

La messa in sicurezza della cappella meridionale del transetto della Chiesa San Michele a Brisighella

L'esperienza dello Studio Marco Peroni Ingegneria

Marco Peroni, ingegnere civile – Marco Peroni Ingegneria, Nicolò Minguzzi, ingegnere civile – Marco Peroni Ingegneria

Questa memoria descrive gli interventi previsti per la messa in sicurezza e la mitigazione del rischio sismico di una porzione laterale del complesso religioso di San Michele Arcangelo in Brisighella coinvolta da gravi cedimenti fondali e parziali disconnessioni del sistema voltato e delle murature in elevazione. Cercheremo di spiegare gli interventi previsti, in parte realizzati al momento della scrittura del presente testo (Giugno 2025), mostrando le fasi di cantiere già ad oggi espletate e gli schizzi di progetto per le parti ancora da realizzare.

Descrizione generale del fabbricato

L'edificio, con struttura in muratura portante, risale al XVII secolo e presenta pianta cruciforme. Esso risulta inserito all'interno del tessuto edilizio costituente il centro storico del Comune di Brisighella, presentando solo due dei quattro lati completamente liberi da edifici ed addossamenti (la facciata principale, su Piazza Carducci, e la navata sinistra, su Via Fossa. A sud, l'abside destro della chiesa confina con una serie di corpi minori ad esso addossati ed ospitanti locali di servizio e la centrale termica. A est prosegue invece l'edificio urbano formato da edifici di minore altezza ed a semplice impianto prospicienti la Via Fossa.



Figura 1 – Vista area del contesto della chiesa di San Michele a Brisighella (da Google Maps)

Il complesso monumentale è composto da generose pareti in mattoni pieni con riempimenti a sacco e muratura mista in pietrame e laterizio, con spessori anche nell'ordine di qualche metro in corrispondenza degli angoli. Sono molteplici però le bucatore, le nicchie e le irregolarità nella muratura che, anche per via dell'impianto cruciforme, risulta di fatto costituita da una serie di grandi pilastri di muratura. A livello di orizzontamenti, la copertura risulta di recente ricostruzione (presumibilmente, seconda metà del secolo scorso) ed è interamente composta da travi in c.a.p. di tipo "Varese" e tavelloni di laterizio. Sotto di essa sono presenti invece le grandi volte a cupola in muratura di mattoni pieni a coltello, con nervature estradossate di irrigidimento alle quali corrispondono anche delle paraste (ringrossi - lesene) nelle elevazioni murarie.

La stabilità del complesso edificato si fonda pertanto sull'equilibrio tra numerose spinte generate dagli archi e dalle cupole, equilibrate grazie alla rigorosa simmetria dell'impianto e al peso delle murature verticali. L'alterazione di questo delicato equilibrio tra spinte e contrasti innescato, ad esempio, da un cedimento fondale può senz'altro acuire il quadro fessurativo sino anche a innescare fenomeni di collasso a catena dei vari elementi architettonici e strutturali che compongono la fabbrica.

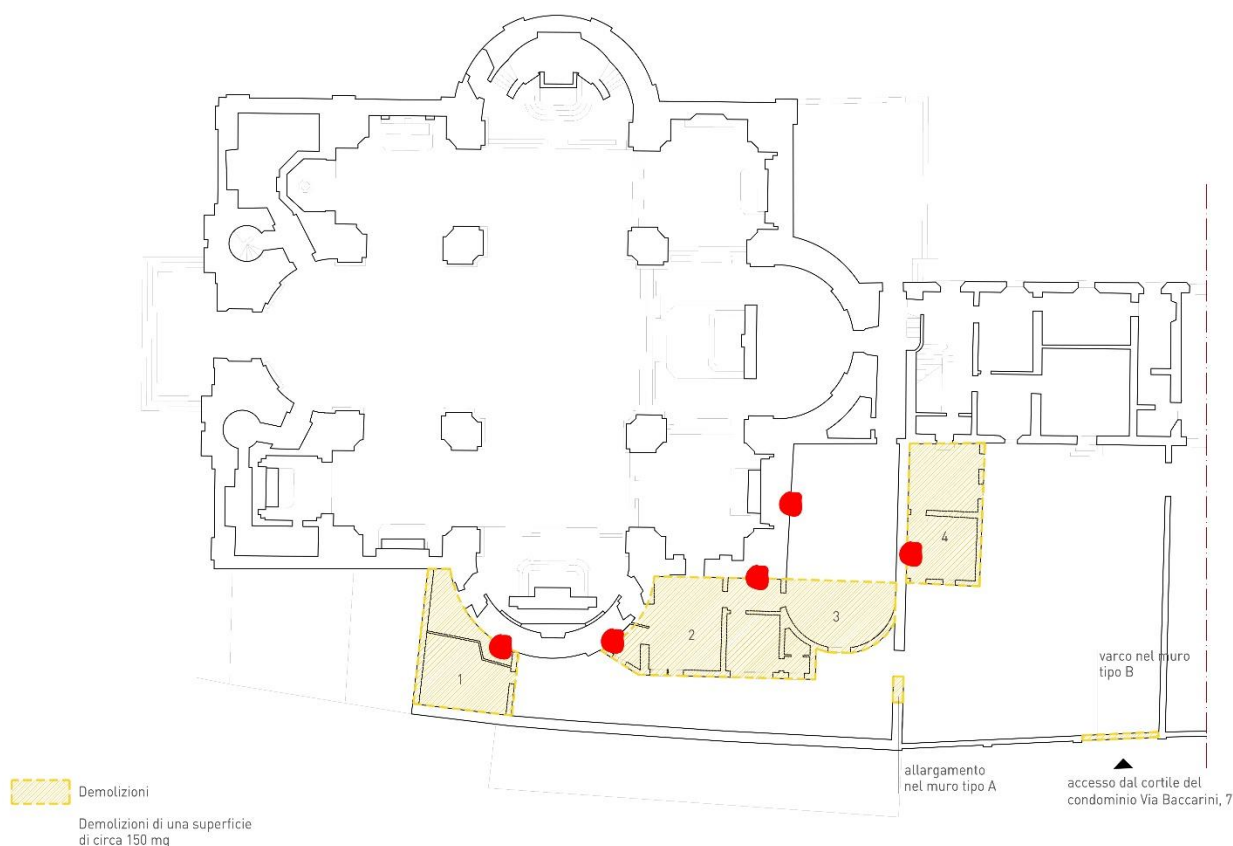


Figura 2 – Planimetria della chiesa con indicazione dei sondaggi fondali eseguiti (punti rossi) e degli annessi demoliti (in giallo)

I danni riscontrati e le possibili cause scatenanti

A seguito di vari sopralluoghi effettuati negli ultimi anni, dei quali l'ultimo in Agosto 2022, è stato possibile riscontrare un diffuso quadro fessurativo in corrispondenza della cappella destra posta a sud del complesso edilizio.

Le lesioni, presenti sia a livello delle elevazioni murarie che negli orizzontamenti voltati e presenti anche nella pavimentazione interna della chiesa, denotano con ogni probabilità l'insorgere di un meccanismo di cedimento fondale ascrivibile senz'altro alla notevole siccità rilevata negli ultimi mesi, con prosciugamento dei terreni argillosi di sottofondo delle fondamenta e conseguente instabilità per perdita di appoggio. Da testimonianze recuperate dalla gente del posto si è poi rilevato che era presente, nelle vicinanze dell'apparato fondale della porzione in oggetto, una vecchia caditoia di scolo delle acque poi andata in disuso che aveva però avuto copiose perdite nel tempo e causato non pochi problemi di umidità ai fabbricati limitrofi.

