



Interventi di riduzione del rischio sismico in
edifici tutelati ai sensi del D.Lgs 42/2004

Comune di Cento – Provincia di Ferrara

**Progetto esecutivo di Riparazione post sisma 2012 con rafforzamento locale
del Santuario della Beata Vergine della Rocca**

Programma delle opere pubbliche e di recupero dei beni culturali L.16/2012, L.122/2012
N° ordine 2288 allegato C piani annuali 2013-2014

Presentazione **ing. Luca Speroncini**

PREMESSA

PERCHE' VOGLIAMO CHE UN FABBRICATO ANTICO RESISTA AL SISMA?

1. SALVAGUARDIA DELLA PUBBLICA INCOLUMITA'



2. EVITARE LA PERDITA DEL BENE CULTURALE



ASPETTI
CONTRAPPOSTI



L'ESIGENZA DI CONSERVAZIONE DEL MANUFATTO MONUMENTALE DEVE SEMPRE TENDERE ALL'INTEGRITA' ARCHITETTONICA CON INTERVENTI CHE SIANO PER QUANTO POSSIBILE:

- Reversibili;
- Rispettosi del ruolo strutturale dei vari elementi;
- Utilizzando materiali compatibili con quelli in opera.



**UN BUON PROGETTO DI
CONSOLIDAMENTO NE DEVE
COSTITUIRE LA SINTESI**

LIVELLO DI CONOSCENZA

CHE POSSIBILITA' ABBIAMO OGGI DI VALUTARE LE PERFORMANCES SISMICHE DI EDIFICI MONUMENTALI? ATTRAVERSO UN'APPROFONDIRITA CONOSCENZA DEI LUOGHI

LIVELLO CRESCENTE DI CONOSCENZA E SCIENZA → INVASIONE DELL'INGEGNERIA NEL CAMPO DELL'ARCHITETTO

1

SERIE STORICHE (storia sismica) CONCETTO DI «AUTO COLLAUDO» DELLA FABBRICA MONUMENTALE

- Non è detto che l'edificio sia già stato investito da un sisma a maggiore energia (PdR < età)
- Variazioni / aggiunte planoaltimetriche che ne annullano la storia sismica ogni volta
- Interventi più o meno moderni post-sisma che creano un edificio diverso

6	1909 01 13 00:45	Bassa Padana	6-7	5.53 ±0.09
6	1914 10 27 09:22:36	Garfagnana	7	5.76 ±0.09
F	1916 05 17 12:49:50	Alto Adriatico		5.95 ±0.14
F	1919 06 29 15:06:12	Mugello	10	6.29 ±0.09
5	1920 09 07 05:55:40	Garfagnana	10	6.48 ±0.09
5	1936 10 18 03:10:12	Bosco Cansiglio	9	6.12 ±0.09
5	1971 07 15 01:33:23	Parmense	8	5.64 ±0.09
5	1983 11 09 16:29:52	Parmense	6-7	5.06 ±0.09
4-5	1996 10 15 09:56:02	Correggio	7	5.41 ±0.09
4-5	2003 09 14 21:42:53	Appennino bolognese	6	5.29 ±0.09

2

EVIDENZE POST SISMI RECENTI (osservazione e memoria diretta)

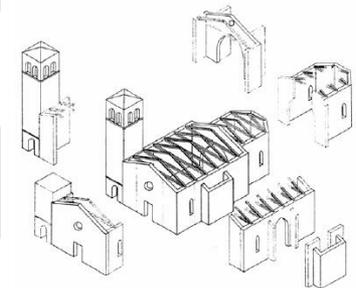
- Solo quando un edificio crolla o si danneggia possiamo trarre informazioni
- Capacità di interpretare anche piccoli sintomi di sofferenza ipotizzando come la struttura andrà a collasso per sismi severi



3

METODI CODIFICATI (Friuli 1976) DI VALUTAZIONE DELLE VULNERABILITA'

- Devono essere metodi relativamente semplici atteso l'elevata indeterminazione del materiale MURATURA
- Al fine di una comprensione «speditiva» è utile innanzitutto procedere con i metodi di valutazione della sicurezza sismica di livello 1 (LV1)



UN BUON PROGETTO DI RIPARAZIONE E/O MIGLIORAMENTO SISMICO DEVE CONTEMPORANEAMENTE CONSIDERARE I 3 PUNTI PRECEDENTI, E PERTANTO I PROGETTISTI DOVRANNO:

- Essere adeguatamente formati;
- Procedere con un percorso di conoscenza per evidenziare le maggiori vulnerabilità e fragilità;
- Attivi nella fase preliminare con spirito di sacrificio e voglia di "sporcarsi le mani" per osservazioni dirette;
- Architetto e ingegnere si devono interfacciare per far sì che progetto strutturale ed architettonico siano parti integranti.

MOMENTI DEL PROGETTO

1. RILIEVO IN SITU

- 1.1 INQUADRAMENTO TERRITORIALE – GEOFISICA;
- 1.2 GEOMETRICO – STORICO CRITICO;
- 1.3 MATERICO - DEFINIZIONE CAMPAGNA SPERIMENTALE TEST STRUTTURE;
- 1.4 QUADRO FESSURATIVO – DEGRADO;

2. ANALISI DI VULNERABILITA' ALLO STATO ATTUALE

- 2.1 SUDDIVISIONE IN U.S. - INDIVIDUAZIONE MACROELEMENTI RICORRENTI;
- 2.2 INDIVIDUAZIONE MECCANISMI ATTIVATI OPOTENZIALMENTE ATTIVABILI;
- 2.3 INDIVIDUAZIONE FRAGILITA' (fondamentale anche per sismi deboli/frequenti)

3. OBIETTIVI DELLA PROPOSTA PROGETTUALE

- 3.1 INTERVENTI DI RINFORZO E PRESIDI PER ELIMINAZIONE DEI MECCANISMI DI 1° MODO;
- 3.2 AUMENTARE DUTTILITA' E CAPACITA' DISSIPATIVA DEL SISTEMA STRUTTURALE ANCHE ACCETTANDO DEFORMAZIONI E LESIONAMENTI PARZIALI (ROBUSTEZZA);
- 3.3 COINVOLGERE OGNI PARTE NELLA RISPOSTA AL SISMA (RIPARAZIONE DANNI) INSERENDO COLLEGAMENTI A TRAZIONE EVITANDO DI INTRODURRE RIGIDENZE RILEVANTI E CONCENTRATE;
- 3.4 SISTEMATICA ELIMINAZIONE DI FONTI DI "RISCHIO COMPLEMENTARI" IN PROSPETTIVA SISMICA;

MOMENTI DEL PROGETTO

ATTENZIONE:

SPESSE SONO I DETTAGLI A CREARE GRAVI DANNI DURANTE UNA CRISI SISMICA.

SI NOTI IL BASAMENTO DEL PINNACOLO, A UNA PRIMA ANALISI SEMBRA INTEGRO.

PURTROPPO DA UNA OSSERVAZIONE DIRETTA / RAVVICINATA NON E' VERO AFFATTO, ANZI TUTTO L'ELEMENTO E' GIA' COMPLETAMENTE SEZIONATO CON REALE PERICOLO DI ROTAZIONE TRASLAZIONE E CADUTA AL SUOLO, ANCHE PER PICCOLE SCOSSE DI REPLICA!



MORALE:

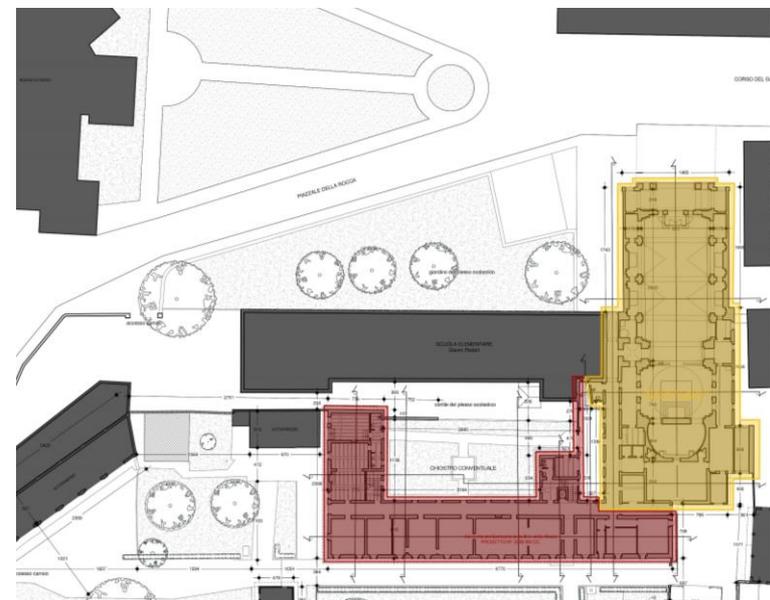
ANCHE IN "TEMPO DI PACE" E' VERAMENTE CONSIGLIABILE PROCEDERE CON **SISTEMATICHE E PROGRAMMATE ISPEZIONI** "ESPERTE" DELLE VARIE FABBRICHE AL FINE DI EVIDENZIARE CRITICITA' – SPESSE SUBDOLE - COME QUESTA RIPORTATA



1. RILIEVO IN SITU

INQUADRAMENTO TERRITORIALE

GEOFISICA



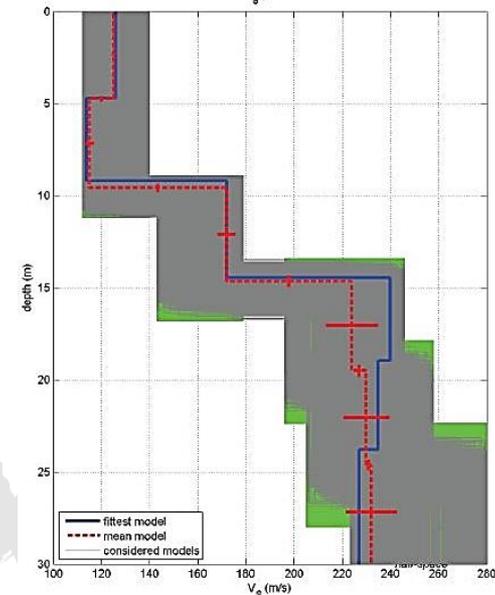
Santuario B.V. della Rocca

Convento dei frati minori cappuccini

VALUTAZIONE STRUMENTALE MASV

$V_{S30} = 172 \text{ m/s} \rightarrow$

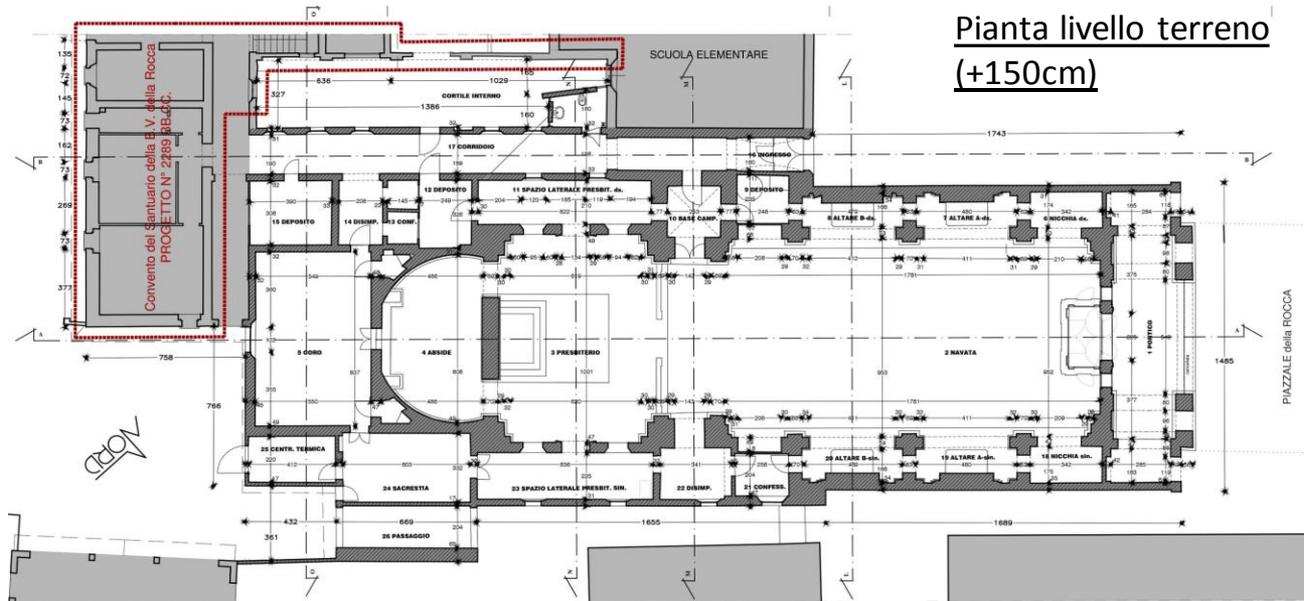
" **CATEGORIA DI SOTTOSUOLO D** "



Considerando la tipologia di intervento, non si sono sviluppate elaborazioni sulla tipologia fondale presente e la loro interazione con il terreno circostante.

