

IL BATTISTERO DI SAN GIOVANNI IN PISA

Squeglia N.*, Bevilacqua M. G.**, Ficocelli M.L.***

* Università di Pisa, Dipartimento di Ingegneria Civile ed Industriale

** Università di Pisa, Dipartimento di Ingegneria dell'Energia, dei Sistemi, del Territorio e delle Costruzioni

*** Università di Pisa

SOMMARIO

Nel 2013 il movimento di uno dei conci di un'arcata posta a nord ovest ha determinato l'inizio degli studi presentati in questa memoria. Sebbene i monumenti di Piazza dei Miracoli appaiano, con l'eccezione della Torre, solidi e al limite immutabili, essi rivelano la necessità di continui interventi di manutenzione. Nel caso del Battistero di San Giovanni, l'evento del 2013 ha fornito l'opportunità di approfondire la conoscenza del monumento attraverso una serie di indagini che hanno permesso di comprendere le reazioni alla variazione delle condizioni d'ambiente e di ricostruire, sebbene ancora con diverse incertezze, la storia della costruzione dell'edificio. Nella memoria sono presentate le indagini eseguite, con particolare riguardo per la strumentazione non usuale utilizzata per l'investigazione delle fondazioni. Nell'ambito della raccolta di informazioni, è stato effettuato anche un rilievo tridimensionale mediante laser scanner. Il rilievo ha permesso di leggere in modo più accurato la geometria dell'edificio, consentendo di dirimere alcune questioni poste dagli storici. Infine viene delineato un programma relativo a nuove indagini e misure.

Parole chiave: Piazza dei Miracoli, Battistero, effetti termici, carotatrice strumentata, laser scanner.

1 INTRODUZIONE

La Piazza dei Miracoli di Pisa è uno dei luoghi più famosi del mondo: ogni giorno gruppi di turisti attraversano Porta Nuova per ammirarla, i pisani la percorrono in bici per andare a lavoro e tutti si fermano, almeno una volta nella loro vita, a riposare sul prato che circonda il Battistero. I monumenti appaiano, a parte la Torre, immobili e eterni. Tuttavia, la loro suscettibilità ai movimenti del terreno, così come alle variazioni termiche, è analoga quella di molti altri edifici pisani. Il lavoro qui presentato si inserisce in un più ampio progetto di ricerca dedicato al monitoraggio e alla conoscenza di una delle quattro Fabbriche presenti nella Piazza: il Battistero.

Lo studio ha avuto inizio nel 2013 a causa della presenza di un dissesto che ha interessato uno degli archi radiali che sostengono il pavimento del matroneo ed un quadro fessurativo che interessava in modo particolare il quadrante nord ovest della struttura. Com'è necessario fare nei casi che coinvolgono edifici storici, lo studio ha mosso i primi passi attraverso delle indagini e un monitoraggio dei movimenti dell'edificio.

Una prima parte dello studio ha riguardato la raccolta del maggior numero d'informazioni riguardo alla costruzione dell'edificio e la storia delle modifiche effettuate nel tempo, sia dal punto di vista architettonico

sia strutturale.

La raccolta di informazioni storiche, tutt'altro che agevole, non è stata priva di lati oscuri ancora da decifrare che riguardano lo sviluppo della struttura stessa nel tempo. Una seconda parte dello studio riguarda la raccolta di informazioni sui movimenti pregressi della piazza e della struttura del Battistero. Nella presente nota saranno riportati i risultati dell'analisi dei movimenti a partire dal dopoguerra ad oggi, rimandando a futuri aggiornamenti l'analisi relativa a periodi antecedenti. Inoltre è stato messo a punto un sistema di monitoraggio, allo scopo di ottenere le maggiori informazioni possibili sul comportamento della struttura in relazione alle condizioni ambientali, e sono state effettuate delle indagini sul terreno e sulla struttura. Le indagini sul terreno sono state concentrate sugli strati più superficiali e vicini alla fondazione, mentre la struttura è stata indagata nella parte delle fondazioni attraverso una carotatrice strumentata studiata appositamente per questo scopo (Squeglia et Al., 2015). Altre attività di indagine sono programmate per approfondire la conoscenza della struttura in elevato. L'attività di studio è stata integrata da un rilievo geometrico effettuato mediante laser scanner che ha premesso di porre le basi per il rilievo strutturale e ha fornito delle indicazioni utili alla lettura delle informazioni storiche raccolte.

2 IL BATTISTERO

Il Battistero di San Giovanni è il secondo edificio per data di inizio della costruzione nell'ambito del complesso di Piazza dei Miracoli (fig. 1).

L'edificio è a pianta circolare con un diametro esterno di circa 35 metri. Disposte su di una circonferenza concentrica alla parete esterna si trovano otto colonne e quattro pilastri che sorreggono la prima galleria. I dodici elementi verticali sono prolungati verso l'alto da pilastri di disegno omogeneo, a sostegno di una seconda galleria (fig. 2). La fondazione, allo stato attuale delle conoscenze, è formata da due anelli concentrici di muratura collegati da tre o quattro elementi radiali.