Questi cedimenti diffusi hanno interessato dapprima ed in modo assai evidente i corpi minori addossati sul fianco della chiesa (locali di servizio, centrale termica, ecc.), manifestando un diffuso quadro fessurativo con lesioni passanti, crolli parziali e determinando già da tempo la necessità di puntellare e disporre opere provvisorie all'interno di tali ambienti. Presumibilmente, la minore profondità e consistenza delle fondamenta di tali annessi e proservizi ha determinato l'innescare del quadro fessurativo dapprima in tali porzioni del complesso edilizio piuttosto che nei muri della chiesa, ben più robusti e piantati su solide basi.

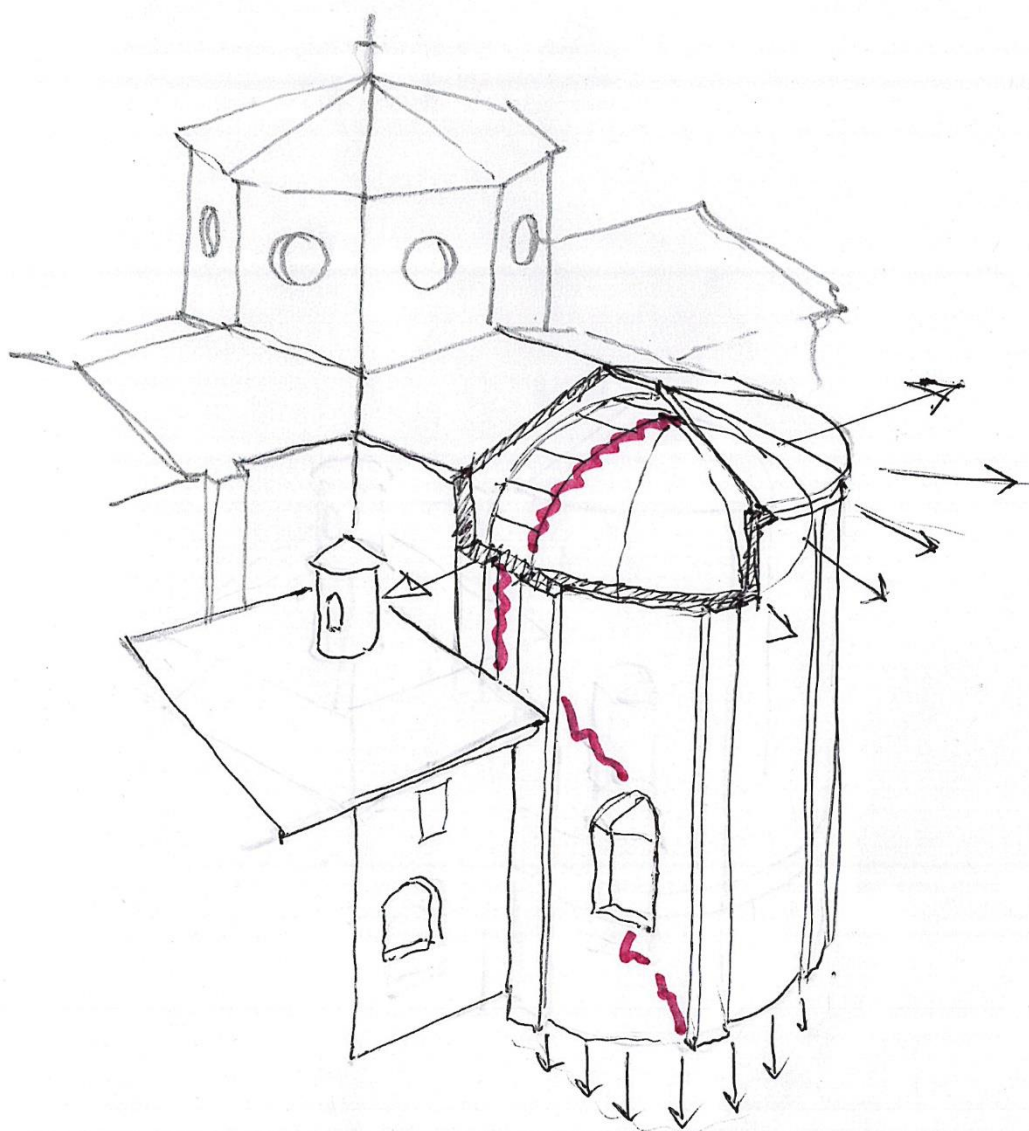


Figura 3 – *Diagramma del quadro fessurativo rilevato nella cappella laterale della chiesa.*

Ora, l'aggravarsi senza precedenti dell'inaridimento del sottosuolo per via della inusuale siccità riscontrata durante l'estate del 2022 ha evidentemente portato l'instabilità fondale ad una quota ancora più in profondità nel sottosuolo arrivando quindi ad interessare anche gli strati più profondi su cui poggiano verosimilmente le fondazioni della Collegiata: di conseguenza, il quadro fessurativo si è esteso anche all'interno del fabbricato ecclesiastico.

Le lesioni riscontrate risultano coerenti con un ribaltamento fuori dal piano del cuneo di muratura in corrispondenza della porzione più esterna del catino absidale meridionale; la spinta di ribaltamento risulta derivante sia da una verosimile spiombatura verso l'esterno della muratura e delle due paraste più esterne che dall'azione spingente della semicupola di copertura dell'abside che, perso il contrasto operato dall'arcone del transetto, tende a schiacciarsi e quindi a generare una spinta radiale perimetrale sulle elevazioni. La compresenza delle spinte sopra descritte con la perdita di appoggio delle porzioni più esterne del fabbricato (poste a valle e pertanto più soggette a fenomeni di cedimento e dissesto fondale) ha generato un cinematismo che viene di seguito schematizzato graficamente per una più semplice ed immediata comprensione del fenomeno.

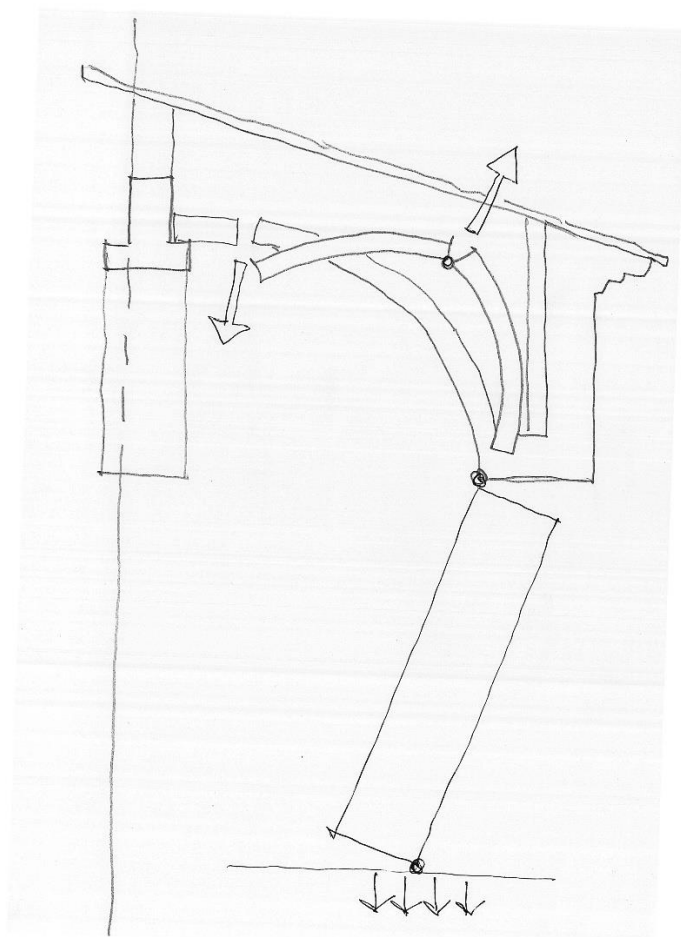


Figura 4 – Il meccanismo di collasso in atto al momento dell'inizio del cantiere.

