

**IL CONSOLIDAMENTO
STRUTTURALE**
Criteri, tecniche e cantieri

Mercoledì 14 dicembre 2022

Le strutture murarie

Prof. Ing. Claudio Modena
Prof. Emerito, già Ordinario di
Tecnica delle Costruzioni
claudio.modena@unipd.it



Università degli Studi di Padova

- **SICUREZZA STRUTTURALE**

- **INSEGNAMENTI DALLE ESPERIENZE PASSATE**

- **TECNICHE DI INTERVENTO** - Il database Niker

- **CASI STUDIO**
 - La Fortezza Spagnola de L'Aquila
 - La Chiesa di San Silvestro a L'Aquila
 - Il Palazzo Ducale di Urbino
 - Idrovora di San Siro - Mantova

NTC 2018

8.4. CLASSIFICAZIONE DEGLI INTERVENTI

Si individuano le seguenti categorie di intervento:

- **interventi di riparazione o locali:** interventi che interessino singoli elementi strutturali e che, comunque, non riducano le
- condizioni di sicurezza preesistenti;
- **interventi di miglioramento:** interventi atti ad aumentare la sicurezza strutturale preesistente, senza necessariamente raggiungere
- i livelli di sicurezza fissati al § 8.4.3;
- **interventi di adeguamento:** interventi atti ad aumentare la sicurezza strutturale preesistente, conseguendo i livelli di sicurezza fissati al paragrafo 8.4.3.

Bozza Circolare attuativa NTC 2018

- C8 COSTRUZIONI ESISTENTI
- **I terremoti che dal 2009 ad oggi hanno colpito l'Italia, evidenziando l'importanza che in termini di danni a persone e cose assumono negli edifici esistenti le criticità locali, hanno portato gli estensori delle nuove NTC a considerare con maggiore attenzione gli interventi di rafforzamento locale e di miglioramento e ad aumentare l'importanza attribuita a tali forme d'intervento.**
- **Tale maggiore attenzione si è tradotta in un diverso ordine di presentazione (le varie forme d'intervento sono ora elencate dalla meno alla più impattante, dalla riparazione e rafforzamento locale all'adeguamento) e, soprattutto, nell'ampia considerazione dedicata alla valutazione e riduzione del rischio sismico e, in special modo, nella maggiore attenzione prestata agli interventi finalizzati a rendere antisismici anche gli elementi non strutturali e gli impianti, elementi che spesso contribuiscono in modo sostanziale ad incrementare il rischio sismico.**

Circolare attuativa NTC 2018

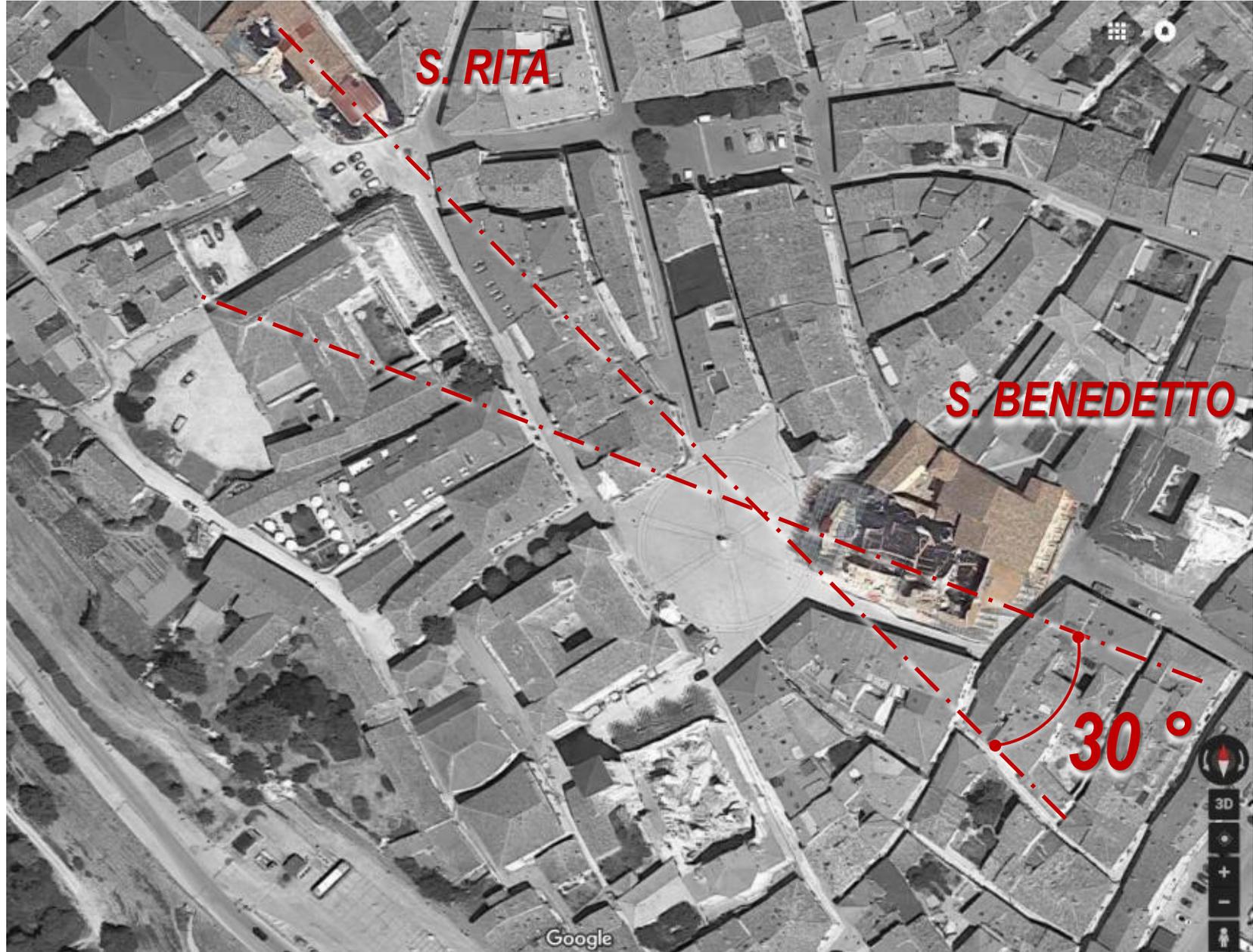
C8 COSTRUZIONI ESISTENTI

- A quanto detto si è aggiunta la consapevolezza che, per l'Italia, il principale problema della protezione antisismica è oggi rappresentato dalle costruzioni esistenti e che il renderle sufficientemente antisismiche, senza peraltro snaturarle, è questione non facile da affrontare e risolvere, sostanzialmente legata a una approfondita conoscenza delle peculiarità dell'oggetto su cui si interviene.
- Alla conoscenza della costruzione esistente si è dedicata, dunque, particolare attenzione, riducendo l'importanza attribuita alla conoscenza dei materiali impiegati per concentrarsi sui particolari costruttivi e sulle indicazioni progettuali dell'epoca di costruzione, maggiormente responsabili del reale comportamento della costruzione a fronte di azioni sismiche.

C1.1 LOGICA DELLA NORMA

- Recuperare l'incertezza del "livello di conoscenza" propria del modello di calcolo (incertezza usualmente espressa attraverso un coefficiente moltiplicativo dell'azione) ricorrendo a un coefficiente riduttivo della resistenza dei materiali, come da Norma, può enfatizzare eccessivamente l'importanza delle indagini sui materiali.
- Ciò porta a sottostimare l'importanza delle indagini relative ai dettagli costruttivi, alla connessione dei vari elementi tra loro, alle loro modalità di interazione e di collasso; questi elementi sono invece fondamentali per identificare le criticità presenti e irrinunciabili per individuare il modello di calcolo globale (che descrive il comportamento d'insieme della costruzione) e i modelli di calcolo dei meccanismi di collasso locali.
- ***Gli aspetti che definiscono i livelli di conoscenza sono: geometria della struttura, dettagli costruttivi, proprietà dei materiali, connessioni tra i diversi elementi e loro presumibili modalità di collasso.***

NORCIA



NORCIA

Comparazione danni: facciata

S. RITA

CROLLO COMPLETO



S. BENEDETTO

CONSERVAZIONE COMPLETA



NORCIA

Comparazione danni: pareti laterali

S. RITA

CONSERVAZIONE COMPLETA



S. BENEDETTO

CROLLO COMPLETO



NORCIA

Comparazione danni: campanile

S. RITA

CROLLO CON DISGREGAZIONE



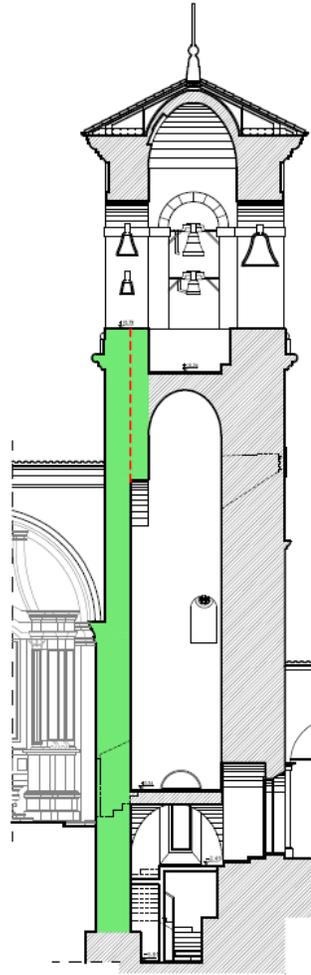
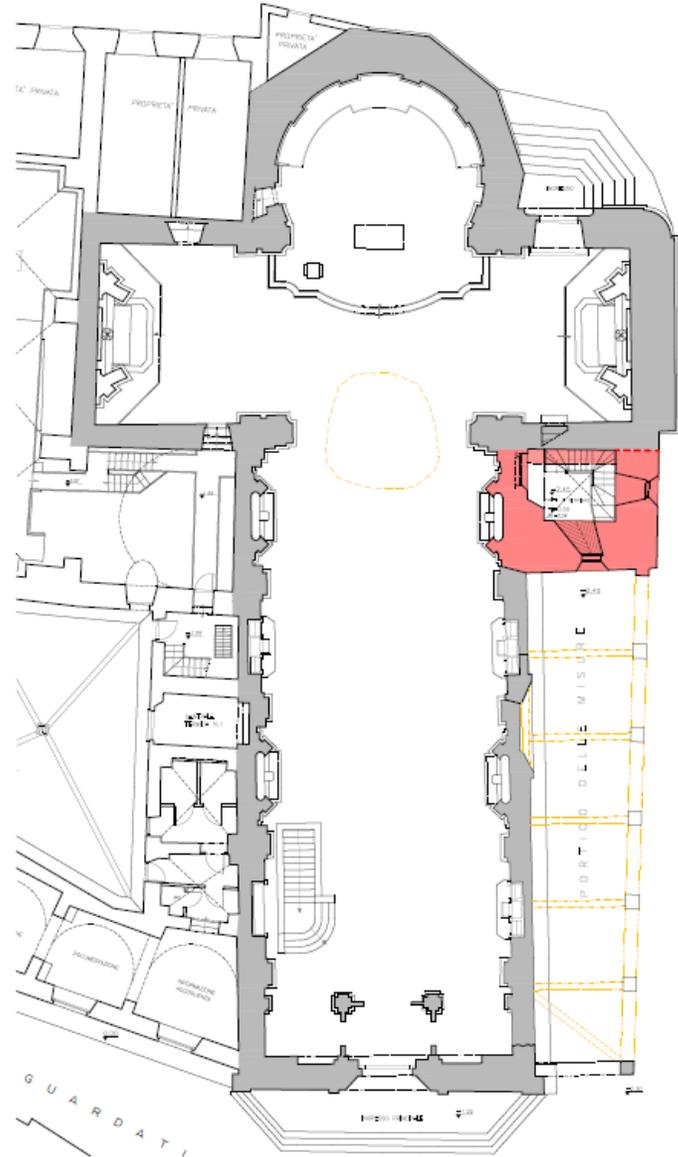
S. BENEDETTO

CROLLO

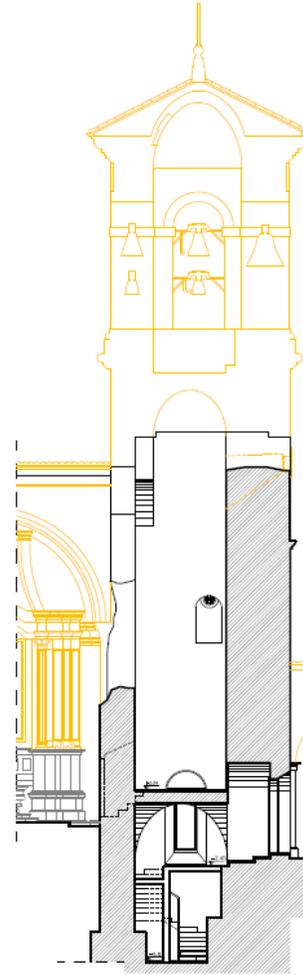


S. BENEDETTO

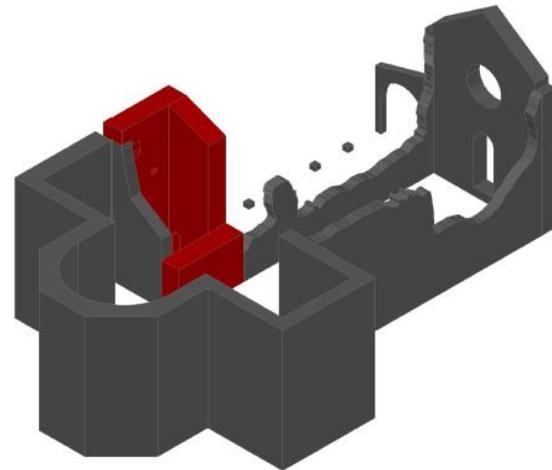
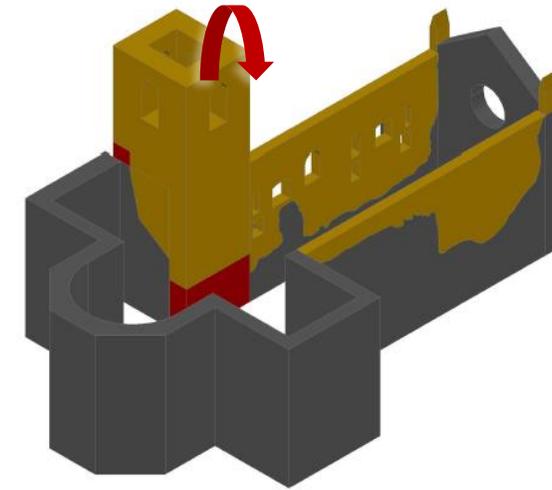
Rilievo dei componenti costruttivi: campanile



Sezione B-B PRE-SISMA



Sezione B-B POST-SISMA



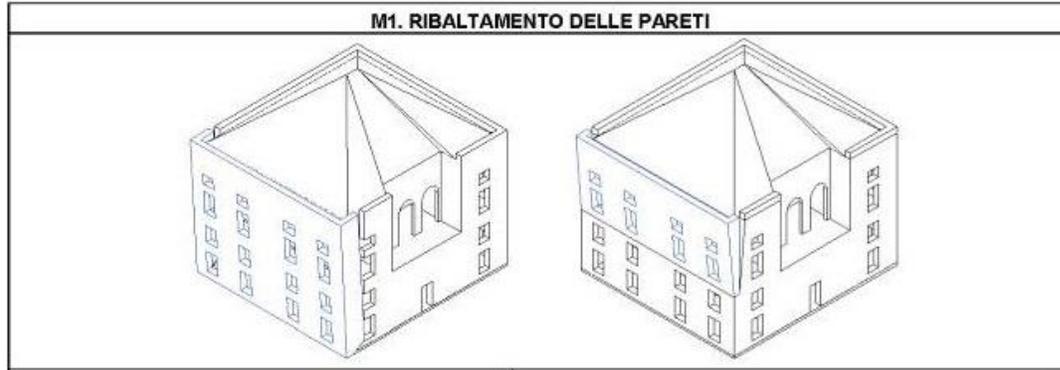
Circolare attuativa NTC 2018

C1.1 LOGICA DELLA NORMA

- La sostanziale unitarietà del processo progettuale, purché la conoscenza sia quella effettivamente necessaria nel senso prima evidenziato, non è turbata neppure dai vincoli di carattere storico-artistico-conservativo cui le costruzioni esistenti debbono, a volte, sottostare.
- Le costruzioni storiche, giunte a noi attraversando i secoli, sono frutto di lunghi e complessi processi di trasformazione, adattamento, danneggiamento e riparazione/ricostruzione (anche a seguito di terremoti di intensità non inferiore a quella che, di norma, ha una limitata probabilità di verificarsi durante la “vita utile” di una nuova costruzione); ogni volta si è intervenuti con i metodi di cui la tradizione costruttiva del tempo e del luogo disponeva (non necessariamente analitici, ma non per questo meno efficaci e determinanti). Sono maturate così le condizioni per cui i tentativi di migliorare il rapporto capacità/domanda modificando il “comportamento delle costruzioni esistenti” hanno prodotto “risultati deludenti”.
- **Approcci progettuali basati invece sul riconoscimento, mediante adeguati e rigorosi processi di conoscenza, di tutti i possibili fattori di vulnerabilità di una costruzione storica e su interventi volti a ridurli, se non del tutto eliminarli, modificando il meno possibile il comportamento strutturale della costruzione esistente, sono non solo più rispettosi dei criteri di conservazione di valori storico-artistici ma anche più affidabili ed efficaci dal punto di vista della sicurezza strutturale, come evidenziato anche dalle esperienze maturate in occasione dei più recenti terremoti.**

- **SICUREZZA STRUTTURALE**
- **INSEGNAMENTI DALLE ESPERIENZE PASSATE**
- **TECNICHE DI INTERVENTO** - Il database Niker
- **CASI STUDIO**
 - La Fortezza Spagnola de L'Aquila
 - La Chiesa di San Silvestro a L'Aquila
 - Il Palazzo Ducale di Urbino
 - Idrovora di San Siro - Mantova

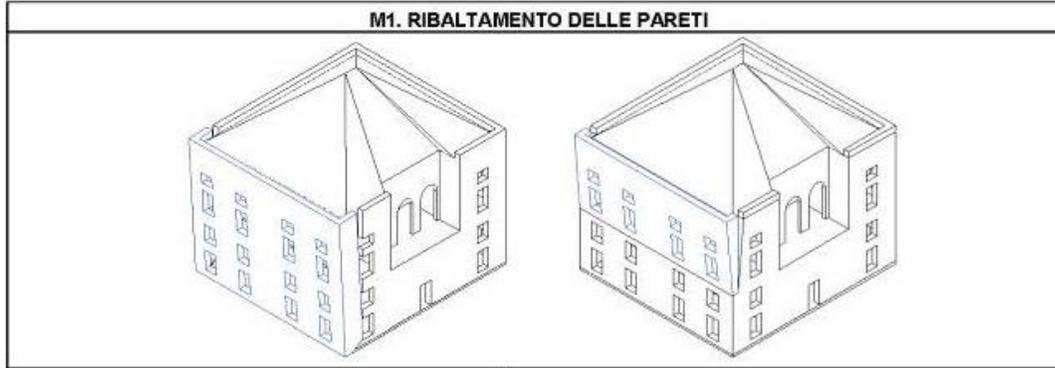
Murature d'ambito: meccanismi fuori piano



Palazzo in piazza della
prefettura, L'Aquila



Murature d'ambito: meccanismi fuori piano



Palazzo in via Arischia, L'Aquila

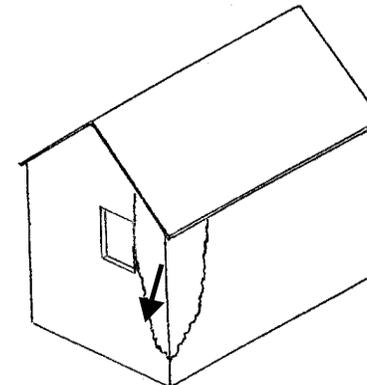
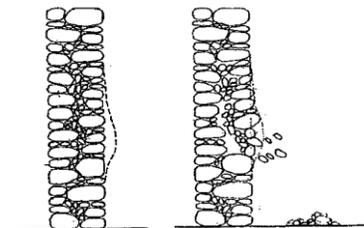
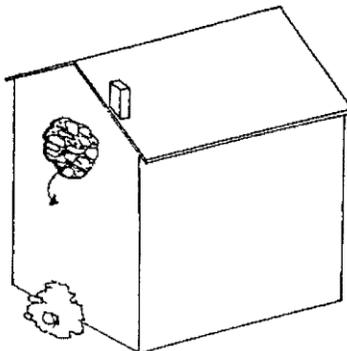