Figura 1 – Piazza dei Miracoli: in secondo piano il Battistero

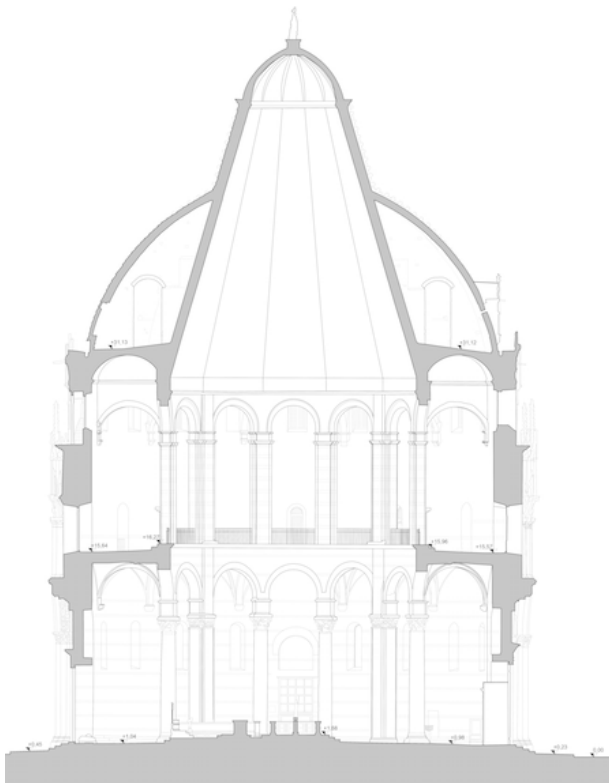


Figura 2 – Il Battistero di San Giovanni: sezione E-W

La posa della prima pietra del Battistero è datata 15 agosto 1152. Nei primi due anni dalla posa della prima pietra sono edificati i due anelli di fondazione, procedendo gradualmente nella costruzione e compensando i cedimenti che avvenivano nel tempo a causa della natura

del sottosuolo (Pierotti P. e Benassi L., 2001). Dopo circa dieci anni e in meno di un mese, a partire dalla fine di settembre del 1163, venivano erette le otto colonne interne provenienti dalle cave di granito dell'Isola d'Elba e della Sardegna. Dalla fine del dodicesimo secolo in poi le informazioni sulla costruzione del Battistero sono scarse e a tratti contraddittorie. Le informazioni su cui si ha una ragionevole certezza riguardano il fonte battesimale, realizzata nel 1246 da Guido Bigarelli da Como, e il pulpito, completato nel 1260 da Nicola Pisano. All'epoca della realizzazione di queste due mirabili opere d'arte, non vi sono certezze della presenza della copertura. Infatti, alla fine del tredicesimo secolo, secondo la maggior parte degli storici, la copertura era realizzata in legno in corrispondenza di quello che oggi rappresenta il calpestio della prima galleria. L'anno di completamento dell'edificio è attestato dalla installazione della statua di San Giovanni, avvenuta nel 1395.

3 MOVIMENTI DELLA PIAZZA E DEL BATTISTERO

A causa della ben nota pendenza della Torre, la piazza è stata oggetto di misurazioni a partire dalla fine del XIX secolo. La rete di livellazione, installata dall'Istituto Geografico Militare (IGM) nel 1886 in una configurazione più semplice, ha subito modifiche e integrazioni fino ad assumere la configurazione attuale nel 2006. La raccolta di dati, tuttora in corso, ha consentito di ricostruire i movimenti della Piazza e del Battistero dal 1965 (Noccioli R., 1971) a oggi.

I movimenti del Battistero sono stati registrati grazie alla presenza di quattro capisaldi posti sulle soglie dei quattro portali, in corrispondenza dei punti cardinali. I movimenti altimetrici della Piazza nella porzione circostante il Battistero sono stati analizzati prendendo come riferimento un punto installato sul prato situato a nord del Battistero stesso (punto R, fig. 3).

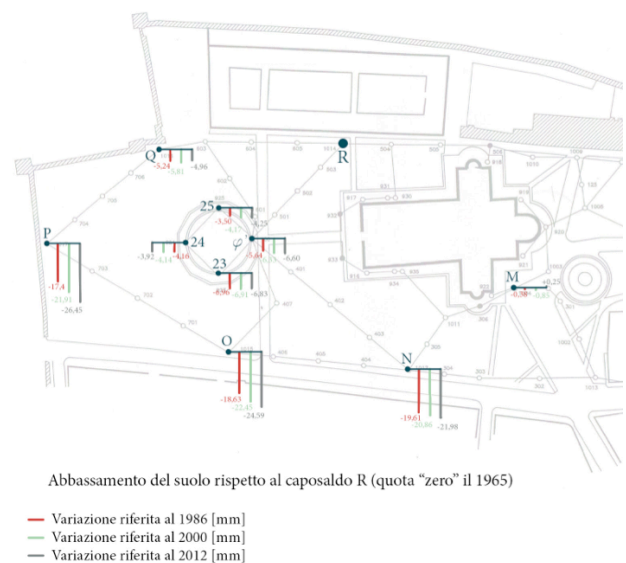


Figura 3 – Il Battistero di San Giovanni: sezione E-W

Il riferimento è stato definito come rappresentativo del piano di campagna, in accordo a quanto indicato in Burland (1990).

