

Architettura negli interni: strutture (non tanto) provvisionali per la messa in sicurezza di volte in muratura - Opere evolute preliminari al consolidamento

Vincenzo LEGNANTE - Marco MANCINI

RIASSUNTO

Due casi studio occorsi in tempi recenti, riferiti ad edifici storici sedi di municipi, sono l'occasione per approfondire il tema del consolidamento delle volte in muratura, con particolare riferimento alle opere preliminari all'intervento di ripristino strutturale vero e proprio. Vi è infatti una fase in cui è prioritario mettere in sicurezza la volta per scongiurare possibili rischi. Tale fase è temporalmente intermedia tra la rilevazione e l'aggravarsi di lesioni e il progetto di ristrutturazione e consolidamento. Pur essendo opere provvisionali si tratta di interventi destinati a edifici che spesso sono pubblici e quindi destinati a un'ampia platea di fruitori, come scuole, uffici o edifici monumentali. Consentono di dilatare i tempi del progetto e dell'intervento di consolidamento e mantenere la funzionalità degli spazi.

Nell'analizzare tecniche e sistemi di tipo tradizionale impiegati in casi analoghi è emersa la possibilità di sviluppare aspetti evolutivi rispetto alle semplici tecniche di puntellamento. Nell'ambito dell'opera di consolidamento, e quindi strutturale, è possibile conciliare i requisiti statici con le tecniche di progetto tipicamente architettoniche attente alla qualità degli interni e all'integrazione dell'opera provvisoria con il contesto di riferimento.

ABSTRACT

Two case reports, recently occurred in municipalities historic buildings, offer the opportunity to deepen the topic of masonry vaults consolidation, with particular reference to the preliminary steps of the structural repair itself. As a matter of fact there is a phase in which priority is to secure the vault to avoid possible risks. This phase is intermediate between the detection and develop of damages and the consolidation project. Although temporary works, they are set up in buildings which often are public and then intended to many users, such as schools, office buildings or monuments; they allows to preserve the functionality of the spaces while extending the project and consolidation times.

The report about conventional shoring techniques brings out the possibility of an evolution. Within the consolidation works, it is possible to conciliate structural requirements with architectural design techniques, increasing the quality of the works and giving attention to integrate the temporary structures with the interiors and with the building context.



Fig. 1 - Puntellamenti in elementi lignei e legno/metallo - (Fonte: www.innovazionerestauro.it)

La volta è uno degli elementi costruttivo-architettonici più antichi e ricorrenti in edilizia. Deriva direttamente dall'arco, che infatti viene anche definito come volta che ha per spessore la profondità del muro. Il tipo di volta deriva da matrice statica e geometrica, cioè dal modo in cui essa scarica i pesi sulle pareti murarie (fig.2) e dalla posizione del centro o dei centri degli archi che ne generano la curvatura caratteristica (fig.3).

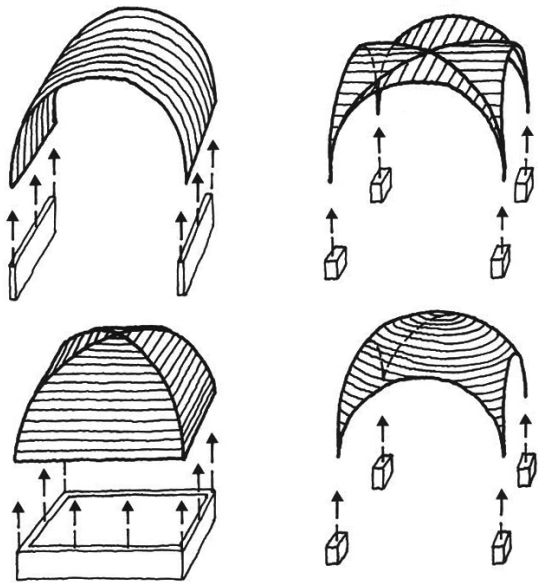


Fig. 2 Gli appoggi di scarico nei vari tipi di volte, (da Acocella A., *L'architettura del mattone faccia a vista*, Edizioni later service, Roma 1990)