→ **Assunzione fatta in relazione anche a quanto riscontrato presso l'immobile, ossia la presenza di un quadro fessurativo non riconducibile a problematiche di tipo fondale o comunque legate al sistema di interazione struttura-terreno.**

RILIEVO GEOMETRICO



Pianta livello terreno
(+150cm)

Per consistenza e caratteristiche geometriche la facciata storica e la muratura di separazione tra presbiterio/sagrestia rappresentano i principali pannelli murari trasversali e quindi gli unici **sogetti controventanti** significativi in tale direzione. per l'aula, comunque, un possibile effetto controventante trasversale è svolto anche dalle murature che sottendono gli archi longitudinali delle cappelle laterali.



RILIEVO GEOMETRICO

VISTE SOTTOTETTO-COPERTURA

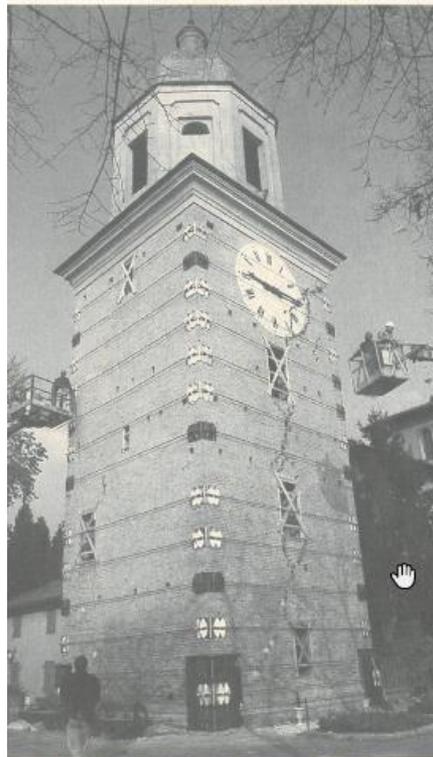


RILIEVO GEOMETRICO VISTE TORRE CAMPANARIA



SOMMA URGENZA

A seguito della crisi sismica del 2012 il Campanile è stato oggetto di opere di pronto intervento da Parte dei Cappuccini **al fine di evitare un aggravamento delle condizioni di dissesto e per la messa in sicurezza della corte del Convento adiacente, per scenario di rischio esterno.** Gli interventi eseguiti sono da intendersi opera provvisoriale “removibile”



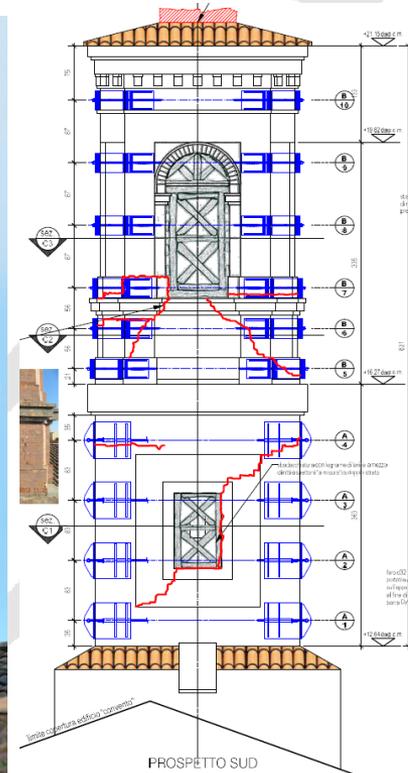
SISMA 15.10.1996
 Bagnolo in Piano /
 Correggio (RE)
 Mw = 5.4
 Il Torrazzo



SISMA 21/12/2008
 Val d'Enza (RE/PR)
 Mw = 5.3



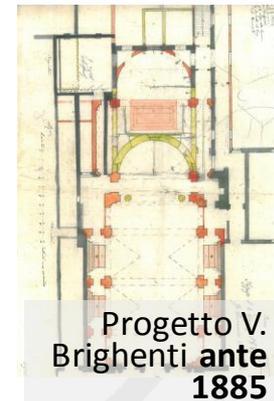
**SISMA 20/05/2012-
 29/05/2012**
 Pianura Emiliana
 Mw = 6.1 / 5.9
 Torre campanaria chiesa B.V.
 della Rocca



**Progetto di somma
 urgenza**

Torre campanaria
 chiesa B.V. della Rocca

STORICO-CRITICO



La documentazione di archivio permette di ricostruire le principali fasi di trasformazione della chiesa a partire dal primo impianto rappresentato (Chiesa dello Spirito Santo inizi '600)

La facciata attuale, tardo ottocentesca, è definita in forte analogia con la chiesa dei Cappuccini di Budrio

STORICO-CRITICO



Finiture su i prospetti 1909



Finiture su i prospetti 1923



Finiture su i prospetti 2015



Tracce di colore (campanile – sottotetto)



Facciata preesistente nel sottotetto



Incongruenze nelle finiture attuali

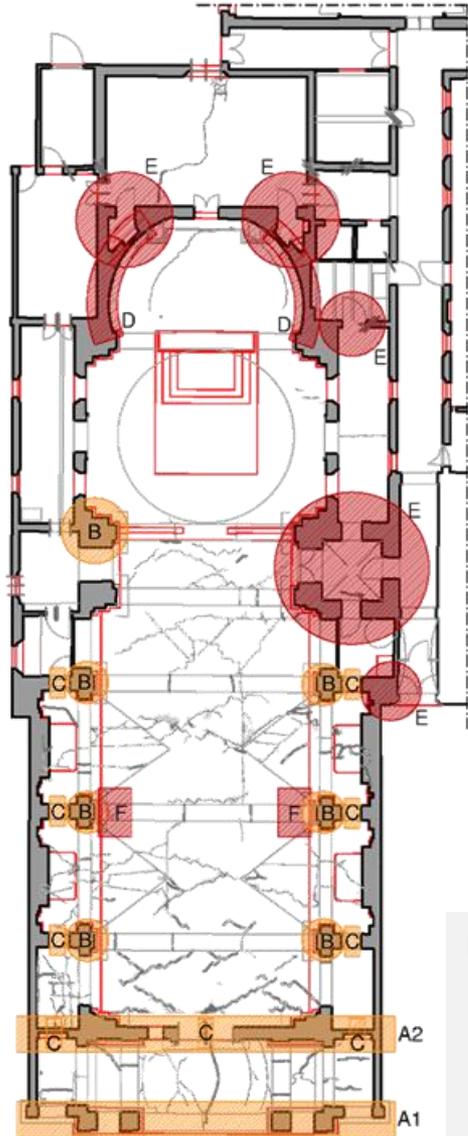
Oltre a fornire informazioni per la ricostruzione delle trasformazioni subite dall'edificio, gli studi storici forniscono indicazioni utili per l'impostazione del progetto strutturale e di restauro:

- Evidenziazione delle tracce delle trasformazioni strutturali e sulle finiture
- Individuazione delle aree di maggiore concentrazione delle vicissitudini costruttive (facciata, campanile, abside)
- Letture comparative delle finiture e messa in evidenza delle situazioni incongrue

→ esempio: tinteggiature recenti incongruenti (trattamenti differenti e frammentari su elementi architettonici unitari)

→ Nel complesso: **approfondimenti conoscitivi necessari e orientamenti per il progetto**

MATERICO - DEFINIZIONE CAMPAGNA SPERIMENTALE TEST STRUTTURE



INDAGINI VIDEOENDOSCOPICHE

ZONA B1 - INDAGINI VIDEOENDOSCOPICHE, SAGGIO E VERIFICA AMMORSAAMENTO DELLE MURATURE

SBI.1 SBI.2

PIANTA

SEZIONE

SEZIONE

COMMENTO: foro endoscopico non passante, eseguito a circa 90 cm dal piano di calpestio. Lunghezza foro circa 90 cm. Mestura composta in mattoni pieni.

COMMENTO: foro endoscopico non passante, eseguito a circa 90 cm dal piano di calpestio. Lunghezza foro circa 90 cm. Mestura composta in mattoni pieni.

SCATTI VIDEOENDOSCOPICI EBI.1

SCATTI VIDEOENDOSCOPICI EBI.2

INDICE DELLA QUALITA' MURARIA

SCHEDA DI ANALISI DELLA QUALITA' MURARIA

DENOMINAZIONE EDIFICIO: SANTUARIO BEATA VERGINE DELLA ROCCA
 INDIRIZZO: PIAZZALE DELLA ROCCA, 2 - 44042 CENTO (FE)

IDENTIFICATIVO PROVA/SAGGIO
 13.25m-navata centrale

DATI GENERALI

FOTO

Epoca di realizzazione: 1800

Posizione/Fuoco strutturale

- Perimetrale
- Di spina
- Altra muratura portante interna

PARAMENTO 1

TIPOLOGIA E TESSITURA
 Codice abaco [A] [3] [a]

Spessore cm 45

TIPO DI FINITURA/RIVESTIMENTO

- A vista
- Intonaco
- Rivestimento leggero
- Rivestimento pesante

PARAMENTO 2

TIPOLOGIA E TESSITURA
 Codice abaco [] [] []

Spessore cm

TIPO DI FINITURA/RIVESTIMENTO

- A vista
- Intonaco
- Rivestimento leggero
- Rivestimento pesante

ELEMENTI

NATURALI
 Dimensioni massime ricorrenti B H P
 Dimensioni minime ricorrenti B H P

GIUNTI

Regolarità geometrica

Scegliere giunti verticali			
	1	2	3
1			
2			
3			

Assortimento

- Sì
- No

Natura

- Calcare
- Arenaria
- Tufo
- Travertino
- Altro

Dimensioni ricorrenti
 Giunti orizzontali (mm) 15
 Giunti verticali (mm) 15

ARTIFICIALI
 Dim(cm) B 28 H 6 P 14

Materiale laterizio

- A secco
- Malta di calce aerea
- Malta di tipo idraulico
- Sabbia-argilla
- Altro

% Foratura 0

Colore rosso

Qualità della malta

- Incoerente
- Friabile
- Compatta
- Tenace

DEGRADO

- Umidità
- Sali-Efflorescenze
- Vegetazione
- Scheggiatura da pelo

GIUNTI

Regolarità geometrica

Scegliere giunti verticali			
	1	2	3
1			
2			
3			

Assortimento

- Sì
- No

Natura

- Calcare
- Arenaria
- Tufo
- Travertino
- Altro

Dimensioni ricorrenti
 Giunti orizzontali (mm)
 Giunti verticali (mm)

ARTIFICIALI
 Dim(cm) B H P

Materiale

- A secco
- Malta di calce aerea
- Malta di tipo idraulico
- Sabbia-argilla
- Altro