Murature d'ambito: meccanismi fuori piano

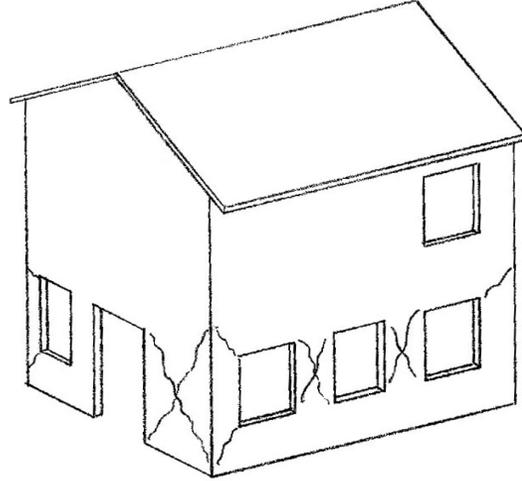


**Palazzo in Via Roma & Palazzo in
Piazza San Domenico, L'Aquila**

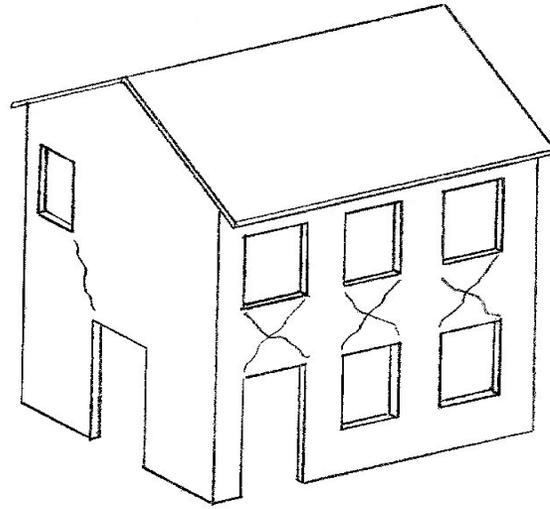
**Edificio in via Costa
della Pinciara, L'Aquila**



Murature d'ambito: meccanismi nel piano

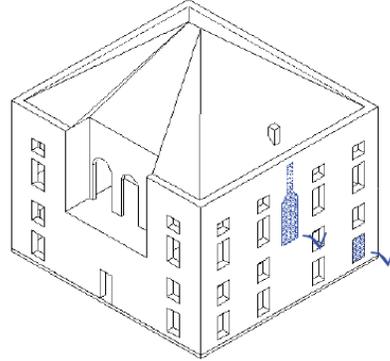


Due palazzi a Villa Sant'Angelo, AQ



Discontinuità

M19. COLLASSI LOCALI PER IRREGOLARITA' COSTRUTTIVE E DEL MATERIALE



Palazzo Santa Maria at civitate,
L'Aquila



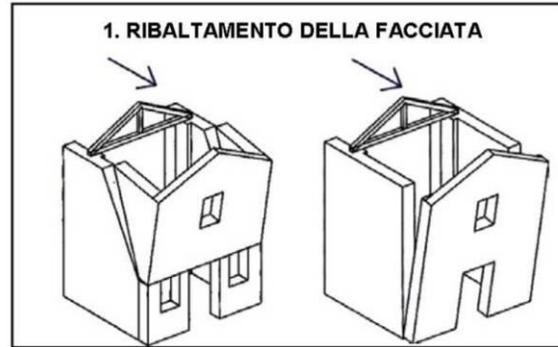
Palazzo in via Buccio di Ranallo, L'Aquila

Meccanismi fuori piano della facciata

2009

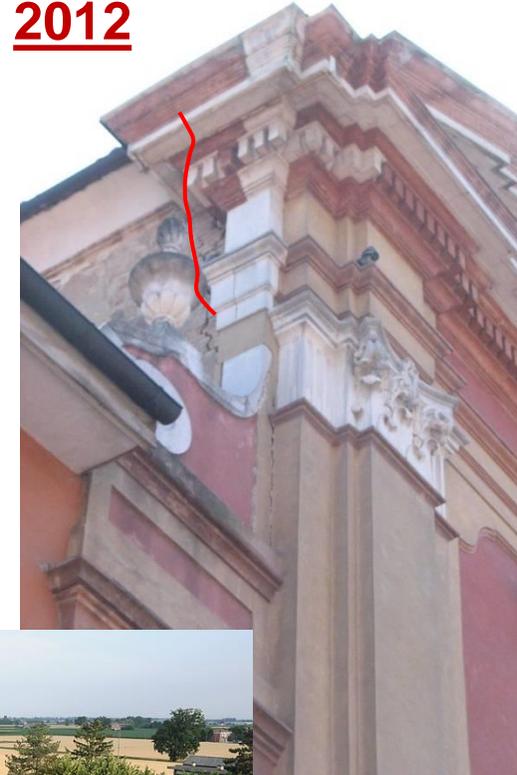


Santa Gemma,
Goriano Sicoli
(AQ)



- Buon ammorsamento tra pareti.
- Aggravamento di lesioni esistenti.
- Non molto frequente nel sisma 2012

2012



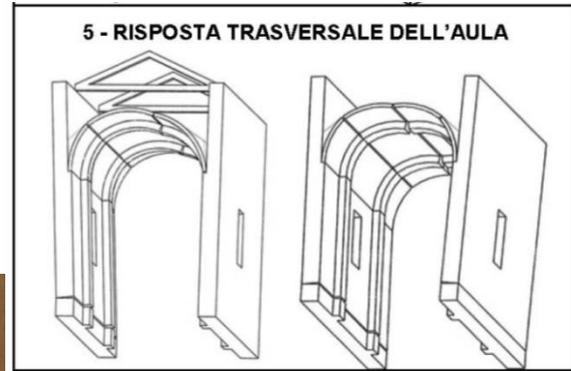
San Filippo,
Cento



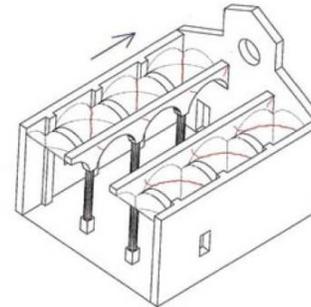
San Martino,
Buonacompra

Meccanismi trasversali e longitudinali della navata

Santa Margherita (dei Gesuiti), L'Aquila

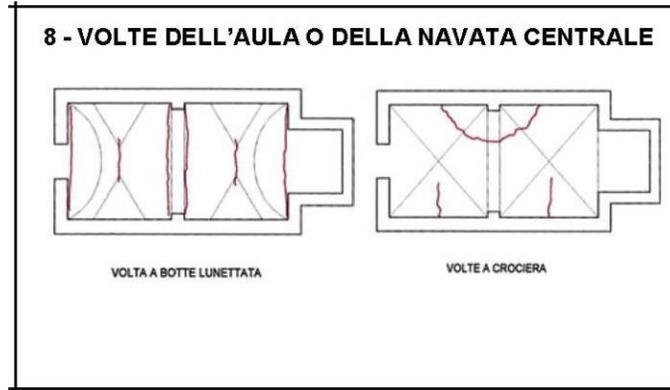


7 - RISPOSTA LONGITUDINALE DEL COLONNATO

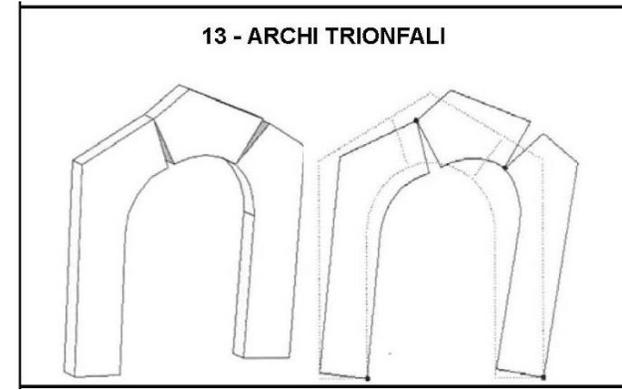


Santa Gemma,
Goriano Sicoli
(AQ)

Meccanismi nelle volte e negli archi trionfali



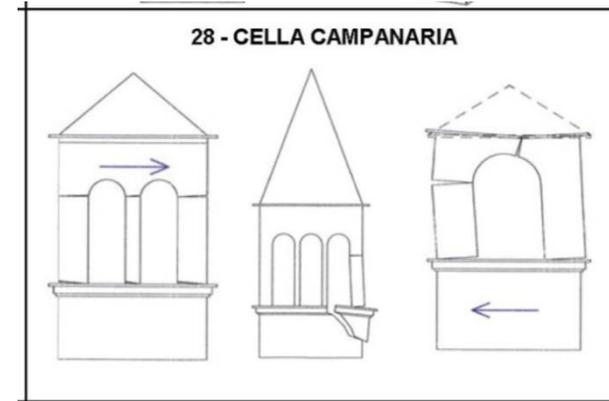
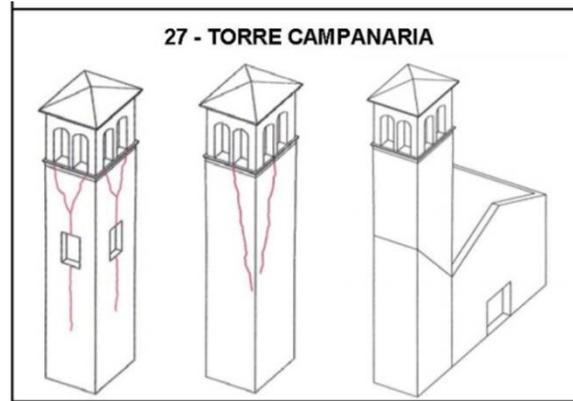
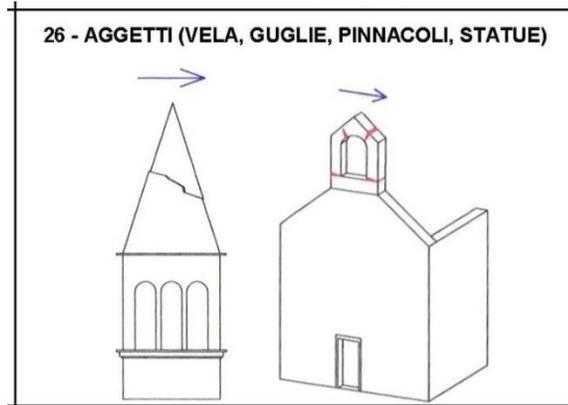
Beata Antonia, L'Aquila



San Marciano e Nicandro, L'Aquila



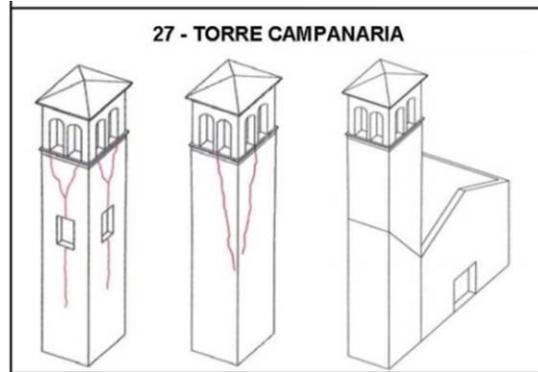
Meccanismi di aggetti, torri e celle campanarie



Chiesa di San Michele & Chiesa Parrocchiale, Villa Sant'Angelo (AQ)



Meccanismi di aggetti, torri e celle campanarie



Chiesa S. Francesco da Paola, Bagnolo in Piano (RE)



Chiesa di S. Bernardino, Salò (BS)



Chiesa Parrocchiale, Villa Sant'Angelo (AQ)

Qualità della muratura

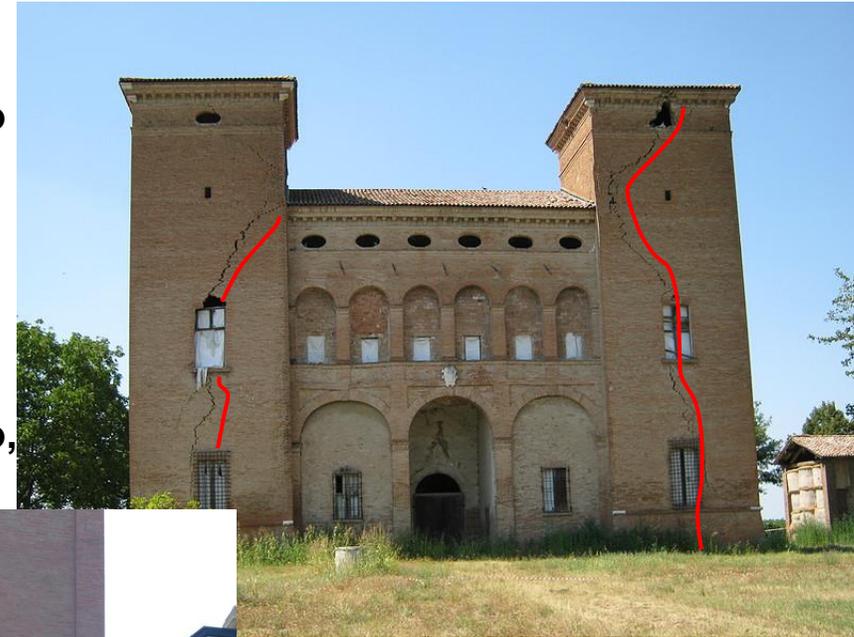
2009

San Michele, Villa
Sant' Angelo



2012

San Prospero



San Prospero,
Cavezzo



Collegiata Santa Maria



Maggiore, Mirandola

• Muratura incoerente, disgregazione paramenti

• Lesioni nette e scorrimento giunti

Effetto di catene e tiranti



Nella chiesa della Beata Antonia le catene originarie erano state tagliate, eternamente sono tuttora visibili i capochiave

Effetto di catene e tiranti

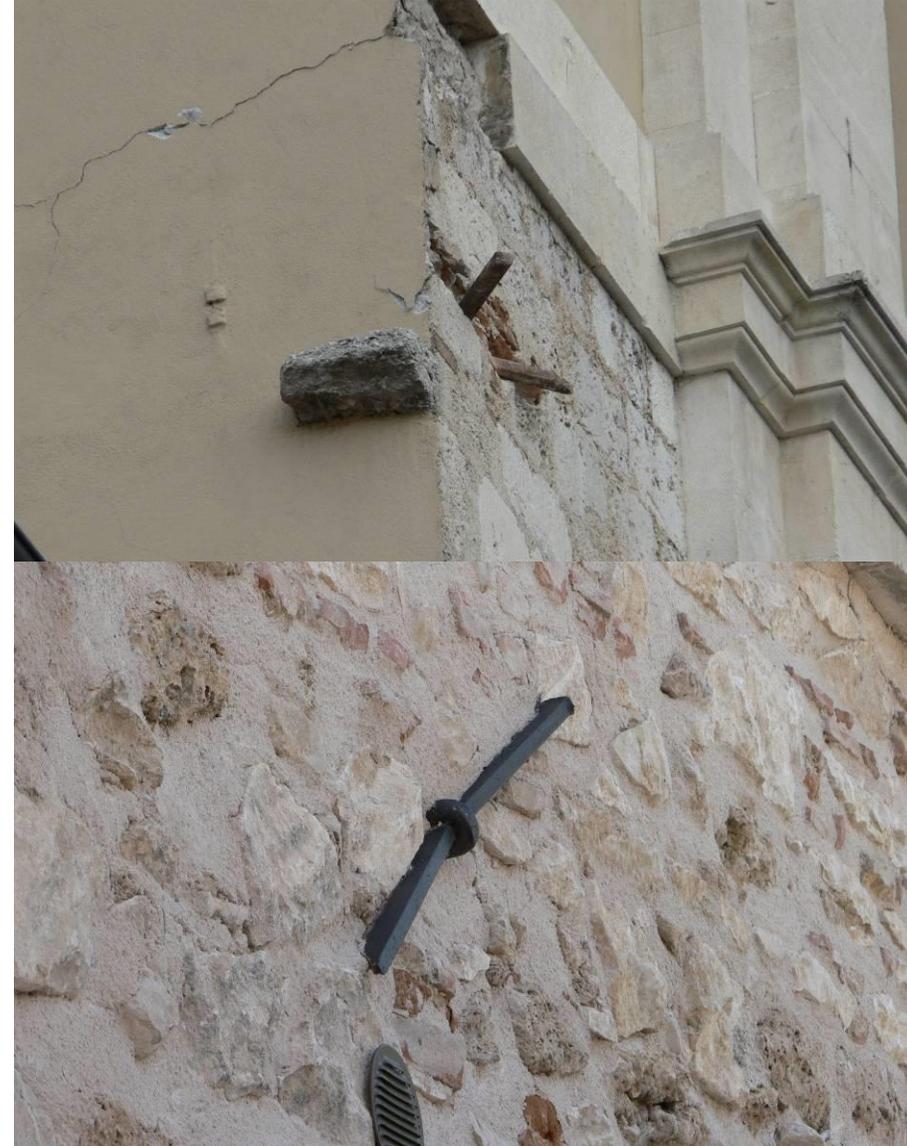
2012 Collegiata Santa Maria Maggiore, Mirandola



- Catene presenti, non in numero adeguato e non dimensionate.
- Punzonamento dei capochiave.

Effetto di catene e tiranti

In alcuni edifici del centro storico gli incatenamenti hanno contenuto i ribaltamenti delle facciate



Effetto di catene e tiranti

SANTA MARIA DEL SOCCORSO, L'AQUILA

Santa Maria del Soccorso: catene e
capochiave lignei

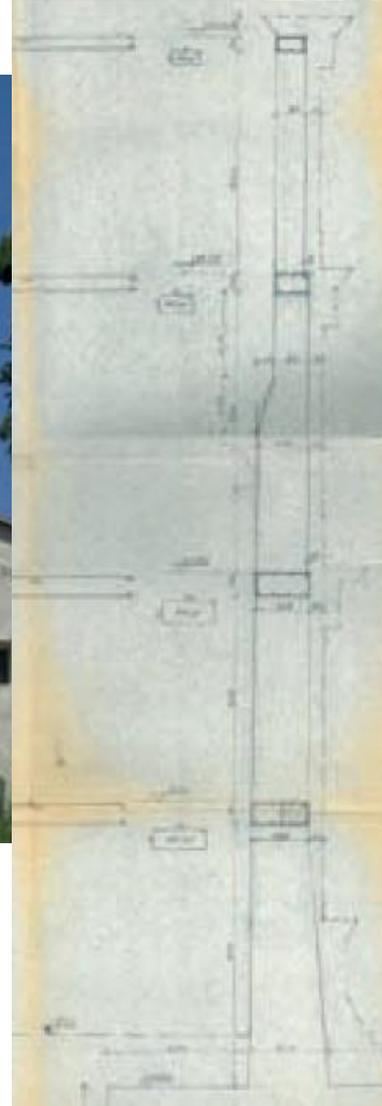


L'uso del cemento armato

SAN BERNARDINO, L'AQUILA



Realizzazione di un telaio in cemento armato a sostegno della facciata (1960).



