

Un esempio di campanile a doppia canna a Venezia: il campanile dei Gesuiti

Federica Romaro

Soprintendenza Archeologia, Belle Arti e Paesaggio per la città metropolitana di Venezia

Anna Chiarelli

Soprintendenza Archeologia, Belle Arti e Paesaggio per la città metropolitana di Venezia

Andrea Marascalchi

Marascalchi Ingegneria

Abstract

Structural analysis of the Gesuiti bell tower in Venice was intended as an opportunity to study its particular typology and to compare similar structures built in the area. Starting from their history and from an accurate analysis of geometrical survey results, typical vulnerabilities were identified by structural analysis and restoration interventions were suggested underlining the importance of knowing the historical construction technologies without forgetting that each ancient building must be considered for its uniqueness and its specific characteristics.

Keywords

Masonry towers typologies. Double shaft. Structural analysis. Cultural heritage. Structural survey. Venice.

Sommario 1 Premessa. – 2 I campanili a doppia canna in Laguna. – 3 Il campanile dei Gesuiti. – 4 Conclusioni.

1 Premessa

Gli studi della Soprintendenza sul comportamento strutturale e sulla vulnerabilità dei campanili di Venezia, avviati da oltre un ventennio e organizzati a partire da una schedatura sistematica di tutti i campanili presenti in Laguna,¹ vengono implementati progressivamente da ogni nuova fase di analisi, monitoraggio o progetto di intervento sia essa indirizzata a una singola struttura o estesa all'intera categoria. Per questa ragione la stesura di un progetto di primi interventi di messa in sicurezza per il campanile della chiesa dei Gesuiti è diventata un'occasione per una riflessione sulla particolare tipologia a doppia canna di cui il campanile è un esempio.

Oltre al tema fondamentale dato dall'interazione dei campanili con i terreni lagunari è importante considerare le vulnerabilità tipiche che caratterizzano questi manufatti anche al di fuori della Laguna veneziana: la snellezza, l'assenza di orizzontamenti, la particolarità di alcune soluzioni tecniche adottate e le trasformazioni che spesso hanno interessato queste strutture rendono sempre determinante la valutazione della sicurezza.

¹ La schedatura dei campanili di Venezia e una prima valutazione dei fattori di criticità è descritta in Lionello 2011.



Inoltre questi manufatti giungono a noi quasi sempre come risultato di sopraelevazioni successive, legate a trasformazioni architettoniche e mutamenti urbani – come le sopraelevazioni contestuali agli ampliamenti degli edifici ecclesiastici adiacenti, necessarie a mantenere i rapporti corretti tra le parti – e questo può determinare che le murature dei livelli inferiori, le più antiche, sopportino carichi marcatamente superiori rispetto a quelli per i quali erano state costruite.

Spesso anche le trasformazioni dell'uso di questi manufatti determinano criticità: nati per ospitare le campane e poter diffonderne il suono, i campanili erano frequenti quotidianamente almeno fino a quando le campane erano suonate a mano, ora i sistemi di movimentazione delle campane si trovano quasi sempre sostituiti da meccanismi elettrificati che hanno via via ridotto gli accessi a queste strutture determinando così anche un loro minor livello di manutenzione.

2 I campanili a doppia canna in Laguna

I campanili a doppia canna presenti in Laguna mostrano un'interessante continuità dei sistemi costruttivi adottati e dettagli tecnici comuni anche quando le consistenze geometriche sono molto diverse. Gli esempi a cui si fa riferimento sono, oltre al campanile della chiesa dei Gesuiti, il campanile di San Salvador e il campanile di Santa Maria Gloriosa dei Frari.²

La costruzione del campanile di San Salvador è fatta risalire al XII secolo. Il campanile, probabilmente coevo alla chiesa medievale (Guidarelli 2009), è rappresentato nella veduta del de' Barbari prima della riedificazione della chiesa nelle forme attuali avviata nel 1507; la veduta descrive la torre separata dalla chiesa ma circondata da altri edifici già nel 1500. Viene sopraelevato nella seconda metà dell'Ottocento, modificando la cella campanaria e introducendo sistemi costruttivi moderni che, nella porzione sopraelevata, non ripropongono la struttura a doppia canna che caratterizza la parte inferiore [fig. 1].

Per il campanile dei Frari [fig. 2] la prima fase costruttiva si individua tra il 1361 e il 1396; il catastico dell'archivio della chiesa dei Frari riporta che nel 1361 il Maestro Jacopo Celega, grazie a un lascito, dà inizio alla costruzione del campanile che sarà poi conclusa dal figlio Pietro Paolo nel 1396; concepito inizialmente come elemento architettonico isolato destinato a relazionarsi con la chiesa primitiva (XIII secolo) viene successivamente inglobato nella nuova costruzione ecclesiastica realizzata tra il 1340 e il 1432 (Cavaggioni 2008). Gli interventi che hanno determinato alternativamente la sua connessione strutturale o indipendenza dalle murature della chiesa si sono succeduti fino a tempi molto recenti.

Il campanile dei Gesuiti, descritto nei paragrafi successivi, oltre alla struttura a doppia canna che lo caratterizza, condivide con questi due manufatti sia la presenza di fasi importanti di sopraelevazione³ sia la condizione di struttura che nasce isolata per poi diventare, al momento della riedificazione della chiesa, collegata alla nuova costruzione.

Tabella 1 Campanili a doppia canna a Venezia: epoca di costruzione e principali dati dimensionali

	Epoca di costruzione	Altezza	Dimensioni del lato di base
Campanile di San Salvador	XII secolo	32 m (+16 m sopraelevazione)	7 m
Campanile di Santa Maria Gloriosa dei Frari	metà XIV secolo	65 m	9,4 m
Campanile di Santa Maria Assunta dei Gesuiti	XIII sec ?	38 m	8,2 m

La caratteristica costruttiva comune a questi tre campanili è rappresentata da un sistema di risalita formato da rampe in muratura realizzate su un sistema voltato che si imposta tra la

² Non è stato incluso il campanile di San Marco, realizzato effettivamente con un sistema a doppia canna, poiché ricostruito in epoca moderna con materiali e accorgimenti tecnici diversi rispetto alla struttura antica.

³ Nel caso del campanile dei Gesuiti la realizzazione della sua sopraelevazione ha mantenuto la struttura a doppia canna e riproposto quasi tutte le caratteristiche della struttura iniziale (inclusi i collegamenti lignei tra canna interna e canna esterna, seppur semplificati); dall'osservazione del rilievo geometrico si può leggere una leggera differenza nell'inclinazione delle rampe di risalita nella porzione aggiunta, che, oltre a tutti gli elementi osservabili nella lettura critica degli elevati, ben identifica le due diverse fasi costruttive.

