



Erica Ganghereti

Nel 1997 consegue il diploma di "Maturità d'arte applicata" e nel 2007 il diploma di laurea specialistica in Architettura presso l'Università degli Studi di Firenze. Nel gennaio 2009 entra a far parte del Dottorato di Ricerca in Rilievo e Rappresentazione dell'Architettura e dell'Ambiente concludendolo con la tesi dal titolo "San Bartolomeo in Pantano. Le chiese romaniche e il disegno urbano di Pistoia". Attualmente mantiene contatti attivi sia per quanto riguarda la ricerca che le attività didattiche.

La misura nella lettura delle chiese romaniche di Pistoia

The measure in the reading of the Romanesque churches of Pistoia

L'antico abitato di Pistoia è punteggiato di chiese romaniche che rendono le antiche vie un excursus nella storia del romanico. Il rilievo e lo studio approfondito ha evidenziato un contesto capace di relazionarsi con i grandi casi della storia.

Dalla sovrapposizione di griglie e costruzioni geometriche semplici agli elaborati tradizionali, sono emersi i processi logici che con operazioni di geometria piana hanno dato forma a questi monumenti. Principi matematici alti permettono di legare in un unico, semplice e facilmente memorizzabile schema generatore il tutto; alla base si pone la misura come linguaggio del costruito.

In San Bartolomeo in Pantano tutti gli elementi si dispongono spazialmente guidati dalla misura e dalle geometrie ipotizzate. Iniziando da un elemento unitario, il modulo, è possibile descrivere tutto il complesso attraverso un unico semplice racconto.

The ancient built-up area in Pistoia is dotted with Romanesque churches that make the ancient streets a view into the Romanesque style. The survey and thorough study of these handmade works highlighted an unexpected environment capable of relating to the great issues in history. By overlapping grids and simple geometric constructions, on the basis of plane geometry calculations, the drawings showed the logic processes that produced these monuments. High mathematical principles which allow all features to be related to a single, simple scheme, easy to remember. Measuring, based on numbers and geometries, is the language for building.

In San Bartolomeo in Pantano all components are laid out in the space according to the measurement and geometries presumed. Starting from a unit component, i.e. the module, the whole complex can be described through a single, simple story.

Parole chiave: ICAR17, romanico, Pistoia, misura.

Keywords: ICAR17, romanese, Pistoia, measuring.

San Bartolomeo in Pantano¹ è una delle più rappresentative chiese romaniche di Pistoia. Essa fu fondata da Gaidoaldo², nel 726 d.C., al di fuori dalla prima cerchia muraria. (Fig. 01) Con funzione di monastero e xenodochius fu affidata dal 764 all'ordine Benedettino. Nel 1159, l'allora priore Bono, ne decise il totale rifacimento nelle forme attuali (Figg. 02-03-04-05). Non vi sono documenti al riguardo, ma i maggiori storici pistoiesi sono concordi nell'attribuire l'opera all'architetto Rodoleno. L'importante apparato scultoreo presente in facciata (l'architrave sul portale d'ingresso fu realizzato da Gruamonte e Adeodato, allievi di maestro Guglielmo, nel 1167) permette di datare il termine dell'intera opera.

Il rilievo e lo studio di San Bartolomeo costituiscono il corpo centrale di un più ampio lavoro³ condotto sulle chiese romaniche ancora presenti nella città di Pistoia al fine di fornire una lettura scientifica di questo importante comparto di opere.

Il rilievo condotto si è avvalso sia di metodologie tradizionali che dei nuovi sistemi informatici potendosi quindi definire un rilievo integrato pur non essendo stato necessario l'uso di laser scanner in quanto le architetture in esame non presentano sistemi architettonici complessi (cupole, coperture voltate, ecc.).

Il rilievo tradizionale ha riguardato la presa delle misure generali e di tutti gli apparati compositivi il cui ridisegno è stato guidato dalla conoscenza critica degli elementi architettonici esaminati. Le misurazioni tradizionali sono state supportate da una base strumentale. Il rilievo con stazione totale si è composto di due parti. Una prima fase, più propriamente topografica, ha fissato nello spazio le parti dando conferma dell'andamento delle murature e della disposizione degli elementi architettonici. Tale rilievo, attraverso una poligonale aperta (la chiesa è stata resa accessibile solo dagli ingressi principali), ha riguardato sia l'interno che l'esterno. Internamente, si è avuto cura di prelevare un sufficiente numero di punti per ciascuna arcata (parete di

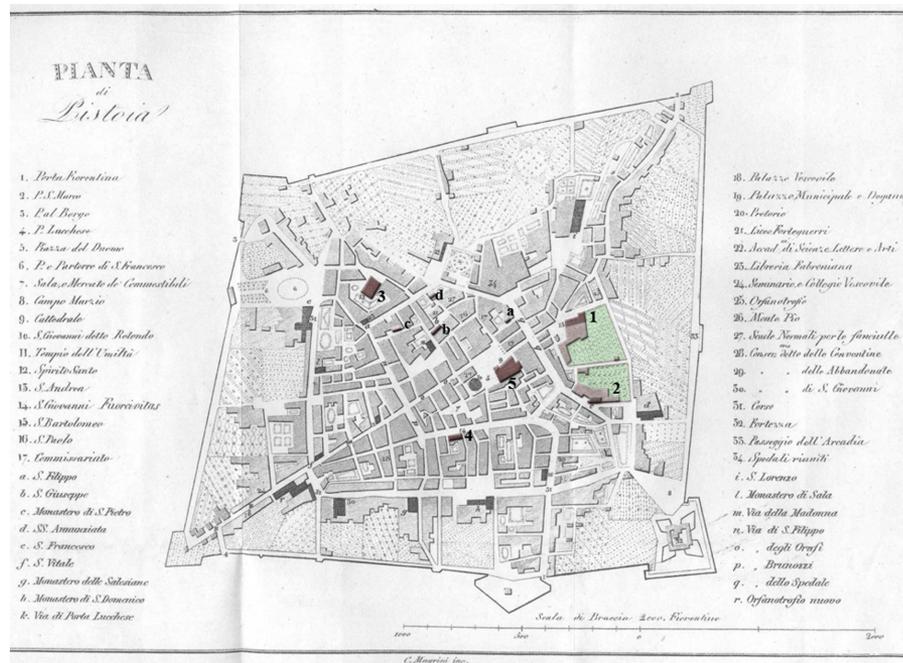


Fig.01- Immagine cartografica redatta da Pietro Contrucchi e incisa da C. Magrini nel 1854, pubblicata per la prima volta nella "Guida di Pistoia" redatta dal Tigri nel 1854. La carta rappresenta una Pistoia con ancora molti caratteri medievali. Nella carta sono state individuate le chiese oggetto del più generale studio da cui è stato estratto il presente lavoro. Chiese romaniche maggiori: 1-Monastero di San Bartolomeo; 2- Monastero di San Pier Maggiore; 3- Chiesa di Sant'Andrea; 4- Chiesa di San Giovanni Fuorcivitas; 5- Cattedrale di San Zeno; chiese romaniche minori: a- Chiesa di San Salvatore; b- Chiesa di San Michele in Cioncio; c- Chiesa di Santa Maria in Borgo Strada; d- Chiesa di San Jacopo in Castellare.



Fig.02- Sopra, vista della facciata di San Bartolomeo in Pantano. Fig. 03- Sotto, particolare del portale principale con architrave scolpito.



divisione tra le navate) in modo da poterne indagare le geometrie per ognuno in maniera accurata e puntuale. La seconda parte del rilievo strumentale ha riguardato la facciata. Essendo questa composta da numerose fasce di marmi bianchi e verdi, archi addossati alla parete, losanghe, ecc, e volendo redigerne un dettagliato rilievo che ne permettesse uno studio attendibile, si è avuto cura di descrivere tutti gli elementi architettonici, decorativi e materici con una fitta griglia di punti che permettesse di indagare con la stessa accuratezza sia il generale che il particolare. La presa diretta delle misure nelle parti accessibili, sovrapposta al rilievo con stazione totale ha permesso di redigere un disegno particolareggiato sulla cui base è stato composto un fotopiano⁴ che fornisce i dati necessari al completamento degli elaborati grafici tradizionali.

