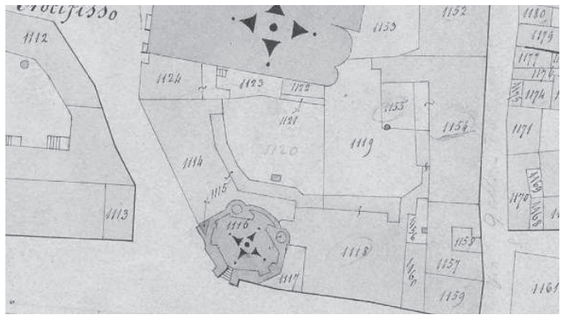
14. Rischi comuni a tutte le aree archeologiche che vedono, dopo lo scavo, messe in luce strutture che per tempi più o meno lunghi sono rimaste sottoterra in condizioni di temperatura e di umidità molto differenti.
15. Con la Scuola di Specializzazione di Genova le iniziative riguardano soprattutto il corso di Tecniche di Restauro, di cui chi scrive è titolare, con la Scuola di Specializzazione di Milano le eventuali lezioni in situ riguardano l'Archeologia dell'Architettura all'interno del corso breve che ogni due anni viene svolto presso l'Università di Genova
16. In questa veste, con attività di volontariato sono presenti nell'Associazione Luca Nanni, consigliere comunale, Mariangela Davico, studiosa sulle fornaci da calce, Gianfranco Caruso libero professionista e Daniela Pittaluga per conto dell'Università di Genova
17. La pratica di titolazione dell'area in realtà è stata molto celere in quanto nel caso specifico ci si è limitati ai tempi tecnici necessari, dato l'indiscusso valore e l'ampia notorietà degli studi condotti a tutti i livelli dal prof. Mannoni.
18. A questo va aggiunto tutto il lavoro che proprio i ragazzi hanno effettuato compiendo ricerche sulle testimonianze di anziani sulle ultime modalità di lavorazione della calce a Cogoleto. In questo senso il restauro della Fornace ha funzionato come un pretesto ed un'occasione per stimolare curiosità e ricerca.
19. Sono stati raccolti i racconti anche di anziane che al tempo, da bambine, facevano la spola tra i boschi e le fornaci portando le fascine per la cottura.
20. Per aggiornamenti sullo stato di queste ricerche si veda il sito della scuola di Specializzazione in Beni Architettonici e del Paesaggio alla voce "Ricerche in cantiere" cfr. www.ssrm.arch.unige.it. e sul sito dell'Associazione FBC http://www.associazionefornacebianchi.org Un articolo che dà conto della prima fase della sperimentazione è stato pubblicato in D.Pittaluga, F.Fratini, A.Nielsen, S.Rescic, *Industrial archaeological sites and architectonic remains: the problem of consolidation in humid areas*, in G. Biscontin, G.Driussi (a cura di), *La conservazione del patrimonio architettonico all'aperto,* ed. Arcadia Ricerche, Venezia, 2012, pp.303-312. La supervisione scientifica di queste ricerche è di Mauro Matteini e Fabio Fratini del CNR-ICVBC di Firenze.
21. Questa ricerca è in corso: a breve verranno pubblicati i primi risultati.
22. Il consolidamento dei carboni è, a tutt'oggi, uno degli argomenti più discussi e controversi, soprattutto per quanto riguarda la situazione in aree archeologiche, a cui ancora non si è data una risposta convincente. Anche per queste sperimentazioni la supervisione è di Mauro Matteini e Fabio Fratini, alla ricerca contribuisce anche chi scrive con l'aiuto del restauratore Axel Nielsen che cura l'applicazione ed i test sui prodotti. Aggiornamenti progressivi verranno pubblicati sui due siti web sopra citati.
23. "Situazione di quasi-equilibrio" secondo Tiziano Mannoni è quella situazione con una progressione molto lenta del degrado, quando il danno è di piccola entità rispetto alla quantità di materiale esposto e soprattutto quando il suo procedere è lineare, cioè quando ad intervalli costanti di tempo corrispondono proporzionali incrementi del degrado. In questi casi spesso la soluzione migliore è non intervenire in nessun modo (cfr. D.Pittaluga, *Cosa può non essere considerato degrado* in S.F.Musso, *Recupero e restauro degli edifici storici*, ed. EPC, Roma, 2010, pp.411-413)
24. Per quanto riguarda le conferenze tenutesi a Cogoleto nell'ambito del Festival della Scienza si segnalano: nel 2012 *Immagino il paese della calce che fu...; La calce, le sue caratteristiche, le sue potenzialità nel restauro (e non solo), oggi;* nel 2013 *Fragilità, eccentricità e bellezza* e nel 2014 *I tempi del restauro architettonico*; *L'esperienza dei cantieri di Cogoleto*, pubblicate sul sito dell'associazione Fornace Bianchi.
25. E' chiaro che tutto questo sarà oggetto di una meticolosa programmazione a cura dell'Associazione e di chi scrive in particolare in modo che tali attività vadano a colmare un vuoto che altrimenti esisterebbe per le carenze croniche di personale e di fondi pubblici da parte della pubblica amministrazione e che la sinergia avviata tra Comune, associazione e Scuola edile provveda a fare in modo che tali interventi siano dal punto di vista qualitativo ineccepibili. In questo modo, oltre d averne un vantaggio per il manufatto si coglierà l'obiettivo di una didattica di qualità.
26. Per quanto riguarda le tesi si segnalano quelle relative all'a.a-2011-12 di Giorgia Less, Anna Bruzzone, *Rilievo digitale applicato alla conoscenza delle tecniche costruttive storiche: analisi di murature e di pavimentazioni antiche,* rel. D.Pittaluga, correlatore: C.Calderini e quella di Carmela Di Lorenzo, *Studi post-restauro sulla Fornace Bianchi di Cogoleto,* relatore D. Pittaluga, correlatore G. Caruso. Per quanto riguarda le ricerche sulla calce in particolare si segnala il raffronto con altri luoghi di cavatura storici nelle vicinanze quali Sego e Sestri Ponente. Cfr. a questo proposito R.Vecchiattini, *La civiltà della calce. Storia, scienza e restauro.* Ed. De Ferrari, Genova, 2009.
27. Anche per questa iniziativa si vedano i due siti web sopraindicati
28. Cfr. T.Mannoni, *Archeologia del territorio"* in *Archeologia dell'urbanistica*, ed. Escum, Genova, 1994, pp. 32
29. Cfr A.Bellini, *Dal restauro alla conservazione: dall'estetica all'etica* in 'ANANKE 19, p.21
30. *"… Il Bene Culturale in questo senso è bene economico non perché si può vendere o può attirare sul patrio suolo il turista, ma perché realizza quell'obiettivo dell'economia che è secondo soltanto, nella scala dei valori esistenziali al soddisfacimento dei bisogni primari"* Cfr A.Bellini, *Dal restauro alla conservazione: dall'estetica all'etica* in 'ANANKE 19, p.21
31. Cfr. S.Settis, *Italia S.p.A. L'assalto al patrimonio culturale*, Torino, Einaudi 2007, p.95.
32. Cfr. S.F.Musso, *La conservazione programmata come sfida per una tutela normativa del patrimonio culturale*, in A.Canziani (a cura di) *Conservazione programmata per il patrimonio architettonico del XX secolo*, pp. 24-35, Electa, Milano, pp.24-35