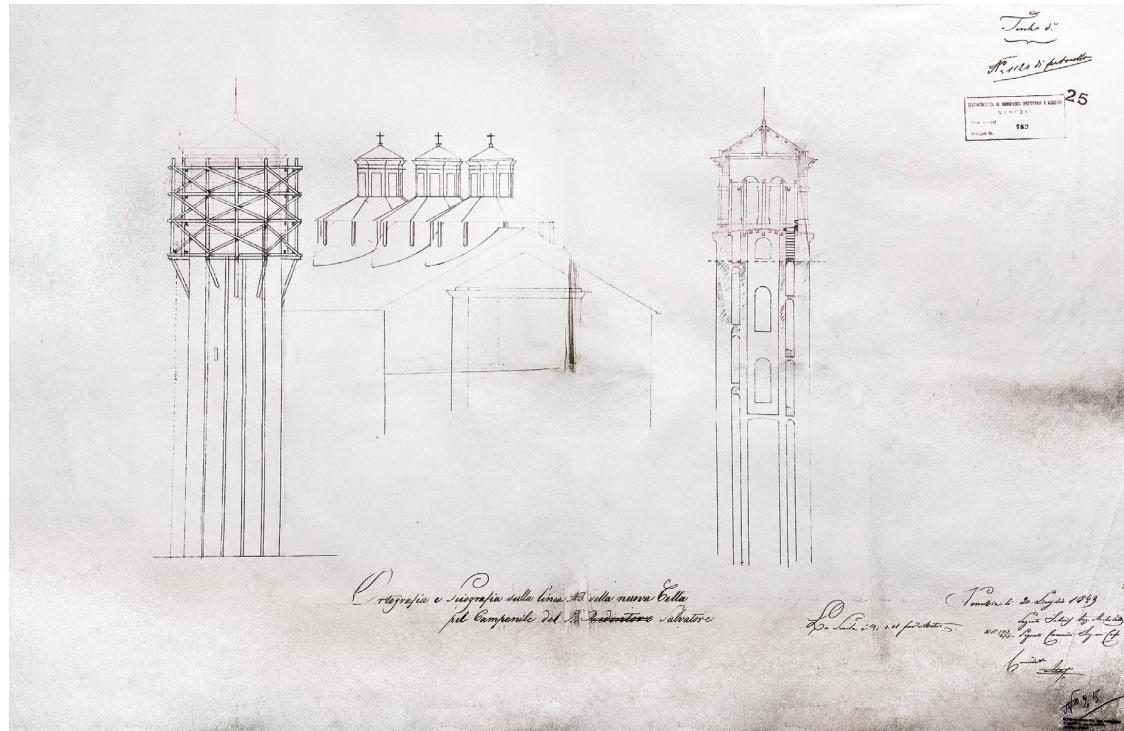


Figura 1 Prospetto e sezione della nuova cella per il campanile del San Salvatore, Venezia. 20 luglio 1849. Archivio Disegni Soprintendenza Archeologia, Belle Arti e Paesaggio per il Comune di Venezia e Laguna, chiesa di San Salvador, inv. 1348

muratura del fusto esterno del campanile e una canna interna, alleggerita dalla presenza di ampie aperture ad arco lungo tutta la sua altezza [fig. 3].

Rispetto ai sistemi di collegamento verticale più semplici e molto diffusi, costituiti da scale e solai in legno, questa rappresenta una soluzione di maggior qualità architettonica, oltre che di impegno costruttivo, certamente di maggior durabilità soprattutto in considerazione della frequente possibilità di ingresso di acque meteoriche dalla cella campanaria all'interno della struttura. La soluzione assicura inoltre una perfetta integrazione con il sistema di movimentazione, suono e sostegno stesso delle campane, consentendo una salita agevole alla cella.

Altre soluzioni simili sono quelle in cui le rampe in muratura sono impostate su pilastri posti ai quattro angoli del volume, il campanile di Torcello [fig. 4] ne è un esempio. La soluzione costruttiva adottata, seppur apparentemente simile a quella a doppia canna, differisce da essa per il grado di connessione reciproco tra la canna esterna e i pilastri interni, che influisce, come vedremo, sulla capacità resistente della struttura.

Limitando la presente trattazione alle strutture propriamente a doppia canna, gli elementi ricorrenti che si possono individuare tra i campanili presenti a Venezia possono essere così sintetizzati:

- fusto esterno in muratura caratterizzato dalla presenza di lesene, aperture verso l'esterno di dimensioni molto limitate, allineate e in genere costituite da una singola serie per prospetto;
- presenza della canna interna con sezione muraria ridotta rispetto a quella esterna e ampie aperture ad arco con altezza variabile e andamento che segue le rampe di risalita;
- sistema di risalita costituito da piccole volte in muratura, di spessore ridotto (una testa), scarsamente ammorsate alle murature di imposta;
- presenza sistematica, al di sotto delle voltine, di elementi di connessione bidirezionale in legno e ferro ancorati su blocchi lapidei, tipo *fiuba* e *zocchetta* [fig. 5];
- limitata presenza di solai lignei interposti;
- solaio e copertura della cella campanaria con struttura lignea.

È interessante evidenziare infine che per questi campanili sono state simili anche le proposte di intervento di inizio Novecento in seguito all'importante attività di controllo da parte della