% Foratura

Colore

Qualità della malta

- Umidità
- Sali-Efflorescenze
- Vegetazione
- Scheggiatura da pelo

DEGRADO

- Umidità
- Incoerente
- Friabile
- Compatta
- Tenace

NOTE

CONNESSIONE

Presenza di elementi trasversali

- No
- Sì - n° diaconi al mq 27

Tipo: Totale Parziale

NUCLEO

Assente

Presente

Spessore cm

Materiale costituente

- Pietrame
- Sabbia/Conglomerato
- Misto

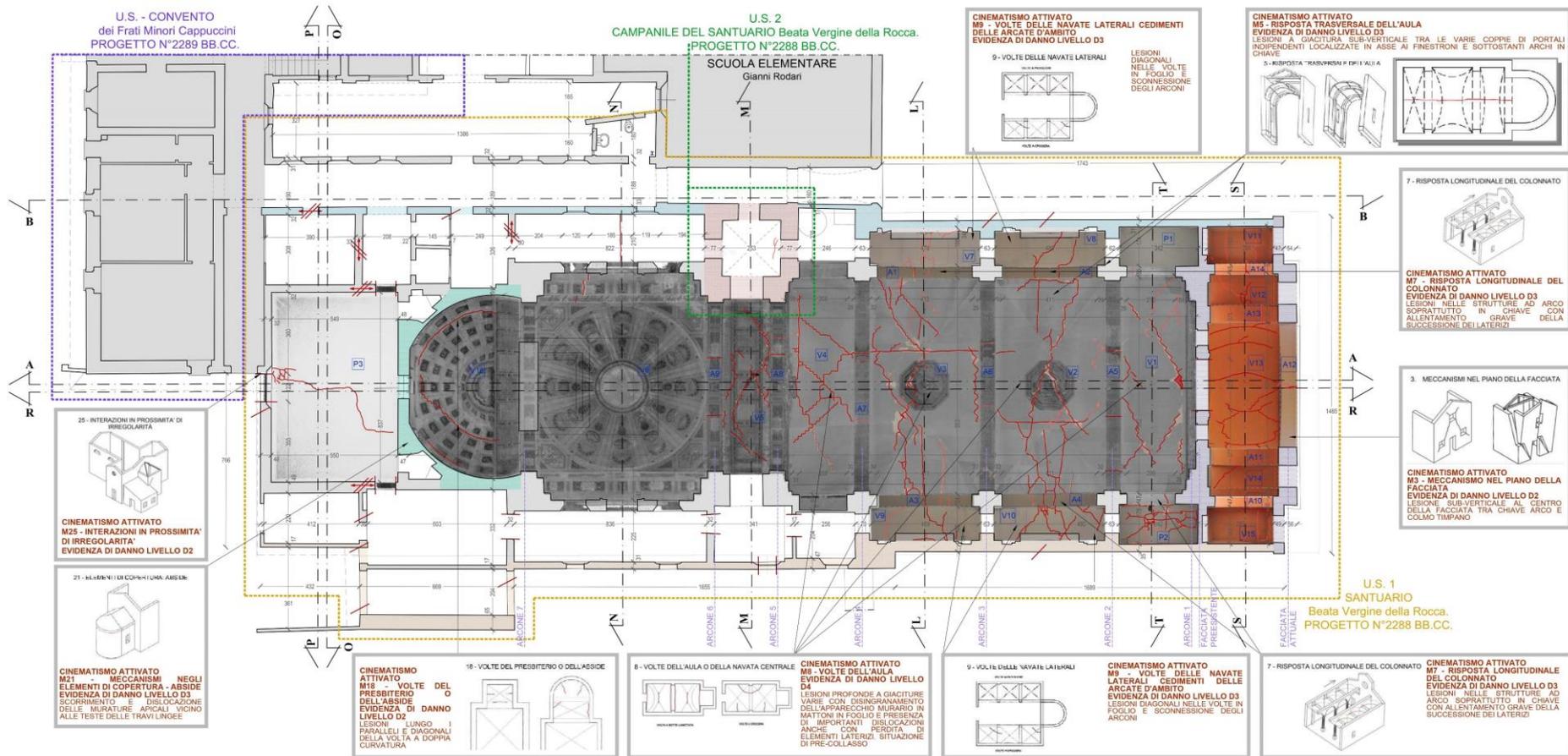
Consistenza

- Ceso
- Mediamente ceso
- Incoerente

I tipi di indagini previste per risultano orientate verso due differenti necessità:

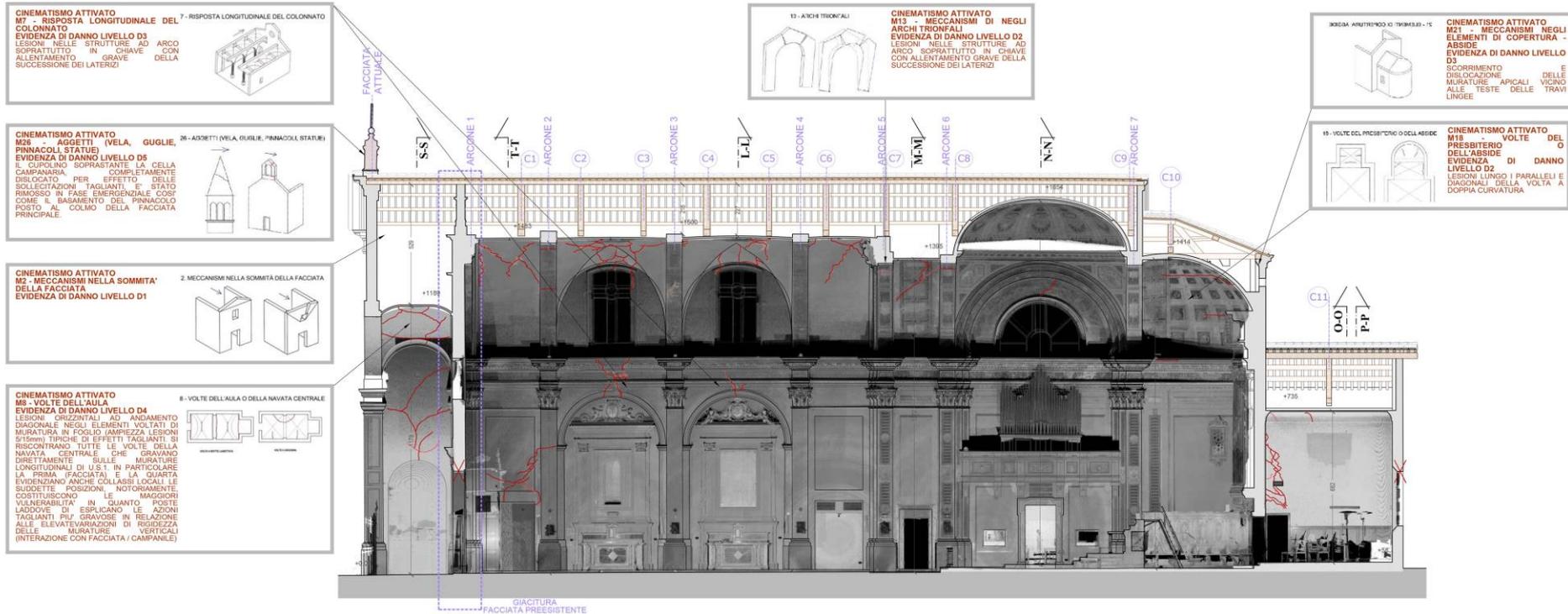
- indagini necessarie per determinare le **caratteristiche costruttive** di elementi strutturali fondamentali danneggiati o non danneggiati;
- indagini necessarie per determinare l'**efficacia delle connessioni** tra corpi di fabbrica o pannelli murari distinti probabilmente realizzati in fasi storiche differenti.

QUADRO FESSURATIVO - DEGRADO



1. Pre-collasso delle volte a botte a copertura dell'aula per le campate 1-2-3-4-5 con lesioni orizzontali ad andamento diagonale negli elementi voltati di muratura in foglio (ampiezza lesioni 5÷20 mm) tipiche di effetti taglianti (rocking),
2. Con perdita della geometria dell'ingranamento tra i costituenti e con distacco dalle murature perimetrali;
3. Lesioni verticali 15/25 mm da "scollamento" tra facciata e murature laterali, per meccanismo di primo modo della porzione sommitale della facciata. Perdita di appoggio dei tavelloni di coperto, posti ad interfaccia con la facciata;
4. In facciata presenza di lesione ad andamento sub-verticale poste nella fascia muraria soprastante l'arcone d'ingresso principale che, privo di incatenamento, non è in grado di equilibrarsi stante le masse di spalla presenti;

QUADRO FESSURATIVO - DEGRADO



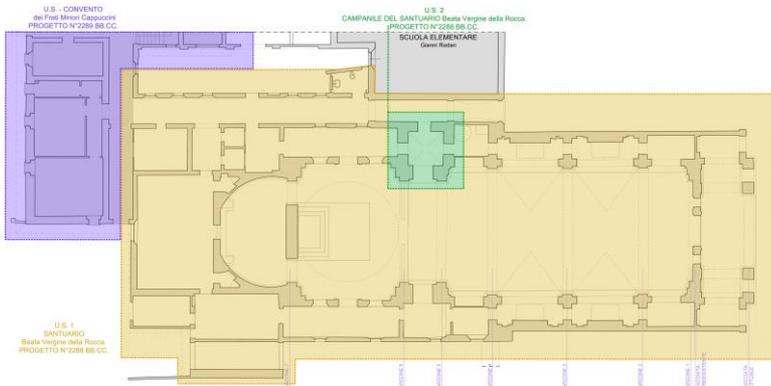
1. Lesioni ad andamento verticale sugli archi laterizi con alcune dislocazioni (ampiezza lesioni 15÷40 mm) - la totalità degli archi di u.s.1 appaiono lesionati in chiave e alle reni, con dislocazioni sulla successione dei laterizi loro costituenti, soprattutto i n. 4 archi longitudinali sormontati dalle ampie finestrate;
2. Lesioni ad andamento verticale in corrispondenza dei martelli murari tra setti trasversali e murature longitudinali (ampiezza lesioni 5÷10 mm) ed in corrispondenza delle soluzioni di continuità dell'apparecchiatura muraria per aperture, ecc. - la concentrazione tensionale negli incroci delle murature (specie se le pareti sono di rigidità diversa) ha portato a numerosi distacchi, rilevabili alle connessioni delle murature trasversali con le murature longitudinali esterne in u.s.1;
3. Lesioni passanti nel piano e/o delle murature costituenti la torre campanaria in zona prossimale alla cella campanaria, attivazione di meccanismo di "rocking" allo stacco da u.s.1 - formazione di blocco murario in fase di espulsione;
4. Lesioni indotte dall'azione di spinte a vuoto dell'orditura di copertura.
5. Campanile: collasso lanterna (rinossa in fase emergenziale vfff)
6. Campanile: grave danneggiamento della cella con formazione di quattro macroelementi costituiti da due semiarchi e dal piedritto compreso fra essi;
7. Campanile: attivazione di un meccanismo di ribaltamento e/o scorrimento della torre campanaria allo stacco con il corpo di fabbrica (taglio/diagonale – taglio scorrimento zone alte con < n);



2. ANALISI DI VULNERABILITA'

3. PROPOSTA PROGETTUALE

SUDDIVISIONE IN U.S. – INDIVIDUAZIONE MACROELEMENTI RICORRENTI



Individuazione unità strutturali

(differente comportamento dinamico):

→ **US1** edificio di Culto principale

→ **US2** campanile del Santuario

→ **US3** convento dei frati Cappuccini

Individuazione macroelementi (parti architettoniche/funzionali interconnesse):

→ ABSIDE

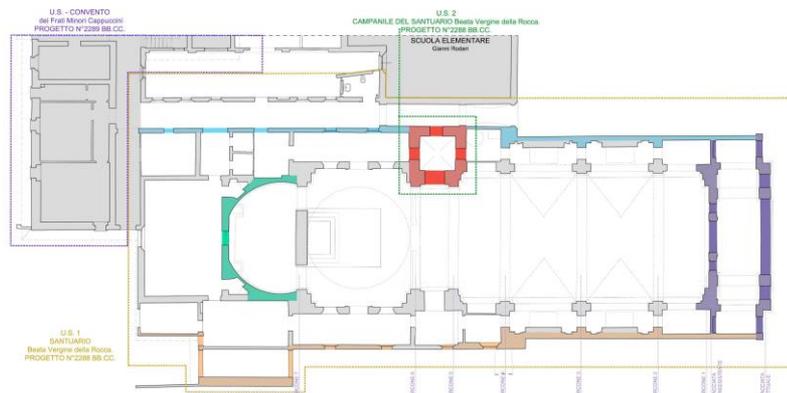
→ FACCIA E

FACCIA PREESISTENTE

→ PROSPETTO LATERALE SUD-EST

→ PROSPETTO LATERALE NORD-EST

→ TORRE CAMPANARIA



Con la tipica morfologia dell'edificio storico "di culto" nella pratica professionale si ricorre a modelli locali:

→ negli edifici in muratura privi di impalcati non si esplica il comportamento scatolare, e pertanto vi è una spiccata vulnerabilità nei confronti dei meccanismi locali;

→ si suddivide la chiesa in macroelementi ricorrenti "**parti costruttivamente riconoscibili e compute del manufatto**" che possono coincidere – ma non necessariamente coincidono – con una parte identificabile anche sotto l'aspetto architettonico e funzionale (friuli 1976).

