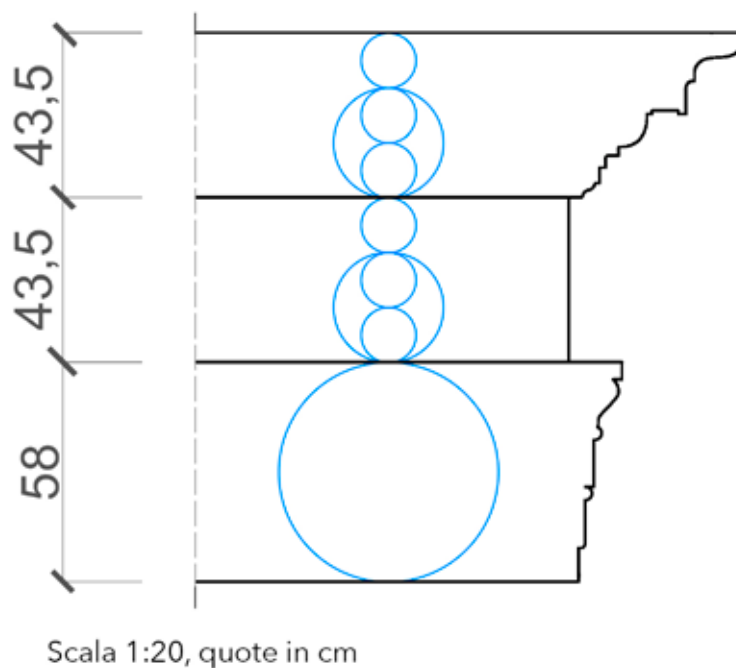


Figura 38: *Sezione definitiva utilizzata per la ricostruzione della trabeazione del secondo ordine*



Figura 39: Vista della trabeazione interna del primo ordine con applicazione dei materiali (vedi capitolo 5.2)

Al livello del terzo ordine di colonne, non esiste una trabeazione tripartita come nei livelli sottostanti ma si imposta direttamente il tetto, la cui sezione è solamente abbozzata dal Sangallo, in maniera abbastanza approssimativa.

Per questo motivo si è scelto di utilizzare anche in questo punto il profilo ricavato dalla Chiesa di Santa Maria delle Carceri, opportunamente dimensionato seguendo lo schizzo dal Sangallo.

Infine l'ordine corinzio viene utilizzato anche nella lanterna, seguendo il modello della chiesa di Santa Maria delle Carceri poiché il disegno originale non è completo in quel punto.

Inizialmente il tetto della lanterna era stato realizzato seguendo il modello della Città Ideale, in seguito invece si è scelto di utilizzare come unico modello la lanterna di Santa Maria delle Carceri che ha costituito un riferimento anche per il balconcino, costituito invece da colonnine di ordine ionico.

4.2 L'avancorpo e le edicole

In questo capitolo verrà analizzato più in dettaglio il prolungamento di uno dei vestiboli disegnato dal Sangallo in pianta (ma non presente nella sezione) per creare uno spazio destinato al sarcofago del papa Giulio II.

Si può notare come l'aggiunta di tale elemento crei esternamente una profonda alterazione nell'altrimenti perfetta simmetria della rotonda dal Sangallo che non sembra quindi rispecchiare i canoni imposti dal Rinascimento.

Tali canoni si possono invece chiaramente vedere nei mausolei ritratti nei dipinti della *Città Ideale* e nella *Consegna delle Chiavi* dove la simmetria del monumento viene rispettata e in particolare gli ingressi sono evidenziati dalla presenza di edicole in aggetto rispetto al corpo centrale.

Si è quindi ipotizzato che il Sangallo potesse prevedere tali edicole esternamente ai tre vestiboli di ingresso, in modo da ripristinare una certa simmetria dell'insieme.

Tale ipotesi è risultata ancora più plausibile quando, analizzando meglio la pianta originale, sono stati notati in corrispondenza della parte esterna ad uno dei vestiboli, una traccia di quelle che sembrano essere due colonne che potevano proprio essere quelle a sostegno del timpano a protezione dell'ingresso.

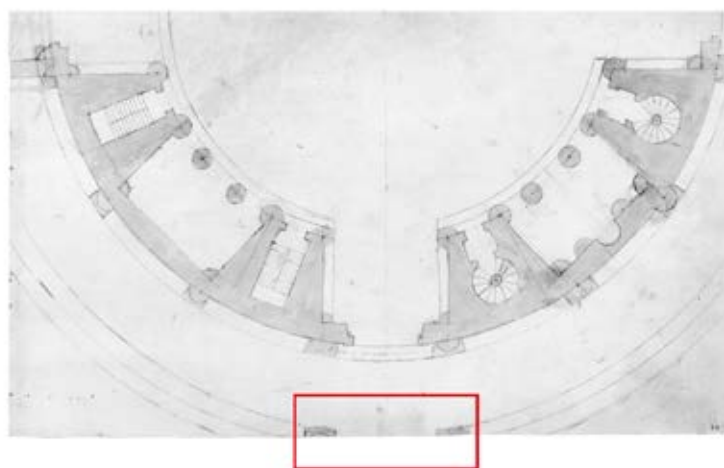


Figura 40: Pianta originale del Sangallo dove si evidenzia in rosso la traccia delle colonne

Una volta avvalorata tale ipotesi, è stato necessario capire come fossero fatte le edicole, considerando anche la presenza, in corrispondenza del quarto vestibolo, dell'avancorpo sporgente.

Prima di tutto le colonne a sostegno delle edicole sono state disegnate in pianta collocandole alla stessa distanza dal corpo del mausoleo delle colonne a tre quarti già presenti esternamente negli angoli del prolungamento del vestibolo in modo da ottenere lo stesso avanzamento del corpo aggettante anche per le edicole.

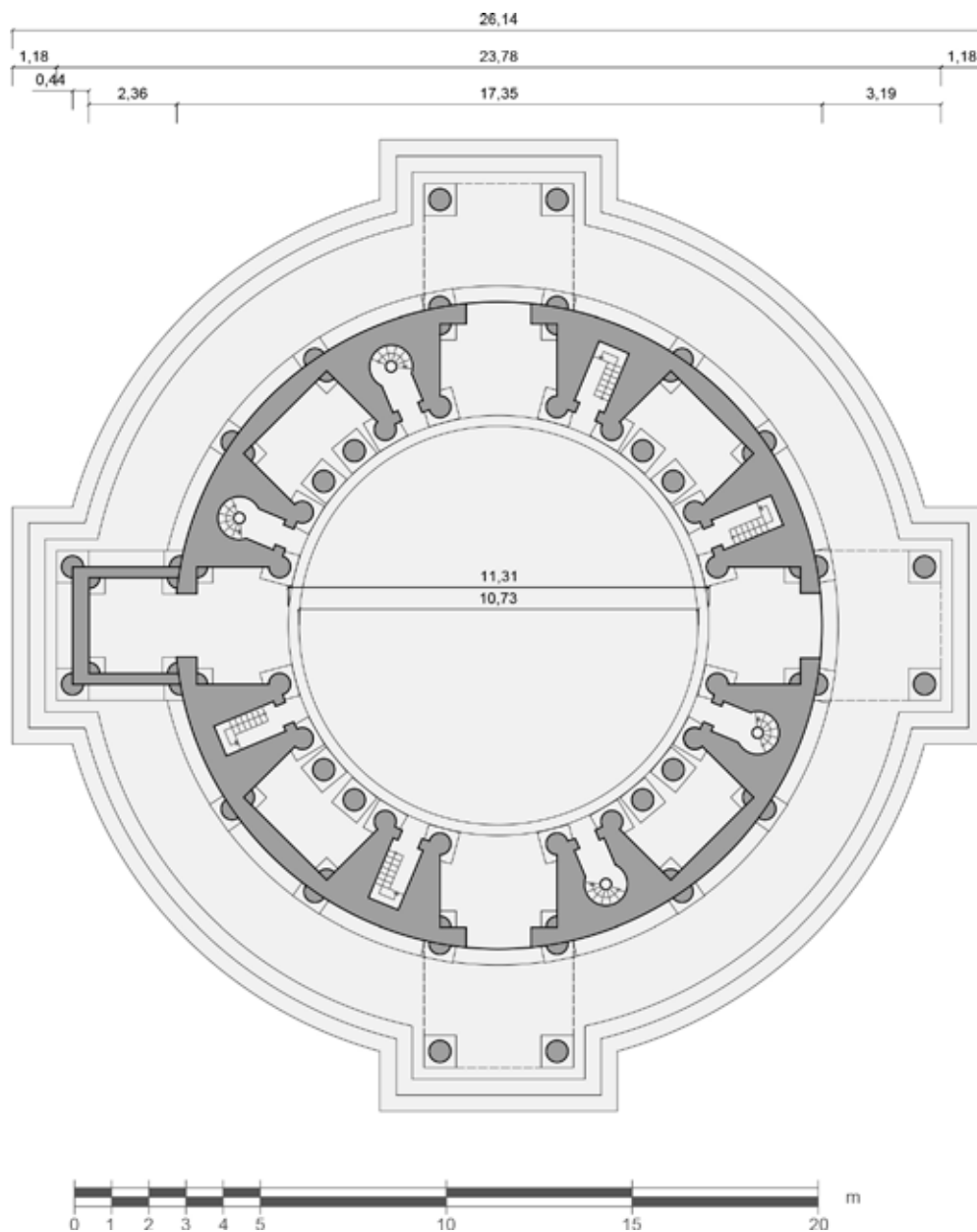


Figura 41: Pianta modificata aggiungendo le colonne a sostegno delle edicole

Si è scelto inoltre di utilizzare un timpano triangolare per la copertura, la cui sezione ricalca quella dei timpani della chiesa di Santa Maria delle Carceri poiché non si avevano altri elementi per valutare cosa avesse previsto il Sangallo.

Osservando poi i due dipinti si vede come presentino due soluzioni profondamente diverse: mentre nella *Città Ideale* l'edicola è più bassa rispetto al primo ordine di semicolonne e quindi sorretta da due colonne più piccole che occupano lo spazio tra le semicolonne retrostanti andando ad incorniciare la porta; nella *Consegna delle Chiavi* abbiamo la presenza di un ordine gigante che arriva fino al secondo livello e il timpano è posizionato sopra la trabeazione del Mausoleo il cui profilo avanza seguendo l'aggetto dell'edicola.

Sulla base di queste considerazioni sono state analizzate tre ipotesi:

- ipotesi 1: con riferimento alla *Città Ideale* si è provato a realizzare due colonne di sostegno più basse sopra le quali posizionare il timpano di copertura lasciando la trabeazione del primo ordine di colonne attaccata alla rotonda

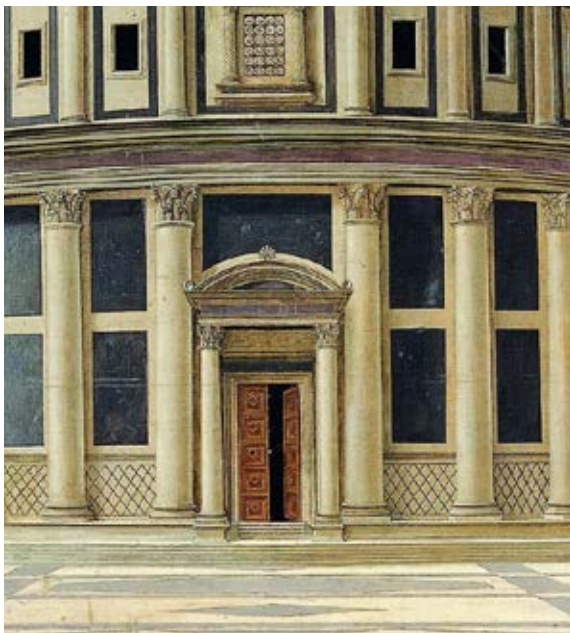


Figura 42: A sinistra particolare della *Città Ideale*, a destra l'ipotesi di ricostruzione dell'edicola numero 1

- ipotesi 2: con riferimento alla *Consegna delle Chiavi* sono state posizionate due colonne di sostegno alte quanto il primo ordine di colonne ed è stata continuata la trabeazione seguendo il profilo in aggetto in modo da poter poi posizionare il timpano sopra di essa.



Figura 43: A sinistra particolare della *Consegna delle Chiavi*, a destra l'ipotesi di ricostruzione dell'edicola numero 2

- Ipotesi 3: è simile all'ipotesi 2 ma solamente la prima fascia della trabeazione è in aggetto e sorregge il timpano.



Figura 44: Ipotesi 3

L'ordine gigante non è stato preso in considerazione come ipotesi perché sarebbe risultato troppo sproporzionato dato che lo spazio tra le colonne era molto minore rispetto all'altezza dei primi due ordini.

La prima ipotesi è stata scartata poiché, come si vede nella figura 29, l'edicola risultava abbastanza tozza. Ciò sicuramente è dovuto anche al fatto che nel caso del Mausoleo la posizione delle colonne che dovevano sorreggere il timpano non poteva essere interna alle semicolonne addossate alla parete, come nella *Città Ideale*, poiché per mantenere la simmetria tale posizione è stata determinata dalle colonne a tre quarti presenti agli angoli dell'avancorpo in aggetto.

Anche la terza ipotesi è stata scartata poiché non sembrava possibile un'interruzione così brusca delle due fasce superiori della trabeazione.

La seconda ipotesi è dunque quella che si è scelto di portare avanti, nonostante il fatto che il timpano, avendo un'inclinazione di circa 24° , andasse ad intersecarsi con la finestra del secondo ordine che per questo motivo inizialmente si è pensato fosse cieca.

In una fase successiva si è deciso di diminuire l'inclinazione a 20° in modo da eliminare l'intersezione del timpano con la finestra sovrastante.

La sezione utilizzata per modellare i due spioventi del timpano è uguale a quella della fascia superiore della trabeazione del primo ordine, tesi rafforzata dai trattati classici, come per esempio il *De Architectura* dell'Alberti.

Per il portale poi si è fatto riferimento a quello di Santa Maria delle Carceri cercando di proporzionarlo in base all'intercolumnio; rimane tuttavia un ampio spazio vuoto tra la cornice del portale e la trabeazione, che non si ritrova nei riferimenti pittorici.

Si può ipotizzare che tale spazio fosse destinato ad un'iscrizione, un cambio di materiale o un decoro dedicato al Papa Giulio II, tuttavia non vi sono certezze in merito.

Sono state tentate anche soluzioni nelle quali la porta era più alta per andare a riempire lo spazio vuoto ma tali ipotesi mostravano un'elevata sproporzione dell'insieme.



Figura 45: *Vista frontale della soluzione proposta*

4.3 Organizzazione architettonica interna

Internamente il mausoleo presenta tre vestiboli in corrispondenza degli ingressi e uno antistante l'avancorpo creato dal Sangallo per ospitare il sarcofago di Giulio II, tutti incorniciati da colonne a tre quarti.

Le porte d'ingresso, come già accennato in precedenza, sono state modellate seguendo l'esempio di Santa Maria delle Carceri come anche le cornici, proporzionandole adeguatamente in base all'intercolunnio del mausoleo.

Sulle quattro diagonali invece si trovano quattro nicchie schermate da due colonne che si è pensato potessero ospitare, sulla parete di fondo, dei quadri o delle statue incorniciate da edicole come avviene solitamente nelle cappelle delle chiese. La stessa soluzione è stata adottata anche per la parete alle spalle del sarcofago all'interno dell'avancorpo.

Edicole dello stesso tipo sono presenti anche all'interno del Pantheon anche se non si trovano all'interno delle nicchie ma esternamente nella porzione di muro tra due nicchie contigue.

L'edicola presa ad esempio per realizzare il modello è quella presente all'interno della chiesa di Santa Maria delle Carceri realizzata dallo stesso Sangallo.

Tuttavia, non essendoci la certezza della presenza di questi elementi all'interno della rotonda, in fase di realizzazione delle immagini di rendering si è scelto, su suggerimento della prof.ssa Frommel, di generare immagini dell'interno del Mausoleo sia con che senza la presenza delle edicole, semplicemente spegnendo o accendendo il layer a cui esse erano assegnate.

Salendo verso la cupola troviamo tra il primo e il secondo livello i balconcini dei cantori, modellati seguendo il disegno originale del Sangallo e poi, al primo livello, inizialmente si era ipotizzato vi fosse un affaccio del corridoio che corre attorno a tutta la rotonda anche verso l'interno, mal interpretando il disegno del decoro posizionato dall'architetto tra le paraste.

In un secondo momento però, grazie anche alle indicazioni della prof.ssa Frommel che ha fornito un'interpretazione più corretta del disegno della sezione, gli affacci verso l'interno del mausoleo al primo livello sono stati eliminati e sostituiti da nicchie a conchiglia cieche che si ritrovano spesso nel lavoro del

Sangallo; per esempio in diversi disegni del Taccuino Senese come quello riconducibile probabilmente al progetto per Santo Spirito ma anche in progetti realizzati come la Cappella Gondi e Villa La Magliana. Salendo ancora verso la cupola non sono state realizzate decorazioni di alcun tipo poiché il Sangallo non abbozza nulla nella sezione e pertanto non si hanno abbastanza elementi per ipotizzare una soluzione che sia attendibile.