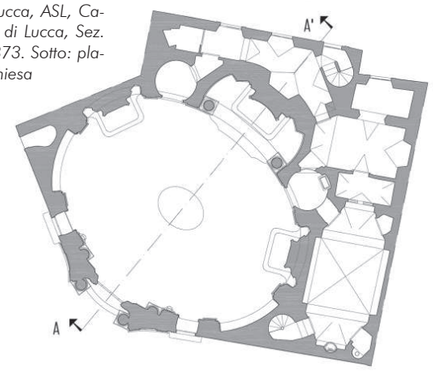
LUCCA, SANTA CATERINA: CONSOLIDAMENTO DELL'ANTICO STENDITOIO

LORENZO JURINA

Abstract: *S. Caterina's Church in Lucca represents one of the most interesting example of central-plan building. At first sight, several static and seismic interventions, such as masonry consolidation, were due because of the badly deteriorating conditions. In particular, the dome, the roof's timber trusses and the slabs elements represented a priority. The choice of the consolidation materials have been carried out with outstanding care, so that the suitability with the original matter was protected and the maintenance process was simplified. For those reasons, timber, masonry and stainless steel have been used as structural materials. There is no unique conception about the "conservation" meaning; in any case, making an extra effort to maintain the original structural scheme, represents an unquestionable surplus value. Thus, solutions prioritizing "the new over the old" have, sometimes, been preferred, always with the aim of assuring a mutual connection between parts, and to obtain the so called "structural box behavior".*

