

RESTAURO DELLA CHIESA DI SANTA CROCE IN CASCINA

Consolidamento di archi, volte e murature

(1) ARCH. GIUSEPPE SANTI
(1) ARCH. OMBRETTA SANTI
(2) ING. GIORGIO GIACOMIN



(1) Studio tecnico Arch. Santi
(2) Ing. Giorgio Giacomini

Progettazione e D.L.
Società Maxfor s.r.l. - Quarto d'Altino (VE)

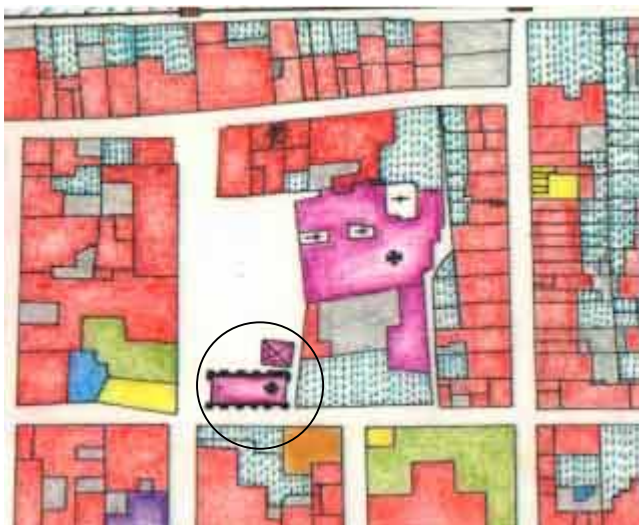
LA CHIESA DI SANTA CROCE IN CASCINA

Inserita nel complesso chiesastico della Propositura di Cascina, la Chiesa di Santa Croce rappresenta un significativo esempio di Architettura seicentesca.(1)

L'edificio risulta tuttavia chiuso da lungo tempo, a causa di un grave dissesto delle strutture, in particolare della controsoffittatura voltata interna, ricca di decorazioni a stucco e di affreschi della Scuola del Tempesti. (2)

NOTIZIE STORICHE

Documentazioni storiche relative all'edificio stesso ne attribuiscono la paternità ad Orazio Cecconi ed al fratello Vincenzo, facendo risalire l'inizio dei lavori intorno all'anno 1633. Le opere di costruzione si protrassero per una durata di circa quattordici anni, fino all'anno 1647. Pare tuttavia che il corpo di fabbrica sorga su un impianto di epoca anteriore, destinato al cosiddetto Oratorio di Santa Croce.



1. CENTRO STORICO DI CASCINA

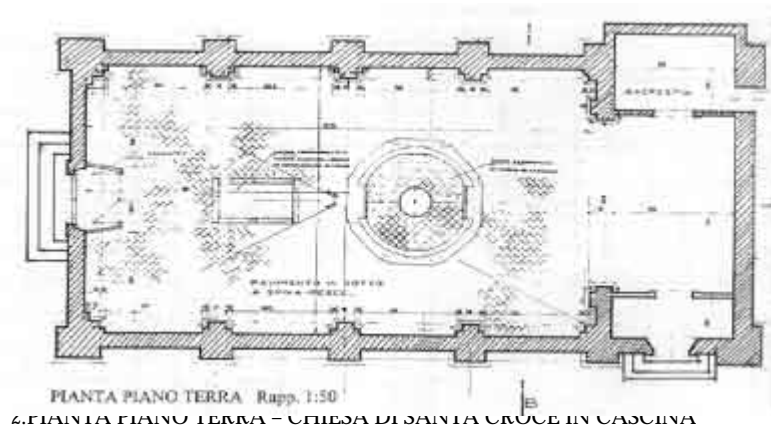
LOCALIZZAZIONE DELLA CHIESA DI SANTA CROCE

- (1) Tipologie architettoniche interne simili alla Chiesa di Santa Croce si riscontrano in diverse chiese pisane, quali: San Domenico in Corso Italia, San Bernardo in Via S. Bernardo, San Giuseppe in Via S. Giuseppe, S. Gregorio Magno in Piazza S. Frediano, Santa Marta in Via S.Marta, Sant'Anna in Via Carducci.
- (2) Domenico Tempesti - 1688-1766

Durante il corso dei secoli passati l'edificio è stato sottoposto ad ulteriori interventi, così è documentata la realizzazione di una notevole ristrutturazione tra il sesto e il settimo decennio del Settecento, la cui entità fa desumere una vera e propria ricostruzione.