La restituzione di piante, prospetti e sezioni attraverso l'uso di software cad ha garantito una precisione tale da assicurare, attraverso la sovrapposizione di griglie e costruzioni geometriche semplici, una corretta verifica delle geometrie e delle costruzioni logiche alla base del complesso. Queste operazioni hanno fatto emergere quei processi di geometria piana che hanno dato forma a questi monumenti quali espressione di un contesto culturale ben al di sopra di quello che per tanto tempo si era supposto essere la società altomedievale pistoiese.

La chiesa di San Bartolomeo ha una conformazione semplice: pianta rettangolare, monoabsidata, spartita in tre navate da colonnati sormontati da archi a tutto sesto rialzato; le navate sono divise in 9 campate ciascuna di forma rettangolare. Le misure generali sono prossime alla regolarità e gli angoli sono di poco lontani dai 90°. Le misure esterne sono 16,95 m x 43,15 m e quelle interne 15,15 m x 41 m.

Le pareti di divisione delle navate aprono questioni geometriche importanti. Gli appoggi che definiscono le arcate sono costituiti da colonne su base quadrata ad esclusione dei semipilastri posti alle due estremità e di un pilastro a base rettangolare come secondo appoggio a partire dalla zona absidale. Ad eccezione dell'arcata in prossimità della zona absidale, la cui ampiezza è 4,79 m, le altre sono quasi tutte riconducibili alla misura di 3,76 m circa; fanno eccezione l'arcata d'ingresso e quelle adiacenti al pilastro che sono di poco più piccole. Non si hanno motivazioni statiche e i dati storici non

evidenziano la necessità di integrare manufatti preesistenti che possano spiegare queste incongruenze. Lo schema planimetrico di San Bartolomeo è riproposto, con altre misure, anche nella chiesa di Sant'Andrea e probabilmente, prima delle trasformazioni barocche, anche nella vicina San Pier Maggiore.

I rapporti messi in evidenza da J. B. Ward-Perkins⁵ e da Mario Salmi⁶ nella definizione della tipologia basilicale della chiesa delle origini hanno permesso di legare le chiese pistoiesi ai primissimi esempi di basiliche paleocristiane. Le lezioni di D'Ossat riguardo l'uso di proporzioni legate ai rapporti di $1\sqrt{2}$ e $1\sqrt{3}$ nella distribuzione planimetrica della Basilica di San Pietro a Roma⁷ (Fig. 06), i rapporti proporzionali descritti da Sant'Agostino, le costruzioni geometriche riportate da Sebastiano Serlio ne "Il primo libro dell'Architettura" (1545), la pergamena con rappresentata la pianta della chiesa di San Gallo e le indicazioni riportate da Villard de Honnecourt nel suo Taccuino completano il quadro da cui ha inizio la lettura critica di San Bartolomeo.

Nel Taccuino di Villard (Fig. 07) l'esercizio riguardante il calcolo di un quadrato di area doppia di quello dato dimostra che nel periodo gotico si conoscevano costruzioni grafiche semplici che, con l'uso del compasso e il ribaltamento della diagonale del quadrato, davano un valore ai numeri irrazionali (come la $\sqrt{2}$) fino ad una loro approssimazione numerica basata su frazioni. Questi schemi, di supporto alle operazioni di cantiere, garantivano la precisione delle opere qualora si ricorresse a particolari valori legati alla terna pitagorica. Un quadrato di lato 10 ha la diagonale approssimabile al numero intero 14; inoltre, ogni due moltiplicazioni per la $\sqrt{2}$ si ottiene il doppio del numero iniziale. Si può ipotizzare che nelle costruzioni di età medievale si facesse riferimento alla serie numerica 10 – 14 – 20 – 28 – 40 – ecc., (Fig. 08) in modo da basare le architetture su quadrati derivanti l'uno dalla diagonale dell'altro. Questi, avendo ciascuno area doppia del precedente permettevano di tenere sotto controllo le proporzioni degli spazi progettati e le quantità dei materiali impiegati. Lo studio ha verificato se anche nelle chiese romaniche pistoiesi fossero stati adottati schemi progettuali di questo tipo in sintonia con quanto accadeva nei cantieri delle vicine Pisa e Lucca dove già si sperimentavano i caratteri della cultura gotica.

La ricerca ha permesso di raggiungere due importanti traguardi strettamente connessi tra loro. La definizione

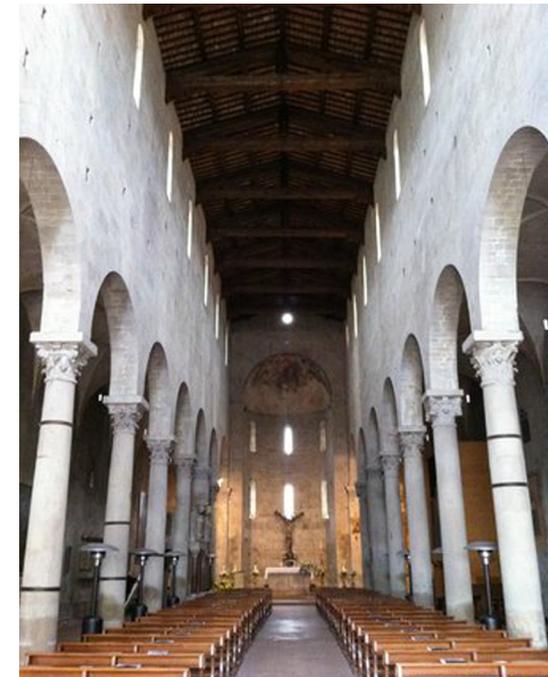


Fig.04- Sopra, vista interna della navata principale di San Bartolomeo in Pantano.

Fig. 05- Sotto, particolare della parte absidale con appoggio e dimensioni dell'arcata diverse dalle altre. Al centro della terza campata il pulpito scolpito.



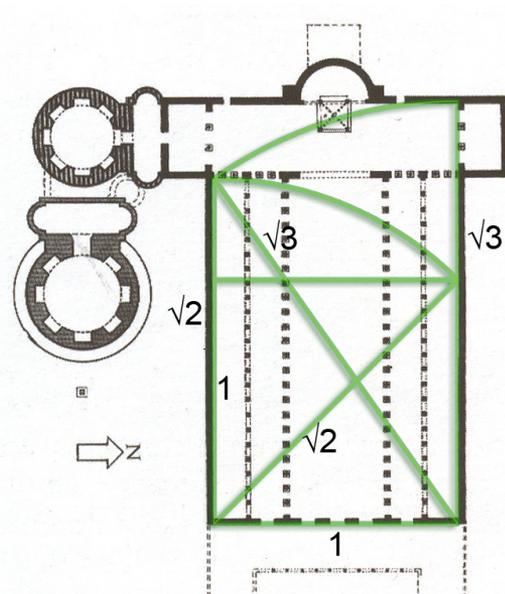


Fig. 06- Pianta della primitiva Basilica di San Pietro sulla quale sono tracciati in verde gli schemi descritti da D'Ossat.

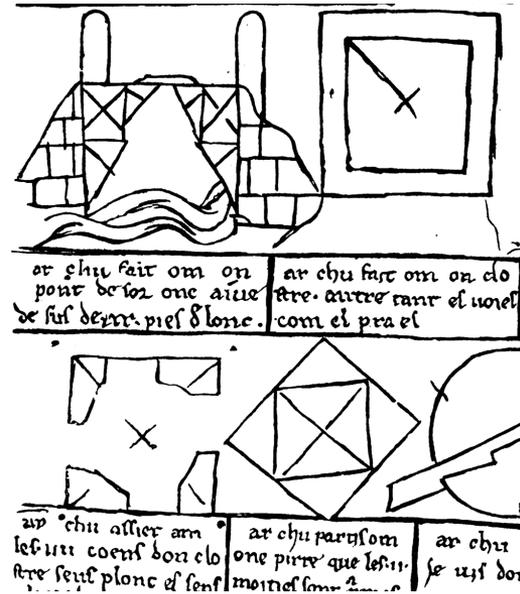


Fig. 07- Pagina tratta dal taccuino di Villard in cui sono riportati due esercizi riguardanti la costruzione di quadrati di area doppia e mezza rispetto a quelli dati.

