

**MONITORAGGIO E CONSOLIDAMENTO STATICO DEGLI ARCHI, DELLE VOLTE E DEL TAMBURO DELLA COLLEGIATA DI LUCIGNANO – AREZZO**

Anno 1996

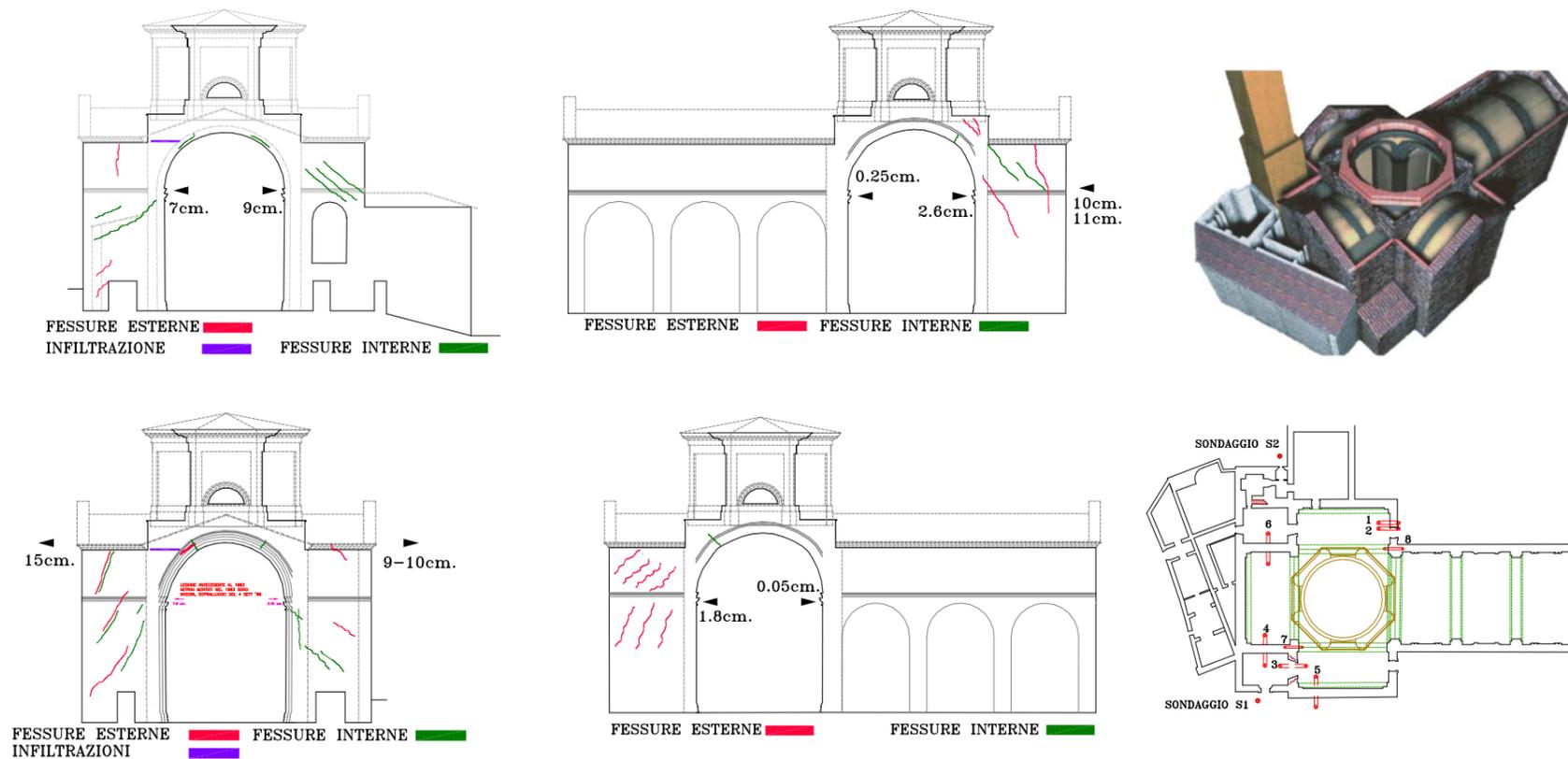


Fig 9

La Chiesa è una struttura in muratura tradizionale in pietra e mattoni articolata su di una navata, transetto ed abside; all'incrocio fra navata e transetto è posta una lanterna di altezza massima di m 11, che è impostata su di un tamburo ottagonale e contiene un sistema di finestre che illuminano tutto il complesso. Il peso valutato della lanterna è dell'ordine di 10.000 KN; tale carico è portato dai quattro archi con cui terminano la navata, i transetti e l'abside. A causa delle finestrate, la lanterna appoggia di fatto su due punti per ogni arco, posti simmetricamente a un quarto della luce, a partire dalla mezzeria. La cupola, che costituisce l'ornamento interno della lanterna, è formata da un graticcio in legno composto da costoloni nel senso dei meridiani e collegamenti ad anello nel senso dei paralleli, oltre a controventi nelle specchiature curve. La copertura, in legno, è a spinta eliminata da un anello ottagonale di travi piane sulla gronda; i puntoni, inclinati, partendo dall'imposta della gronda, convergono in un sistema stabilizzante costituito da un pesante monaco ed 8 saette di controvento.

**SITUAZIONE STATICA PRIMA DEI LAVORI DI CONSOLIDAMENTO**

Già durante la costruzione la variazione di elementi strutturali, non prevista all'inizio delle opere, è stata causa di crollo della copertura della navata e conseguente sfiancamento delle pareti; la stessa navata è stata oggetto di consolidamento con miglioramento dell'ancoraggio delle catene avvenuto oltre mezzo secolo fa. Negli ultimi anni si sono aperte lesioni (probabilmente riaperte), soprattutto