CARATTERISTICHE STILISTICO-ARCHITETTONICHE

Dal punto di vista architettonico, l'edificio presenta un impianto semplice a navata unica, terminante con una cappella rettangolare posta dietro l'altare-avente funzione di Coro - e da due piccoli vani laterali adibiti distintamente a piccola Sacrestia e ad accesso secondario.



La struttura portante risulta costituita da una cortina in muratura mista in pietra e mattoni, ripartita in più campate da una serie di pilastri, in essa inserita ad interasse regolare e di sezione tale da assorbire le spinte degli arconi su di essi impostati .



3 - PARTICOLARE DI AFFRESCO SULLA CONTROSOFFITTATURA A VOLTA RAPPRESENTANTE LA "STORIA DELLA S. CROCE" (3° CAMPATA)

L'interno dell'edificio risulta invece "opposto" alla semplicità esterna, rispecchiando il tipico carattere sfarzoso del gusto tardo barocco, caratterizzato da ricche decorazioni a stucco e lunette porta immagini.

Le pareti interne sono ritmate da paraste sormontate da capitelli a stucco, decorati da fantasiose foglie di acanto e volute. Una ricca cornice continua si sviluppa su tutte le strutture perimetrali, costituendo la linea di imposta del sistema di controsoffittatura, realizzato a volta a botte lunettata.

Nelle lunette sono inoltre ricavate quattro finestrate per lato, inquadrata da cornice.

Il sistema costruttivo della controsoffittatura ha una struttura voltata in foglio di mattoni, collegata ad un sistema di arconi a tutto sesto collegati ai pilastri laterali.

Questo costituisce un sistema statico leggero, tale da non esercitare grosse spinte sui muri perimetrali. Gli arconi suddividono in quattro spartiture la controsoffittatura, lasciando spazio ad una decorazione alterna, costituita da campiture affrescate - con soggetto inneggianti la storia della Santa Croce - cornici e soggetti floreali di gusto squisitamente baroccheggianti.

Sulle pareti longitudinali si inseriscono, su ciascun lato, ancora quattro lesene, decorate in finto marmo. Queste, oltre a costituire l'elemento architettonico in elevazione, a tergo delle quali insistono i pilastri e su cui si impostano gli arconi

della soffittatura, hanno la funzione di scandire ulteriormente la superficie muraria perimetrale, lungo l'asse maggiore, lasciando spazio a teche raffiguranti immagini religiose arricchite da cornici, stucchi vari e puttini. La ricca decorazione di insieme culmina infine nell'area absidale, la cui parete frontale lascia spazio a una finestra lobata, orientata sul lato est. All'interno, detta finestra è enfatizzata con una cornice in stucco di particolar pregio, arricchita con volute e puttini; la parete risulta inoltre inquadrata - nella parte sottostante la finestra - con due lesene "a spigolo", decorate a finto marmo da capitelli compositi.

La decorazione interna, abbondante e calibratissima allo stesso tempo, si avvale degli apporti di materiali diversi; il marmo, nel bellissimo fonte ottagonale che campeggia al centro della navata e nell'altare centrale o finto nelle lesene marmorizzate, il gesso, nelle cornici dei quadri, delle finestre, nel cornicione, piuttosto aggettante, che segna tutto il perimetro superiore delle pareti; lo stucco, nei motivi plastici, figurativi astratti, delle cornici, delle sovrapporte, delle sovr finestre; gli affreschi, sulle volte e le tele, ai lati della navata; i legni delle panche l'oro negli stucchi del soffitto e nelle sovrapporte della zona presbiteriale ecc. In questa complessa orchestrazione cromatica e polimaterica, la preponderanza del bianco sulle pareti laterali, nei gessi, negli stucchi, nei marmi, fornisce la necessaria e sapiente impaginazione dell'insieme.