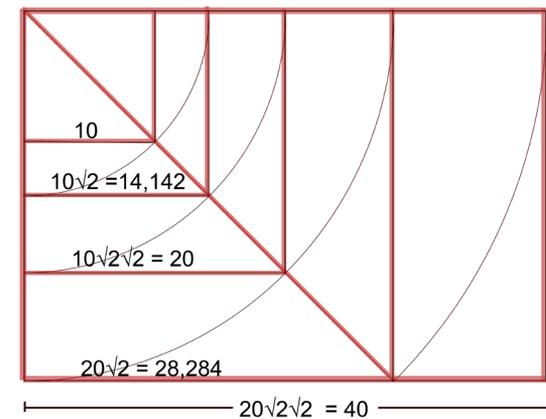


Fig.08- Schematizzazione del sistema di accrescimento per quadrati di area doppia ottenuti per via grafica attraverso il ribaltamento della diagonale del quadrato a partire da un quadrato di lato 10.

di sistemi geometrico-compositivi che descrivessero il processo progettuale e la determinazione di una probabile unità di misura, valida in maniera diffusa, nelle architetture studiate.

La definizione dell'unità di misura è stata un aspetto nodale della ricerca. In passato altri studiosi, attraverso l'analisi di documenti d'archivio e la misura di alcuni elementi architettonici, erano giunti alla conclusione che a Pistoia si utilizzasse il piede di Liutprando di cui Rauty⁸ ha teorizzato, dalla misura del degl'interassi delle campate di San Bartolomeo e di San Zeno, un valore di 49,09 cm. Questo modulo risponde solo a piccole porzioni di architettura; in San Bartolomeo non è possibile riferirvi tutti gli elementi architettonici né tantomeno le misure generali della fabbrica.

L'unità di misura presa a riferimento in questo studio è stata determinata, a partire da ciascuna architettura⁹, in maniera induttiva, ossia per confronto tra le parti e con le misure d'insieme fino alla definizione di un mo-

dulo che permettesse di dare a tutti gli elementi che compongono la fabbrica una misura intera e precisa. Questo processo è stato possibile proprio grazie all'accurato rilievo e all'uso degli strumenti cad che hanno permesso di sovrapporre agli elaborati grafici scale di riferimento con cui confrontare l'architettura. Per quanto riguarda le tre chiese maggiori presenti a Pistoia (San Bartolomeo in Pantano, Sant'Andrea e San Pier Maggiore) queste hanno dato tutte un valore approssimabile a 34,20 cm mentre, nelle chiese minori (San Salvatore, San Michele in Cioncio, Santa Maria in Borgo Strada), sono stati riscontrati valori che variano da 34,00 a 34,46 cm. Tali chiese, o parti di esse, possono risultare fuorvianti; si tratta infatti di piccoli manufatti con datazioni molto lontane tra loro, in alcuni casi con notevoli rimaneggiamenti e in altri pessime condizioni di manutenzione. Il valore di 34,20 cm, teorizzato in San Bartolomeo, è sembrato sufficientemente attendibile anche in relazione al raffronto con la storia

metrologica descritta in letteratura¹⁰. Per quanto detto, al termine della fase di analisi, il valore di 34,2 cm è stato riconosciuto come unità di base e per comodità denominato piede. In tutta la descrizione riportata di seguito si farà riferimento, con questa terminologia a tale valore numerico.

Analizzando la pianta di San Bartolomeo si può supporre che gli elementi che la compongono siano stati pensati in maniera distinta e accostati fra loro a creare l'insieme. Iniziando lo studio dal pilastro addossato alla parete absidale (profondo 1 piede e ½) e volendo utilizzare valori interi si è ipotizzato che la navata laterale potesse essere larga 10 piedi. Costruito un quadrato di lato 10 e ribaltatone la diagonale si è ottenuta la posizione del primo appoggio e di conseguenza il perimetro della prima campata laterale di dimensioni 10x14 piedi. Lasciato lo spazio di 2 piedi per la parete di divisione tra navata laterale e principale, si è tracciato

un quadrato di lato $10\sqrt{2}$ (approssimato a 14 piedi) il cui ribaltamento della diagonale ha dato la larghezza della navata principale di 20 piedi esatti. È stata così definita la prima arcata di dimensioni maggiori delle altre. (Fig.09)

Per il posizionamento del pilastro di 2×3 piedi, si è costruito, a partire dalla parete absidale, un quadrato di lato 20 piedi (larghezza della navata principale) e, ribaltandone la diagonale, si è ottenuta la distanza del pilastro dalla parete di fondo: 28 piedi; la seconda arcata è quindi 10 piedi e $\frac{1}{2}$. (Fig.10) Il fatto che il pilastro misuri 3 piedi, permette di inscrivere lo spazio fino ad ora descritto in un quadrato di lato 31 piedi il cui ribaltamento della diagonale definisce l'ampiezza totale della chiesa: 44 piedi. Il quadrato di lato 44 dà anche la dimensione massima in cui si deve porre la sporgenza del corpo absidale¹¹. (Fig.11)

Gli elementi che compongono la zona absidale sono così obbligati all'interno di un sistema di numeri la cui definizione deve essere stata unitaria in quanto il modificarsi di un solo parametro comporta il mutare di tutti gli altri. Differenti combinazioni numeriche, generate a partire da uno schema teorico iniziale, permette-

vano ai costruttori di cambiare le parti in corso d'opera o passare da spazi con determinate proporzioni ad altre pur mantenendo l'insieme. Un esempio è messo in luce negli studi condotti dalla professoressa Bartoli sul complesso di Santa Maria Novella a Firenze¹².

Compresi gli elementi fissi che danno evidenza del progetto teorico, è chiaro perché sia necessario introdurre delle difformità e come queste dipendano dalle misure generali. La lunghezza totale della chiesa, 120 piedi, è multipla sia del 10 che del 20: la navata centrale ha un rapporto lunghezza/larghezza di 1 a 6 e quelle laterali di 1 a 12. Se si considera la larghezza della navata centrale, compresi gli appoggi, questa è 24 piedi: assumendo un quadrato di 24×24 come modulo la lunghezza della chiesa, escluse le murature, è 5 moduli e le navate laterali, comprese le murature esterne¹³, sono metà modulo (12 piedi). La pianta così descritta è un rettangolo di 48×120 piedi (2×5 moduli) (Fig.12).

Si può pensare che i costruttori, come avviene nel tacuino di Villard de Honnecourt, si siano posti un vero e proprio problema da risolvere:

“Data la lunghezza della chiesa pari a 120 piedi, determinare la posizione degli appoggi affinché le campate

risultino tutte di ampiezza uguale eccettuate quelle in prossimità dell'altare che dovranno, la prima avere ampiezza 14 piedi e la seconda essere determinata dal ribaltamento della diagonale del quadrato di 20 piedi.” Supponendo di dover calcolare quanto deve essere lunga una chiesa composta da 9 campate tutte di luce 11 piedi e appoggi di 2 piedi eccettuati quelli agli estremi di valore 1 piede, si ottiene:

$$\text{vuoti } 9 \times 11 = 99 \text{ piedi}$$

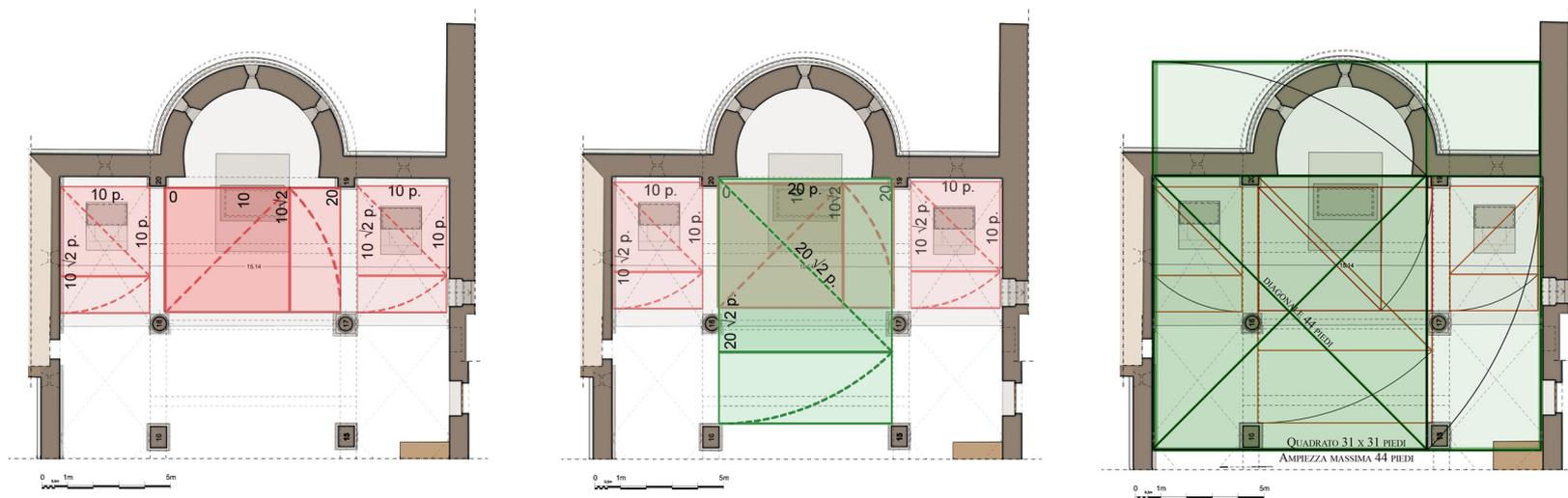
$$\text{pieni } (8 \times 2) + (1 \times 2) = 18 \text{ piedi}$$

La lunghezza totale è 117 piedi e, introducendo la campata di 14 piedi, si raggiungono i 120 piedi voluti.