INDIVIDUAZIONE MECCANISMI ATTIVATI O POTENZIALMENTE ATTIVABILI

Al fine di una comprensione “speditiva” è utile innanzitutto procedere con i metodi di valutazione della sicurezza sismica di livello 1 (lv1)

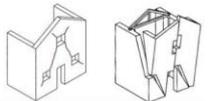
MECCANISMI ANALIZZATI LV1 (scheda di II livello)

MECCANISMO DI COLLASSO	ρ_k	d_k	$\rho_k d_k$	v_{ki}	v_{kp}	$P_k(v_{ki} - v_{kp})$
1 ribaltamento facciata	1	0	0	1	2	-1
2 meccanismo sommità facciata	1	1	1	1	0	1
3 meccanismo nel piano facciata	1	2	2	2	0	2
4 protiro-nartece	0	0	0	0	0	0
5 risposta trasversale aula	1	3	3	3	2	1
6 meccanismo di taglio nelle pareti laterali	1	2	2	2	0	2
7 risposta longitudinale del colonnato	1	3	3	1	1	0
8 volte della navata centrale	1	4	4	3	0	3
9 volte delle navate laterali	1	3	3	2	0	2
10 ribaltamento delle pareti di estremità del transetto	0	0	0	0	0	0
11 meccanismo di taglio nelle pareti del transetto	0	0	0	0	0	0
12 volte del transetto	0	0	0	0	0	0
13 archi trionfali	1	2	2	1	2	-1
14 cupola-tamburo/tiburio	1	0	0	0	2	-2
15 lanterna	0	0	0	0	0	0
16 ribaltamento abside (parete posteriore)	1	0	0	2	0	2
17 meccanismo di taglio nell'abside (parete posteriore)	1	2	2	0	2	-2
18 volte del presbiterio o dell'abside	1	2	2	2	0	2
19 meccanismi negli elementi di copertura (pareti aula)	1	2	2	0	0	0
20 meccanismi negli elementi di copertura (transetto)	0	0	0	0	0	0
21 meccanismi negli elementi di copertura (abside;presb.)	1	3	3	2	0	2
22 ribaltamento delle cappelle	0	0	0	0	0	0
23 meccanismo di taglio nelle pareti delle cappelle	0	0	0	0	0	0
24 volte delle cappelle	0	0	0	0	0	0
25 interazioni in prossimità di irregolarità	0,5	2	1	2	2	0
26 aggetti	0,8	5	4	2	1	0,8
27 torre campanaria	1	4	4	3	2	1
28 cella campanaria	1	4	4	2	1	1



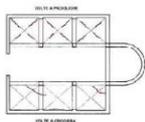
CINEMATISMO ATTIVATO
 M3 - MECCANISMO NEL PIANO DELLA FACCIATA
 EVIDENZA DI DANNO LIVELLO D2

3 - MECCANISMI NEL PIANO DELLA FACCIATA



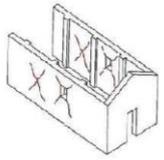

CINEMATISMO ATTIVATO
 M9 - VOLTE DELLE NAVATE LATERALI CEDIMENTI DELLE ARGATE D'AMBITO
 EVIDENZA DI DANNO LIVELLO D3

9 - VOLTE DELLE NAVATE LATERALI



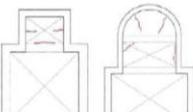

CINEMATISMO ATTIVATO
 M6 - MECCANISMI DI TAGLIO DELLE PARETI LATERALI
 EVIDENZA DI DANNO LIVELLO D2

6 - MECCANISMI DI TAGLIO PARETI LATERALI



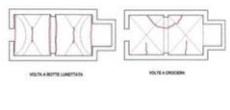

CINEMATISMO ATTIVATO
 M18 - VOLTE DEL PRESBITERIO O DELL'ABSIDE
 EVIDENZA DI DANNO LIVELLO D2

18 - VOLTE DEL PRESBITERIO O DELL'ABSIDE



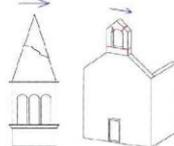

CINEMATISMO ATTIVATO
 M8 - VOLTE DELL'AULA
 EVIDENZA DI DANNO LIVELLO D4

8 - VOLTE DELL'AULA O DELLA NAVATA CENTRALE



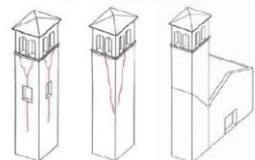

CINEMATISMO ATTIVATO
 M26 - AGGETTI (VELA, GUGLIE, PINNACOLI, STATUE)
 EVIDENZA DI DANNO LIVELLO D5

26 - AGGETTI (VELA, GUGLIE, PINNACOLI, STATUE)



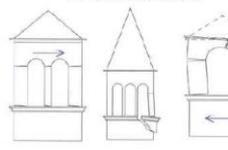

CINEMATISMO ATTIVATO
 M27 - TORRE CAMPANARIA
 EVIDENZA DI DANNO LIVELLO D4

27 - TORRE CAMPANARIA




CINEMATISMO ATTIVATO
 M28 - CELLA CAMPANARIA
 EVIDENZA DI DANNO LIVELLO D4

28 - CELLA CAMPANARIA



$$\sum \rho_k d_k = 42$$

$$\sum \rho_k = 18,3$$

$$i_d = 1/5 (\sum \rho_k d_k) / (\sum \rho_k) = 0,459$$

$$\sum \rho_k (v_{ki} - v_{kp}) = 4,4$$

$$i_v = \frac{1/6 (\sum \rho_k (v_{ki} - v_{kp}))}{\sum \rho_k} + 1/2 = 0,540$$

Emergono:

- **indice di danno** $i_d = 0,46$ ($>0,30 \Rightarrow$ inagibilità)
- **indice di vulnerabilità** $i_v = 0,54$ con 21 meccanismi analizzati, per i quali quelli individuati in giallo risultano caratterizzati da maggiore vulnerabilità

U.S.1 MACROELEMENTO FACCIATA

Le analisi POST sono state effettuate con un livello LV3 per lo studio dei vari interventi proposti sulla fabbrica – tuttavia **NON RITENENDO ATTENDIBILE UNA MODELLAZIONE GLOBALE DELLA STRUTTURA** si utilizzano gli strumenti del livello LV2 per entrambe le U.S. ma applicati in modo generalizzato.

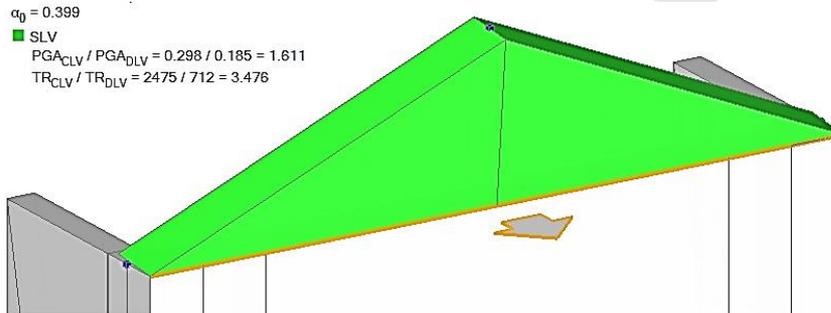
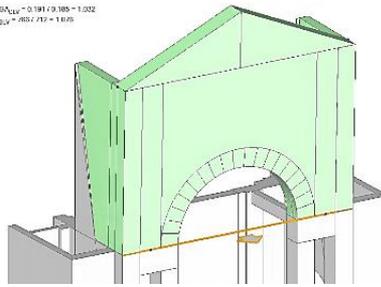
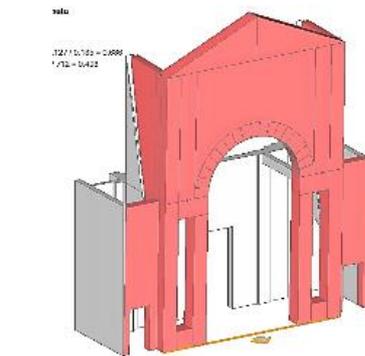
Nel suo insieme il progetto si configura come intervento di “**miglioramento sismico**” secondo quanto esposto al **cap. 8.4.2 delle NTC2008**, tuttavia per quanto sopra esposto in relazione alla tipologia del bene in oggetto, nella progettazione esecutiva dei presidi ed interventi strutturali si è mirato ai tre sottostanti criteri:

- Assicurare la minore variazione possibile al comportamento sismico globale dell’edificio;
- Impiegare tecniche e presidi compatibili con il mantenimento della materia dell’edificio e dei suoi elementi architettonici e strutturali;
- Assicurare, nel quadro di obiettivi limitato alla riparazione post-sismica, l’effettuazione di interventi definitivi sotto il profilo della riparazione dei danni subiti e della riduzione delle vulnerabilità riscontrate.

U.S.1 MACROELEMENTO FACCIATA

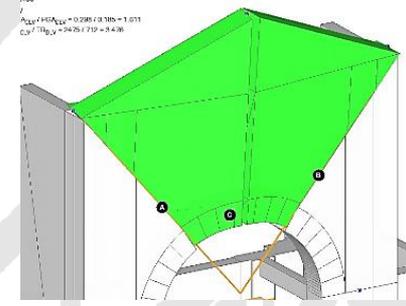
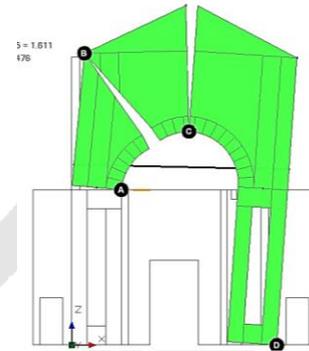
MECCANISMI IN SOMMITA' DELLA FACCIATA (liv. D1)

→ L'insorgenza del meccanismo è indotto dalla presenza dello sporto



MECCANISMI NEL PIANO DELLA FACCIATA (liv. D2)

→ Privo di incatenamento, non è in grado di equilibrarsi con le masse di spalla presenti



U.S.1 MACROELEMENTO AULA

L'aula presenta nei riguardi di un'azione sismica trasversale al suo asse due elementi piuttosto rigidi alle estremità: **la facciata**, sollecitata a taglio nel proprio piano; **l'arco trionfale** collegato al basamento del campanile e con l'edificio scolastico in aderenza;

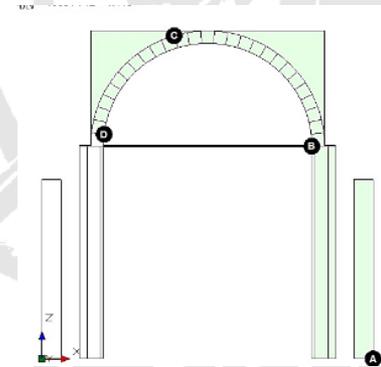
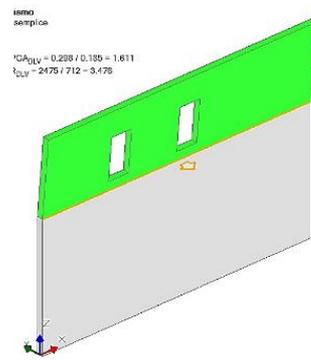
→ La parte centrale è invece più deformabile, per la snellezza delle pareti laterali”.