1. Storia e stato di fatto. La chiesa di Santa Caterina si trova lungo uno dei principali percorsi turistici di Lucca, vicino a Porta Sant'Anna e piazzale Verdi. Si affaccia sull'angolo tra via del Crocifisso e Vittorio Emanuele II, di fronte all'ex Manifattura Tabacchi, all'interno dell' originario convento delle Monache di Santa Caterina da Siena del terzo Ordine di San Domenico.
All'inizio del XVIII il Monastero di Santa Caterina risulta composto da più case disomogenee, è "*piccolo ed angusto, e che neppure ha forma di convento per essere composto di più casette unite assieme colli solari, alcuni più alti, altri più bassi*". Iniziano a partire dal 1663 i lavori del nuovo monastero: un unico edificio di quattro piani con, nell'angolo sud-ovest dell'isolato, la nuova chiesa, dell'architetto lucchese **Francesco Pini**, allievo di Filippo Juvarra, che introduce nella tradizione toscana una nuova geometria flessibile, orientata verso il barocco romano, con un forte influsso del maestro. I lavori terminano nel 1743 e la chiesa è consacrata cinque anni dopo.
La facciata, sola parte visibile della chiesa conventuale, ha accesso sull'angolo con un portale timpanato in arenaria con colonne di ordine composito. L'interno, su pianta ellittica, è scandito da sottili membrature architettoniche ornate da stucchi che schermano le pareti dipinte con motivi di





Archivio Stato Lucca, ASL, Catasto Borbonico di Lucca, Sez. C3, foglio 2, 1873. Sotto: planimetria della chiesa

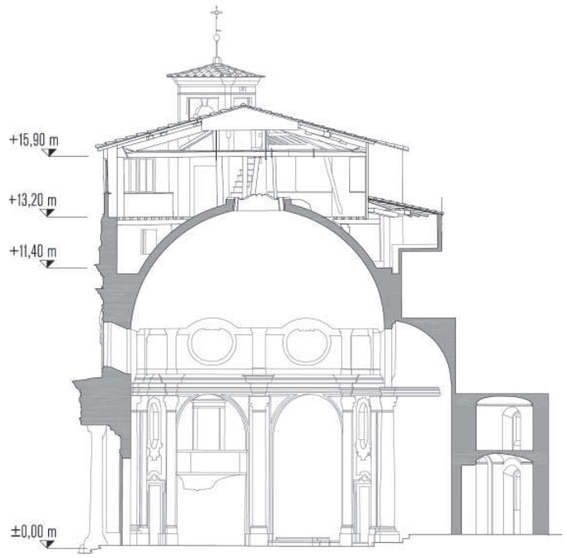
false architetture, innescando l'artificio tra realtà e illusione. I dipinti parietali e la decorazione illusionistica della cupola sono di Bartolomeo De Santi e del figurista Lorenzo Castellotti, pittori con i quali l'architetto Pini instaura una collaborazione artistica in diversi cantieri.
La cupola mette in scena, attraverso un'elaborata decorazione pittorica, una straordinaria scenografia teatrale: la zona inferiore è decorata con una "quadratura" di finte architetture con colonne, archi e balaustre alternativamente sporgenti e rientranti, mentre la zona superiore è dipinta a finti lacunari; gli schemi prospettici, che rievocano il modello ideato da Andrea Pozzo per gli affreschi della Gloria di Sant'Ignazio nella chiesa di Sant'Ignazio a Roma, non indugiano in sovrabbondanti dettagli decorativi e tendono ad una relativa essenzialità di linee e di forme. L'architettura illusoria, che dilata lo spazio, culmina nella visione, oltre l'oculo aperto, della Gloria di Santa Caterina, dipinto su supporto incannicciato solidale alla copertura. Quasi un'apparizione, vivamente illuminata da fonti di luce nascoste, la Santa è rappresentata genuflessa sulle nubi, con la Trinità, la Madonna e i Santi protettori della città, più tenui per accentuarne la maggiore distanza dall´occhio dell´osservatore e rendere ancora più spettacolare la percezione dal punto di vista centrale della chiesa. Si tratta di una geniale invenzione di meraviglia barocca, che con l'artificio (applica a una scena dipinta l'idea borrominiana della "camera di luce") suggerisce l'apparizione, in un cielo vertiginoso e trascendente.

