

Grazia Tucci
Università di Firenze

Il rilievo digitale del Battistero: dati 3D per nuove riflessioni critiche

Ogni edificio testimonia la concezione spaziale del proprio tempo e costituisce una soluzione peculiare – talvolta unica – di un problema costruttivo. Ciò posto, esso rappresenta, specie per le grandi fabbriche del passato, molto lontane dal modo attuale di intendere l'architettura, il documento più verace (e l'unico inoppugnabile) delle loro vicende storiche, dalla fase d'impianto alla conformazione attuale.

Con ragione, a partire dal Rinascimento, il rilievo è stato riconosciuto come la pratica più pertinente ed incisiva per lo studio del costruito, assumendo un ruolo fondamentale nella formazione per l'esercizio professionale dell'architetto.

Ovviamente, la minuziosa attività di misurazione e “lettura” di un edificio e dei suoi elementi, da registrare in eidotipi e poi in elaborati grafici di adeguata compiutezza, che ne descrivano le parti più significative, non può darsi una volta per tutte, ma va aggiornata di continuo, in rapporto a nuove esigenze ed opportunità d'indagine, anche per il sopraggiungere di sistemi e mezzi tecnici più avanzati e risolutivi. Questo non solo per ciò che attiene le diverse finalità e i criteri di rilievo (geometrico, costruttivo, materico e stratigrafico, ecc.) e le sue valenze “diagnostiche”, ma perché si modificano nel tempo le condizioni che potremmo definire paratestuali. Ad esempio, nella storia delle raffigurazioni di ogni grande fabbrica, quale il Battistero, assistiamo assieme al diversificarsi delle rappresentazioni grafiche a quello delle tecniche di disegno che variano anche in funzione della loro riproducibilità a stampa. Le diverse tecniche di cui ci è avvalsi (al tratto, a mezzatinta, a colori, fotografica...) condizionano infatti la scelta degli elementi da rilevare, così come i formati di stampa finiscono inevitabilmente per determinare la scala metrica di rappresentazione e quindi, in ultima analisi, il livello di dettaglio a cui spingere la campagna, molto onerosa, di acquisizione dei dati.

Un fattore decisivo è quello degli strumenti di misura disponibili: per secoli quelli del rilevatore, rimasti pressoché invariati, erano gli stessi che utilizzavano i costruttori, come i longimetri, il filo a piombo, la livella e pochi altri.

Solo dalla fine del XIX secolo il rilievo strumentale si è rivolto all'architettura, con un percorso dapprima lento, trovando impiego in pochi casi d'eccezione.

Il Battistero di San Giovanni è uno dei casi a cui si sono precocemente applicate le più moderne tecniche di rilievo via via a disposizione. Nonostante il carattere episodico, queste iniziative denotano, sin dagli esordi, la crescente consapevolezza da parte degli studiosi che il rilievo – e la misura in sé – era lo strumento basilico di analisi e interpretazione della fabbrica, capace di sceverare i diversi assunti, privi di riscontri certi, che incardinavano l'esegesi critica.

Precedenti esperienze di rilievo strumentale

In preparazione del nuovo rilievo, si sono presi in esame i principali elaborati metrici prodotti nel '900, focalizzando l'attenzione su quelli basati su misure di prima mano e che non fossero rielaborazioni di disegni altrui. Considerando peraltro che il nostro compito riguardava il rilievo

delle sole parti fuori terra, si è fatta astrazione da quelli delle strutture ipogee e di quanto emerso dagli scavi archeologici, pur consci del loro importante contributo a una migliore conoscenza delle vicende costruttive e delle soglie cronologiche del Battistero.

Una notevole campagna di rilievi fu condotta da Rodolfo Sabatini¹ in occasione dei restauri eseguiti dal 1938 al 1944. Oltre ad una serie di disegni su lucido ed acquerelli degli alzati (poi smarriti), redatti nell'ambito di questo intervento, è da segnalare che Guglielmo de Angelis D'Ossat suggerì allora di eseguire il rilievo topografico della curvatura della cupola. Le operazioni di misura furono svolte dal geom. Giulio Padelli (assistente tecnico al cantiere di restauro) con un teodolite Zeiss dell'Istituto Geografico Militare. Il lavoro fu compiuto rilevando per intersezione in avanti sei soli punti su di un costolone della cupola.

Nel 1973, Carla Pietramellara² compì quello che possiamo considerare l'ultimo rilievo del Battistero condotto secondo i criteri del passato. Rivolto in particolare agli aspetti strutturali e costruttivi della fabbrica e alla relazione fra questa ed il contesto archeologico (compresi i più recenti scavi eseguiti nella piazza), esso mostra, in tre piante ed una sezione, anche la conformazione d'insieme dell'edificio. Tuttavia, gli elaborati (di grande formato, ma stampati a scale diverse), privi di misure, con la sola presenza della scala metrica, mancano di qualsiasi delucidazione circa il metodo di rilevamento. E' comunque evidente che esso fu condotto con misurazioni dirette, come può evincersi dalla sostanziale correttezza delle planimetrie a fronte dei notevoli errori della sezione, attesa la difficoltà di misurare grandi altezze con strumenti tradizionali.

Tra i rilievi coordinati da Giuseppe Rocchi³ negli anni '80 e '90, quello di Sergio Corsucci, Mauro Dalzocchio e Leonardo Pedini (1981)⁴ impiega ancora metodi di misura tradizionali, pur evidenziando, con il riporto delle misure, una crescente attenzione per i metadati delle operazioni di rilievo, ovvero le informazioni utili a ricostruire ed eventualmente collaudare il rilievo stesso.

La pianta del rilievo di Prisca Giovannini,⁵ il più recente (1995) tra quelli che impiegano estensivamente misure dirette, è sovrapponibile a quella da noi ottenuta con il rilievo strumentale. Gli sfondi della sezione, specie nel rivestimento delle pareti viste di scorcio, scontano invece i limiti della restituzione grafica manuale. Interessante è però il fatto che durante questa campagna di rilievi venissero eseguite anche acquisizioni strumentali con diverse tecnologie.

Lamberto Ippolito⁶ ha fornito un rilievo fotogrammetrico della facciata interna del lato Nord, comprendente anche il quadro fessurativo. Nel 1998, Walter Ferri⁷ eseguì invece un rilievo fotogrammetrico della cupola da cui fu ricavata un'ortimmagine dell'intradosso in vista zenitale, cui si accompagnano tre serie di profili desunti dal modello numerico.

Nuove misure con strumentazione topografica sono state effettuate da Paolo Aminti⁸ (1989) e Luca Giorgi⁹ (1995). Queste riguardano i costoloni dell'intradosso della cupola e, nell'ultimo caso, anche uno spigolo dell'edificio dalla quota del suolo fino alla sommità della lanterna. Rispetto al rilievo di Sabatini, ci si è avvalsi in questi casi per il rilievo di dettaglio del più innovativo sistema G.T.S. di Galileo Siscam che permetteva di eseguire intersezioni in avanti (con sole misure angolari) con l'impiego di due stazioni totali (una munita di puntatore laser per tracciare il punto da collimare con la seconda). Il collegamento delle due stazioni ad un PC consentiva il controllo interattivo dei risultati e degli errori di collimazione.