L'uso del cemento armato

**San Domenico,
L'Aquila**



**San Biagio
d' Amiterno,
L' Aquila**



Umbria-Marche 1997



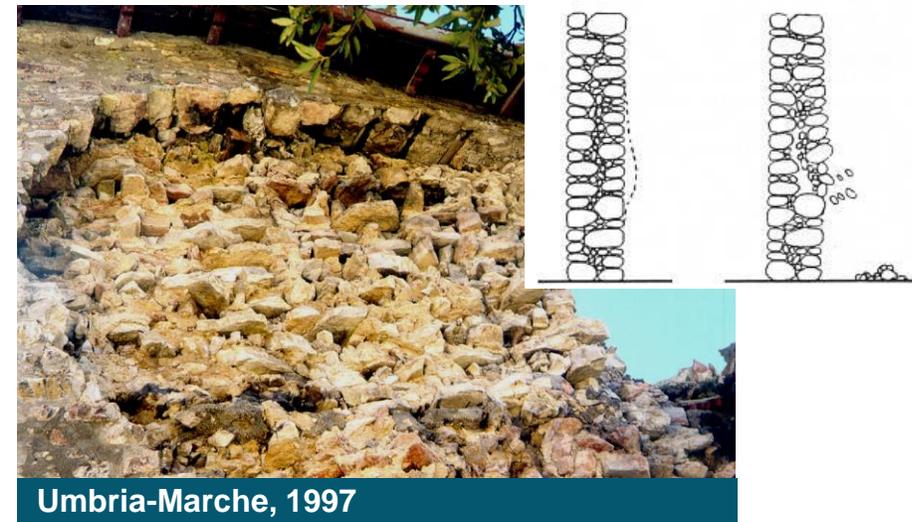
L'Aquila 2009



INDIVIDUAZIONE DEI DANNI A EDIFICI CONSOLIDATI REVISIONE DEI CRITERI D'INTERVENTO

E' emersa la riconsiderazione di **tecniche tradizionali di intervento**, l'utilità della **valutazione accurata dell'intervento**, della sua **applicazione in modo regolare ed uniforme**, del **controllo in fase esecutiva**. Gli interventi sono in particolare mirati a:

- RENDERE EFFICACI I COLLEGAMENTI**, mediante inserimento di tiranti, cerchiature esterne, idonea ammorsatura fra pareti confluenti in martelli murari ed angolate, cordoli in sommità, connessione dei colai di piano e delle coperture alle murature, etc.
- MIGLIORARE LA CONFIGURAZIONE STRUTTURALE**, con l'introduzione di nuovi elementi resistenti, la riduzione di spinte di volte e coperture, l'eliminazione o l'ampliamento di giunti tra corpi di fabbrica, l'eliminazione di piani deboli e di elementi vulnerabili, etc.
- MIGLIORARE LA QUALITÀ DELLE MURATURE**, mediante consolidamento e, se necessario, sostituzione



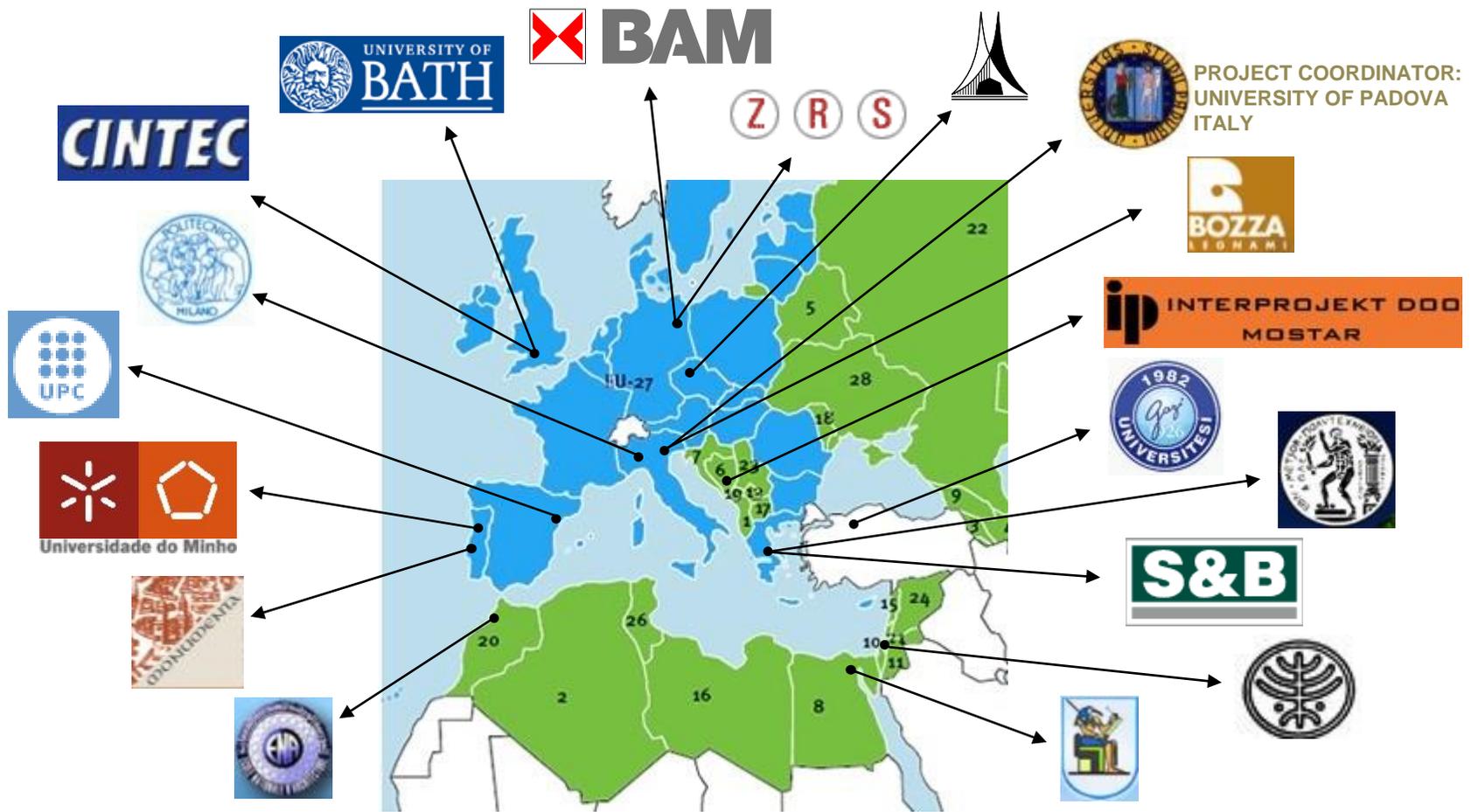
- **SICUREZZA STRUTTURALE**
- **INSEGNAMENTI DALLE ESPERIENZE PASSATE**
- **TECNICHE DI INTERVENTO - Il database Niker**
- **CASI STUDIO**
 - La Fortezza Spagnola de L'Aquila
 - La Chiesa di San Silvestro a L'Aquila
 - Palazzo Ducale di Urbino
 - Idrovora di San Siro - Mantova

IL PROGETTO NIKER: SCOPO PRINCIPALE



Sviluppo di metodologie integrate e basate sulla conoscenza per la protezione dei Beni Culturali dal rischio sismico, sulla base dell'ottimizzazione e minimizzazione degli interventi.

PARTNERSHIP



NUOVO CATALOGO 'STRUTTURATO'

<https://niker.isqweb.it/>

NIKER New Integrated Knowledge based approaches to the protection of cultural heritage from Earthquake-induced Risk

Username: Password: [LOGIN](#) [Forgot password?](#) [DISCLAIMER](#) PUBLICATIONS

CONSTRUCTION TYPOLOGIES



Buildings and Palaces



Religious buildings



Towers



Free-Standing Elements

CONSTRUCTION ELEMENTS

Wall 

Floor 

Roof 

Arch / Vault 

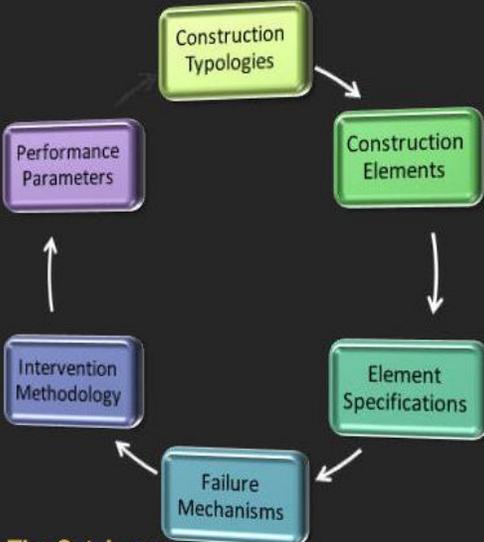
Columns 

Sub-Assemblage Connections 



The Project

The NIKER project proposes the development of a new integrated methodology for solving problems concerning the conservation of historic buildings in seismic areas, aiming at improving the general safety level and for reducing the loss of artistic value. (see more at <http://www.niker.eu>)

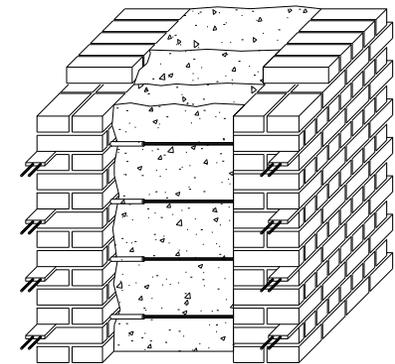
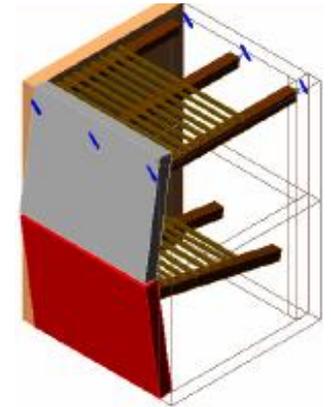
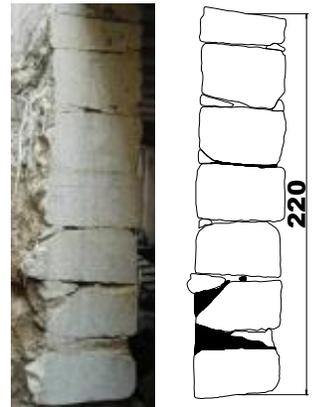
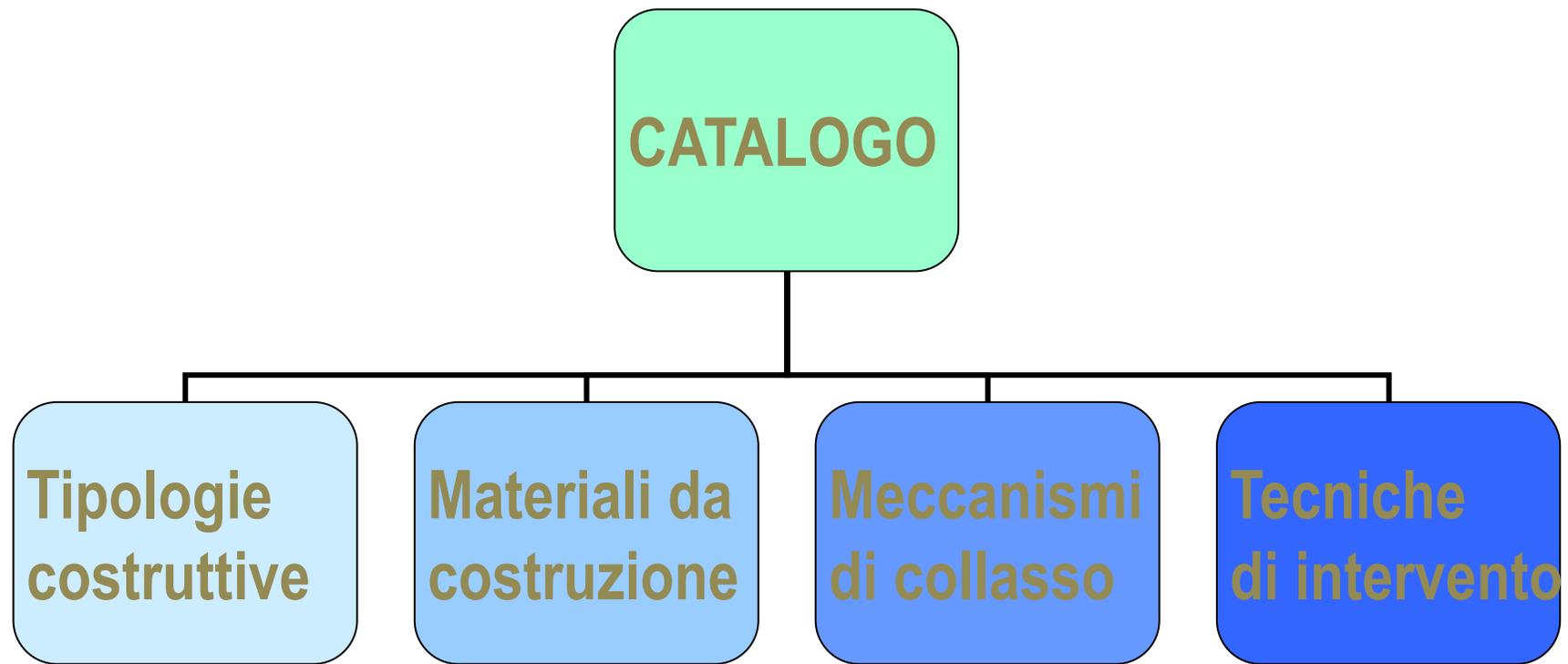


The Catalogue

NIKER Catalogue links earthquake induced failure mechanisms, construction typologies and materials, interventions and assessment techniques. This aims at knowledge-based optimization of interventions and definition of main design parameters and requirements for materials and intervention techniques.

www.niker.eu

L'OBIETTIVO DEL CATALOGO



- **SICUREZZA STRUTTURALE**
- **INSEGNAMENTI DALLE ESPERIENZE PASSATE**
- **TECNICHE DI INTERVENTO** - Il database Niker
- **CASI STUDIO**
 - La Fortezza Spagnola de L'Aquila
 - La Chiesa di San Silvestro a L'Aquila
 - Il Palazzo Ducale di Urbino
 - Idrovora di San Siro - Mantova

Mercoledì 14 – 12 -2022

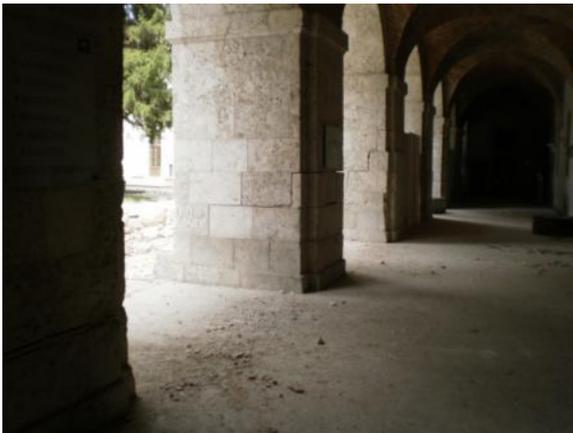
IL CONSOLIDAMENTO STRUTTURALE
Criteria, tecniche e cantieri



RILIEVO DEL DANNO

DANNI PRINCIPALI:

- ❑ ribaltamento fuori-piano e meccanismi flessionali nelle pareti;
- ❑ rotture a taglio nei muri;
- ❑ danni ad archi e volte;
- ❑ crolli locali di solai e volte.



RILIEVO DEL DANNO

Crollo parziale della sommità della parete laterale e della copertura



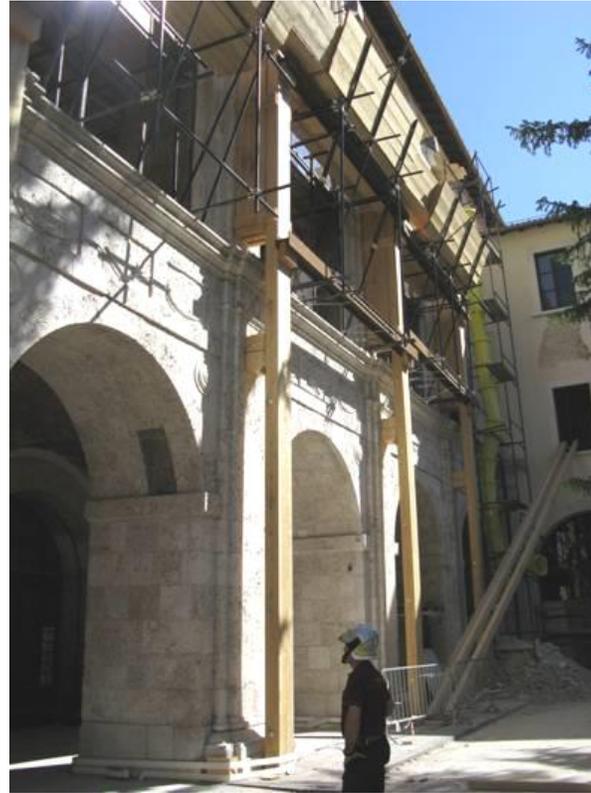
Prima del sisma.



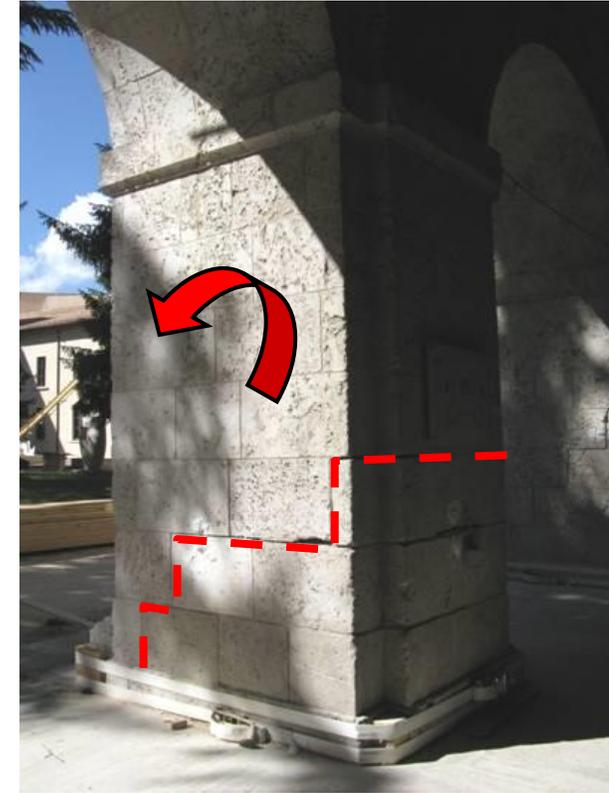
Dopo il sisma.

RILIEVO DEL DANNO

Ribaltamento del loggiato e dei piloni del piano terra



Il porticato a doppia loggia.



Individuazione della lesione.