Con la soppressione del 1806 il Convento è trasformato in Ospizio per gli invalidi; alla metà del XX secolo la parte con affaccio su via del Crocifisso viene demolita e la restante porzione su Via Vittorio Emanuele II viene suddivisa in appartamenti.
La chiesa, soprannominata "delle sigaraie", per le operaie che vi andavano a pregare prima di iniziare il lavoro nella vicina Manifattura Tabacchi, è rimasta chiusa per circa quarant' anni, fino al 2013.
La copertura era in pessimo stato di conservazione e il manto di copertura non garantiva più la protezione dalle acque meteoriche alle strutture sottostanti.
L'affresco della Gloria di Santa Caterina, sull'incannicciato collegato all'orditura di copertura, risultava in più parti fessurato e marcescente.
L'interessamento del FAI (Fondo Ambiente Italiano) con "I Luoghi del Cuore" ha rinnovato l'interesse per la chiesa ed il Ministero ha stanziato un fondo per l'intervento che è iniziato a metà del 2013.

2. Criteri generali. I primi interventi di messa in sicurezza hanno riguardato l'affresco. Per evitare ulteriori perdite di materiale e per salvaguardare fin da subito l'integrità fisica del bene, si è subito proceduto al recupero dei frammenti caduti, al preconsolidamento del colore per la parte distaccata e al bendaggio parziale dell'affresco. È stata inoltre montata una struttura provvisionale per sorreggere il materassino poliuretanico ed i pannelli di polistirolo protettivi, scongiurando ulteriori distacchi.
Il criterio guida è stato la difesa dell'autenticità materiale del documento: prevedendo le sole operazioni necessarie (secondo il criterio del "minimo intervento"), compatibili, durevoli e possibilmente reversibili.

Per focalizzare soluzioni ben calibrate e appropriate si è partiti da un iniziale percorso investigativo così da approfondire le conoscenze materiche e costruttive della chiesa.
La fase di conoscenza diretta, affrontata dalla Soprintendenza sotto la guida dell'arch. Lisa Lambusier, ha garantito una lettura sistematica dell'organismo architettonico nel suo complesso, tramite il rilievo e la restituzione delle caratteristiche geometriche e costitutive del manufatto. Tale lettura è stata corroborata dall'analisi storica, così da ritrovare nell'evoluzione della fabbrica la risposta ad alcune peculiarità costruttive.
Il canniccio affrescato, solidale alle strutture di copertura, rappresentava un'importante criticità, viste le precarie condizioni in cui si trovavano gli elementi lignei di supporto.
Indispensabile è stata dunque l'analisi diagnostica sullo stato di conservazione di tali elementi, condotta da LegnoDOC srl. Le indagini hanno restituito utili informazioni circa la specie legnosa, lo stato di degrado e la resistenza residua degli elementi.
Il processo di conservazione ha coinvolto diverse figure e competenze professionali, coniugando i molteplici aspetti della progettazione, trai quali si citano quelli tecnici e formali, quelli materici e dimensionali, conducendo per ciascuno di essi approfondite valutazioni, anche estetiche, fino alla messa in opera.
La particolare conformazione architettonica della chiesa metteva a disposizione un comodo accesso ai locali del sottotetto tramite una scala a chiocciola in pietra. Questo ha offerto, fin da subito, lo spunto progettuale per un intervento complessivo di valorizzazione dell'antico "stenditoio", e non di mero consolidamento statico. Come curiosità aggiungiamo che i ganci per vincolare le funi, a sostegno dei panni e delle lenzuola, sono ancora presenti e visibili sulle travi lignee della copertura. Il nuovo percorso conduce ai luoghi più segreti e più "intatti" della chiesa, dando modo al visitatore, dopo essere stato avvolto dalla spettacolare illusione delle architetture dipinte, di poter "svelare l'inganno", salendo nei locali del sottotetto. Da questo luogo si può godere dell'affresco della Gloria di Santa Caterina ad una vicinanza che emoziona, indagare le affascinanti tecniche costruttive della struttura di copertura, poter leggere con chiarezza i nuovi interventi di consolidamento.
Una scelta ulteriore di valorizzazione è stata quella di inserire nel campanile una piccola scala a chiocciola metallica per offrire la possibilità di completare la visita scendendo di un livello, dal sottotetto alla quota di imposta della cupola.