L'aula è sufficientemente allungata ⇒ è ragionevole assumere che la campata centrale non risenta degli effetti di bordo e quindi possa essere analizzata autonomamente.

In questo edificio si hanno archi di collegamento in muratura con importanti frenelli e catene estradossali storiche, e pertanto si possono ritenere le 2 murature longitudinali già grossolanamente “collegate”, mentre a quota copertura le varie capriate lignee non risultano collegate efficacemente alle murature d'ambito essendo presente un imbiettamento metallico non efficiente.

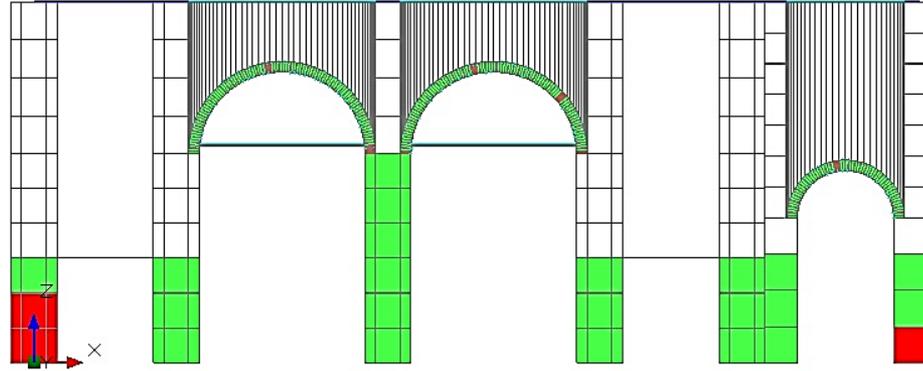
- Importanti azioni di taglio sui modesti setti trasversali (uniscono pilastri interni a murature esterne perimetrali);
- Rilevate profonde lesioni sulle piattabande dei finestroni (strappi) poste sui muri longitudinali e in chiave ai sottostanti archi delle cappelle laterali;
- L'effetto finale è che l'edificio risulta sezionato in più porzioni dinamicamente indipendenti (dondolio);

RISPOSTA TRASVERSALE DELL'AULA (liv. D3)



U.S.1 MACROELEMENTO AULA

RISPOSTA LONGITUDINALE DEL COLONNATO (liv. D3)



VOLTE NAVATA CENTRALE (liv. D4)



U.S.1 MACROELEMENTO ABSIDE

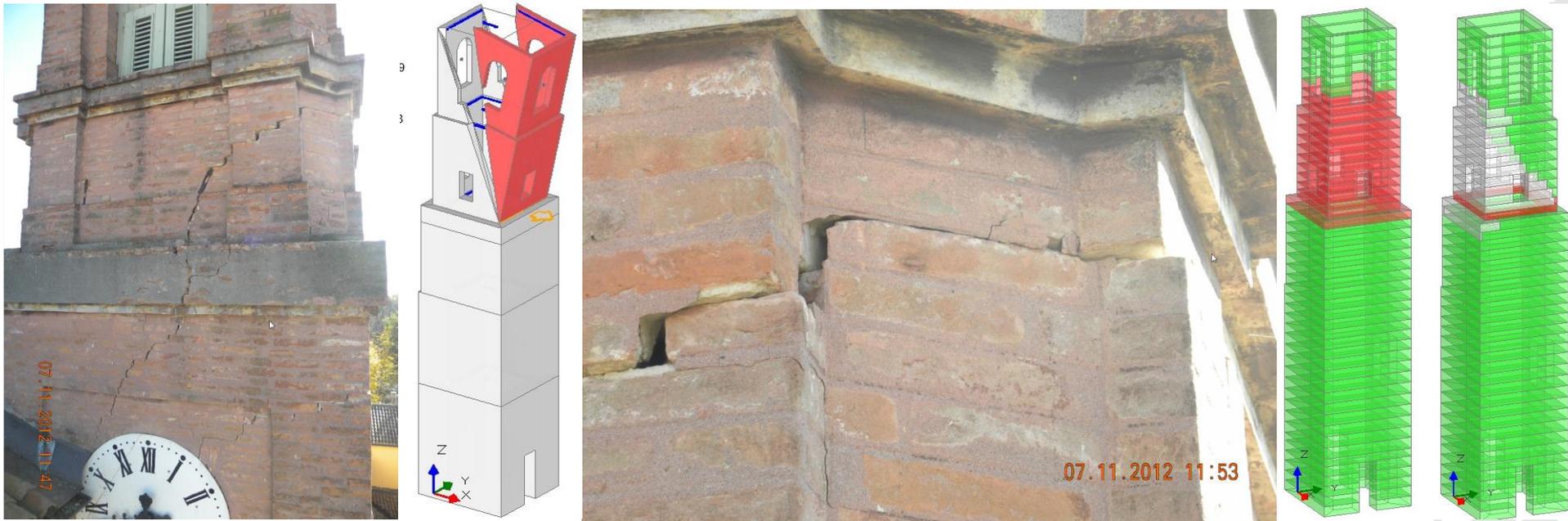
MECCANISMI NEGLI ELEMENTI DI COPERTURA (liv. D3)



- Si rilevano lesioni sub-verticali indotte dall'azione di spinte "a vuoto" dell'orditura di copertura (sia sulle murature longitudinali che trasversali);
- NON esistono apparecchiature atte a realizzare il corretto bloccaggio delle varie capriate all'appoggio sulle murature d'ambito, con il risultato di permettere movimenti relativi dell'apparecchiatura lignea e la nascita di spinte a vuoto.

U.S.2 TORRE CAMPANARIA

TORRE CAMPANARIA (liv. D4) - CELLA CAMPANARIA (liv. D4)



Si presenta come un elemento tubolare in muratura abbastanza omogenea (laterizio pieno) ma con pareti di spessore assai variabile e che si rastremano con l'altezza (5 teste inferiore, poi 3 e 2) tutti i 4 lati costituenti il fusto arrivano a terra.

- La presenza di un vincolo diseguale per le due direzioni principali nel piano orizzontale è un punto di concentrazione degli sforzi, con aumento della vulnerabilità sismica;
- Come precedentemente riportato il terzo livello, ovvero il livello di stacco tra la torre campanaria e i fabbricati adiacenti risulta il più vulnerabile;
- **Dislocazione, dell'ordine di 3 cm rispetto al corpo prismatico sottostante;**
- Come precedentemente riportato il terzo livello, ovvero il livello di stacco tra la torre campanaria e i fabbricati adiacenti risulta il più vulnerabile (direzione Y trasversale).

PROPOSTA PROGETTUALE

SARA' RECUPERABILE LA DISLOCAZIONE?

CON MASSE IN GIOCO "NON IMPOSSIBILI" E' FATTIBILE PURCHE' SI ABBAIA MASSIMA ATTENZIONE A CONTROVENTARE LA CELLA E
A DISTRIBUIRE LE AZIONI DEI MARTINETTI

PROGETTO DI RECUPERO CHIESA B.V. DI LOURDES – REGGIOLO (RE)



PROPOSTA PROGETTUALE

PROGETTO DI RECUPERO CHIESA B.V. DI LOURDES - REGGIOLO (RE)



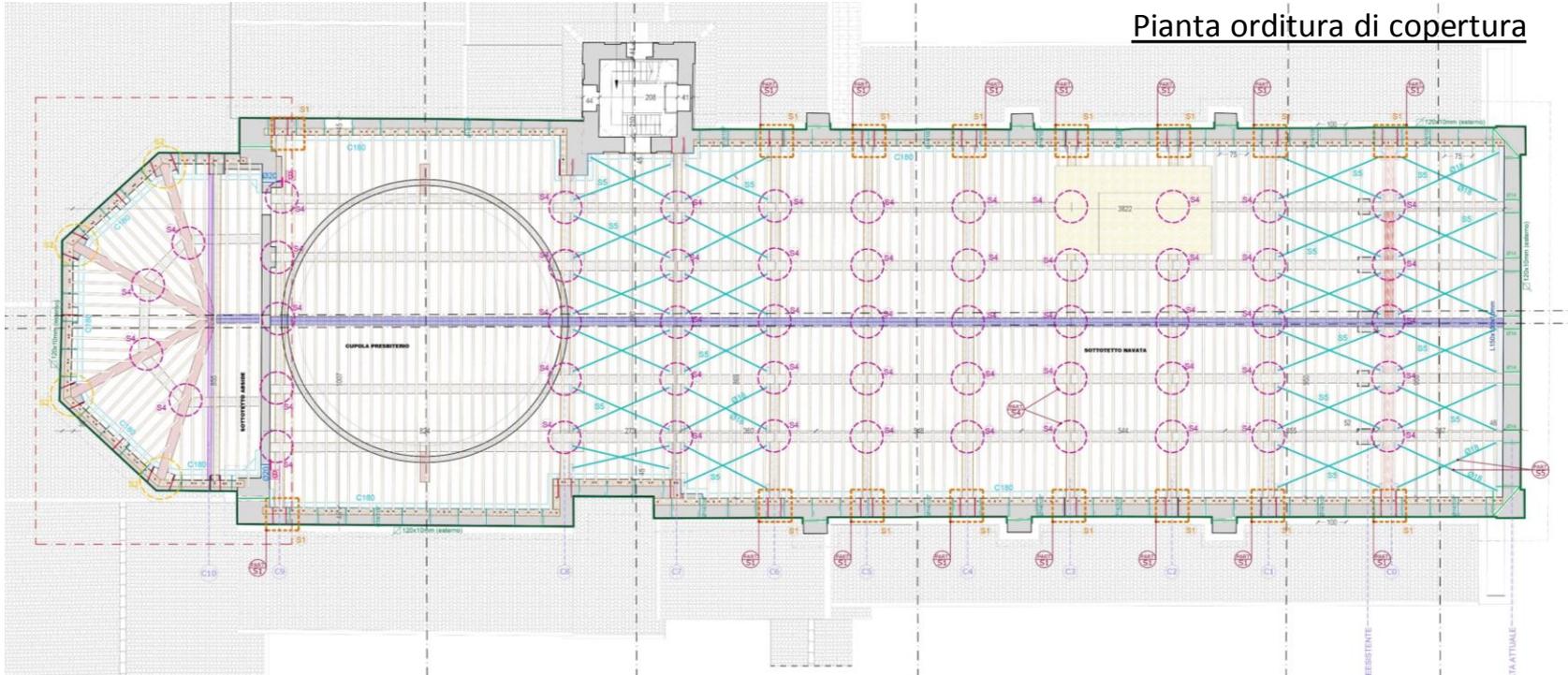
PROPOSTA PROGETTUALE

PROGETTO DI RECUPERO CHIESA B.V. DI LOURDES - REGGIOLO (RE)