Nel 1999, Gabriella Caroti e Gabriele Fangi¹⁰ sperimentarono per primi l'impiego di un laser scanner per rilievo della geometria della cupola. Lo strumento utilizzato (MDL Quarryman Ace300) era concepito essenzialmente per applicazioni in ambito geologico ed estrattivo. Furono acquisiti

12.000 punti su tutta la cupola, un numero molto inferiore a quanto conseguibile con laser scanner di ultima generazione (capaci di acquisire fino a un milione di punti al secondo), ma assai più grande di quanto ottenuto in tutti i rilievi precedenti. Vale la pena di ricordare che, nella stessa esperienza, i dati da scansione furono confrontati con quelli appositamente misurati con un altro strumento per quegli anni innovativo: una stazione totale Topcon GTP1002 *reflectorless*, che consentiva la misura della distanza di punti fisicamente inaccessibili – purché visibili –, non avendo bisogno di un prisma riflettente come gli strumenti impiegati in precedenza.

Dalla rassegna complessiva di queste esperienze si può evincere che gli studiosi, commissionando o svolgendo in prima persona analisi sempre più accurate, abbiano condiviso la consapevolezza di non poter prescindere per le ipotesi circa la storia, le tecniche costruttive e la statica dell'edificio dai dati che solo una approfondita conoscenza metrica e delle geometrie del Battistero è in grado di fornire, così come quella proveniente da esami diagnostici.

E' del resto noto che le indagini in genere e in particolare i rilievi richiedono molto tempo, sia sul campo che per il trattamento dei dati e la restituzione grafica; ciascuna delle esperienze descritte ha utilizzato al meglio le tecnologie disponibili, ottimizzando i risultati in proporzione all'impegno necessario per conseguirli.

Le tecniche di acquisizione automatizzata di informazioni spaziali riunite sotto il nome di Geomatica – in particolare la scansione laser e la fotogrammetria terrestre – hanno registrato una notevolissima evoluzione negli ultimi anni e sono discipline mature capaci di confrontarsi con temi di qualsiasi scala e complessità. E' ormai possibile gestire efficacemente l'acquisizione tridimensionale completa di grandi fabbriche, avendo per soli limiti l'accessibilità fisica, quelli del tempo e delle risorse umane e tecniche a disposizione.

Il nuovo rilievo: acquisizione dei dati

Il nuovo rilievo è stato dedicato all'acquisizione di tutte le superfici fuori terra: oltre a tutte le piante (compresa quella delle coperture) ed alla sezione già rappresentata in rilievi precedenti, si è provveduto ad eseguire due nuove sezioni, nonché al montaggio di tutti i prospetti, restituendo così lo sviluppo complessivo dell'involucro parietale del Battistero. La disponibilità di un completo database di coordinate spaziali ad elevata densità consentirà di estrarre tutte le rappresentazioni grafiche desiderate, anche se non previste, fornendo un riferimento di qualità nota per il controllo di eventuali variazioni nel tempo.

La messa a punto e l'efficace svolgimento del rilievo di una fabbrica complessa come il Battistero esige una minuziosa progettazione "a monte" che tenga debito conto della geometria degli spazi, di ingombri, arredi e zone di difficile accesso, talvolta acquisibili solo con impiego di trabattelli o ponteggi. Bisogna inoltre considerare la presenza di visitatori e/o veicoli, nonché la fruizione museale del monumento e le necessità del culto, trattandosi di un luogo sacro.

Un rilievo strumentale consiste sempre nella determinazione della posizione di punti – più o meno densi, a seconda delle tecniche adottate – espressa in coordinate cartesiane. Nel nostro caso, il rilievo è stato eseguito utilizzando dei laser scanner, strumenti che consentono un'acquisizione di coordinate molto densa, tanto da far designare i risultati della scansione con il termine "nuvola di punti", ovvero, nel linguaggio tecnico, "*range map*".

L'insieme delle scansioni forma un modello 3D, dove le singole acquisizioni sono collegate tra loro grazie ad alcuni punti di appoggio, il cui sistema di riferimento è stato determinato da una rete di inquadramento topografico.

Ciò implica la necessità di definire, a priori, un unico sistema di riferimento, nel quale saranno espresse tutte le misure acquisite successivamente. Per il Battistero, si è creata una rete di inquadramento, calcolata e compensata in un sistema di riferimento locale, definita dai sette vertici di una poligonale che racchiude e attraversa l'edificio. I vertici, che fissano sul terreno il sistema di riferimento, sono stati materializzati stabilmente e monografati così da consentire successive operazioni di geo-referenziazione e collaudo.

Per l'allineamento delle scansioni eseguite all'esterno si sono misurati circa 100 punti di controllo, alcuni per il calcolo degli allineamenti, altri per verificare e validare i risultati. Si è scelto di misurare punti facilmente riconoscibili (come gli spigoli di lastre del paramento), per non coprire le superfici con segnali che sarebbero risultati visibili nelle scansioni, nascondendo in parte le facciate. All'interno, sono stati disposti in via temporanea come punti di controllo alcuni *target* misurati topograficamente. Grazie ad essi si è referenziata una scansione assunta come riferimento per allineare gli altri dati, espungendola poi dagli elaborati. Ciò a garanzia sia del rigore metrico derivante dalla referenziazione diretta, sia della completezza descrittiva delle superfici ottenuta con scansioni senza *target*.

Con una singola scansione è possibile rilevare a 360° tutto lo spazio visibile dalla posizione dello strumento, costituito da un distanziometro associato a una testa motorizzata. Ne consegue che ciascuna scansione è incompleta e per compensare reciprocamente le zone prive di dati occorre eseguire più scansioni da punti di vista diversi.

All'esterno del Battistero è stato indispensabile operare nelle prime ore del mattino delimitando temporaneamente l'area di lavoro. Con uno scanner Z+F 5010C si sono eseguite 16 scansioni (una per ciascun lato e spigolo) da circa 15 metri, alla risoluzione di 3 mm sul fabbricato. Si sono al contempo acquisiti dallo stesso punto di presa i valori cromatici RGB in modalità *High Dynamic Range* ai fini di una migliore leggibilità delle ombre profonde e delle alte luci dell'immagine. Per le parti superiori e il tetto si sono effettuate altre 5 scansioni a terra e 11 da edifici circostanti.

Per il rilievo dell'interno ci si è avvalsi dello stesso Z+F 5010C e di uno scanner Leica Geosystems HDS6000 dove l'insufficienza di luce non avrebbe permesso di acquisire i valori RGB. Sono state eseguite 241 scansioni: 34 al piano terreno, 42 nel matroneo, 55 nell'attico, 94 nelle scale e 16 nell'intercapedine tra l'estradosso della cupola e la copertura (queste ultime da appositi ponteggi).

Il nuovo rilievo: elaborati grafici 2D e 3D

Si sono allineate tutte le scansioni nel sistema di riferimento topografico grazie alle coordinate dei *target* e dei punti naturali di cui si è detto. La *range map*, composta da 14.255.787.583 punti con passo di campionamento medio da 3 a 12 mm, costituisce un modello digitale del Battistero esplorabile e misurabile, avendo acquisito le coordinate spaziali di ogni punto che definiscono forma e dimensione, nonché i valori cromatici della texture (Fig. 1). Oltre alla visualizzazione in tempo reale, si possono ovviamente ricavare sia output grafici in proiezione ortogonale (piante, sezioni e prospetti), sia elaborati 3D.