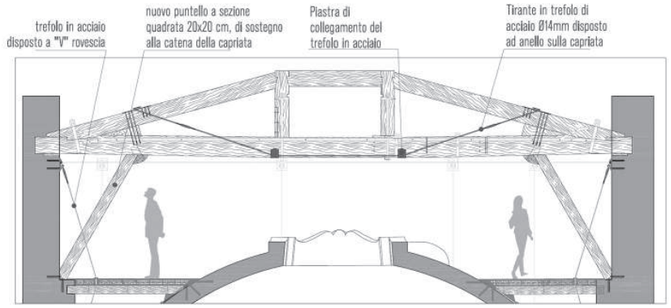
3. Interventi strutturali. Con l'obiettivo di coniugare le istanze della conservazione e le esigenze della sicurezza strutturale, il progetto di consolidamento e di miglioramento sismico è stato improntato su modalità di intervento poco invasive, basato sulla scelta di non modificare le strutture originarie, ma di aggiungere nuovi elementi da affiancare all'esistente, così da ottenere una ridistribuzione di compiti tra nuovo ed antico.

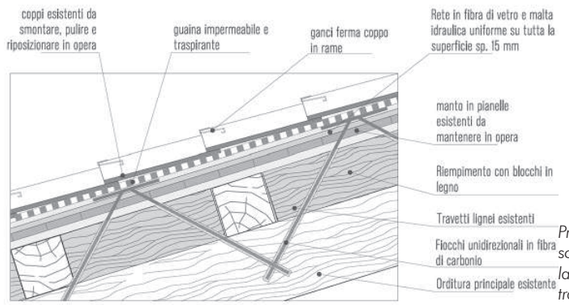


Sezione generale della chiesa

L'intero progetto ha perseguito un elegante connubio tra tradizione e innovazione e ha garantito la trasmissione al futuro di quanto pervenutoci nella sua autenticità materica e formale.
Sulla base delle indagini diagnostiche e dei sopralluoghi effettuati è emersa la necessità di effettuare interventi di consolidamento capaci di agire a due livelli: a scala locale, andando a risolvere i singoli problemi di dissesto, e a scala globale, cercando di conferire all'edificio il "comportamento scatolare" perduto, indispensabile per la sua sopravvivenza, soprattutto in occasione di eventi sismici.
3.1. Il solaio di sottotetto. Il solaio in legno e pianelle costituisce il piano di calpestio dell'antico stenditoio delle monache. L'analisi diagnostica sui legni ha rivelato uno stato di degrado preoccupante sulle travi di orditura principale di questo solaio, posto a quota 13,20 m. Alcuni elementi