Conoscendone la posizione, l'aspetto esteriore e le dimensioni di altezza e larghezza poiché disegnato in sezione dal Sangallo, è stato possibile modellare anche il sarcofago con una certa attendibilità; l'unica incertezza riguarda la lunghezza che si è presunto potesse essere di circa 2 metri, in modo da contenere un uomo di media altezza.

Esso è stato posizionato all'interno del prolungamento del vestibolo appositamente disegnato dal Sangallo per ospitarlo mentre al centro della rotonda è stato posizionato un altare, modellato prendendo ad esempio quello del Mausoleo di Santa Costanza a cui evidentemente si ispira questa disposizione.

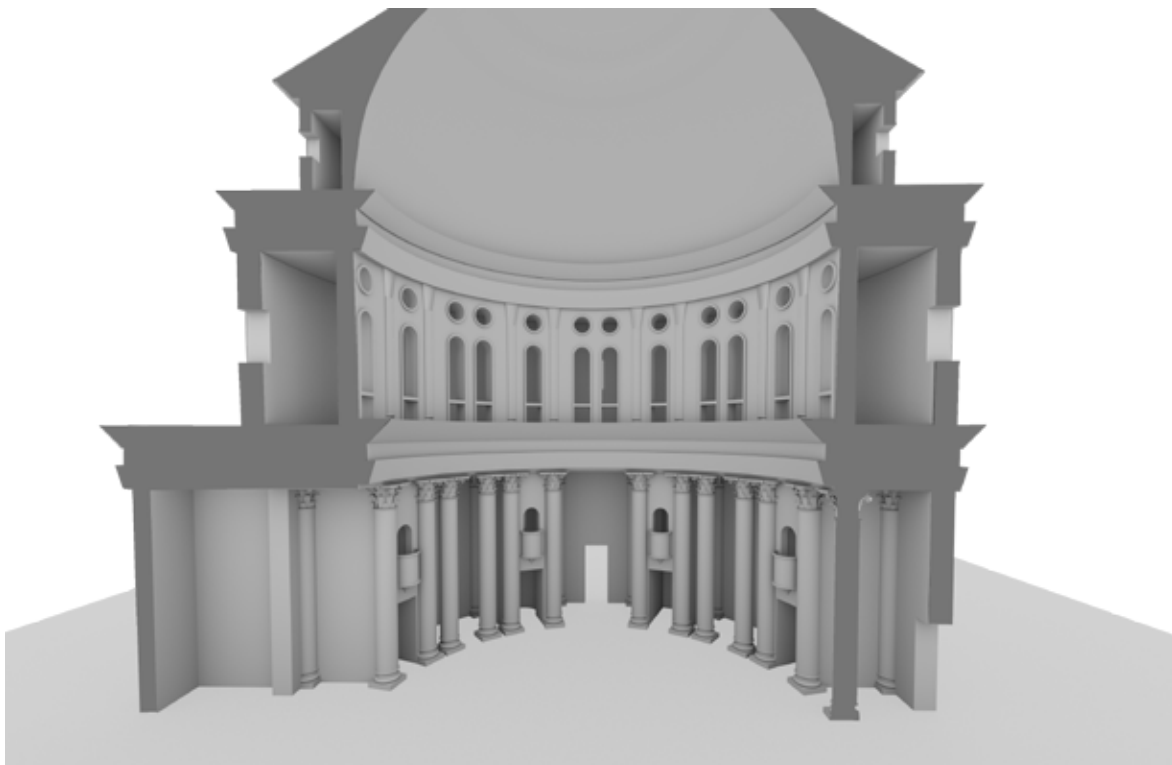


Figura 46: Sezione prospettica che mostra l'organizzazione interna nello stadio iniziale del processo ricostruttivo



Figura 47: *Viste interne che mostrano l'organizzazione interna nello stadio finale del processo ricostruttivo, in alto ipotesi delle nicchie con le edicole, in basso senza.*

4.4 Questioni aperte

In questo capitolo verrà analizzato l'approccio ai due aspetti più problematici affrontati durante la modellazione tridimensionale del mausoleo di Giulio II: i collegamenti verticali e le aperture.

4.4.1 Collegamenti verticali

All'interno del monumento, inseriti tra i possenti pilastri che costituiscono la struttura portante del mausoleo, sono posizionati otto vani scala di cui quattro a chiocciola e quattro a due rampe, posizionati alternati tra loro a due a due.

La sezione purtroppo non ci dà alcuna ulteriore indicazione su come le scale si sviluppano ai piani superiori, pertanto è stata fatta un'ipotesi basandosi su una valutazione costruttiva, stimata nella sua più possibile realizzazione.

Ragionando sulla tipologia delle scale è risultata più plausibile l'ipotesi che non tutti i vani scala raggiungessero il corridoio del terzo ordine per poi consentire un ipotetico accesso alla lanterna; in particolare si è pensato fosse più plausibile che soltanto le scale a chiocciola, meno ingombranti e più versatili, arrivassero fino al piano di imposta della cupola, mentre le scale a due rampe servissero solamente per l'accesso ai balconcini, probabilmente destinati ai cantori.

Essi sono stati quindi posizionati solamente in corrispondenza delle scale a due rampe che si fermano quindi ancora prima di raggiungere il corridoio del secondo livello.

Per quanto riguarda invece le scale a chiocciola è sorta un'ulteriore complicazione poiché il terzo livello del mausoleo è arretrato rispetto agli ordini sottostanti ed essendo il vano scala

adiacente al muro esterno del primo livello, proiettandolo verso l'alto fino al livello di imposta della cupola le scale sarebbero arrivate esternamente rispetto alla rotonda.

La soluzione ipotizzata anche in questo caso si è basata su una valutazione spaziale e costruttiva, pertanto, per far sì che la scala riuscisse ad arrivare al corridoio del terzo ordine si è scelto di traslare il vano scala in avanti occupando lo spazio destinato al piccolo atrio di ingresso, in corrispondenza del secondo livello. È stato anche necessario ridurre il diametro del vano scala da 116 cm (un

passetto) a circa 90 cm poiché lo spazio dell'atrio è più contenuto.

L'ipotesi è stata avvalorata dal fatto che tale soluzione è stata adottata anche nella Chiesa di San Luca a Bologna.

Per raggiungere la lanterna poi si suppone che la salita proseguisse all'interno dello spessore della cupola con una rampa leggermente inclinata.

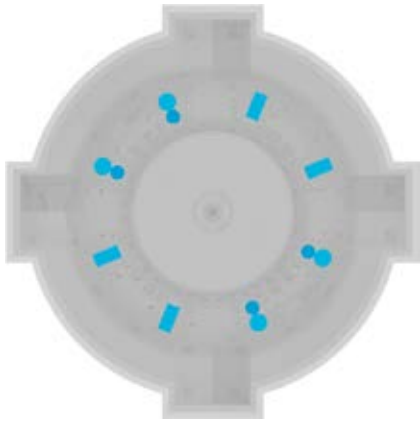


Figura 48: Vista in pianta della disposizione delle scale

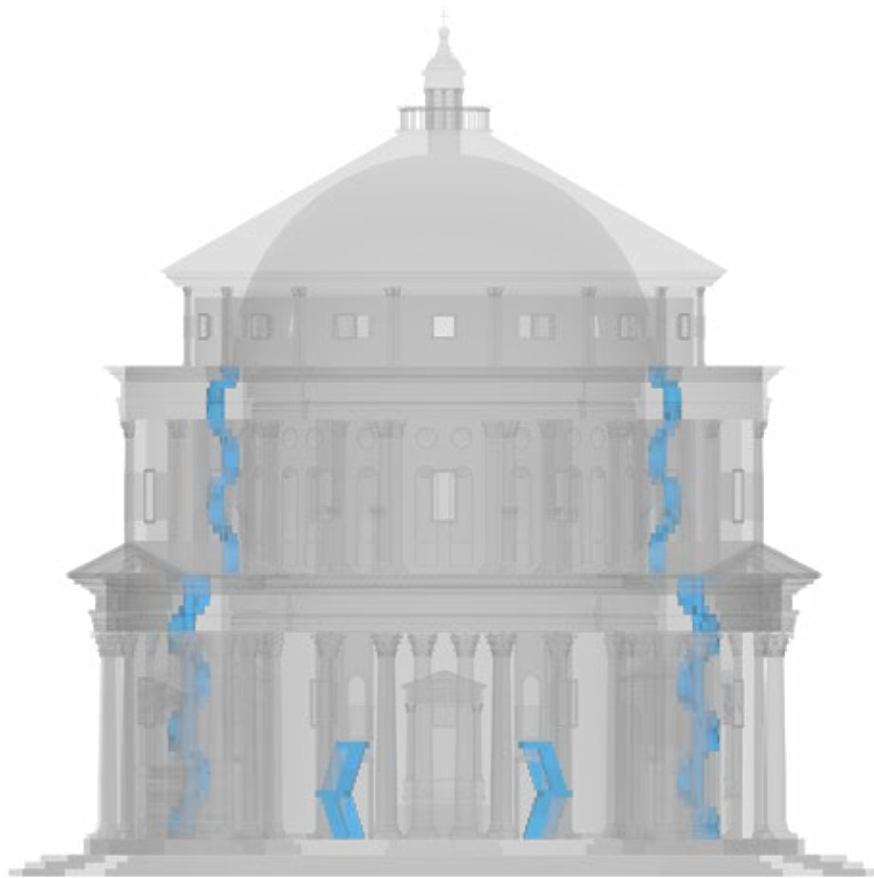


Figura 49: Sezione prospettica che mostra la distribuzione delle scale

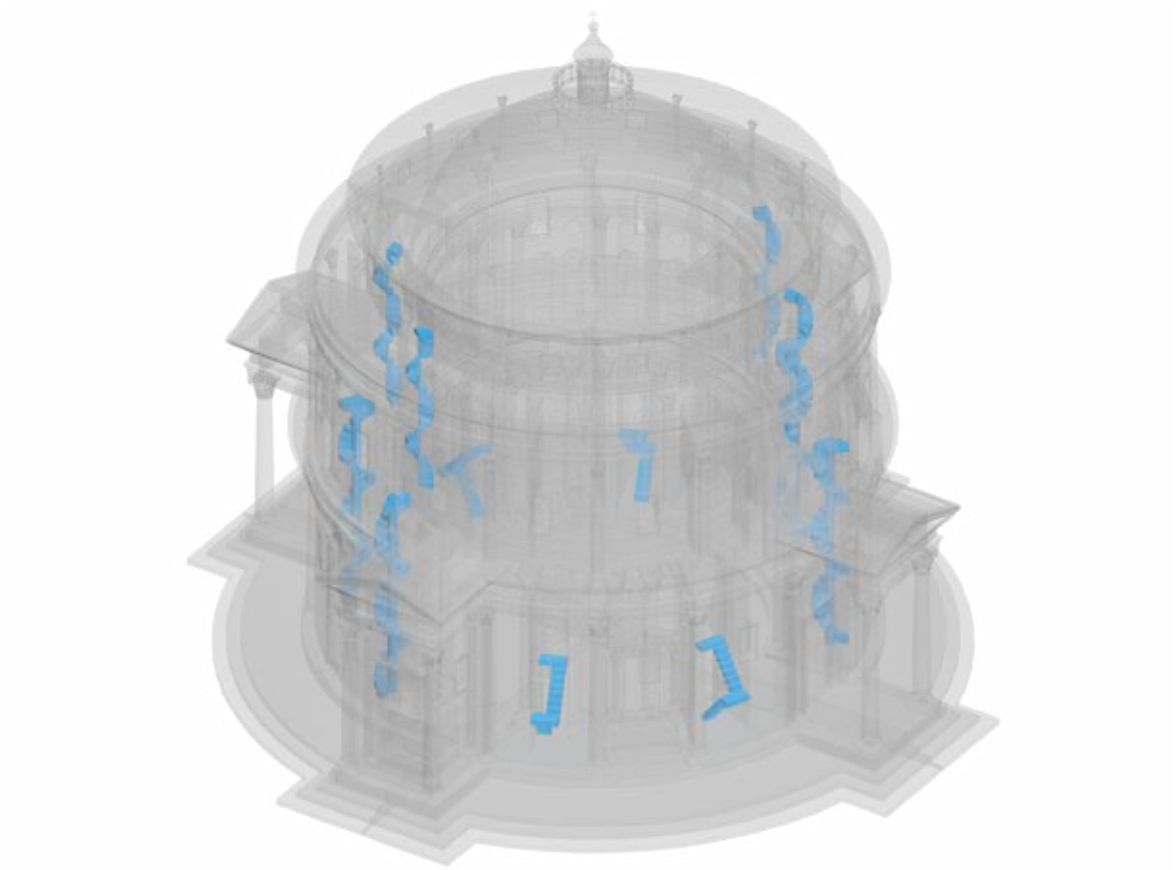


Figura 50: *Vista dall'alto che mostra la distribuzione delle scale*

4.4.2 Aperture ed illuminazione interna

Altro argomento abbastanza controverso è risultato essere quello della disposizione delle aperture. Per quanto riguarda l'ampiezza ci si è riferiti alla sezione, il Sangallo infatti disegna, esternamente rispetto al mausoleo, la sagoma delle aperture corrispondenti per ogni livello.

É stata considerata anche l'altezza a cui sono state disegnate, in particolare mentre le finestre del secondo e del terzo livello sono in posizione centrata, quelle del primo livello sono disegnate a 319 cm dal gradino su cui poggiano le basi delle semicolonne esterne.

Le aperture che sia al secondo che al terzo ordine sono state posizionate in ogni intercolumnio seguendo l'esempio della *Città Ideale*, illuminano i due bassi corridoi che corrono attorno a tutta la rotonda; mentre al primo livello si è deciso di posizionare le finestre solamente in corrispondenza dei vani scala poiché si è pensato che le nicchie dovessero essere luoghi di raccoglimento e preghiera dove una finestra frontale avrebbe fatto entrare una luce troppo diretta.

Tale decisione è suffragata anche dal fatto che né nella *Città Ideale* né nella *Consegna delle Chiavi* sono presenti finestre al primo livello e lo stesso accade anche nelle nicchie del Pantheon e del Mausoleo di Santa Costanza che risultano essere abbastanza buie.

Per quanto riguarda l'avancorpo ospitante il sarcofago, avendo 3 pareti esterne, si è deciso di rispettare la decisione presa in precedenza e di non posizionare una finestra sulla parete di fondo ma nelle pareti laterali si è scelto di realizzare due aperture, di dimensione uguale a quelle già posizionate in corrispondenza dei vani scala del primo ordine, utilizzando come esempio un avancorpo presente al terzo livello del Mausoleo di Santa Costanza che presenta finestre su tutti e tre i lati.



Figura 51: Mausoleo di Santa Costanza, Roma, [17]



Figura 52: Vista della ricostruzione del mausoleo di Giulio II: si può vedere la disposizione delle aperture sulla rotonda e nell'avancorpo

Inoltre è sembrato utile cercare di far entrare un po' più di luce in un ambiente altrimenti assai buio poiché illuminato solamente dalla lanterna di diametro contenuto (87 cm).

In quest'ottica, si è pensato anche di proporre una cupola finestrata, proiettando semplicemente i fori delle finestre dell'ultimo livello anche verso l'interno, in modo da far entrare un po' di luce anche nel corpo della rotonda e non solo nel corridoio del terzo livello.

Tuttavia tale scelta non risulta suffragata da alcun disegno del Sangallo, semplicemente si è pensato a quale soluzione costruttiva avrebbe potuto adottare il Sangallo in fase esecutiva per migliorare la fruibilità del mausoleo poiché esso risulta un monumento veramente molto buio.

Tutte queste considerazioni comunque sembrano confermare l'ipotesi che i disegni del Sangallo si riferissero ad un progetto per un mausoleo.