Fig. 1

Linee di sezione

Per disegnare una sezione od una pianta partendo da un modello di punti è sufficiente individuare il piano di taglio prescelto ed estrarre da esso una sezione sottile (definita *slice*) che costituirà il riferimento metrico per la restituzione. Tuttavia, un elaborato 2D redatto secondo gli usuali criteri del disegno architettonico, non si ottiene da un solo piano sezione: per tracciare quattro piante (Fig. 2) e altrettante sezioni si sono eseguite 20 *slices* complete, nonché numerose altre parziali per definire in dettaglio zone più complesse (sottosquadri, ornati, parti in proiezione, ecc.).

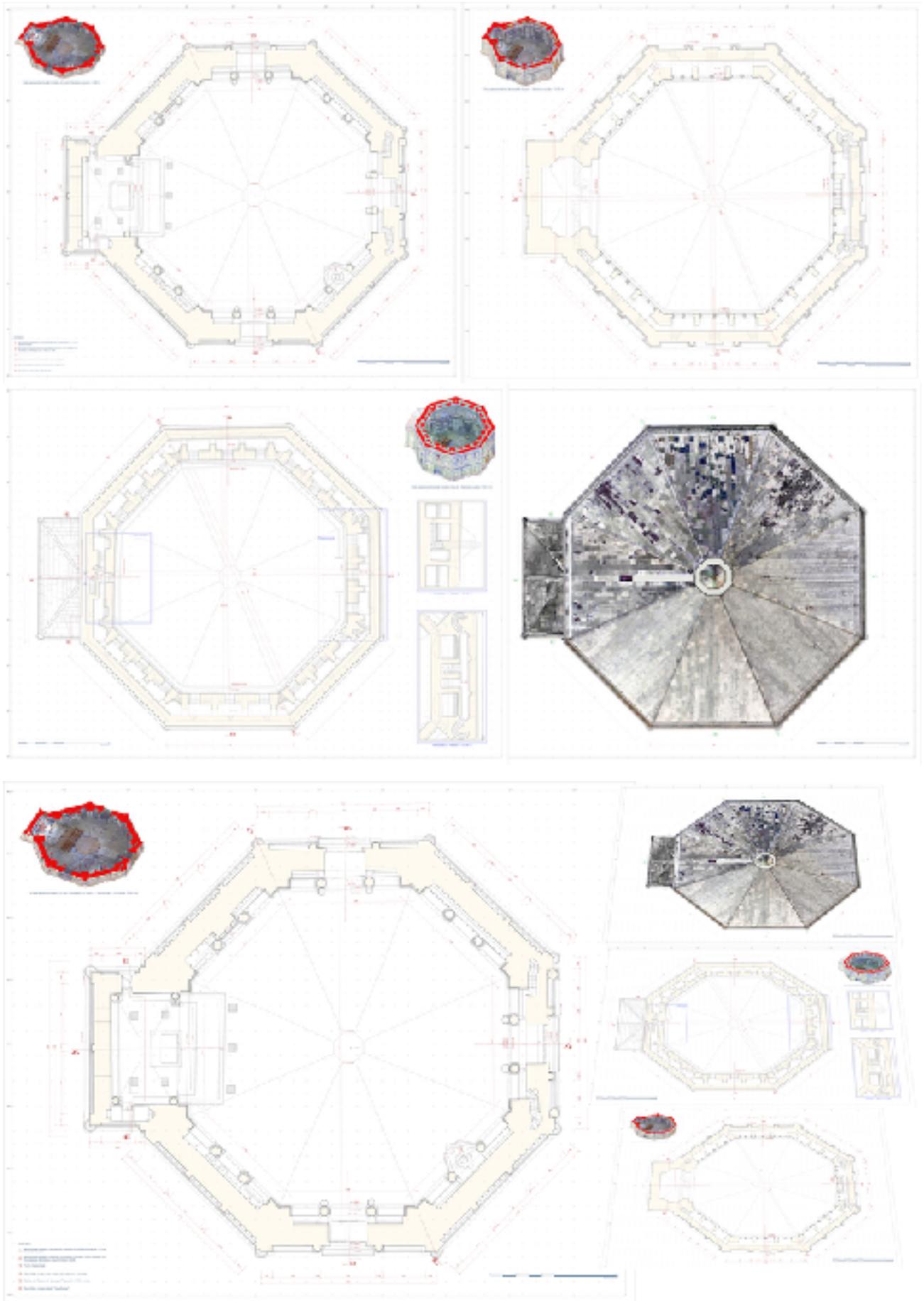


Fig. 2a, 2b.

Prospetti ed elementi in vista delle sezioni

Le superfici in vista delle sezioni ed i prospetti sono rappresentati con ortoimmagini della nuvola di punti. Questi elaborati fotorealistici mostrano il modello di punti in proiezione ortogonale – senza però gli effetti prospettici di una fotografia – ed hanno la stessa validità metrica di un disegno tecnico tradizionale.

L'elevata risoluzione delle scansioni ha prodotto una nuvola di punti molto densa che appare come una superficie continua e che è stata renderizzata secondo viste ortogonali, con risoluzione inferiore a 5 mm/pixel. Nelle immagini ottenute sono stati filtrati i canali RGB e di intensità per ottimizzarne la leggibilità, scegliendo di ognuna le parti migliori, ed infine si è eseguito il bilanciamento cromatico e tonale del mosaico così ottenuto.

Il livello di dettaglio con cui si sono prodotti i prospetti e le sezioni del Battistero (Figg. 3,4,5) è quello richiesto per una loro corretta e soddisfacente riproduzione su carta in scala 1:50. Nell'esprimere la risoluzione del dato rilevato con scansioni laser si deve distinguere l'aspetto geometrico, riferibile alla spaziatura tra punti adiacenti, da quello cromatico che dipende dalle caratteristiche della fotocamera integrata nello strumento. In ogni caso, a parità di impostazioni strumentali, la risoluzione è maggiore sulle superfici più vicine allo scanner rispetto a quelle più distanti e ciò comporta, nel rilievo dei prospetti degli edifici (almeno nel caso, assai frequente, in cui non sia possibile eseguire scansioni da postazioni sopraelevate) una risoluzione decrescente da terra verso le coperture. Per questo motivo nel rilievo del Battistero le impostazioni di scansione sono state ottimizzate al fine di ottenere elaborati nella scala richiesta per la zona più alta dei prospetti.

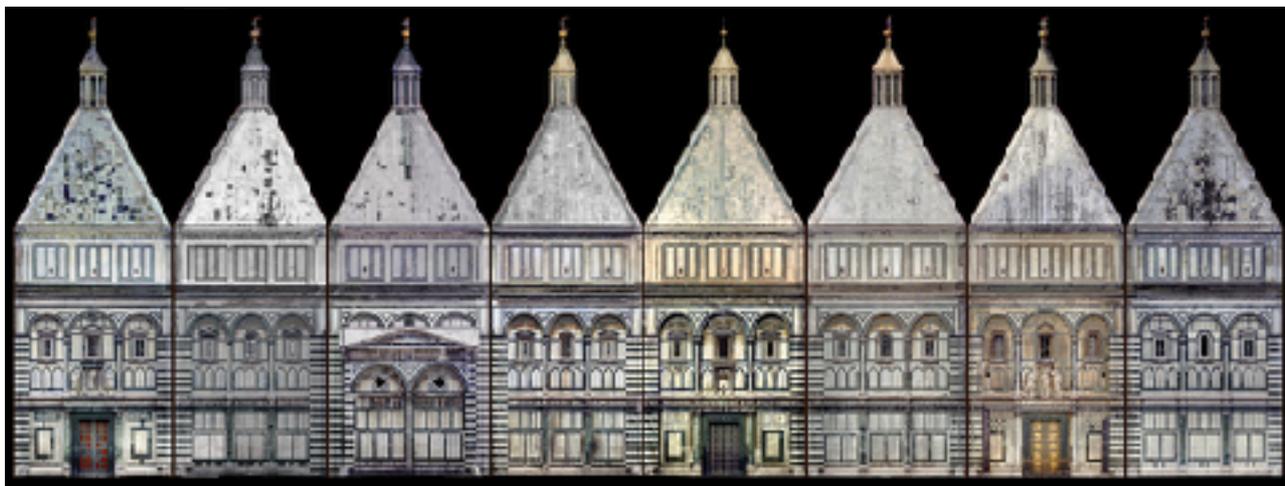


Fig. 3a.