PROPOSTA PROGETTUALE U.S.1

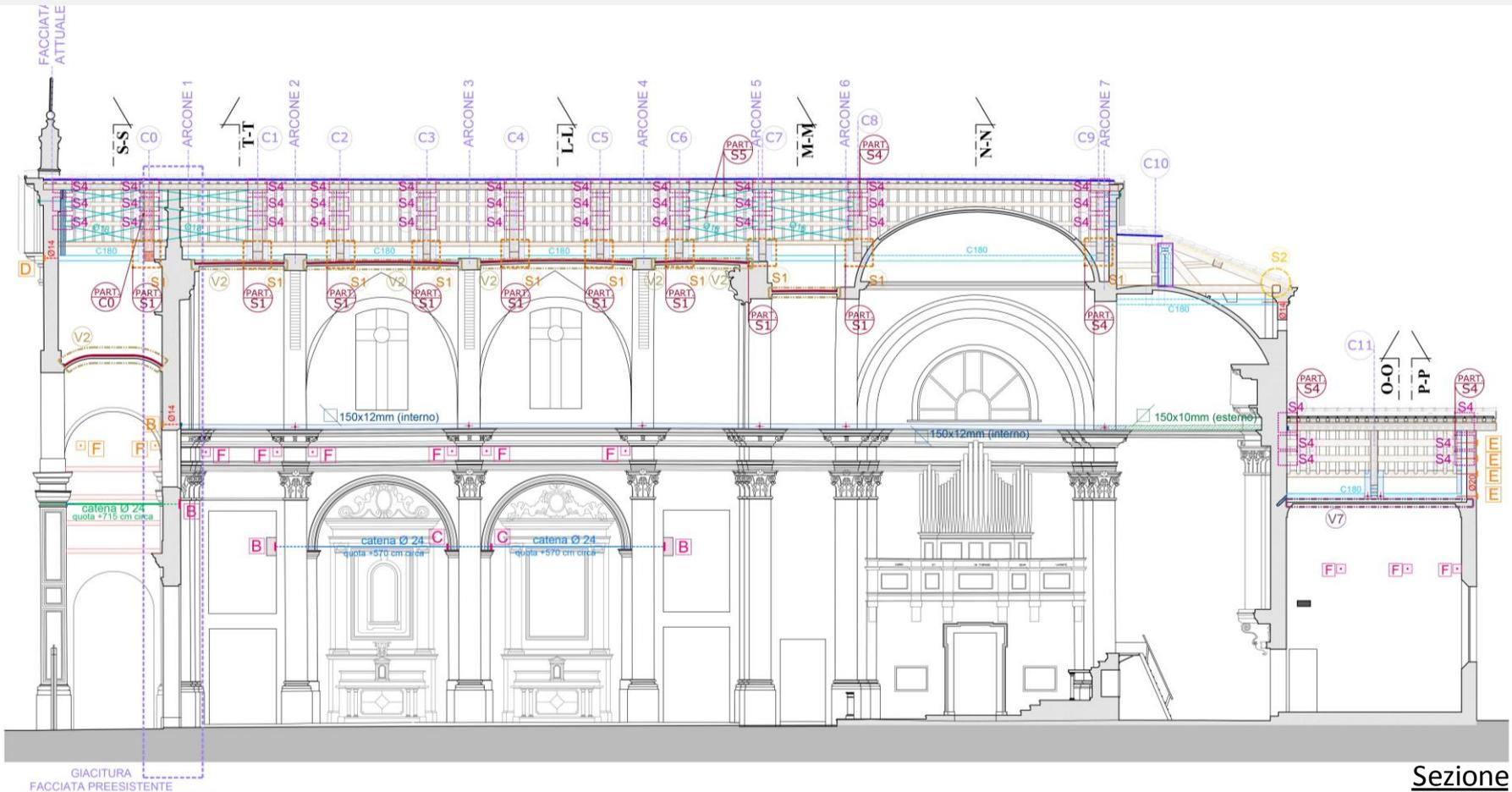
Pianta orditura di copertura



PROGETTO DI RECUPERO EX OSPEDALE VECCHIO PARMA – BIBLIOTECA CIVICA



PROPOSTA PROGETTUALE U.S.1



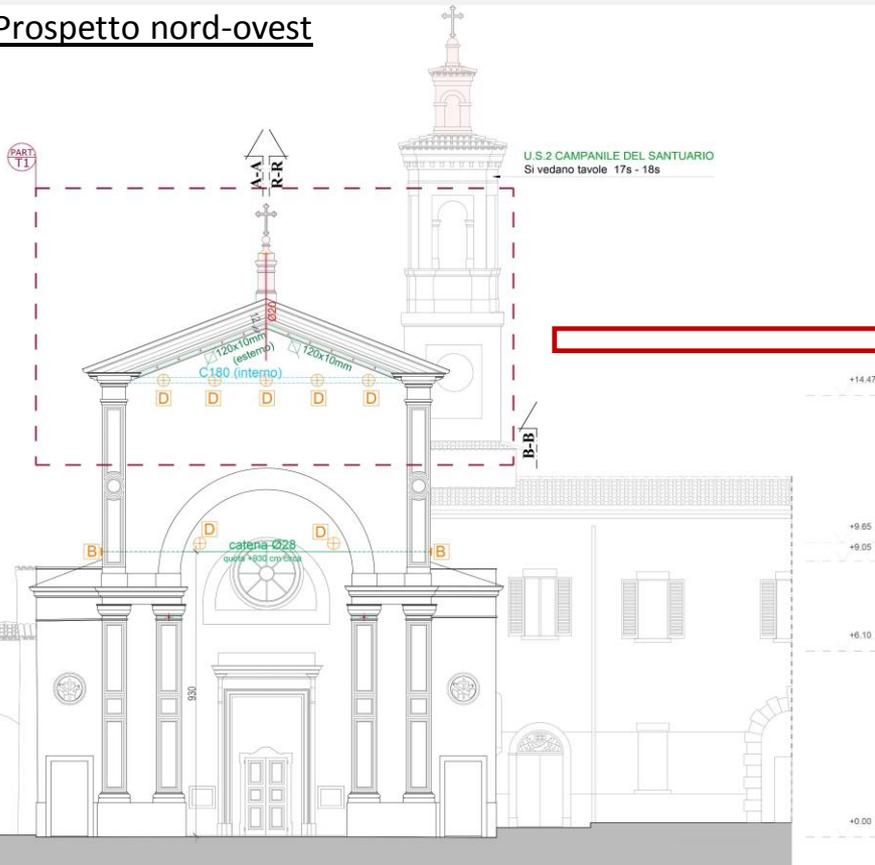
Sezione

PRINCIPALI INTERVENTI

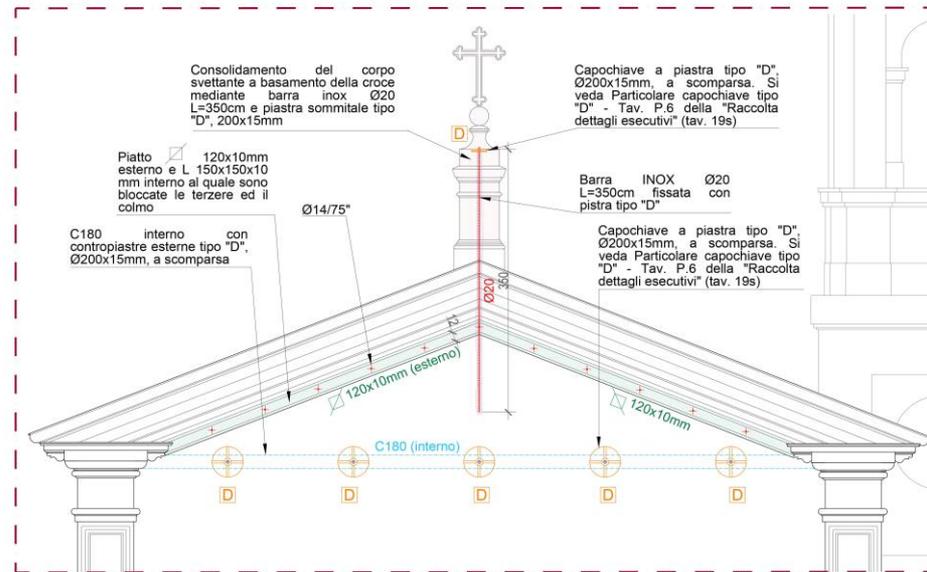
- Miglioramento delle connessioni della facciata alle murature longitudinali con cordolo – tirante in carpenteria metallica e piastre di contrasto sulle murature d’ambito;
- Controventamento del piano di falda con elementi in acciaio e doppio tavolato ligneo e collegamento mutuo di tutte le aste principali e secondarie con carpenterie metalliche “a misura”;