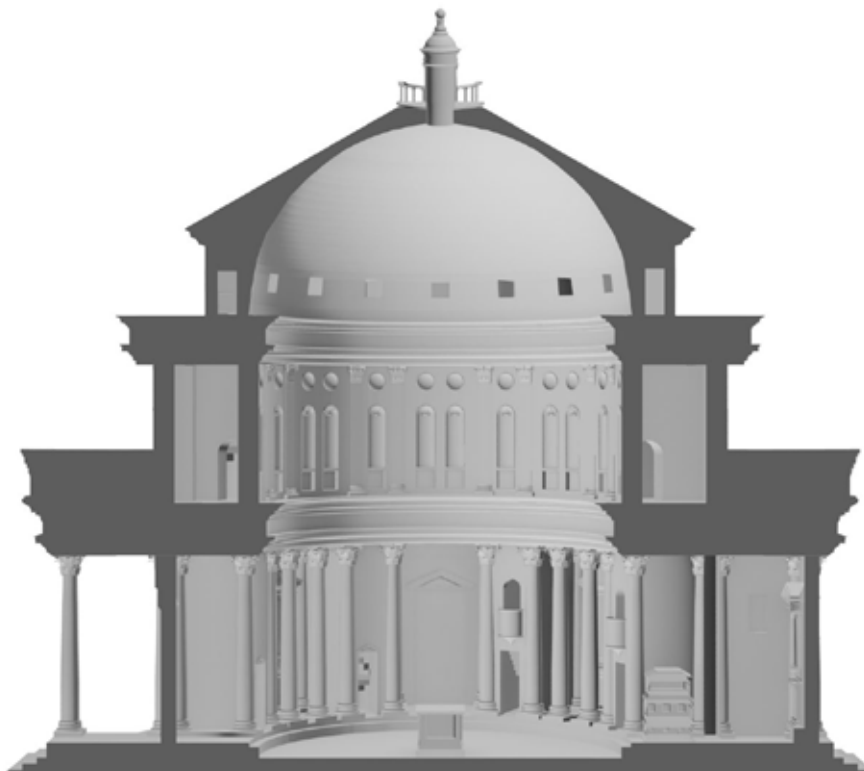
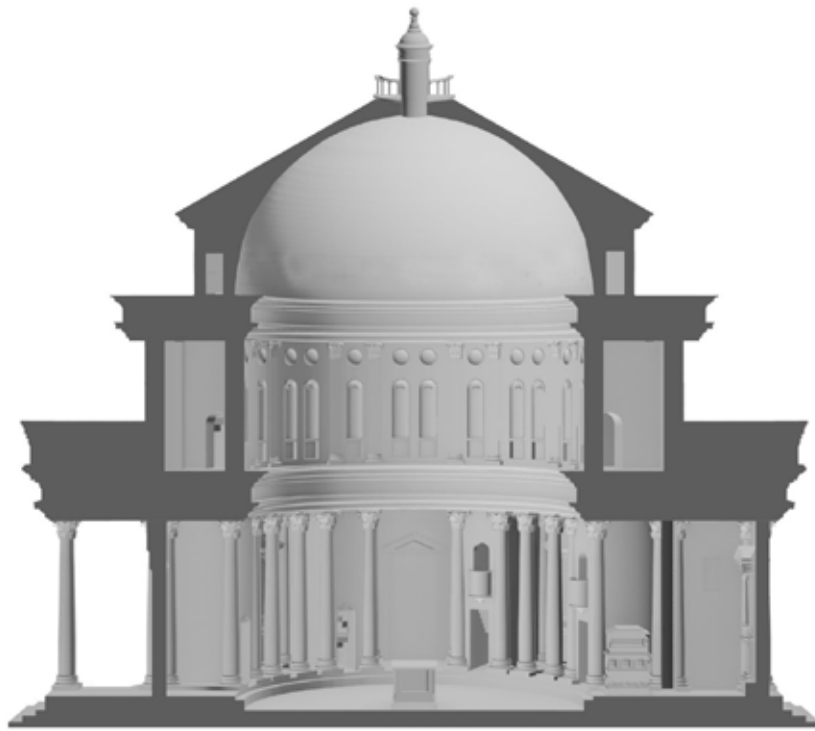


Figura 53: *In alto sezione del mausoleo con cupola cieca, in basso sezione del mausoleo con cupola finestrata*

4.5 Ipotesi di collocazione geografica del Mausoleo

Sulla base delle indicazioni contenute nella monografia realizzata dalla prof.ssa Frommel su Giuliano da Sangallo si è deciso di indagare più a fondo l'ipotesi relativa alla collocazione del Mausoleo di Giulio II nella zona a sud della Basilica di San Pietro.

Nel suo libro la professoressa Frommel ipotizza che il Mausoleo potesse essere ubicato nelle vicinanze delle due rotonde tardoantiche di Sant'Andrea e di Santa Petronilla.

Anche se non si esclude questa opzione, osservando la struttura di tali rotonde e considerando anche il periodo storico in cui il mausoleo viene progettato, cioè durante i lavori per la nuova Basilica di San Pietro, si è ipotizzato che il Sangallo avesse previsto di collocare il manufatto non vicino, ma al posto di una delle due rotonde, sfruttando la struttura già esistente.

Anche se confrontando il diametro del Mausoleo con quello delle rotonde ricavabile dalla ricostruzione della pianta dell'antica basilica di San Pietro di Tiberio Alfarano del 1590, si nota come esso risulti inferiore di circa 9 metri rispetto alla rotonda più ad est e di circa 13 rispetto alla rotonda più ad ovest, si possono comunque notare analogie interessanti.

Ad esempio le nicchie presentano la stessa forma e sono posizionate esattamente negli stessi punti, sui due assi della rotonda ortogonali tra loro e a 45° rispetto a tali assi, e, considerando anche l'avancorpo, le edicole e i gradini del Mausoleo, esso occupa circa lo stesso spazio della rotonda.

A questo punto si sono fatte anche supposizioni sull'orientamento del Mausoleo di Giulio II: considerando gli edifici della stessa tipologia si nota che il Pantheon ad esempio presenta un ingresso a nord mentre il Mausoleo di Santa Costanza a nord-est.

Nel caso in cui effettivamente il Sangallo avesse pensato di posizionare il Mausoleo nello spazio occupato dalla Rotonda di Santa Petronilla, orientare l'ingresso verso nord avrebbe significato porre l'accesso principale al monumento, opposto alla posizione del sarcofago, direttamente all'interno della Basilica di San Pietro.

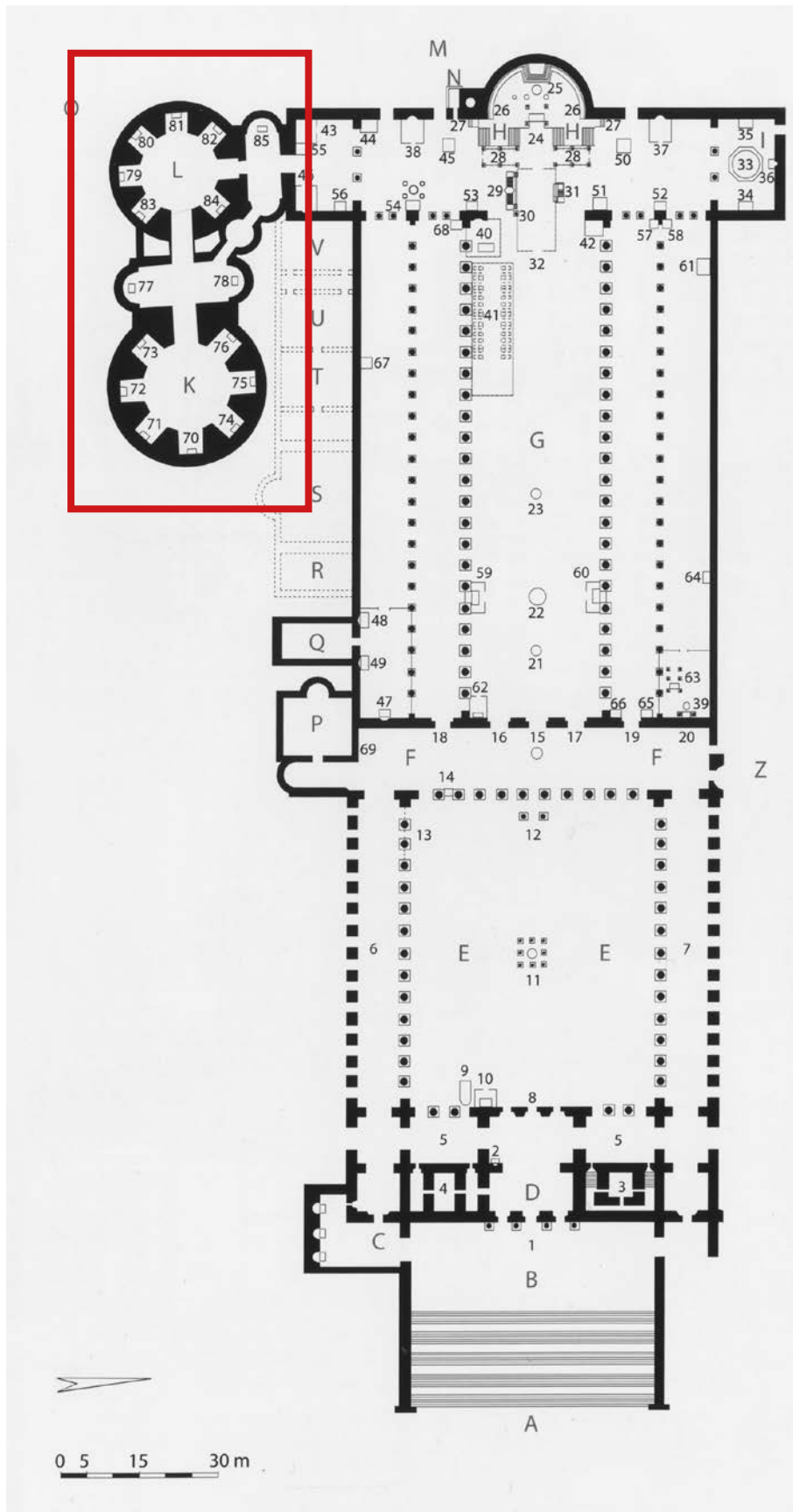


Figura 54: Pianta di San Pietro (sec VI-XV) elaborazione da Alfarano 1590, [4]

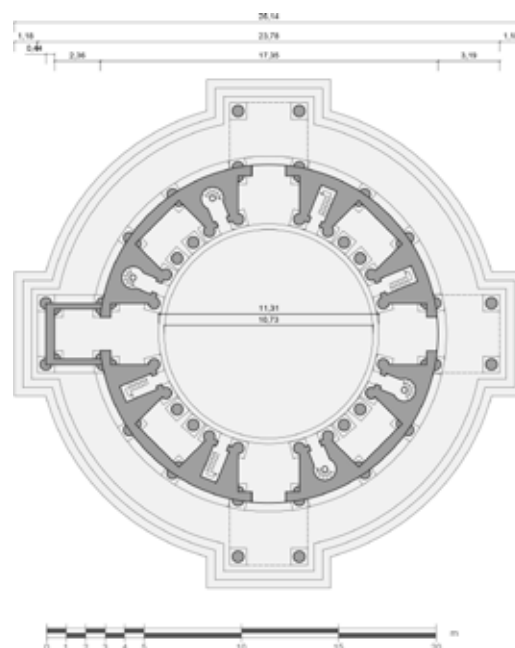
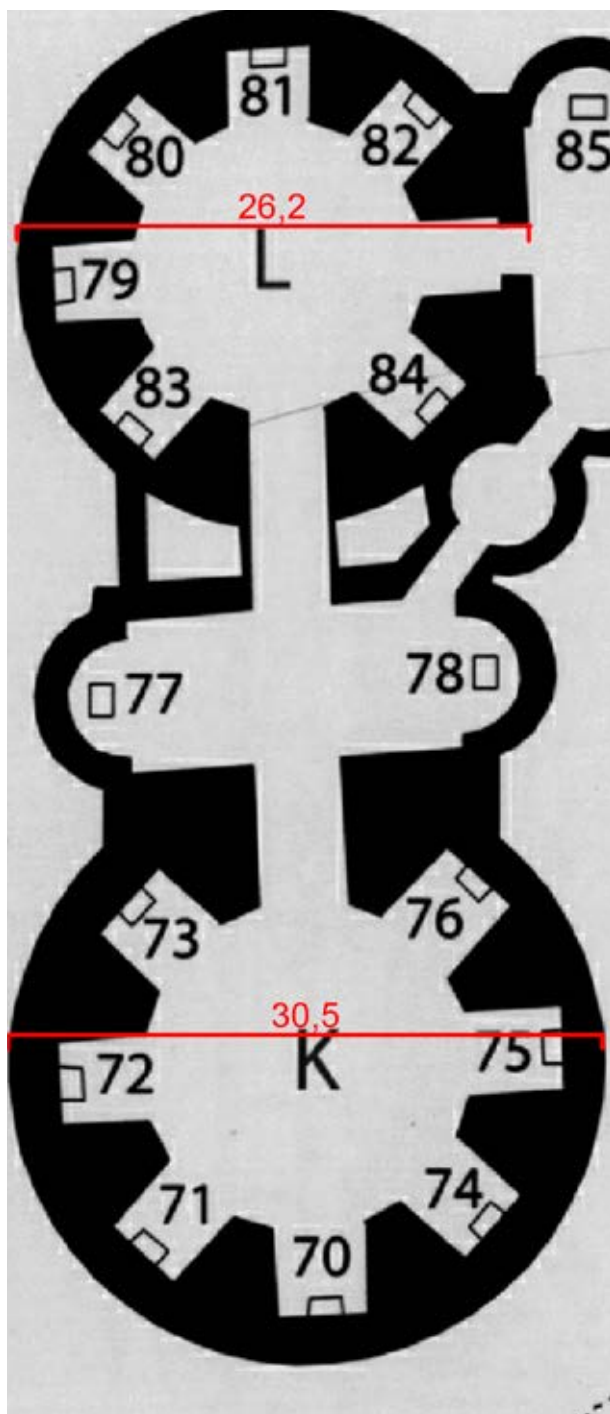


Figura 55: *Pianta del mausoleo di Giulio II*

Figura 56: *Particolare della pianta di San Pietro (sec VI-XV) raffigurante le due rotonde tardoantiche di Santa Petronilla e di Sant'Andrea, [4]*

Un riferimento per questa disposizione può essere fornito dalla rotonda dei Valois ad opera del Primaticcio. Tale rotonda, anche se profondamente diversa come forma in pianta, presenta alcune analogie con la rotonda di Santa Petronilla.

La rotonda dei Valois era stata fatta erigere da Caterina de' Medici a partire dal 1567 come sepolcro per suo marito, Enrico II, per sé stessa e per i figli. Essa era stata aggiunta al transetto sinistro dell'Abbazia di Saint-Denis, ma non era né aperta verso la chiesa, come la maggior parte delle cappelle sepolcrali

dell'epoca, né direttamente accessibile da essa. Si trattava piuttosto di un edificio circolare autonomo collegato attraverso un corridoio stretto e poco cerimoniale alla cappella della Madonna nel transetto sinistro della chiesa, e che probabilmente, all'origine, doveva essere accessibile attraverso un proprio portale posto sull'asse est-ovest, parallelo alla chiesa ⁷.

Considerando inoltre l'alzato della rotonda, si nota come essa sia strutturata su tre livelli, proprio come il progetto per il mausoleo di Giulio II.

La prof.ssa Frommel ipotizza che il Primaticcio potesse aver avuto contatti con Francesco da Sangallo, il figlio di Giuliano, probabilmente durante un suo viaggio in Italia e proprio in questa occasione potesse aver visto il progetto del Mausoleo di Giulio II nei disegni del Codice Barberiniano.

È possibile dunque che il Sangallo avesse pensato ad un monumento collegato con la Basilica di San Pietro ma anche con un ingresso autonomo collocato sull'asse est-ovest.

In questo caso il sarcofago poteva essere collocato a sud, opposto all'ingresso dalla basilica, oppure sull'asse est-ovest, opposto all'ingresso esterno.

Non ci sono tuttavia sufficienti elementi per propendere per l'una o l'altra ipotesi.