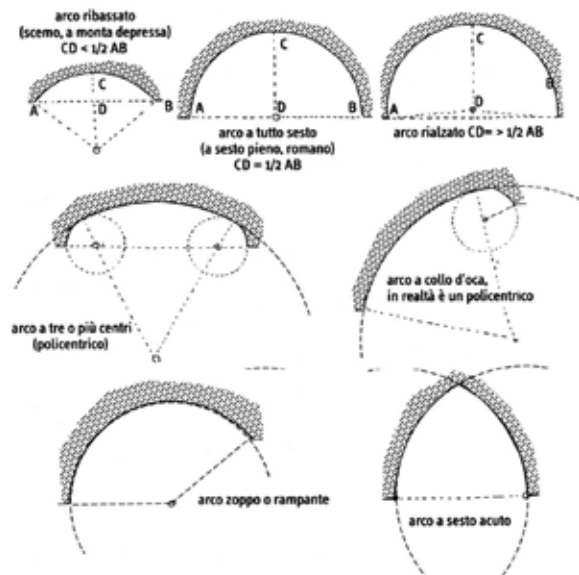


Fig. 3 Forme di archi (da Giuliani C.F., *L'edilizia nell'antichità*, NIS, Roma 2006)

Aspetti statici, costruttivi o di fruibilità determinano invece la forma dell'estradosso, che può essere diverso dal primo in forma e curvatura, generando

anche spessori variabili dall'imposta alla chiave. Interessanti a tal proposito le regole costruttive citate da Breyman, tra cui ad esempio la seguente: *quando in una volta di spessore uniforme si può tracciare internamente nell'interno dello spessore della volta una linea retta dalla chiave dell'estradosso fino al piede pure dell'estradosso non ha luogo alcuna rottura della volta* (fig.4).

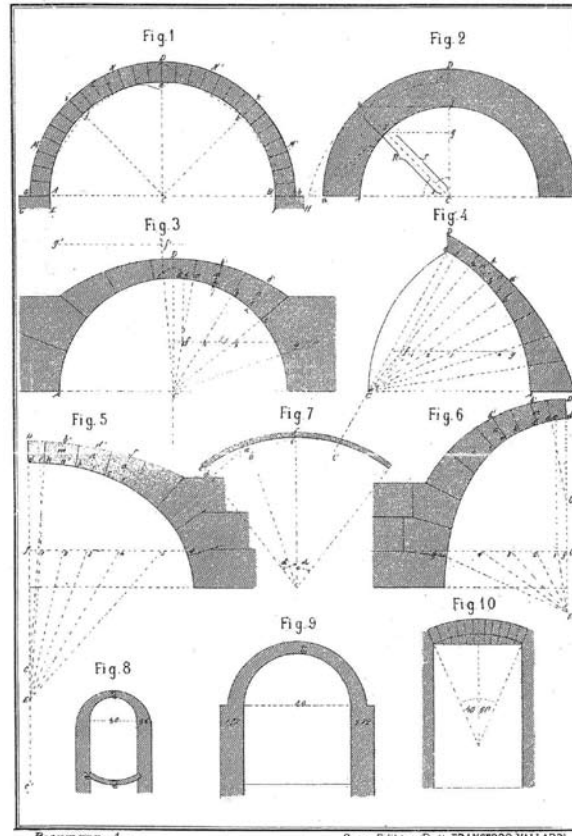


Fig. 4 Aspetti statici e costruttivi nelle volte (da Breyman G.A., *Trattato di Costruzioni civili*, 1885, Librerie Dedalo 2003, Roma)

Dal punto di vista dei materiali, rimanendo nell'ambito dell'edilizia storica, la muratura in pietra o in mattoni è la tecnologia costruttiva più frequentemente impiegata. In particolare il mattone, per l'estrema praticità di impiego, l'esattezza costruttiva che esso consente, l'adattabilità alla forma prescelta, e l'uso invalso anche in maestranze non specialistiche. L'uso del mattone consente anche una differenziazione nel tipo di apparecchiatura che può essere di coltello, in foglio, a filari doppi, ... ; di solito (ma non sempre) la posa avviene partendo dalle imposte e procedendo verso la chiave.