Fig. 3b.



Fig. 4.



Fig. 5.

Dovendo documentare il fregio della scarsella con un livello di dettaglio decisamente superiore, il rilievo dei suoi tre prospetti è stato integrato con fotogrammetrie. Poiché, nel frattempo, si erano montati i ponteggi per il restauro, è stato possibile eseguire da questi delle prese fotografiche a distanza ravvicinata. Dal rilievo laser scanner si sono estratte le coordinate dei punti di controllo orientando le immagini sulla base di esse, ovvero calcolando la loro posizione di presa rispetto all'edificio. Si sono così potute produrre tre ortofoto (una per ogni lato della scarsella) che restituiscono ad altissima risoluzione i lati del fregio, tanto da consentirne una visualizzazione quasi in scala reale (Fig. 6).

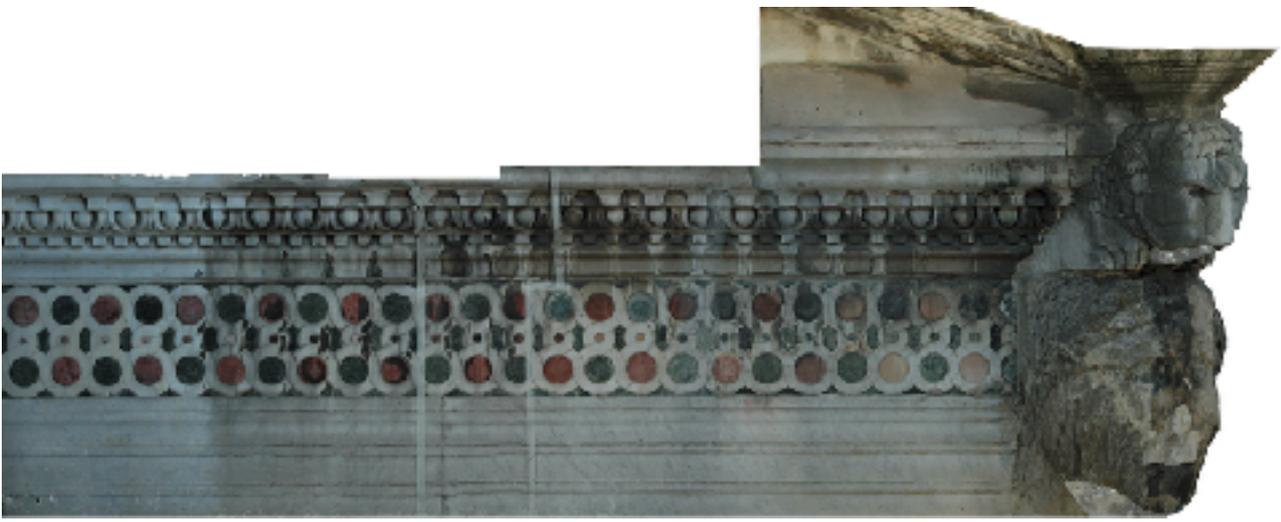


Fig. 6.

Modelli di superficie

Per alcune porzioni si sono realizzati anche dei modelli di superficie, costituiti da una maglia di triangoli (*mesh*) che riproduce con accuratezza le superfici rilevate. Questa forma di descrizione continua, a differenza del modello discreto di punti, può essere visualizzata in modo interattivo su computer o riprodotta con tecniche di fabbricazione digitale (stampa 3D), per la generazione di modelli fisici che conservano l'accuratezza di quelli digitali (Fig. 7).

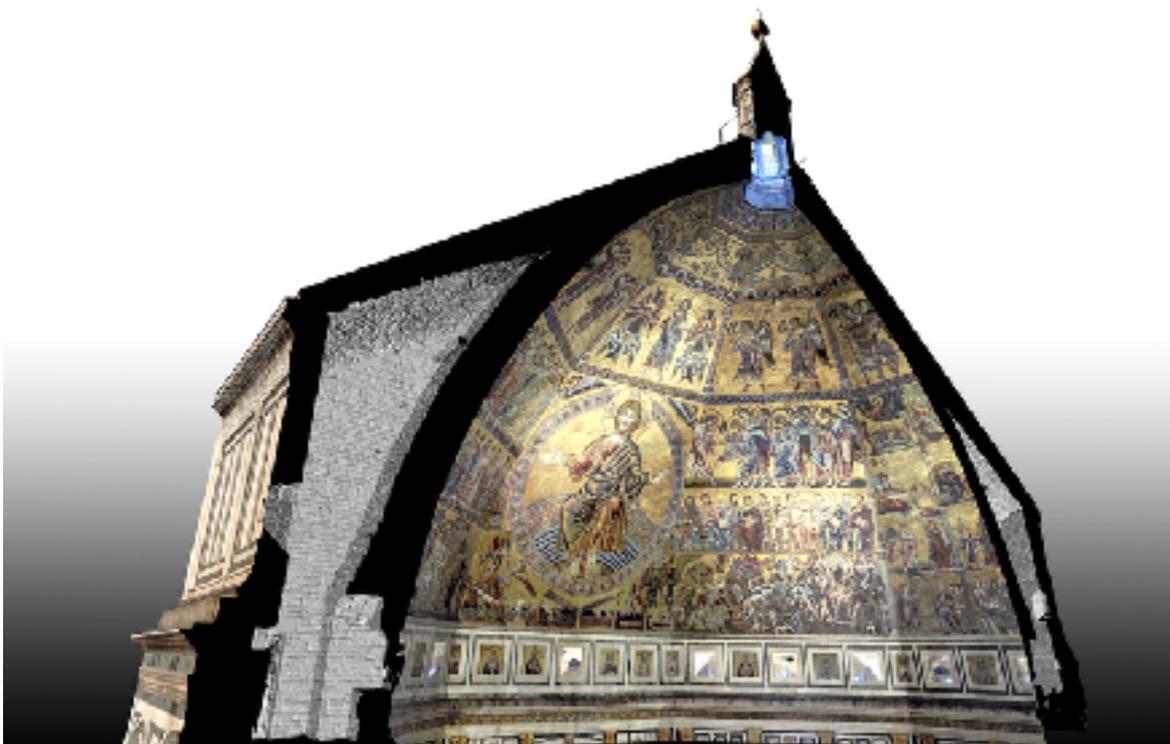


Fig 7.