Ribaltamento del loggiato e dei pilastri del piano terra



SPANCIAMENTO DEL FRONTE A LIVELLO DEL SECONDO ORIZZONTAMENTO



PIANO PRIMO



BASE DEL PILASTRO

RILIEVO DEL DANNO



RILIEVO DEL DANNO

Lesioni a taglio dei muri

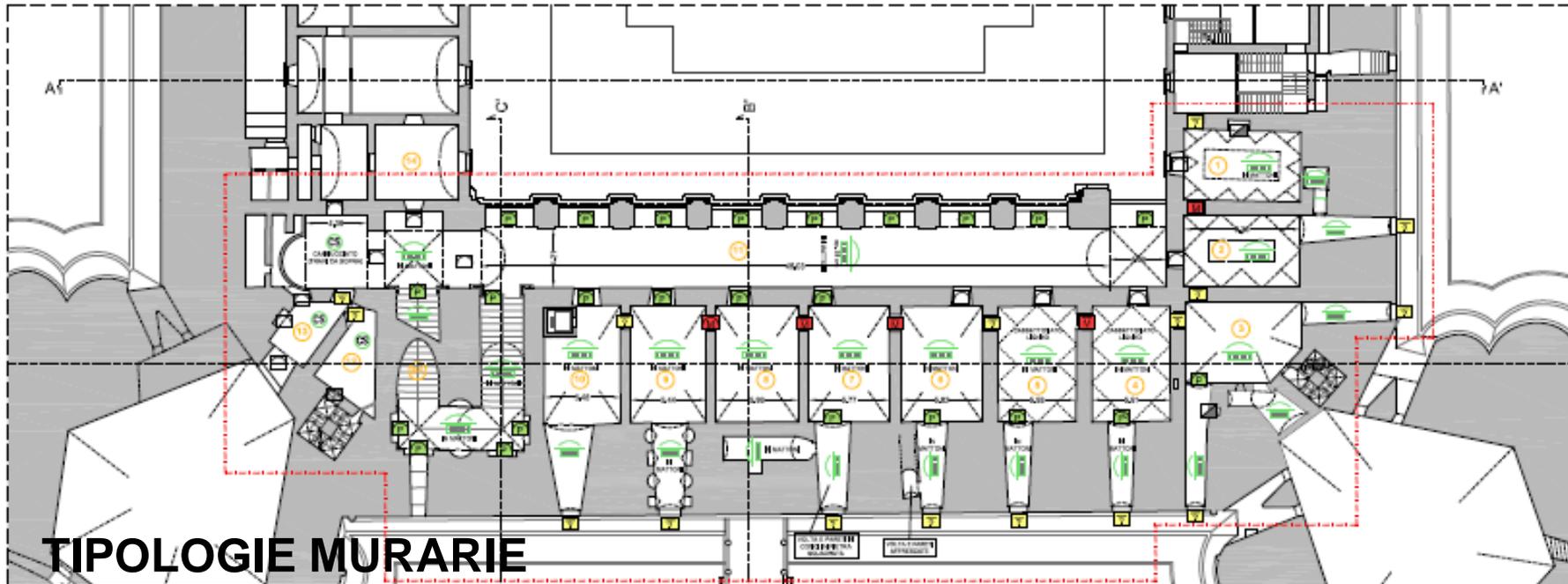




Caratteristiche scadenti delle murature



PIANO PRIMO 1:200



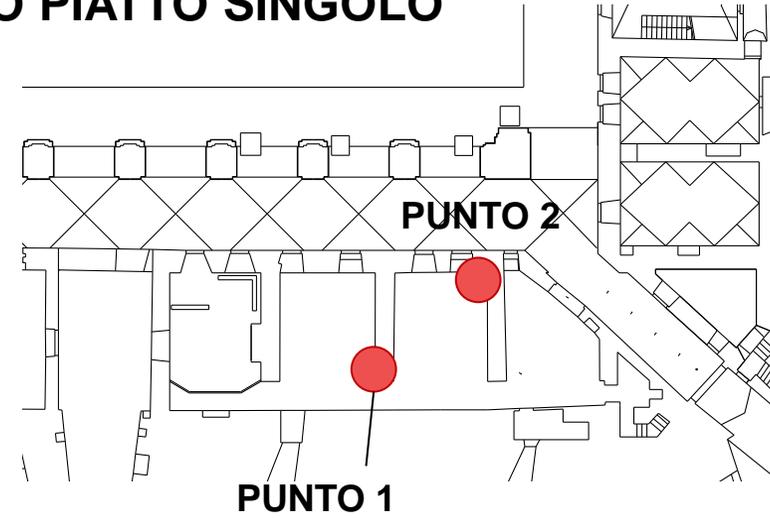
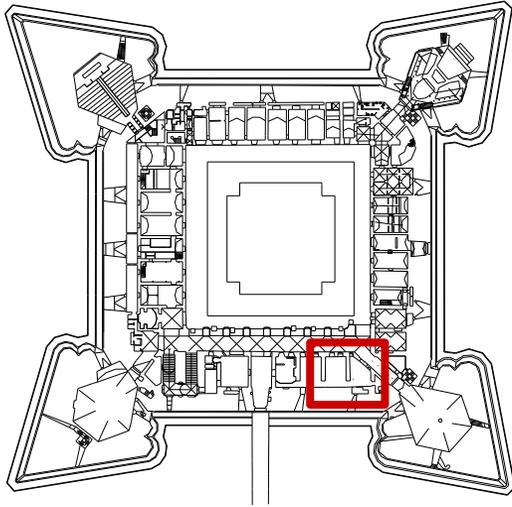
TIPOLOGIE MURARIE



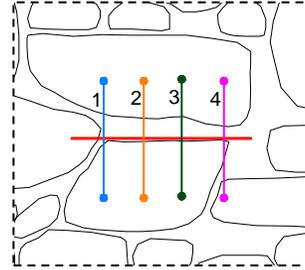
CARATTERISTICHE COSTRUTTIVE ELEMENTI STRUTTURALI

ORIZZONTAMENTI	ARCHITRAVI
ORIZZONTAMENTO IN LEGNO	ARCHITRAVE
ORIZZONTAMENTO FUTRELLE E TAVELLONI	ARCHITRAVE IN LATERIZIO
ORIZZONTAMENTO IN LATEROCEMENTO	ARCHITRAVE IN PIETRA
VOLTA IN SPESSORE	ARCHITRAVE IN ACCIAIO
VOLTA IN CANNUCIATO	ARCHITRAVE IN CA
CONTROSSOFFITTO	ARCO
	ARCO IN LATERIZIO
	ARCO IN PIETRA
	CAVEDI - CANNE FUMARIE

PROVE SONICHE – MARTINETTO PIATTO SINGOLO



MARTINETTO PIATTO SINGOLO

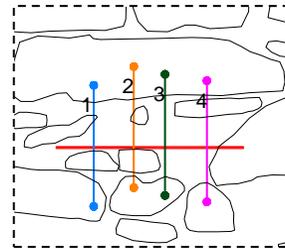


Point 1

State of stress



2.47 N/mm²

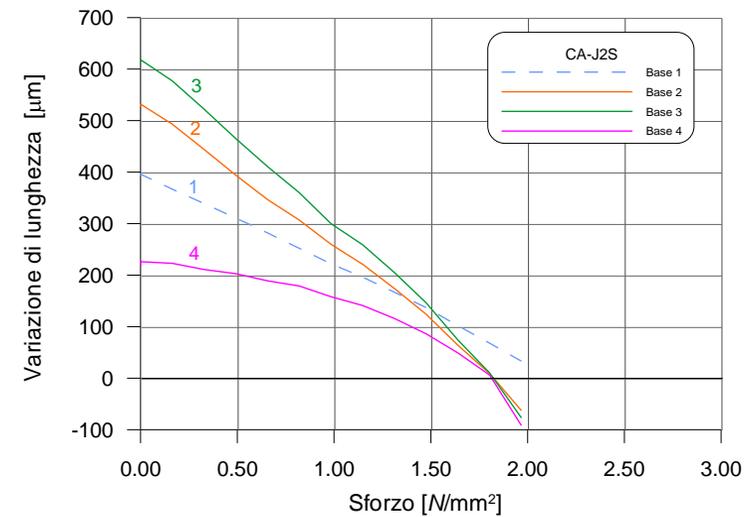
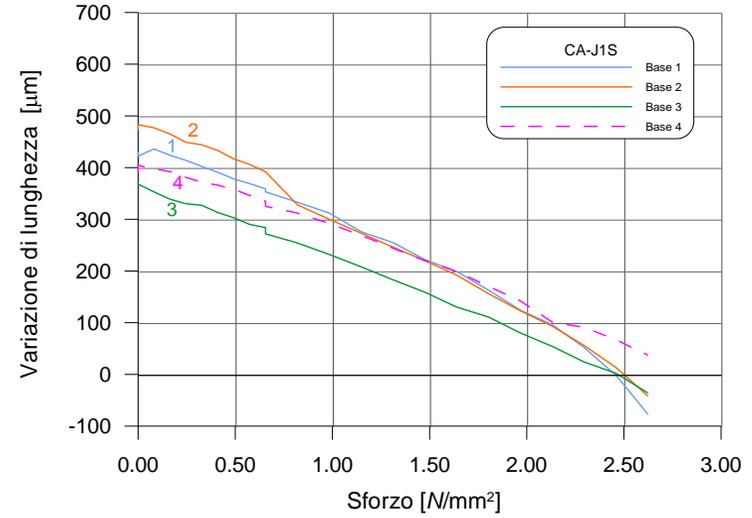


Point 2

State of stress



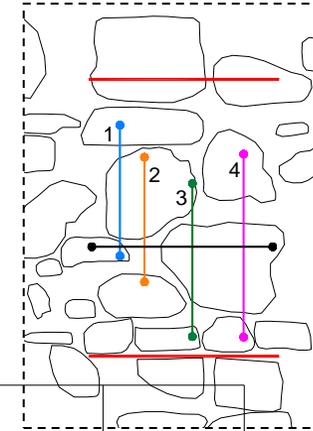
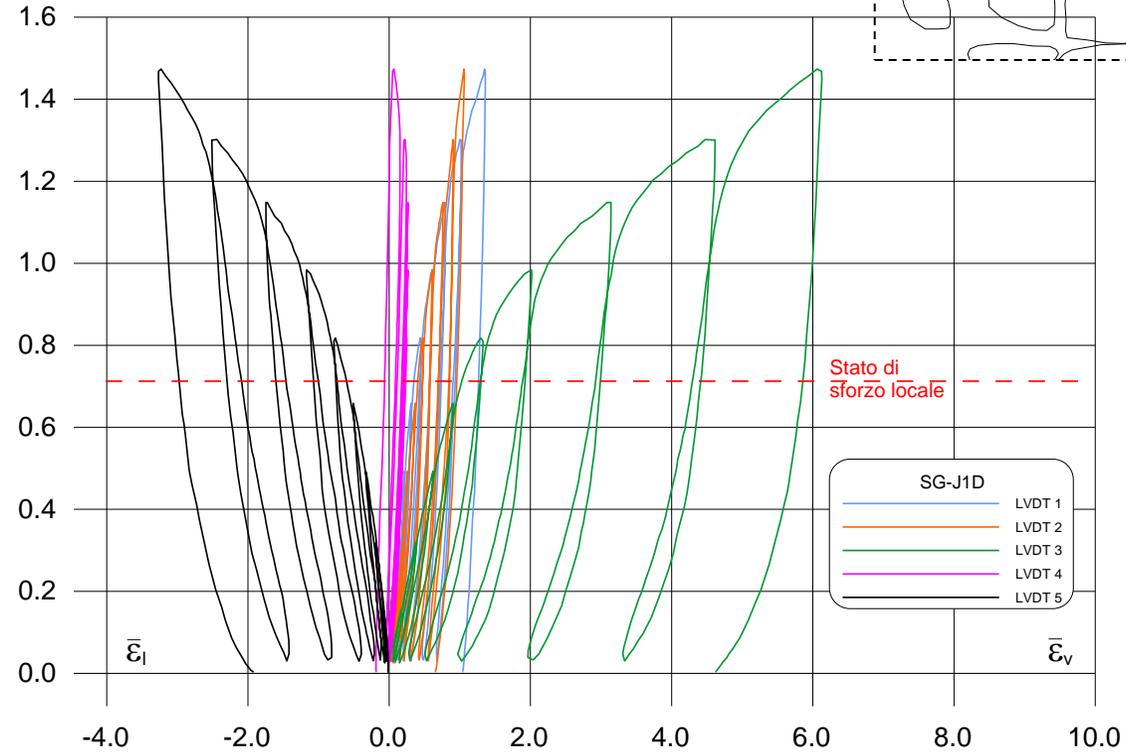
1.82 N/mm²

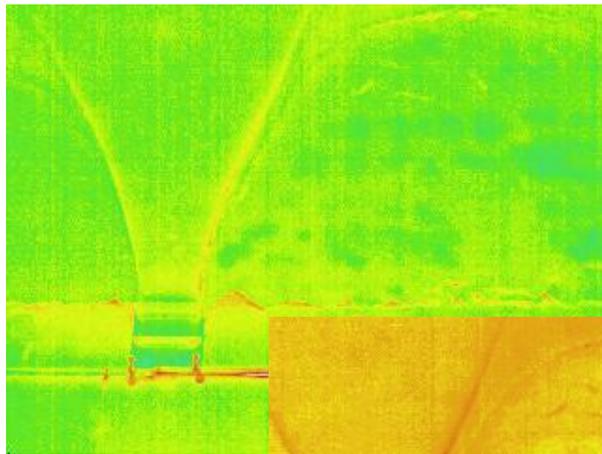




MARTINETTI PIATTI DOPPI

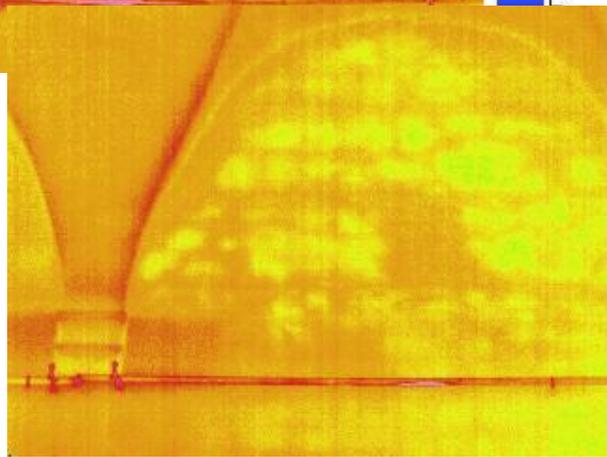
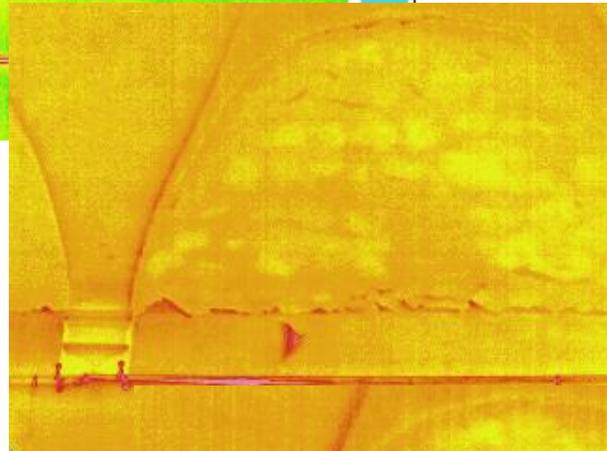
Martinetto piatto doppio – CA-J3D

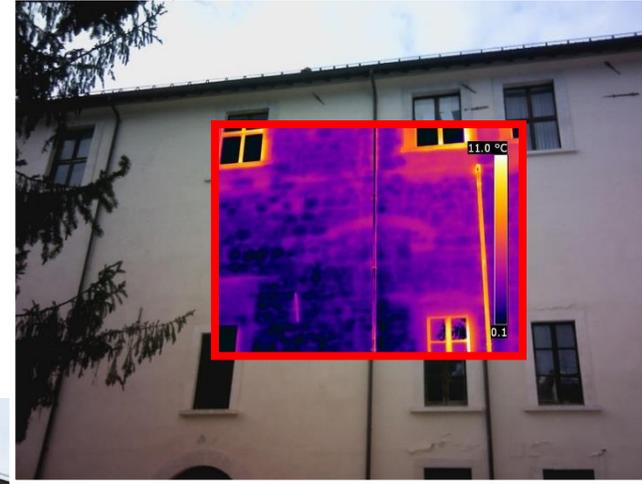
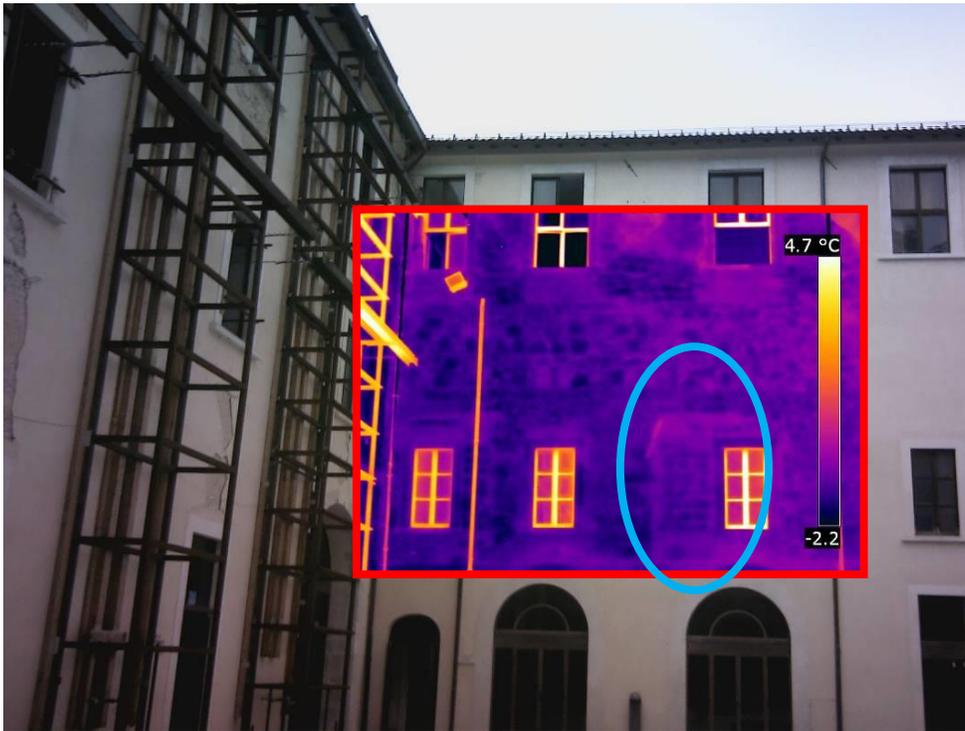




TERMOGRAFIE

CA-T2

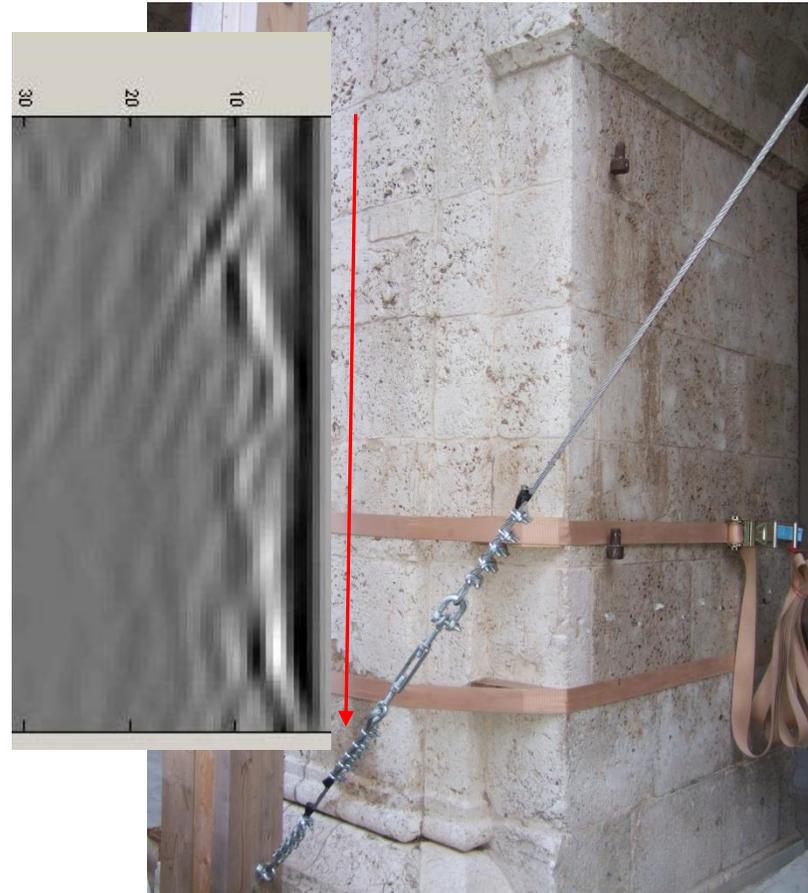




**Identificazione di aperture
richiuse, archi, capochiavi,
ecc...**

RADAR

Profilo su pilastro 1 con antenna da 200MHz

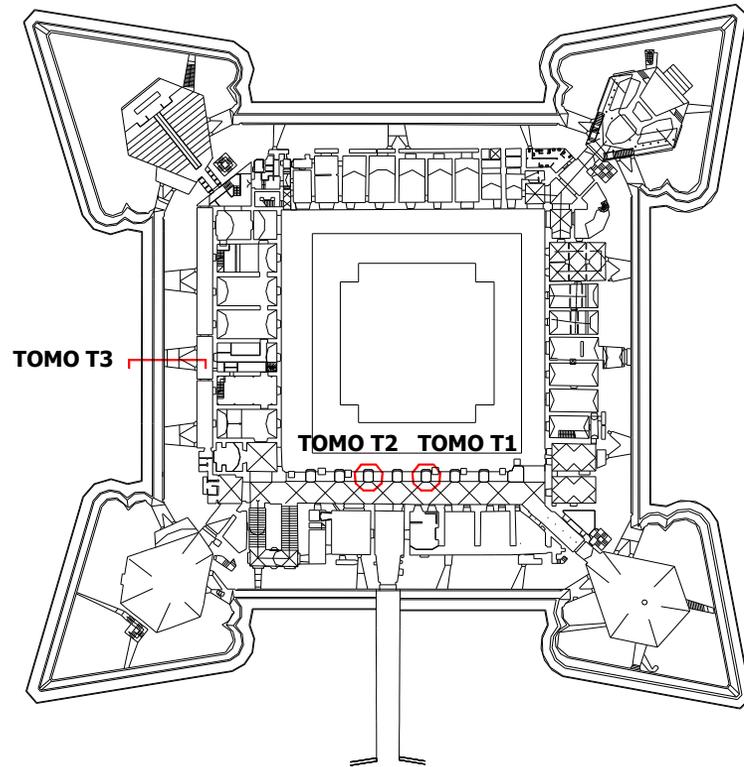


Sono state eseguite prove radar sui pilastri danneggiati per studiare la morfologia della sezione. Si nota il diverso spessore delle pietre.