La presenza di un doppio ordine di aperture (porte al piano terra e soprastanti finestre allineate) su ambo i fianchi dell'abside meridionale senz'altro non ha aiutato a contenere il fenomeno e anzi ne ha generato una amplificazione, fungendo, come è noto, le aperture nelle murature da "calamita" per l'andamento delle lesioni che in fatti, nel caso in esame, attraversano tutte le aperture dalla sommità per ricomparire poi alla base delle medesime.



Figura 5 – *Il quadro fessurativo della cappella laterale al momento dell'inizio del cantiere.*

Come si è detto, anche una minima alterazione degli equilibri tra spinte contrastate delle volte e degli archi che costituiscono il sottotetto della chiesa può innescare fenomeni a catena ed acuire ulteriormente il quadro fessurativo: è verosimile che il distacco della semi-cupola meridionale dal rispettivo arcone che la collegava al transetto possa aver indebolito l'azione di catena che tale porzione di fabbricato generava sulla restante e in particolare sull'arco medesimo. Inoltre, l'allontanamento subito dalle murature perimetrali sommitali rispetto al corpo di fabbrica centrale ha causato con ogni probabilità la perdita di appoggio (in genere di appena qualche centimetro) di alcuni dei tavelloni di laterizio che costituiscono la copertura, aprendo in essa una breccia e causando il crollo sulla volta sottostante anche di parte del manto in coppi.



Figura 6 – *Particolare del quadro fessurativo*



Figura 7 – *Lesioni di distaccamento della semicupola dall'arco principale della cappella.*



Figura 8 – *Particolare del distaccamento della semicupola dall'arco*



Figura 9 – *Lo sfilamento delle travi del coperto dall'appoggio sul muro sopra l'arco ha causato un cedimento di una porzione.*

Le operazioni di messa in sicurezza in somma urgenza e il progetto di ristrutturazione.

Ai fini della urgente ed inderogabile messa in sicurezza del complesso, per assicurare innanzi a tutto la pubblica e privata incolumità e scongiurare il peggioramento del quadro fessurativo ed il deterioramento del bene sino anche al crollo, oltre all'ovvia nonché già sopravvenuta interdizione all'accesso ai locali interni alla chiesa ed all'area cortilizia antistante all'abside meridionale, si è ritenuto urgente (con *pratica di somma urgenza* in Soprintendenza) provvedere alla messa in atto di un presidio provvisorio nei confronti del ribaltamento ulteriore del cuneo di muratura del catino absidale meridionale per mezzo del posizionamento di una serie di tre ordini di trefoli di acciaio inossidabile ad andamento orizzontale a cingere a mo' di cinture il perimetro semicircolare esterno dell'abside ancorandoli su ambo i fronti alle porzioni di muratura rettilinea del transetto della chiesa che svettano oltre le cappelle laterali.



Figura 10 – *Il presidio di messa in sicurezza di somma urgenza operato mediante trefoli in acciaio inox*



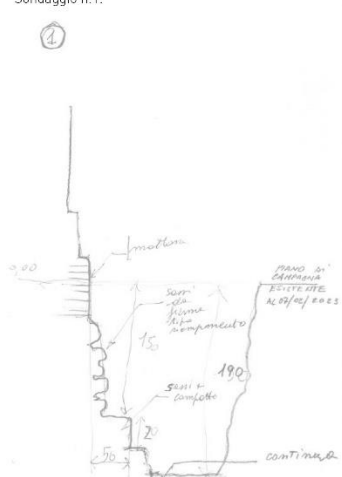
Figura 11 – Particolare degli ancoraggi dei trefoli in acciaio inox necessari alla messa in sicurezza della cappella

Le modalità realizzative per tale intervento sono state concordate di concerto con l'impresa realizzatrice mediante sopralluogo sul posto in quanto in assenza di un rilievo geometrico di tale porzione di muratura è risultato impossibile redigere un progetto esecutivo per i vari elementi di ancoraggio e trattenuta che si sono quindi progettati in modo da potersi adattare agli spessori e alle misure delle sporgenze che si sarebbero poi trovate in situ.

Si è poi provveduto a richiudere con guaina impermeabilizzante le porzioni di copertura crollate (per sfilamento delle travi dagli appoggi sui muri a seguito degli spostamenti da ribaltamento) in modo da preservare le volte sottostanti dalle infiltrazioni delle acque meteoriche.

Una volta effettuati questi interventi di somma urgenza di messa in sicurezza, si è proceduto con la demolizione dei corpi di fabbrica collabenti addossati al fronte meridionale della Collegiata e con la pulizia dell'area cortilizia al fine di poter approntare un rilievo geometrico strutturale dell'area basamentale dell'abside destro, effettuare i dovuti sondaggi e le indagini geognostiche sul terreno ed approntare di conseguenza il progetto esecutivo strutturale dell'intervento di rinforzo delle fondazioni del fabbricato.

Sondaggio n.1:



Sondaggio 2:

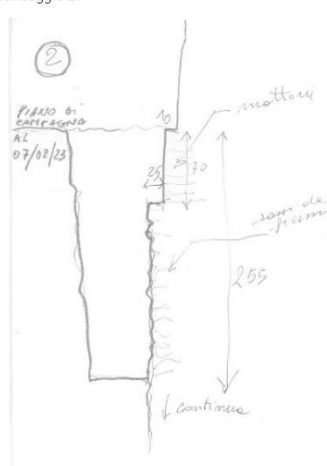


Figura 12 – Sondaggi fondali (foto e disegni dell'Arch. Davide Cristofani – Studio Magaze - Faenza)

Sondaggio 3:

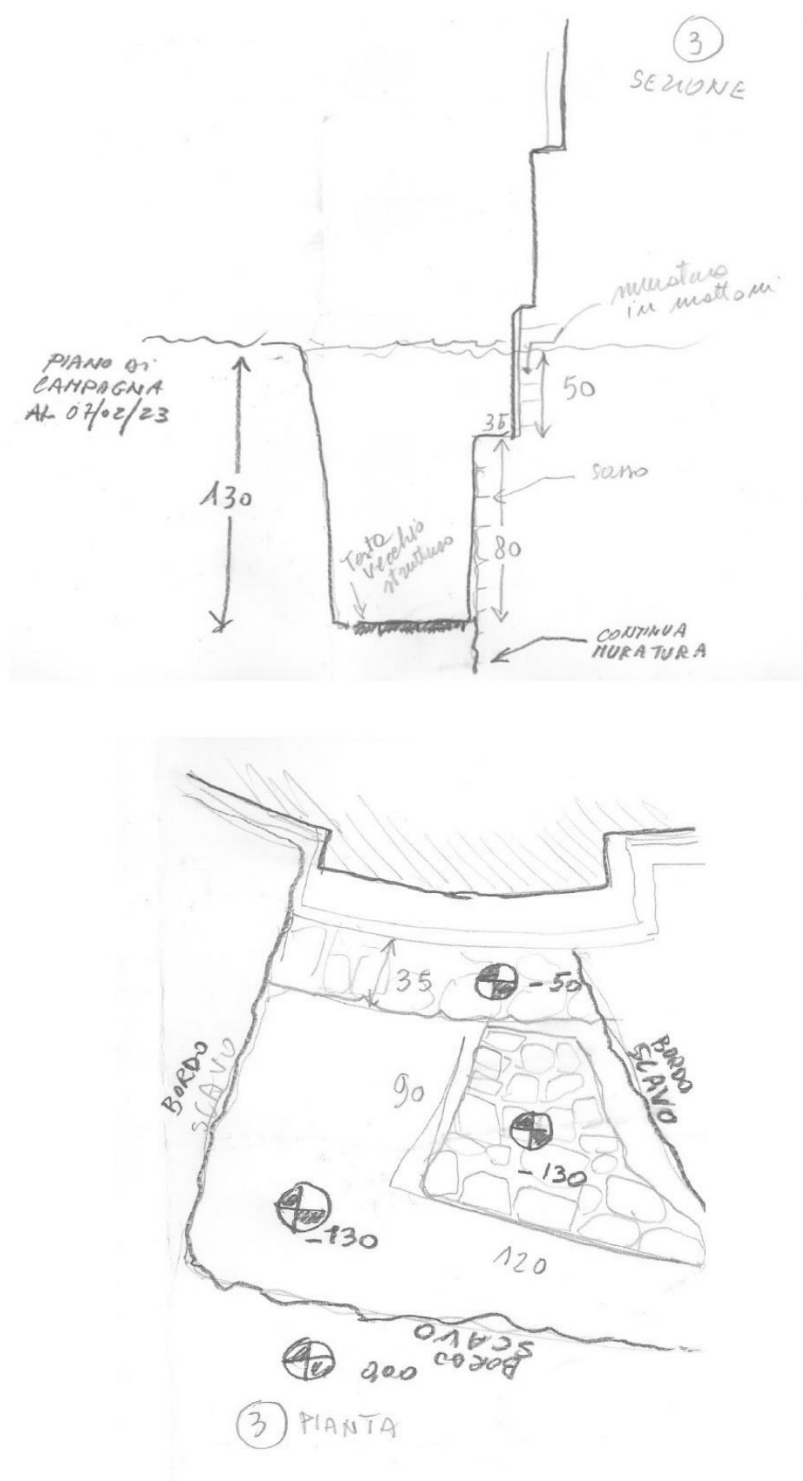


Figura 13 – Sondaggi fondali (disegno dell'Arch. Davide Cristofani)



Sondaggio 4:

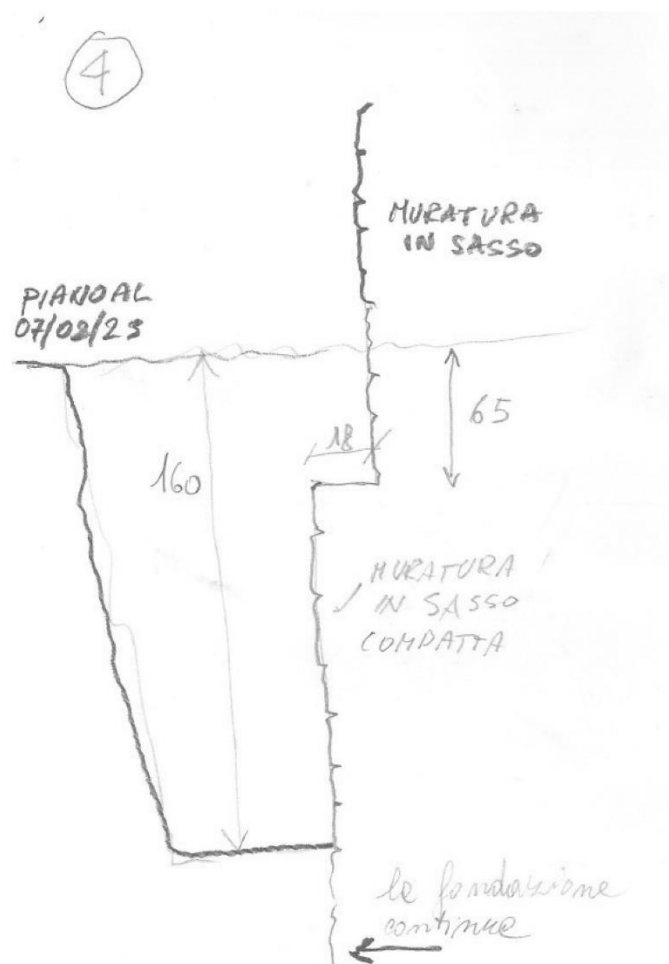


Figura 14 – Sondaggi fondali (disegno Arch. Davide Cristofani)

Si sono al contempo installati una serie di rilevatori di spostamenti centesimali e inclinometri per monitorare l'andamento delle lesioni e il comportamento delle murature durante tutto l'arco dei lavori.



Figura 15 – Rilevatori centesimali installati all'interno e all'esterno della cappella per monitorarne i movimenti

Il primo intervento messo in opera per la salvaguardia del fabbricato è stato quello a livello fondale in modo da bloccare la causa scatenante di tutti i dissesti poi rilevati in elevazione. L'intervento fondale ha interessato sia la cappella meridionale della chiesa che le murature addossate al corpo meridionale ora messe a nudo dalle demolizioni degli annessi incongrui ormai irrecuperabili.

Allo scopo di evitare asportazioni di terreno che avrebbero forse ancora più indebolito il già precario stato fondale si è optato per realizzare pali infissi con martinetto a pressione e poi ancorati ad una fondazione in cemento armato realizzata lungo le murature da sostenere con degli innesti in travi di acciaio a mensola a sostenere il muro in tutto il suo spessore interno.

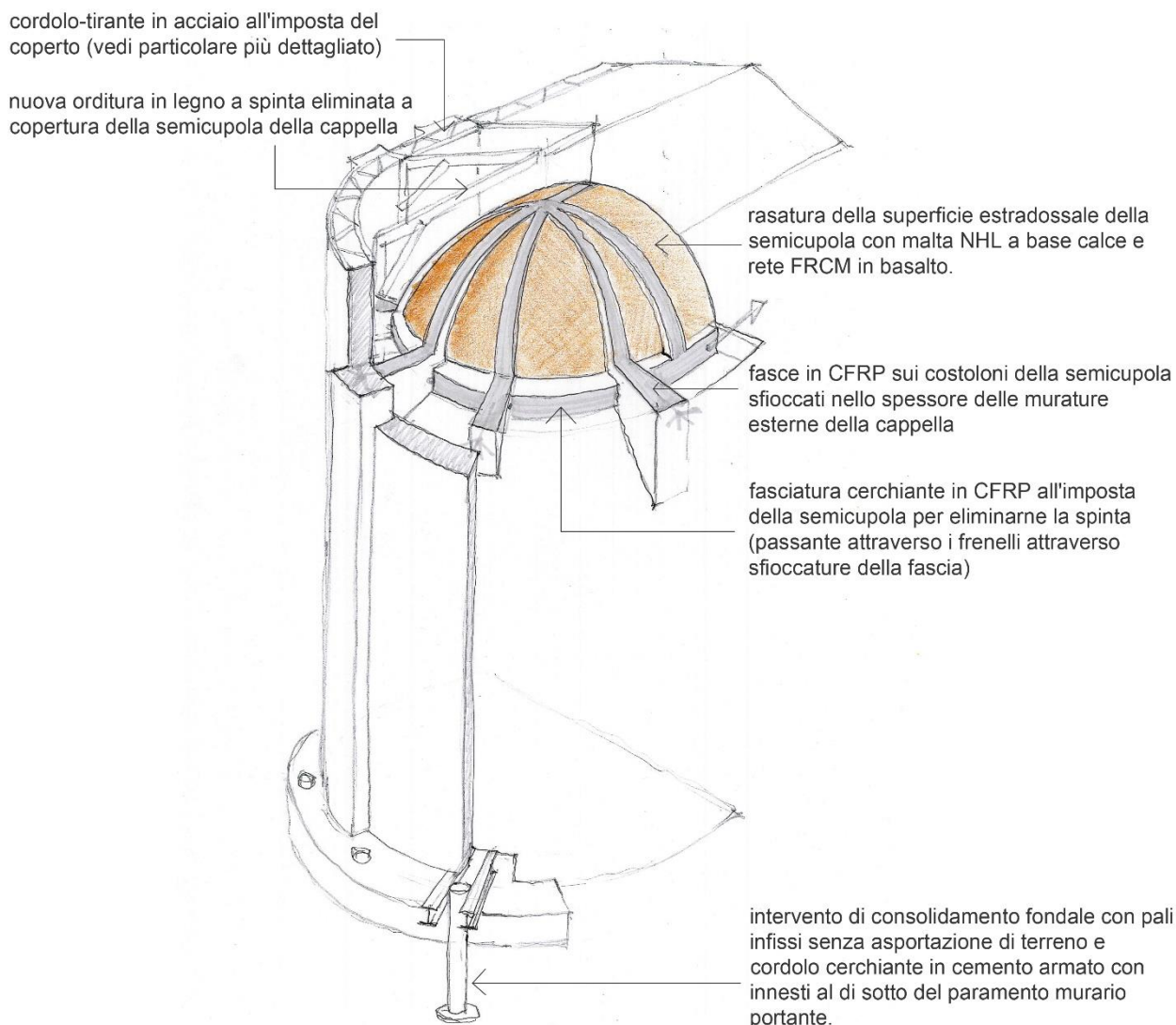


Figura 16 – Quadro complessivo degli interventi sulla cappella: dagli interventi fondali alle fasciature-cerchiature in sommità per eliminare le spinte.