Lo schema teorico così ottenuto non è ancora conforme alla realtà. I semipilastri alle due estremità del corpo di fabbrica non misurano 1 piede bensì 1 e $\frac{1}{2}$ ciascuno. Il loro inserimento non modifica la prima e l'ultima campata ma soltanto la prima (che misura 10 piedi) essendo la parte absidale definita dalla costruzione geometrica. In questo modo, a partire dallo schema teorico di 9 campate uguali vengono introdotte la campata di 14 piedi in prossimità dell'altare e le due campate di 10 piedi e $\frac{1}{2}$ in prossimità del pilastro (rispettando le posizioni determinate con l'uso della $\sqrt{2}$) e, per far sì

Fig. 09- 10- 11- Schemi esemplificativi delle costruzioni geometriche inerenti la zona absidale.

All'elaborazione planimetrica di base, redatta a seguito della presa delle misure, sono stati sovrapposti i processi teorici redatti a priori in modo da verificarne l'attendibilità.



che la lunghezza totale sia 120 piedi, viene ridotta la campata iniziale a 10 piedi esatti. L'architettura risponde ai parametri richiesti dal progettista e il problema è risolto. (Fig.13).

L'analisi della sezione longitudinale, una volta determinata la disposizione planimetrica, ha permesso di evidenziare come la regola utilizzata per il disegno planimetrico si estenda anche a quello altimetrico. (Fig.14) Questo è stato possibile anche grazie al fatto che in San Bartolomeo si è sufficientemente certi che le quote pavimentali e altimetriche siano quelle originali¹⁴.

Nel corpo absidale si evidenziano due sistemi modulari, derivanti dalla pianta, con i quali sono definite le dimensioni principali. Lo spazio absidale interno ha un rapporto di 1 a 4: 4 moduli da 10 piedi determinano l'altezza interna massima di cui la quarta parte è destinata alla calotta di copertura. Un secondo modulo di lato 14 piedi definisce le dimensioni massime (spazio absidale compresi la parete esterna e i semipilastri addossati alla parete interna), la posizione delle finestre, 2 moduli e mezzo (35 piedi), e l'imposta esterna della copertura absidale. La misura di 35 piedi è raggiunta anche con il modulo di 10 piedi (3 moduli e mezzo). Questi due apparati sono legati tra loro dalle scale del 5 e del 7. I sistemi di misura, in età medievale, dipendevano da più basi numeriche legate tra loro; le sequenze del 7 e del 5, definite in premessa, con molta probabilità, dovevano far parte del sistema di misura utilizzato a Pistoia.

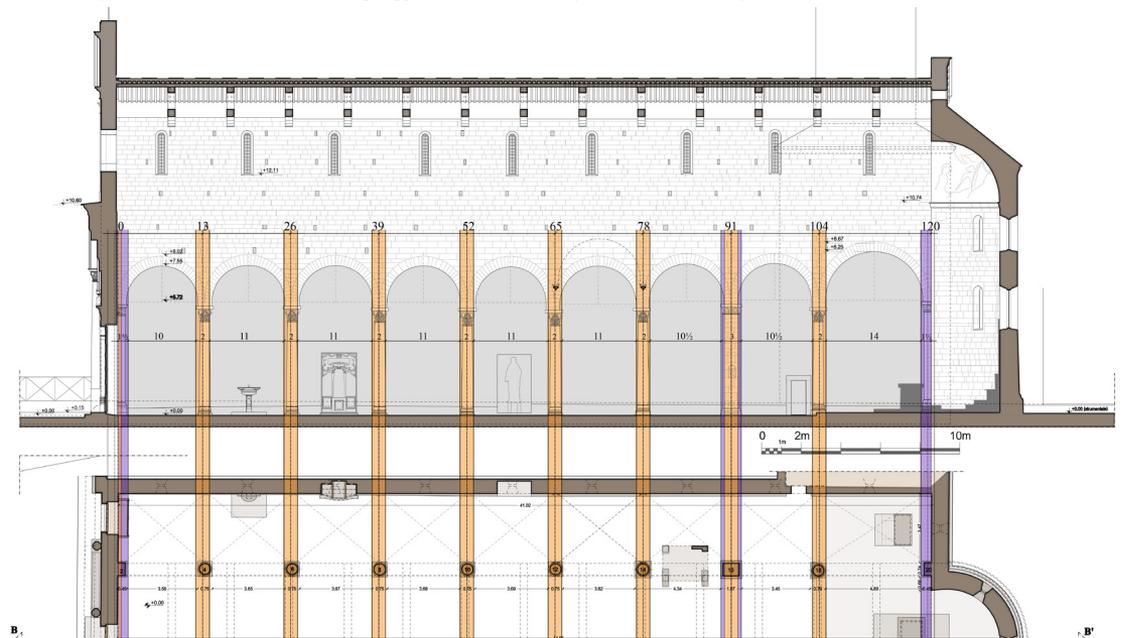
Proseguendo l'analisi della sezione longitudinale si osserva che la prima arcata, pur essendo notevolmente più ampia, ha un'altezza in colmo di poco maggiore delle altre. Essendo gli archi utilizzati a tutto sesto rialzato, non si ha relazione tra l'ampiezza e l'altezza delle arcate; tra la fine dell'ordine architettonico e l'imposta dell'arco sono inseriti dei piedritti di dimensione variabile a seconda delle necessità. La costruzione utilizzata in pianta per la campata di 14 piedi si ripropone anche in sezione; il quadrato di 14 piedi definisce il termine del fusto della colonna di sinistra, se a questo si sovrappone un modulo di 10 piedi si raggiungono i 24 piedi ossia il valore massimo dell'arco.

Un ragionamento simile può essere fatto per le altre arcate le quali, indipendentemente dalla loro ampiezza, raggiungono tutte la stessa quota determinata in



Sopra Fig.12- Planimetria generale di San Bartolomeo con graficizzate le considerazioni riguardanti le dimensioni generali e i moduli di riferimento. In arancione la scansione di base (6 moduli la navata centrale e 12 quelle laterali). In rosa i moduli di 12x12 piedi e 24x24. In verde i moduli di 24 piedi individuano, nella navata centrale, lo spazio di due vuoti e un pieno.

Sotto Fig.13- Sezione trasversale e pianta con riportata la scansione finale delle arcate. In arancione sono evidenziati gli elementi che rimangono invariati rispetto allo schema teorico e in blu gli aggiustamenti necessari per la risoluzione del problema.