Si stanno ancora elaborando i risultati

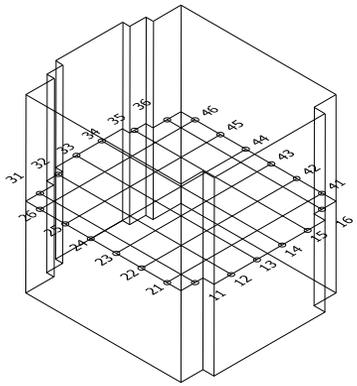
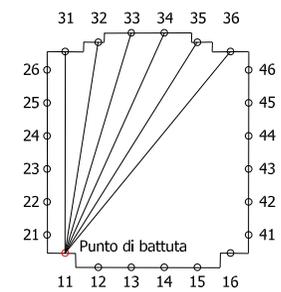
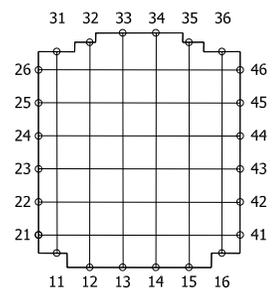
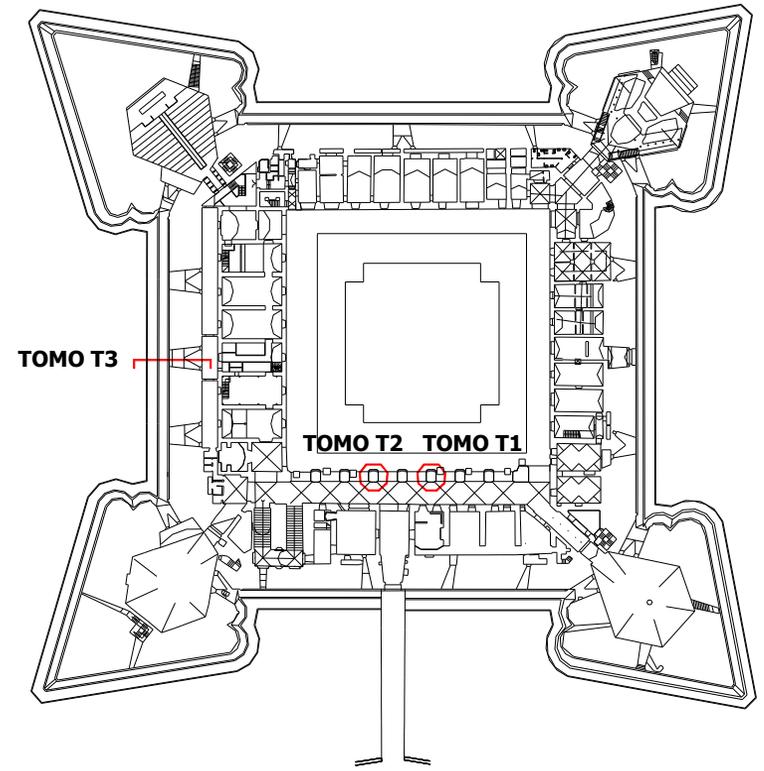
TOMOGRAFIE SONICHE

Le prove soniche sono state eseguite su due pilastri della fortezza: uno danneggiato dal terremoto, l'altro invece intatto.

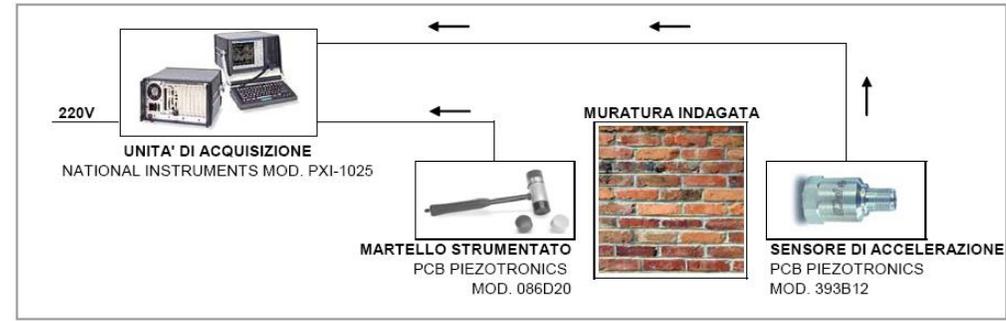


TOMOGRAFIE SONICHE

Le prove soniche sono state eseguite su due pilastri della fortezza: uno danneggiato dal terremoto, l'altro invece intatto.

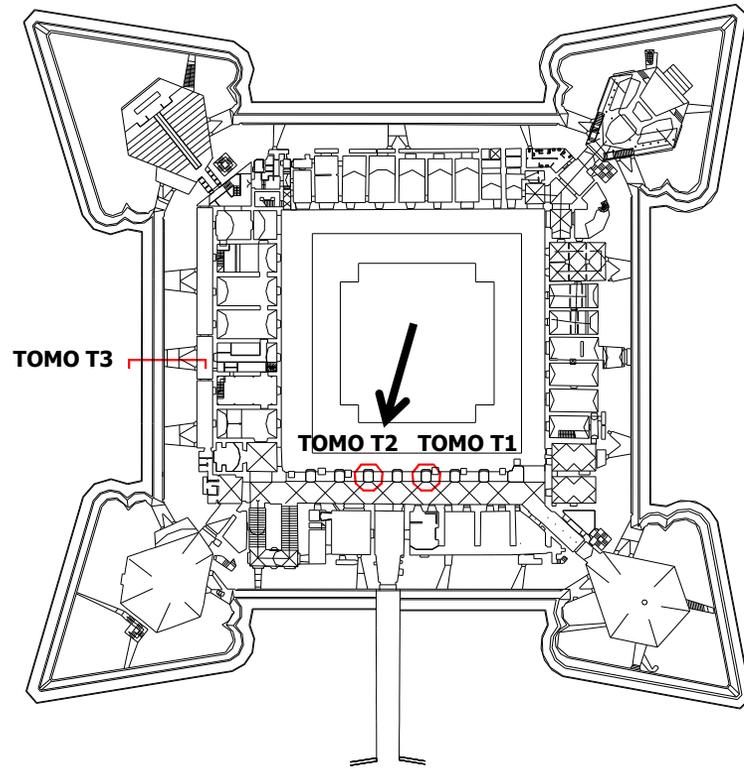


a) b)
Griglia dei punti di acquisizione



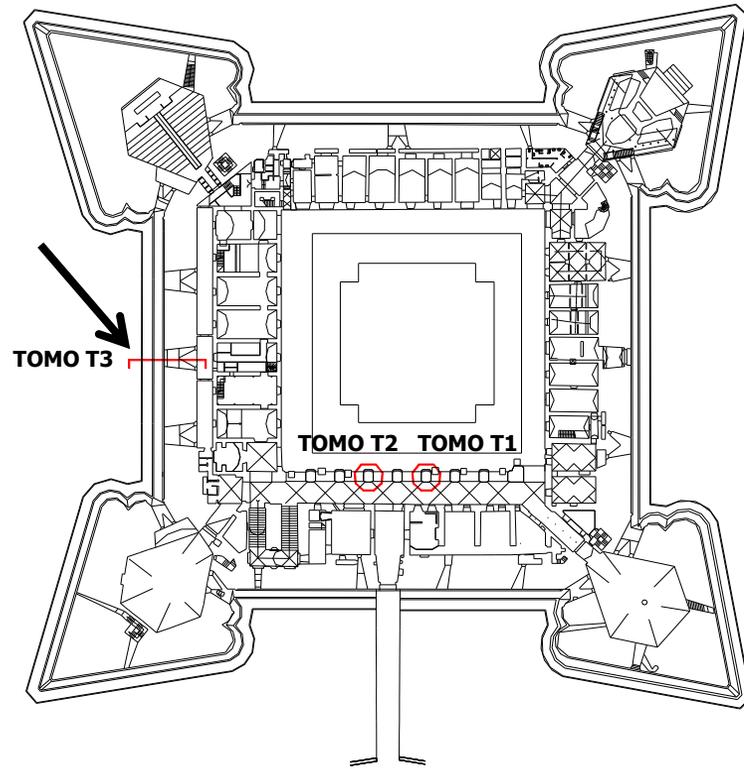
TOMOGRAFIE SONICHE

Le prove soniche sono state eseguite su due pilastri della fortezza: uno danneggiato dal terremoto, l'altro invece intatto.



TOMOGRAFIE SONICHE

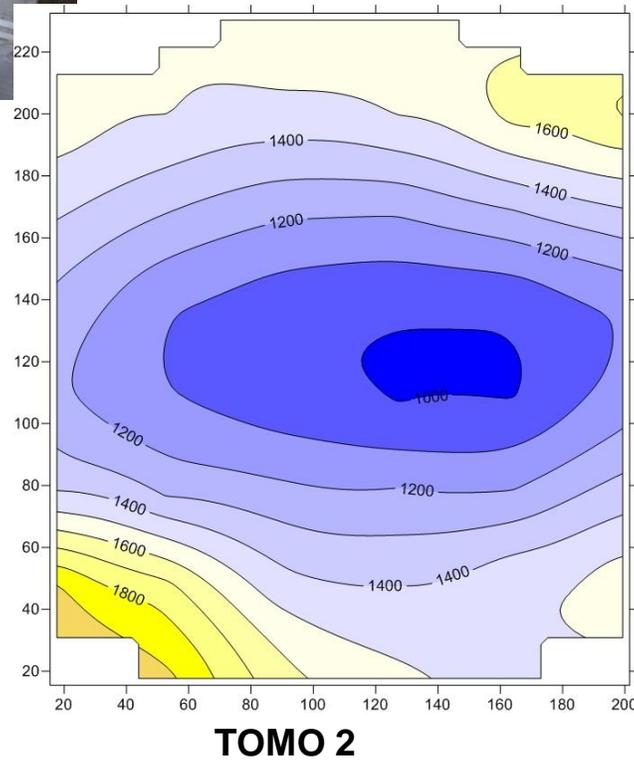
La terza tomografia è stata condotta su una parete muraria nell'ala sud-est del castello. Lo scopo prefisso è stato quello di raccogliere dati qualitativi sulla muratura di questa area della fortezza pesantemente danneggiata dal sisma.



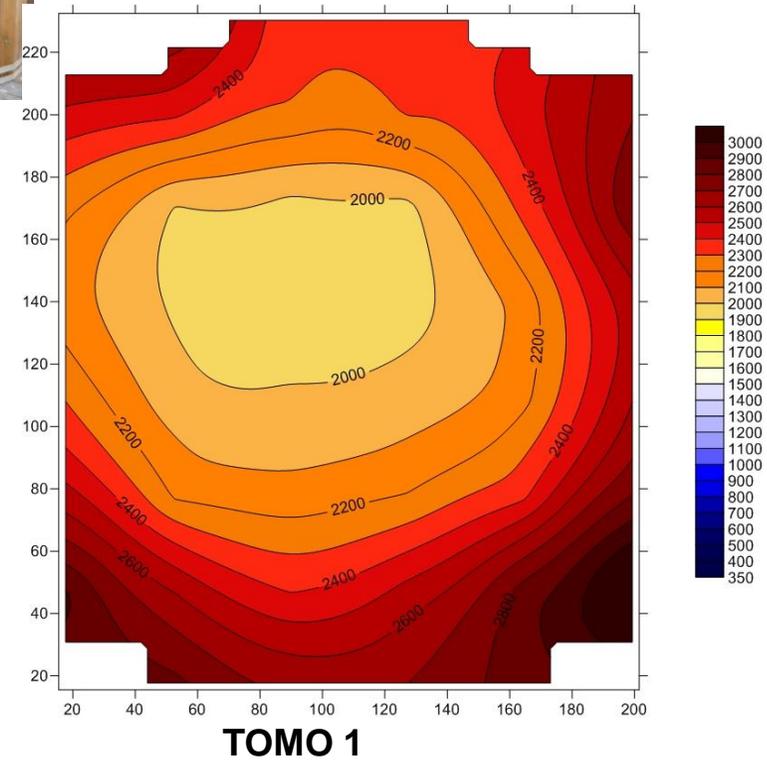
L'analisi dei risultati inerenti i due pilastri mostra una distribuzione omogenea delle velocità soniche in quello non danneggiato, mentre sono state evidenziate alcune discontinuità nella parte interna del pilastro danneggiato. La tomografia permette di identificare la lesione principale che interessa l'intero spessore del pilastro.



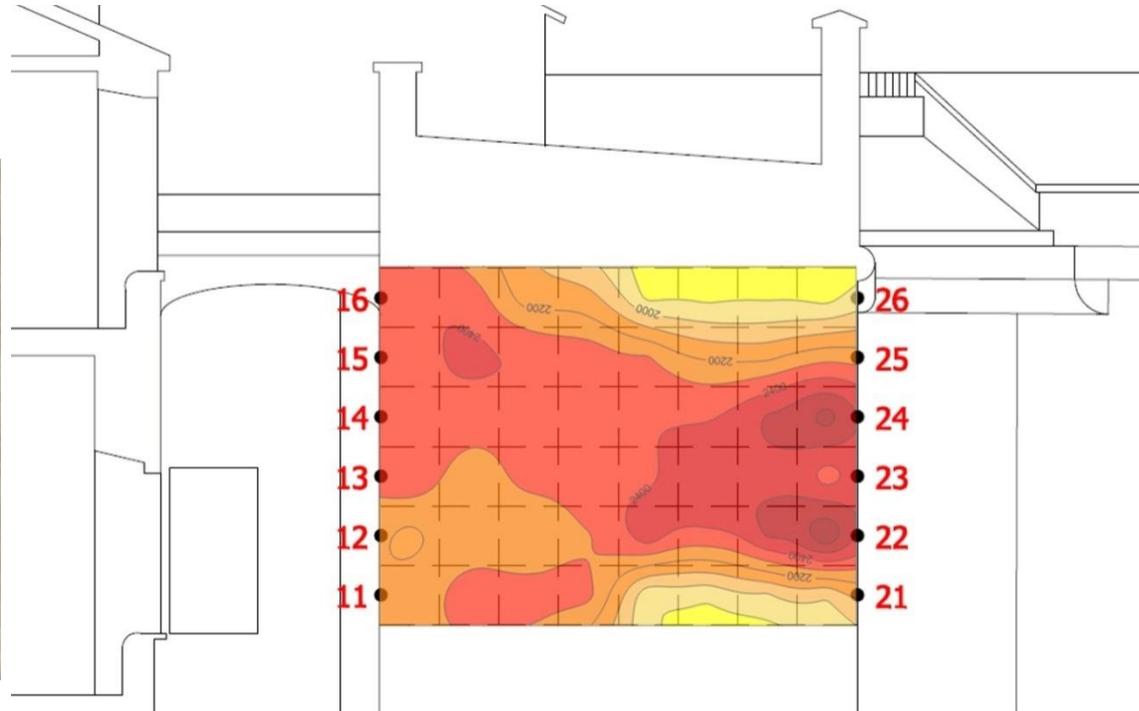
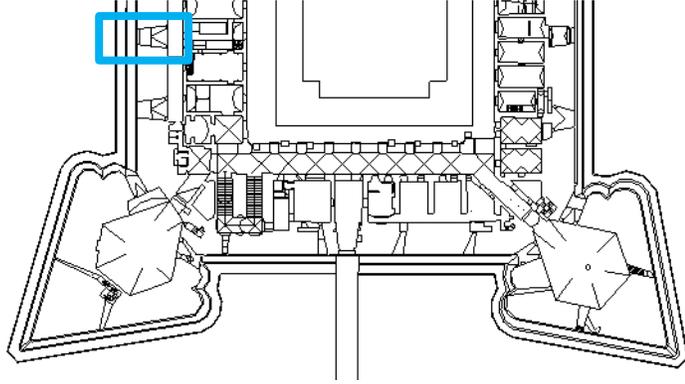
PILASTRO DANNEGGIATO



PILASTRO INTEGRO



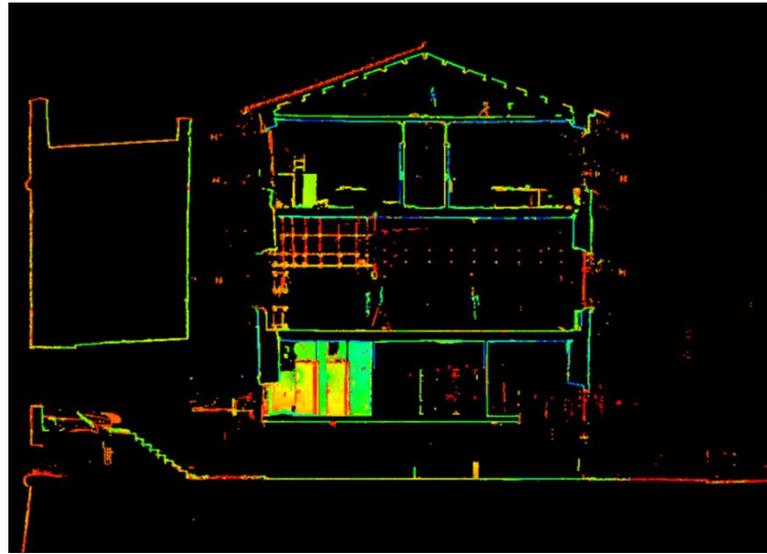
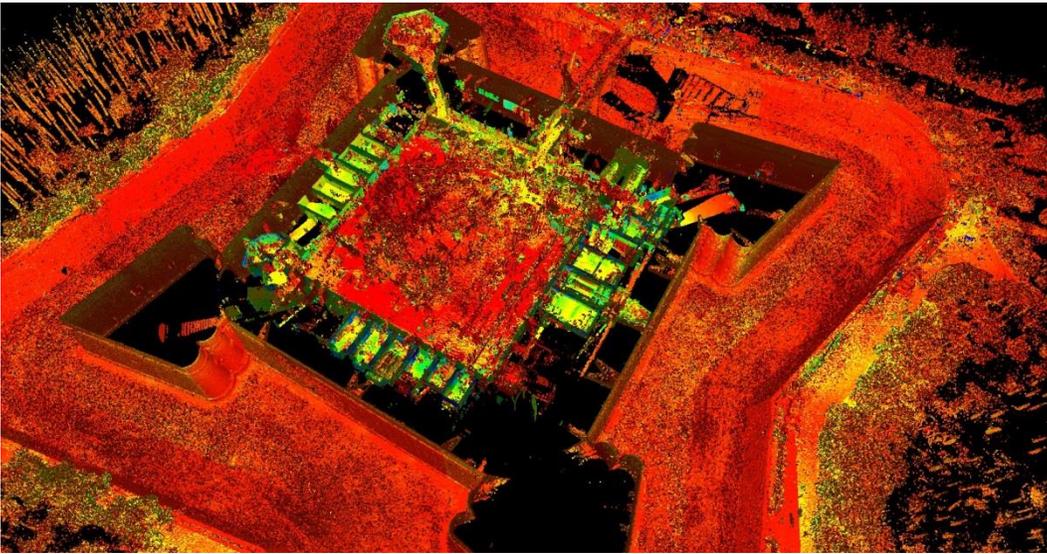
La tomografia della parete spessa mostra una distribuzione omogenea delle velocità soniche attraverso lo spessore. La muratura, anche all'interno del muro, è di buona qualità



Mercoledì 14 – 12 -2022

IL CONSOLIDAMENTO STRUTTURALE

Criteria, tecniche e cantieri

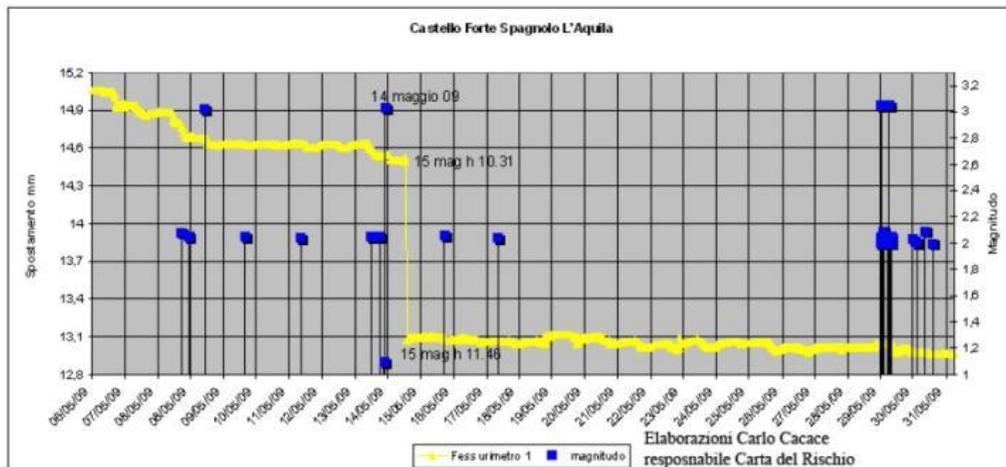


Il rilievo laser scanner è di fondamentale importanza per la verifica degli allineamenti murari e lo spessore degli orizzontamenti.