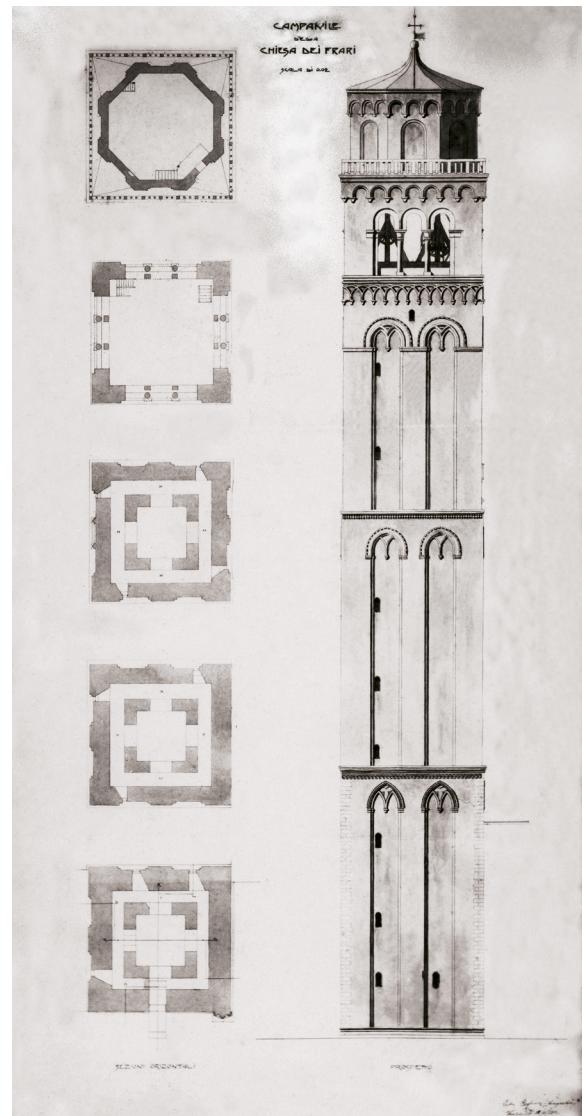
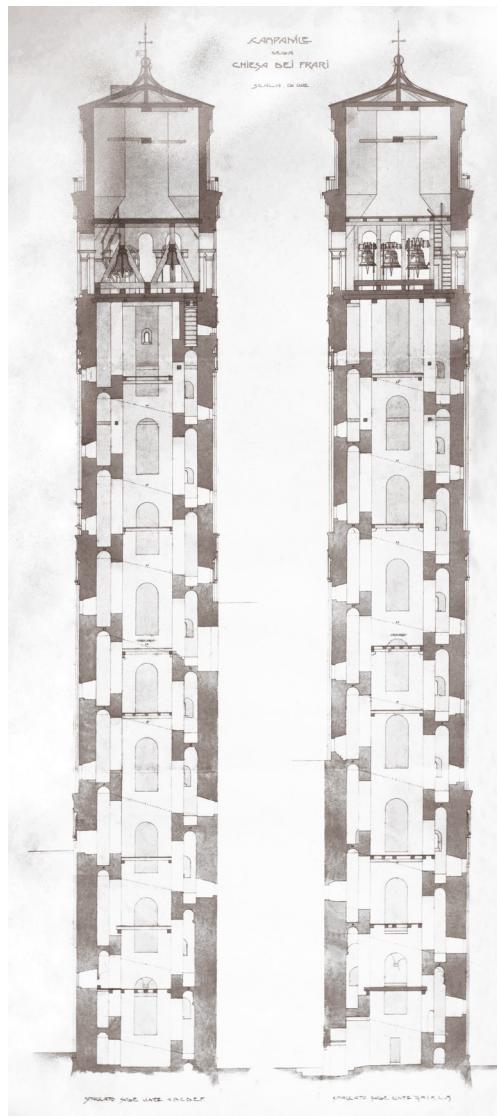


Figura 2
Pianta prospetti e sezioni di un rilievo d'epoca del campanile dei Frari, Archivio fotografico Soprintendenza Archeologia, Belle Arti e Paesaggio per il Comune di Venezia e Laguna, Santa Maria Gloriosa dei Frari

Figura 3
Campanile dei Gesuiti: canna interna

commissione nominata dopo il crollo del campanile di San Marco, le proposte redatte per il campanile dei Gesuiti⁴ sostanzialmente ricalcano l'intervento in elevato (realizzato invece) per il campanile dei Frari.⁵

3 Il campanile dei Gesuiti

3.1 Gli interventi sul campanile e i lavori di restauro della chiesa di Santa Maria Assunta dei Gesuiti

La stretta relazione, non solo liturgica ma anche costruttiva e strutturale, tra la chiesa di Santa Maria Assunta dei Gesuiti, comunemente detta dei Gesuiti, e il suo campanile ha consentito di indirizzare gli importi corrispondenti al ribasso d'asta di lavori di restauro della chiesa anche ad attività di analisi, monitoraggio e primi interventi per il campanile, avviando così una fase fondamentale preliminare al restauro e consolidamento dell'intera struttura.

Durante il mese di agosto 2022, nel corso delle prime fasi di studio del progetto di messa in sicurezza, è stato eseguito un intervento immediato di verifica di stabilità e ancoraggio al supporto degli elementi della muratura esterna del campanile, compresa la raccolta di documentazione fotografica, eseguita con calo dall'alto da parte di scalatori con qualifica di restauratori e la rimozione degli elementi in via di distacco, installando reti di protezione in corrispondenza delle parti di sconnessione o degrado diffuso.

Completato l'intervento in somma urgenza, certamente non risolutivo dal punto di vista conservativo e non sufficiente per garantire la sicurezza della struttura ma importante per ridurre il rischio di caduta di frammenti o blocchi dalle parti più alte, permangono fenomeni di degrado e fessurazione che interessano un'ampia porzione delle parti inferiori del campanile e un quadro fessurativo che interessa sia la canna esterna che la canna interna della struttura, per comprendere il quale è stata effettuata l'analisi strutturale illustrata nei paragrafi successivi.

3.2 Trasformazioni storiche

L'area su cui sorge il campanile è quella del complesso monastico-ospedaliero di Santa Maria dei Crociferi o Crosechieri, identificata fin da prima del XII secolo come insula autonoma, separata dall'allora margine urbano settentrionale di Venezia da un ampio tratto di palude.

Dorigo (2003) indica quest'insula fra il 1300 e il 1360 come l'estremo settentrionale di un vasto compendio territoriale, che si formerà grazie a una serie di colmate di bonifica della palude, di pertinenza del monastero stesso a seguito di una donazione, che sottrarranno alle acque lo spazio che ancora lo separava dai Santi Apostoli. Il campanile era con ogni probabilità

⁴ La relazione dell'ing. Giordano Tomasatti del 4 ottobre 1902 riporta: «Parlando ora del campanile, è utile il ricordare come la sua costruzione e ossatura sia simile a quella del più crollato campanile di San Marco, e di tanti altri campanili di Venezia; una canna esterna a sezione quadrata, sull'interno quattro pilastri, controventati da volte nel loro spessore, che si elevano fino alla base della cella campanaria. Fra la canna di pilastri sono gettate delle voltine parte rette e parte rampanti, sulle quali si svolgono per l'appunto le rampe per accedere alla sommità della torre. Il campanile è danneggiato, specialmente sulla parte bassa. Sulle arcate inferiori comprese fra i piloni interni, alcune mancano quasi completamente di piedritti, a causa di tagli praticati inconsultemente, provocando delle lesioni nei volti. Esistono poi numerose soluzioni di discontinuità sulla muratura ove un tempo si addentravano travi di parapetto, teste di catene in legno che dovevano agire per sbarramento e per trazione, in altro punto il materiale laterizio fu corroso dalla salisedine e dal gelo. I finestrini che servono a dare luce alle rampe, hanno in generale dimensioni troppo grandi, dando così per la loro forma strombata origine a delle linee di minor resistenza, e di fatto attraverso a essi si notano delle fessiture ricorrenti dall'uno all'altro in punto verticale. A ciò si aggiunga che alcuno di egli furono allargati, allo scopo di permettere maggior passaggio alla luce, e non furono muniti degli archi di scarico. Qualcuno dei piloni interni è lesionato con fessiture verticali che minacciano di suddividerlo in due parti; il materiale presenta in qualche punto delle tracce di rottura di schiacciamento o per lo meno attribuibili a cattivo materiale e a cattiva lavorazione. Ma fra tutti i danni menzionati, il più grave è quello delle fessiture ricorrenti lungo i fori delle finestrelle, fessiture che tendono a staccare una delle parti della canna esterna dalle altre tre». Si suggerisce quindi il risarcimento delle murature lesionate, la fasciatura «con legacci in ferro» dei pilastri in muratura, la chiusura di alcune aperture, la «fasciatura, con almeno quattro cinture in ferro da collocarsi a distanze convenienti, del concio inferiore della canna esterna del campanile» e che «è da ricordare che uno dei fianchi del campanile fu già rimpellato, e dal suono che manda percuotendolo, accusa di aver sfarinato dalla malta interna; in conto di lavoro si potrebbe quindi manifestare il bisogno di rifare in parte o eventualmente per interno il rimpello detto». Archivio storico Soprintendenza Archeologia, Belle Arti e Paesaggio per il Comune di Venezia e Laguna, b. A8 Cannaregio – Chiese, fasc. Chiesa dei Gesuiti.