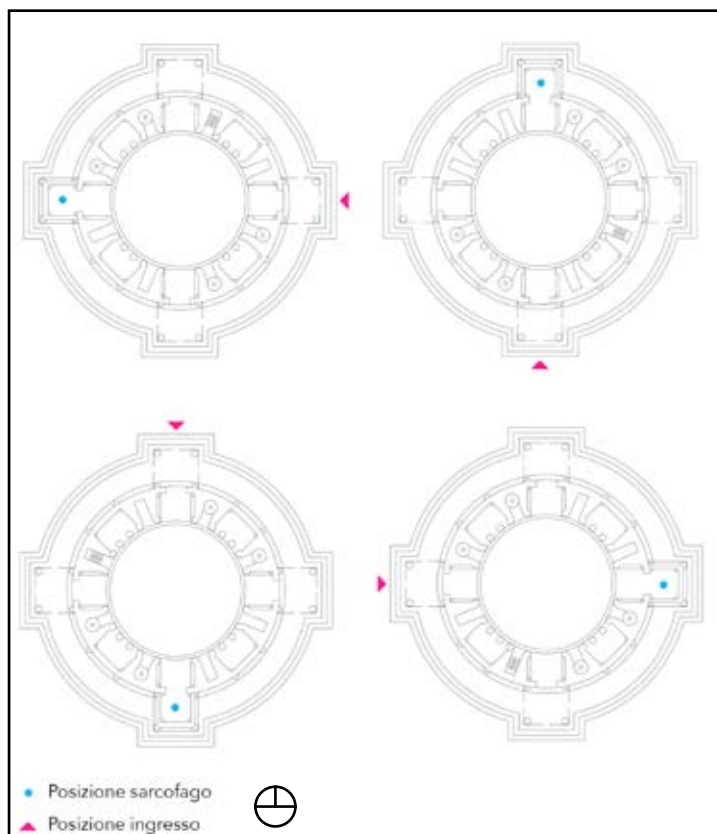


Figura 57: Possibili orientamenti dell'ingresso del mausoleo

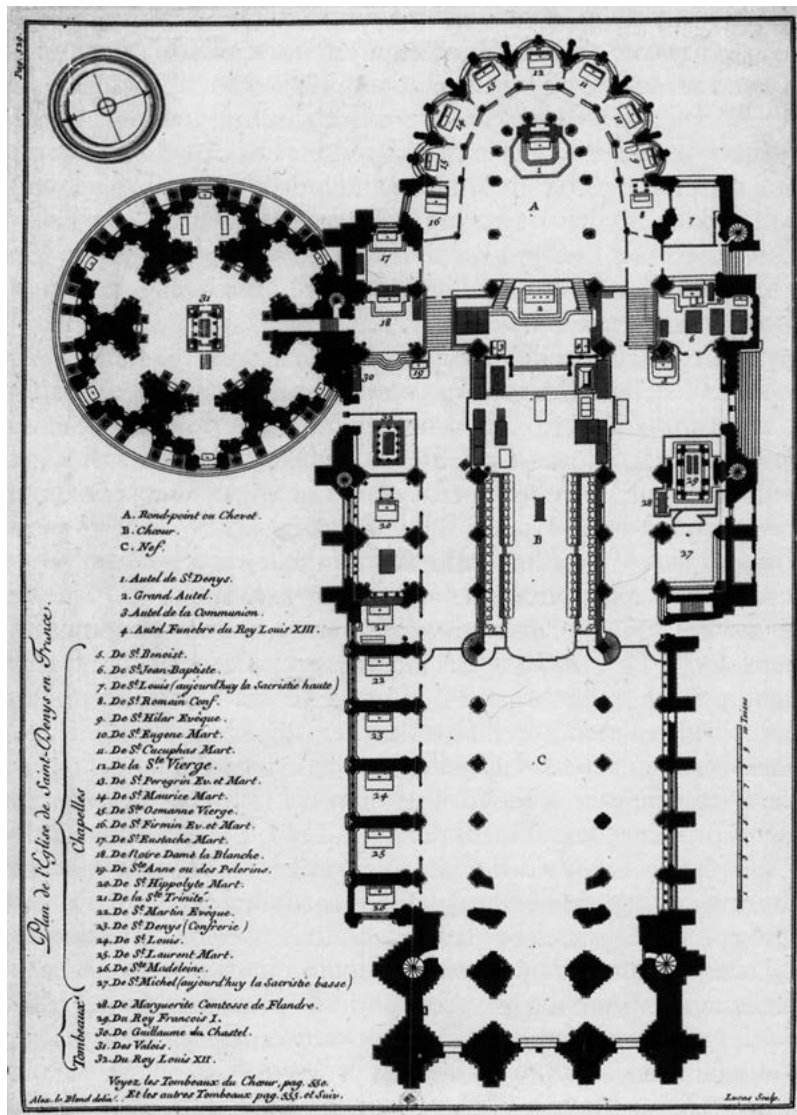


Figura 58: Alexandre Leblond, pianta dell'Abbazia di Saint-Denis con la rotonda dei Valois, Parigi, 1706, [7]

4.6 Le ipotesi fallite

In questo capitolo verranno raccolte le ipotesi riguardanti gli elementi costitutivi del mausoleo che sono state scartate durante il processo ricostruttivo secondo criteri più o meno certi, ma che sono state parte fondamentale del processo di scelta delle ipotesi più plausibili.

Non sempre tuttavia è stato facile operare scelte durante il processo, infatti quasi tutte quelle che sono state fatte sono caratterizzate più dalla possibilità che dalla certezza.

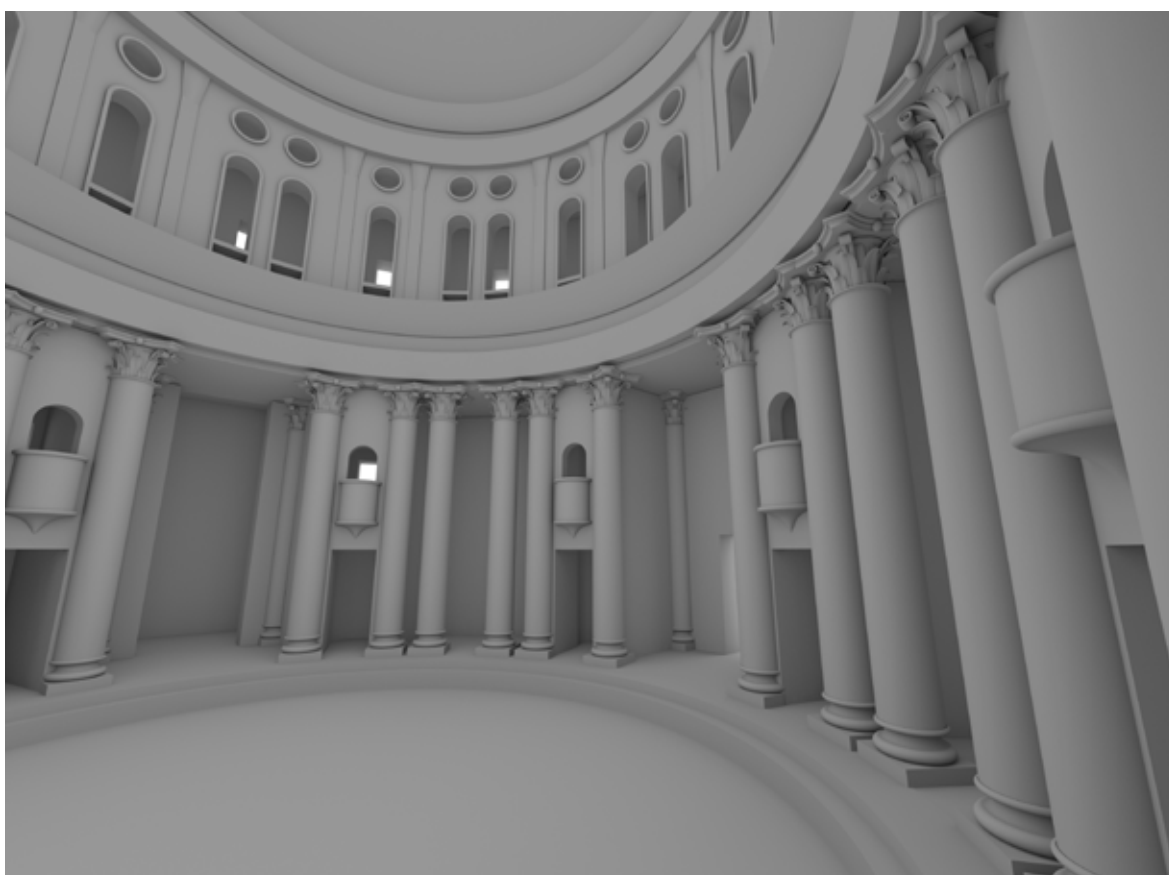


Figura 59: *Stadio iniziale della definizione dell'interno*

Per esempio, confrontando un'immagine dello stadio iniziale con una dello stadio finale del processo, si possono notare le evoluzioni o i cambiamenti di alcuni elementi; ad esempio le colonne che si vedono in figura sono state una delle ipotesi fallite, che sono state migliorate nel corso del tempo.

Questo perché il modello ha permesso di vedere che il fusto, perfettamente cilindrico, portava ad avere situazioni in cui i capitelli si toccavano tra loro



Figura 60: *Stadio finale della definizione dell'interno*

all'interno della rotonda, pertanto questa ipotesi è stata scartata e si è provato a rastremare il fusto della colonna verso l'alto, in modo da non avere intersezioni.

Basi e capitelli non presentavano problemi evidenti ma hanno subito un'evoluzione verso una definizione più specifica in modo da renderli più conformi allo stile del Sangallo, come spiegato nel capitolo 4.1.

Per quanto riguarda invece le trabeazioni, si è scelto di provare a proporre una maggiore definizione della sezione provando ad applicare al disegno semplificato del Sangallo una sezione ricavata analizzando sia il Taccuino Senese che la chiesa di Santa Maria delle Carceri.

In figura vediamo l'evoluzione della trabeazione, la seconda ipotesi è stata scartata perchè troppo sporgente anche secondo la prof.ssa Frommel, quindi la trabeazione è stata ridimensionata cercando di non farla sporgere troppo rispetto alle colonne.

Per quanto riguarda invece la parete del secondo ordine sono stati fatti vari tentativi: inizialmente il decoro disegnato dal Sangallo è stato interpretato come forato e quindi sono state disegnate in questo modo, anche per fare passare un po' di luce proveniente dalle finestre esterne.

In seguito, stavolta su indicazione specifica della prof.ssa Frommel, sono state

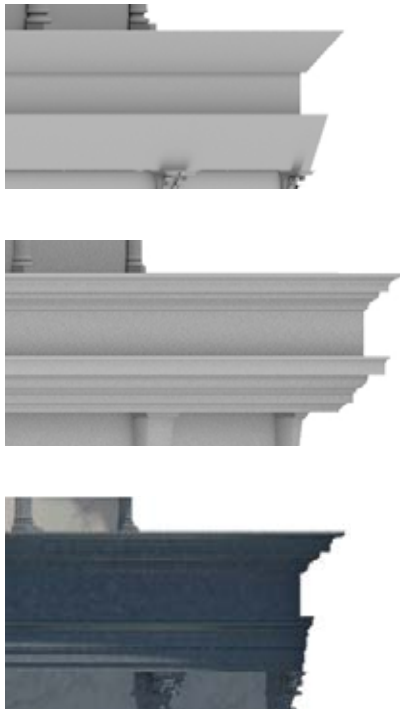


Figura 61: *Evoluzione del profilo della trabeazione*



Figura 62: *Due stadi dell'evoluzione delle nicchie del secondo ordine*

trasformate in nicchie cieche che però sembravano troppo profonde e quindi successivamente sono state ridotte di spessore.

In questo caso la scelta è stata operata seguendo l'indicazione degli storici.

I balconcini che inizialmente erano stati disegnati in corrispondenza di tutti i vani scala, non avendoli ancora analizzati a fondo, in seguito sono stati lasciati solamente in corrispondenza dei vani scala a due rampe.

Tale ipotesi ha prevalso sulla prima opzione perché, avendo il Sangallo disegnato molti vani scala, si è ipotizzato che avessero funzioni diverse. In particolare che solamente le scale a chiocciola raggiungessero la cupola perché più versatili, mentre le scale a due rampe dovevano forse avere una funzione propria che poteva essere quella di accesso ai balconcini dei cantori. Tuttavia non vi è nulla che vieti anche alle scale a chiocciola di dare l'accesso a dei balconcini.

La lanterna inizialmente era stata disegnata seguendo la sezione della Città Ideale, tuttavia, in un secondo momento la prof.ssa Frommel ci ha fornito l'indicazione di seguire l'esempio di Santa Maria delle Carceri, quindi la prima

opzione è stata abbandonata.

Le edicole hanno avuto un processo di definizione abbastanza complesso, descritto nel capitolo ad esse dedicato, il fatto che fossero presenti elementi di questo genere sembra essere supportato dal disegno della pianta del Sangallo e le ipotesi fatte sulla sua morfologia, seguendo le fonti pittoriche, sono state scartate poiché sono sembrate sproporzionate, tuttavia non si esclude, per esempio, che la copertura potesse essere voltata e non a timpano come poi è stato proposto.

Anche l'ipotesi di inclinazione del timpano uguale a quello di Santa Maria delle Carceri è stata scartata perché, andava ad intersecarsi con la finestra del primo ordine.

Sono stati inoltre definiti internamente alcuni elementi decorativi che però non sono del tutto certi, per esempio, le edicole all'interno delle nicchie. Per questo motivo, nel caso delle edicole, sono stati creati render dell'interno del mausoleo sia con che senza le edicole, non avendo certezze sul fatto che l'ipotesi fosse corretta.

5. Produzione del modello digitale

5.1 Ottimizzazione del modello digitale

Una volta ottenuto un modello tridimensionale definitivo si è deciso di testarne le potenzialità analitiche e di visualizzazione.

Per fare questo la prima operazione effettuata è stata l'ottimizzazione del modello in termini di poligoni, assolutamente fondamentale per svolgere le fasi di lavoro più agevolmente e anche per avere tempi di calcolo accettabili durante la fase di rendering.

Verranno quindi di seguito elencate le possibili alternative per effettuare l'ottimizzazione all'interno del software 3D Studio Max Design 2014:

- Utilizzo della procedura "batch pro-optimizer" che opera una decimazione automatica (cioè realizzata dal software) di tutto il modello con percentuali diverse che possono essere definite dall'utente
- Utilizzo del modificatore "optimize" da applicare singolarmente per ogni oggetto costituito da un numero elevato di poligoni, in questo modo si può ottenere una decimazione specifica su ogni elemento
- Semplificazione degli elementi costituiti da un numero elevato di poligoni modellandoli nuovamente utilizzando la tecnica del box-modeling, senza fare uso di modificatori che levigano le superfici ma che incrementano il numero di poligoni come ad esempio Smooth e Turbosmooth.

Nessuna delle procedure è migliore o peggiore, semplicemente esiste quella che è più adatta al caso in esame e permette di ottenere i risultati migliori.

Al fine quindi di scegliere la procedura più corretta, è stato analizzato il modello e tramite la funzione di 3D Studio Max 2014 che permette la visualizzazione del numero di poligoni per elemento, è risultato immediatamente evidente il fatto che gli elementi costituiti dal numero maggiore di poligoni fossero i capitelli, il cui numero all'interno del modello è decisamente elevato, considerando la presenza di 14 colonne, 18 colonne a tre quarti, 22 quarti di colonna e infine 54

semicolonne.

Per questo motivo si è subito esclusa la prima opzione di ottimizzazione poiché avrebbe agito a livello globale su tutto il modello, andando a decimare anche gli elementi che non necessitavano di tale processo.

È stato valutato anche l'utilizzo del modificatore "optimize" che però non ha dato buoni risultati in termini di decimazione e inoltre operava una modifica non corretta dei poligoni costituenti gli elementi geometrici.

La scelta è ricaduta quindi sulla terza alternativa e pertanto si è deciso di modellare nuovamente il capitello con la tecnica del box-modeling cercando di operare una mediazione tra aderenza del modello alla realtà e numero di poligoni, in modo da ottenere un elemento più leggero.

Il box-modeling è una tecnica di modellazione tridimensionale che prevede la realizzazione di un elemento partendo da una forma primitiva iniziale semplice, come per esempio un cubo, un cilindro o una sfera, andando a "sculpirla" letteralmente tramite estrusioni e modifiche alla posizione di vertici, spigoli e facce fino al raggiungimento del risultato desiderato.

Questa operazione inoltre ha permesso di realizzare un'analisi più dettagliata sul capitello, che il Sangallo ha solamente abbozzato nella sua sezione.

Egli realizza e disegna capitelli corinzi anche molto diversi tra loro, per il Mausoleo si è scelto di seguire il modello fornito dall'edicola dell'altare presente in Santa Maria delle Carceri.

Una volta modellati i nuovi capitelli, il calo di numero di poligoni è stato evidente poiché da un modello di circa 17 milioni di poligoni si è passati ad uno di circa 8 milioni, ciò ha permesso una gestione decisamente più agevole nelle fasi successive.

5.2 Ipotesi di utilizzo dei materiali

5.2.1 Analisi delle fonti

Una volta ottimizzato il modello è stata fatta un'ipotesi sui materiali che il Sangallo avrebbe potuto utilizzare per realizzare il Mausoleo.

I disegni realizzati dall'architetto non ci danno alcun aiuto in merito poiché, come già detto più volte, sono relativi ad una fase piuttosto embrionale del progetto, nella quale certamente non erano ancora stati scelti i materiali.

Le ipotesi di applicazione dei materiali che verranno proposte in questo capitolo, come è avvenuto in altri casi per la modellazione degli elementi, si basano su un'analisi delle fonti pittoriche e dei progetti realizzati dal Sangallo.

Alcune considerazioni hanno portato a scegliere il marmo come materiale per i principali elementi costitutivi del Mausoleo e anche per i rivestimenti:

- I dipinti della Città Ideale di Urbino e nella Consegna delle Chiavi del Perugino mostrano due mausolei che sembrano essere realizzati in marmo;
- Il Sangallo stesso utilizza spesso il marmo negli edifici da lui progettati: ad esempio in Santa Maria delle Carceri utilizza un marmo bianco Albarese e uno verde di Prato; in Santa Maria dell'Umiltà e nella Cappella Gondi in Santa Maria Novella utilizza un marmo rosso di Monterantoli che richiama i marmi rossi del Pantheon;
- Essendo il mausoleo destinato ad ospitare le spoglie di un papa ed dovendo essere collocato presumibilmente vicino alla Chiesa di San Pietro in Vaticano, si può ipotizzare che se fosse stato scelto il progetto del Sangallo, probabilmente sarebbe stato utilizzato un materiale nobile per realizzarlo e il marmo era considerato tale;
- Nel disegno realizzato dal Sangallo si ritrovano numerosi richiami al Pantheon, edificio caratterizzato da un ampio uso dei marmi dai diversi colori.