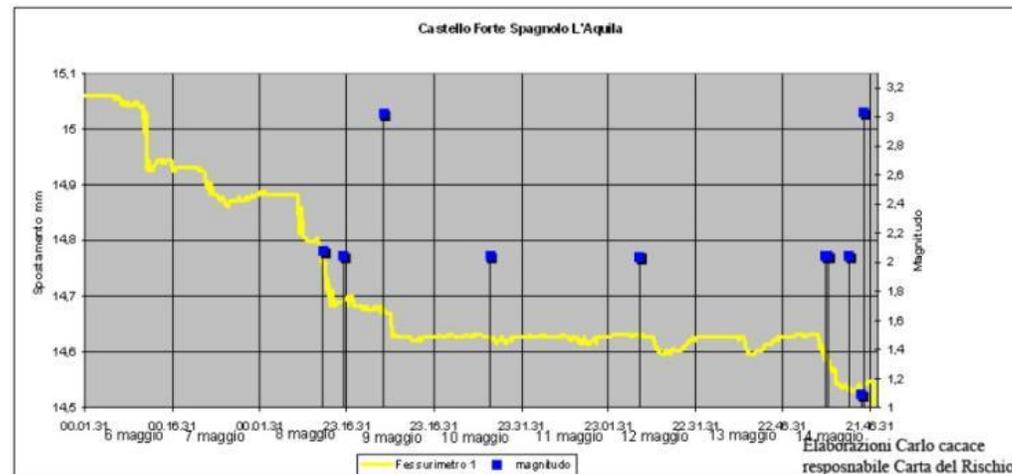
SISTEMA DI MONITORAGGIO STATICO



SISTEMA DI MONITORAGGIO STATICO

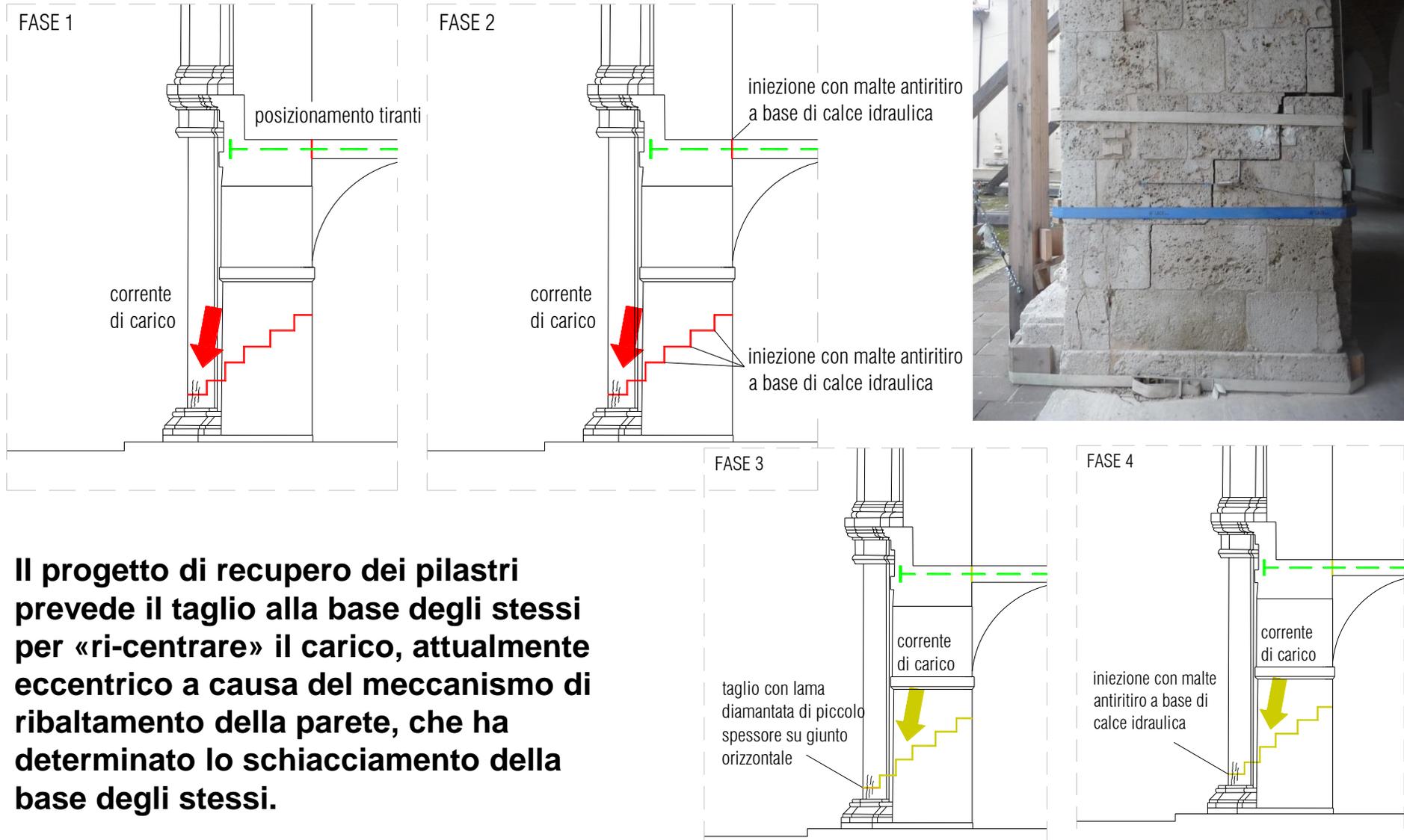


Maggio 2009 rappresentazione delle magnitudo (IGNV) e i rilevamenti dei fessurimetri Il giorno 15 maggio Sono stati applicati i tiranti e si giustifica il salto (chiusura della fessura).



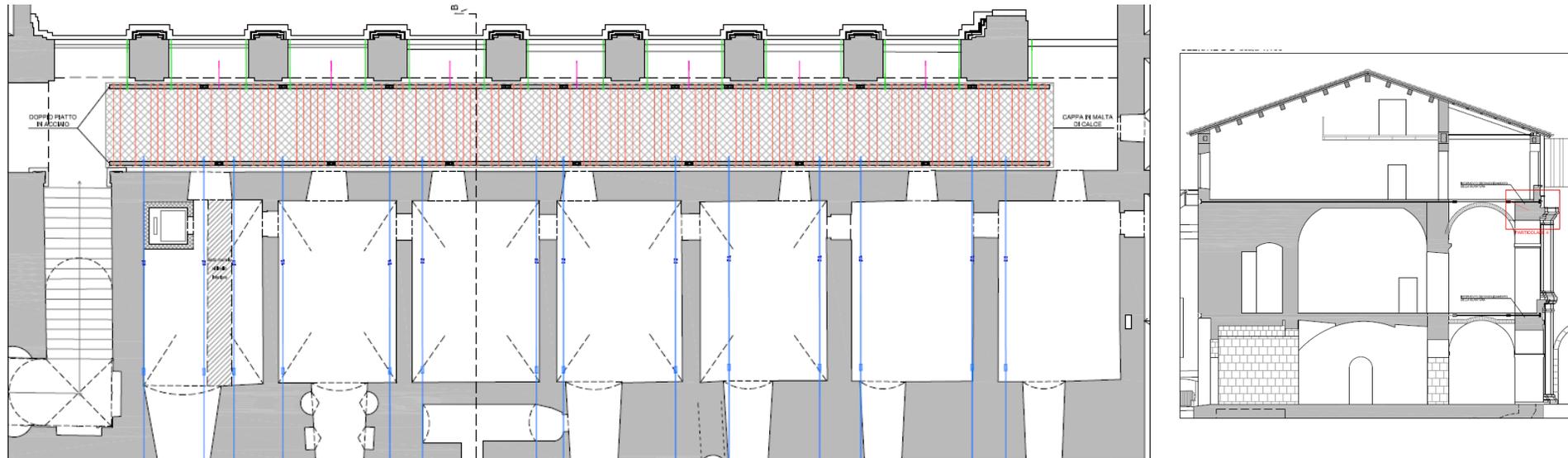
Maggio 2009 rappresentazione delle magnitudo (IGNV) e i rilevamenti dei fessurimetri. Il mese è suddiviso due momenti prima dei tiranti. (06-15/05)

Ala sud-est: progetto d'interventi CONSOLIDAMENTO DEI PILASTRI



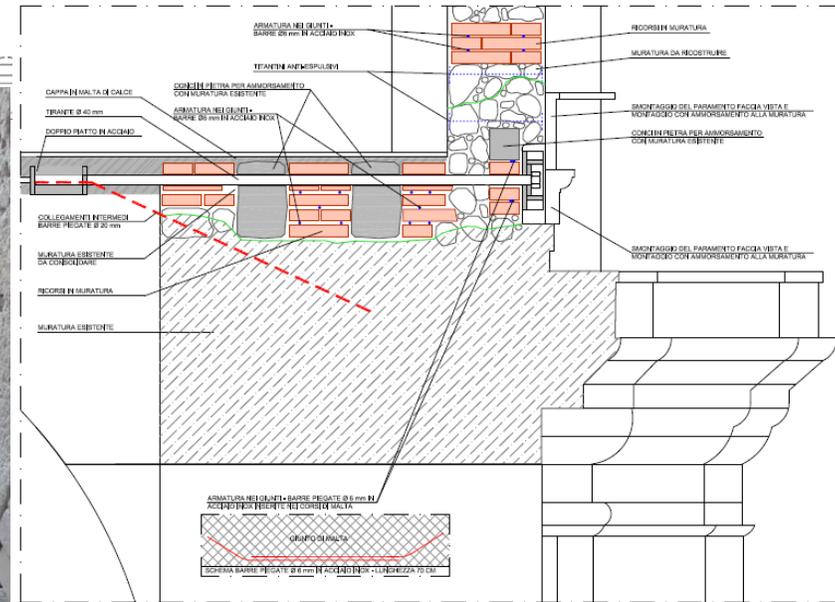
Il progetto di recupero dei pilastri prevede il taglio alla base degli stessi per «ri-centrare» il carico, attualmente eccentrico a causa del meccanismo di ribaltamento della parete, che ha determinato lo schiacciamento della base degli stessi.

Ala sud-est: progetto d'interventi
POSIZIONAMENTO DEI TIRANTI



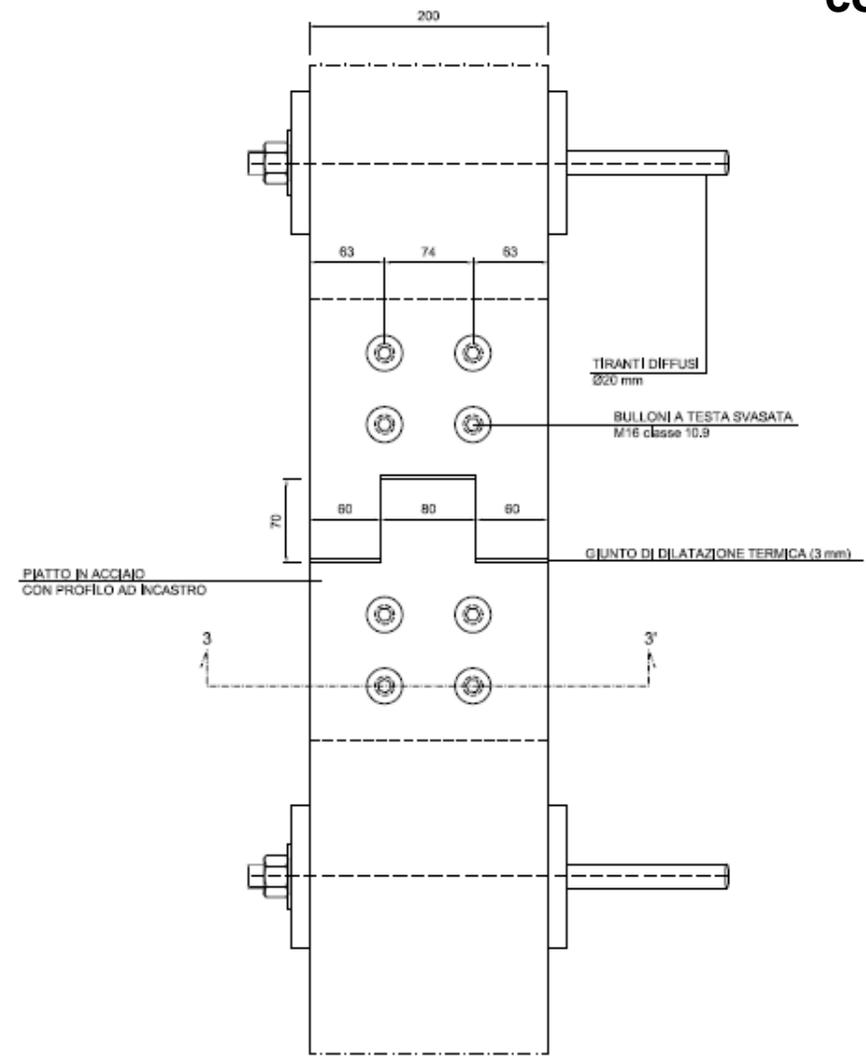
Problematiche rispetto al posizionamento dei tiranti:

- Assenza di allineamento tra setti murari e pilastri
- Limitato spessore tra pavimento e estradosso della volta

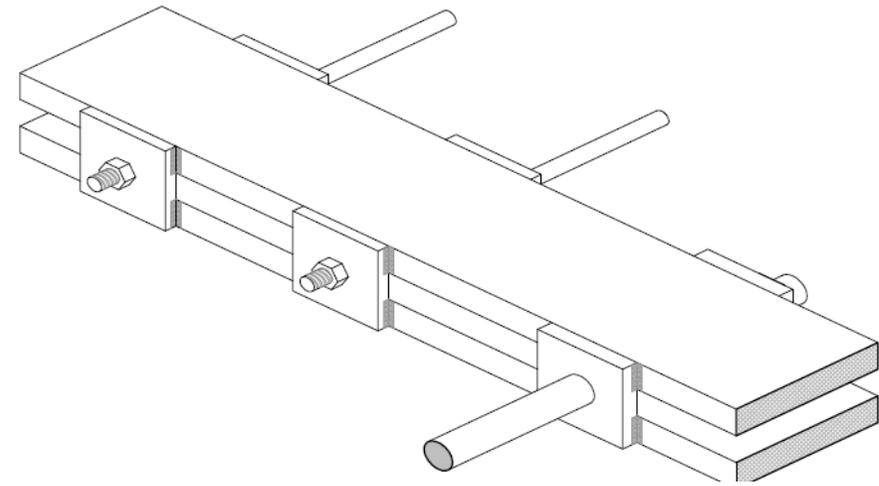


Ala sud-est: progetto d'interventi
POSIZIONAMENTO DEI TIRANTI

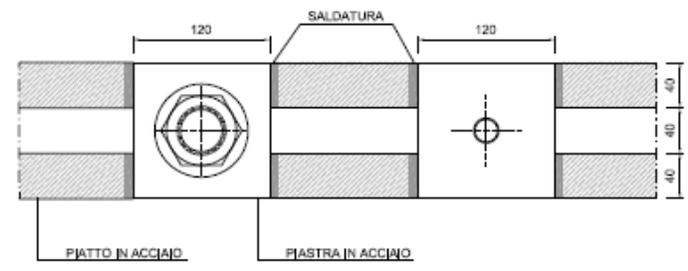
VISTA DALL'ALTO GIUNZIONE PIATTI



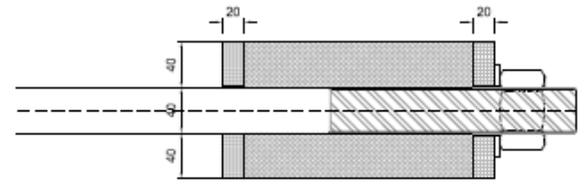
Creazione di un sistema «reticolare» per consentire lo sfalsamento dei tiranti.



VISTA LATERALE



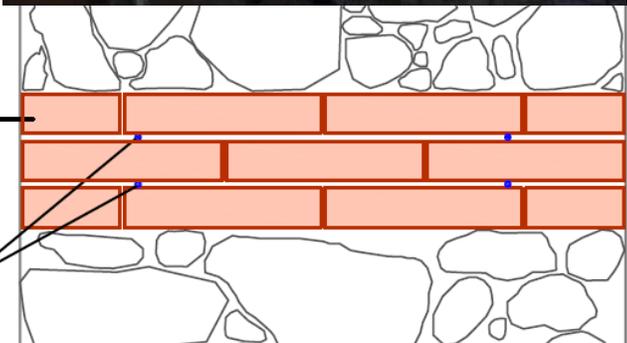
SEZIONE 1-1'



Ala sud-est: progetto d'interventi
RICOSTRUZIONE DELLE MURATURE CROLLATE

Tra le principali problematiche connesse alla ricostruzione di strutture gravemente danneggiate vi è la presenza di murature con caratteristiche meccaniche scarse o addirittura pessime.