erano tanto deteriorati, a causa di infiltrazioni d'acqua, da non essere più adeguati a garantire i carichi di progetto. L'intervento si è orientato verso la maggiore conservazione possibile sia degli elementi strutturali in legno, sia della pavimentazione esistente in marmette di cotto. Le travi lignee sono state integrate con nuovi elementi in legno lamellare, operando locali sostituzioni solo laddove lo stato di conservazione lo rendeva necessario.
L'orditura di travi costituisce l'appoggio di un nuovo triplo assito, posato ad assi sovrapposte ortogonali, mutuamente chiodate. A completare il nuovo solaio vi sono profili metallici a "L", lungo il perimetro esterno ed anche quello interno, a fianco dell'oculo, coadiuvati da bandelle metalliche disposte a "raggiera", collaboranti con l'assito sovrastante. L'intero pacchetto di solaio diviene quindi un diaframma rigido concepito come una struttura reticolare orizzontale con funzione di controvento di piano, puntualmente e diffusamente collegato alla muratura perimetrale. Al termine dei lavori è stato riposizionato il pavimento originario in pianelle di cotto.
3.2. Interventi in copertura. L'orditura del tetto è costituita da due capriate lignee a doppio monaco, caratterizzate da sensibili deformazioni e accentuato degrado, su cui poggiano i falsi puntoni che definiscono l'inclinazione delle falde. Su questi sono impostati travicelli che, a loro volta, portano pianelle in cotto.
L'intervento si è concentrato sulle due capriate lignee e sul pacchetto di copertura, cercando di rendere solidali i vari elementi, in modo da creare, anche a questo livello, un diaframma rigido di piano e da consentire all'edificio globale, inteso come struttura scatolare, di risultare "chiuso" in sommità da un coperchio rigido.
All'estradosso delle pianelle è stata prevista una sottile cappa di malta (15mm di spessore) rinforzata con rete in fibra di vetro, collegata alla sottostante orditura lignea mediante fiocchi in fibra di carbonio.
Anche in questo caso lo schema strutturale è riconducibile ad una struttura reticolare, nella quale i fiocchi creano il collegamento tra le fibre superiori compresse (malta con FRP) e le fibre inferiori tese (costituite dalle travi lignee). I fiocchi in fibra lavorano egregiamente a trazione mentre la compressione viene assorbita da nuovi blocchetti in legno, introdotti nello spazio tra i puntoni esistenti e il manto di copertura. Al di sopra della cappa fibrorinforzata è stata stesa una membrana impermeabile e traspirante, per garantire la tenuta all'acqua e, infine, sono stati riposizionati i coppi, fissati mutuamente con un sistema di ganci.
Il nuovo tetto-diaframma è stato oggetto di un ulteriore intervento, con lo scopo di impedire rotazioni e collassi delle pareti perimetrali sotto l'azione sismica. È stato previsto un sistema di tiranti, ancorati all'imposta del tetto e inclinati verso il basso, così da contrastare possibili spostamenti orizzontali della copertura. I tiranti, a forma di "V" rovescia, sono costituiti da due trefoli in acciaio Ø16mm che partono da un unico punto alto, in corrispondenza dell'imposta del tetto (quota +15,90m), scendono divaricandosi, oltrepassano il solaio-diaframma di sottotetto (quota +13,20m), e tornano ad unirsi in un unico punto, più in basso (quota +11,40m), in corrispondenza dell'imposta della cupola.
Ritornando al tema del legno, le due capriate esistenti presentano caratteristiche differenti.
(A)_ La prima capriata, situata al centro dell'ambiente, mostrava un'evidente inflessione della catena, causata dai carichi puntuali trasferiti dai due monaci. Al momento del progetto erano presenti alcuni semplici puntelli lignei che si opponevano a questa inflessione, appoggiati talora sul degradato solaio di sottotetto e talora sulla cupola ellittica in muratura. L'idea di utilizzare puntelli non è certo sbagliata, ma la posizione di quelli in essere (al centro dello spazio coperto), oltre ad un aggravio per le strutture su cui appoggiavano, costituiva un ostacolo alla percorribilità.
La soluzione di consolidamento progettato si ispira al medesimo principio dei puntelli, ponendoli però in posizione più congrua con la percorribilità dell'ambiente. Sono stati pertanto introdotti due nuovi appoggi, costituiti da puntelli lignei, di sezione 20x20 cm, inclinati verso il basso, dalla capriata alle pareti perimetrali. L'inclinazione permette di ingombrare in misura molto ridotta lo spazio visitabile di sottotetto. È stato inoltre previsto un sistema di "armatura" della capriata, realizzato con trefoli di acciaio sagomati, al fine di creare due ulteriori punti intermedi di sostegno della capriata, in corrispondenza dei monaci.
(B)_ La seconda capriata, periferica rispetto alla prima, presentava già allo stato di fatto un tamponamento in muratura interposto tra catena e puntoni. Il tamponamento proseguiva anche al di sotto della catena, fino a raggiungere la quota del pavimento. Anche in questo caso erano presenti puntelli lignei a contrastare l'inflessione della catena, elementi che, non costituendo ostacolo alla percorribilità, si è deciso di conservare, insieme alla struttura lignea principale.
Si è resa necessaria in ogni caso una soluzione di rinforzo, che ha previsto l'affiancamento alla capriata lignea di una nuova struttura metallica, composta di due porzioni: una interna all'ambiente di sottotetto e lasciata a vista, e l'altra esterna, celata da un sottile strato di intonaco.
La porzione interna, a vista, è posta nello spazio sottostante la catena lignea (da quota +16,10m a quota +13,40m), e si sviluppa come una sorta di trave Vierendeel, in cui la distribuzione dei montanti si ispira ai puntelli esistenti parzialmente inglobati nella muratura.
La parte esterna invece, a trave reticolare, si sviluppa su tutta la superficie occupata dalla capriata, dal colmo fino al solaio di sottotetto. La reticolare esterna, accostata alla capriata e ad essa ben collegata, ne ripropone gli assi principali e viene integrata con diagonali di controvento. Le due strutture, quella interna e quella esterna, sono collegate tra loro e alla capriata lignea interposta, mediante perni, creando una nuova trave reticolare mista legno-acciaio.
3.3. Cerchiatura delle murature perimetrali. Il progetto ha previsto di introdurre due anelli di cerchiatura lungo il perimetro interno delle murature, realizzati con trefoli di acciaio Ø16mm, uno in corrispondenza dell'imposta estradossale della cupola ellittica (quota +11,40m) e l'altro all'imposta delle falde del tetto (quota +15,90m). Le cerchiature si oppongono alle spinte verso l'esterno esercitate dalla cupola e dal tetto inclinato.
Tutti i trefoli sono a vista, così da essere facilmente manutenibili (in particolare è possibile controllarne il tesaggio), ma non risultano di forte impatto visivo, integrandosi con gli altri interventi di consolidamento.
3.4. Rinforzo della cupola ellittica. Un particolare ed innovativo sistema di cerchiatura è stato progettato per il consolidamento della cupola ellittica, oggetto di un approfondito calcolo agli elementi finiti rivolto allo studio del comportamento sotto l'azione sismica.
Sono state simulate sia le condizioni allo stato di fatto sia