Una volta scelto il marmo come materiale principale, si è deciso di realizzare due ipotesi sulle possibili cromie che il Sangallo avrebbe potuto utilizzare per il Mausoleo di Giulio II.

Osservando sia Santa Maria delle Carceri che Santa Maria dell'Umiltà si nota

come internamente il Sangallo utilizzi un materiale di colore chiaro per le pareti (che in questi due casi sono intonacate) e uno più scuro per far risaltare paraste e trabeazioni, tale bicromia si ritrova anche nella *Città Ideale* e nella *Consegna delle Chiavi*, con la differenza che sono invece colonne e trabeazioni ad essere realizzate con materiali di colore diverso.

Per la prima ipotesi si è scelto dunque di proporre tale bicromia seguendo l'esempio dei progetti realizzati dal Sangallo poiché più attendibili rispetto ai dipinti (vedi capitolo 6) scegliendo un marmo bianco chiaro per le pareti ed uno più scuro di colore grigio per colonne, paraste, nicchie, decori e trabeazioni.

Inoltre si è scelto di proporre un'ulteriore ipotesi perché tutte le principali fonti, Santa Maria delle Carceri, Santa Maria dell'Umiltà, il Pantheon, la *Città Ideale* e la *Consegna delle Chiavi*, testimoniano una fascia centrale della trabeazione decorata o realizzata con un materiale di colore diverso rispetto al resto della trabeazione.

Si è deciso quindi di proporre un'alternativa in cui la fascia centrale della trabeazione è stata realizzata con un marmo rosso. È stata fatta questa scelta sia perché il rosso è presente nella trabeazione esterna della *Città Ideale* e in quella interna del Pantheon, edificio realizzato in ambito romano, sia perché questo colore era già stato utilizzato dallo stesso Sangallo nella Chiesa di Santa Maria dell'Umiltà.

Inoltre l'utilizzo del marmo rosso si ritrova anche nella Cappella Gondi all'interno della Chiesa di Santa Maria Novella dove viene utilizzato per il rivestimento delle nicchie a conchiglia, elementi decorativi presenti anche all'interno del progetto per il Mausoleo di Giulio II.

È doveroso inoltre un appunto sui pavimenti. In entrambe le ipotesi sono stati realizzati con un marmo chiaro, tuttavia analizzando le fonti (Santa Maria delle Carceri, Santa Maria dell'Umiltà e il Pantheon) è probabile che il Sangallo avrebbe previsto un disegno geometrico per il pavimento del Mausoleo, realizzato comunque in marmo. Tuttavia non avendo alcun documento sul quale basarsi per realizzare un'ipotesi del disegno previsto si è preferito lasciare un marmo di colore neutro sul pavimento, esplicitando in questo capitolo le ipotesi fatte.



Figura 63: Giuliano da Sangallo, interno della chiesa di Santa Maria dell'Umiltà, Pistoia [16]



Figura 64: Giuliano da Sangallo, particolare della trabeazione della Chiesa di Santa Maria dell'Umiltà, Pistoia [6]



Figura 65: Giuliano da Sangallo, Cappella Gondi, Chiesa di Santa Maria Novella, Firenze, [6]

5.2.2 Applicazione dei materiali e rendering

Una volta scelte le cromie da utilizzare è stato necessario realizzare le textures da applicare al modello tridimensionale. Per fare questo è stato consultato il sito <http://www.textures.com/> che mette a disposizione degli utenti immagini gratuite ad alta risoluzione di diversi materiali, utilizzabili in computer grafica.

Una volta effettuato il download delle immagini ad alta risoluzione dei materiali che erano necessari, esse sono state modificate e corrette con il software Adobe Photoshop per creare delle mappe da poter applicare al modello tridimensionale.

Prima di tutto l'immagine è stata ridimensionata a 1024x1024 px, poi, per regolare la continuità di mappatura, è stato applicato ricorsivamente il filtro "sposta" utilizzando di volta in volta gli strumenti di ritocco "toppa" e "pennello correttivo" per ottimizzare le giunzioni ove necessario.

Una volta ottenuto un risultato soddisfacente la texture è stata salvata nel formato JPEG alla massima qualità.

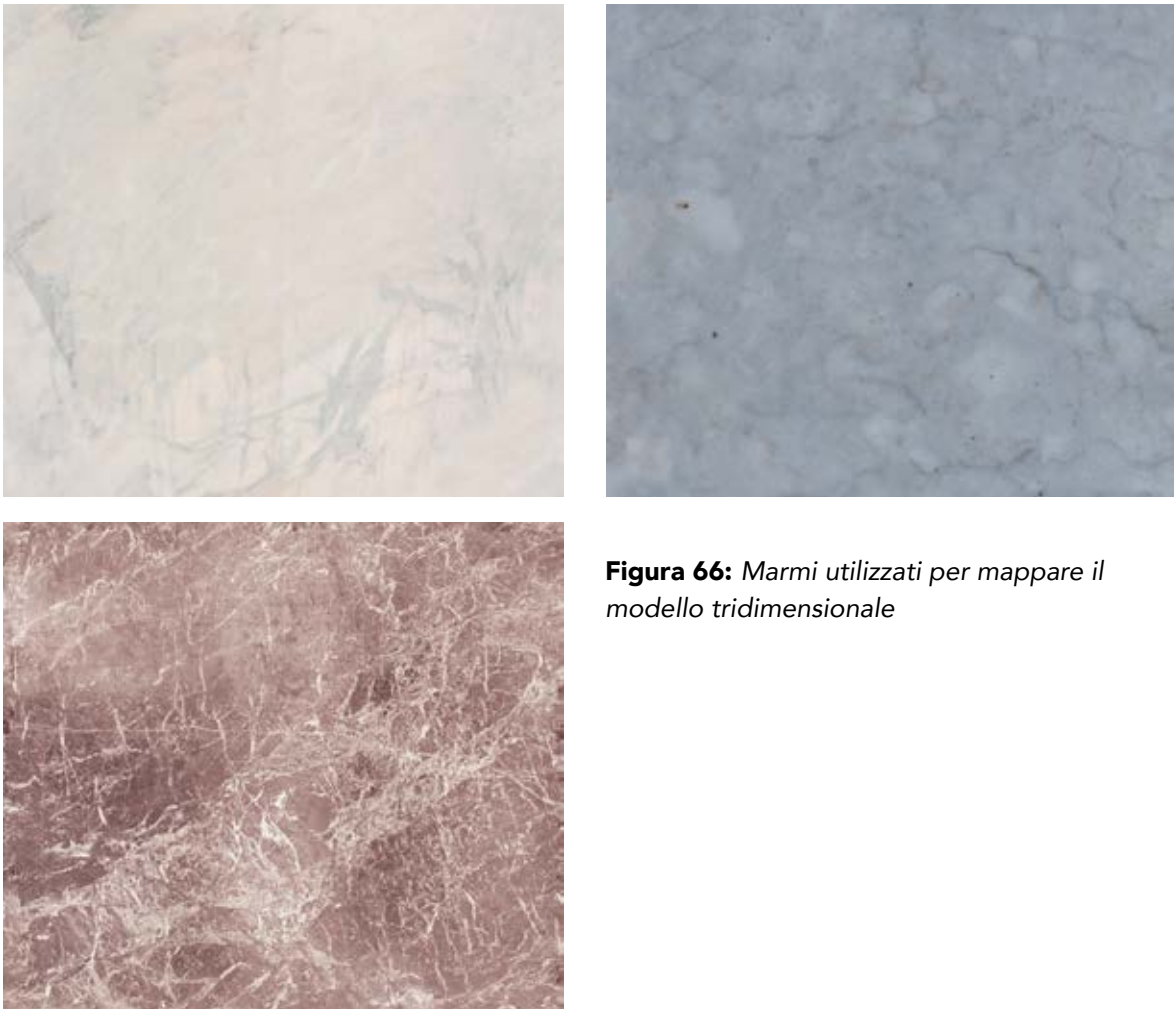


Figura 66: *Marmi utilizzati per mappare il modello tridimensionale*

All'interno del file di 3D Studio Max 2014 contenente il modello tridimensionale sono stati creati tutti i materiali da applicare agli elementi costituenti il mausoleo, caricando nel caso dei marmi, le textures realizzate. Il software consente di creare diversi tipi di materiali, si è scelto di utilizzare quelli di tipo Arch & Design perché permettono di gestire con effetti realistici gran parte dei materiali utilizzati nel rendering architettonico e di product-design e perché sono supportati dal motore di rendering scelto per realizzare le immagini finali del modello: mental ray.

Per ogni materiale sono stati regolati i relativi parametri di riflessione diffusa, riflessione e rifrazione; l'indice di riflessione tipico del materiale e la funzione di riflettanza bidirezionale (BRDF).

Prima di applicare questi materiali al modello tuttavia è stato necessario effettuare alcune operazioni:

- è stato controllato l'orientamento delle superfici degli elementi secondo il principio che tutte le facce esposte alla luce devono avere normale positiva, in caso contrario non vengono renderizzate correttamente. Per fare questo è stata abilitata la modalità di visualizzazione "Xview face orientation" e, quando necessario, sono state riorientate le normali con il comando "flip".
- è stato effettuato un controllo sulla smussatura degli elementi assegnando uno specifico smoothing group a gruppi di poligoni limitrofi attraverso il comando "autosmooth".
- è stato necessario definire per ogni elemento le coordinate di mappatura applicando il modificatore UVW map e controllandone i parametri modificando i valori o utilizzando il gizmo in maniera interattiva, così da definire la scala corretta di applicazione del materiale per ogni elemento.

Infine i materiali sono stati applicati al modello ed è stato creato un sistema realistico di illuminazione con luce naturale che si basa sull'utilizzo di una sorgente di illuminazione naturale diretta mr (mental ray) sun ed una sorgente di illuminazione naturale indiretta, mr (mental ray) sky.

La posizione del sole può essere indicata sia manualmente che in termini di latitudine e longitudine utilizzando dei weather data file.

In questo modo è stato possibile posizionare virtualmente il Mausoleo a Roma

e settare la data in cui calcolare l'illuminazione, in particolare l'anno più indietro nel tempo che il software permette di inserire è il 1583, non troppo lontano dal 1505, anno in cui il papa Giulio II commissionò il progetto per il suo monumento funebre.

È stato anche necessario regolare l'esposizione dal pannello "exposure control" che permette di effettuare una preview del render di mental ray sulla base della quale è possibile modificare il valore di esposizione anche secondo parametri fotografici.

Sono stati realizzati sia render esterni che interni del Mausoleo, per ottenere questi ultimi è stato necessario l'utilizzo dei mr (mental ray) sky portals che costituiscono un metodo efficace per portare più luce all'interno di un ambiente, sfruttando però l'illuminazione esterna già esistente.

I mr sky portals infatti sono dei veri e propri oggetti in 3D Studio che sono stati posizionati in corrispondenza delle aperture (porte, finestre e oculo della cupola) e di grandezza pari ad esse, che aumentano il quantitativo di luce in ingresso il quale può essere regolato tramite il parametro "multiplier".

L'utilizzo dei mr sky portals è stato necessario poiché è stata riscontrata una forte carenza di luce all'interno del Mausoleo, motivo per il quale sono state aggiunte, in fase di modellazione, le finestre alla base della cupola. Tuttavia questo accorgimento non è stato sufficiente per illuminare il Mausoleo poiché, soprattutto ai livelli inferiori, non si trovano finestre che portino luce all'interno della rotonda. Per questo motivo, per ottenere render che mostrassero i materiali applicati internamente è stato necessario l'utilizzo dei mr sky portals.

A livello progettuale tuttavia il problema dell'illuminazione interna rimane e per questo motivo si è deciso di fare un'analisi più approfondita dell'illuminazione con luce naturale all'interno del mausoleo nel prossimo capitolo.

All'inizio di questo capitolo si è parlato di due possibili alternative cromatiche realizzate per il Mausoleo, operativamente si può dire che sono stati creati due modelli separati per ogni alternativa cromatica proposta e, per ognuno, sono stati realizzati render statici della stessa vista da poter comparare ma anche foto sferiche da poter visualizzare tramite applicazioni scaricabili gratuitamente non solo su computer ma anche su cellulare e tablet.

Sono state anche fatte prove utilizzando un visore per la realtà virtuale Oculus Rift che permette di visualizzare la foto sferica del Mausoleo in maniera immersiva. Questa tecnologia consente, indossando gli appositi occhiali, di visualizzare in maniera statica la foto sferica realizzata da un punto di vista specifico impostato tramite una camera su 3D Studio Max. Anche se non è possibile muoversi fisicamente dove si vuole all'interno del modello, sicuramente poter vedere l'edificio dall'interno a 360°, permette un'ampia possibilità comunicativa delle caratteristiche di un determinato spazio che può essere immediatamente compreso in maniera trasversale, a partire dai tecnici fino ad arrivare ad un pubblico meno esperto.



Figura 67: Vista dell'interno del mausoleo con applicazione dell'ipotesi di marmo bianco e grigio, senza le edicole all'interno delle nicchie



Figura 68: Vista delle paraste del secondo ordine con applicazione dell'ipotesi del marmo bianco e grigio



Figura 69: Vista dell'interno del mausoleo con applicazione dell'ipotesi del marmo rosso nella fascia centrale della trabeazione



Figura 70: Vista prospettica dell'esterno del mausoleo con applicazione dell'ipotesi di marmi bianchi e grigi



Figura 71: Vista prospettica dell'esterno del mausoleo con applicazione dell'ipotesi del marmo rosso nella fascia centrale della trabeazione



Figura 72: *Foto sferica del mausoleo*

5.3 Analisi dell'illuminamento naturale

Come già più volte riscontrato nei capitoli precedenti di questa tesi, l'ingresso della luce all'interno del Mausoleo è decisamente scarso a causa della quasi totale assenza di aperture che illuminino direttamente l'interno della rotonda. Per questo motivo, una volta realizzato il modello, si è pensato potesse essere utile operare valutazioni relative alla distribuzione quantitativa dell'illuminazione all'interno del Mausoleo.

Per fare questo è stato impiegato lo strumento di lighting analysis presente all'interno del software di modellazione utilizzato, che permette di misurare la distribuzione della luce all'interno di un ambiente.

Tale strumento è presente solamente nella versione Design di 3D Studio Max e richiede l'utilizzo di mental ray, per questo motivo i materiali devono essere di tipo Arch & Design con caratteristiche fisicamente corrette, poiché sono quelli supportati dal motore di rendering utilizzato.

Tramite lo strumento di lighting analysis è possibile calcolare due grandezze fotometriche: la luminanza e l'illuminamento.

Le grandezze fotometriche quantificano l'emissione luminosa in termini della risposta del sistema visivo umano, sono pertanto quantità soggettive che dipendono dalle caratteristiche dell'osservatore, quindi per misurarle si fa riferimento ad un osservatore standard.

La luminanza è definita come il rapporto tra l'intensità luminosa emessa da una sorgente nella direzione dell'osservatore e l'area apparente della superficie emittente, così come vista dall'osservatore.

L'intensità luminosa, che è il flusso luminoso emesso da una sorgente puntiforme in una direzione specifica nell'angolo solido unitario, si misura in candele, pertanto l'unità di misura della luminanza è la candela al metro quadro (cd/m^2).

La luminanza è una grandezza che dipende dal punto di vista dell'osservatore, al contrario, l'illuminamento è indipendente dalla posizione dell'osservatore.

Quest'ultimo infatti è definito come il rapporto tra il flusso luminoso (misurato in lumen) emesso da una sorgente e la superficie dell'oggetto illuminato¹⁸. È quindi una grandezza riferita all'oggetto e non alla sorgente, indipendente dalla

posizione dell'osservatore. L'illuminamento è massimo quando la superficie è disposta perpendicolarmente ai raggi luminosi e diventa nullo quando i raggi sono paralleli alla superficie. L'unità di misura dell'illuminamento è il lux (lumen/m²).

Il software 3D Studio permette, tramite l'utilizzo del motore di rendering mental ray, di realizzare dei render analitici che attraverso una scala colorimetrica visualizzano i valori di luminanza o d'illuminamento direttamente sulla scena renderizzata.

Lo strumento che all'interno del software permette di fare questo è il Lighting Analysis Assistant. Esso si trova nel menu principale a tendina e al suo interno vi sono diverse sezioni che permettono sia di gestire le immagini in output che controllare che tutti gli oggetti e le impostazioni della scena siano corretti per eseguire l'analisi luminosa.

Il pannello Lighting Analysis Assistant costituisce quindi una sorta di workflow per l'utente che consente di realizzare passo per passo l'analisi illuminotecnica in maniera corretta.

In particolare esso è composto da 4 sezioni: general, lighting, materials e analysis output.