L'elaborazione dei dati permette di affermare che il Battistero sta compiendo un movimento di rototraslazione intorno ad un asse in direzione Nord-Est Sud-Ovest. La figura 4 mostra qualitativamente la progressione dei movimenti della Piazza e del Battistero.

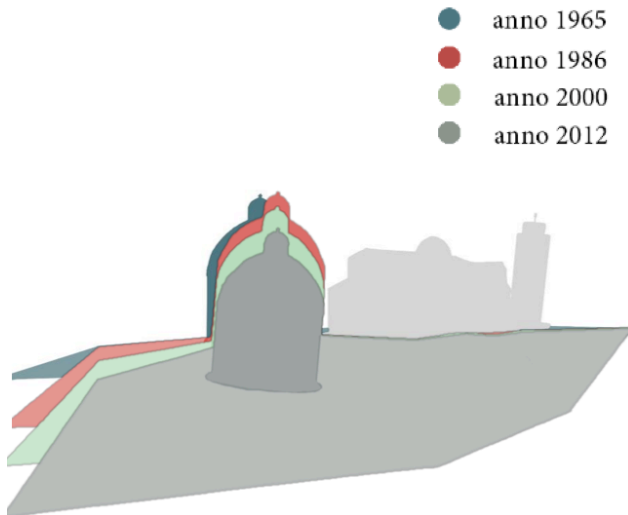


Figura 4 – Progressione dei movimenti della Piazza e del Battistero

Per quanto riguarda la superficie della Piazza, la porzione posta a Sud-Ovest del Battistero sta cedendo di una quantità maggiore rispetto a quella a Nord-Est. Il movimento non coincide con la rotazione osservata per il Battistero, pertanto non è possibile affermare che il movimento del Battistero sia dovuto a un mero trasferimento dei movimenti della piazza alla struttura, ma che vi sia in atto una più complessa deformazione.

4 INDAGINI CONOSCITIVE SULLA STRUTTURA E MONITORAGGIO

Mentre per Torre pendente le informazioni che si possono raccogliere sono ampie e ben organizzate, per il Battistero la questione si è rivelata più complessa. La raccolta d'informazioni sull'edificio ha mostrato una pressoché totale assenza d'informazioni affidabili riguardo la struttura, sia riguardo la sua realizzazione sia da un punto di vista geometrico. Allo scopo di colmare la mancanza d'informazioni, è stata programmata l'esecuzione di indagini sul sottosuolo, sulle fondazioni e l'installazione di un sistema di monitoraggio. Quest'ultimo aveva lo scopo di comprendere l'influenza delle condizioni ambientali sulla struttura nel suo complesso e, in dettaglio, sulle lesioni più importanti.

Nel dicembre 2013 sono stati installati 52 prismi ottici per la misura dei movimenti di alcuni punti della struttura (figg. 5 e 6) e 8 fessurimetri sulla lesione più importante, presente in corrispondenza della prima galleria del

quadrante nord-ovest del Battistero e sopra il portale ovest (Fig. 7). Il sistema era completato da un termometro aggiuntivo posto nel quadrante diametralmente opposto alla zona della lesione monitorata.

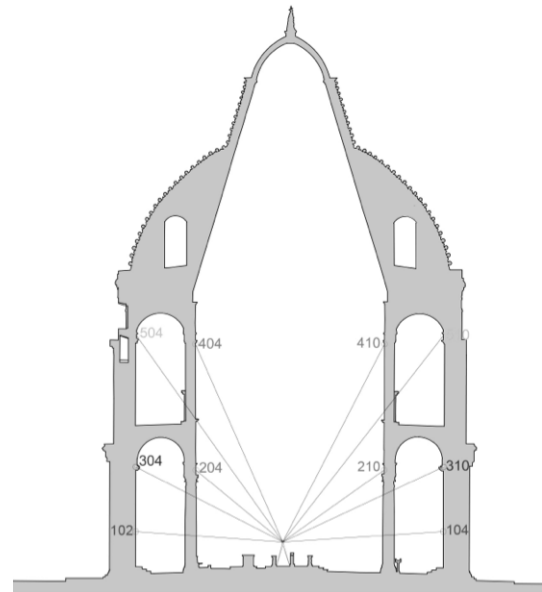


Figura 5 – Schema di installazione dei prismi ottici sulla sezione verticale

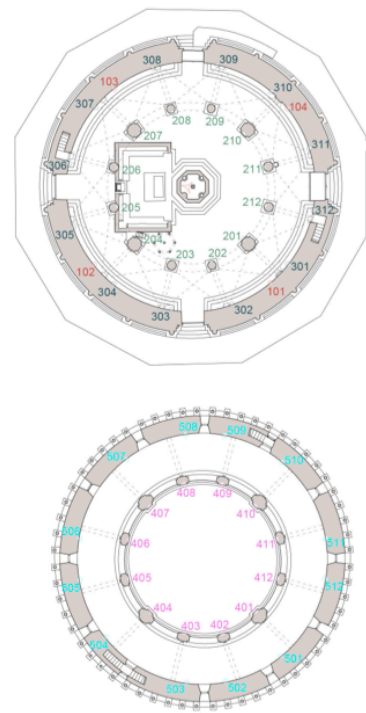


Figura 6 – Schema di installazione dei prismi ottici in pianta

Il monitoraggio della lesione ha avuto inizio il 10/12/2013 ed è terminato in una prima fase il 15/12/2015; le misure sono state eseguite a intervalli regolari di un'ora. Come atteso, è stato possibile osservare che tutte le misure mostrano un andamento nel tempo legato alle variazioni termiche.