⁵ La documentazione di progetto è conservata presso Archivio storico Soprintendenza Archeologia, Belle Arti e Paesaggio per il Comune di Venezia e Laguna, b. A8 San Polo – Chiese, fasc. Chiesa di Santa Maria Gloriosa dei Frari Rendiconti (1902-09) «Lavori di consolidamento e restauro chiesa, campanile e sagrestia di Santa Maria Gloriosa dei Frari in Venezia»; per una sintesi si veda (Cavaggioni 2008).

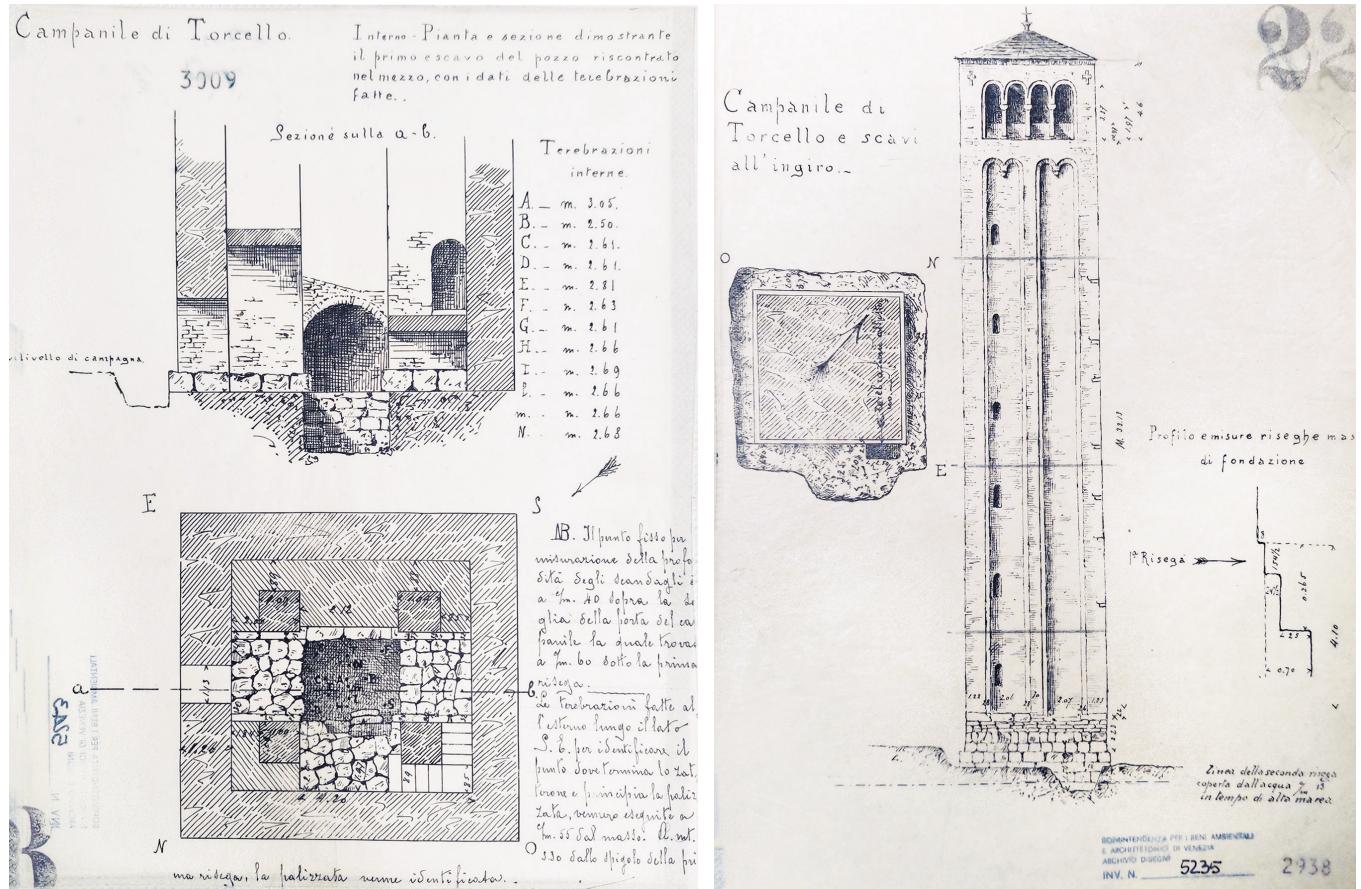


Figura 4 Pianta e sezione della porzione inferiore e prospetto del campanile di Torcello, Archivio Disegni Soprintendenza Archeologia, Belle Arti e Paesaggio per il Comune di Venezia e Laguna, Santa Maria Assunta di Torcello, inv. 5243, 5235



Figura 5 Campanile dei Gesuiti: elementi di collegamento tra le due canne

separato dalla chiesa, come da tradizione, e la chiesa stessa, orientata sull'asse est-ovest, occupava la parte nord-orientale dell'insula.

La classificazione delle tipologie di laterizi impiegati e le caratteristiche della fugatura dei giunti di malta, che trova un riscontro visivo immediato per chi guarda il campanile dalla corte sul lato sinistro della chiesa, segnala come siano individuabili tre fasi evolutive della costruzione [fig. 6].

La prima fase [fig. 7] ci mostra il campanile così come visibile nella rappresentazione del de' Barbari, nella sua litografia del 1500: l'insula è occupata in gran parte da edifici collegati all'attività dei Crociferi: fra tutti spiccano la chiesa, il convento e l'ospedale. Il campanile emerge da dietro la chiesa, ed è riconoscibile l'accenno alle lesene, che proseguono negli angoli a definire la cella campanaria, e una copertura a capanna sovrastata da una croce.⁶

La muratura originaria del campanile si ferma a circa 18 metri di altezza dall'attuale piano di campagna, proseguendo poi nei soli pilastri angolari per un'altezza di circa 3 metri.