La presenza di importanti opere scultoree in marmo, il fonte e l'altare, segnano una realtà piuttosto originale all'interno della plastica pisana settecentesca.

L'altare rialzato da un gradino ha una forma leggermente concava, abbellito da pregevoli intarsi marmorei e da inserti figurativi (gli angeli-mensola e le teste di cherubini) fu eseguito fra il 1759 ed il 1761 da Carlo Francesco Jori ed installato da Pompeo Franchi gli stessi che hanno operato molto nelle decorazioni scultoree della Certosa di Calci. La tipologia di questo altare è riscontrabile nell'altare della Chiesa di Santa Marta, realizzato nel 1764 da Giuseppe Vaccà, scultore noto di origine carrarese.

La decorazione a stucco dell'interno è attribuita a Carlo Antonio Ferri, attivo nella decorazione della Cappella della Santissima Annunziata della Certosa di Calci. La decorazione del Ferri ha un vastissimo repertorio di motivi decorativi, come negli spunti figurativi, nelle ghirlande di fiori e foglie che contornano i lati

delle finestre, nelle volute dei capitelli, nei fregi della parte superiore delle pareti laterali del presbiterio, nelle cornici modanate, nelle teste dei cherubini ecc.

Veri accenti di virtuosismo si leggono nella struttura in gesso e stucco, sovrapposta alla parete di fondo della cappella contenente, al centro, la tela raffigurante San Giovanni Battista, caratterizzata da due pilastri, marmorizzati, con capitelli compositi sorreggenti lo stemma centrale su cui troneggia la scritta “NOVO EXTRUCTO FONTE D. JOANI BAPT.DIC.A.D.MDCCLXXXVI” che allude alla trasformazione della chiesa in “battistero della pieve” dopo la soppressione della compagnia officiante.

DESCRIZIONE DELL'INTERVENTO DI RESTAURO

Quale sia stata la causa che ha provocato il dissesto dell'intera struttura non è stato possibile accertare, data la mancanza di documenti documentali. Una informazione dalla memoria orale ricorda che il crollo della volta sia stato determinato da un carico sganciato da una gru che, incautamente, passava sul tetto della Chiesa per lavori che venivano svolti presso un edificio vicino; altre informazioni attribuiscono i danni ad un terremoto avvenuto circa nel 1920. L'indagine diagnostica sulle strutture non fa rilevare l'effettiva causa del dissesto, pertanto si è proceduto a fare, in primo luogo, verifiche sul sistema di fondazione, che hanno rilevato l'assenza di stati di deformazione delle stesse. Si è quindi proceduto alla verifica del sistema di copertura e quindi della stabilità delle volte lunettate.

I lavori si sono concentrati sul sistema voltato, che presentava un grave stato fessurativo e un grado di instabilità globale pericoloso. La preoccupazione era quella di un crollo, con la perdita degli affreschi e dei sistemi decorativi presenti. Questi arconi erano collassati in chiave e nelle vicinanze dei reni, pertanto in condizioni statiche precarie. Le volte presentavano lesioni parallele alle generatrici in numero elevato. Le stesse lesioni si ripetevano anche sulle lunette.

Un sistema quindi complesso ed uscente da metodiche esplicative di tipo teorico. La pratica, fino ad ora sviluppata nei testi specialistici, era quella di adottare strutture piuttosto invasive, con l'adozione di rinforzi in calcestruzzo. Tali soluzioni sono state tuttavia scartate dai progettisti, valutando il rischio di un pericoloso incremento dei carichi sulla struttura. E' stata quindi effettuata una