Il rilievo digitale come strumento di interpretazione

Come già accennato, il nuovo rilievo si caratterizza rispetto ai precedenti per una risoluzione (ovvero la distanza media tra un punto e quelli più vicini) particolarmente elevata. Infatti, la tecnica con cui è stato condotto ha consentito di registrare l'andamento di quasi tutte le superfici con risoluzione di pochi millimetri. Il rilievo 3D per quanto discontinuo, giacché costituito dal campionamento di una superficie, è talmente denso da documentare non solo le dimensioni principali della fabbrica e dei suoi componenti, ma da evidenziarne anche le irregolarità locali, permettendo di investigarne i caratteri costruttivi e tecnologici.

Particolarmente interessanti, per questi aspetti, risultano gli spazi interclusi fra volta, copertura e parete perimetrale esterna del Battistero. Grazie all'allestimento di un ponteggio, è stato possibile rilevare l'estradosso della volta in quattro diverse porzioni: una sul lato Nord e le altre rispettivamente nei settori Sud, Sud-Est e Sud-Ovest, realizzando per ognuna il modello di superficie tridimensionale. In ciascun tratto si è rilevata anche la catena lignea che serra la cupola, alla quota in cui alla muratura in blocchi lapidei ne succede una in laterizi di grandi dimensioni. Si è indagato in particolare il giunto tra i letti visibile nel lato Sud-Est. Grazie all'elevato livello di dettaglio dei modelli è stato possibile documentare anche la posizione delle buche pontaaie, i diversi materiali e l'apparecchio della muratura (Fig. 8).

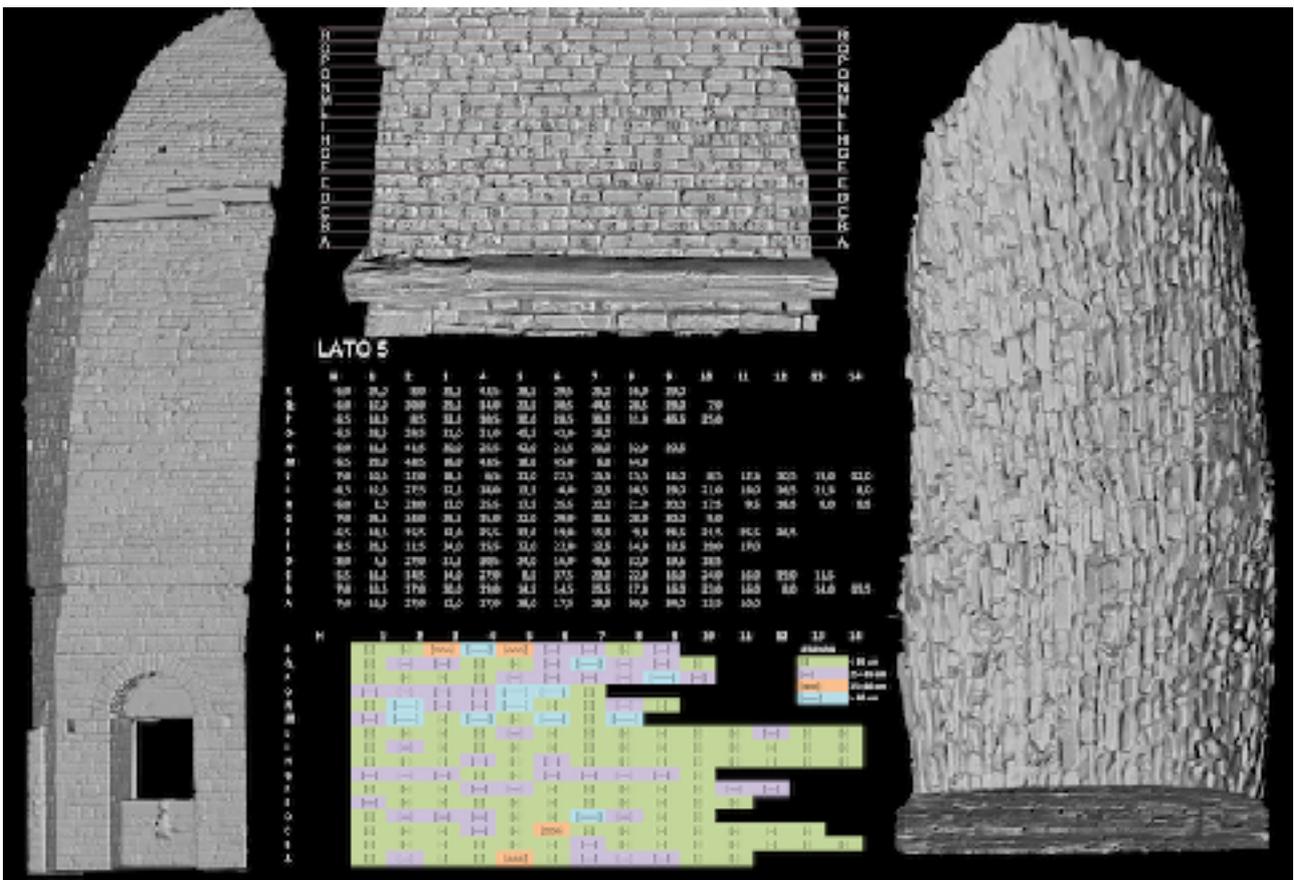


Fig. 8.

A partire dal modello di punti di un settore dell'estradosso della cupola nel lato Sud è stata anche intrapresa l'analisi statistica delle misure dei mattoni¹¹ censendo dapprima gli elementi di maggiori dimensioni, con lunghezza media di 43,8 cm ($\pm 1,4$ cm). Se questi corrispondono a laterizi interi posti di lista, detta misura risulta congrua con quella del lato maggiore di un sesquipedale romano (29,6 cm x 44 cm). Muovendo da questo primo riscontro, si è analizzata la distribuzione dei mattoni di fascia e di quelli di testa. La presenza di numerosi elementi con misure intermedie molto variabili può essere messa in relazione all'impiego di laterizi tagliati, suffragando l'ipotesi che i mattoni messi in opera nella cupola siano di reimpiego.

Peraltro, l'esame ha riguardato una modesta porzione di un solo spicchio della cupola e quindi costituisce non più di un possibile indizio, dovendosi, per raggiungere un adeguato livello di certezza, estendere lo studio a più ampie porzioni di estradosso della volta. Quanto osservato fa comunque intravedere le potenzialità derivanti dal disporre di una banca dati digitale, ai fini di controlli sistematici e valutazioni di ampia portata, senza che ogni volta si debbano raggiungere, per verifiche e sopralluoghi ispettivi, parti di difficile accesso.

Il modello digitale ha consentito altresì di formulare qualche ipotesi circa la costruzione delle unghiate visibili al di sotto della copertura: la posizione delle buche pontae nella zona più alta dei setti radiali, la posa irregolare degli elementi lapidei e la loro suddivisione in fasce trasversali lasciano supporre che le volte rampanti venissero realizzate con impiego di centine in terra poste su tavolati traslandole via-via verso l'alto.

Un'altra zona di cui meriterebbe affinare la conoscenza delle caratteristiche spaziali e costruttive è quella dei collegamenti verticali.

L'accesso ai livelli del matroneo e dell'attico avviene tramite le due piccole scale a chiocciola ai lati della porta del Paradiso e ricavate nello spessore dei pilastri, in corrispondenza degli spigoli dell'ottagono. Si è prodotto un modello di superficie della scala posta a Nord che può essere esplorato in tempo reale traslando via-via un piano di sezione orizzontale così da visualizzare le parti interne (Fig. 9).