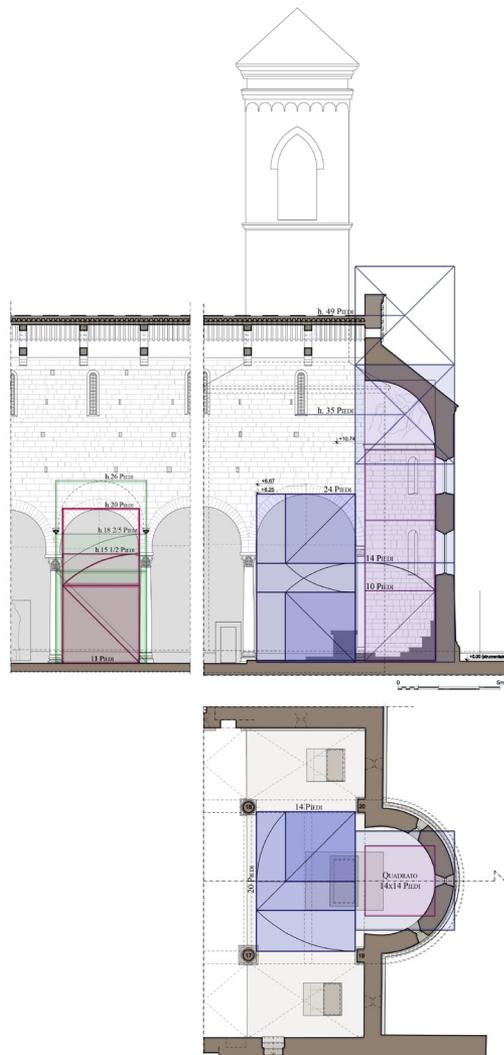


Fig.14- Particolari estratti della sezione trasversale in cui sono riportate le costruzioni teorizzate in pianta in modo da verificarne l'attendibilità anche in alzato. In particolare gli schemi riguardano la parte absidale, l'arcata di ampiezza 14 piedi e l'arcata di 11 piedi. Quest'ultimo schema risulta valido per tutte le altre arcate in quanto l'altezza imposta in colmo è sempre 20 piedi.

funzione di quelle larghe 11 piedi. Queste sono pensate nelle proporzioni di 1 a 2: due quadrati sovrapposti con altezza massima di 22 piedi. L'arco a tutto sesto imporrebbe l'altezza della colonna di 16 piedi e $\frac{1}{2}$ ($22 - 11\frac{1}{2}$) ma, grazie all'uso dei piedritti questa può essere determinata attraverso la costruzione geometrica della $\sqrt{2}$. La colonna è alta da terra $11\sqrt{2}$ approssimabile a 15 piedi e $\frac{1}{2}$. Una considerazione particolare emerge dal confronto dello schema appena descritto con le campate delle navate laterali trasformate altimetricamente nel XVI secolo. Queste, coperte con volte a crociera, riprendono i riferimenti compositivi di età medievale introducendo però un diverso modo di pensare la composizione architettonica. La costruzione non è più applicata allo spazio vuoto bensì agli interassi; non più pieni e vuoti accostati tra loro ma una griglia geometrica invisibile composta da interassi e fili fissi alla quale ancorare gli elementi architettonici.

La facciata romanica¹⁵ di San Bartolomeo si presenta ripartita in 5 campate da un sistema porticato addossato alla muratura portante. All'interno delle campate sono posti: in quella centrale il portale principale, sormontato dall'architrave scolpito, e in quelle più esterne i due portali secondari. Le arcate ospitanti i portali sono alternate a spazi di muratura continua decorati da losanghe quadrate. Aspetto dominante è la bicromia data dall'alternanza di marmi bianchi e verdi. In realtà le applicazioni marmoree sono limitate, come nelle facciate di Sant'Andrea e San Pier Maggiore¹⁶, alle sole ghiere degli archi e alla porzione di parete medievale sovrastante il porticato. La parete di fondo e gli ordini architettonici sono realizzati in pietra arenaria. La diversità materiche dovevano essere state utilizzate dai costruttori in modo da sottolineare, attraverso la bicromia, gli elementi rappresentativi della nuova tipologia costruttiva, che si sovrapponeva agli stili propri della cultura architettonica locale già consolidata¹⁷. È nelle misure del finto porticato e delle parti marmoree che si ritrovano le logiche compositive evidenziate fino ad ora.

La facciata ha una lunghezza di 17,01 m e un'altezza in colmo di 20 m; la parte medievale ha un'altezza di 10,88 m ed è quindi riconducibile a un rettangolo di larghezza 50 piedi e altezza 31 e $\frac{1}{2}$. In questo caso, mentre le misure in larghezza sono certe quelle in altezza sono

viziate dall'incertezza della parte basamentale in quanto la pavimentazione della piazza antistante la chiesa non è certamente quella originale¹⁸. È comunque possibile condurre le indagini a partire dal basamento che corre lungo la fabbrica e che a Pistoia è presente in tutte le chiese di questo periodo.

Una volta definite le misure generali, il processo che il progettista adotta per il disegno della facciata sembra strutturarsi per fasi che vanno dal generale al particolare, utilizzando operazioni geometriche ogni volta consone alla scala in cui sta operando.

Tolte le fasce di 1 piede e $\frac{1}{2}$ poste ai due lati della fac-

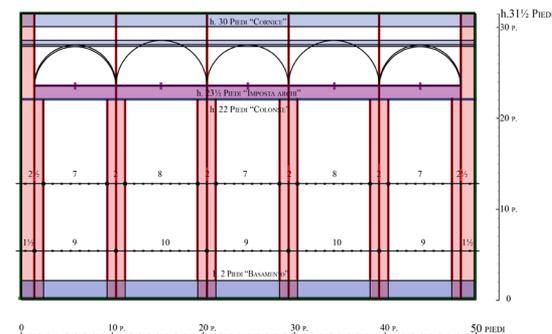
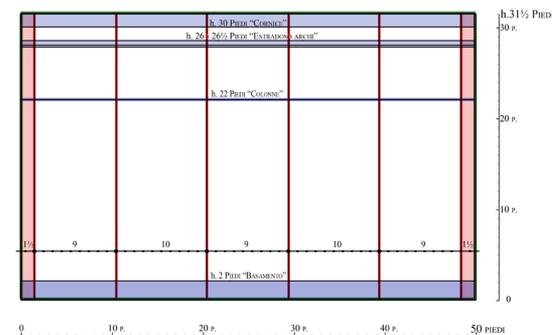


Fig.15a - Schema teorico della facciata delle prime fasi progettuali; sono individuate le scansioni orizzontali - fili fissi - e la definizione delle principali misure in altezza.

Fig. 15b- Lo schema è stato completato con gli spazi per le colonne e la determinazione degli'estradossi degli archi

ciata come raccordo con il basamento e la gronda che corrono lungo i fianchi, si suddivide lo spazio in 5 campi spartiti da colonne addossate alla parete di fondo. La sequenza risulta:

pieditto – a – b – a – b – a – piedritto.

Gli spazi così ottenuti, misurati da interasse a interasse, hanno valore, quelli indicati con a (campo che ospiterà i portali d'accesso), 9 piedi e 10 piedi quelli indicati con b (campo vuoto). Queste misure corrispondono anche all'ampiezza massima delle circonferenze che descrivono gli estradossi degli archi; questi sono infatti tra loro tangenti in prossimità degli interassi.

Lo schema numerico che ne deriva è:

$$1\frac{1}{2} + 9 + 10 + 9 + 10 + 9 + 1\frac{1}{2} = 50.$$

Altimetricamente vengono fissate alcune quote fondamentali: 2 piedi è l'altezza del basamento¹⁹ e 20 piedi l'altezza degli appoggi verticali siano questi colonne o piedritti. L'altezza massima degli archi è posta a 28 piedi da terra per quelli delle campate di tipo "a" e a 28 piedi e ½ per quelli di tipo "b". Al di sopra degli archi la muratura (rivestita di marmi bianchi e verdi) raggiunge la quota di 30 piedi dove è posta una cornice di marmo scolpita a motivi floreali alta 1 piede e ½ così da raggiungere i 31 piedi e ½ totali. (Fig.15a) Tutta la parte decorativa, compresa la cornice, sporge, rispetto alla muratura circa 65 cm. Lo spessore della facciata è così composto di due parti distinte: 1 piede e ¾ per il portico e 2 piedi e ¼ per la parete muraria vera e propria. Fissate le misure generali è possibile disegnare le circonferenze che descrivono gli estradossi degli archi. Anche in questo caso si hanno archi a tutto sesto rialzato; questi risultano per le campate "a" 6 piedi di altezza e 9 di larghezza e per le campate "b" 6 piedi e ½ di altezza e 10 di ampiezza. Il piedritto utilizzato per svincolare le misure dall'uso dell'arco a tutto sesto ha per tutti gli appoggi di facciata un'altezza pari a 1 piede e ½.