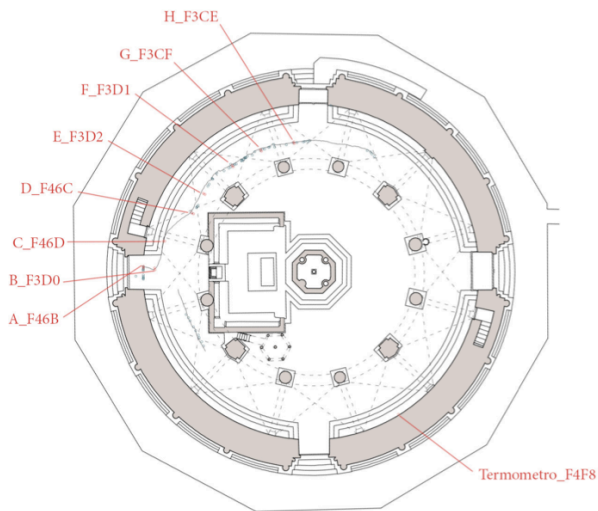


Figura 7 – Disposizione in pianta dei fessurimetri

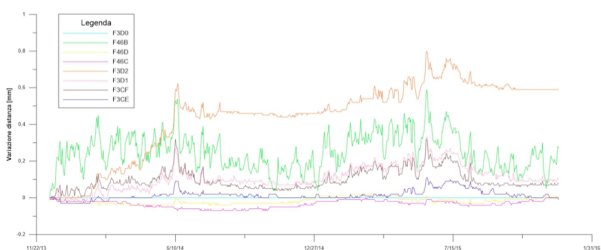


Figura 8 – Andamento nel tempo dei fessurimetri

La figura 8 riporta le misure effettuate nel periodo di monitoraggio. Tutti i sensori mostrano un andamento legato al periodo dell'anno, con la sola eccezione del sensore F3D2 che mostra un'apertura della lesione al termine del monitoraggio di circa 0,6 mm. Nel dicembre 2015 tutti i fessurimetri sono stati smontati, mentre il solo F3D2 è stato lasciato in sede. Al gennaio 2017 la lesione ha raggiunto 0,8 mm di apertura. Il risultato, sebbene non preoccupante, mostra una tendenza all'apertura della lesione nel periodo di osservazione. Il periodo di misura tuttavia è troppo breve perché si giunga a un parere conclusivo, anche alla luce delle variazioni della temperatura media stagionale osservata negli ultimi anni.

Il monitoraggio con prismi ottici è stato eseguito con la procedura della celerimensura elettronica automatica, eseguendo più letture per ogni misura. La procedura del rilievo prevede il posizionamento della stazione totale circa al centro del fonte battesimale (fig. 5). Le caratteristiche tecniche dello strumento impiegato e le condizioni ambientali particolarmente favorevoli hanno permesso di ottenere un'accuratezza della misura dello spostamento di circa 0,2 mm.

Il monitoraggio, iniziato nel dicembre 2013, ha permesso di osservare che le sezioni maggiormente interessate da deformazioni stagionali sono quelle che interessano il quadrante nord-ovest, con un'ampiezza del ciclo stagionale di circa 5 mm. Sempre in questa porzione del Battistero, uno degli archi del matroneo posto a ovest ha un comportamento anomalo rispetto agli altri, poiché presenta un andamento opposto rispetto agli altri archi

osservati ed una deformazione residua negativa (riduzione della corda) pari a -1,32 mm.

La figura 9 riporta, a titolo di esempio, il comportamento tipico osservato: risulta evidente la dilatazione estiva, parzialmente recuperata nel periodo invernale. Allo stato attuale sembra che il movimento termico non sia reversibile, tuttavia il monitoraggio di soli trenta mesi è ancora troppo breve per ottenere informazioni conclusive.

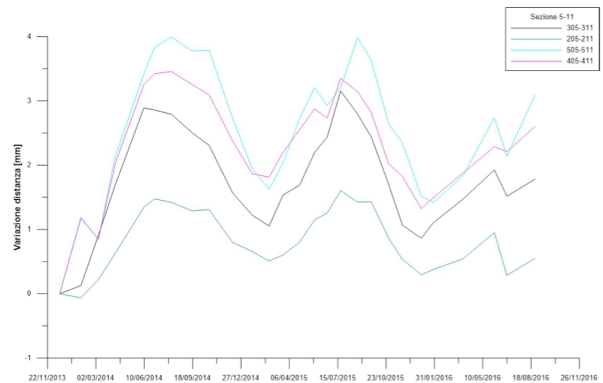


Figura 9 – Variazione nel tempo della distanza tra due prismi diametralmente opposti