sceita di rinforzo, che assicurasse una continuità strutturale e avvicinasse il sistema costruttivo ad un guscio staticamente indeformabile, senza ulteriore sovraccarico. Il concetto è stato quindi di fasciare le volte in direzione bidirezionale, con un materiale leggero di alta resistenza. Ciò è avvenuto mediante fasce di fibre di carbonio, collegate alla struttura in laterizio mediante formulati chimici inorganici. Tali formulati chimici sono stati inoltre utilizzati per la chiusura delle lesioni diffuse, mediante il sistema di iniezione a bassa pressione, così da garantire la continuità del materiale. Negli archi portanti, dove erano presenti lesioni di maggiore entità, si è provveduto alla loro cucitura mediante l'introduzione di barre in fibre di carbonio ad inclinazione variabile, solidarizzate mediante l'iniezione di formulati chimici di origine organica a bassa pressione, in modo da evitare fuori uscita a salvaguardia dell'estetica, senza provocare stati di coazione nella struttura originaria e creando, nel contempo, una struttura tridimensionale armata. Altro provvedimento di consolidamento si è concentrato sui pilastri di appoggio delle capriate in legno del tetto, che si presentavano in grave dissesto per azioni torsionali dovute a cattiva esecuzione. L'intervento su questi pilastri è stato di fasciatura orizzontale e verticale, chiodatura mediante barre di acciaio introdotte in fori eseguiti con apparecchio rotante e sigillatura con introduzione nei fori di formulati chimici. Un altro importante intervento è stato il consolidamento dell'arco trionfale sopra l'altare, che presentava lesioni con scivolamento di conci ideali nelle zone delle reni ed in chiave dell'arco. L'analisi strutturale del sistema costruttivo ha messo in evidenza che su detto arco vengono a scaricarsi i pesi di parte della copertura, mediante muri fortemente snelli e in condizioni di grave dissesto. Il progetto prevedeva di eliminare tali carichi mediante una trave reticolare in acciaio, che è stata collocata nello spazio tra le volte e il tetto, quindi nella soffittatura, in modo celato. L'arco scaricato dai pesi è stato poi consolidato con i sistemi sopra riportati.

L'intero perimetro murario della Chiesa, nei punti dove sono presenti lesioni verticali di distacco, è stato consolidato con i sistemi di cucitura armata integrata con formulati chimici.

La società Maxfor s.r.l. ha fornito assistenza alla progettazione del restauro statico e i materiali in fibra di carbonio e formulati chimici necessari per l'esecuzione delle opere.

RELAZIONE TECNICA

I calcoli statici sono stati redatti nel rispetto delle norme vigenti in materia ed in particolare:

- D.M. 14/02/1992 contenente norme tecniche per opere in c.a., c.a.p. ed acciaio;
- D.M. 09/01/1996 e 16/01/1996 e successive circolari (n. 156 AA.GG./STC del 04/07/1996 e n. 65/AA.GG. del 10/04/1997), contenenti norme tecniche per il calcolo, l'esecuzione ed il collaudo delle strutture in c.a., c.a.p. ed in acciaio, norme tecniche relative ai criteri generali per la verifica di sicurezza delle costruzioni e dei carichi e sovraccarichi e norme tecniche per le costruzioni in zona sismica.

Allo scopo di poter valutare lo stato tensionale delle volte e degli arconi, tenuto conto che la chiesa potrebbe essere soggetta ad azioni dinamiche (S9) è stato necessario eseguire una modellazione matematica agli elementi finiti con programma di calcolo SAP2000 dell'intera porzione di fabbricato adiacente la facciata, comprendente quindi:

- la schematizzazione delle murature laterali e di facciata in elevazione: le prime fungono da appoggio alle volte lunettate ed agli arconi e quindi sono necessarie a valutare, in condizioni sismiche, le sollecitazioni imposte ai sistemi di copertura e controsoffittatura dal proprio movimento, funzione della reale rigidezza e la seconda conferisce al sistema quella rigidezza trasversale effettiva senza la quale i risultati dell'analisi sarebbero falsati, con spostamenti e quindi sollecitazioni di gran lunga superiori ai reali; poiché non si conosce il modulo elastico, si è considerato un valore medio dettato anche dall'esperienza in costruzioni simili, pari a 15000 kg/cm^2 ;
- la ovvia schematizzazione delle volte e degli arconi, tenendo presente sia la geometria del sistema che gli effettivi spessori, elementi rilevati dalla progettazione e dalla D.L.; per ciò che concerne l'incamiciatura estradossata, a favore di sicurezza, si è inserito lo spessore pari a 3 cm. non considerando il maggior valore dovuto ad un modulo di elasticità certamente più elevato rispetto a quello della muratura a causa dell'incertezza del valore reale e del collegamento tra le parti; anche qui il valore del modulo elastico della muratura in base all'esperienza è stato considerato pari a 12000 kg/cm^2 ;
- le capriate lignee di copertura, necessarie a completare il sistema ed a riportare i carichi di copertura sulle murature.