Progetto di consolidamento della capriata centrale e del tetto

molteplici soluzioni di consolidamento possibili, che hanno indirizzato alla scelta di quella più adatta.
L'analisi è stata condotta attraverso una modellazione che ha considerato anzitutto un primo modello parziale, che prende in esame il comportamento della sola cupola, come se fosse un elemento singolo vincolato a terra, ed un secondo modello globale, in cui si è considerata l'intera geometria dell'edificio, entrambi soggetti all'azione sismica. Lo studio è stato effettuato analizzando i risultati del modello allo stato di fatto (quello non consolidato) e confrontandoli con i risultati ottenuti introducendo diversi sistemi di consolidamento proposti, così da valutare l'efficacia di ciascuno.
** Il primo sistema di consolidamento introdotto nel modello, per far fronte alle sollecitazioni sismiche, prevede l'uso di anelli di cerchiatura lungo i "paralleli", disposti su tre livelli. Questo sistema è diffuso da secoli nel rinforzo di cupole, grazie ai noti benefici in termini di riduzione degli sforzi di trazione, favorendo il comportamento a sola compressione della muratura.
** Un secondo sistema inserito nella modellazione prevede l'inusuale utilizzo di cavi radiali estradossali in corrispondenza delle costole di nervatura, lungo i "meridiani. Questo sistema, una interessante declinazione dell' "arco armato" proposto da JURINA (1999), produce una azione di confinamento della cupola, limitando fortemente gli spostamenti orizzontali in caso di azione sismica. Il consolidamento viene realizzato con la posa di trefoli in acciaio adiacenti alla superficie voltata ed ancorati efficacemente alla muratura di imposta (quota +11,40m) e alla trave ad L, di coronamento del solaio di sottotetto (quota +13,20m), prima di essere sottoposti a trazione mediante tenditori. Applicare una trazione ai cavi comporta una contemporanea e duale compressione cerchiante sulla cupola, che migliora il suo comportamento statico.
** Il terzo sistema studiato combina i due sistemi appena descritti, ovvero la cerchiatura ad anelli paralleli e l'uso di cavi radiali lungo le costole.
Le sperimentazioni numeriche (sia utilizzando il modello parziale semplificato che il modello completo), hanno messo in evidenza che, accanto alle tradizionali cerchiature lungo i paralleli, gli ulteriori cavi lungo i meridiani (ossia gli archi armati) svolgono un ruolo importante soprattutto in termini di diminuzione degli spostamenti generati dall'azione sismica, tale da ridurli del 65%.
3.5. Rinforzo della torre campanaria. Anche il campanile in muratura, degradato in superficie, è stato oggetto di un intervento di rinforzo.
Il sistema adottato comprende profili perimetrali, interni alla torre, con funzione di cerchiatura, e controventi.
I profili perimetrali, realizzati con sezioni a "L" 120x120x12 mm, sono stati posizionati in corrispondenza degli orizzontamenti e diffusamente ancorati alle murature. Il controventamento è stato realizzato con profilati angolari a lati uguali, di dimensioni 45x45x5mm, disposti a "V" rovescia. La disposizione dei controventi è legata alla presenza di varchi perimetrali da lasciare liberi, per consentire il passaggio ai visitatori.
All'interno della torre campanaria, infatti, è stata introdotta una scala metallica a chiocciola, per collegare il solaio di sottotetto (quota +13,20m) al camminamento situato all'imposta della cupola (quota +11,40m). Anche in questo caso le necessità distributive sono state conciliate con le esigenze strutturali, inserendo un elemento funzionale che fosse in grado da fungere anche da consolidamento statico globale del campanile stesso.
Il montante centrale, realizzato con un profilo tubolare metallico, è il perno intorno a cui si sviluppano i gradini, ciascuno realizzato con una tavola in legno che distribuisce il peso a due tubi portanti, i quali sono ancorati al montante centrale ed sono saldamente intestati nella muratura.
In questo modo. la raggiera di profili metallici, sviluppata intorno al montante, costituisce un sistema di cerchiatura in direzione radiale, che coincide con lo sviluppo della scala.