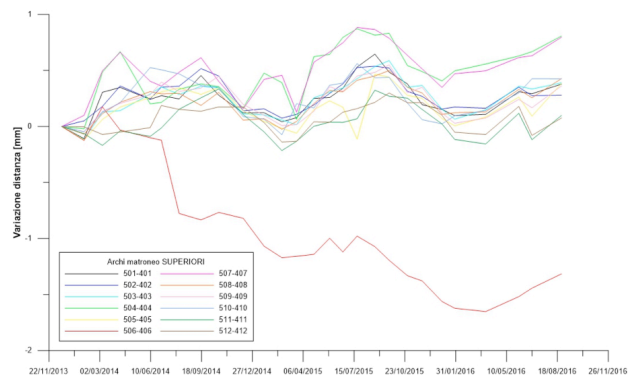


Figura 10 – Variazione nel tempo della distanza tra due prismi appartenenti agli archi del Matroneo

La figura 10 mostra le variazioni osservate della corda degli archi del matroneo. Come già detto, l'arco su cui sono installati i punti 406 e 506 mostra un andamento evidentemente anomalo degli spostamenti.

Mentre le indagini da effettuare sulla struttura sono in via di definizione, sono state effettuate delle indagini sulla struttura di fondazione sia per definirne la geometria, sia per comprenderne la consistenza.

Una prima parte di indagine è consistita nell'effettuazione di prove geofisiche. Una prova geoelettrica ad un georadar hanno consentito di definire per grandi linee la geometria della fondazione. Tra le due indagini effettuate, quella maggiormente significativa è risultata la prospezione radar. Come già rilevato in altre occasioni, (Squeglia et al., 2015) nel caso di murature che si trovano a ridosso nella falda o immerse in essa, l'efficacia delle prospezioni geoelettriche è ridotta. Infatti,

come mostrato nella figura 11, l'andamento della resistività apparente suggerisce una geometria che è evidentemente non reale, mentre il georadar fornisce informazioni più affidabili (fig. 12), permettendo di individuare la fondazione ad anello delle colonne e la presenza di tre strutture di collegamento tra gli anelli interno ed esterno.

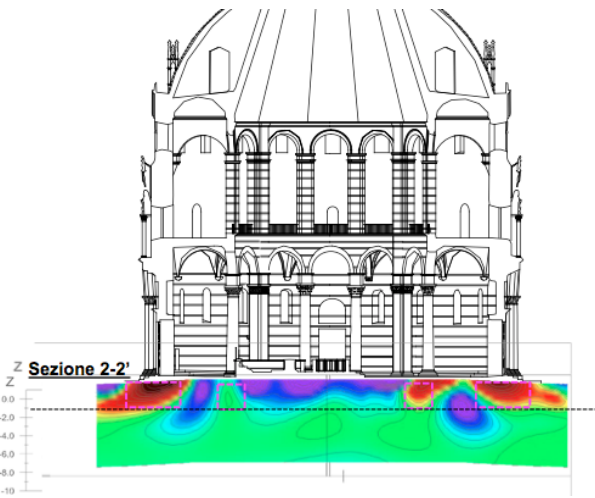


Figura 11 – Restituzione grafica dei risultati di una ERT

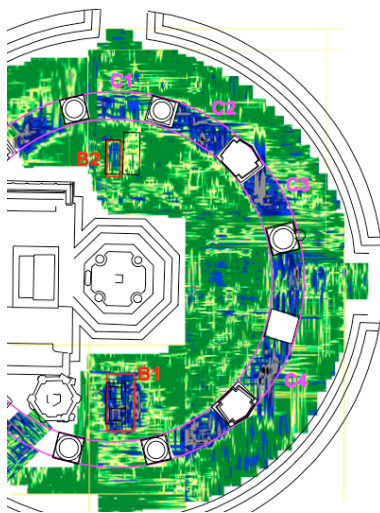


Figura 12 – Restituzione grafica dei risultati di una GPR

Le indagini geofisiche eseguite sono state integrate da indagini dirette per una definizione più accurata della geometria e della consistenza della muratura in fondazione. A tale scopo sono state previste quattro perforazioni effettuate mediante una speciale carotatrice strumentata (Squeglia et al., 2015; Squeglia N., 2013) che fornisce un vero e proprio profilo penetrometrico della muratura durante la perforazione.

Il diametro limitato della perforazione, solo 35 mm per ridurre l'invasività della prova, consente di ricavare un profilo stratigrafico della muratura solo in presenza di materiali compatti. Negli altri casi il recupero di materiale è molto limitato e ci si deve affidare alle registrazioni degli strumenti. Il diametro limitato consente tuttavia di disporre di un'attrezzatura sufficientemente agile da essere posizionata facilmente e di raggiungere profondità

dell'ordine di cinque metri impiegando una potenza ridotta.

La strumentazione ha consentito di registrare: la velocità di avanzamento, la coppia torcente, la pressione del fluido di circolazione e lo sforzo assiale applicato alla batteria di aste. Delle quattro perforazioni previste ne sono state realizzate due, posizionate all'esterno del monumento ed eseguite con un'inclinazione di 45°. La sintesi delle registrazioni è riportata in figura 13, comprensiva dell'interpretazione geometrica riguardante la fondazione dell'anello esterno.