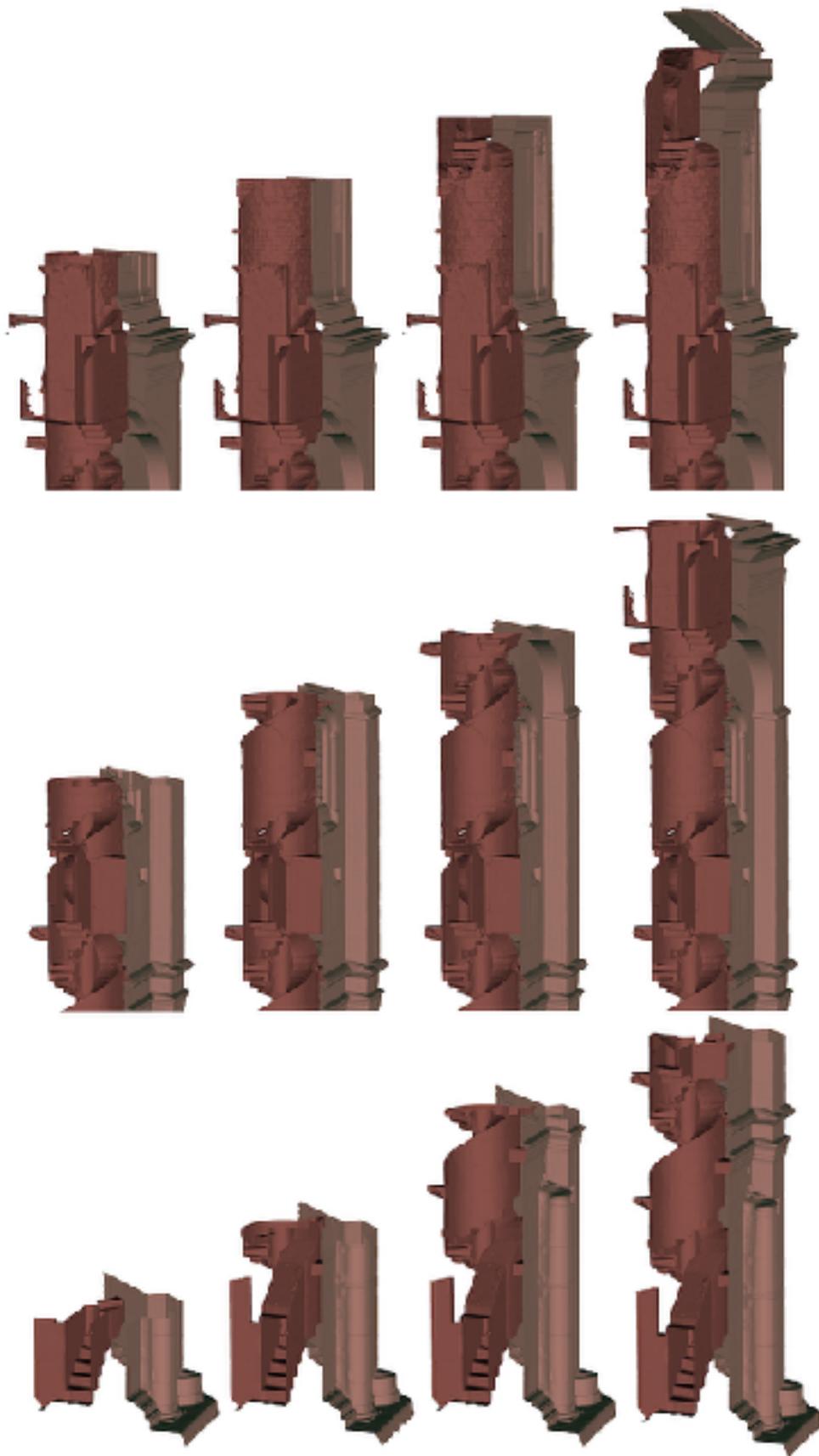


Fig. 9. Vers. 1.

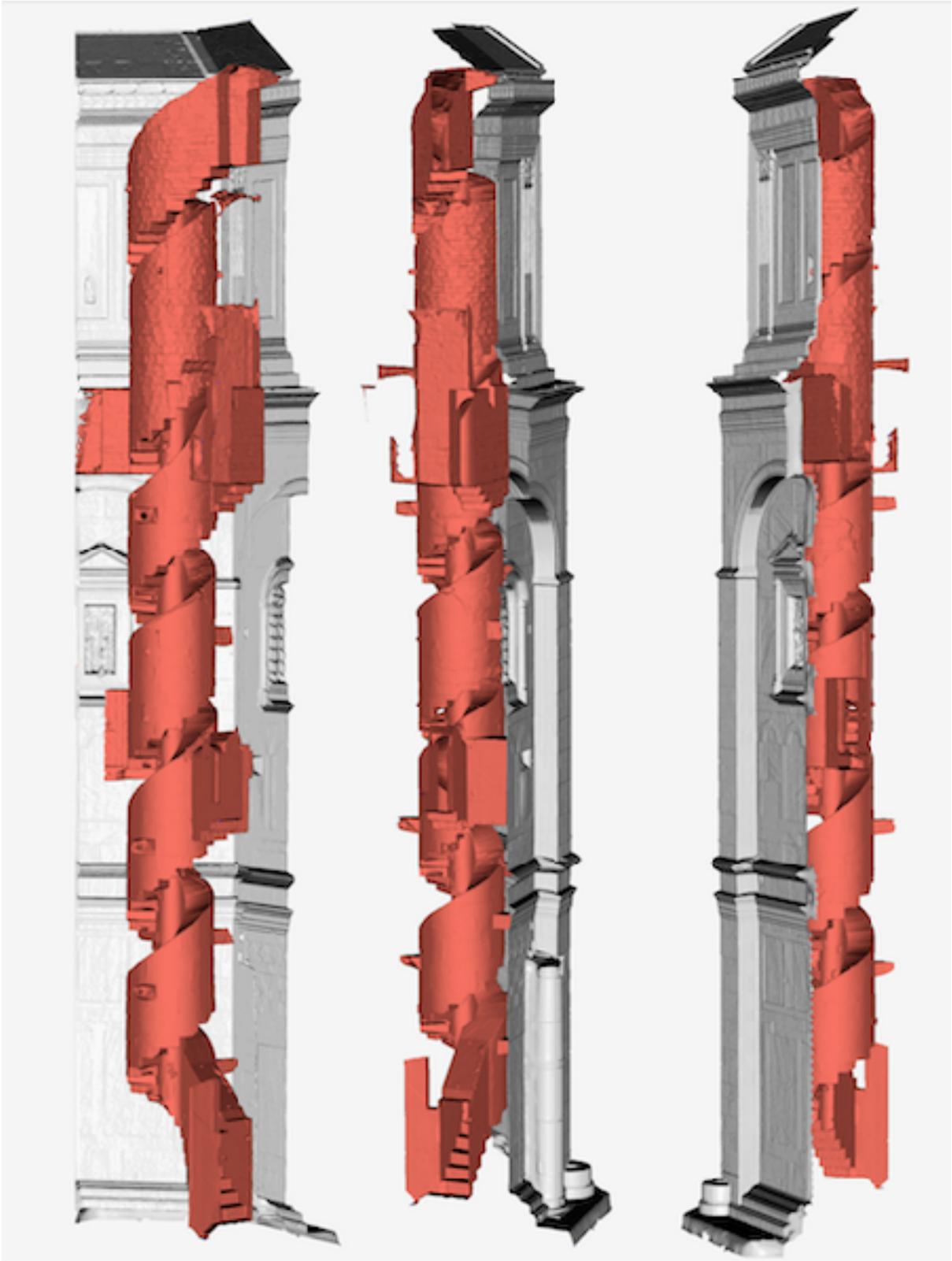


Fig. 9. Vers. 2.