Si espliciteranno nel seguito le varie fasi di lavoro che hanno previsto la realizzazione prima della fondazione ad anello completa di innesti realizzati con putrelle in acciaio e con la predisposizione del tubo-guida con il relativo tubo più piccolo laterale necessario per il getto di calcestruzzo una volta raggiunta la profondità “a rifiuto” del palo infisso. Il palo infisso in realtà è composto da spezzoni di tubi che vengono infissi nel terreno a spinta tramite una pressa oleodinamica piuttosto facile da trasportare. Il tubo guida trascina man mano in profondità nel terreno un piatto di fondo circolare (il diametro del piatto determina quello del palo che si realizzerà) che viene spinto in profondità man mano che si innestano in pressione gli spezzoni di tubo. Il tutto fino alla quota che si è stimata essere quella idonea per assicurare la portanza necessaria. Una volta che si è raggiunta la quota prestabilita si inietta il cemento liquido all'interno dello spazio ricavato ai lati nel terreno e si realizza così il palo in cemento armato con un tubo centrale.

Si accenna qui solo ad una possibile alternativa a questa tecnologia di consolidamento fondale che è quella dei cosiddetti “pali a contrasto” che pure abbiamo preso in considerazione per questo lavoro (che il nostro studio ha utilizzato per la messa in sicurezza di una chiesa sulle colline di Faenza che presentava importanti lesioni). In questo caso però, causa il fatto che si deve predisporre una opportuna trave di fondazione al di sotto della muratura da sostenere in modo da contrastare con i martinetti al di sotto, è necessario eseguire un grande sbancamento con operazioni di scavo piuttosto invasive che non ci siamo sentiti di operare in una situazione così precario equilibrio come quella in oggetto. Il palo a contrasto, infine, una volta che si mette in pressione il martinetto, genera forti movimenti nelle murature in elevazione che nel caso della chiesa di San Michele avrebbero forse compromesso gli stucchi presenti.

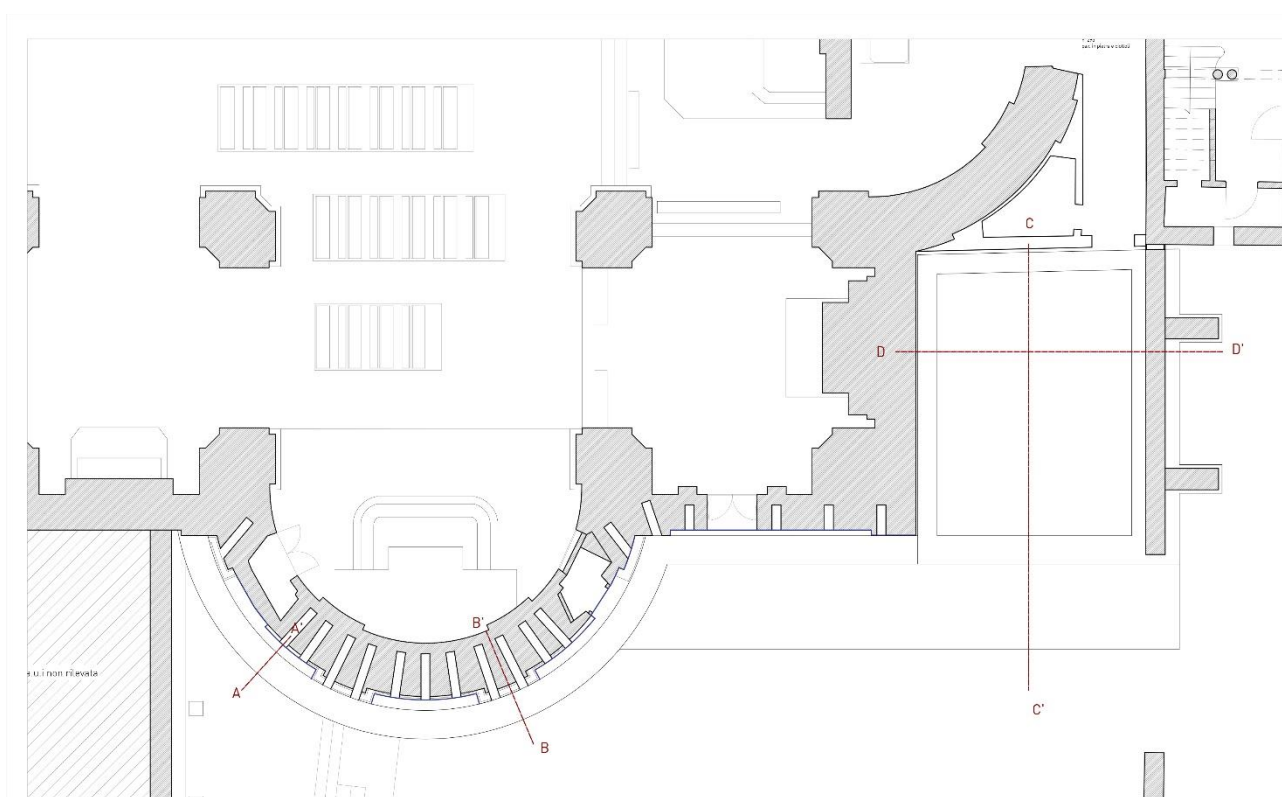


Figura 17 – *Tavola indicante gli innesti con travi in acciaio per consolidare le fondazioni.*