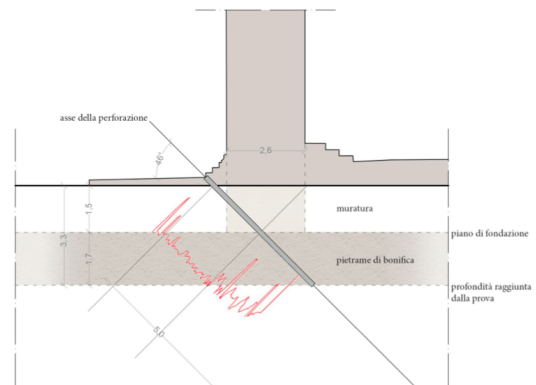


Figura 13 – Risultato di una perforazione strumentata

Nella figura è rappresentata la velocità di avanzamento normalizzata rispetto allo sforzo assiale applicato, moltiplicando il valore locale della velocità di avanzamento per il rapporto tra il valore massimo raggiunto dallo sforzo normale nel corso dell'intera prova e il suo valore locale. Se a un aumento della velocità corrisponde una minore resistenza del materiale, è possibile individuare due zone caratterizzate da un andamento diverso a cui associare due diverse tipologie di materiale.

Nella prima zona del grafico, corrispondente ai primi 2,50 metri di perforazione, l'andamento della velocità si mantiene costante tra valori che oscillano tra 0,5 - 2 cm/s; nella seconda zona del grafico, che si mantiene circa costante fino alla fine della perforazione, i valori della velocità sono più alti e oscillano tra 1,5 - 10 cm/s.

Per quanto riguarda i materiali, è stato ipotizzato che nella zona della perforazione in cui la velocità di avanzamento normalizzata si mantiene più bassa sia presente una muratura che si suppone paragonabile a quella in elevato, mentre, quando l'andamento del grafico cambia, la perforazione incontra una zona di materiale meno resistente e più disomogeneo, probabilmente caratterizzata da un pietrame di bonifica di cui si ha notizia dalle informazioni storiche raccolte. Per ciò che riguarda lo spessore della muratura si può presumere che la larghezza sia almeno quella della muratura in elevato, mentre sarebbero necessarie altre perforazioni a diversa inclinazione per definire con maggiore precisione la geometria.

Il sottosuolo è stato indagato mediante tecniche tradizionali. Sono state eseguite otto prove penetrometriche statiche mediante piezocono, di cui sette

sono state spinte alla profondità di venti metri ed una è stata portata alla profondità di quaranta metri per poter eseguire contestualmente delle misure di velocità delle onde di taglio. Oltre all'esecuzione delle prove penetrometriche, sono stati eseguiti quattro sondaggi geotecnici a carotaggio continuo con il prelievo di undici campioni indisturbati e con l'installazione di quattro piezometri tipo Casagrande (fig. 14).

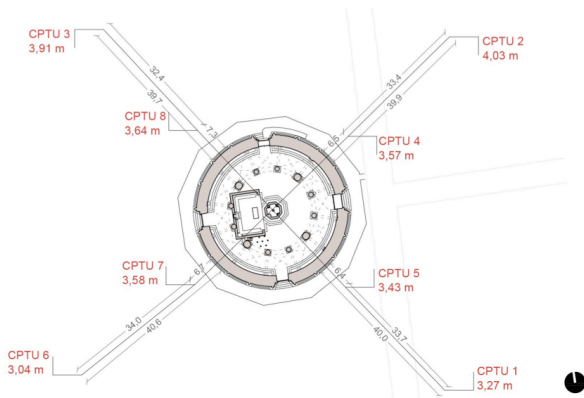


Figura 14 – Pianta delle verticali indagate

Le prove hanno confermato la similitudine del sottosuolo in prossimità del Battistero con quanto già noto dagli studi sulla Torre (Viggiani C. e Pepe, 2005), pertanto lo studio è stato concentrato sulla ricostruzione della geometria del sottosuolo. Da questo punto di vista le prove CPTU consentirebbero di avere informazioni dettagliate che tuttavia in questo caso non è possibile ottenere. Infatti, le consuete correlazioni empiriche (NCHRP, 2007) che di solito permettono di ottenere informazioni sul tipo di terreno, in questo caso appaiono inappropriate in quanto sottostimano la granulometria del materiale. La stratigrafia desunta dalle sole prove penetrometriche presenterebbe una grande quantità di strati argillosi che nella realtà – dai sondaggi – non sono presenti. Il problema di interpretazione delle prove CPTU è stato già rilevato in (Lo Presti et al., 2016) in corrispondenza di materiali che si presentano poco uniformi e con una bassa resistenza alla punta. Nella stessa sede è stata proposta una correzione alle correlazioni per ottenere un'interpretazione più realistica dei risultati. La correzione è stata utilizzata con successo anche in questo caso, ottenendo risultati soddisfacenti. Allo stato attuale delle conoscenze e delle analisi effettuate, non sono emerse criticità legate all'interazione tra terreno e struttura.