Capire le caratteristiche statiche e i procedimenti costruttivi della volta e i dati geometrici è fondamentale nella progettazione del processo di consolidamento.

Aspetto caratteristico e tipico delle volte è quello che vede realizzarsi in esse un'organica fusione tra gli elementi di sostegno verticale e quelli di copertura, dando vita ad uno spazio architettonico morfologicamente e fruitivamente più ricco rispetto ai comuni orizzontamenti...ha costituito, oltre che il mezzo costruttivo più idoneo per superare notevoli distanze di appoggio o per coprire grandi spazi, l'elemento morfologico capace di produrre stupendi risultati architettonici (Acocella, 1990)

E' molto frequente il caso in cui, proprio per tali caratteristiche costruttive ed architettoniche, sale coperte a volta siano ubicate all'interno di edifici storici destinati ad uso pubblico (municipi, ospedali, musei, chiese...).

In relazione alla loro funzione prevalente tali vani sono destinati a distribuzione, accoglienza, rappresentanza, servizio,... a motivo della loro ubicazione all'interno del sistema distributivo dell'edificio, per motivi funzionali oppure per tradizione storica.

Se i danneggiamenti riguardano vani marginali si può decidere di chiuderne a titolo precauzionale l'accesso, almeno temporaneamente. Nel caso in cui siano coinvolti vani vitali la cui chiusura è improponibile per il normale svolgimento delle funzioni dell'edificio, allora le soluzioni per la messa in sicurezza si riducono essenzialmente a due: il consolidamento immediato oppure la realizzazione di strutture temporanee di protezione passiva.



Fig. 5 Casi studio: A - Cecina: la sala coperta a volta è lo snodo della distribuzione degli uffici comunali

Il dissesto delle volte o di porzioni di esse spesso è conseguenza di danni alle strutture sottostanti come cedimenti fondali, spianciamento dei setti murari di scarico della volta e dissesti statici oppure per effetto di carichi eccessivi e mal distribuiti sul solaio di estradosso. Le variazioni e i nuovi sovraccarichi intervenuti, dovuti anche a destina-

zioni d'uso non preventivate o mutate nel corso degli anni, insieme a infiltrazioni di acqua piovana, o altre cause sono fattori che disequilibrano il sistema statico.

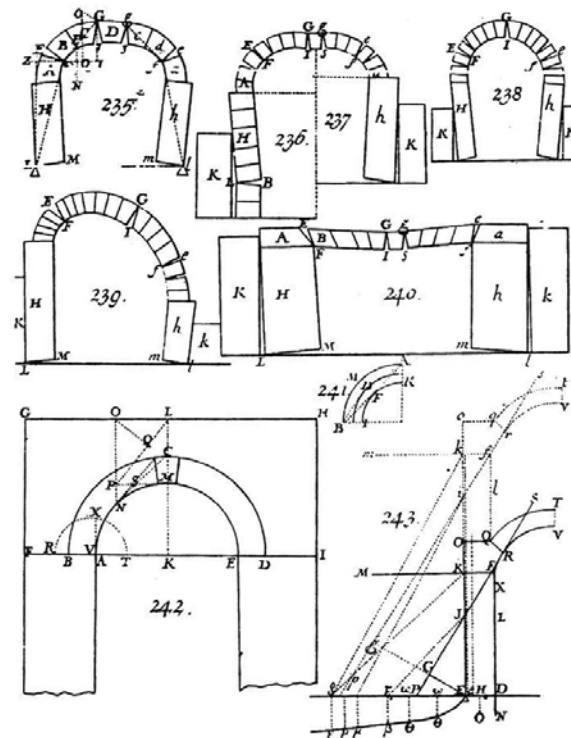


Fig. 6 Formazione di cinematismi di collasso in archi e volte (da Frézier A.F., *La théorie et la pratique de la coupe des pierres et des bois pour la construction des coupes et autres parties des batimens civils et militaires, ou traité de stéréotomie a l'usage de l'architecture*, 3 vols, Strasbourg and Paris, 1737-9 in Caterina G., *Tecnologia del recupero edilizio* - Utet 1989).