La seconda fase corrisponde a una prima sopraelevazione del campanile, rilevabile nel cambio di tessiture murarie e databile fra il XVI e il XVII secolo, che lo aveva portato a un'altezza di circa 25 metri, sovrastato da una cella campanaria di circa 6 metri con coppie di finestroni su ogni lato.

Non si è rinvenuta documentazione che attesti questa prima sopraelevazione, ed è quindi plausibile pensare che sia stata effettuata in occasione di un intervento di riparazione di un danno di notevole entità, dovuto a un fulmine o incendio, e che si sia sfruttata l'occasione per innalzare il campanile inverno dotato di altezza modesta, se comparato alla mole della chiesa adiacente, che aveva nel frattempo subito notevoli trasformazioni a partire dal 1490, in un momento in cui il convento era sia luogo di pellegrinaggio per la visita alle reliquie di Santa Barbara sia centro di attività culturali e umanistiche (Galeazzo 2018).

Nella seconda metà del Seicento, dopo che il grande cantiere per la realizzazione delle fondamente Nove si poteva considerare concluso, l'insula tornò protagonista di una grande trasformazione (Galeazzo 2018) che seguì la soppressione dell'ordine dei Crociferi e il rientro in città dei Gesuiti, cui vennero ceduti all'asta gran parte degli edifici del complesso monastico, a esclusione di chiesa, campanile, sagrestia e cimitero.

La chiesa venne comunque data in uso ai Gesuiti, che a inizio Settecento, anche grazie agli interessi della famiglia Manin, dettero l'incarico di progettare la nuova chiesa all'architetto di origine ticinese Domenico Rossi.

La nuova chiesa, che raccoglieva le istanze di rappresentazione proprie dell'ordine gesuitico, adattate poi all'architettura lagunare, si ampliò in tutte le direzioni possibili, avendo come soli limiti il convento e, sul lato opposto, proprio il campanile.

La terza fase è legata all'ultima sopraelevazione del campanile, coeva alla ricostruzione settecentesca della chiesa e coerente con la necessità di riequilibrare i rapporti di altezza fra esso e la nuova chiesa, la cui navata centrale supera i 26 metri [fig. 7]. Si procedette quindi al tamponamento delle finestre della precedente cella campanaria, che entrarono a far parte del fusto, mentre la nuova cella campanaria si elevò fino a 38 metri e fu coperta da un tetto a quattro falde, con struttura lignea poggiante su mensole in mattoni.

Salendo lungo le rampe interne del campanile vennero ricavati dei varchi sul lato meridionale, per consentire un accesso diretto alle strutture di copertura del transetto e della navata e permetterne l'ispezione e la manutenzione.

⁶ Il modello virtuale dell'assetto cinquecentesco è stato costruito combinando i rilievi metrici attuali con le informazioni visive desumibili dalla veduta del de' Barbari, quelle fornite da alcuni quadri di fine Cinquecento di Jacopo Negretti detto Palma il Giovane (conservati presso l'Oratorio dei Crociferi) che rappresentano la chiesa e soprattutto quelle fornite dal rilievo planimetrico, risalente alla metà del Seicento, dell'intero complesso dei Crociferi al momento dell'acquisto da parte dei Gesuiti (Rilievo planimetrico del primo piano del convento dei Crociferi, Paris Bibliothèque Nationale, Hd-4d, 195). Eseguita la modellazione degli edifici e degli spazi virtuali, si è scelta dapprima una vista prospettica analoga a quella del de' Barbari, e si è verificato che i rapporti visivi fra i manufatti così ottenuti fossero analoghi a quelli della prospettiva storica. Il modello virtuale ha permesso poi di cambiare punto di vista per esaminare il fianco opposto della chiesa con la sua facciata, le due cappelle sporgenti dalla navata e il campanile unito alla chiesa tramite un corpo basso, e infine la sagrestia. Anche per la costruzione dell'assetto settecentesco è stato modellato virtualmente l'insieme degli edifici che circondano il campanile, operazione resa più semplice dal fatto che la loro consistenza attuale è in gran parte uguale a quella dell'epoca, quando le trasformazioni principali si conclusero. La restituzione geometrica si è potuta basare sui rilievi topografici attuali, e si sono poi scelti due punti di vista analoghi a quelli precedenti, in modo da poter confrontare i rapporti volumetrici fra gli edifici in epoche diverse.

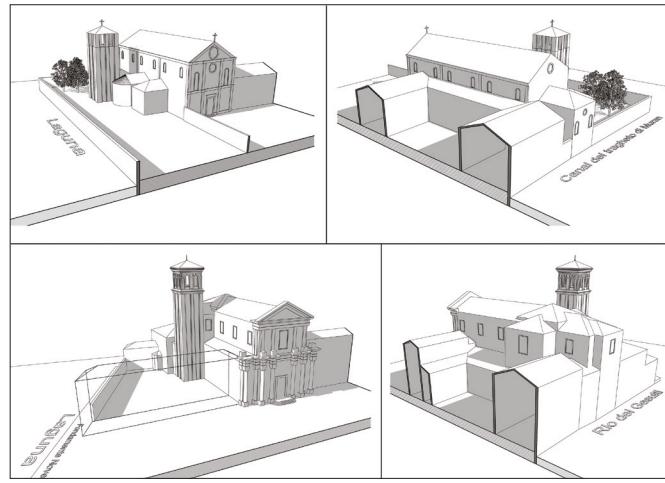
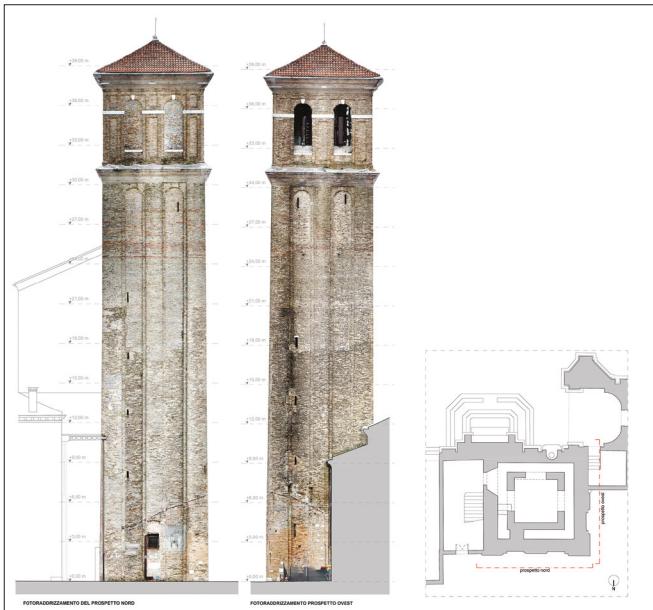


Figura 6 Campanile dei Gesuiti: fotoraddrizzamento dei prospetti nord e ovest del campanile

Figura 7 Modello virtuale dell'assetto cinquecentesco (sopra) e settecentesco (sotto) del complesso. Elaborazione Stefano Carlini

Alla fine dell'intervento di ricostruzione della chiesa il campanile venne a trovarsi al centro di un sistema di edifici interconnessi fra loro e utilizzati in funzione distributiva delle esigenze della liturgia: una scala, posta fra il campanile e la sagrestia, consentiva – e consente tutt'oggi – di raggiungere l'oratorio al piano superiore e fungeva da snodo fra chiesa e campanile, dopo che l'ingresso diretto fra transetto e campanile venne chiuso.