nelle murature dei transetti e dell'abside che hanno prodotto fra l'altro vistose infiltrazioni di acque meteoriche. Date le notevoli spinte introdotte nelle murature dagli archi gravati dal grande peso della lanterna, la situazione statica è apparsa immediatamente preoccupante e si è posto il problema di stabilire il meccanismo di apertura delle lesioni: se cioè fossero legate a movimenti fondali o a eccessivi stati tensionali delle murature. L'impianto fondale del complesso riposa su calcareniti fratturate e siltiti alterate, come si evince dalla stratigrafia rilevata nei sondaggi eseguiti (fig. 9) e comunque il terreno di fondazione è apparso essere nel complesso ottimo.

E' stato anche effettuato un preciso rilievo topografico dell'estradosso della fascia in pietra alla base della muratura, onde verificare eventuali abbassamenti locali o differenziali. Questa si presenta ancora oggi orizzontale per tutto il suo sviluppo, sia nella navata che nei transetti: ciò ha spinto a ritenere che non vi siano state rotazioni fondali delle murature, che fra l'altro non presentano lesioni al loro spiccato.

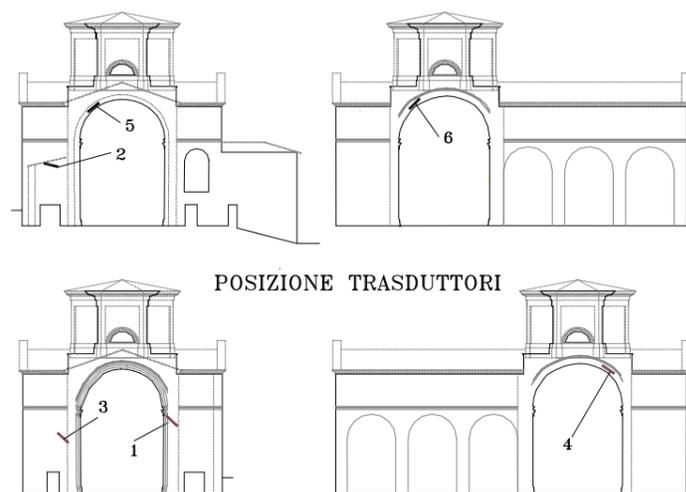
**MONITORAGGIO DEL QUADRO FESSURATIVO**

Allo scopo di verificare lo sviluppo del quadro fessurativo e per chiarire la sua origine, è stata varata campagna di rilievo (fig. 10) e monitoraggio delle lesioni attraverso il posizionamento di 6 trasduttori elettrici, collegabili ad una centralina di acquisizione dati a 6 canali, sulle lesioni più significative. La lettura dei dati è stata effettuata periodicamente, spostando la centralina. L'andamento del quadro fessurativo è riportato nella fig. 11 ed evidenzia una accelerazione del movimento delle masse murarie con progressione delle lesioni.