Un soddisfacente ripristino globale può essere efficace solo intervenendo alla radice del problema. Questo inevitabilmente comporta tempi e costi notevoli che mal si conciliano con le necessità contingenti di messa in sicurezza dell'area. La possibilità di intervenire selettivamente, separando i due problemi, porta dunque il vantaggio di evitare immediatamente rischi per i fruitori (anche il semplice distacco di pezzi di intonaco può determinare gravi danni) e contemporaneamente consente una dilatazione ai tempi di progetto con la realizzazione dell'intervento di consolidamento strutturale.

I casi studio citati in apertura sono entrambi riferiti a saloni coperti a volta ubicati all'interno di edifici sedi di municipalità. Il primo, riferito al periodo Maggio-Giugno 2010, riguarda il Comune di Cecina (LI), ed in particolare un salone, ubicato al primo piano, vitale dal punto di vista distributivo

perché snodo sia di molteplici attività aperte al pubblico che di uffici di funzionari comunali. Per semplicità chiameremo A questo caso. Il secondo caso, che chiameremo B è ubicato nel comune di Imola (BO), molto simile al primo per caratteristiche distributive ed ubicazione: un bel salone, disimpegno di molteplici attività, al piano primo e con caratteristiche decorative a cui si accede, come nel caso A, tramite un'ampia scala monumentale.

I danni occorsi alla struttura della volta hanno in entrambi i casi allarmato i responsabili delle sedi municipali, poiché il rischio di crolli di frammenti di intonaco se non di porzioni di volta era effettivamente alto e tale da conferire priorità all'intervento di salvaguardia localizzato rispetto all'intervento di consolidamento generale dell'edificio. Infatti si trattava di cedimenti fondali nel caso A e di variazione di assetto statico di 2 dei 4 muri portanti della volta, costruiti in falso, nel caso B.

La protezione realizzata è stata in entrambi i casi una contro-volta, cioè una centinatura in acciaio, collocata all'intradosso della volta, con la funzione di puntellatura non spingente, più evoluta dal punto di vista costruttivo, logistico ed estetico. In entrambi i casi si trattava di evitare il sovraccarico del solaio sottostante con strutture verticali di puntellamento che avrebbero costituito ingombro anche per la fruizione degli spazi.

Le volte in muratura spesso hanno avuto elementi in ferro come naturale completamento dell'elemento costruttivo, come catene, cerchiature, staffe in ferro, tiranti, rinforzi o sostegni.

Con questa logica il progetto dell'intervento di messa in sicurezza ha perseguito il duplice obiettivo di realizzare la necessaria affidabilità strutturale con la qualità architettonica del risultato anche prevedendo la non immediata rimozione dell'opera provvisoria.

I due casi, pur se trattati con la stessa tecnologia costruttiva, hanno generato risultati progettuali diversi, e richiesto modalità di calcolo specifiche e finiture superficiali relazionate al contesto.

In fase progettuale è stata perseguita l'idea di conciliare le esigenze di struttura con la possibilità di creare un progetto architettonico qualificante. Le due esperienze (in particolare nel caso B – Imola)

hanno confermato che, seppur il risultato strutturale fosse perseguibile anche tramite il semplice impiego di puntellature tradizionali, il valore del progetto architettonico ha arricchito l'opera di elementi progettuali. L'attenzione alle proporzioni, l'aspetto estetico e il colore conferiscono all'opera realizzata la qualità architettonica di un intervento appropriato, integrato al luogo, ben dimensionato e proporzionato. La compiutezza architettonica del risultato complessivo, anche se si tratta di un'opera provvisoria, è stata apprezzata ed esplicitamente gradita anche dalla committenza. Un intervento che avrebbe potuto violare il luogo con la presenza invasiva di elementi tecnici è stato invece l'occasione per conferire a quello spazio un nuovo *upgrade* di significato stratificato nella storia di quella sala. Questa esperienza conferma, con interessanti prospettive, che gli interventi che conciliano approcci e metodiche di progetto di differente matrice, possono contribuire alla evoluzione del progetto di strutture temporanee di consolidamento.