I vincoli al piede delle murature sono costituiti da incastri.

In conseguenza di quanto detto è stato necessario effettuare:

- un'analisi statica;
- due analisi equivalenti secondo le direzioni x e y.

La modellazione matematica degli elementi costituenti le murature, le volte e gli arconi è stata realizzata usando elementi bidimensionali SHELL, mentre per le capriate sono stati usati elementi FRAME.

Il modello è quindi costituito da:

- n° 200 nodi;
- n° 200 elementi shell;
- n° 200 elementi frame.

Le combinazioni di carico (COMB) sono le seguenti:

- COMB1: condizione statica;
- COMB2: sisma secondo x (direzione trasversale);
- COMB3: sisma secondo y (direzione longitudinale).

Di seguito si riportano le verifiche effettuate sulle fasce in fibre di carbonio Armoshield necessarie per il consolidamento delle volte e degli archi.

Il calcolo si basa sui risultati dell'analisi effettuata, estrapolando i valori dello stato tensionale degli elementi curvilinei maggiormente sollecitati per ogni condizione di carico nelle due direzioni (le tensioni di trazione S22 sono parallele all'asse x - direzione trasversale -, mentre le S11 sono parallele all'asse y - direzione longitudinale -) e per ogni tipologia di fasciatura di consolidamento.

Si considera un'area media pari a circa $36 \times 8 / 2 \text{ cm}^2$ per le volte ed una pari a $25 \times 34 / 2$ per gli archi.

Lo schema riepilogativo è riportato nella seguente tabella.

	SHELL	TIPO	S22	S11	Sup. cm ²	F Kg	Tipo rinf. Armoshield	Sup. rinf. cm ²	Tens. Fibre kg/cm ²
COMBST		Vch	0.85	---	144	123	B320/20	0.22	560
	156	V	1.16	---	144	167	B320/10	0.11	1519
	7	Ach	3.50	---	425	1488	U500/50	1.40	1063
	181	V	---	1.68	144	242	B320/10	0.11	2200
COMBSX	179	Vch	0.84	---	144	121	B320/20	0.22	550
	180	V	1.25	---	144	180	B320/10	0.11	1637
	9	Ach	5.33	---	425	2266	U500/50	1.40	1619
	180	V	---	1.67	144	241	B320/10	0.11	2191
COMBSY	179	Vch	0.82	---	144	118	B320/20	0.22	537
	110	V	3.41	---	144	491	B320/10	0.11	4464
	7	Ach	3.75	---	425	1594	U500/50	1.40	1139
	156	V	---	1.62	144	234	B320/10	0.11	2128

Come si vede tutte le tensioni sono nettamente inferiori alle minime ammissibili che, considerando una coefficienta di sicurezza pari a 2 sono pari a 17650 kg/cm^2 .

