San Marco. Il consolidamento del campanile*

Premessa

Sono stati recentemente avviati i lavori per il consolidamento del campanile di San Marco. Uno dei monumenti più riconoscibili e noti della città e tra i più cari per gli stessi veneziani per i quali è, familiarmente, "il paròn de casa".
Crollato agli inizi del '900, ricostruito in una decina d'anni e da tempo afflitto da insidiosi malanni, il monumento sarà oggetto di accurate e sofisticate operazioni di rinforzo, inserite nell'ambito delle attività per la difesa di piazza San Marco dalle acque alte.
Agli interventi sul campanile concorrono il Magistrato alle Acque di Venezia, la Procuratoria di San Marco e la Regione del Veneto che hanno sottoscritto uno specifico Accordo di programma nel quale è individuato un piano operativo condiviso per l'esecuzione coordinata e unitaria delle opere progettate. L'Accordo prevede, inoltre, che la realizzazione degli interventi sia eseguita dal Magistrato alle Acque attraverso il suo concessionario Consorzio Venezia Nuova, che opererà in stretto coordinamento con la Procuratoria di San Marco e la Regione del Veneto.

Il campanile. Dalle origini al crollo del 1902

Sono piuttosto scarse le notizie storiche relative al campanile di San Marco soprattutto per quanto riguarda le origini e i primi secoli dopo la sua realizzazione.
Il campanile si trova nel luogo in cui forse sorgeva un'antica torre di avvistamento e risulta completato agli inizi XII secolo. Non è possibile stabilire l'originaria tipologia costruttiva se non a partire dalle prime rappresentazioni del '400 che mostrano una struttura nel complesso simile a quella attuale, che culminava nella cella campanaria su cui si impostava la cuspide piramidale.
Nel tempo esso subì numerosi restauri e parziali rifacimenti (documentati in diversi disegni e vedute dell'epoca), per lo più resi necessari per le conseguenze di fulmini, di incendi o, come avvenne nel marzo del 1511, di scosse di terremoto.
Proprio all'inizio del XVI secolo si procedette a un'importante serie di interventi di ristrutturazione, condotti sotto la direzione di Pietro Bon. In questa occasione vennero completamente risistemate la cella campanaria e la cuspide piramidale, che era stata gravemente danneggiata da un fulmine nel corso del 1489. Sulla sommità del campanile, inoltre, venne collocata la statua in legno, rivestita di rame, dell'Arcangelo Gabriele installata su una piattaforma girevole a seconda della direzione del vento (la statua originaria è stata sostituita nel 1820 con una nuova opera, dello stesso sog-

* Il progetto per il consolidamento del campanile di San Marco è stato elaborato dal Consorzio Venezia Nuova (attraverso lo Studio Tecnico Macchi) per conto del Magistrato alle Acque di Venezia ed è stato sottoposto alla preventiva approvazione dei soggetti competenti:
- Soprintendenza per i Beni Archeologici del Veneto - NAUSICAA (27 dicembre 2005);
- Soprintendenza per i Beni Architettonici e il Paesaggio (31 gennaio 2006);
- Procuratoria di San Marco (16 febbraio 2006);
- Commissione per la Salvaguardia di Venezia (28 febbraio 2006);
- Comitato Tecnico di Magistratura (26 gennaio 2007)

Uno sguardo dal campanile di San Marco, in una fotografia della metà del '900

Le macerie del campanile dopo il crollo del 1902

Le ultime lavorazioni sulla parte superiore del campanile, al termine degli interventi di ricostruzione

Volantino celebrativo dell'inaugurazione del nuovo campanile, avvenuta il 25 aprile 1912