Fig. 7 Casi studio: A - Cecina: vista di insieme della struttura realizzata



Fig. 8 Casi studio: B - Imola: vista di insieme della struttura realizzata

Il progetto e la realizzazione

Le decisioni del progetto dipendono da una serie di fattori che non sono soltanto strutturali ma interessano un'altra gamma di problematiche. Tra queste le non semplici operazioni di logistica (accessi, percorsi, attraversamenti di vani, eventuali collegamenti meccanici, accesso e praticabilità ai mezzi per il cantiere esterno ed interno, possibilità di stazionare con camion o altri mezzi senza interferire con eventi pubblici locali quali mercati settimanali, traffico..). E' altrettanto decisiva la possibilità di stoccare temporaneamente il materiale su solai limitrofi senza danneggiare ulteriormente le già affaticate strutture dell'edificio. Tutti questi elementi di fatto diventano parte integrante del progetto, ed è necessario acquisirli e renderli compatibili al fine di progettare dettagliatamente le modalità del montaggio.

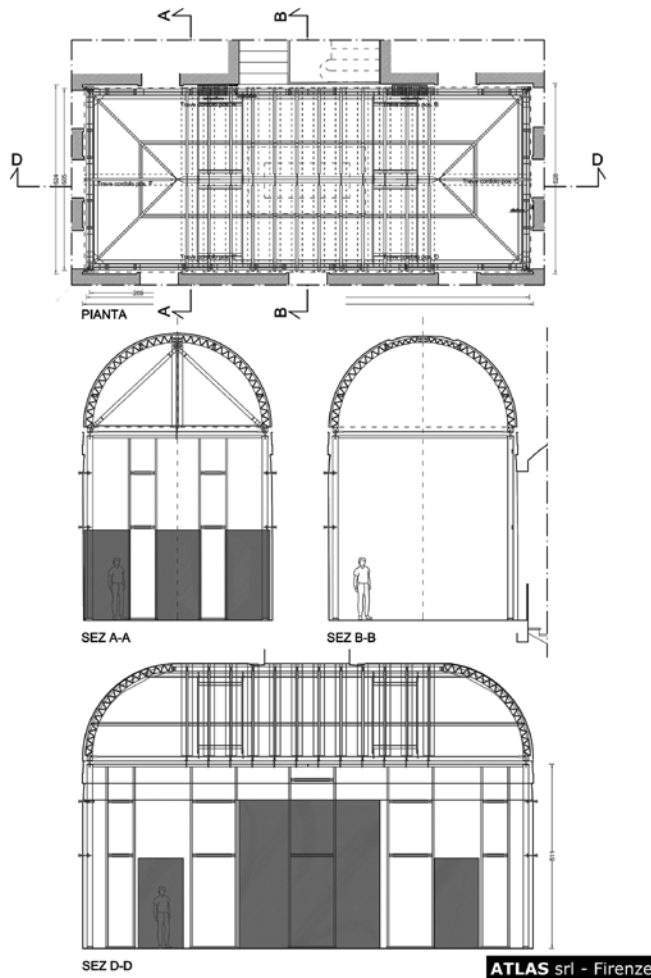


Fig. 9 Casi studio: A - Cecina: Disegni esecutivi della struttura in acciaio

Con il rilievo preliminare si acquisiscono gli elementi per le prime ipotesi.

Nei due casi in esame si è trattato di saloni voltati di forma rettangolare, nel caso B (Imola) la geometria presentava irregolarità planimetriche con fuori squadra e fuori piombo notevoli; nell'altro caso le forme erano più regolari. In entrambi i casi le dimensioni riproducono il rapporto tra i lati di uno a due, con queste misure: Cecina (A) - m 12 x 5,2 (pianta) con h max in chiave m 7,5 e lucernario in copertura; Imola (B) - m 10,5 x 6,3 (pianta) con h max in chiave m 7.