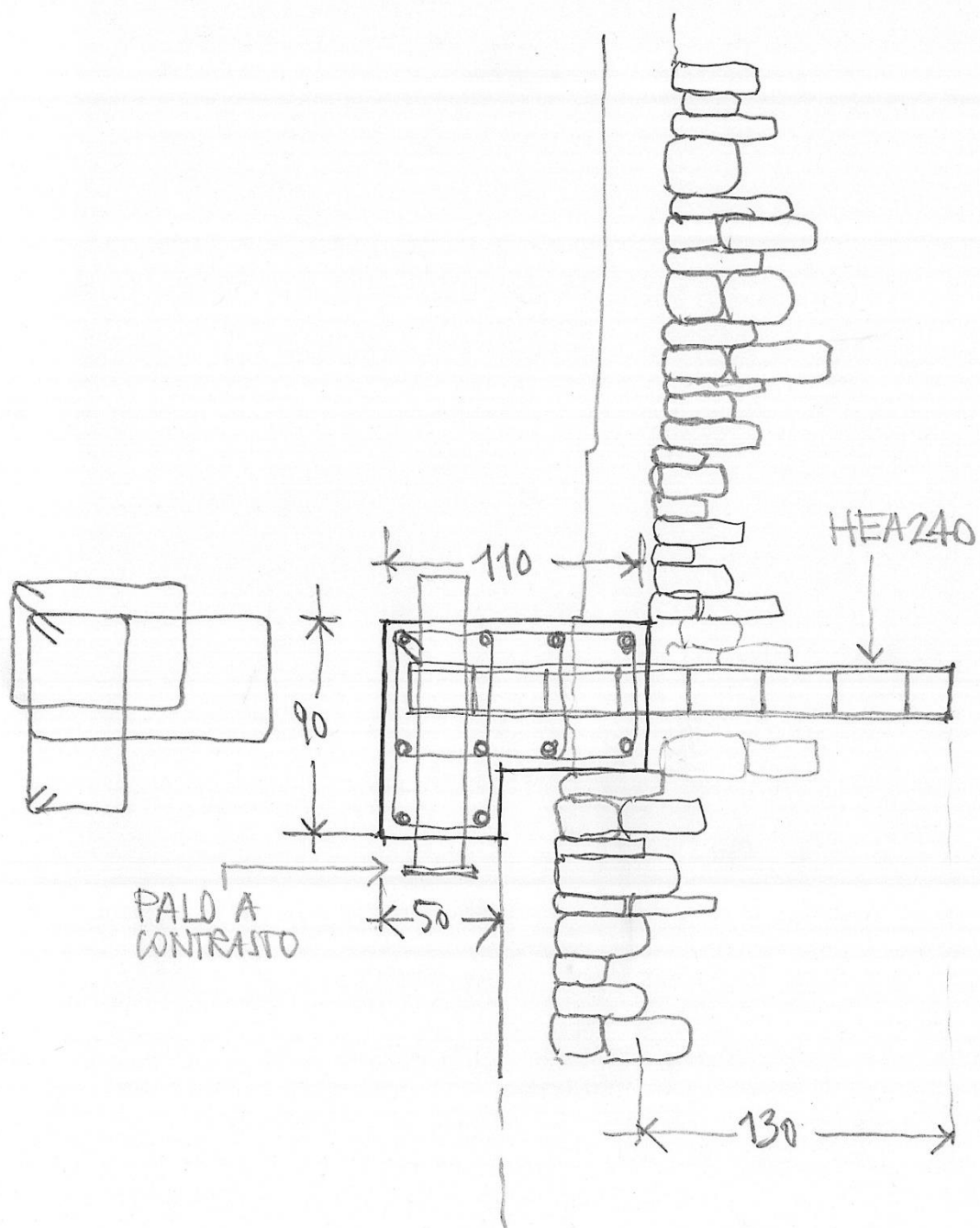


Figura 18 – Sezione intervento fondale: trave di coronamento in c.a con profili in acciaio a mensola per sostenere il muro e applicazione dei pali infissi nel terreno.



Figura 19 – Le travi a mensola infisse nelle murature della chiesa prima della realizzazione del cordolo armato di coronamento. In primo piano i tubi-guida necessari all'applicazione dei pali infissi.



Figura 20 – Cordolo fondale di coronamento gettato. Si notino i tubi guida che escono dal getto e il piccolo tubo per iniettare il cemento man mano che il palo scende nel terreno.



Figura 21 – *La macchina spingi-tubo per l’infissione dei pali a pressione nel terreno.*



Figura 22 – Il tubo guida da inserire nel getto con il tubicino per iniezione del cemento



Figura 23 – La pressa oleodinamica atta ad infiggere man mano gli spezzoni di palo nel terreno.

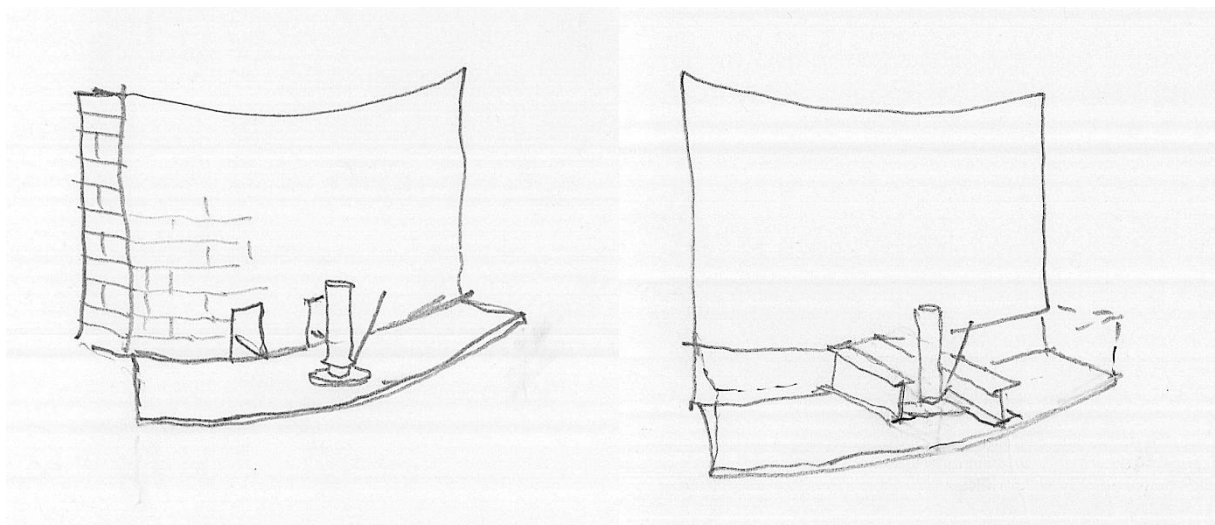


Figura 24 – Fasi del consolidamento fondale: predisposizione del cls magro di base e installazione delle putrelle a mensola e del tubo guida.

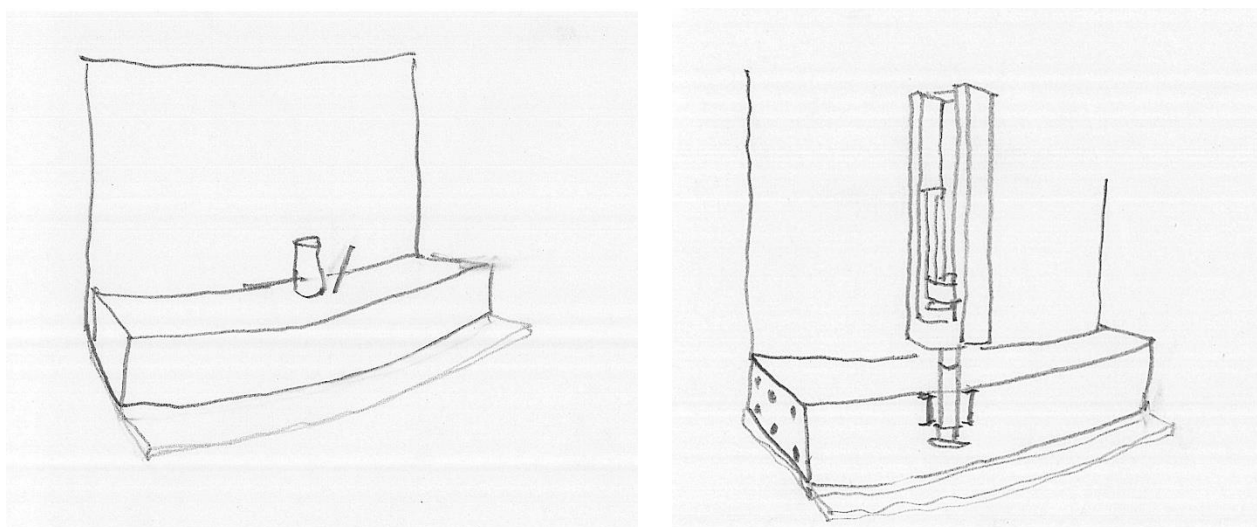


Figura 25 – Fasi del consolidamento fondale: getto del cordolo di fondazione e inizio delle operazioni di infissione degli spezzoni di tubo in pressione nel terreno.