getto, realizzata da Luigi Zandomeneghi). Il campanile raggiunse così l'altezza di circa 100 metri.
Sempre nella prima metà del XVI secolo si intervenne anche alla base del campanile. Tra il 1537 e il 1549, infatti, il lato est venne impreziosito con una loggetta, realizzata da Jacopo Sansovino, caratterizzata da tre grandi arcate, completate da nicchie entro le quali sono collocate le statue (anch'esse del Sansovino) di Minerva, di Apollo, di Mercurio e della Pace. Il progetto sansoviniano prevedeva che la loggetta proseguisse anche sugli altri tre lati del campanile in luogo delle botteghe in legno adibite al commercio al minuto (esse rimasero invece al loro posto e furono demolite solo alla fine XIX secolo). La loggetta fu parzialmente modificata nella seconda metà del '600 con l'aggiunta di un'ampia terrazza d'accesso.
Ancora nel '600 e nel '700 proseguirono numerosi interventi di manutenzione e di sistemazione del campanile, soprattutto per i danni causati dai fulmini. In particolare, nel 1745 un fulmine squarciò l'angolo nord-est dell'opera e tre persone morirono travolte da pietre e calcinacci precipitati a terra.
In molti pensano che proprio questo episodio abbia finito per compromettere definitivamente una struttura già fragile, minacciata da una molteplicità di problemi: di natura statica, per l'eccessivo peso del monumento; di intrinseca debolezza strutturale per i sistemi esecutivi adottati; di degrado dei materiali costruttivi.
Il campanile resse per un altro secolo e mezzo prima di cedere definitivamente. All'inizio del luglio 1902 venne notata una fessura apertasi proprio sull'angolo nord-est, all'altezza della copertura della loggetta. La fessura si ampliò e si allargò pericolosamente nel giro di pochi giorni, salendo in modo rapidissimo fino a raggiungere la cella campanaria il 13 luglio. La mattina seguente il campanile cedette crollando su se stesso, nella piazza deserta sgomberata in previsione del peggio.
Il crollo provocò tra l'altro anche la distruzione dell'angolo nord della libreria sansoviniana e della loggetta che venne poi ricostruita con i frammenti originali recuperati. Nel crollo andarono irrimediabilmente danneggiate anche quattro delle cinque campane: soltanto la cosiddetta "Marangona" rimase praticamente intatta.
La ricostruzione del campanile venne deliberata la sera stessa del crollo dal Consiglio Comunale in seduta straordinaria. "Com'era e dov'era" si disse in quei giorni. Il 25 aprile 1903, festa di San Marco, Patrono della città, si svolse la cerimonia della posa della prima pietra. Nove anni dopo, sempre lo stesso giorno, il nuovo campanile venne finalmente inaugurato.

Dopo la ricostruzione. I problemi attuali

La ricostruzione del campanile aveva comportato, tra l'altro, anche l'ampliamento delle fondazioni, secondo una soluzione che doveva servire a distribuire il peso della struttura su una base più ampia (da circa 220 m^2 a circa 410 m^2) e a conseguire una riduzione dei carichi da 9 kg/cm^2 a 4 kg/cm^2. Attorno alle preesistenti fondazioni vennero infissi, uno accanto all'altro, oltre 3000 tronchi di larice lunghi in media 4 m, riempiendo i vuoti tra pali adiacenti con un getto di cemento e con pietrisco. Sopra i pali furono posti tre strati di tavole di legno di quercia su cui vennero collocati i blocchi di pietra d'Istria o trachite.
Tuttavia, nonostante gli accorgimenti costruttivi appositamente adottati e la ricercata interconnessione strutturale, non si riuscì a rendere completamente solidali le nuove e le vecchie fondazioni e a ottenere la monoliticità necessaria per un'uniforme ripartizione dei carichi sul terreno.
Nel tempo ciò ha determinato un aumento delle tensioni verticali di compressione ai quattro spigoli della sezione di base dell'opera a causa dei cedimenti differenziali del masso di fondazione messi in evidenza da alcune piccole fessure osservate sui gradini in trachite alla base del campanile già nel 1914, cioè subito dopo la ricostruzione.

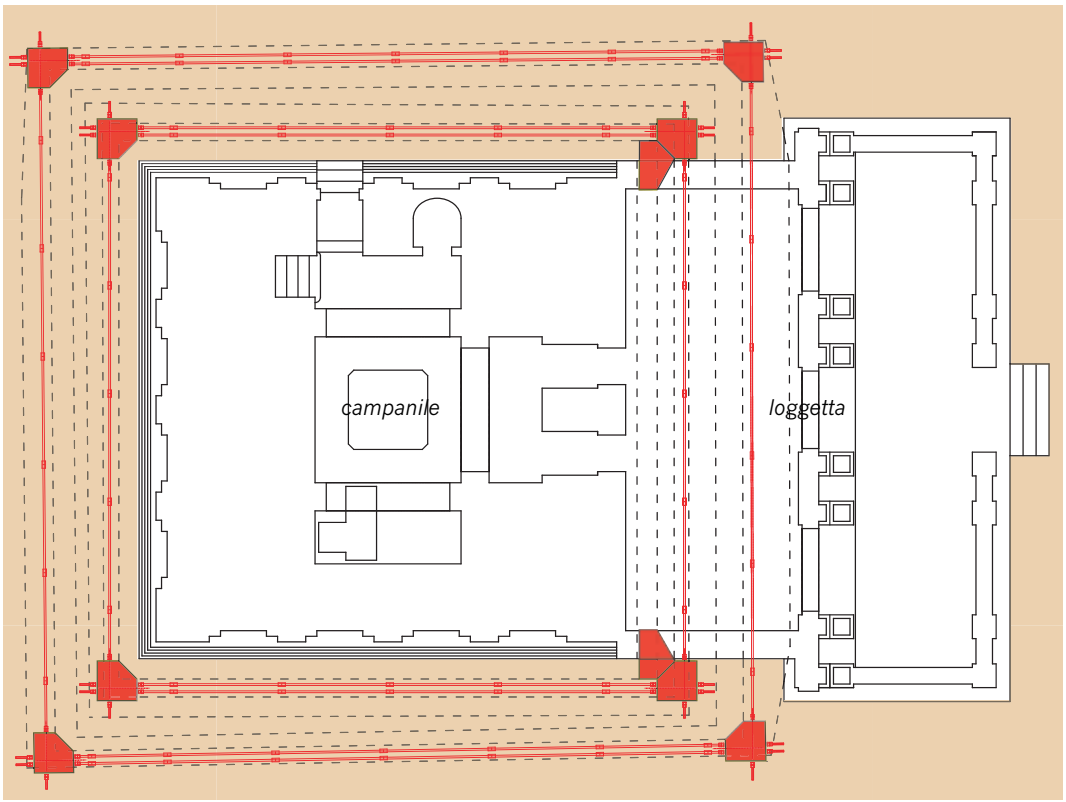
2008 - 2010. Gli interventi di rinforzo
Una cintura in titanio