Caratteristica comune in entrambi gli interventi è il tipo di volta, a padiglione, e presenza di cornicione perimetrale in gesso all'imposta della volta.

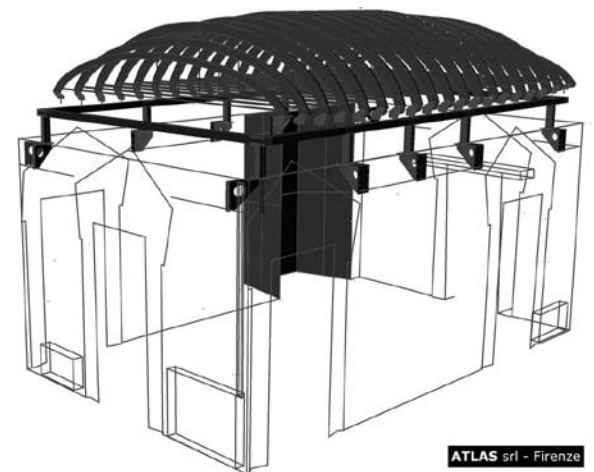


Fig. 10 Casi studio: B - Imola: disegni tridimensionali di progetto

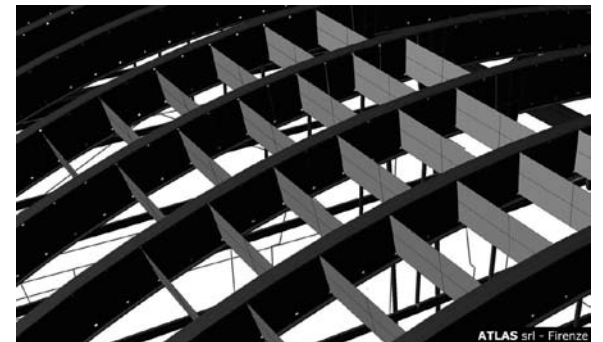


Fig. 11 Casi studio: B - Imola: disegni tridimensionali di progetto

La causa della lesione è stata il primo input progettuale: dove il solaio coperto dalla volta era reputato in buono stato si è preferito gravare a terra, in prossimità delle pareti, con piedritti collegati tra loro con carico distribuito alla base (caso A). Nel caso B, potendo utilizzare soltanto le due pareti resistenti longitudinali si è optato per un intervento più invasivo, tramite il fissaggio di mensole a muro con barre affogate mediante resina epossidica.



Fig. 12 Casi studio: B - Imola: rilievi con stazione globale



Fig. 13 Casi studio: B - Imola: le gravi lesioni sulla volta realizzata con mattoni disposti in foglio

Carattere comune ai due interventi è il montaggio di una trave-cordolo perimetrale, appoggiata su piedritti nel caso A e su mensole nel caso B, con il recupero delle irregolarità delle quote del pavimento e delle verticalità delle pareti.

Questa apparecchiatura costituisce il telaio di riferimento che regolarizza la geometria a partire dalle imposte. Ha inoltre funzione di cordolo di contenimento per gli effetti di spinta laterale delle centine durante il montaggio. Svolge allo stesso tempo la fondamentale funzione di guida dimensionale e trave perimetrale per il posizionamento dei singoli elementi centinati e conferisce alla struttura nel suo complesso la compatibilità dimensionale tra le singole parti e l'intera opera. È realizzato dall'accoppiamento di due profili uguali e distanziati il cui spazio centrale svolge funzione di guida su cui innestare gli elementi in elevazione, con la registrazione millimetrica.

Le centine sono state realizzate con modalità costruttive diverse, in relazione alle diverse configurazioni e alla geometria dell'opera. A Cecina è stato scelto un sistema di semi-centine accoppiate in chiave, ed ancorate alla trave perimetrale. Ciascuna semi-centina è stata realizzata con anima reticolare in tubi ed ali in ferri piatti all'estradosso ed all'intradosso. Una trave di sommità ha funzionato da spina dor-

sale della struttura e da collegamento primario tra le centine in senso longitudinale. Il lato corto è stato servito da 3 semi-centine di cui 2 diagonali ed una in asse con la trave di sommità.