3.3 Conoscenza: rilievo metrico e rilievo del quadro fessurativo e deformativo

Una fase accurata di rilievo diretto, strumentale e critico ha consentito di raggiungere un buon livello di conoscenza della consistenza e dell'assetto geometrico del campanile; si sono rilevate e indagate le caratteristiche geometriche, costruttive e le deformazioni orizzontali e verticali indotte dai fenomeni di dissesto strutturale e degrado materico.

3.3.1 Rilievo metrico

Il campanile si eleva per un'altezza complessiva di 41 m (38,5 m esclusa la copertura), ed è suddivisibile in due macroelementi principali: il fusto, che si innalza fino a 31 m, e la cella campanaria.

Di pianta quadrata, il fusto ha lato pari a 8,2 m alla base, che si rastrema fino a 7,76 m sotto al cornicione inferiore della cella campanaria. È libero da altri corpi edilizi a nord, in aderenza parziale a ovest a un corpo secondario della chiesa, con stacco a 10 m, in aderenza totale a sud al braccio sinistro del transetto, con stacco a 24 m, e a est alla sagrestia, con stacco a 13 m. Presenta su ciascun lato tre lesene esterne, caratterizzate ciascuna da una doppia risega dello spessore di una testa di mattone. Le forometrie presenti, che seguono l'andamento delle rampe del sistema di risalita interno, risultano generalmente allineate lungo specifici assi verticali. Queste presentano esternamente una geometria rettangolare di dimensioni ridotte (circa 10×50 cm) e all'interno dimensioni molto più significative (circa 100×150 cm), per via della strombatura degli archi che le definiscono.

La canna esterna, al netto delle lesene, presenta uno spessore alla base di 92 cm che si rastrema in altezza fino a 70 cm, la canna interna uno spessore costante di 52 cm (quattro teste di mattone).

Tra le due canne, la cui distanza netta è pari a circa 70 cm, sono impostate le voltine inclinate delle rampe [fig. 8], di spessore pari a una testa di mattone. In corrispondenza di ciascuna rampa è generalmente presente una coppia di sistemi di collegamento, costituiti da travetti lignei di sezione media 14×14 cm al cui intradossso sono ancorati dei piatti metallici collegati a elementi lapidei inglobati nella muratura [fig. 5].

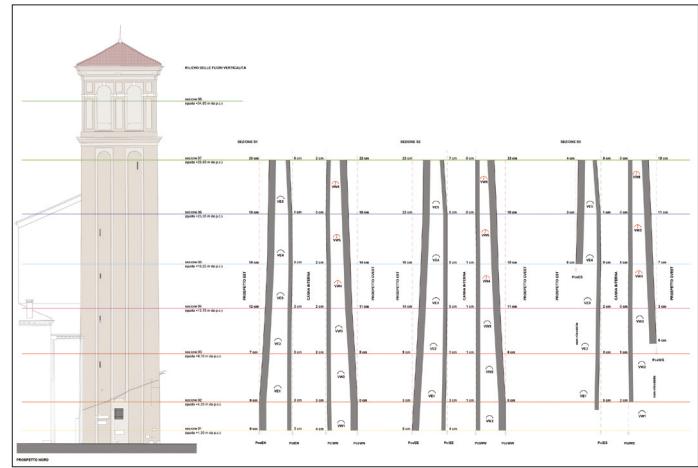
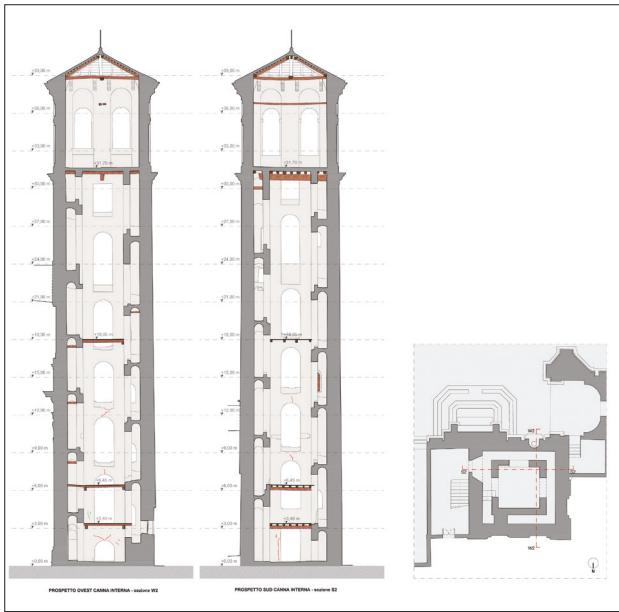


Figura 8 Campanile dei Gesuiti: sezioni di rilievo

Figura 9 Campanile dei Gesuiti: rilievo della fuori-verticalità lungo l'asse nord-sud: sezioni S1, S2, S3 (da sinistra a destra)

All'interno della cella campanaria, parzialmente chiusa sui lati maggiormente esposti (nord ed est), sono installate quattro campane fuse tutte nel XVIII secolo dalle fonderie Zambelli di Ceneda ed Eredi De Poli di Venezia su un castello in legno quasi totalmente originale databile al XVIII secolo; sono presenti ancora le pertiche per il suono manuale complete di contrappesi, circostanza piuttosto rara, non essendo il sistema mai stato elettrificato.

Le campane sono installate secondo il sistema a slancio nella sua variante veneziana⁷ che permette alle campane di suonare con un angolo di oscillazione molto basso e limitare significativamente l'entità delle spinte dinamiche sulla struttura e al contempo la fatica del campanaro.

3.3.2 Rilievo del quadro fessurativo e deformativo

La parte bassa del prospetto ovest presenta numerose lesioni sub-verticali, tra loro ravvicinate, con larghezza e lunghezza delle fessure significative, parte delle quali intercetta elementi metallici ossidati inglobati nella muratura.

Le lesene presentano fenomeni di rottura delle morse di collegamento alla muratura retrostante e conseguenti fenomeni di distacco dei paramenti esterni, estesi a lunghezze significative.