La geometria di questi archi è particolare in quanto le ghiera non si raccordano al piedritto, ma vi si inglobano, continuando l'andamento curvilineo. Questa tipologia trova le sue origini nell'arco orientale ispirandosi probabilmente all'arco detto a ferro di cavallo la cui caratteristica è quella di richiudersi su se stesso²⁰. (Fig. 17)

Prima di definire le circonferenze che descrivono gli intradossi, vengono sistemate, a cavallo degli interassi, delle fasce di ampiezza 2 piedi nelle quali troveranno posto i sostegni verticali. Le colonne avranno un dia-

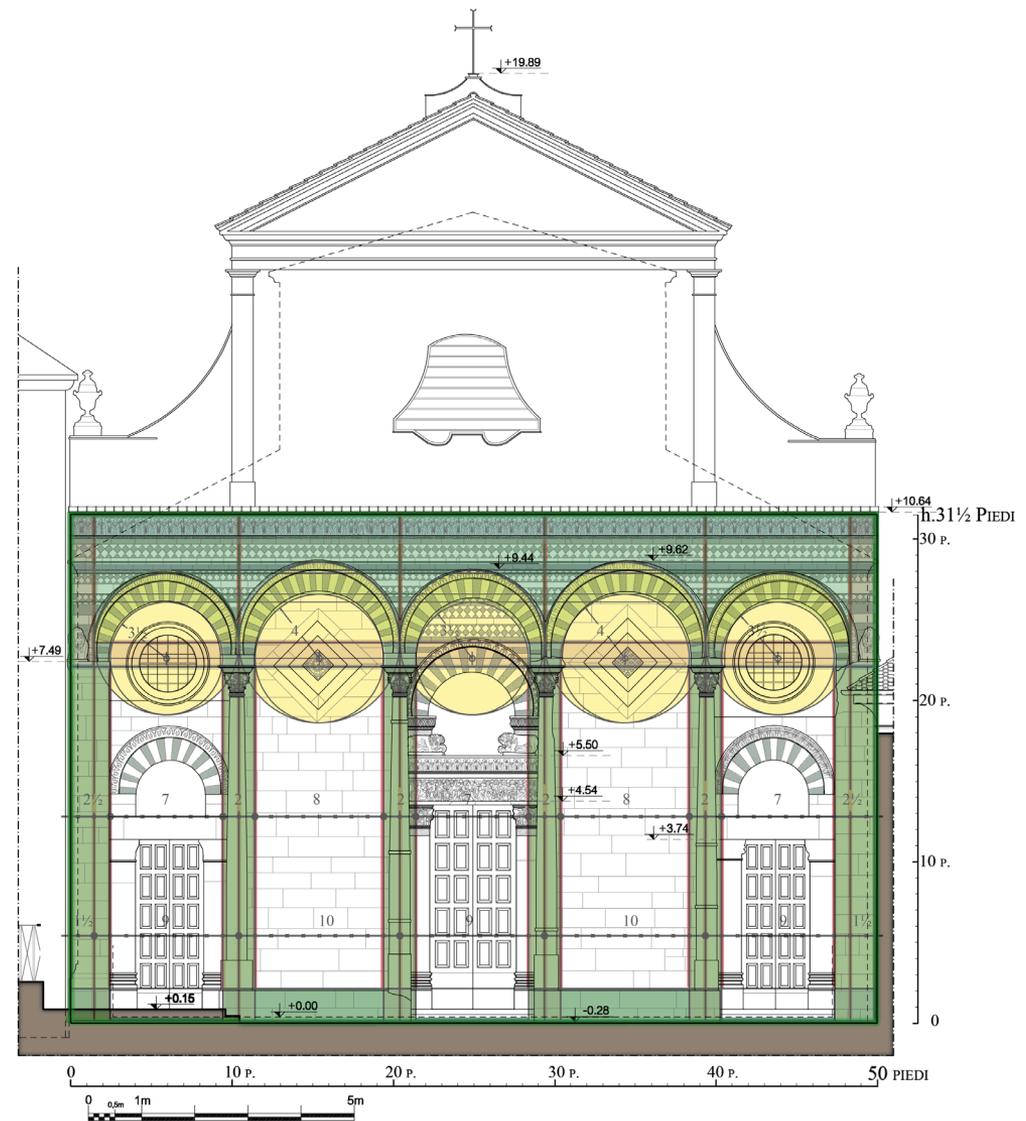


Fig.16 – Elaborazione del rilievo della facciata di San Bartolomeo con sovrapposizione degli schemi costruttivi. In verde sono evidenziate le parti le cui misure sono state descritte dagli schemi 15a e 15b, in giallo le circonferenze tra loro tangenti che descrivono intradossi ed estradossi degli archi.

metro all'imoscapo di circa 1 piede e $\frac{1}{4}$ e al sommoscapo di $\frac{7}{8}$ di piede. Ai piedritti laterali, rispetto all'asse, sarà aggiunta una fascia interna di 1 piede raggiungendo così una larghezza 2 piedi e $\frac{1}{2}$; la ghiera dell'arco sovrastante il pilastro non sarà quindi in posizione centrale.

La scansione così completata (Fig. 15b) è descritta dalla sequenza:

$$2\frac{1}{2} - 7 - 2 - 8 - 2 - 7 - 2 - 8 - 2 - 7 - 2\frac{1}{2}.$$

A questo punto è possibile descrivere le circonferenze intradosali. In questo caso vengono utilizzati archi a tutto sesto per cui sugli spazi di larghezza 7 piedi si hanno circonferenze di raggio 3 piedi e $\frac{1}{2}$, e su quelle larghe 8 piedi circonferenze di raggio 4 piedi.

Queste circonferenze hanno tutte l'imposta a 22 piedi e $\frac{1}{2}$. Le ghiera sono di conseguenza a spessore variabile²¹: all'imposta lo spessore è di 1 piede mentre in chiave raggiunge i 2 piedi. Se tracciate nella loro interezza le circonferenze che descrivono l'intradosso e l'estradosso risultano tra loro tangenti in corrispondenza dell'asse centrale della campata. (Fig.16) Questa particolarità geometrica permette di determinare con semplicità le curve degli archi, il rapporto che intercorre tra questi e le centine necessarie per la loro costruzione. Infatti, ciò che in questa analisi è il risultato, per l'architetto, doveva essere l'assunto da cui partire per una rigorosa definizione delle misure da attribuire alle parti. Le costruzioni geometriche, oggi quasi completamente relegate alla didattica del disegno, erano nel medioevo strumento fondamentale per la risoluzione dei problemi dell'architettura.

All'interno della muratura sottostante le arcate, l'architetto, deve aver fissato la posizione e le proporzioni di portali e formelle quadrate la cui realizzazione poteva essere demandata a maestranze che non necessariamente dovevano operare in cantiere. A partire dallo schema d'insieme, ogni elemento è studiato autonomamente nei suoi caratteri compositivo-costruttivi per permetterne una corretta realizzazione.

Le due arcate più grandi, ampiezza 8 piedi, ospitano delle mandorle quadrate orientate rispetto alla diagonale. Questi elementi decorativi sono pensati in modo da contenere al loro interno tutta la sintesi logica del progetto.

Le formelle quadrate, realizzate fuori opera e applicate al momento opportuno, hanno entrambe il lato di 5 piedi esatti. Questo quadrato ha la diagonale approssi-

mabile al valore intero di 7, caratteristica che ne facilita la costruzione. Le losanghe sono composte da lastre di pietra tagliate a misura con angoli a quartabuono che ne permettono la perfetta giunzione. La loro scansione in fasce di pietra segue una griglia modulare data dalla divisione del lato del quadrato in 8 parti uguali²². È possibile quindi che la misura usata a Pistoia avesse sottomultipli in base 8.

La divisione in 8 permette di realizzare 3 cornici di spessore $\frac{5}{8}$ di piede così che la parte centrale, riservata alla mandorla (circolare con intarsi di marmo verde su controcassa di marmo bianco) sia inscritta in un quadrato di lato $\frac{5}{4}$ di piede. (Figg. 17-18)

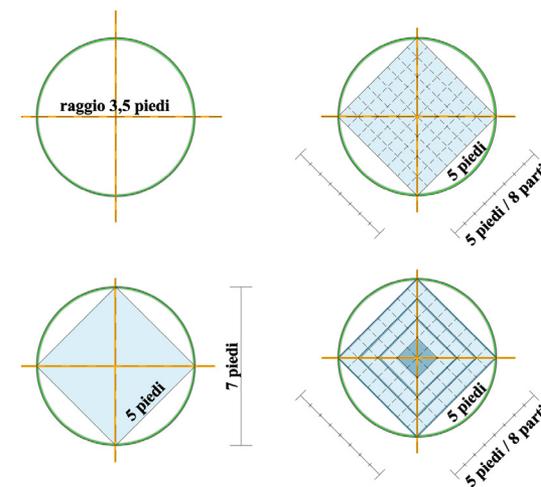
Le mandorle riportano disegni basati sull'intreccio di circonferenze di diametro $\frac{5}{8}$ di piede con inseriti elementi decorativi di varia natura; specifiche nozioni geometriche sono alla base di queste decorazioni. Se la realizzazione delle mandorle può essere demandata ad artigiani specializzati, il loro posizionamento all'interno della campata deve essere stato esattamente calcolato dall'ideatore dell'intera fabbrica. La loro posizione è geometricamente legata alle arcate sovrastanti e al processo geometrico che le ha generate.