Dal punto di vista visivo il risultato è una serie di archi paralleli irrigiditi dalla trave di sommità che fa da riferimento in quota. La scelta di lasciare il materiale al colore naturale del ferro lavorato (nero-bluastrò) a contrasto con il colore bianco di pareti e volta conferisce un aspetto ancora più imponente alla struttura. La ricorrenza di elementi architettonici fortemente caratterizzanti strutturalmente (gli archi) e la loro costruzione in forma reticolare esaltano la percezione di forza strutturale dell'insieme.



Fig. 14 Casi studio: A - Cecina: fasi costruttive della realizzazione della struttura

Queste tre caratteristiche costruttive definiscono l'impatto visivo e la percezione del fruitore. L'elemento architettonico *arco* possiede una forza strutturale chiaramente percepita, esaltata dalla sua *ricorrenza seriale*; la tipologia di struttura reticolare di ciascuna centina ha una *connotazione costruttiva* dichiarata e fortemente associata al cantiere. I materiali lasciati al grezzo conferiscono al volume architettonico l'idea di forza strutturale e sottendono la prevalenza di un tipo di estetica delle strutture. Si tratta di quelle soluzioni architettoniche che hanno forza nella esplicita relazione tra la forma dell'elemento costruttivo e la funzione strutturale come le capriate, gli archi di scarico e la trabeazione semplice.



Fig. 15 Casi studio: B - Imola: fasi di trasporto delle cinte e 3d di progetto

Ad Imola (caso B) invece si è optato per una tipologia che, a partire dal cornicione, prevedeva l'utilizzo di cinte intere realizzate in officina costituite da un'anima in lamiera e ferri piatti come ai superiori ed inferiori. Le cinte in questo caso erano su misura, una per ogni sezione della volta, ad interasse di 50 cm.

I lati corti sono stati coperti con piccole cinte anch'esse ad interasse 50 cm, collegate tra loro ed alle cinte trasversali più vicine.

Il collegamento e l'irrigidimento della struttura è stato realizzato con elementi trasversali, anch'essi ogni 50 cm. L'effetto di insieme in questo caso è stato di una struttura bidirezionale distribuita con la tipologia di cassettonato curvo, costituito dalla maglia regolare di 50x50 cm di lamiera.

La percezione dello spazio interno della sala interessata all'intervento ha una forte connotazione di intervento organico e ben integrato nella volta e nel salone. Le caratteristiche dimensionali e compositive degli elementi impiegati, la prevalenza di lamiere e piatti (diversamente che a Cecina dove la prevalenza era di tubolari e profili), con gli elementi disegnati e posizionati a distanze ravvicinate per le loro caratteristiche strutturali crea un effetto di profondità che segue la curvatura della volta. Il colore avorio (eseguito con grande cura tramite verniciatura a polveri epossidiche) conferisce all'insieme un tratto di eleganza appropriata alle decorazioni e agli stucchi presenti nella sala. Per questa finitura è stato necessario considerare la grandezza dei forni già in fase progettuale.

Queste caratteristiche nel loro insieme conferiscono all'intervento, data per acquisita la funzione strutturale, una forza espressiva esplicita e percepita in maniera più naturale e meno invasiva. Il frazionamento dell'intero sistema in elementi piccoli ne costituisce



Fig. 16 Casi studio: B - Imola: la trave di cordolo perimetrale



Fig. 17 Casi studio: B - Imola: fasi costruttive di posizionamento delle cinte

l'architettura peculiare che trova nel continuum dei componenti il suo senso compiuto.

La struttura di acciaio così realizzata è stata in entrambi i casi completata con il posizionamento di fogli di compensato leggero, tra l'estradosso delle centine e l'intradosso della volta, per contenere la caduta di eventuali frammenti.

Diverse anche le tecniche di montaggio: in A sono stati impiegati due trabattelli mobili movimentati manualmente, con supporti alla movimentazione ed al montaggio quali scale e carrucole. In B invece è stato montato un piano di lavoro su ponteggio, lasciando un'apertura centrale per il sollevamento delle centine (ingombro in lunghezza circa 6 m ciascuna), poi richiusa una volta issati tutti gli elementi.