**INTERPRETAZIONE DEL QUADRO FESSURATIVO E MODELLAZIONE**

A seguito della campagna di rilievi effettuata si è giunti alla conclusione che l'apertura delle lesioni era dovuta alla spinta degli archi che le pareti dei transetti non riuscivano a riportare a terra e producevano quindi notevoli tensioni di trazione. Durante il complesso dei rilievi effettuati si è potuto accertare un fuori piombo dell'ordine di 15-20 cm dei due spigoli esterni del transetto sinistro visto dalla facciata. Quindi la presenza del fuori piombo e la contemporanea orizzontalità della base delle stesse murature hanno fatto interpretare il quadro fessurativo come dovuto alla spinta degli archi e delle volte che hanno fornito due componenti di spinta, una per ciascuna giacitura delle murature, che hanno dato una risultante

Fig 10



POSIZIONE TRASDUTTORI

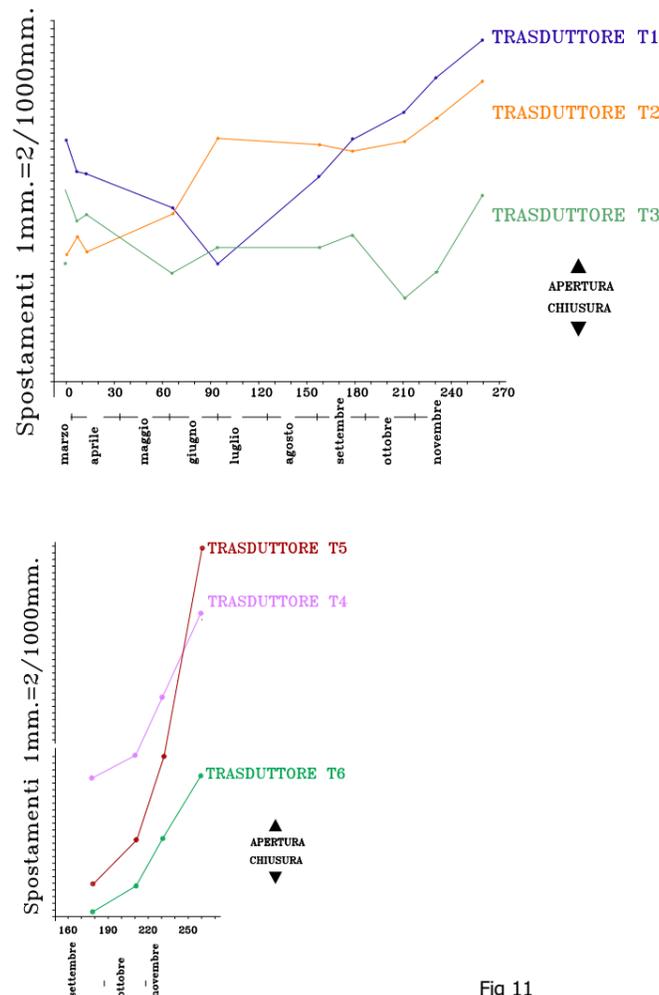


Fig 11

**MONITORAGGIO E CONSOLIDAMENTO STATICO DEGLI ARCHI, DELLE VOLTE E DEL TAMBURO DELLA COLLEGIATA DI LUCIGNANO – AREZZO**

Anno 1996

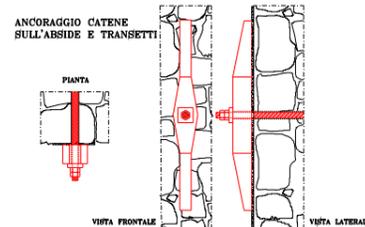
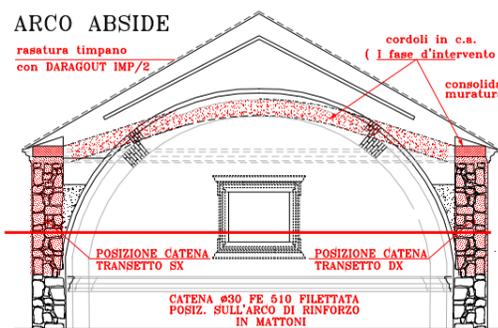
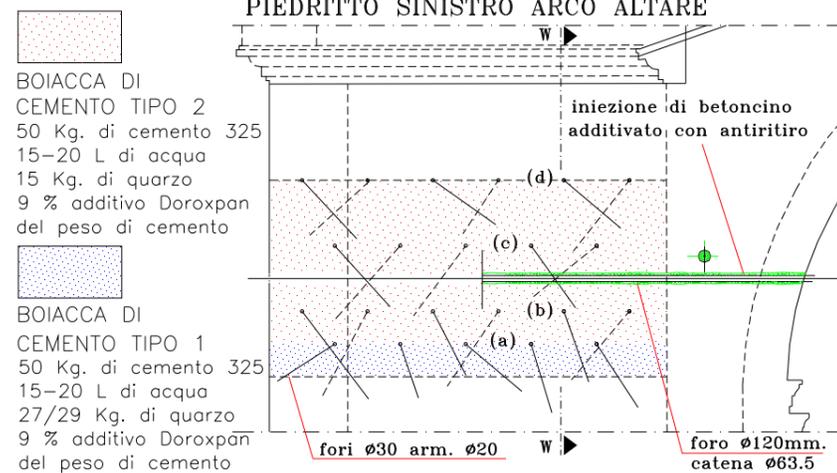
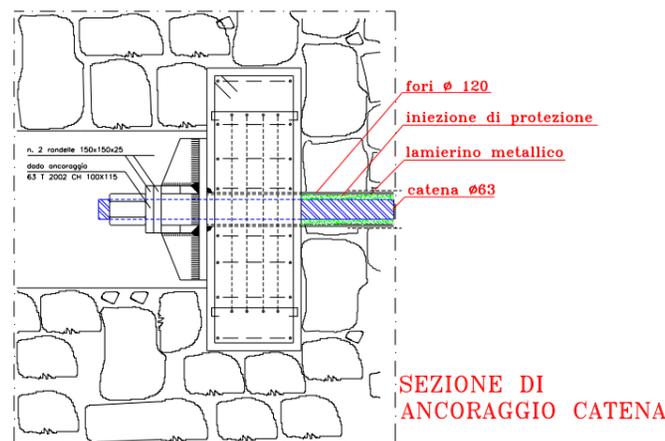
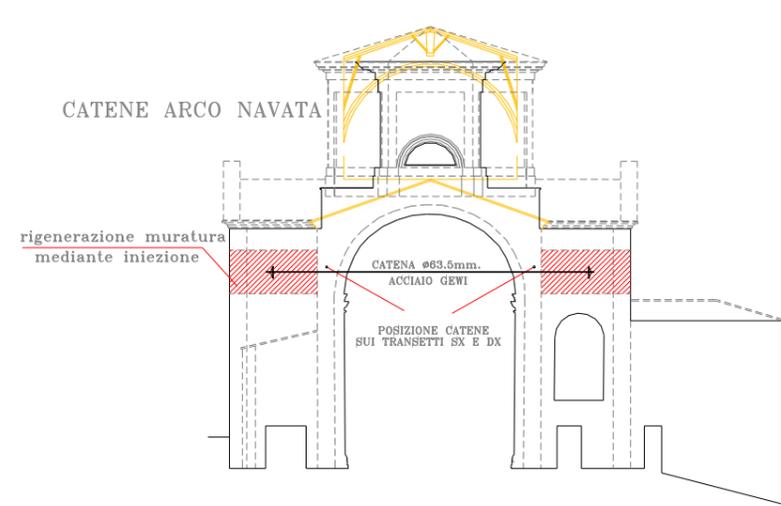
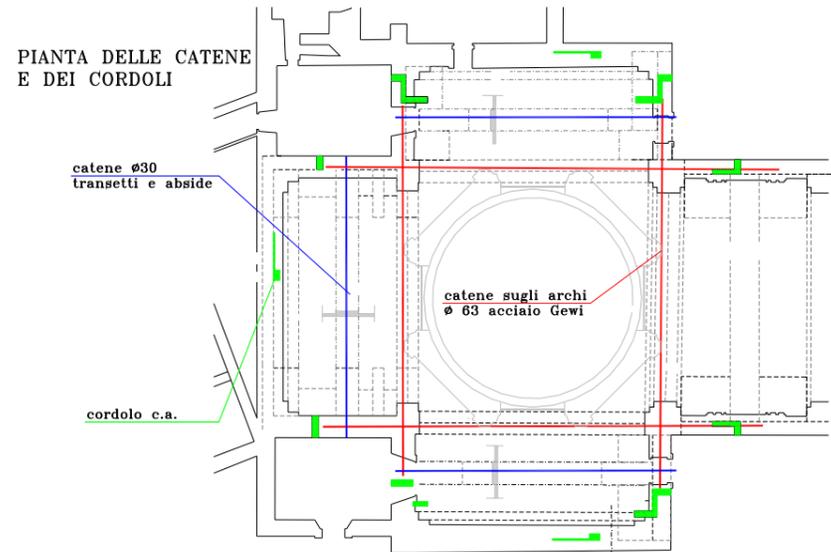
**PROGETTO DI CONSOLIDAMENTO**