Nel pannello general vengono elencate le impostazioni di rendering necessarie per ottenere una corretta analisi illuminotecnica e nella parte inferiore di questa sezione è posizionata una scala graduata in falsi colori dal blu al rosso e i campi di valori minimo e massimo in lux (nel caso in cui volessimo ottenere valori di illuminamento) per determinare il range di analisi, in base ai dati della condizione luminosa in esame, e la possibilità di optare per un scala lineare o logaritmica.

Nella seconda sezione "Lighting", vengono analizzate le fonti luminose presenti in scena, sia naturali come il sole e il cielo fisico, che artificiali.

L'unica fonte di illuminazione presente all'interno della scena del mausoleo è il sole, pertanto è stato utilizzato un Daylight System che contiene al suo interno due fonti luminose: mrSun e mrSky.

Per quanto riguarda il sole viene indicata la posizione geografica, la data e l'ora in cui si calcola la condizione di luce naturale. È stato possibile quindi impostare

come posizione Roma e la data scelta per il calcolo è il solstizio d'estate del 1583, l'anno più remoto che il software permette di inserire, in ogni caso non molto lontano dal 1505, anno in cui il progetto per il Mausoleo fu commissionato.

Il modello di cielo scelto invece è il Perez All- Weather.

3D Studio Max permette di scegliere tra tre modelli di cielo diversi: Haze-Driven, Perez All-Weather, and CIE; il sito della Autodesk consiglia di utilizzare per le analisi illuminotecniche uno tra gli ultimi due.

Il modello CIE (Commissione Internazionale dell'Illuminazione), permette di scegliere tra l'opzione di cielo coperto e cielo sereno ed è controllato da due valori numerici di illuminamento che possono essere modificati manualmente:

- L'illuminamento diffuso orizzontale che rappresenta l'illuminamento del cielo misurato con un luminanzometro posizionato all'esterno in posizione orizzontale, escludendo il contributo del sole.

Questo valore equivale all'intensità della luce distribuita sull'orizzonte, senza prendere in considerazione la luce del sole diretta, a seconda della localizzazione geografica del modello; l'intensità della luce cresce man mano che ci si avvicina all'equatore .

- L'illuminamento diretto normale che è l'illuminamento del sole misurato da un luminanzometro puntato direttamente verso il sole.

Utilizzando questo modello, la scelta del tipo di cielo (coperto o sereno) è arbitraria ed è necessario inserire i valori di illuminamento diffuso e di illuminamento diretto specifici in base alla localizzazione geografica del modello, dati che potrebbero non essere noti.

Per questo motivo una soluzione migliore è quella di utilizzare un file contenente le caratteristiche meteorologiche del luogo, basato su osservazioni reali. Essendo quindi disponibili i dati per la città di Roma¹⁹, si è scelto di utilizzare il modello di cielo Perez All-Weather e di caricare il file epw all'interno del daylight system.

In questo modo non è stato necessario settare i valori di cielo sereno o coperto, né i valori di illuminamento.

Nella terza sezione "Materials" vengono indicati quali e quanti materiali non sono conformi all'analisi illuminotecnica, ovvero tutti i materiali che non sono del tipo

Arch & Design, compatibili con Mental Ray e considerati fisicamente corretti. Se sono presenti è possibile selezionare gli oggetti non conformi e modificarli.

L'ultima sezione denominata "Analysis Output" , racchiude tutte le impostazioni e le informazioni utili per generare il materiale di output per una analisi quantitativa di una determinata condizione luminosa.

È possibile sia creare un "Light Meter" , cioè un piano che può essere posizionato a qualunque quota nel modello, sul quale verranno calcolati i valori di illuminamento o di luminanza oppure utilizzare l'immagine overlay per calcolare tali valori in tre dimensioni su tutta la vista, ottenendo un render con i dati sovrascritti.

Questi ultimi sono anche esportabili in excel tramite un file CSV.

Per il Mausoleo si è scelto di calcolare le grandezze fotometriche su tutta l'immagine e non solamente su un piano utilizzando la tecnica dell'immagine overlay, che è stata applicata ad un render a falsi colori realizzato tramite lo "Pseudo Colour Exposure Control" presente all'interno del pannello Environment and Effects". Qui è possibile scegliere il tipo di valori da visualizzare (luminanza o illuminamento), i valori di massimo e di minimo della scala e generare una preview.

In questo modo i valori numerici ottenuti sono stati anche visualizzati direttamente sul render in modo da rendere più comprensibile la distribuzione della luce all'interno del Mausoleo.

Le immagini così ottenute analizzano due condizioni di luce diverse: ore 12:00 e ore 17:00.

I risultati mostrano come i valori di illuminamento e di luminanza all'interno del Mausoleo siano decisamente bassi, infatti operando un confronto con la norma UNI-EN12464 che riguarda l'illuminazione dei posti di lavoro, il valore medio, ad esempio, di illuminamento degli spazi comuni pubblici è di 100 lux; per il Mausoleo molto spesso il valore è decisamente minore di 50 lux.

Tutto ciò sembra confermare il fatto che il disegno del Sangallo fosse effettivamente un progetto per un Mausoleo.

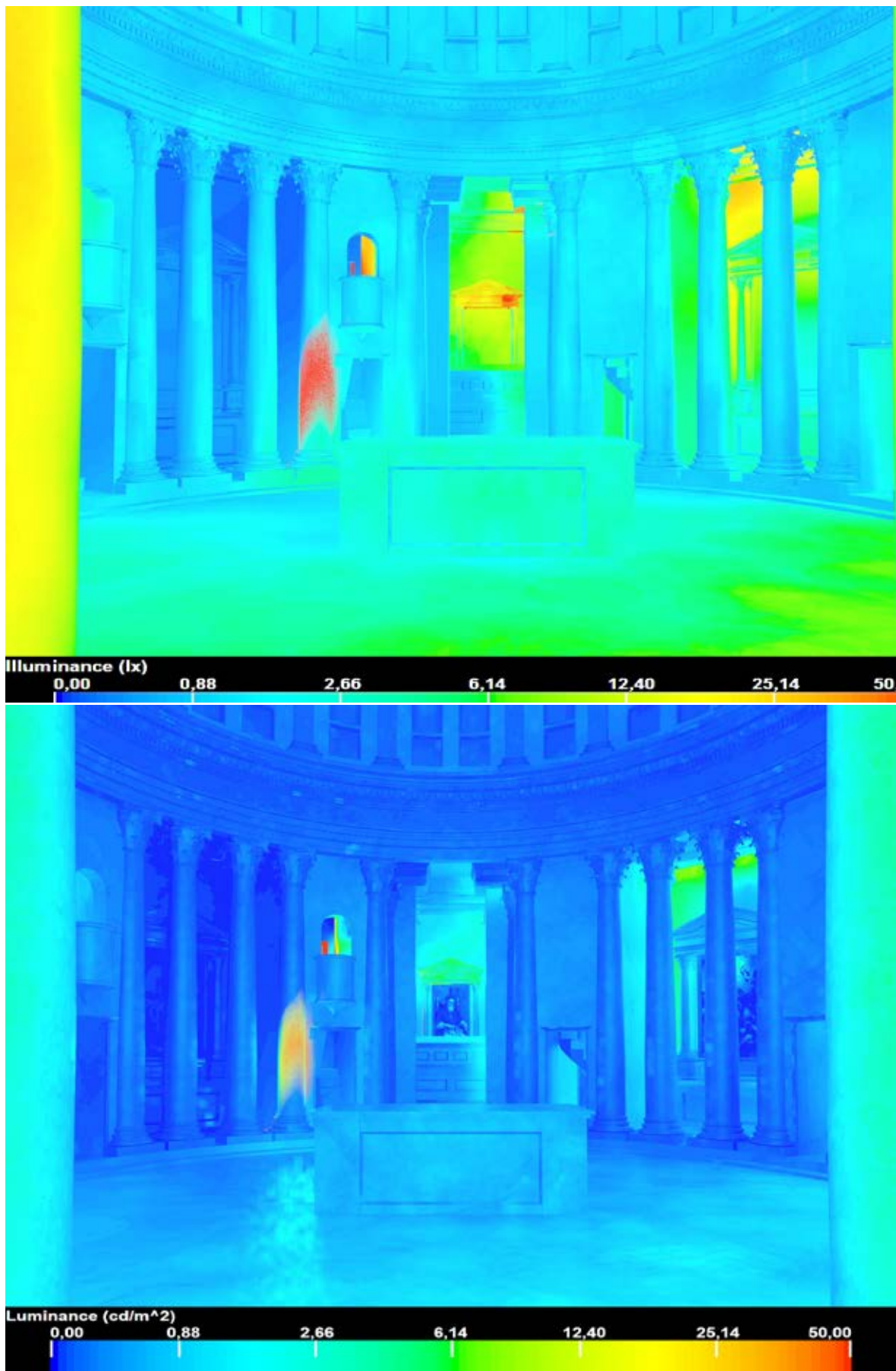


Figura 73: *Illuminanza e illuminamento alle ore 12:00*

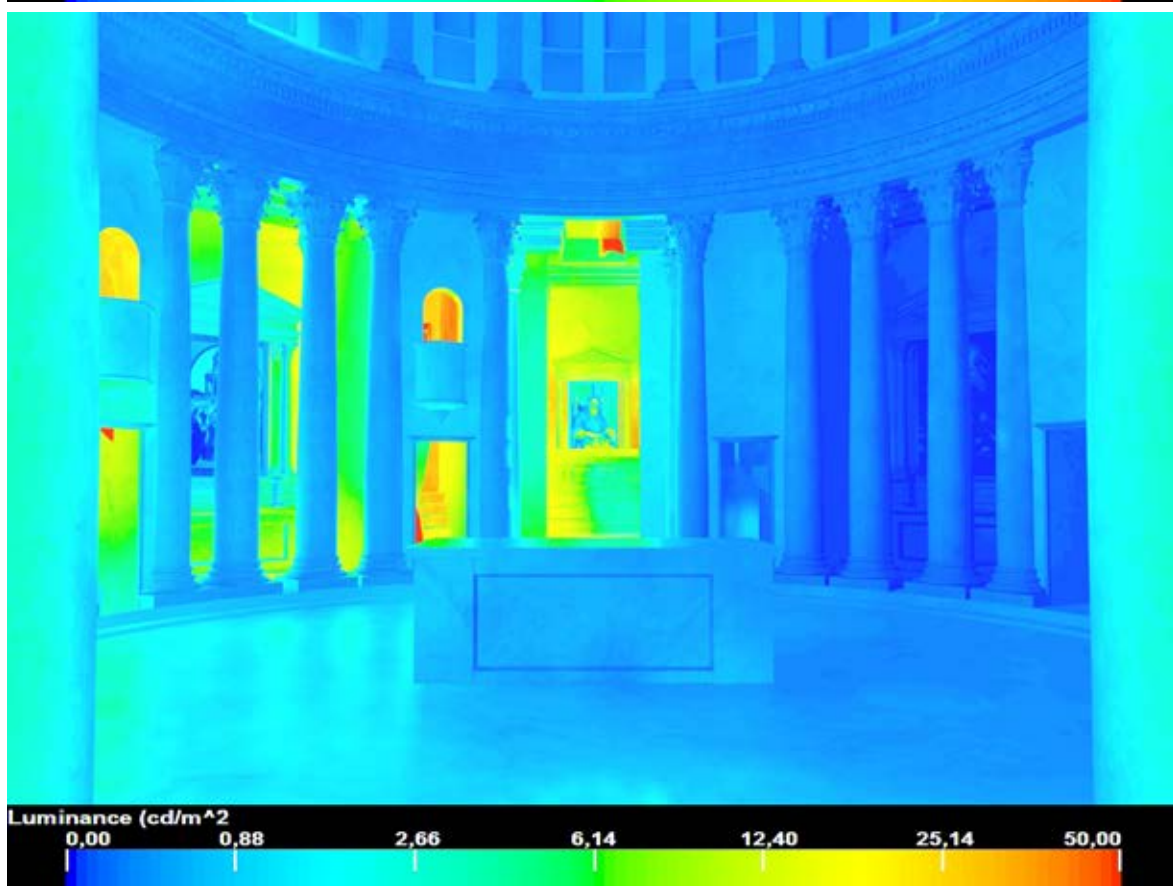
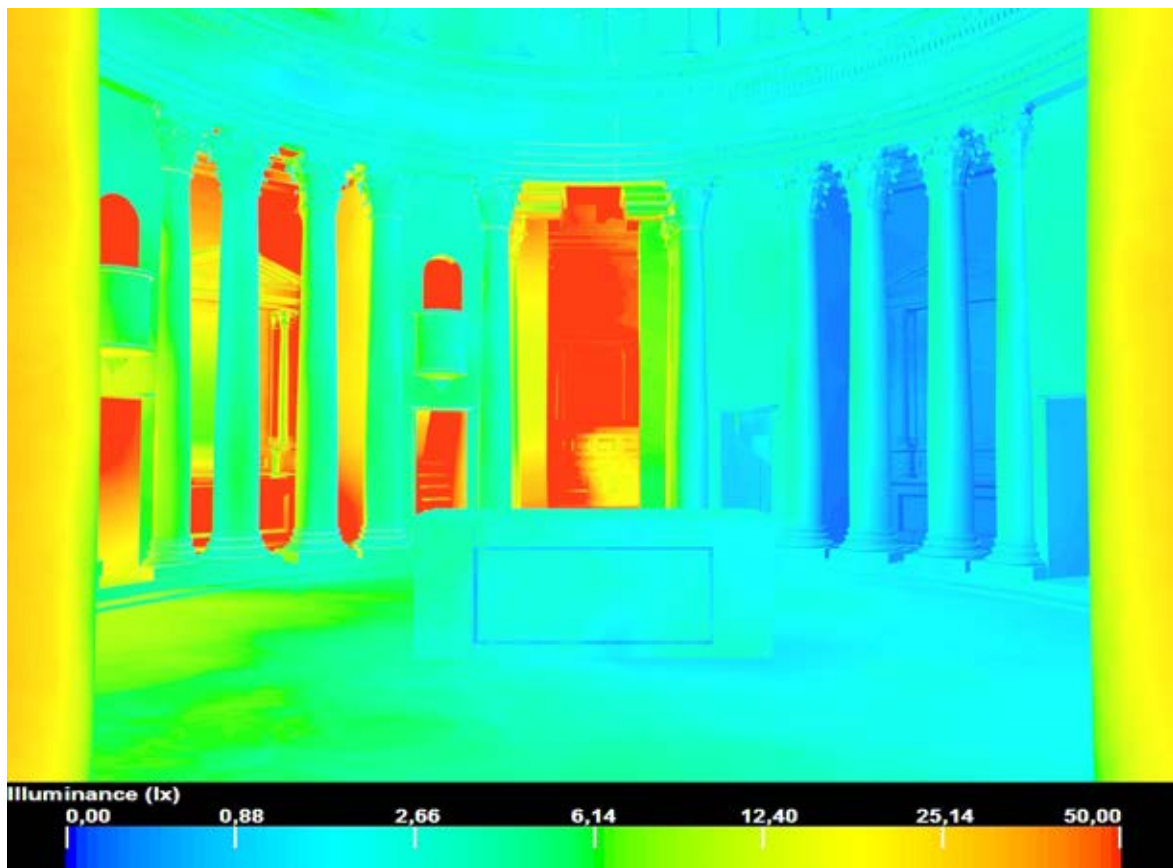


Figura 74: *Illuminanza e illuminamento alle ore 17:00*

5.4 Prototipazione

Durante la fase di realizzazione del modello tridimensionale sono stati presi in considerazione alcuni aspetti che permettessero poi di ottenere un oggetto che non fosse solamente adatto ad una visualizzazione tramite rendering ma che potesse anche essere stampato fisicamente in tre dimensioni.

Per questo motivo durante la modellazione del Mausoleo si è posta particolare attenzione al fatto che tutti gli elementi costitutivi fossero solidi chiusi così che non generassero problemi in fase di stampa.

In generale, modellare pensando alla visualizzazione e modellare per realizzare prototipi è profondamente diverso: questo perché spesso gli oggetti realizzati solamente per la visualizzazione potrebbero risultare fragili in fase di stampa.

Ad esempio, volendo stampare una colonna, è necessario stare molto attenti al capitello, le cui foglie e volute non devono allontanarsi troppo dal corpo centrale perché altrimenti potrebbero staccarsi.

Nel caso del Mausoleo si è cercato quindi di rendere il più possibile il modello adatto anche alla stampa, oltre che alla visualizzazione, elemento che nel caso di reale esistenza del manufatto sarebbe potuto essere utile in caso di necessità di replicazione di alcune parti perché danneggiate o perdute.

Una volta ultimato il modello state fatte quindi alcune prove esportando due file stl contenenti una colonna e anche una porzione della rotonda comprendente l'edicola di ingresso.