Dal punto di vista delle verifiche strutturali, nel caso A- Cecina, è stata adottata la tipologia costruttiva del solaio curvo monodirezionale, con l'ipotesi di una trave centrale e 2 travi laterali come orditura primaria e con le semi-centine come orditura secondaria.

In B - Imola, invece è stato ipotizzato un solaio curvo bidirezionale, come struttura continua, costituita da singoli elementi in lamiera di modesto spessore, e rigida per effetto del mutuo collegamento degli elementi nelle due direzioni.



Fig. 18 Esempio di sistema di puntellamento evoluto impiegato in esterno a protezione di eventuali distacchi di intonaco - Imola volta palazzo comunale. Prima e dopo l'intervento: la rete esistente viene sostituita da un sistema di centine

Scheda degli interventi presentati

Committenze: Comune di Cecina (LI), 2010 – Comune di Imola (BO), 2012

Progetto: Prof. Arch. Vincenzo Legnante, Arch. Marco Mancini

Verifiche strutturali: Ing. Sergio Mancini, Ing. Silvia Spensierati (studio iMancini, Cortona -AR)

Realizzazione: ATLAS srl - Elleffe - Firenze

BIBLIOGRAFIA

- Acocella A., *L'architettura del mattone faccia a vista* - Edizioni laterzservice, Roma 1990
- Breyman G.A., *Trattato di Costruzioni civili "Muri: costruzioni in mattoni ed in pietre artificiali e naturali"*, 1885, Ristampa edizione Librerie Dedalo, Roma, 2003
- Caterina G., *Tecnologia del recupero edilizio* - UTET 1989
- Ceschi C., *Teoria e storia del restauro* - Mario Bulzoni editore, 1970
- Donghi D., *Manuale dell'architetto* - UTET, Torino 1935
- Frézier A.F., *La théorie et la pratique de la coupe des pierres et des bois pour la construction des coutes et autres parties des batimens civils et militaires, ou traité de stéréotomie a l'usage de l'architecture*, 3 vols - Strasbourg and Paris 1737-9
- Giuliani C.F., *L'edilizia nell'antichità* - NIS, Roma 2006
- Lauria A., Legnante V., *La realizzazione di archi e volte – prima parte: Strutture voltate e sistemi di centinatura: un sodalizio che ha fatto storia*, in "Costruire in laterizio" n°9, 1989
- Lauria A., Legnante V., *La realizzazione di archi e volte – seconda parte: Strutture voltate e sistemi di centinatura: criteri di dimensionamento e aspetti tipologici*, in "Costruire in laterizio" n°12, 1989
- Lauria A., Legnante V., *Dagli archi centinati alle centine ad assetto variabile*, in "Costruire in laterizio" n°18, 1990

Vincenzo LEGNANTE (1948), Professore Ordinario di Tecnologia dell'Architettura nell'Università di Firenze, dal 2008 è Presidente del Corso di Laurea in Disegno Industriale. È autore di libri, saggi e articoli sulle tecnologie dei processi costruttivi. Ha curato pubblicazioni specialistiche per le opere provvisorie. È autore di brevetti e modelli industriali nel settore delle tecnologie di cantiere. Coordina gruppi di ricerca nei diversi settori del disegno industriale e dell'innovazione tecnica. È stato Coordinatore del Dottorato di Ricerca in Tecnologia dell'Architettura e del Master Design Innovazione. È presidente del Comitato Ordinatore del Master Design Engineering.

Marco MANCINI (1977), architetto, frequenta il Corso di Dottorato di Ricerca in Architettura, indirizzo Design, nell'Università di Firenze. Affianca all'attività di progettista la ricerca su temi legati al Design e svolge attività didattica nel Corso di Laurea in Disegno Industriale. È diplomato in Bio-architettura (Inbar) e titolare di brevetti e modelli industriali nel settore della protezione di opere d'arte.