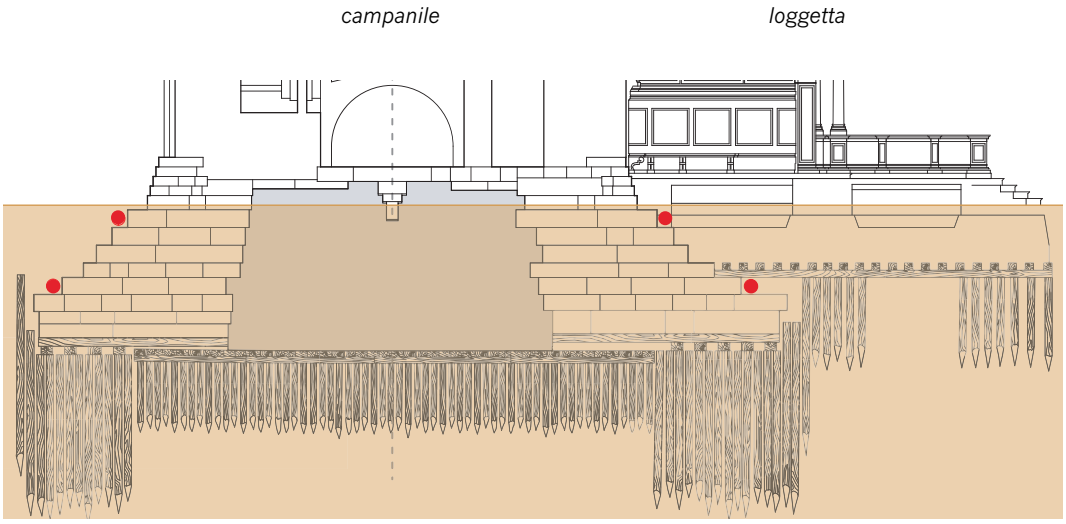
A partire dalla seconda metà del '900 il campanile è stato sottoposto a sistematici e regolari controlli. Le misure e i rilievi eseguiti; le analisi effettuate; i monitoraggi predisposti (tra il cui il sistema di monitoraggio strutturale automatico dell'ISMES, installato per conto del Magistrato alle Acque nel 1995) hanno confermato i fenomeni in atto mentre le verifiche sulla verticalità della struttura hanno messo in evidenza un "fuori piombo" del campanile di circa 7 cm sull'intera altezza.
Ulteriori analisi sono state eseguite nell'ambito della progettazione degli attuali interventi per accertare con precisione l'entità dei processi di assestamento; valutare le caratteristiche delle strutture interessate e il loro stato di conservazione; acquisire dati e informazioni necessarie a mettere a punto le specifiche modalità operative.
Queste prevedono il rinforzo del masso di fondazione mediante "cerchiatura" con barre dinamometriche in titanio, per bloccare i cedimenti differenziali in atto. Le barre in titanio assicurano ottime caratteristiche meccaniche, il minimo disturbo al terreno di fondazione e la massima durabilità in rapporto all'ambiente altamente corrosivo in cui si opera, soprattutto per la presenza di acqua salmastra.
Una soluzione di questo stesso tipo è già stata adottata con successo per la facciata della basilica di San Pietro a Roma, dove, con un sistema del tutto simile è stato pos-

Indagini all'esterno del campanile.
Nella foto si vede uno degli scavi sul lato nord del campanile. Questo tipo di indagini ha consentito di acquisire informazioni necessarie per la progettazione delle opere e per la definizione delle modalità esecutive. Le attività hanno compreso, tra l'altro, indagini geognostiche dei terreni; indagini planoaltimetriche delle gradonate del masso di fondazione; rilievi dei sottoservizi e dei condotti fognari.
Sono state anche effettuate le opportune verifiche per individuare eventuali preesistenze archeologiche (con il coordinamento scientifico della Soprintendenza Archeologica del Veneto - Nausicaa)