Fig. 9. Vers. 3.

L'esame del modello permette di esaminare meglio la disposizione complessiva delle aperture –ben evidenti percorrendo la scala – alcune delle quali affacciano verso l'esterno ed altre rivolte verso l'interno, ma che non sono visibili perché occluse dai paramenti marmorei. Il loro esatto posizionamento rispetto all'aula pone interrogativi circa gli interventi che potrebbero aver modificato il rivestimento interno, in particolare quello dei pilastri.

Indagini strutturali e costruttive

La disponibilità di una banca dati metrica tridimensionale completa permetterebbe di avviare a soluzione altri quesiti inerenti gli aspetti strutturali e costruttivi della fabbrica, quali la giacitura dei piani di posa degli elementi lapidei e in laterizio della cupola e la rappresentazione in vista ortogonale di paramenti murari di particolare rilevanza dal punto di vista strutturale e costruttivo per lo studio delle lesioni. Riguardo poi al “flusso di lavoro” restano da ottimizzare le procedure per l’uso dei modelli di superficie nei software impiegati per le analisi strutturali. Infatti, allo stato attuale, per le analisi FEM si possono utilizzare solo modelli geometrici semplificati rispetto a quelli ottenuti con le metodologie sopra descritte. Ciò comporta sia un difetto di economia, dovendosi realizzare manualmente nuovi modelli 3D anziché avvalersi di quelli già eseguiti, sia una minore rispondenza alla geometria reale con notevoli approssimazioni. E' allo studio, in collaborazione con gli esperti di strutture, la valutazione dei possibili vantaggi per i risultati dei calcoli derivanti dall'impiego di modelli più accurati, come quelli ricavabili da rilievi con tecniche geomatiche.

I modelli 3D possono costituire il supporto per la visualizzazione di svariati fenomeni: rimanendo in ambito strutturale si è potuta, ad esempio, visualizzare la deformazione delle pareti tramite mappe di scostamento di queste da piani verticali. Si sono prese in esame le pareti Nord, Est e Sud (quelle caratterizzate dalla presenza di porte), evidenziando che, all'esterno, tutte presentano uno spanciamento di circa 5 cm tra il secondo ordine e quello del piano attico, proprio al di sotto della fascia priva di rivestimento marmoreo al cui interno è posta la catena metallica inserita nel 1514.¹² La faccia interna della muratura presenta, alla stessa altezza, uno spanciamento concorde, anche se di entità più contenuta (**immagine 10**). Sulle facciate si è pure riscontrato un fuori piombo di qualche centimetro verso l’esterno, non apprezzabile a vista stante l’articolata conformazione del prospetto.

Dal punto di vista geometrico e formale è peraltro possibile verificare quanto, nel dettaglio, trovino conferma presunti paradigmi costruttivi. In particolare, se consideriamo la lunghezza delle diagonali quale misura generatrice dell’intero edificio,¹³ si è potuto verificare la sua variabilità in una sequenza progressiva di sezioni orizzontali. Oltre alla riprova che, come già noto, gli spigoli interni e quelli esterni non sono allineati, si è posta in luce l’irregolarità del rivestimento marmoreo delle paraste, specie a livello del matroneo. Non risultando accertabile l’effettiva posizione della struttura, è da presumere che le piccole differenze tra le misure dipendano più da diversità di spessore e posa in opera del rivestimento che da significative deformazioni del sostrato murario.

Quando si osserva che, per tali motivi, ad ogni pur minimo variare dei piani di sezione si ottengono immancabilmente misure diverse, ogni sforzo per individuare geometrie esatte e rapporti proporzionali immutabili si rivela una mera – per quanto suggestiva – elucubrazione.

Conclusioni e prospettive

Si è prospettato come, a partire dal rilievo, potranno essere ulteriormente approfonditi alcuni importanti aspetti tecnologici e costruttivi grazie all'eshaustività del database tridimensionale in cui sono raccolte le misure acquisite. Rimangono comunque, anche in questo rilievo, inesplorate alcune zone, come alcune parti del piano attico per la mancanza di appositi ponteggi. Occorrerebbero ugualmente delle scansioni integrative, da eseguire senza l'attuale presenza degli arredi, per una restituzione completa del pavimento dell'aula. Comunque, le modalità operative adottate ed in particolare la materializzazione dei vertici della rete topografica e l'archivio completo dei metadati di ogni fase del lavoro, potranno sempre consentire l'implementazione dei dati fino ad ora raccolti. Infatti, i modelli 3D consentono anche di rendere virtualmente visibili spazi significativi, alcuni assenti nei rilievi pregressi, e di reimpiegare i dati raccolti soprattutto a fini scientifici, in progetti di comunicazione. Insieme ad altri contenuti multimediali, i modelli permettono di visitare virtualmente, tramite app per tablet o altri dispositivi fissi o portatili, anche i dettagli poco visibili o le zone non aperte al pubblico. La flessibilità dei dati digitali può essere declinata in vario modo: rivolgendosi ad un'utenza di specialisti, per archiviare come in un GIS 3D tematismi ed interventi di restauro. Rivolgendosi invece a un'utenza allargata, il loro potenziale comunicativo consente di comunicare efficacemente cosa accade all'interno del cantiere. In alcuni casi ciò può avvenire rendendo il cantiere visitabile al pubblico e illustrando gli interventi con tecniche di realtà aumentata, in altri rendendo accessibili in forma virtuale le opere d'arte non direttamente visibili per lungo tempo.

Inoltre, uno strumento di comunicazione particolarmente efficace è costituito dai sempre più diffusi sistemi di stampa 3D: i modelli solidi prodotti non necessitano infatti di media (schermi, proiettori, ecc.). La possibilità di interagire toccando i modelli li rende attrattivi anche per un pubblico di bambini, oltre che idonei a una piena fruibilità da parte di ipo- e non-vedenti.

D'altra parte, ogni rilievo documenta la consistenza dell'edificio in rapporto alle risorse tecniche di un dato momento. Di conseguenza, nessun rilievo può dirsi definitivo: anche ciò che oggi appare esauriente è suscettibile di essere implementato (e corretto) con ulteriori analisi impiegando nuove, più aggiornate metodiche e tecnologie.

Concludendo, il nostro rilievo è stato intrapreso nell'ottica di fornire valido supporto a un vasto insieme di studi multidisciplinari, rendendo possibile, grazie alla completezza dei dati 3D registrati, nel suo svolgimento, la disamina, sul modello tridimensionale, di elementi di particolare interesse per la conoscenza delle tecniche costruttive dell'edificio ed il controllo delle sue condizioni statiche.

La partecipazione al gruppo di studio sul Battistero ha confermato come la finalità del rilievo non si esaurisca nel fornire un supporto grafico, anche se vieppiù attendibile, alle indagini dei vari specialisti, ma svolga anzi di per sé un ruolo attivo per la comprensione dell'organismo edilizio nei suoi molteplici aspetti (spaziali, strutturali, tecnologici, ecc.), confrontandosi con gli altri ambiti di ricerca così da suggerire nuovi spunti d'indagine contribuendo alla verifica delle diverse ipotesi.