PROPOSTA PROGETTUALE U.S.1

Prospetto nord-ovest



Particolare timpano

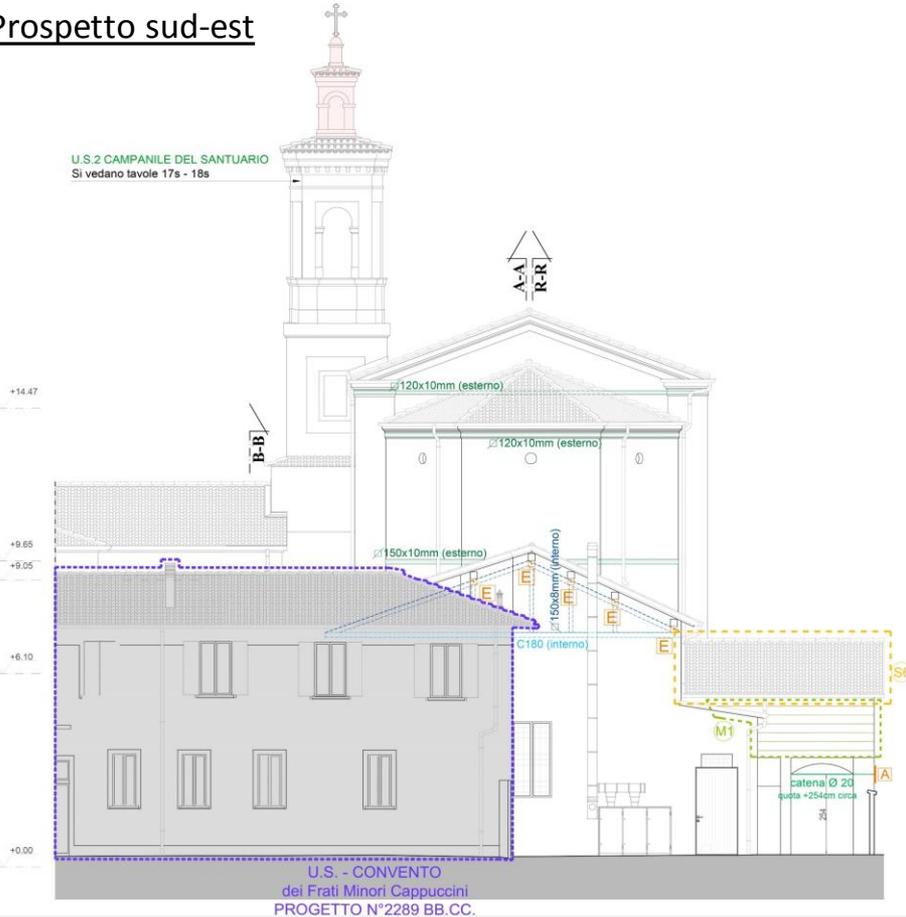


PRINCIPALI INTERVENTI

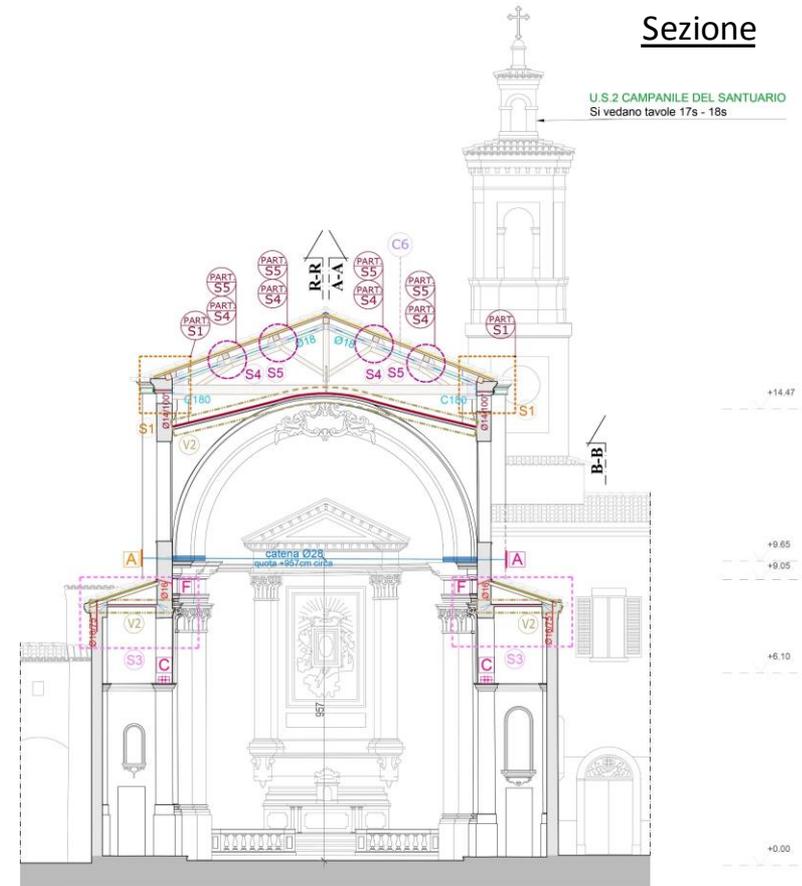
- Eliminazione spinte a vuoto indotta dai puntoni lignei zona absidale – realizzazione di nuovo sistema di copertura “autoequilibrato”;
- Antiribaltamento murature longitudinali con cordoli metallici collegati a testate capriate (sup.) e graticcio in piatti (inf.);
- Incatenamento di tutte le strutture murarie spingenti ad asse curvilineo (archi trasversali e longitudinali) con capochiave esterni – attestate su fasciatura in acciaio interna su trabeazione aula/esterna su abside;

PROPOSTA PROGETTUALE U.S.1

Prospetto sud-est



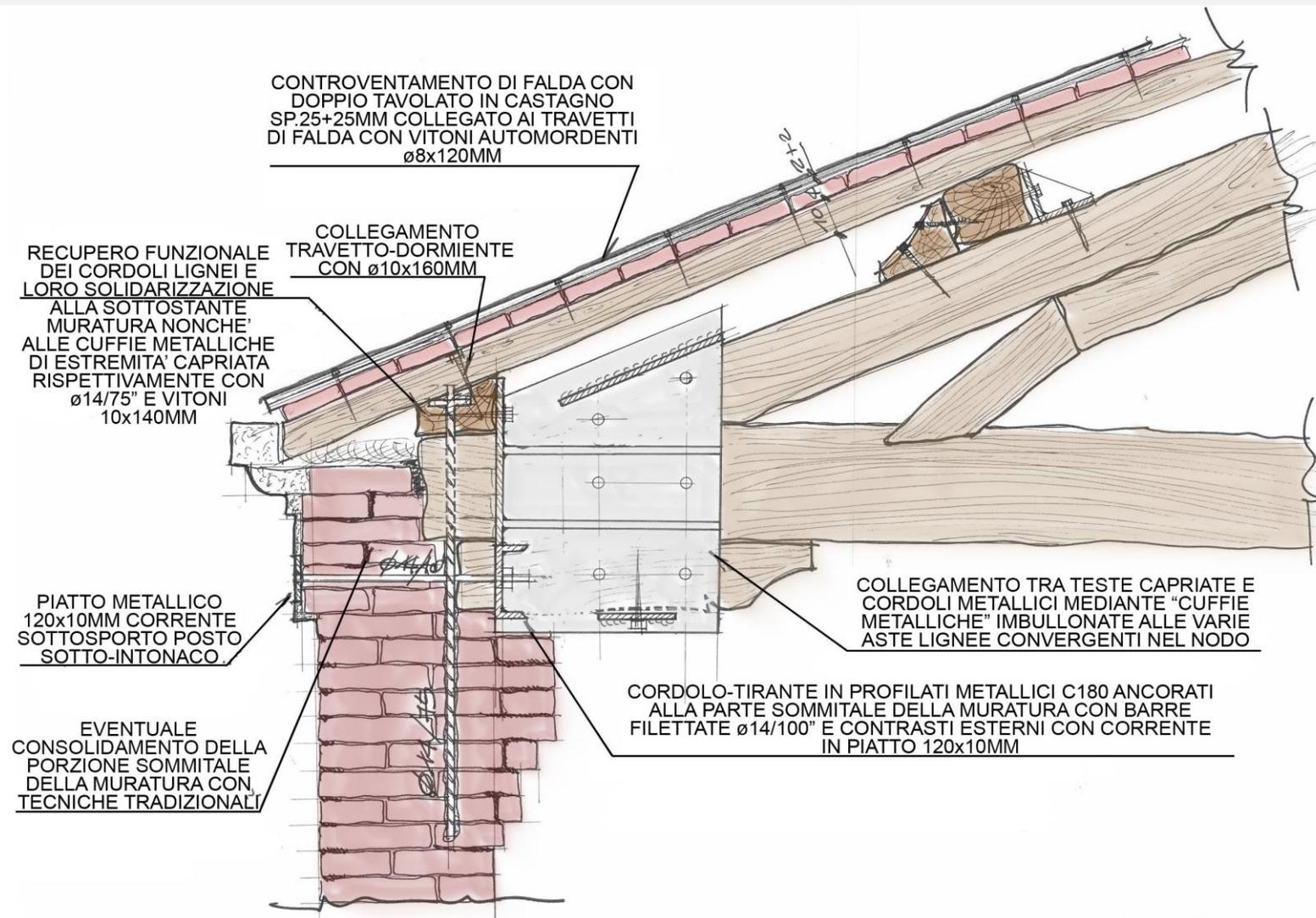
Sezione



PRINCIPALI INTERVENTI

- La riparazione delle fessurazioni delle componenti voltate in laterizio a sezione sottile (cappelle laterali, navata centrale), eventuale riapparecchio, consolidamento estradossale SRG + matrice inorganica;
- Riparazione del campanile e consolidamento con intelaiatura metallica interna e sostituzione impalcati degradati con nuovi (acciaio/lignei) il tutto riscontrato in facciata con piastre di ancoraggio.

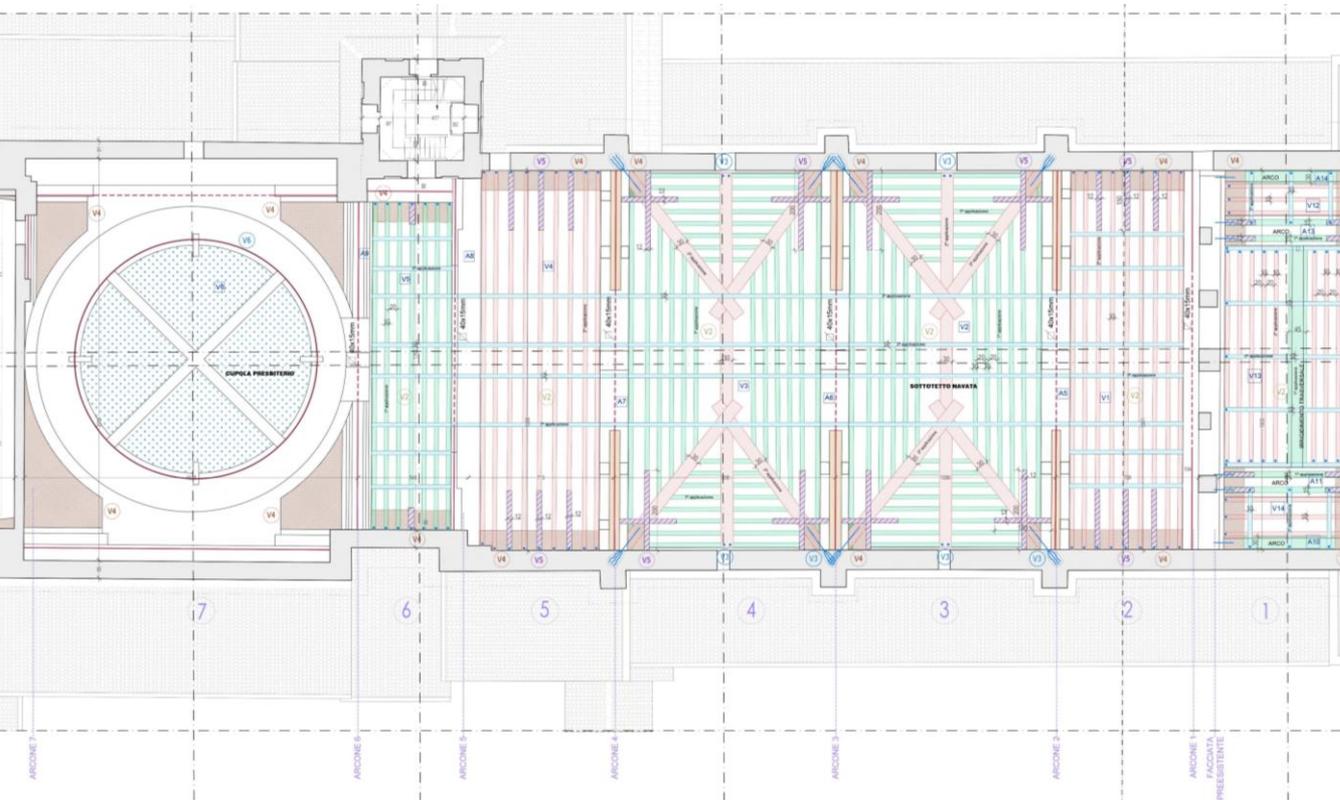
PROPOSTA PROGETTUALE U.S.1



Collegamento delle capriate lignee e murature per mezzo di cuffie e cordoli metallici realizzati con profili C180 interni e piatti di riscontro esterni

PROPOSTA PROGETTUALE U.S.1

Pianta del sistema voltato successione di arconi a tutto sesto ed interposte volte a botte di mattoni pieni apparecchiate in foglio con disposizione a spinapesce o a giunti sfalsati



PROGETTO DI RECUPERO CHIESA B.V. DI LOURDES - REGGIOLO (RE)