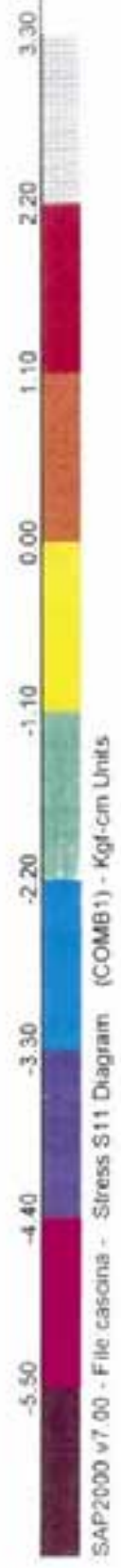
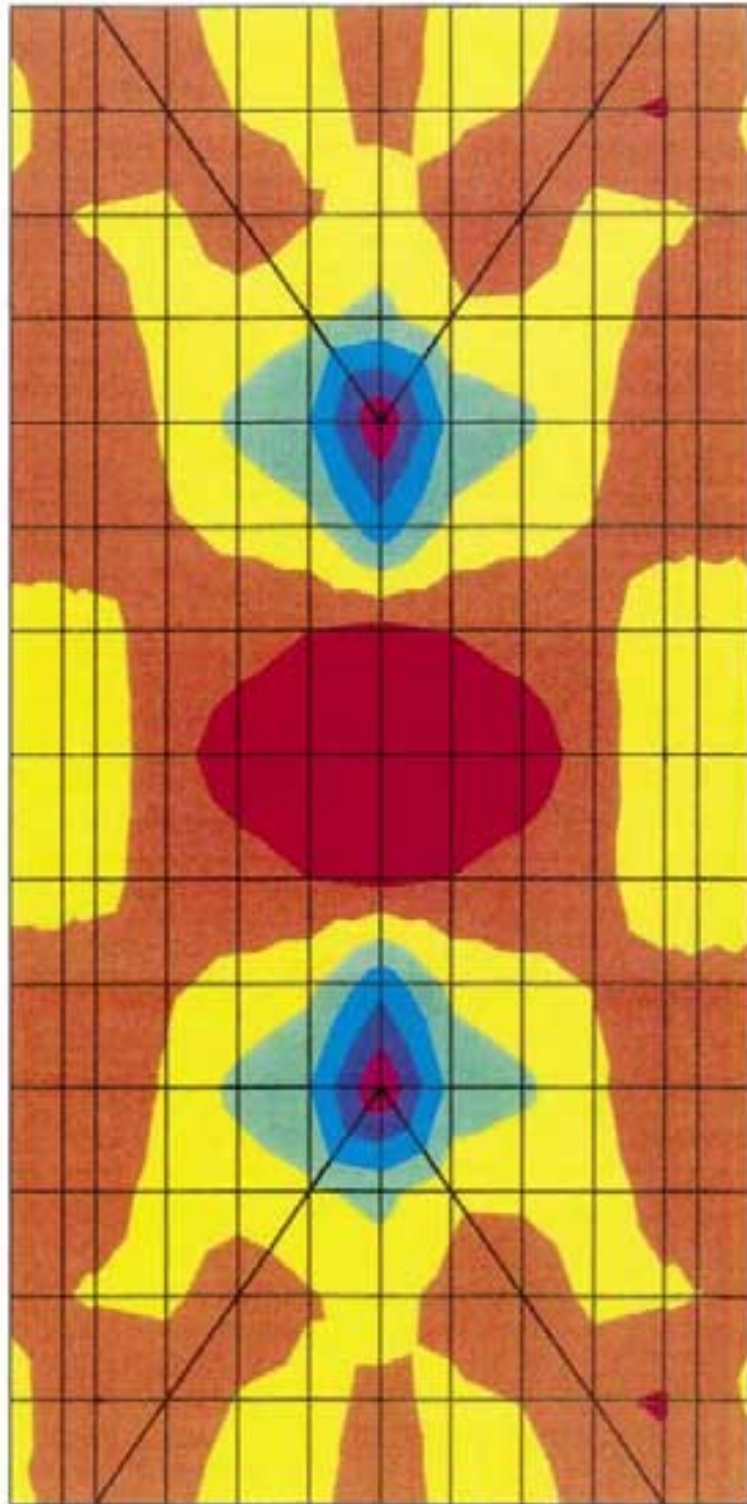
La massima forza di scorrimento si ha in corrispondenza:

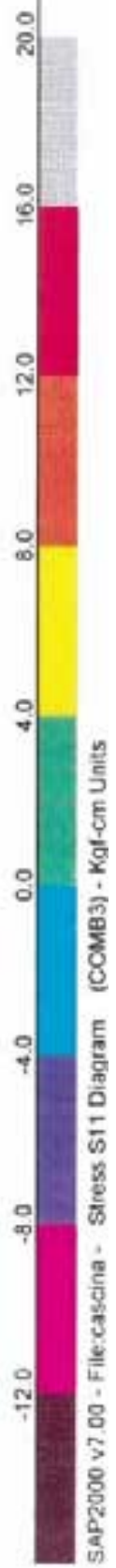
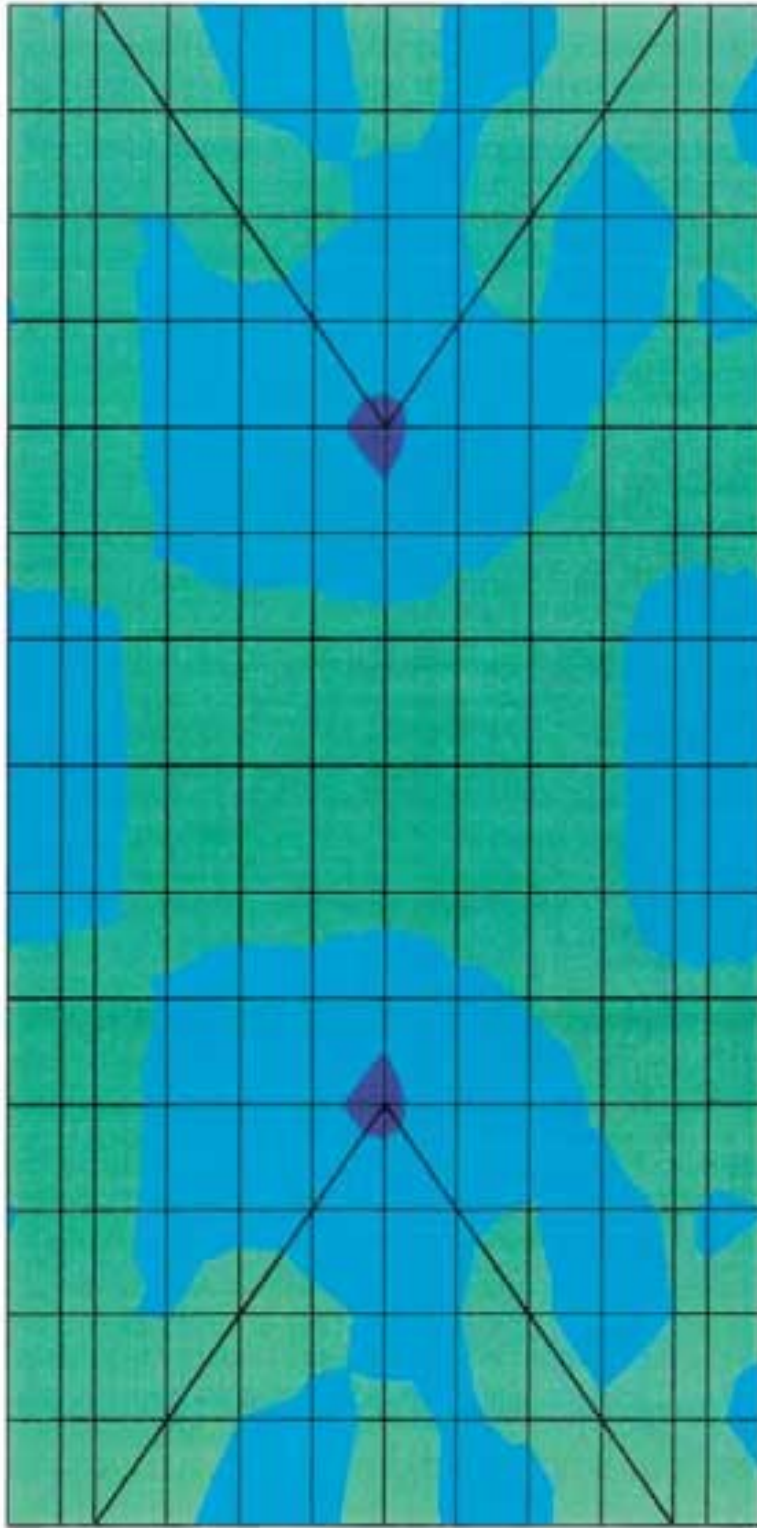
- dell'elemento 9 nella condizione di carico COMBSY considerando la forza massima di trazione pari a 2266 kg. e la superficie di contatto pari a $25 \times 25 \text{ cm}^2$;
- dell'elemento 110 nella condizione di carico COMBSY considerando la forza di trazione pari a 491 kg. e la superficie minima di contatto pari a $36 \times 5 \text{ cm}^2$;