La colonna è stata suddivisa in più pezzi, che poi sono stati stampati in scala 1:20 utilizzando una stampante FDM che lavora su un principio additivo, rilasciando il materiale su strati. Un filamento plastico o un filo metallico viene srotolato da una bobina, che fornisce il materiale ad un ugello di estrusione, con il quale è possibile gestire il flusso. L'ugello è riscaldato per poter sciogliere il materiale e può essere guidato sia in direzione orizzontale che verticale da un meccanismo di controllo numerico, cioè seguendo un percorso tracciato da un software CAM (computer-aided manufacturing)²⁰. Una volta ottenuti i pezzi essi sono stati assemblati.

Per quanto riguarda la porzione più grande invece, si è deciso di stamparla in

scala 1:100 utilizzando una stampante a polvere.

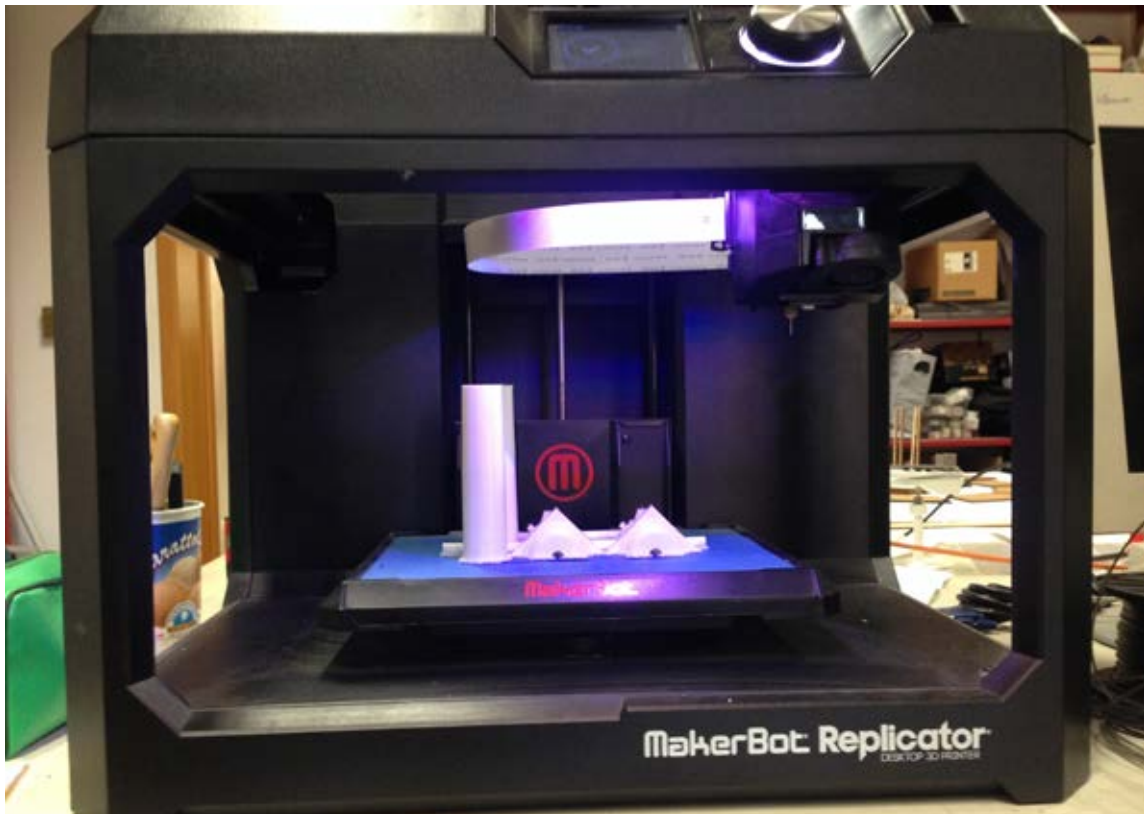


Figura 75: *Pezzi della colonna all'interno della stampante FDM*

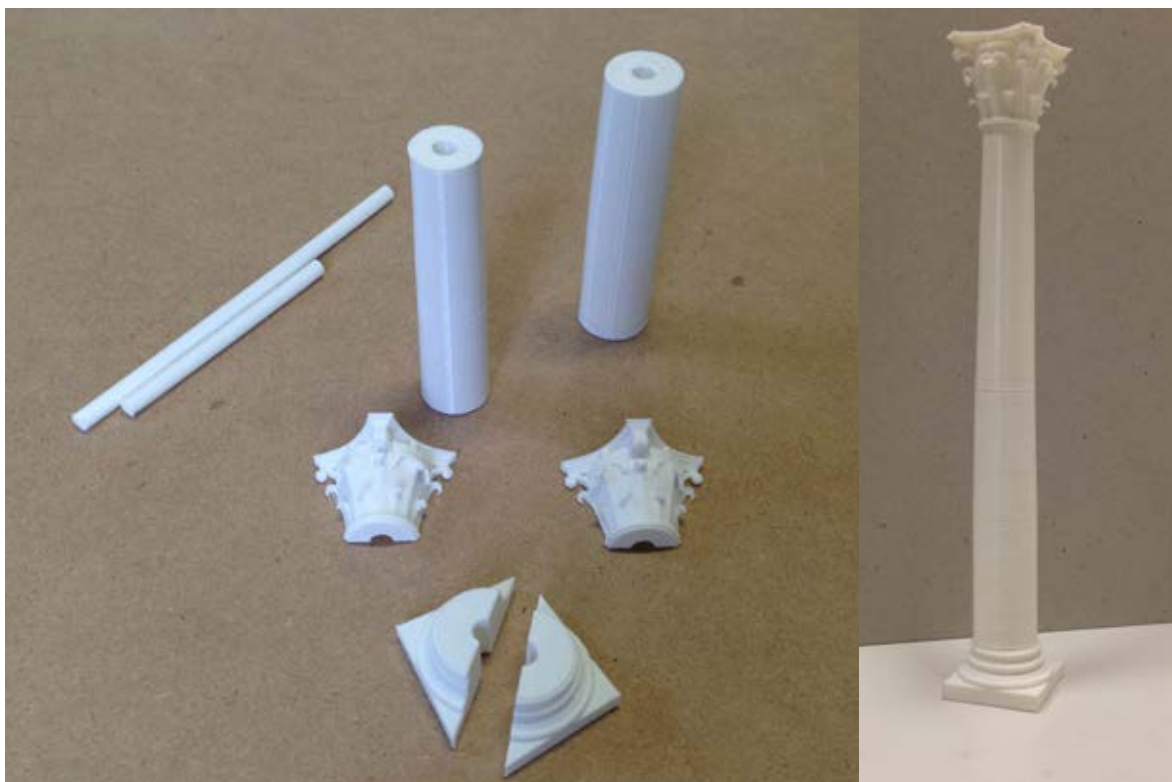


Figura 76: *A sinistra, componenti della colonna da assemblare, a destra colonna assemblata*

6 Attendibilità delle fonti

Il percorso ricostruttivo intrapreso ha mostrato come le scelte operate nella definizione del modello finale siano state effettuate considerando soltanto inizialmente i disegni dell'autore che, essendo in molte parti lacunosi, hanno fatto sì che venissero prese in considerazione molte altre fonti con l'obiettivo di colmare tali lacune e, nei casi in cui nemmeno queste erano sufficienti, è stato dato spazio all'interpretazione, formulando ipotesi ricostruttive che risultassero valide dal punto di vista tecnico e progettuale.

In generale quindi un processo di ricostruzione è abbastanza complesso, essenzialmente esso è composto da decisioni basate su varie supposizioni che potrebbero essere ovvie per chi ha curato scientificamente il processo di ricostruzione ma non per il pubblico, l'utilizzatore finale o coloro i quali potrebbero consultare il progetto in un secondo momento.

Questa soggettività, se non dichiarata, compromette la validità di un'intera ricostruzione virtuale.

Per validare quindi l'intero processo di ricostruzione digitale, per facilitare lo scambio e il riutilizzo delle informazioni acquisite e la collaborazione tra esperti in varie discipline, migliorando la comprensione di un processo di acquisizione delle informazioni e delle congetture derivanti complesso e discontinuo, è necessario che i modelli tridimensionali relativi al patrimonio architettonico/archeologico illustrino le soluzioni adottate per presentare le incertezze e le mancanze di informazione.

Negli ultimi anni, parecchi progetti di ricostruzione digitale hanno cercato di risolvere il problema di mostrare non solo l'intero processo interpretativo ma anche l'attendibilità dei componenti del progetto, proponendo diverse soluzioni basate principalmente su modi di condividere le mancanze con i ricercatori e con il pubblico.

In generale, il risultato di un processo ricostruttivo riguarda la definizione di tre aree, intimamente collegate l'una all'altra, che concorrono a definire il manufatto digitale oggetto di studio:

- Forma (geometria, grandezza, posizione nello spazio)

- Materiale (caratteristiche fisiche, stratificazione dell'edificio/sistema costruttivo)
- Aspetto esteriore (caratteristiche superficiali)²

Per quanto riguarda il Mausoleo il processo si è concentrato soprattutto sulla forma, sono state fatte alcune ipotesi riguardo l'aspetto esteriore mentre non sono stati indagati i materiali costruttivi.

Per questo motivo si è scelto di concentrare l'analisi dell'attendibilità delle fonti solamente sulla parte geometrica.

Tra tutti i metodi utilizzati e proposti per rappresentare l'ambiguità, l'affidabilità o l'incertezza nelle ricostruzioni tridimensionali, l'uso del colore è senza dubbio il metodo più efficace e chiaro perché permette di comprendere, in maniera chiara e secondo codici semantici ampiamente condivisi, il grado di incertezza che circonda l'ipotetica ricostruzione di ogni elemento di un manufatto².

È stata quindi definita una classificazione delle diverse tipologie di fonti, caratterizzata da un crescente livello di incertezza, all'interno della quale sono state posizionate le fonti utilizzate nella ricostruzione del Mausoleo a seconda della loro maggiore o minore attendibilità:

1. Disegni originali dell'architetto (*Codice Barberiniano*)
2. Schizzi realizzati dall'architetto (*Taccuino Senese*)
3. Progetti coevi realizzati dallo stesso autore (Santa Maria delle Carceri, Santa Maria dell'Umiltà, Cappella Gondi...)
4. Dipinti coevi raffiguranti la stessa tipologia di manufatto (*Città Ideale, Consegna delle Chiavi*)
5. Edifici tipologicamente affini (Mausoleo di Santa Costanza, Pantheon)
6. Trattati architettonici (*De Architectura* dell'Alberti, Vignola)
7. Stile architettonico
8. Congetture

Questa classificazione è stata adattata in maniera specifica sul caso del Mausoleo, infatti nel caso in cui il manufatto fosse stato costruito, anche solo in parte, la prima categoria, cioè la più attendibile, sarebbe stata quella delle testimonianze

architettoniche o archeologiche reali; nel caso del Mausoleo invece, la prima categoria si riferisce ai disegni realizzati dallo stesso Sangallo.

L'ultima categoria invece si riferisce a un tipo di ricostruzione ipotetica, dovuta alla mancanza di qualsiasi fonte documentale o riferimento, realizzata utilizzando il "buonsenso scientifico" di chi opera la ricostruzione, basato conoscenza acquisita o, quando necessario, sull'immaginazione².

Ad ogni categoria è stato poi associato un codice corrispondente ad un colore nello spazio RGB, in modo da definire univocamente i diversi gradi di incertezza ed ogni elemento del modello ricostruito è stato associato, tramite il colore, al suo corrispondente grado di attendibilità.

In questo modo è possibile valutare visivamente il vero livello di conoscenza collegato al processo ricostruttivo, andando a sottolineare, piuttosto che nascondere, ciò che non si conosce².

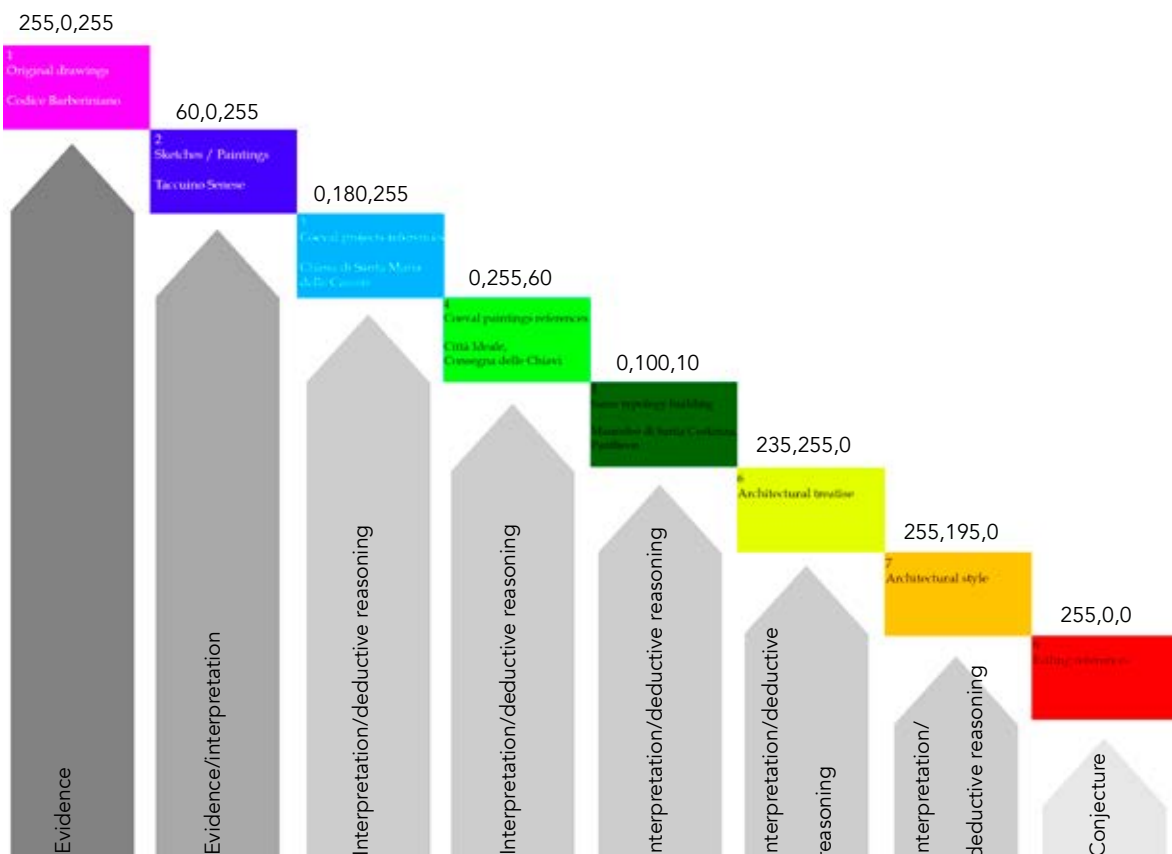


Figura 77: Scala colorimetrica di attendibilità con i valori espressi in RGB

Nel caso del Mausoleo si è deciso di applicare la scala colorimetrica sia al modello finale, sia ad un modello ricostruttivo relativo ad uno stadio iniziale del processo, basato ancora in larga parte sui disegni originali del Sangallo.

Le immagini mostrano chiaramente che il modello iniziale ha un'attendibilità decisamente maggiore rispetto al modello finale, ma anche un livello di dettaglio nettamente inferiore. Questo significa che per avere un modello più dettagliato e quindi più completo nei suoi elementi costitutivi, bisogna scendere ad un livello più basso di affidabilità della fonte perché ovviamente si cerca di colmare una lacuna della fonte principale.

Realizzare un modello più dettagliato rispetto a quello creato utilizzando solo la fonte principale più affidabile è lecito nella misura in cui si dichiara il livello di affidabilità di tutti i nuovi elementi, altrimenti il processo perde la sua scientificità.

Lo scopo di una tale rappresentazione del modello tridimensionale, come una metafora di un sistema cognitivo collegato al corpo architettonico, non mostra l'oggetto "reale" ma piuttosto come noi lo comprendiamo, ripristinando la struttura gerarchica che governa la definizione geometrica del modello tridimensionale e dà accesso ai documenti sul manufatto studiato.

Attraverso questa struttura, sfruttando il codice semantico grafico, la rappresentazione è in grado di:

- sottolineare incongruenze nella documentazione o le sue analisi
- indicare il livello di incompletezza relativo alla ricerca
- fornire una visualizzazione aggiornata della nostra comprensione di un oggetto²

In questo modo si realizzano visualizzazioni che si riferiscono più ad una visione interpretativa che ad una ricostruzione filologica dell'oggetto realizzato e odierno. In questo senso la ricostruzione esprime la volontà di descrizione e rappresentazione di tutta una storia in forma esplicita: non solo "ri-disegno" per comprendere ma "re-interpretazione" per comunicare¹.



Figura 78: *In alto, scala colorimetrica applicata al modello iniziale, in basso, scala colorimetrica applicata al modello finale*

7 Conclusioni

Il metodo utilizzato per la ricostruzione tridimensionale del Mausoleo di Giulio II si è rivelato efficace per raggiungere l'obiettivo prefissato.