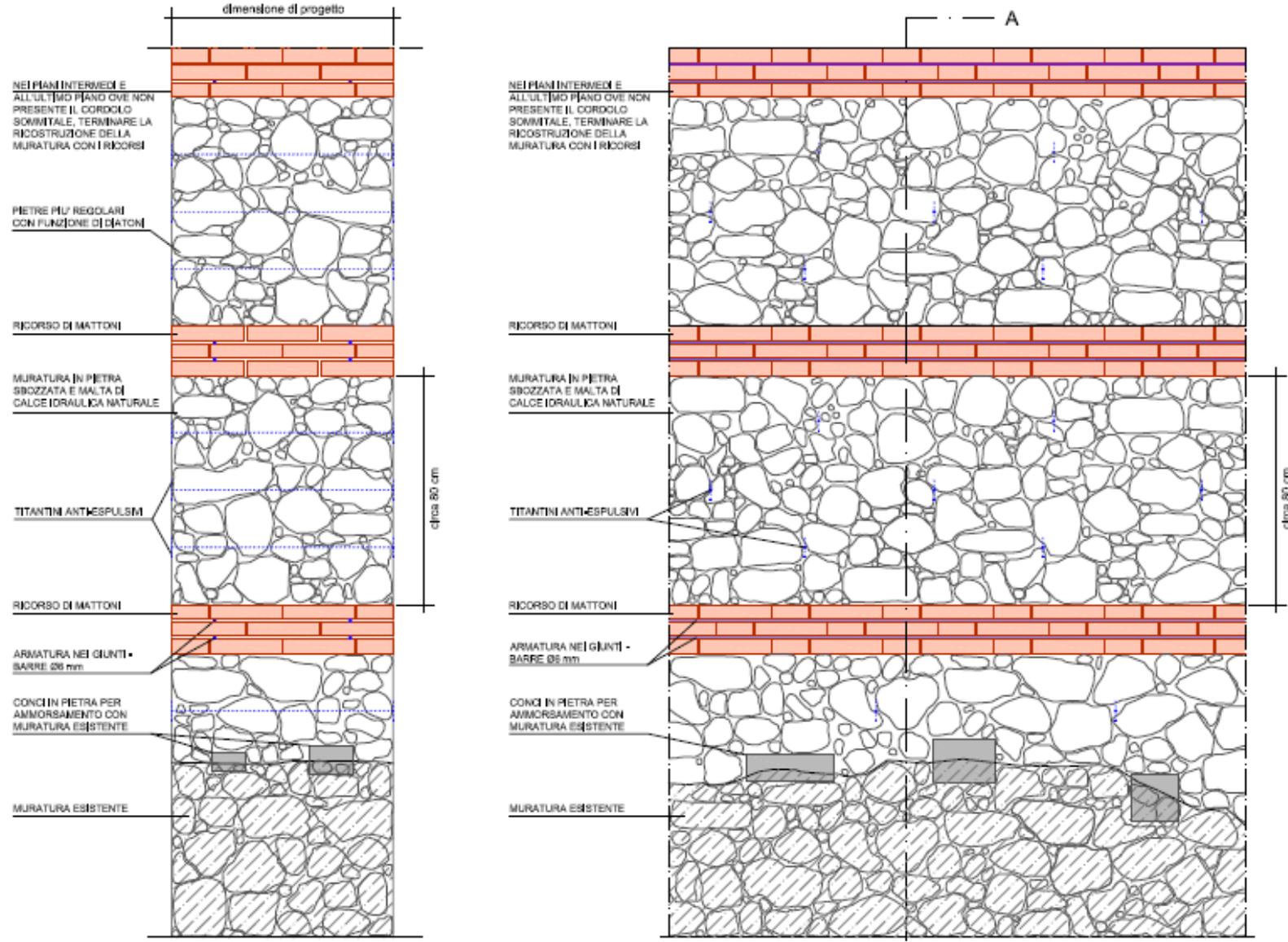
Si pone quindi il problema di trovare una tipologia costruttiva che garantisca delle buone proprietà meccaniche di resistenza e coesione e al tempo stesso rispetti la tradizione costruttiva originaria.



ARMATURA NEI GIUNTI -
BARRE Ø6 mm

**PROGETTO DI
RICOSTRUZIONE: utilizzo di
ricorsi in mattoni con
armature inserite nei giunti**

Ala sud-est: progetto d'interventi
RICOSTRUZIONE DELLE MURATURE CROLLATE



Ala sud-est: progetto d'interventi
INTERVENTI SULLE COPERTURE

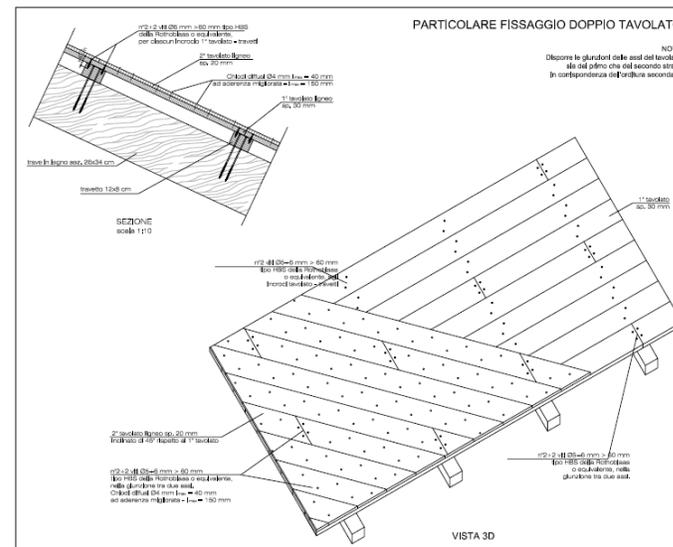
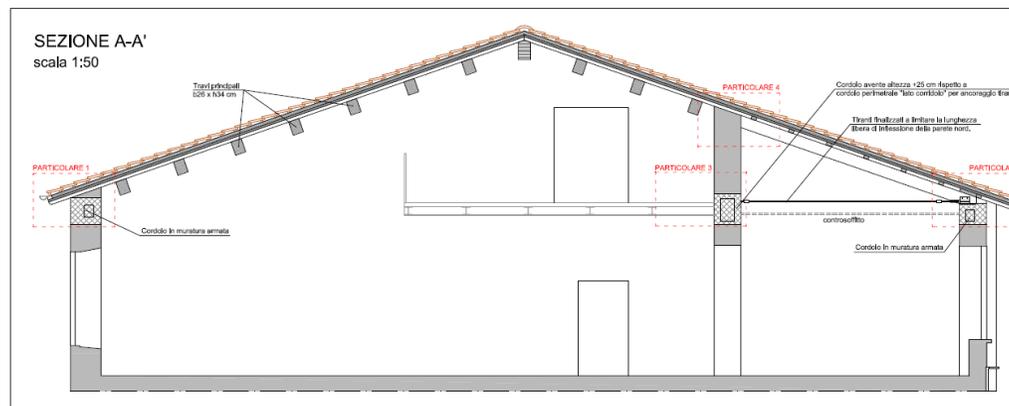
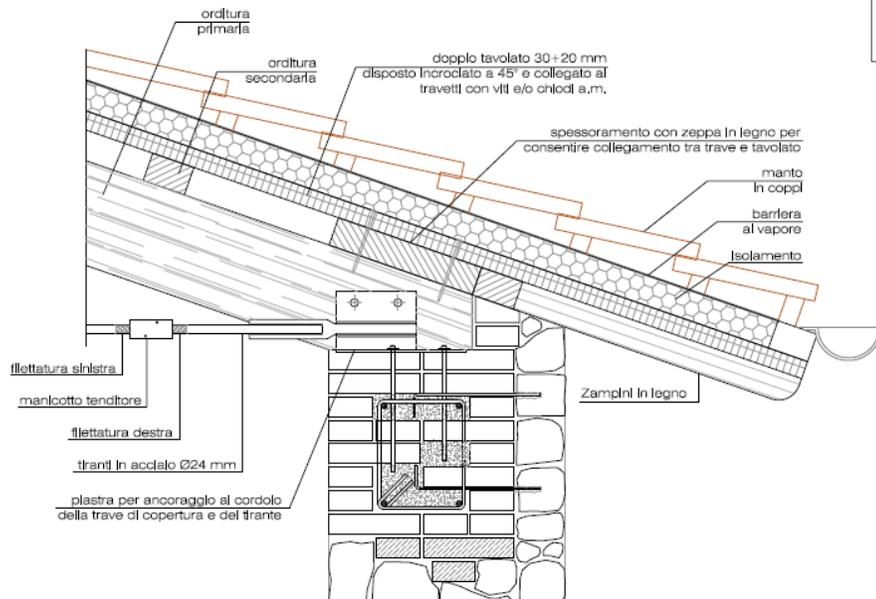
Spesso si ritrovano coperture in cemento armato, che hanno contribuito ai gravi danni riscontrati nelle strutture murarie in pietra, non atte a supportare il peso e la rigidezza di questi orizzontamenti.



Ala sud-est: progetto d'interventi
INTERVENTI SULLE COPERTURE

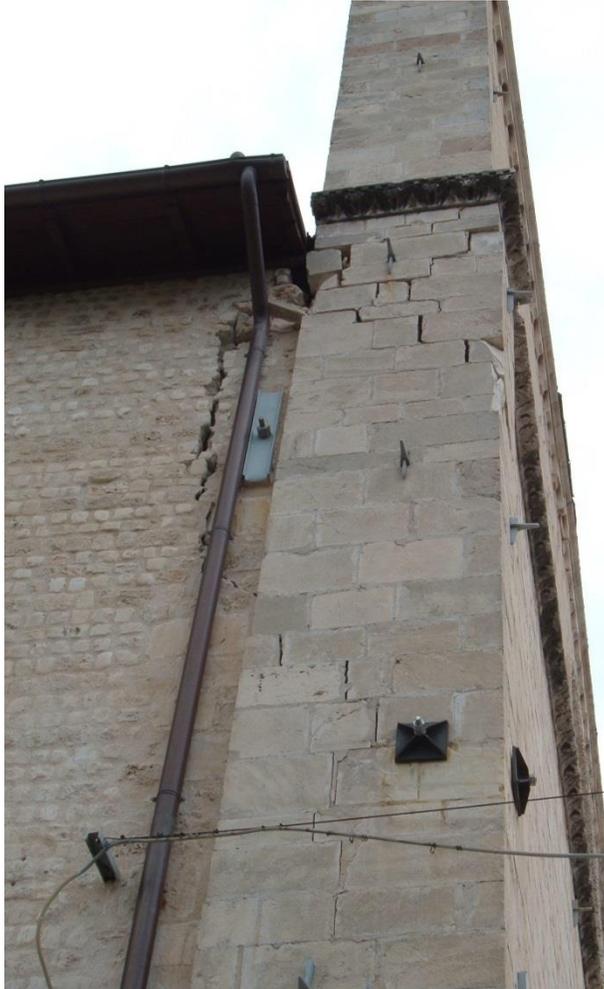
Spesso si ritrovano coperture in cemento armato, che hanno contribuito ai gravi danni riscontrati nelle strutture murarie in pietra, non atte a supportare il peso e la rigidità di questi orizzontamenti.

Le nuove coperture si prevedono in legno, con particolare attenzione all'irrigidimento del piano di falda e alla connessione della copertura al cordolo.



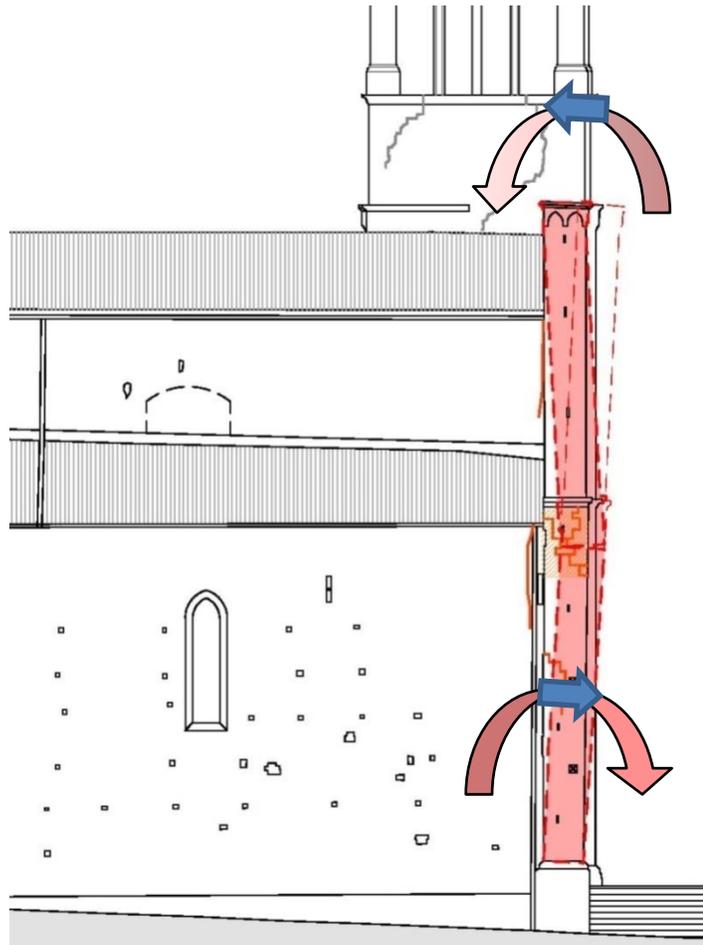
L'AQUILA – CHIESA DI SAN SILVESTRO

Damages of the façade of the Church of San Silvestro in L'Aquila

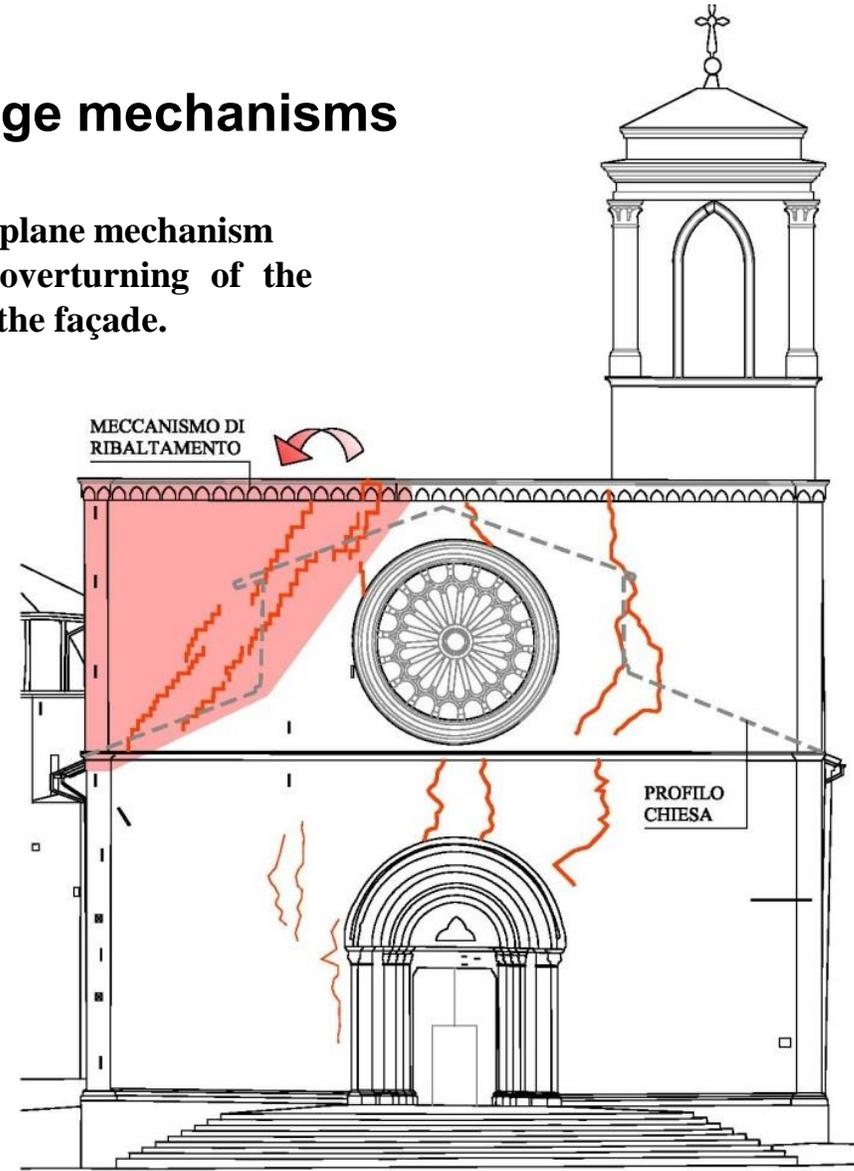


L'AQUILA – CHIESA DI SAN SILVESTRO

San Silvestro in L'Aquila: façade damage mechanisms

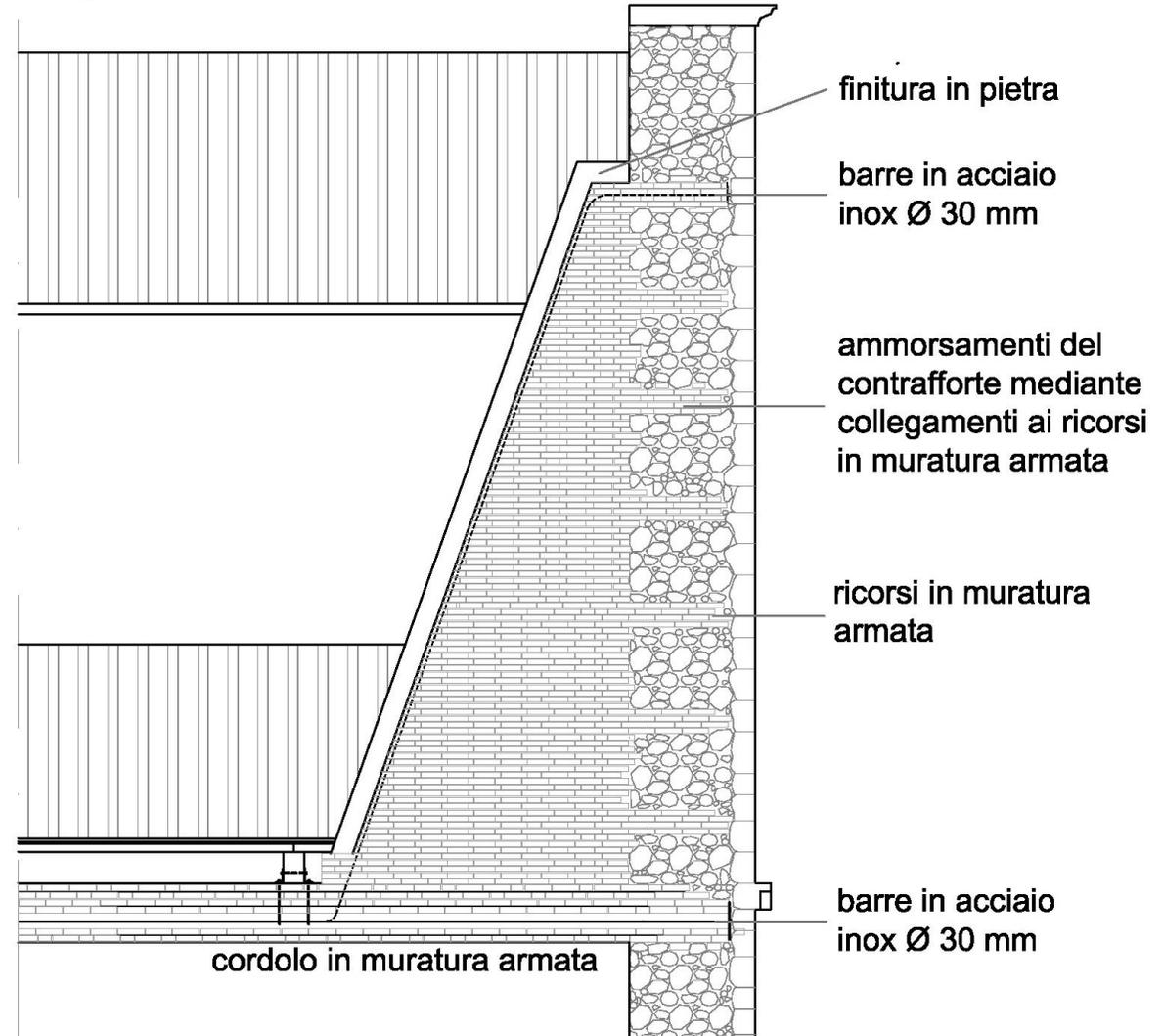


- Global out-of-plane mechanism
- Out-of-plane overturning of the upper part of the façade.