Si ha:

$$\tau_{sc1} = 2266 / (25 \times 25) = 3.63 \text{ kg/cm}^2 < \tau_{adm} \approx 6 \text{ kg/cm}^2.$$

$$\tau_{sc2} = 491 / (36 \times 5) = 2.73 \text{ kg/cm}^2 < \tau_{adm} \approx 6 \text{ kg/cm}^2.$$





MATERIALI USATI PER IL CONSOLIDAMENTO

Fibre di carbonio

Come rinforzo per il consolidamento è previsto l'inserimento di fasce di fibre di carbonio tipo Armoshield della linea ARMO della MAXFOR di Venezia, le cui dimensioni sono riportate nella tabella 1, aventi elevatissime caratteristiche di resistenza a trazione ed un basso peso specifico.

Le caratteristiche meccaniche sono riportate di seguito:

- resistenza a trazione 35300 kg/cm²
- modulo elastico a trazione 2350000 kg/cm²
- allungamento a rottura 1,5 %
- peso specifico 1800 kg/mc.

Le caratteristiche delle tipologie adottate (Armoshield) e disposte come riportato negli elaborati grafici di progetto sono riportate nella seguente:

Tabella 1

Tipo	Unidirezionale U		Bidirezionale B		Biassiale ± 45° T	
Peso del tessuto g/mq	330	500	320	600	450	600
Spessore mm	0,18	0,28	ord. 0,11 tr. 0,07	ord. 0,21 tr. 0,13	0,12 per dir.	0,16 per dir.
Altezze standard cm	5-10-20-50-100		5-10-20-50-100		a richiesta	

Barre in carbonio

Armoshield B10

Modulo elastico 1.400.000 kg/cm²
Resistenza a trazione > 20.000 kg/cm²
Allungamento a rottura 1,3%

Adesivi

Armofix T

Resistenza a flessione 350 kg/cm²
Resistenza a compressione 650 kg/cm²

Descrizione delle fasi di intervento

Per la realizzazione a regola d'arte del lavoro è di fondamentale importanza assicurare la perfetta aderenza tra le fasce di fibre di carbonio ed il supporto (in questo caso l'estradosso delle volte e degli arconi).

A tal fine si descrivono le fasi esecutive dell'operazione.

- Asportazione delle parti incoerenti e in distacco;
- Spazzolatura e depolveratura delle superfici da rinforzare;
- Sigillatura delle eventuali fessurazioni con miscele adeguate Armofix I (tenendo conto che le superfici sono affrescate all'intradosso);
- Primerizzazione del supporto a mezzo pennello o rullo in quantità idonea all'assorbimento con Armoprimer, adatto per superfici molto porose;
- Dopo il tempo fuori tatto e comunque entro le 24 ore successive, applicazione della rasatura a mezzo spatola o frattazzo (Armofix T);
- Applicazione della resina di incollaggio (Armofix MTX) dopo il fuori tatto della rasatura ed entro le 24 ore successive;
- Applicazione del rinforzo in carbonio Armoshield secondo l'orientamento previsto mediante pressione costante manuale e con rullino fino a completa impregnazione delle fibre;
- Dopo circa 1 ora, stesura di una seconda mano di adesivo;
- Eventuale protezione finale al fuori tatto dell'adesivo con finitura Armolast compatibile.

ESTERNO DELLA CHIESA DI SANTA CROCE IN CASCINA



**PARTICOLARE DI CUCITURA DELLA LESIONE
A MEZZO INIEZIONE DELLE VOLTE E DEGLI ARCONI**



AFFRESCHI DELLE VOLTE (foto sopra)
ESTRADOSSO DELL'ARCO E DELLA VOLTA (foto sotto)



**APPLICAZIONE DEI RINFORZI ARMOSHIELD
IN FIBRA DI CARBONIO SULLE VOLTE E SUGLI ARCHI**