Indagini strutturali e statiche all'interno della loggetta.
Nell'ambito di queste attività è stato possibile realizzare anche alcune lavorazioni preliminari all'avvio degli interventi

Gli interventi di consolidamento.
In alto, la pianta del campanile e della loggetta con la disposizione delle barre dinamometriche (in rosso) attorno ai gradoni del masso di fondazione (linee tratteggiate). In basso, la relativa sezione tipo





sibile arrestare un progressivo processo di fessurazione (calcolato in circa 1 mm all'anno).
Per il campanile di San Marco, si procede alla posa e alla messa in tensione di un doppio sistema di barre dinamometriche applicate intorno alla parte interrata del masso lapideo di fondazione: a un primo livello situato circa 40 cm al di sotto della pavimentazione della piazza e a un secondo livello a una profondità di circa 2,3 m.
In entrambi i casi viene impiegata una coppia di barre collocate a 20 cm di distanza l'una dall'altra. Ciascuna barra è a sua volta formata dall'unione di singoli pezzi lunghi 2 m o 3 m e con un diametro di 6 cm. Ogni coppia di barre è contenuta da un tubo di protezione in polietilene ad alta densità, con un diametro di 40 cm.
Le barre sono ancorate alle estremità, mediante doppio dado filettato e rondella, su elementi angolari in titanio (quelle superiori) o su pietre angolari in granito (quelle inferiori) che trasmettono lo sforzo al gradino del masso di fondazione[1].
Poiché su due lati del campanile le barre si trovano sullo stesso piano *verticale* mentre sugli altri due lati le barre sono poste sullo stesso piano *orizzontale*, esse si intersecano esattamente agli ancoraggi senza dar luogo a tagli, flessioni e torsioni.
Le barre vengono messe in tensione a un valore iniziale prestabilito (250 kN / barra) che si prevede di aumentare (fino a 3 volte) nei prossimi anni in funzione dei risultati del monitoraggio delle barre e della situazione che si registrerà rispetto alle attuali fessure e alla struttura in generale.
La posa e la manutenzione delle barre avviene attraverso apposite camerette sotterranee, da predisporre in corrispondenza dei quattro angoli del campanile, che servono in particolare per alloggiare l'attrezzatura di perforazione, per favorire la successiva introduzione delle barre e per eseguire i necessari controlli e monitoraggi.
Per la loro realizzazione, che comporta l'esecuzione di alcuni scavi, sono state esaminate diverse soluzioni tecniche allo scopo individuare la modalità operativa più idonea per quanto riguarda l'assetto del sottosuolo e delle fondazioni del campanile. La soluzione prescelta (proposta dallo Studio Geotecnico Italiano) non prevede l'utilizzo di palancole ma l'esecuzione di colonne di terreno consolidato in grado di minimizzare eventuali effetti indesiderati degli scavi. Oltre alle camerette d'angolo, al centro dei lati nord, ovest e sud verranno realizzate tre ulteriori camerette necessarie per l'inserimento delle barre.
Con la realizzazione dei lavori si provvede, inoltre, a riattivare il sistema di monitoraggio predisposto nel 1995 che, come detto, dovrà consentire anche la verifica, in continuo, della tensione nelle barre di titanio e dell'ampiezza delle fessure sul plinto e sui

[1] Le pietre angolari saranno lavorate fuori opera sulla base del disegno di rilievo effettuato sul posto così da assicurare il loro corretto appoggio sul gradino sottostante. Per il passaggio delle barre, le pietre saranno perforate mediante utensile al diamante. Sul bordo esse saranno dotate di piastre di ripartizione in titanio.

gradini in trachite, oltre che dei livelli della falda. L'estensione del sistema è dovuta alla necessità di uno stretto controllo del campanile nel corso dei delicati lavori alle fondazioni e di un sistematico esame degli effetti dell'intervento negli anni successivi.

Il cantiere

Gli interventi avranno una durata di due anni e mezzo, durante i quali non verrà mai interrotto l'accesso al campanile. Alla fine del 2007 sono state avviate le attività preliminari con la predisposizione di una recinzione provvisoria necessaria per delimitare l'area di cantiere e consentire poi l'allestimento definitivo che comprenderà pannelli informativi sulle attività in corso.
Il cantiere circonderà il campanile, lasciando libera la loggetta del Sansovino. I masegni della pavimentazione che dovranno essere rimossi per consentire le lavorazioni, saranno adeguatamente conservati in luogo sicuro per essere poi risistemati al termine degli interventi.