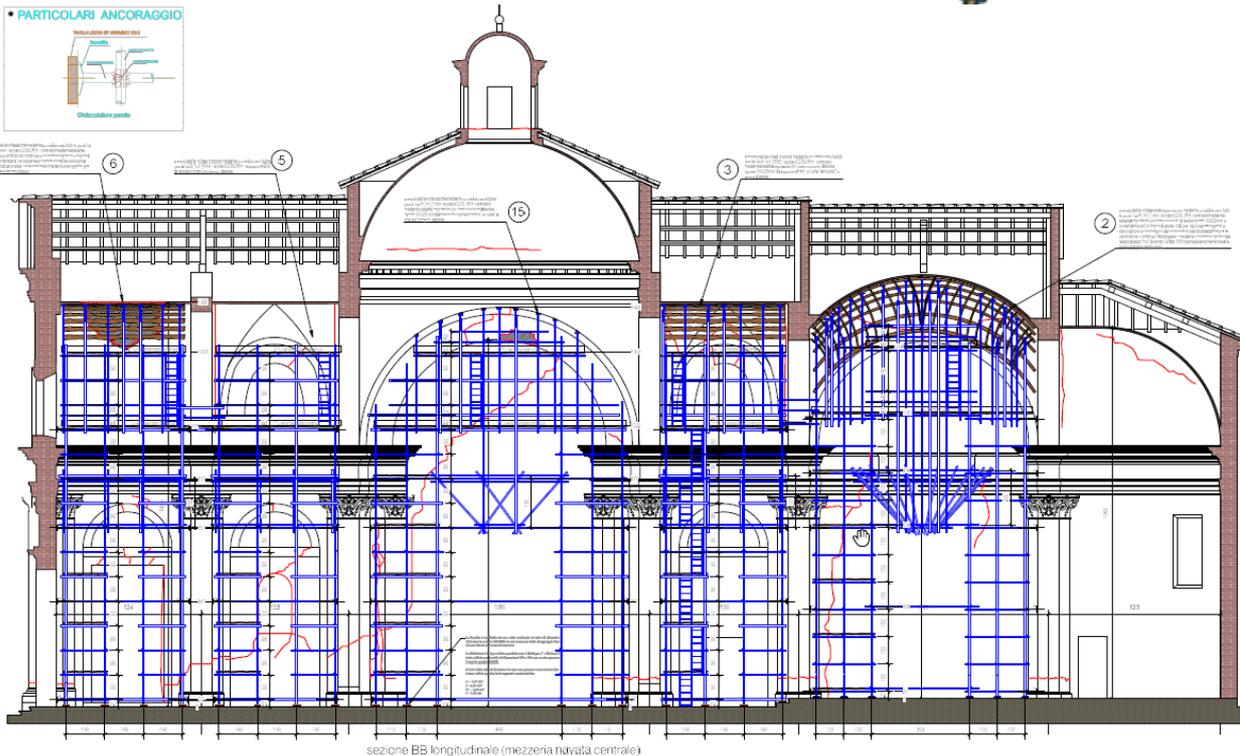


PRINCIPALI INTERVENTI

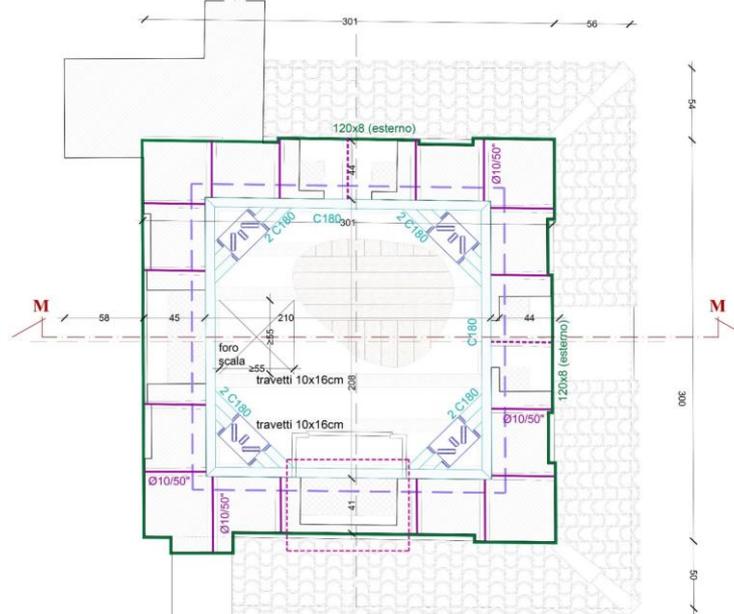
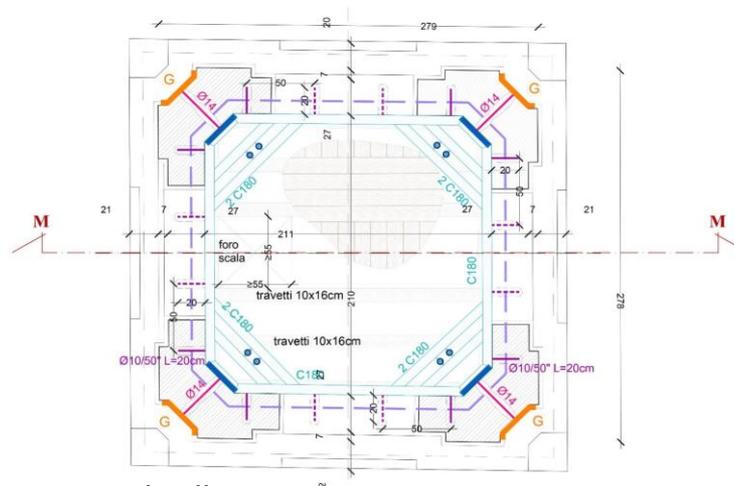
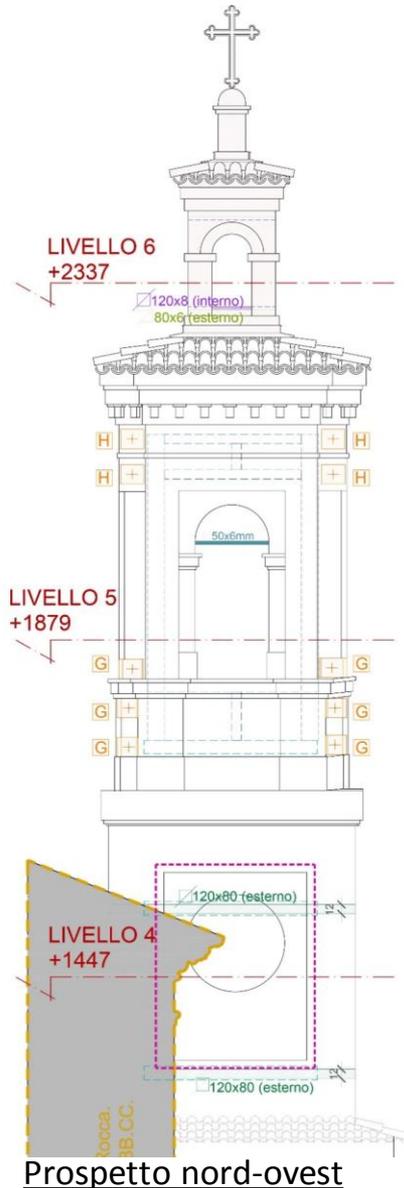
- Consolidamento estradosale del sistema voltato con metodo SRG (Steel Reinforced Grouting) e connettori in fibra di acciaio UTHSS;
- Realizzazione e integrazione di rinfianchi;
- Applicazione di connettori in acciaio inox sulla cupola.

PROPOSTA PROGETTUALE

INTERVENTO PROVVISORIO DI MESSA IN SICUREZZA CHIESA SANTA MARIA ASSUNTA – REGGIOLO (RE)



PROPOSTA PROGETTUALE U.S.2



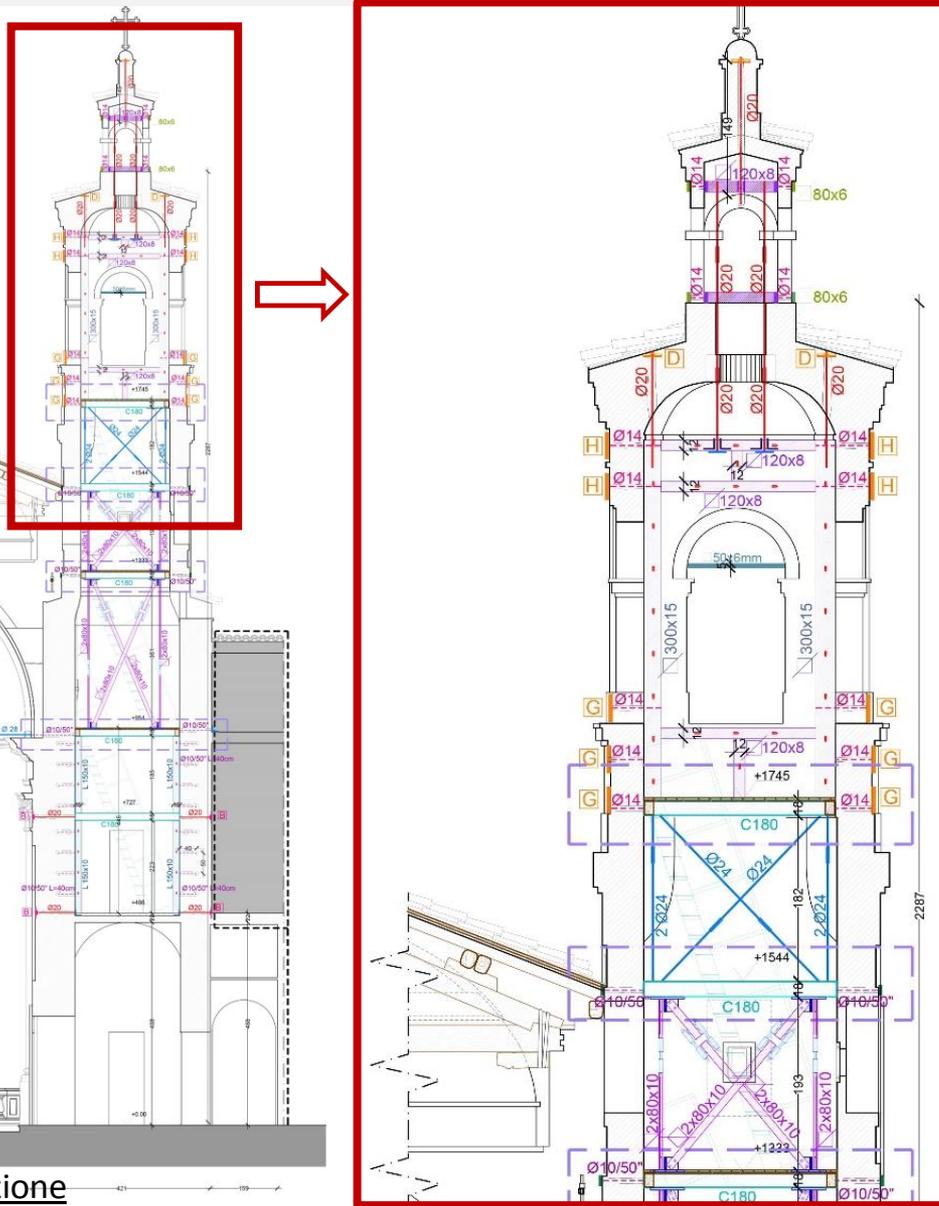
- Riparazione delle lesioni mediante tecniche tradizionali
- Rimozione delle carenze strutturali che hanno determinato il danneggiamento riscontrato.

All'interno della cella campanaria sarà inserita un'intelaiatura tridimensionale in grado di inibirne la fragilità tipica.

PROGETTO DI RECUPERO CHIESA SAN BENEDETTO ABATE - GONZAGA (MN)



PROPOSTA PROGETTUALE U.S.2



- Tecniche tradizionali
- Posa di presidio metallico interno opportunamente solidarizzato alle strutture murarie, in grado di incrementare sia la resistenza a taglio che a pressoflessione.
- Collegamenti verticali e controventi diagonali in tondi acciaiati dotati di tenditore, posizionati in prossimità degli spigoli interni del campanile e collegati tra loro agli impalcati caratterizzati da comportamento “rigido nel piano”.

PROGETTO DI RECUPERO CHIESA SAN BENEDETTO ABATE - GONZAGA (MN)



CONCLUSIONI (O RIFLESSIONI?)

- 1. OGNI EURO IN PREVENZIONE CORRISPONDE AD UNA CIFRA COMPRESA TRA 5 E 10 EURO IN RICOSTRUZIONE;**
- 2. IN CASO DI RISORSE LIMITATE, E' NECESSARIO DEFINIRE DELLE PRIORITA' DI INTERVENTO;**
- 3. CONSIDERARE NON SOLO LA VULNERABILITA' MA IL RISCHIO SISMICO NEL SUO COMPLESSO ($R = P \times V \times E$);**
- 4. PER DEFINIRE POLITICHE E INTERVENTI DI PREVENZIONE EFFICACI E' NECESSARIO CONSIDERARE PIU' ASPETTI E PIU' SCALE INSIEME, ANCHE QUELLA URBANA.**