Partendo infatti dai disegni di pianta e sezione abbozzati dal Sangallo nel Codice Barberiniano, esso ha permesso di intraprendere il percorso ricostruttivo in maniera completa, arrivando a definire il manufatto oggetto di studio ad un livello di dettaglio soddisfacente.

L'analisi e il confronto tra le alternative hanno permesso di effettuare scelte consapevoli e, anche se in maniera più o meno attendibile, di poterle sempre giustificare.

Per questo motivo è assolutamente plausibile pensare che il metodo presentato in questa tesi, anche se qui trova applicazione ad un caso estremo in cui il manufatto preso in considerazione non è mai stato realizzato, possa essere d'aiuto in molti altri casi ad esempio nel campo del restauro degli edifici, ove sia necessario comprendere in maniera completa la storia evolutiva del manufatto per determinarne le parti autentiche o ricostruire elementi perduti seguendo il pensiero e il modo di progettare dell'architetto.

L'utilizzo del modello tridimensionale in questa trattazione va ben oltre la comunicazione della mera geometria del manufatto ma si pone come un vero e proprio strumento che viene utilizzato fin dall'inizio del processo e che accompagna la ricostruzione permettendo di testare le soluzioni disegnate in pianta o in sezione e di mettere alla prova eventuali ipotesi determinandone la realizzabilità in termini geometrici, proporzionali e costruttivi.

Ogni elemento costitutivo del modello inoltre, è caratterizzato da una sua "storia generativa" che prevede il riferimento a fonti storiche e iconografiche diverse e a volte anche all'interpretazione personale; questo significa che il ragionamento che ha prodotto il modello finale è piuttosto complesso e difficile da trasmettere.

In quest'ottica un possibile sviluppo futuro di questa tesi, potrebbe prevedere di migliorare la trasmissione e l'interscambio delle informazioni raccolte durante le fasi di analisi e ricostruzione, per una più chiara comprensione e trasmissione delle informazioni raccolte, legate alla genesi del modello geometrico.

In quest'ottica, un approccio BIM offre la possibilità di gestire un'importante quantità di dati eterogenei che, andando oltre il semplice aspetto geometrico, possono costituire un archivio digitale di dati ed informazioni, utile alla documentazione e alla conservazione dell'architettura⁵.

Il Building Information Modeling è considerato dalla letteratura scientifica come una tendenza emergente nello scenario della documentazione architettonica, poiché è sostanzialmente una rappresentazione digitale di caratteristiche fisiche e funzionali delle strutture, che serve come risorsa di condivisione dell'informazione durante il loro intero ciclo di vita.

Il BIM in realtà è un processo (non un software, come qualcuno ha suggerito), nel quale agiscono diversi attori che condividono dati attraverso modelli digitali.

Gli strumenti BIM erano originariamente pensati per facilitare il disegno delle nuove architetture, generate tramite geometrie parametriche e connesse attraverso relazioni gerarchiche tra "oggetti intelligenti" (componenti consci della propria identità e delle interazioni tra loro)⁷.

Le più recenti ricerche relative all'impiego del BIM per i beni architettonici si sono focalizzate sul rapporto tra presa delle misure e modellazione in ambiente BIM e sul tema della semantizzazione del modello correlato al sistema costruttivo, ovvero al linguaggio e agli ordini architettonici³.

Un approccio di questo tipo favorisce nuove modalità di accesso, raccolta, correlazione, sistematizzazione ed analisi della vasta ed eterogenea quantità dei dati derivanti dal rilievo architettonico, dalla ricerca documentale, dall'interpretazione critica. Ne consegue che tale modello complesso si configura come struttura di informazioni e favorisce la produzione di nuove informazioni⁵.

L'approccio BIM richiederebbe tuttavia una rielaborazione del modello per impostare una semantizzazione degli elementi utilizzando un software specifico come ad esempio Autodesk Revit o Graphisoft Archicad poiché il modello generato con 3D Studio Max non contiene componenti parametrici.

Al contrario, un altro possibile sviluppo del lavoro di tesi qui presentato che permetterebbe invece di sfruttare il modello già realizzato, potrebbe essere quello di analizzare le possibilità di visualizzazione del modello finalizzate alla musealizzazione e alla realtà virtuale immersiva attraverso la tecnica del Real-time

rendering.

Attualmente questa tecnica viene utilizzata soprattutto nell'ambito dei videogiochi permettendo al fruitore di calarsi in una situazione di realtà simulata dove, oltre ad avere una percezione reale dello spazio è possibile anche interagire con gli elementi presenti all'interno della scena in termini spaziali (ad esempio apertura di porte) ma anche informativi e conoscitivi degli oggetti.

In quest'ottica la realtà immersiva potrebbe, in futuro, diventare una tecnica di visualizzazione delle informazioni contenute anche all'interno dei modelli BIM per renderli più facilmente consultabili e comprensibili in maniera trasversale, sia ai protagonisti del processo architettonico che ad un pubblico più ampio di non addetti ai lavori.

8 Bibliografia

1. Apollonio, F.I., Beltramini, G., Fabbi, G., Gaiani, M., 2011, Villa Contarini a Piazzola sul Brenta: studi per un'ipotesi di attribuzione palladiana servendosi dei modelli tridimensionali, in Disegnare n.42, Gangemi Editore
2. Apollonio, F.I., 2016, Classification Schemes for Visualization of Uncertainty in Digital Hypothetical Reconstruction, Springer International Publishing
3. Apollonio, F.I., Gaiani, M., Zheng, S., 2012, BIM-based modeling and data enrichment of classical architectural buildings, SCIRES-IT
4. Brandenburg, H., Ballardini, A., Thoenes, C., 2015, San Pietro: storia di un monumento, Jaca Book, Milano
5. Brusaporci, S., Centofanti, M., Maiezza, P., 2016, Tra "HistoricalBIM" ed "HeritageBIM: Building Information Modeling per la documentazione dei beni architettonici, Reuso 2016: Contributi per la documentazione, conservazione e recupero del patrimonio architettonico per la tutela paesaggistica, Pavia
6. Frommel, S., 2014, Giuliano da Sangallo, Ente Cassa di Risparmio di Firenze, Firenze
7. A cura di Frommel, S., con la collaborazione di Flaminia Bardati, 2005, Francesco Primaticcio Architetto, Electa, Milano
8. Garagnani, S., 2013, Building Information Modeling and real world knowledge: A methodological approach to accurate semantic documentation for the built environment, Digital Heritage Conference, Marsiglia
9. Palladino, P., 2005, Manuale di illuminazione, Tecniche Nuove, Milano

9 Sitografia

10. http://digi.vatlib.it/view/MSS_Barb.lat.4424
11. <https://knowledge.autodesk.com/support/3ds-max/getting-started/caas/CloudHelp/cloudhelp/2016/ENU/3DSMax-Tutorial/files/GUID-65DD9716-74C7-405F-B05B-9E8C1E2CA306-htm.html>
12. <https://knowledge.autodesk.com/support/3ds-max/getting-started/caas/CloudHelp/cloudhelp/2016/ENU/3DSMax-Tutorial/files/GUID-2F199FD6-21BB-4CF3-989F-ADCACFD65779-htm.html>
13. <http://www.textures.com/>
14. [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Entrega_de_las_llaves_a_San_Pedro_\(Perugino\).jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Entrega_de_las_llaves_a_San_Pedro_(Perugino).jpg)
15. <http://post.uniurb.it/wp-content/uploads/2013/01/Città-ideale-dipinto-conservato-alla-Galleria-Nazionale-delle-Marche-a-Palazzo-Ducale-da-sempre-di-incerta-attribuzione.jpg>
16. http://www.discoverpistoia.it/images/naturart/naturart_04/naturart_04_02/madonna-umilt-12.jpg
17. http://www.tesoridiroma.net/monumenti_roma/santa_costanza.html
18. <http://www.treccani.it/enciclopedia/illuminamento/>
19. https://energyplus.net/weather-location/europe_wmo_region_6/ITA//ITA_Rome.162420_IWEC
20. <http://www.prototek.it/fused-deposition-modeling-fdm/>

10 Fonti iconografiche

21. Giuliano da Sangallo, 1485 - 1495, Chiesa di Santa Maria delle Carceri, Prato
22. Giuliano da Sangallo, 1495 - 1579, Chiesa di Santa Maria dell'Umiltà, Pistoia
23. Giuliano da Sangallo, 1503, Cappella Gondi, Santa Maria Novella, Firenze
24. Giuliano da Sangallo, 1442/45 – 1516, Codice Barberiniano, Biblioteca Vaticana, Città del Vaticano
25. Giuliano da Sangallo, 1442/45 – 1516, Taccuino Senese, Biblioteca degli intronati, Siena
26. Ignoto, fine 1400, Città Ideale, Galleria Nazionale delle Marche, Urbino
27. Pietro di Cristoforo Vannucci detto il Perugino, 1481-1482, Consegna delle Chiavi, Cappella Sistina, Città del Vaticano
28. Francesco Primaticcio, 1564 – distrutta, Rotonda dei Valois, Saint Denis
29. Mausoleo di Santa Costanza, IV secolo d.C, Roma
30. Pantheon, II secolo d.C, Roma

11 Indice delle immagini

Figura 1: *Giuliano da Sangallo , Pianta del progetto per un mausoleo per il papa Giulio II, Codice Barberiniano, f 66r [10]*

Figura 2: *Giuliano da Sangallo, Sezione del progetto per un mausoleo per il papa Giulio II,*

Codice Barberiniano, f 51v [10]

Figura 3: *Giuliano da Sangallo, Chiesa di Santa Maria delle Carceri, Prato*

Figura 4: *Giuliano da Sangallo , Chiesa di Santa Maria dell'Umiltà, Pistoia, [6]*

Figura 5: *Ignoto, Città Ideale, Galleria Nazionale delle Marche, Urbino [15]*

Figura 6: *Pietro di Cristoforo Vannucci detto il Perugino, Consegna delle Chiavi, Cappella Sistina, Città del Vaticano [14]*

Figura 7: *Pantheon, Roma*

Figura 8: *Mausoleo di Santa Costanza, Roma [17]*

Figura 9: *Schema del processo di ricostruzione*

Figura 10: *Ipotesi 1 applicata a pianta e sezione*

Figura 11: *Ipotesi 2 applicata a pianta e sezione*

Figura 12: *Ipotesi 3 applicata alla sezione*

Figura 13: *Giuliano da Sangallo, Schizzo tratto dal Taccuino Senese*

Figura 14: *Suddivisione in 13 e in 20 parti del primo, secondo e terzo ordine*

Figura 15: *Suddivisione in 3 e in 4 parti della trabeazione del primo e del secondo ordine*

Figura 16: *Individuazione della scala metrica ripartita in 5 moduli sui disegni del Sangallo*

Figura 17: *Applicazione dell'ipotesi 5 a pianta e sezione*

Figura 18: *Analisi dei diametri delle colonne*

- Figura 19:** *Analisi della posizione dei cerchi di costruzione e delle nicchie*
- Figura 20:** *Analisi della posizione dei vani scala*
- Figura 21:** *Analisi della posizione delle colonne a tre quarti e dell'avancorpo*
- Figura 22:** *Pianta del mausoleo ricostruita*
- Figura 23:** *Analisi del primo ordine di colonne secondo il braccio fiorentino*
- Figura 24:** *Analisi del secondo ordine di colonne secondo il braccio fiorentino*
- Figura 25:** *Analisi del terzo ordine di colonne secondo il braccio fiorentino*
- Figura 26:** *Sezione vettorializzata con ipotesi di avanzamento del terzo ordine*
- Figura 27:** *Posizione della sezione sulla pianta*
- Figura 28:** *Modello tridimensionale preliminare del mausoleo di Giulio II, in alto l'ipotesi principale, in basso la variante riportata in sezione*
- Figura 29:** *Particolare della lanterna del Mausoleo di Giulio II*
- Figura 30:** *Particolare della Città Ideale: le finestre sono presenti soltanto al primo ordine e sono posizionate in ogni intercolunnio e centrate in altezza*
- Figura 31:** *Sezione disegnata dal Sangallo, in rosso le finestre*
- Figura 32:** *Pianta del mausoleo di Giulio II con l'indicazione dell'aggiunta dei gradini in corrispondenza dei vestiboli*
- Figura 33:** *A sinistra, disegno del Sangallo tratto dal Taccuino Senese, a destra, fase di modellazione della base*
- Figura 34:** *A sinistra, Santa Maria delle Carceri, Prato, particolare dell'edicola dell'altare, a destra fase di modellazione del capitello*
- Figura 35:** *Vista dell'interno del mausoleo, che mostra uno stadio iniziale di definizione delle colonne e delle trabeazioni*
- Figura 36:** *Vista dell'interno del mausoleo che mostra lo stadio finale di definizione degli elementi, con applicazione dei materiali (vedi capitolo 5.2)*
- Figura 37:** *Evoluzione della trabeazione del secondo ordine*
- Figura 38:** *Sezione definitiva utilizzata per la ricostruzione della trabeazione del*

secondo ordine

Figura 39: *Vista della trabeazione interna del primo ordine con applicazione dei materiali (vedi capitolo 5.2)*

Figura 40: *Pianta originale del Sangallo dove si evidenzia in rosso la traccia delle colonne*

Figura 41: *Pianta modificata aggiungendo le colonne a sostegno delle edicole*

Figura 42: *A sinistra particolare della Città Ideale, a destra l'ipotesi di ricostruzione dell'edicola numero 1*

Figura 43: *A sinistra particolare della Consegna delle Chiavi, a destra l'ipotesi di ricostruzione dell'edicola numero 2*

Figura 44: *Ipotesi di ricostruzione dell'edicola numero 3*

Figura 45: *Vista frontale della soluzione proposta*

Figura 46: *Sezione prospettica che mostra l'organizzazione interna nello stadio iniziale del processo ricostruttivo*

Figura 47: *Viste interne che mostrano l'organizzazione interna nello stadio finale del processo ricostruttivo, in alto ipotesi delle nicchie con le edicole, in basso senza.*

Figura 48: *Vista in pianta della disposizione delle scale*

Figura 49: *Sezione prospettica che mostra la distribuzione delle scale*

Figura 50: *Vista dall'alto che mostra la distribuzione delle scale*

Figura 51: *Mausoleo di Santa Costanza, Roma, [17]*

Figura 52: *Vista della ricostruzione del mausoleo di Giulio II: si può vedere la disposizione delle aperture sulla rotonda e nell'avancorpo*

Figura 53: *In alto sezione del mausoleo con cupola cieca, in basso sezione del mausoleo con cupola finestrata*

Figura 54: *Pianta di San Pietro (sec VI-XV) elaborazione da Alfarano 1590, [4]*

Figura 55: *Pianta del mausoleo di Giulio II*

Figura 56: Particolare della pianta di San Pietro (sec VI-XV) raffigurante le due rotonde tardoantiche di Santa Petronilla e di Sant'Andrea, [4]

Figura 57: Possibili orientamenti dell'ingresso del mausoleo

Figura 58: Alexandre Leblond, pianta dell'Abbazia di Saint-Denis con la rotonda dei Valois, Parigi, 1706, [7]

Figura 59: Stadio iniziale della definizione dell'interno

Figura 60: Stadio finale della definizione dell'interno

Figura 61: Evoluzione del profilo della trabeazione

Figura 62: Due stadi dell'evoluzione delle nicchie del secondo ordine

Figura 63: Giuliano da Sangallo, interno della chiesa di Santa Maria dell'Umiltà, Pistoia [16]

Figura 64: Giuliano da Sangallo, particolare della trabeazione della Chiesa di Santa Maria dell'Umiltà, Pistoia [6]

Figura 65: Giuliano da Sangallo, Cappella Gondi, Chiesa di Santa Maria Novella, Firenze, [6]

Figura 66: Marmi utilizzati per mappare il modello tridimensionale

Figura 67: Vista dell'interno del mausoleo con applicazione dell'ipotesi di marmo bianco e grigio, senza le edicole all'interno delle nicchie

Figura 68: Vista delle paraste del secondo ordine con applicazione dell'ipotesi del marmo bianco e grigio

Figura 69: Vista dell'interno del mausoleo con applicazione dell'ipotesi del marmo rosso nella fascia centrale della trabeazione

Figura 70: Vista prospettica dell'esterno del mausoleo con applicazione dell'ipotesi di marmi bianchi e grigi

Figura 71: Vista prospettica dell'esterno del mausoleo con applicazione dell'ipotesi del marmo rosso nella fascia centrale della trabeazione

Figura 72: Foto sferica del mausoleo

Figura 73: Illuminanza e illuminamento alle ore 12:00

Figura 74: Illuminanza e illuminamento alle ore 17:00

Figura 75: Pezzi della colonna all'interno della stampante FDM

Figura 76: A sinistra, componenti della colonna da assemblare, a destra colonna assemblata

Figura 77: Scala colorimetrica di attendibilità con i valori espressi in RGB

Figura 78: In alto, scala colorimetrica applicata al modello iniziale, in basso, scala colorimetrica applicata al modello finale