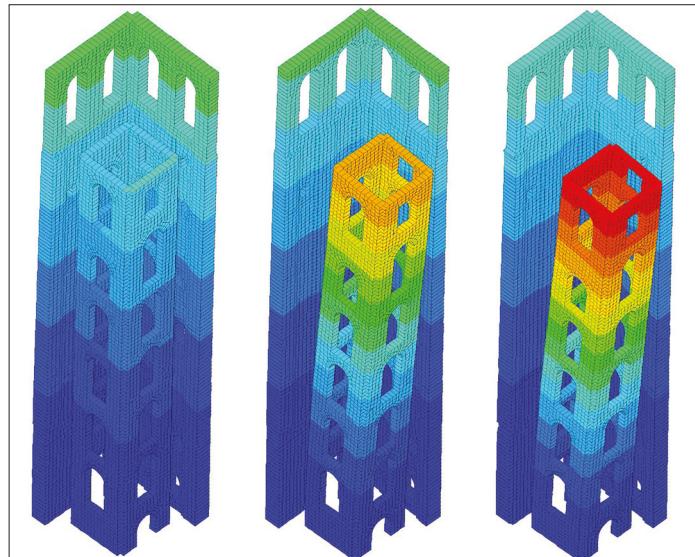
Lungo la canna esterna, in corrispondenza degli allineamenti verticali definiti dalle aperture presenti, vi sono accentuate lesioni sub-verticali, maggiormente presenti sul paramento interno, ma localmente anche su quello esterno, specie per quanto riguarda il lato ovest.

Le arcate di collegamento dei pilastri della canna interna presentano dissesti con fenomeni di scivolamento dei mattoni in zona di chiave e di lesionamento ad andamento diagonale delle porzioni murarie superiori.

Le voltine dei lati ovest e sud degli ultimi tre livelli di rampe evidenziano l'apertura dei giunti all'intradosso in chiave.

⁷ Il sistema a slancio, comprese le sue varianti, è il migliore per la resa acustica delle campane dato che il battaglio non colpisce la campana per caduta ma le rimane adeso smorzando le vibrazioni; tuttavia essendo di tipo 'volante' appena tocca la campana se ne distacca immediatamente lasciando quest'ultima libera di vibrare. La valutazione delle campane e del loro telaio è stata eseguita da Flavio Zambotto.

Figura 9
Output dell'analisi dinamica che evidenzia il comportamento intermedio della torre (immagine centrale) fra le due situazioni estreme di pieno accoppiamento (a sinistra) e totale indipendenza fra le due canne (a destra)



Le fuori-verticalità del campanile sono state rilevate prendendo in esame per ciascuna delle due direzioni nord-sud ed est-ovest tre sezioni, delle quali sono state analizzate le quattro pareti murarie intercettate: due della canna esterna e due della canna interna [fig. 9].

Il fuori-piombo complessivo del campanile, ossia quello del suo asse, è stato quindi valutato sulla base dei rilievi condotti sia sulla canna esterna che su quella interna deducendo che la fuori-verticalità è pari a 15 cm verso sud e 1 cm verso est.

La fuori-verticalità lungo la direzione est-ovest, quindi, risulta trascurabile, mentre, imputando la causa dell'inclinazione della torre alla rotazione rigida della sua base fondazionale, nell'altra direzione si può calcolare che il cedimento differenziale tra i lati sud e nord del campanile è stato di poco superiore a 4 cm.

3.4 Analisi strutturale

La valutazione della sicurezza del campanile dei Gesuiti si è posta l'obiettivo fondamentale di individuare le potenziali vulnerabilità della struttura, cercando di comprenderne l'effettivo comportamento per effetto dei carichi gravitazionali e delle azioni ambientali attraverso osservazioni e rilievi critici *in situ* supportate da analisi teoriche.

In particolare le analisi strutturali sono state finalizzate, oltre a individuare le cause dei dissesti rilevati, fase imprescindibile per la redazione del progetto di restauro strutturale, a esaminare il comportamento dinamico del sistema a doppia canna e l'influenza, su questo, dei dispositivi di mutuo collegamento.

Parte dei dissesti è inquadrabile in un quadro fessurativo che si è sviluppato a partire da fenomeni di degrado materico fisiologico in una struttura muraria a torre, più volte sopraelevata con tessitura quindi disomogenea, a tratti disordinata e localmente modificata da qualche incauto intervento.

Tali dissesti si sono poi propagati nel tempo per via delle ripetute sollecitazioni cicliche cui è soggetto il campanile, quali il vento, l'azione sismica, ma anche il semplice carico gravitazionale, in un quadro di lento deterioramento meccanico delle compagini murarie, investite dall'azione secolare degli agenti atmosferici, particolarmente aggressivi nel margine nord dell'isola.

Di maggior interesse ingegneristico risulta invece il tema del comportamento strutturale della doppia canna, sia per la sua specificità, sia per le conseguenze che questa caratteristica costruttiva apporta sulla stabilità dell'intera torre.

Nell'ambito della valutazione della sicurezza la questione è stata affrontata sotto il profilo della resistenza sismica e le conclusioni dello studio sono estendibili anche all'azione del vento, che si esercita sulla torre con schemi simili, mentre gli effetti dinamici indotti dalle

campane rispondono a schemi diversi in quanto l'azione viene a essere esercitata in sommità coinvolgendo direttamente la canna interna.

L'analisi condotta ha evidenziato il ruolo fondamentale esercitato dai dispositivi di mutuo collegamento tra le due canne nella determinazione della massima azione sismica sopportabile dalla struttura. Questi sono costituiti dalle esili voltine inclinate delle rampe di risalita e da dispositivi puntuali di collegamento, presenti in coppia in corrispondenza di ciascuna rampa, realizzati da spezzoni di travi di legno al cui intradosso sono ancorati piatti metallici collegati a blocchi lapidei inglobati nella muratura.

Nella situazione, del tutto ipotetica, di totale assenza di collegamento tra le due canne, queste presentano una resistenza sismica indipendente l'una dall'altra: quella relativa alla canna esterna risulta maggiore del 50% rispetto a quella della canna interna, contraddistinta da una massa sismica inferiore ma soprattutto da una geometria strutturale evidentemente più debole rispetto alla canna esterna, poiché costituita essenzialmente da quattro pilastri angolari collegati tra loro da archi murari.

Nel caso opposto, altrettanto ideale, che tiene conto dell'accoppiamento delle due canne nei limiti della rigidezza che può essere offerta dai collegamenti esistenti, la sicurezza sismica sarebbe di fatto governata da quella della canna esterna, ricavando per i due modelli valori di resistenza sismica simili.