4. Conclusioni. La collaborazione tra architetti ed ingegneri, applicata ad un bene prezioso ed inconsueto come la chiesa di Santa Caterina in Lucca, ha consentito la defi-

Affreschi di Bartolomeo De Santi e Lorenzo Castellotti, Chiesa di Santa Caterina a Lucca prima dell'inizio del cantiere. Accanto vista della cupola e dell'affresco restaurato. Sotto: l'affresco fissato su supporto incannicciato, prima degli interventi di restauro

Tiranti a V rovescia di collegamento del tetto all'imposta della cupola durante i lavori.

nizione di soluzioni economiche, funzionali ed innovative, orientate ad incrementare la sicurezza del monumento, favorendone una fruizione rispettosa. Gli interventi di consolidamento statico sono stati discreti e volutamente dichiarati. Nuovi percorsi che conducono ai luoghi più segreti e più "intatti" della chiesa, sono stati aperti ai visitatori per consentire loro di osservare da vicino la grande macchina che sorregge la cupola ellittica ed i suoi preziosi affreschi.

5. Dati del cantiere. Progetto di restauro della Chiesa di Santa Caterina in Lucca

- Soprintendenza BAPSAE Province di Lucca e Massa: soprintendente arch. Giuseppe Stolfi
- Responsabile del procedimento: arch. Agostino Bureca
- Progettista architettonico e direttore dei lavori: arch. Lisa Lambusier
- Progetto strutturale, miglioramento sismico e DL oper. strutture: prof. ing. Lorenzo Jurina
- Direttore operativo lavori: arch. Laura Panzani
- Coordinatore della sicurezza in fase di progetto e di esecuzione: arch. Giuseppe Monticelli
- Stazione appaltante: Direzione Regionale Beni Paesaggistici ed Architettonici della Toscana
- Imprese esecutrici: D66 srl - ARA restauri

L. Jurina, G. Stolfi, L. Lambusier, V. E. Mogicato, *L'intervento di restauro e consolidamento strutturale alla chiesa di Santa Caterina in Lucca*, Safe Monuments, Firenze, Venerdì 28/03/2014.

L. Jurina (2013) *Cerchiatura di strutture murarie: tecniche tradizionali e innovative*, Ingenio n. 16.

L. Jurina (2012) *Strutture in elevazione*, in *Almanacco dell'Architetto* (da un'idea di Renzo Piano), Proctor Edizioni, Bologna,.

L. Jurina (2012) *Tecniche di consolidamento dei monumenti: una panoramica attuale*, Atti di IF-CRASC '12, V Convegno su *Crolli, Affidabilità Strutturale, Consolidamento*, Pisa.

P. Betti, (2007) *Affreschi a Lucca, chiese palazzi ville (1670-1770)*, Lucca.

F. Farneti, D. Lenzi, [a cura di] (2006), *Realtà e illusione nell'architettura dipinta, quadra turismo e grande decorazione nella pittura di età barocca*, Firenze.

G. Torraca, (2001) *La cura dei materiali nel restauro dei monumenti*, Roma, Monsignori.

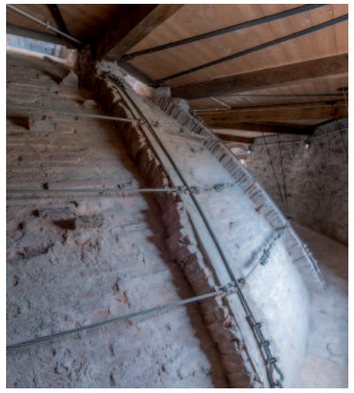
L. Jurina, (1999) *Una tecnica di consolidamento attivo per archi e volte in muratura*, International Symposiumon Seismic Performance of Built Heritage in Small Historic Centers, Assisi, Italia.

P. Fancelli, (1998) *Il restauro dei monumenti*, Cardini, Firenze.

C. Brandi, (1997) *Teoria del restauro*, Einaudi.

Archivio di Stato di Lucca, ASL, Perizie Lucca, sezione C3 detta del Terziere S. Donato.

Qui: consolidamento della capriata e stato di fatto prima dell'intervento (a destra); Sotto:consolidamento della cupola con archi paralleli e archi armati e tiranti di collegamento a V rovescia.



Sotto: vista dello stenditoio al termine dei lavori