Il progetto si è posto quindi come finalità principale l'eliminazione delle spinte prodotte dagli archi; la tradizionale tecnica della catena si scontrava però con la difficoltà di introdurre un' adeguata sezione di acciaio a livello dell' imposta degli archi senza alterare in maniera inaccettabile la visione dal basso del complesso della lanterna, caratterizzata dalla notevole leggerezza conferita dalle finestrature e dalla luminosità che certo non favoriva il mimetismo delle catene. E' stato stimato che queste dovevano far fronte ad una spinta dell'ordine di 1200 KN ciascuna e quindi erano da ipotizzare, utilizzando acciaio dolce, sezioni di circa 66 cmq. La scelta progettuale è quindi caduta su catene costituite da acciaio da precompressione di tipo GEWI ( DYWIDAG ) con un' unica barra di diametro 63.5 mm per ogni arco di imposta della lanterna .

Tale materiale è stato dimensionato per far fronte alle spinte presenti con tassi di lavoro dell'ordine di 380 Mpa . La posa in opere di catene destinate ad assorbire tensioni di 380 Mpa sulla luce degli archi di 12 m avrebbe però, se non presollecitate, inevitabilmente permesso un' ulteriore progressione delle lesioni durante la naturale deformazione dell' acciaio delle catene, stimata in cm 3.3 e ritenuta incompatibile con lo stato dell'immobile.

La scelta progettuale è stata quindi quella di presollecitare le catene fino al 30 % del loro tiro massimo, stimato in modo da ridurre altrettanto la prevedibile deformazione successiva delle stesse; tale deformazione successiva delle catene è stata chiaramente valutata compatibile e d'altro canto non si è ritenuto prudente introdurre nelle catene una pretensione maggiore. L'ancoraggio delle catene ha rappresentato uno dei punti più delicati della progettazione, in quanto un aggiustamento degli ancoraggi avrebbe determinato la vanificazione della presollecitazione. Particolare interessante: il ritrovamento di vecchie catene lignee annegate nella muratura, nella stessa posizione degli ancoraggi progettati .

Il progetto ha quindi previsto particolare cautela per la realizzazione degli ancoraggi ed il rilievo della tensione nelle catene sia durante la loro tesatura che successivamente (dopo 120 g. dal tiro), attraverso il rilevamento della frequenza primaria della catena con l'ausilio di un geofono, posizionato nella mezzeria della stessa, per poi risalire al tiro. Il progetto di consolidamento ha inoltre previsto la rigenerazione del tessuto murario in tutta la fascia di ancoraggio delle catene e degli archi ( per le lesioni diffuse alle reni) perforazioni armate incrociate, iniettate successivamente con malte a base di calce idraulica pozzolanica e chiusura delle microlesioni degli archi con iniezioni di resina attraverso perforazioni armate incrociate, iniettate successivamente con malte a base di calce idraulica pozzolanica e chiusura delle microlesioni degli archi con iniezioni di resina



Ancoraggio catena archi principali (VECCHIA CATENA LIGNEA)



Sistema degli archi sul tamburo al termine del consolidamento



Giunzione catena archi principali