5 IL RILIEVO GEOMETRICO

Le informazioni raccolte sull'edificio hanno evidenziato la necessità di eseguire un rilievo geometrico dell'edificio. Le informazioni esistenti sul Battistero si sono dimostrate poco affidabili e di scarsa qualità. Si è pertanto provveduto a realizzare un rilievo mediante laser scanner di ultima generazione con lo scopo di avere una base grafica affidabile per poter effettuare delle

rappresentazioni della struttura (scala 1:50) e per poter rappresentare il quadro fessurativo. Quest'ultima attività è appena iniziata, pertanto non vi sono risultati, mentre il rilievo geometrico ha permesso di argomentare meglio e, forse, chiarire alcuni lati poco chiari delle fasi costruttive realizzate nel XIV secolo. È il caso di sottolineare che il rilievo mediante laser scanner non ha avuto l'obiettivo di rappresentare le decorazioni esterne, pertanto queste sono presenti, ma con una definizione ed un dettaglio insufficienti alla loro rappresentazione grafica.

Come accennato, si è cercato di ottenere alcune informazioni sulla storia della costruzione. Infatti, nel periodo dal 1164 al 1395 le notizie sono scarse e contraddittorie e non è chiaro come sia proceduta la costruzione. Una delle incertezze riguarda la struttura del matroneo. Alcuni storici sostengono che sia stato costruito dopo la realizzazione della copertura piramidale e che durante la costruzione esso sia stato realizzato in legno. Il rilievo tridimensionale eseguito ha consentito di fare luce su questa fase della costruzione. Osservando le quote altimetriche interne del Battistero possiamo vedere come le soglie dei quattro ingressi presentino un forte dislivello nella direzione est - ovest. Questa differenza di quota tra le soglie è pari a circa venticinque centimetri, come attestano anche le misure dei capisaldi posti sulle soglie stesse, indicando una rotazione rigida verso est.

Nella stessa sezione, andando a misurare le quote altimetriche relative alla galleria del matroneo, possiamo osservare come il dislivello si riduce a circa otto centimetri, mentre nella galleria delle cupole la differenza di quota sale a undici centimetri.

Ipotizzando ragionevolmente che i costruttori dell'epoca realizzassero le pavimentazioni su di un piano orizzontale, possiamo affermare che la differenza di dislivello tra le soglie e le estremità est e ovest della galleria delle cupole, pari a circa 14 cm, sia stata subito dal Battistero nella fase di costruzione.

La minore pendenza del pavimento del matroneo può quindi essere attribuita ad una costruzione postuma. Questa ipotesi è accreditata da Benassi e Pierotti, i quali sostengono che in una prima fase il solaio della prima galleria fosse ligneo e che solo successivamente sia stato costruito il soffitto voltato che vediamo oggi. Il rilievo mediante laser scanner presenta una notevole precisione geometrica e consente di analizzare una grande quantità di informazioni. La figura 15 mostra una rappresentazione della nuvola di punti modificata solo per consentire la vista dell'interno. Com'è evidente, la qualità del rilievo consente di analizzare nel dettaglio la struttura e allo stato attuale ciò è oggetto di studio.

6 CONSIDERAZIONI FINALI

Il rilievo fatto ha permesso di ottenere maggiori informazioni sulla struttura del Battistero, riguardo ai suoi movimenti e quelli della Piazza che lo ospita; l'analisi storica critica e lo studio delle geometrie dell'edificio possono dare un contributo nel chiarire le questioni non ancora definite riguardo la sua costruzione; inoltre si è iniziato a dare una forma alle fondazioni della struttura, ignote fino ad oggi, e a costruire un modello geotecnico

del terreno che tuttavia ricalca quello ottenuto per la Torre.

Le indagini e le misure effettuate hanno messo in evidenza l'influenza dei fattori ambientali sul monumento. I movimenti dell'intera piazza inducono sul Battistero delle deformazioni che possono giustificare le patologie strutturali esistenti.

Il quadro ottenuto è in generale non preoccupante, ma diversi aspetti vanno tenuta stretto controllo.