Riprendendo l'analisi della campata in cui è inserita la mandorla, a partire dalla larghezza che intercorre tra i due appoggi, 8 piedi se misurata alle basi delle colonne, si considera un quadrato di lato pari alla larghezza della campata. A partire dal basamento si posizionano due quadrati sovrapposti definendo così un rettangolo con rapporto larghezza/altezza di 1 a 2 al termine del quale deve essere posizionata (sull'asse della campata) la mandorla. In questo punto le tre circonferenze fondamentali, (la più piccola di diametro 7 piedi inscrive la losanga, le altre due, rispettivamente 8 e 10 piedi, determinano intradosso ed estradosso degli archi del loggiato) risultano tra loro tangenti. (Fig. 19) In questo modo i rapporti che devono intercorrere tra le circonferenze, la loro costruzione e le posizioni dei loro centri sono individuabili dividendo a metà tre segmenti posizionati a partire da un unico punto di origine. I quadrati inscritti in queste circonferenze hanno tra loro un rapporto geometrico preciso derivante dalla valenza aritmetica propria delle tre circonferenze scelte. Supponendo che il modulo di partenza non sia la mandorla ma un quadrato di lato $1/2^{23}$, assumendolo come unità, si ricava il rettangolo di rapporto 1 a 2 e da questo il quadrato di lato 2 e area 4 (corrispondente alla man-



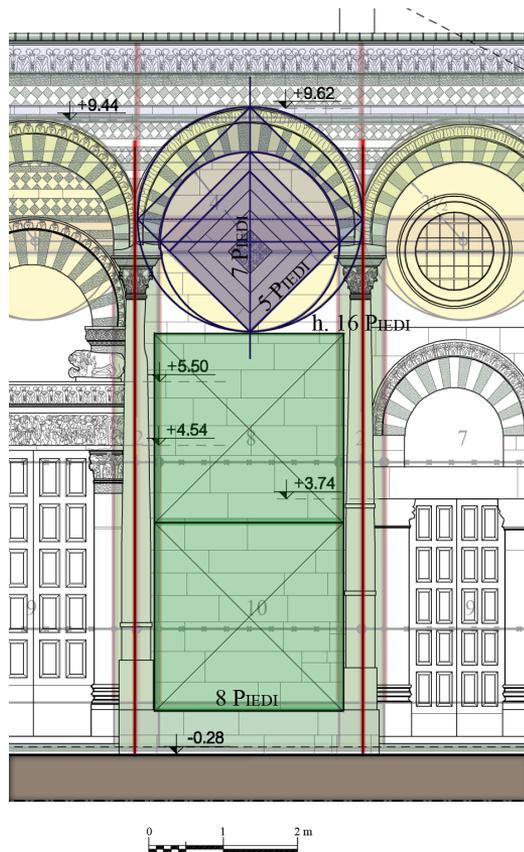
Sopra Fig.17 – Particolare della facciata. La ghiera dell'arco nella campata di 10 piedi (tipo a) ospitante, nella muratura piena la formella quadrata.

Sotto Fig.18 – Ricostruzione geometrica delle formelle a partire da una circonferenza di raggio 3 piedi e $\frac{1}{2}$.



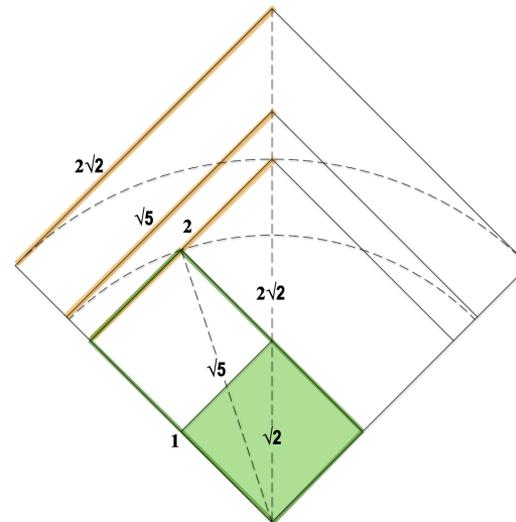
dorla), ribaltando la diagonale del rettangolo sul prolungamento del lato del primo quadrato si trova (approssimata) la misura del secondo quadrato (lato $1\sqrt{5}$ e area 5) e, ribaltando la diagonale del primo quadrato si ottiene l'ultimo quadrato di lato $2\sqrt{2}$ e area doppia del primo. (Fig. 20) La costruzione degli archi è completa e, le relazioni geometriche ne permettono, con facilità, sia il disegno che la costruzione che il calcolo dei materiali impiegati.

Lo studio esposto, nel lavoro completo, ha riguardato anche tutti gli altri elementi architettonici che compongono la fabbrica mostrando anche per questi la loro generazione a partire da precise geometrie.



I risultati ottenuti dall'analisi condotta dimostrano come anche Pistoia, in età medievale, stesse partecipando, in maniera attiva, a quel processo innovativo messo in luce dalla storia dell'architettura per i grandi cantieri di Pisa e Lucca. Il pensiero secondo il quale sono soltanto questi a detenere conoscenza e tecnica deve essere abbandonato. Le architetture del passato, anche quelle ritenute marginali, sono, se analizzate con i giusti strumenti, l'esplicito racconto dei saperi della società che le ha realizzate.

Il rilievo della chiesa di San Bartolomeo, grazie alla sua analisi critica, ha permesso di mettere in luce conoscenze scientifiche e interculturali che confermano come le idee d'innovazione e progresso fossero parte integrante di tutta la società medievale.



A fianco Fig.19 – Riferimenti geometrici per il posizionamento della losanga all'interno della campata, essa è strettamente legata alle circonferenze che descrivono la ghiera dell'arco essendo posizionata a partire dal loro punto di tangenza.

Sopra Fig.20 - Costruzione della losanga a partire da un modulo unitario e determinazione dei rapporti tra le parti.

NOTE

[1] Per quanto riguarda i riferimenti storici si rimanda ai due testi recenti: (GUIDICELLI-GUALDABASCHI 1999) e (BRUSCHI 1981); e a tre pubblicazioni storiche: (TURI 1961), (BEANI 1907) e (BORELLI 1754).

[2] Personalità importante alla corte Longobarda, medico di Re Destidario, rivestì un ruolo fondamentale nella diffusione del cristianesimo in Italia; fondatore di numerosi spedali e monasteri tra cui quello di Pavia dal quale, per molto tempo, dipese anche San Bartolomeo.

[3] Per approfondimenti si rimanda alla Tesi di Dottorato da cui è tratto il presente lavoro. (GANGETTI 2011)

[4] Questa operazione è stata condotta non soltanto per la facciata ma per tutte le parti di cui gli elaborati hanno restituito l'orditura muraria: facciata, controfacciata, sezione longitudinale, corpo absidale.

[5] "fu solo in Italia che i Greci e i Romani (...) riuscirono a produrre un tipo edilizio che, sebbene concepito entro lo schema degli ordini e dei materiali tradizionali, guarda tanto all'esterno che all'interno. Si tratta della basilica. Il vocabolario architettonico rimaneva lo stesso, ma la sintassi era nuova." (PERKINS 1974), p. 63

[6] Mario Salmi, nell'introduzione al volume "L'architettura romanica in Italia" afferma: "il tipo basilicale della chiesa a tre navi con un abside, spartita da agili colonnati (...) si era mutato nei primi secoli del medioevo (...) fino alle tre absidi con cui terminavano i nuovi templi (...) questo ad affermare un nesso diretto tra le chiese a tre navate, monoabsidate, senza transetto molto diffuse in Toscana e le basiliche paleocristiane sviluppatesi tra il V e l'VIII secolo nel territorio di Roma. (SALMI 1968)

[7] D'Ossat nel testo "L'architettura del mondo antico" riporta la seguente descrizione "L'integrazione delle due parti (transetto e corpo principale) trova conferma nell'esame dei rapporti proporzionali della pianta, dove la diagonale dell'intero corpo longitudinale corrisponde esattamente alla lunghezza totale della chiesa, compreso il transetto ed esclusa l'abside, collegando per questo aspetto navate e transept in una composizione unitaria. Inoltre la lunghezza del solo corpo delle navate è, rispetto alla sua larghezza, nel rapporto di $1 + \sqrt{2}$, in altre parole è pari alla diagonale del quadrato costruito sul lato della facciata; conseguentemente la lunghezza totale, in base alla precedente osservazione, sta con la larghezza delle cinque navate nel rapporto di $1 + \sqrt{3}$, ripetendo un sistema di proporzionamento comune ad altre costruzioni costantiniane, non privo di sofisticati significati simbolici, ottenibile sulla carta con l'impiego del compasso e in cantiere mediante funi misurate." (BOZZONI-PARDO-ORTOLANI-VISCOGLIOSI 2006), p. 387.