Quindi, a differenza di ciò che potrebbe esser logico pensare senza gli opportuni approfondimenti analitici, la presenza della canna interna rappresenta, dal punto di vista dinamico, una debolezza intrinseca della struttura.

Essa apporta infatti una certa aliquota di massa al sistema strutturale complessivo, ma a fronte di questo incremento di massa (e quindi di sollecitazione sismica, direttamente proporzionale alla massa) non contribuisce in egual misura alla resistenza sismica del sistema.

Nella situazione attuale del campanile, il livello di efficienza del collegamento tra le due canne risulta collocarsi in posizione intermedia tra le due condizioni limite: totale indipendenza e pieno accoppiamento fra le canne [fig. 10].

Ciò avviene a causa del deterioramento materico dei dispositivi di collegamento in legno e ferro e della limitata capacità resistente delle voltine murarie delle rampe (non solo a trazione ma anche nella resistenza a sollecitazioni di compressione trasversale, che è limitata dal precoce innesco di cinematismi di rottura favoriti dallo spessore sottile delle volte).

Infatti, il propagarsi del quadro fessurativo sulle rampe e il deterioramento dei dispositivi di collegamento riduce via via l'efficienza del sistema complessivo tendendo a rendere sempre più indipendenti fra loro le due canne.

La resistenza del sistema tende quindi a quella della canna interna, caratterizzata da livelli di sicurezza inferiori.

È interessante osservare come Luca Beltrami, nel 1912, indagando sul crollo del campanile di san Marco individuò nella canna interna l'elemento debole della struttura, arrivando a ipotizzare che proprio il crollo di una sua porzione avesse innescato il drammatico collasso del campanile (Beltrami 1912, 106-9).⁸

⁸ Si riporta per esteso il testo di Beltrami «Basti ricordare come tutta la disposizione delle rampe fosse collegata, anziché a una muratura continua, a semplici piloni aventi una sezione di resistenza di poco superiore al metro quadrato, e la ragguardevole altezza di oltre m. 50 [...]; e si noti come quelle già insufficienti sezioni di resistenza non si potessero neppure considerare interamente utili, poiché i piloni erano collegati fra di loro mediante archi, le imposte dei quali intaccavano di necessità la muratura, indebolendone l'efficacia. Si comprende quindi come tale struttura, sottoposta ad un carico eccessivo, si fosse deteriorata al punto da rendere necessario, in alcune tratte di quei piloni, il ripiego di fasciature in ferro, destinate a contrastare il visibile disaggregamento della muratura. [...] il semplice allentamento di una di quelle esili fasciature avrebbe potuto bastare a compromettere le condizioni di resistenza della corrispondente tratta di pilone incrinata e disaggregata, il cui sfasciamento sarebbe stato immediato e sufficiente a determinare senz'altro il crollo dell'intera struttura delle rampe, essendo tutti i piloni collegati fra di loro, come si disse, mediante una serie di arcate alle quali sarebbe venuto a mancare, l'una dopo l'altra, una delle imposte. [...] La conclusione cui doveva arrivare la inchiesta sulle cause del disastro, non poteva essere che questa: le condizioni del Campanile di S. Marco erano tali per cui, in qualsiasi istante [...] avrebbe potuto verificarsi la improvvisa rovina del Campanile, secondo queste successive fasi: sfasciamento di una tratta di pilone interno, sia per azione continuata del carico eccessivo e delle scosse e vibrazioni delle campane gravanti esclusivamente sui piloni, sia per effetto della improvvisa rottura di un esile legamento in ferro; crollo dell'intera massa sovrastante al pilone sfasciato, travolgendone di necessità i piloni laterali, a quello collegati con archi, e travolgendo quindi i piloni degli altri lati della canna interna; insaccamento delle macerie nel vano interno per modo da determinare, anche per l'azione violenta della caduta, una pressione contro la canna esterna; distacco, provocato da tale pressione lungo due lati della canna esterna, in corrispondenza della linea di minore resistenza che si era verificata nelle tratte di muratura fraposte alla serie delle finestre all'angolo nord; apertura della canna esterna, e conseguente crollo generale

4 Conclusioni

Lo studio ha evidenziato quindi la necessità di comprendere, fra le azioni prioritarie finalizzate alla messa in sicurezza del campanile, il restauro conservativo e l'integrazione del sistema di mutuo collegamento tra le canne.

Oltre a ciò sarà necessario provvedere al consolidamento della parte inferiore della struttura muraria con interventi di ricucitura delle lesioni, ammorsatura del paramento murario, ristilatura armata, iniezioni di legante e scuci-cuci delle parti più degradate, oltre a puntuale sostituzioni e riparazioni di elementi lignei degradati.

L'occasione dello studio del campanile dei Gesuiti, seppur limitato a stabilire le priorità di intervento di messa in sicurezza e a individuare le lavorazioni eseguibili nell'ambito del modesto finanziamento disponibile, ha messo in luce la particolarità di questa tipologia strutturale evidenziandone le criticità e suggerendo ulteriori ambiti di studio.

L'individuazione di una tipologia costruttiva, tuttavia, pur fornendo un primo repertorio di elementi, caratteristiche e vulnerabilità tipiche da indagare, dovrà sempre confrontarsi con l'unicità di ogni costruzione storica e la necessità di approfondirne la conoscenza attraverso la comprensione e l'analisi dei dettagli costruttivi e dei segnali di dissesto con un percorso di studio che, in particolare per una struttura complessa quale una torre campanaria, consente di limitare gli interventi al livello minimo necessario per la conservazione.

Bibliografia

- Beltrami, L. (1912). «Indagini e studi per la ricostruzione dal Maggio al Giugno 1903». Fradeletto, A. (a cura di), *Il Campanile di San Marco riedificato. Studi, ricerche, relazioni*. Venezia: Comune di Venezia.
- Cavaggioni, I. (2009). «Analisi e conoscenza per il progetto di consolidamento e restauro di san Maria Gloriosa dei Frari». Lionello, A. (a cura di), *Tecniche e linguaggio del restauro. Il campanile di Santa Maria Gloriosa dei Frari in Venezia. Conoscenza, consolidamento, restauro*. Milano: Electa.
- Dorigo, W. (2003). *Venezia romanica. La formazione della città medioevale fino all'età gotica*. Venezia: Cierre Edizioni per Ist. Veneto di Scienze, Lettere ed Arti.
- Galeazzo, L. (2018). Venezia e i margini urbani. L'insula dei Gesuiti in età moderna; Venezia: Istituto Veneto di Scienze Lettere Arti.
- Guidarelli, G. (a cura di) (2009). *La chiesa di San Salvador a Venezia. Storia, arte, teologia*. Padova: Il Prato.
- Lionello, A. (a cura di) (2011). *Tecniche costruttive, dissesti e consolidamenti dei campanili di Venezia*, Corbo e Fiore Editori. Venezia: Corbo e Fiore Editori.