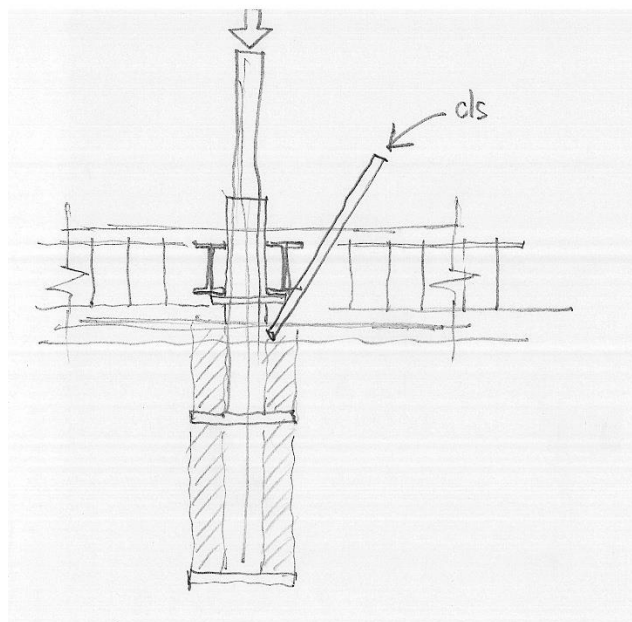
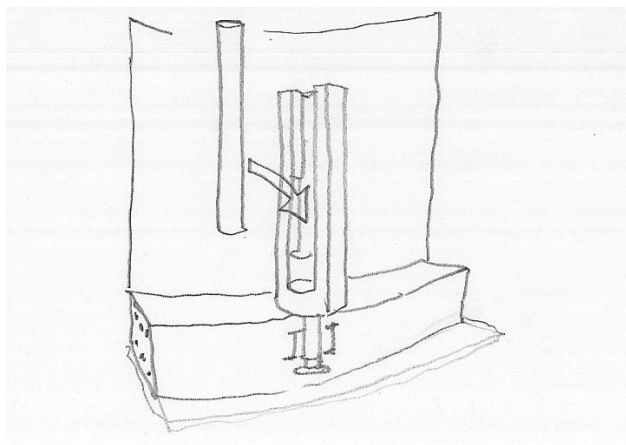


Figura 26 – Fasi del consolidamento fondale: man mano che si infiggono gli spezzoni di tubo per raggiungere la profondità voluta si inietta il cemento liquido nel tubo predisposto.



Figura 27 – Una versione alternativa di palo a contrasto, direttamente da installarsi al di sotto della parete da sostenere.

Una volta messo in sicurezza l'apparato fondale ci si è rivolti ad operare sulla parte in elevazione e in particolare sulla semicupola della cappella che presenta lesioni nell'ordine di centimetri se non di decine di centimetri in qualche punto (in particolare nella disconnessione tra semicupola e arco). Si è operato dal basso in alto ricucendo prima di tutto le lesioni più importanti sopra le aperture con architravi in acciaio calandrate per poi affrontare il tema del consolidamento della semicupola e del coperto che si è nel frattempo tutta puntellata dal di sotto con la possibilità di "forzare" alcune parti di muratura in modo da provare a ricostruire la geometria originaria (per quanto la cosa sia molto difficile che riesca completamente viste le masse murarie con cui abbiamo a che fare).



Figura 28 – Architravature calandrate al di sopra delle aperture della cappella atte a ricucire le grosse lesioni presenti.

Ad oggi, mentre scriviamo questa memoria, il cantiere è fermo ma prossimo a ripartire con l'obiettivo di consegnare i lavori e poter riaprire la chiesa, in sicurezza, a Dicembre 2025. Le prossime lavorazioni da qui a qualche mese riguarderanno quindi l'apposizione di fasciature in fibra di carbonio sulle nervature della semicupola sia all'intradosso che all'estradosso e la apposizione di una rete consolidante a fibre di basalto con malta NHL a base calce sulle specchiature della cupola, tra le nervature. Completa l'intervento la fondamentale cerchiatura alla base della cupola con una fascia a doppio spessore di fibra di carbonio passante attraverso i frenelli delle nervature di irrigidimento e ancorata all'imposta dell'arco mediante sfiocature di contrasto bene innestare nello spessore.

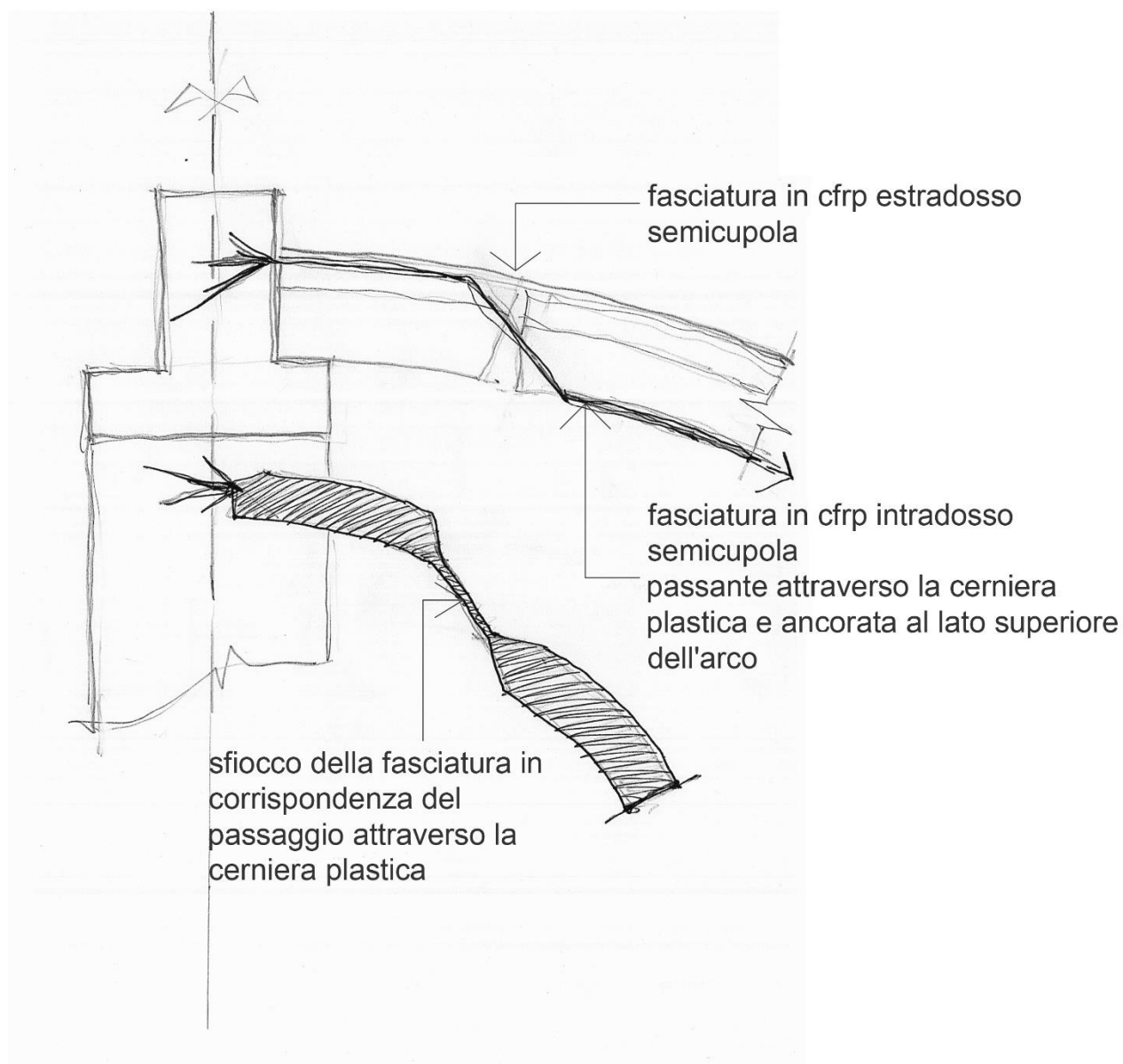


Figura 29 – Particolare delle predisposizioni delle fasciature in cfrp dei costoloni della semicupola. In particolare, la fascia di intradosso viene fatta passare attraverso la cerniera plastica che si è venuta a creare a seguito del cedimento e ancorata sulla parte superiore.