Tabella

Campagna rilievi	Novembre - Dicembre 2013 (15gg)
Personale impiegato	4 pp (topografia) 2 pp (scansioni) 1 pp (campagna fotografica)
Superficie rilevata	Mq 2.100
Vertici rete inquadramento	7
Punti d'appoggio/targets	127
Accuratezza	<± 0.015 m
Scansioni n.	275 (risoluzione sub centimetrica)
Punti	14.255.787.583
Hardware	Stazione totale Leica TCR 303 Stazione totale Leica TPS 1200; Scanner a differenza di fase Z+F IMAGER 5010C Scanner a differenza di fase Leica HDS6000 reflex Nikon D700 - D90
Software	Star-Net (topografia) Z+F Laser Control (coloritura range maps) Leica Cyclone (range maps), Microstation (vettorializzazione) Autocad (vettorializzazione) JRC Reconstructor e JRC R3 (estrazione ortoimmagini e mappe di scostamento) MesLab (modellazione mesh) Adobe Photoshop (editing grafico)

BIBLIOGRAFIA

- Vattenbyggnadsbyrå *The salvage of the Abu Simbel Temples, concluding report December 1971*, Arab Republic of Egypt, Ministry of culture, Stockholm: VBB, 1976
- C. Blasi, E. Coisson (cur.) *La Fabbrica del Duomo di Parma: stabilità, rilievi e modifiche nel tempo*, Parma, 2006
- A. Peroni, G. Tucci (cur.), *Nuove ricerche su Sant'Antimo*, Firenze, 2008, ISBN 978-88-6055-198-6
- P. Giandebiaggi, A. Zerbi, A. Capra. *Il rilevamento della torre Ghirlandina in La Torre Ghirlandina: un progetto per la conservazione*, a cura di R. Cadignani, Roma, 2009, pp. 78-87:10 ISBN 9788889829721
- G. Tucci, V. Bonora, *Il rilievo della Basilica del Santo Sepolcro a Gerusalemme*, in Atti della 14a Conferenza Nazionale ASITA, (Brescia, 9-12 novembre 2010), 2010, pp. 1643-1648:6 ISBN 978-88-903132-5-7
- G. Tucci, V. Bonora, *Geomatic techniques and 3D modeling for the survey of the Church of the Holy Sepulchre in Jerusalem*, in Proceedings of the 23rd International CIPA Symposium, (Prague, Czech Republic, September 12-16 2011), 2011, ISBN 978-80-01-04885-6, <<http://cipa.icomos.org/fileadmin/template/doc/PRAGUE/143.pdf>>

G. Tucci, V. Bonora, A. Conti, L. Fiorini, N. Guardini, *Galleria dell'Accademia a Firenze: un rilievo metrico per l'analisi di vulnerabilità sismica*, in Federazione ASITA, Atti 18 Conferenza ASITA, (Firenze, 2014), pp. 1175-1182:8 ISBN 978-88-903132-9-5

G. Tucci, N. Guardini, *Rilevo e modellazione 3D a supporto dell'analisi strutturale: un approccio metodologico e sostenibile per il patrimonio architettonico*, in: Federazione ASITA, Atti 18 Conferenza ASITA, (Firenze, 2014), pp. 1197-1209:13 ISBN 978-88-903132-9-5

NOTE

¹ R. Sabatini, *La curvatura e la costruzione della cupola del battistero*, «Palladio», V-VI, 1943, pp. 159-

² C. Pietramellara, *Battistero di San Giovanni a Firenze*, Firenze, 1973.

³ G. Rocchi Coopmans De Yoldi, *S. Maria del Fiore. Piazza Battistero Campanile*, Firenze, 1996 e G. Rocchi Coopmans De Yoldi (cur.), *S. Maria del Fiore e le chiese fiorentine del Duecento e del Trecento nella città delle fabbriche arnofiane*, Firenze, 2004.

⁴ S. Corsucci, M. Dalzocchio e L. Pedini, *Nuove acquisizioni sulla fabbrica del Battistero di San Giovanni in Firenze*, Tesi di Laurea, rel. G. Rocchi, corr. M. Fondelli, G. Petrini, Facoltà di Architettura Università degli Studi di Firenze, A.A. 1981/82, anche in Rocchi 1996, cit..

⁵ P. Giovannini, *L'apparecchio murario e il rivestimento interno del piano terra e del matroneo. Materiali, tecniche di lavorazione e caratteristiche di messa in opera*, in Rocchi 1996, cit., pp. 73-93:20.

⁶ Pubblicato in Rocchi 1996, cit., pag. 52, senza data o ulteriori indicazioni bibliografiche.

⁷ W. Ferri, *Rilievo fotogrammetrico della cupola del Battistero*, in Rocchi 2004, cit., pp. 139-144:6

⁸ P. Aminti, *Rilievo e determinazione della curvatura della cupola, analisi sui rapporti dimensionali tra principali elementi strutturali interni*, in Rocchi 1996, cit, pp. 103-105:3.

⁹ L. Giorgi, *La curvatura degli spigoli della cupola e la struttura dei contrafforti indagate attraverso la sezione diagonale dell'edificio*, in Rocchi 1996, cit., pp. 107-110:4.

¹⁰ G. Caroti, G. Fangi, *Il rilievo della volta interna del Battistero*, in Rocchi 2004, cit. pp. 145-148:4

¹¹ T. Mannoni, *Metodi di datazione dell'edilizia storica*, Archeologia Medievale, 11, 1986, pp. 396-403:8

¹² cfr. Pietramellara, cit, pag. 42

Didascalie immagini

- 1) Il modello di punti 3D ottenuto da scansioni. Lo scanner acquisisce a 360° e quindi si ottengono informazioni tridimensionali riguardanti il contesto che circonda l'oggetto di rilievo.
- 2) Piante del Battistero ai tre livelli dell'edificio: quota +2,60 (aula), quota +13,40 (matroneo) e quota + 16,60 (attico). Disegni vettoriali, predisposti per la stampa in scala 1:50
- 3) Sviluppo dei prospetti del Battistero, orto-immagini. Disegno originale in scala 1:50.
- 4-5) Sezioni AA e BB con orto-immagini estratte dal modello di punti. Disegno originale in scala 1:50
- 6) Dettaglio del lato nord del fregio della scarsella. Orto-foto da rilievo fotogrammetrico.
- 7) Modello di superficie (mesh) texturizzato della cupola, della superficie estradossale e della copertura. Il modello della sola cupola è stato realizzato a partire da otto scansioni eseguite dal piano attico per un totale di oltre 25.000.000 di punti.
- 8) Modelli di superficie (mesh) dell'estradosso della cupola. A sinistra, dettaglio della tessitura e della catena lignea: è possibile rilevare anche la presenza di buche pontai e riconoscere materiali e tessitura della muratura, in blocchi di pietra fino a circa l'altezza della catena e poi in mattoni di grandi dimensioni. A destra vista zenitale di una delle volte rampanti. Al centro, analisi dimensionale dei laterizi del lato Sud.
- 9) Modello di superficie (mesh) della scala posta a Nord della porta del Paradiso.
- 10) Parete Est (Porta del Paradiso) Mappe di scostamento rispetto ad un piano verticale della facciata e della controfacciata, elaborate a partire dal modello di punti.