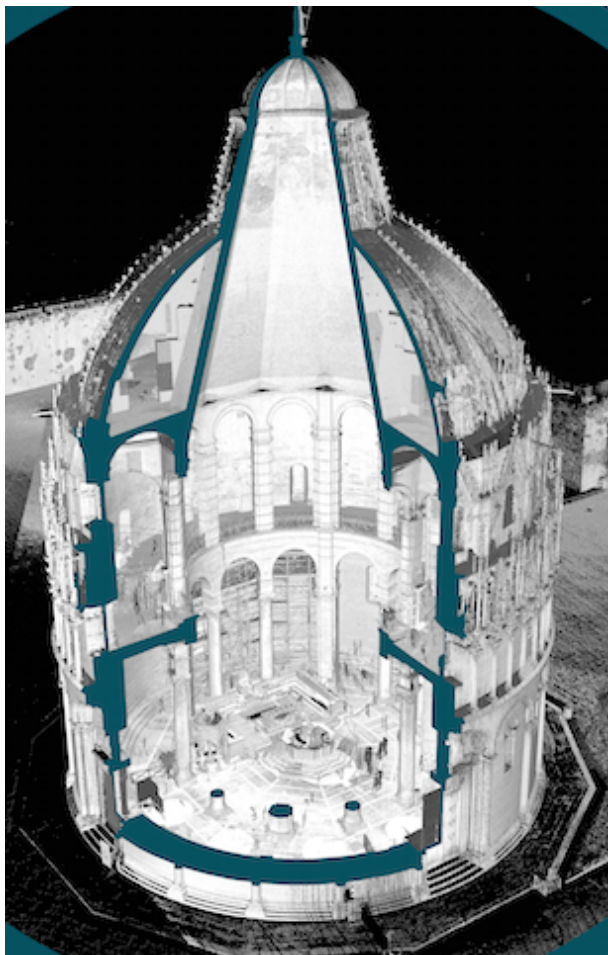


Figura 15 – True view del rilievo effettuato con il laser scanner

Nel proseguimento delle attività è previsto che vengano compiuti dei saggi nella muratura, che permettano di stabilire il materiale di cui è costituito il sodo murario e che chiariscano i numerosi dubbi che si hanno riguardo alle fasi costruttive del Battistero. A tale proposito è opportuno che sia eseguito un rilievo strutturale. Il completamento del rilievo tridimensionale, definendolo in una scala 1:50 e integrandolo con una campagna fotografica, porterà alla rappresentazione di un quadro fessurativo e alla localizzazione di tessiture murarie diverse che attestino differenti epoche di edificazione.

Il quadrante nord ovest del Battistero è la zona più sensibile dell'intera struttura, come conferma la lesione nelle volte della prima galleria e l'arcata del matroneo che mostra un comportamento anomalo in funzione delle variazioni delle condizioni d'ambiente.

Il monitoraggio strutturale sarà proseguito, sebbene con una minore frequenza di misurazioni. Saranno effettuati altri carotaggi nelle fondazioni per definire meglio la struttura dell'anello esterno per conoscere la forma del probabile anello di fondazione interno.

Il viaggio verso la conoscenza di uno dei tre mirabili monumenti di questa piazza è appena iniziato.

BIBLIOGRAFIA

- Burland J.B., 1990, *A study of the motion of the Pisa Tower*, scientific report, not published
- Lo Presti D., Giusti I., Cosanti B., Squeglia N., Pagani E., 2016. *Interpretation of CPTu in "unusual" soils*, *Rivista Italiana di Geotecnica*, 4, 25-44
- NCHRP, 2007, *Cone Penetration Testing*, Synthesis Report 368, Transportation Research Board, Washington DC
- Noccioli R., Polvani G., Salvioni G., (1971). *I movimenti della Torre*, in *Ricerche e studi sulla Torre pendente di Pisa ed i fenomeni connessi alle condizioni d'ambiente*, IGM, Firenze, I, pp. 151-164.
- Pierotti P., Benassi L., 2001. *Deotisalvi. L'Architetto Pisano del Secolo d'Oro*. Pacini Editore, Pisa
- Squeglia N., 2013. *The rebuilding of San Piero a Grado bell tower*, Proc. Geotechnical Engineering for preservation of monuments and historic sites: papers from the 2nd international symposium held in Napoli, Italy on the 30-31 May 2013, 1-7
- Squeglia N., Stacul S., Diddi E., 2015. *The restoration of San Paolo Church in Pisa: geotechnical aspects*. *Rivista Italiana di Geotecnica*, 3, 58-68
- Viggiani C., Pepe M., (2005), *Il Sottosuolo della Torre*, in *La Torre restituita. Gli studi e gli interventi che hanno consentito la stabilizzazione della Torre di Pisa*, Volume Speciale del Bollettino d'Arte del Ministero per i Beni e le Attività Culturali, Roma

RINGRAZIAMENTI

Si ringrazia innanzi tutto l'Opera della Primaziale per l'opportunità data ed il supporto tecnico ed economico alle indagini eseguite. Si ringrazia inoltre la Società EUROTEC di Pisa, nelle persone di Carlo e Paolo Capraro per l'impegno e la dedizione profusi e la Società Soing per la disponibilità.

ABSTRACT

In 2013, the movement of one of the blocks of northwestern arcs triggered the studies presented in this paper. Although the monuments of Piazza dei Miracoli appear, with the exception of the Tower, solid and stable in time, they reveal the need for continuous maintenance and restoring. In the case of the Baptistery of San Giovanni, the 2013 event provided the opportunity to deepen the knowledge of the monument. In order to obtain more information, a series of investigation activities have been initiated. At first, some information about history of construction has been collected. The information were accurate for the period covering the first 50 years of the

construction. After this period the information became poor and in some cases not consistent.

In addition to historical information, some investigation regarded the masonry of foundation, the subsoil and the geometry of the whole structure. About the foundation, a specially developed drilling machine has been used to obtain information about geometry of foundation (mainly foundation plan depth) and solidity of masonry.

The instrumented perforation confirmed the presence of a sort of reclamation stratum as reported in some chronicles of that time. Investigation of geometry, carried out by means of laser scanner, provided a reliable support for further structural studies and provided some additional elements to clarify construction sequence.

In fact, one of uncertainties concerns the construction of floor of first gallery. The measurement of difference in level of floor indicates that the construction of floor occurred after the completion of building.

A two-year monitoring of structure allowed a better understanding of structure behaviour as a consequence of environmental conditions changing. Thermal effects seem to be dominant and some movements are not reversible.

A specially designed instrumented drilling machine has been used for the investigation of the foundations. The instrumented drilling machine provided the definition of geometry of foundation masonry. It is finally outlined a program for the new surveys and measurements