Figura 30 – *Esempi di altri cantieri dello Studio Marco Peroni Ingegneria di cerchiature di cupole e di fasciature di costoloni di volte.*

Salendo sempre più in alto, si realizzerà un cordolo-tirante in acciaio a livello dell'imposta del coperto in modo da legare le murature anche a questo livello ed infine si ricostruirà completamente la porzione di coperto della cappella eliminando l'incongrua copertura in travetti Varese ora presente (ma come si è detto compromessa dai movimenti che ci sono stati nel tempo) e ricostruendone una nuova in travetti di legno lamellare a spinta eliminate, molto leggera, per contenere le masse a livello sismico.

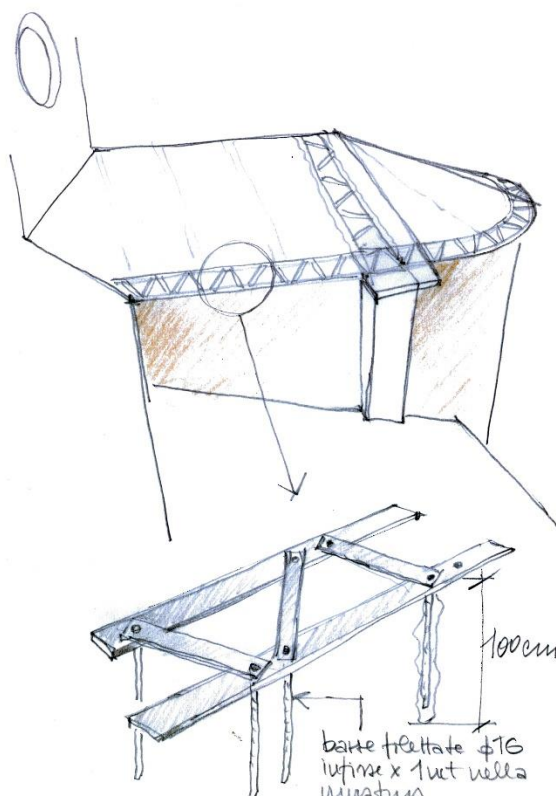


Figura 31 – Il cordolo-tirante previsto al livello dell'imposta del coperto (a sx un esempio di un cordolo-tirante a binario realizzato dal nostro Studio per una chiesa di Faenza)

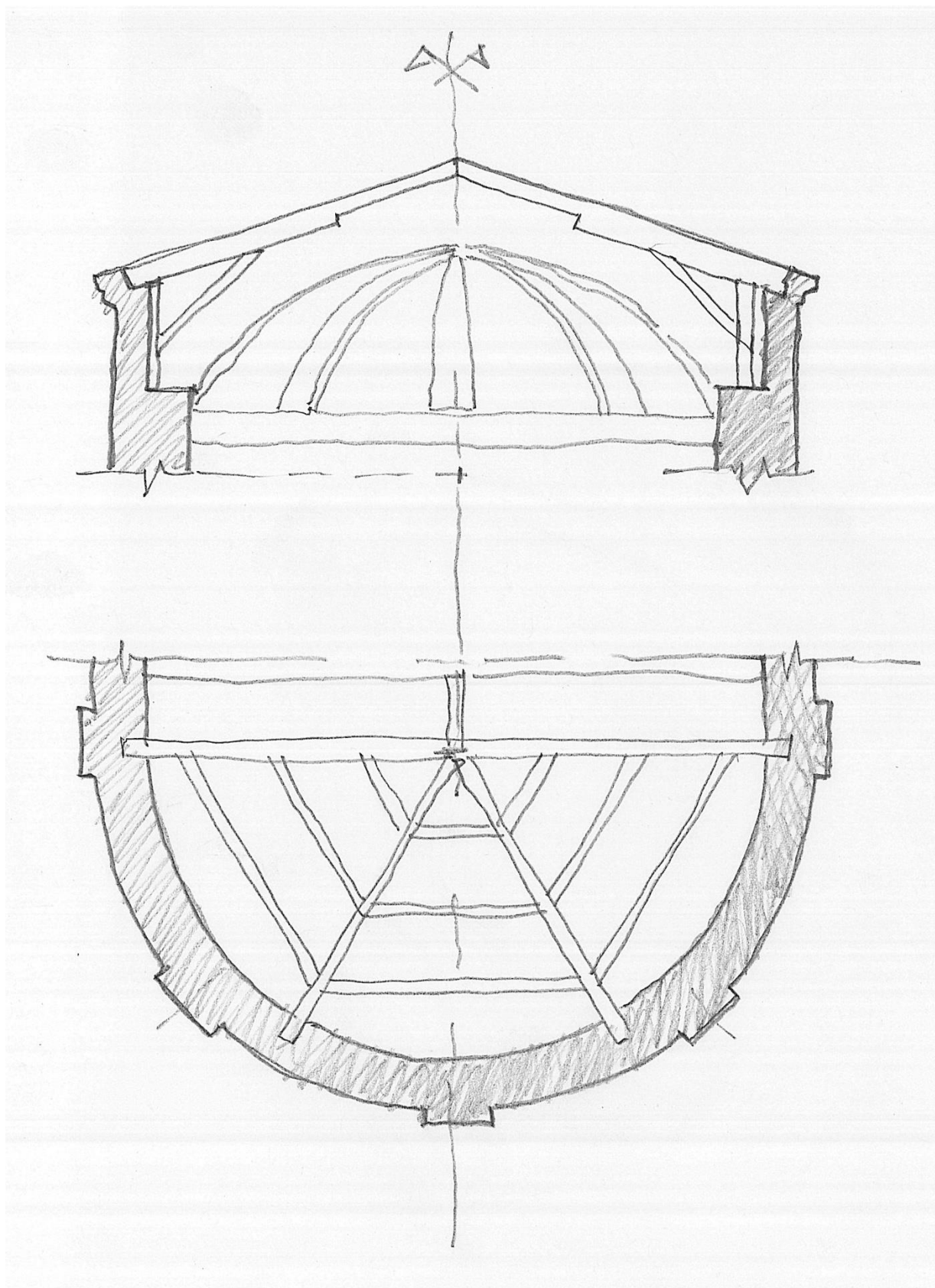


Figura 32 – *La nuova orditura lignea non spingente del coperto della cappella meridionale*

Conclusioni.

Concludendo, ribadiamo (per i giovani... i vecchi la sanno già) una considerazione che abbiamo già in parte fatto nei nostri precedenti articoli per il portale Ingenio: che la ristrutturazione di un edificio esistente e tanto più per un edificio storico vincolato è una operazione che si può condurre solo se c'è una forte sinergia tra tutte le figure impegnate. Committenti, tecnici, operatori di cantiere e Ditte impiegate, tutti devono “remare” nella stessa direzione senza che nessuno si metta sul piedistallo a dare lezioni ma tutti disposti ad imparare qualcosa perché nostra la professione ci mette sempre di fronte a situazioni nuove ed impreviste. Ed è la cosa che anima il nostro lavoro e lo rende interessante e stimolante!

In ultimissimo, ricordo che chi fosse interessato può fare richiesta via mail all'indirizzo peroni@marcoperoni.it del file PDF del nostro catalogo *Terremoto!* – giunto ormai alla quarta edizione (la prima edita nel 2017 in occasione di una mostra allestita nei locali dello Studio di Faenza) tutto dedicato alle ristrutturazioni degli edifici esistenti con tante immagini e schizzi pratici di cantiere che abbiamo “messo in pratica” in questi ormai più di 30 anni (sig!) di professione.