[8] Per approfondimenti si rimanda alla trattazione riportata in appendice della Tesi di Dottorato (GANGETTI 2011) e ai testi di Natale Rauty riportati in bibliografia: (RAUTY 2003).

[9] Lo studio della chiesa di San Bartolomeo in Pantano si pone quale caso centrale all'interno di una più ampia ricerca (GANGETTI 2011) che ha riguardato tutte le chiese romaniche ancora presenti nella città di Pistoia e il loro confronto con alcuni casi affini presenti nei territori di Lucca e Pisa.

[10] Per l'approfondimento di tale argomento si rimanda alla trattazione riportata in appendice della Tesi di Dottorato da cui è tratto il presente lavoro. (GANGETTI 2011)

[11] Lo spazio absidale non è una semicirconferenza, bensì una porzione maggiore di cerchio. La circonferenza che descrive il perimetro interno ha un diametro di 15,5 piedi circa, mentre la sua profondità interna, è 10 piedi esatti.

[12] (BARTOLI 2009)

[13] Le murature longitudinali esterne sono approssimabili, sopra il basamento, a 73,60 cm mentre alla quota pavimentale risultano 1,03 m equivalenti a 3 piedi.

[14] In generale negli studi condotti sulle altimetrie si deve tener conto che le incertezze dovute ai modificarsi nel tempo del manufatto, aumentano notevolmente: frequenti sono gli interventi alle pavimentazioni e/o alle coperture. Anche a San Bartolomeo sono da mettere in evidenza alcuni eventi che possono aver modificato le quote altimetriche. La pavimentazione infatti, fu fatta rialzare nel 1630 dall'abate don Angiolo Gabbrilli; di conseguenza furono rifatti i piedistalli delle colonne, la scalinata del presbitero e i piedistalli degli altari. La navata centrale fu fatta coprire con una volta dall'abate Giuliano Baldinotti. Di questa, ad oggi, non vi è più alcuna traccia in quanto nel 1864 la volta era già pericolante tanto che la chiesa fu chiusa per iniziare una serie di restauri che riportarono all'originale disposizione. Una prima stagione di restauri che terminarono nel 1869 riguardarono la demolizione della volta, la riapertura di alcune finestre tamponate e il totale restauro della navata centrale. Una seconda campagna condotta da Pilo Turi (l'allora Soprintendente ai Monumenti) dal 1951 al 1961 riportò il complesso all'originale sistema medievale attraverso l'eliminazione degli altari barocchi, compreso l'altare maggiore al cui posto fu collocato quello della chiesa di San Pier Maggior, e il recupero della quota pavimentale originale in coccio pesto.

Delle opere di trasformazione della chiesa furono lasciate solo le volte a crociera nelle navate laterali.

[15] La parte superiore della facciata fa parte delle trasformazioni barocche e più precisamente risale ai lavori eseguiti da maestro Simone Mandelli nel 1740. (BRUSCHI 1981)

[16] A Pistoia fa eccezione la facciata della Cattedrale di San Zeno tutta rivestita di marmi, e probabilmente, se realizzata, la Facciata di San Giovanni Fuorcivitas.

[17] Per approfondimenti si rimanda all'analisi delle facciate delle chiese minori di Pistoia e alle chiese pisane di San Piero in Grado, San Pierino e San Frediano, presenti nella Tesi di Dottorato da cui è tratto il lavoro. (GANGETTI 2011)

[18] La quota pavimentale interna, originale (si veda nota n°11) è più bassa rispetto alle soglie dei portali di circa 15 cm. Le soglie però, (come riportato in alcuni documenti d'archivio (GUIDICELLI-GUALDABASCHI 1999)) furono sostituite in più occasioni durante il XVI secolo. In facciata non si hanno quindi quote basamentali certe.

[19] Questa misura pecca dei problemi d'individuazione della quota pavimentale originale, già esposti, ed essendo stata prelevata dalla quota esterna della piazza attuale è certamente inferiore a quella medievale. Dal confronto con la misura prelevata su altre parti della fabbrica e su altre chiese pistoiesi (abside di San Bartolomeo 96 cm, chiesa di San Michele in Cioncio 2,5 piedi = 0,855m, ecc...) si può ipotizzare un valore di 2,5 piedi che porterebbe l'altezza della facciata medievale a 32 piedi esatti.

[20] Influenze orientali giunsero nella città di Pistoia attraverso le maestranze che operavano nei cantieri delle vicine Pisa e Lucca.

[21] La ghiera a spessore variabile è un altro elemento di derivazione araba presente nelle architetture romaniche pistoiesi.

[22] La divisione in multipli del 2 era una delle operazioni più frequenti in quanto era risolta utiliz-

zando delle corde e applicandovi il metodo della bipartizione più volte di seguito.

[23] Tale quadrato, posto con la diagonale sull'asse di mezzera, individua il centro della formella.

BIBLIOGRAFIA

Bartoli, Maria Teresa (2009), Santa Maria Novella a Firenze. Algoritmi della scolastica per l'architettura, Edifir, Firenze;

Beani, Gaetano, monsignore (1907), S. Bartolomeo Ap. La chiesa e l'abbazia in Pistoia, Casa Tipo Lito Editrice Sinibuldiana, Pistoia;

Borelli, Giuseppe, sacerdote pistojese (1754), Fondazione e progressi della venerabile abbazia di S. Bartolomeo di Pistoia, Di commissione del Reverendissimo Padre D. Giuliano Baldinotti Abbate attuale della medesima Abbazia, in Pistoia MDCCCLIV, per Atto Bacali Stampator del Pubblico CON LIC. DE' SUP.;

Bozzoni, Corrado, Pardo Franchetti, Vittorio, Ortolani, Giorgio, Viscogliosi, Alessandro (2006), L'architettura del mondo antico, Editori Laterza, Garndi Opere;

Bruschi, Mario (1981), Il complesso abbaziale di S. Bartolomeo in Pistoia, ECOP, Pistoia;

D'Ossat, G. De Angelis 1970, Proporzioni e proporzionalità. Due lezioni di architettura, in Spazialità e simbolismo delle basiliche ravennate, in Corsi di cultura sull'arte ravennate e bizantina, Ravenna;

Gangetti, Erica (2011), San Bartolomeo in Pantano. Le chiese romaniche e il disegno urbano di

Pistoia, Tesi di Dottorato di Ricerca D.P.R. 11/7/1980- Ciclo XXIV- Gennaio 2011, Università degli Studi di Firenze – Dipartimento di architettura: Disegno, Storia, Progetto – Dottorato di Ricerca in Rilievo e Rappresentazione dell'Architettura e dell'Ambiente – Settore disciplinare ICAR 17;

Guidicelli, Massimiliano, Guardaboschi, Marcello (1999), Monasterium Sancti Bartholomaei. Ricerche storiche sul complesso abbaziale di Pistoia, Editrice C.R.T.; Perkins, John Bryan Ward (1974), Architettura Romanica, Electa;

Rauty, Natale (2003), Appunti di metrologia pistoiese, Società di Storia Patria (1975), in: Rauty, Natale (2003), Pistoia: città e territorio nel Medioevo, Società pistoiese di storia e patria;

Salmi, Mario (1968), L'architettura romanica in Toscana, Casa editrice d'arte Bestelli – e – Tumminelli, Milano – Roma;

Tigri, Giuseppe (1979), Pistoia e il suo territorio. Pescia e i suoi dintorni, Atesa Editrice, Bologna;

Turi, Pilo (1961), I restauri della chiesa di s. Bartolomeo in Pantano ed il pergamino di Guido da Como, Estratto dal Bollettino Storico Pistoiese (Nuova Serie) vol. III, fasc. II, Ed. Cav. Alberto Pacinotti & C., Pistoia.