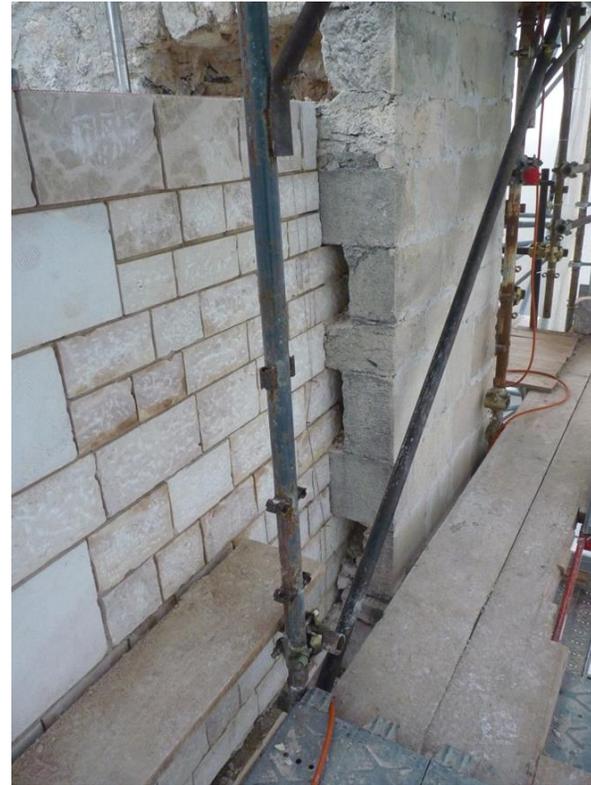
L'AQUILA – CHIESA DI SAN SILVESTRO

San Silvestro in L'Aquila: design of a butress



L'AQUILA – CHIESA DI SAN SILVESTRO

San Silvestro in L'Aquila: realization of the butress



L'AQUILA – CHIESA DI SAN SILVESTRO



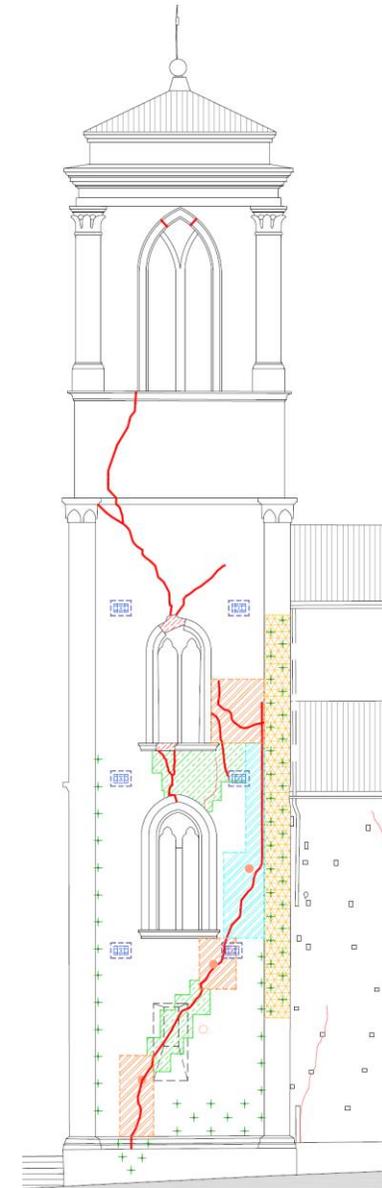
L'AQUILA – CHIESA DI SAN SILVESTRO

Mercoledì 14 – 12 -2022
IL CONSOLIDAMENTO STRUTTURALE
Criteria, tecniche e cantieri



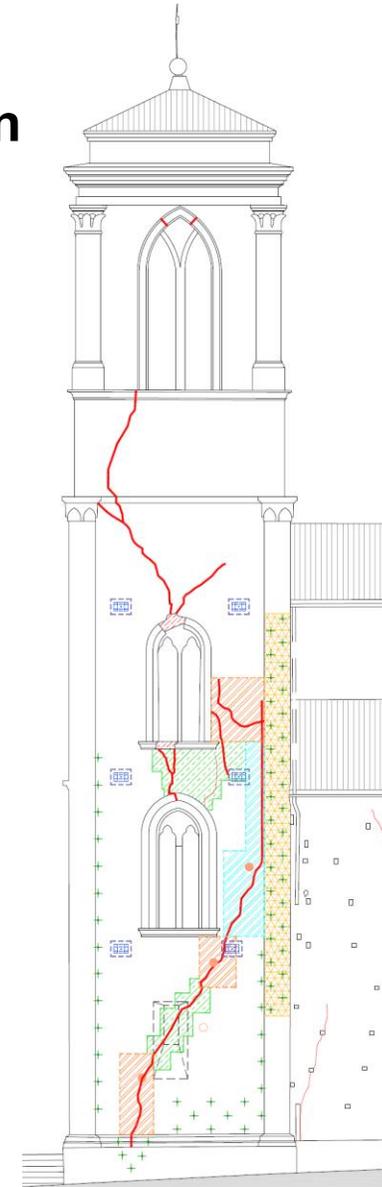
L'AQUILA – CHIESA DI SAN SILVESTRO

Damages of the bell tower of the Church of San Silvestro in L'Aquila and realization of interventions: scuci-cuci

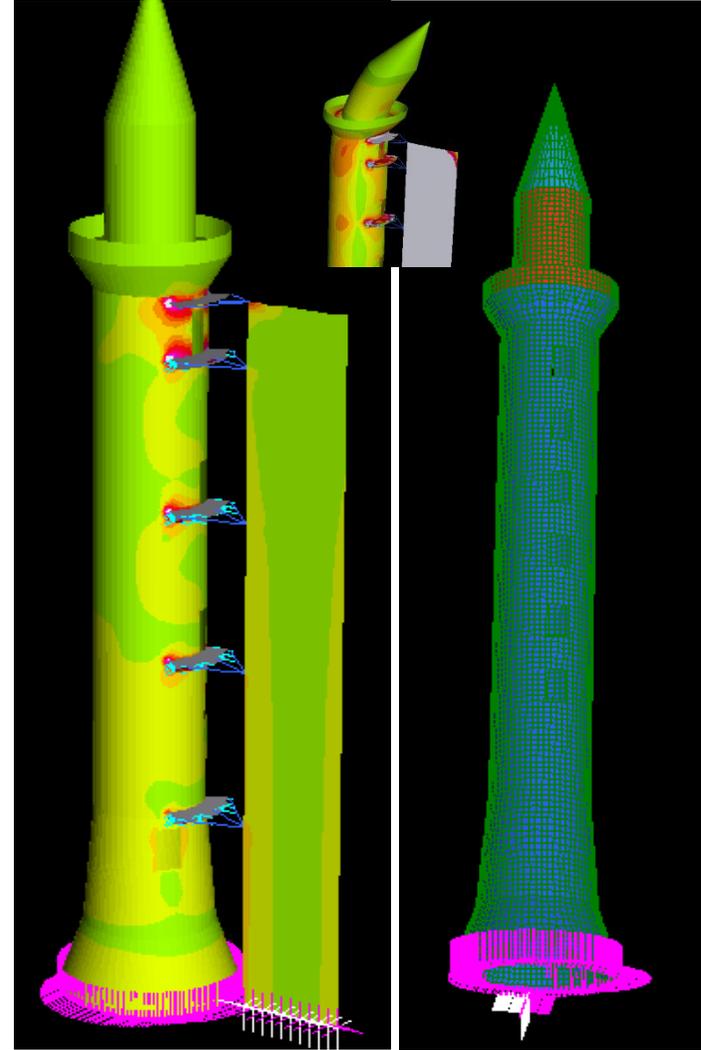


L'AQUILA – CHIESA DI SAN SILVESTRO

Damages of the bell tower of the Church of San Silvestro in and realization of interventions: shear-connectors



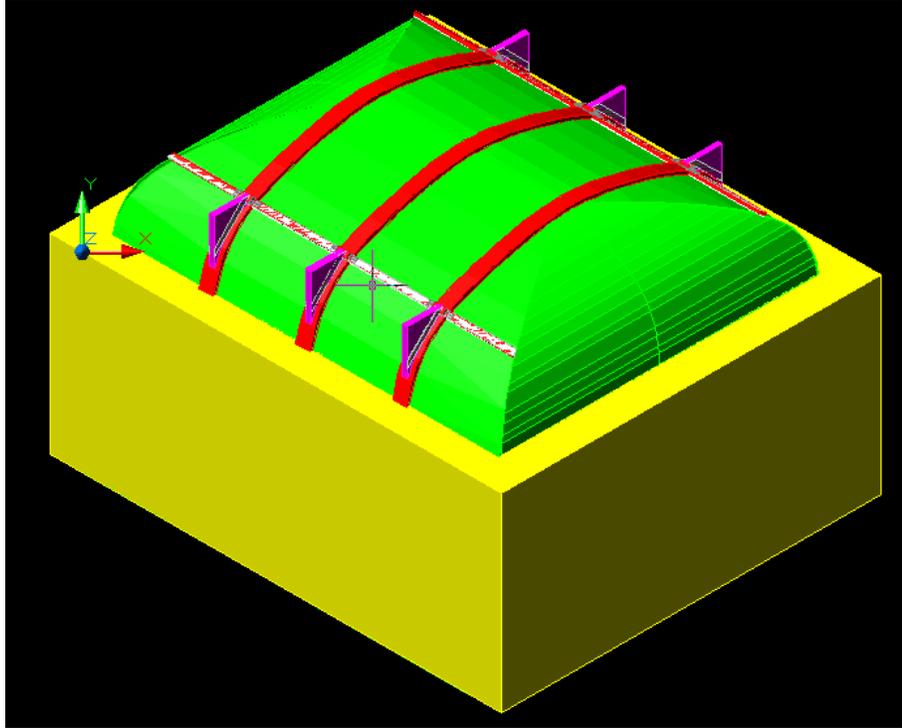
PALAZZO DUCALE DI URBINO



VALUTAZIONE DELLA SICUREZZA STRUTTURALE

PALAZZO DUCALE DI URBINO

INTERVENTI DI MIGLIORAMENTO SISMICO



VALUTAZIONE DELLA SICUREZZA STRUTTURALE

PALAZZO DUCALE DI URBINO

INTERVENTI DI MIGLIORAMENTO SISMICO

PRINCIPALI CARATTERISTICHE DELLA COPERTURA :

STRUTTURE PORTANTI IN LEGNO (TRAVI O CAPRIATE)
ORDITURA SECONDARIA IN LEGNO
PIANELLE IN LATERIZIO O TAVOLATO LIGNEO
COPPI IN LATERIZIO DI NOTEVOLI DIMENSIONI (80 Kg/ mq)

ECCEZIONE:

STRUTTURA IN C.A.
COPPI IN LATERIZIO
negli ambienti CR3, CR4



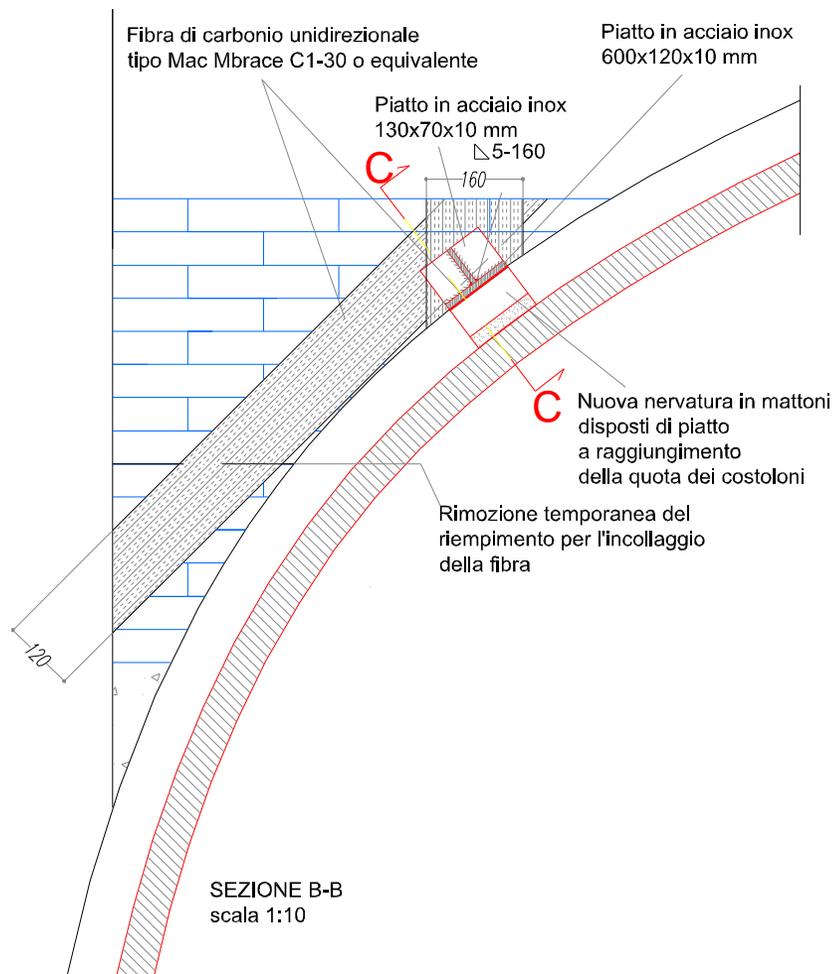
SITUAZIONE ATTUALE:

LE CAPRIATE LIGNEE SONO DI DIVERSA TIPOLOGIA A SECONDA DELL'AMBIENTE IN CUI SI TROVANO, APPARTENGONO A DIVERSE EPOCHE E HANNO GIA' SUBITO INTERVENTI DI RINFORZO NON SEMPRE ADEGUATI E ORDINATI

VALUTAZIONE DELLA SICUREZZA STRUTTURALE

PALAZZO DUCALE DI URBINO

DESCRIZIONE INTERVENTO

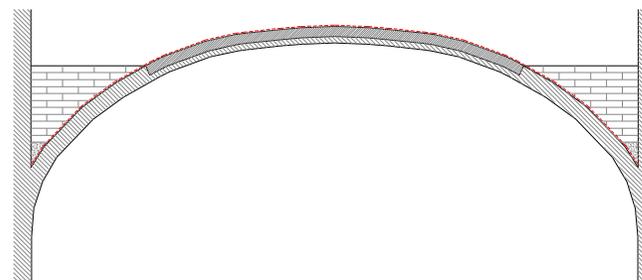


Ricostruzione frenelli

Rinforzo frenelli

Nervatura perimetrale

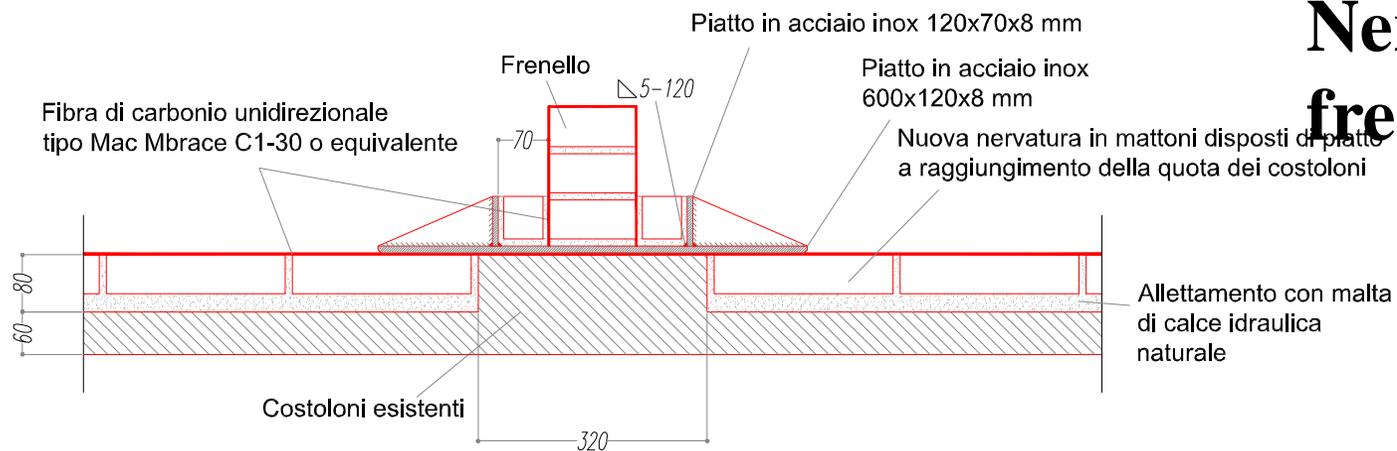
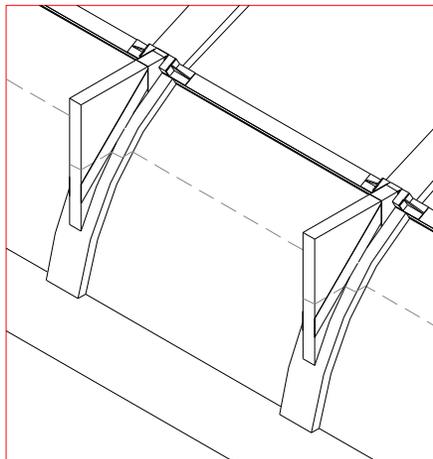
Rinforzo nervatura



VALUTAZIONE DELLA SICUREZZA STRUTTURALE

PALAZZO DUCALE DI URBINO

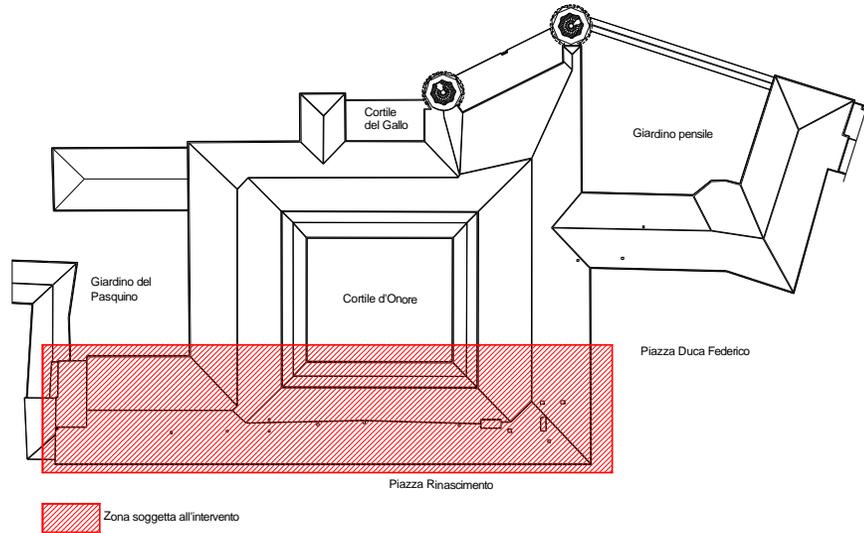
DESCRIZIONE INTERVENTO



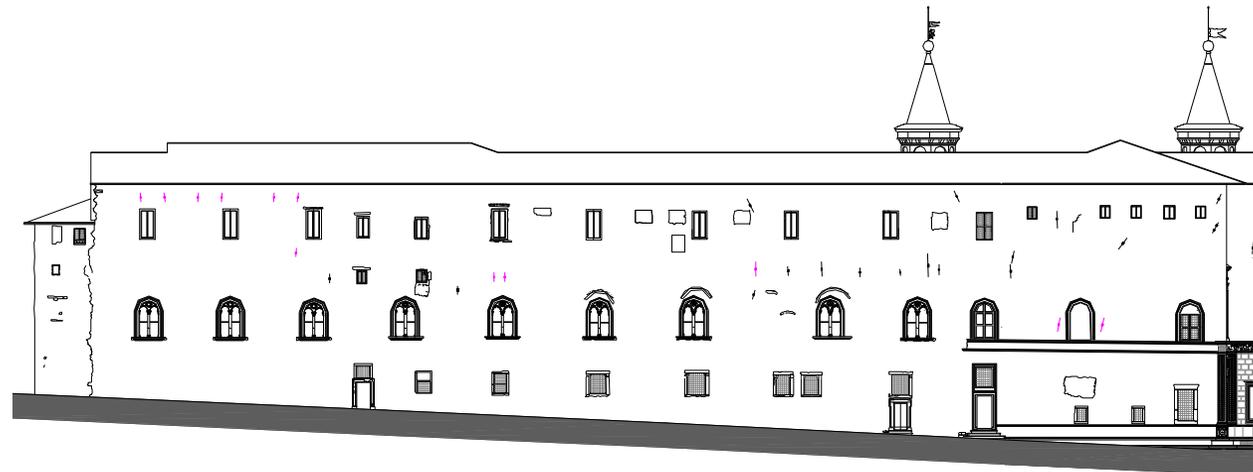
Nervature e frenelli

VALUTAZIONE DELLA SICUREZZA STRUTTURALE

PALAZZO DUCALE DI URBINO DESCRIZIONE INTERVENTO



Tirantatura in facciata



- Capochiave esistenti rilevati precedentemente (progetto luglio 2000)
- Capochiave esistenti non rilevati precedentemente

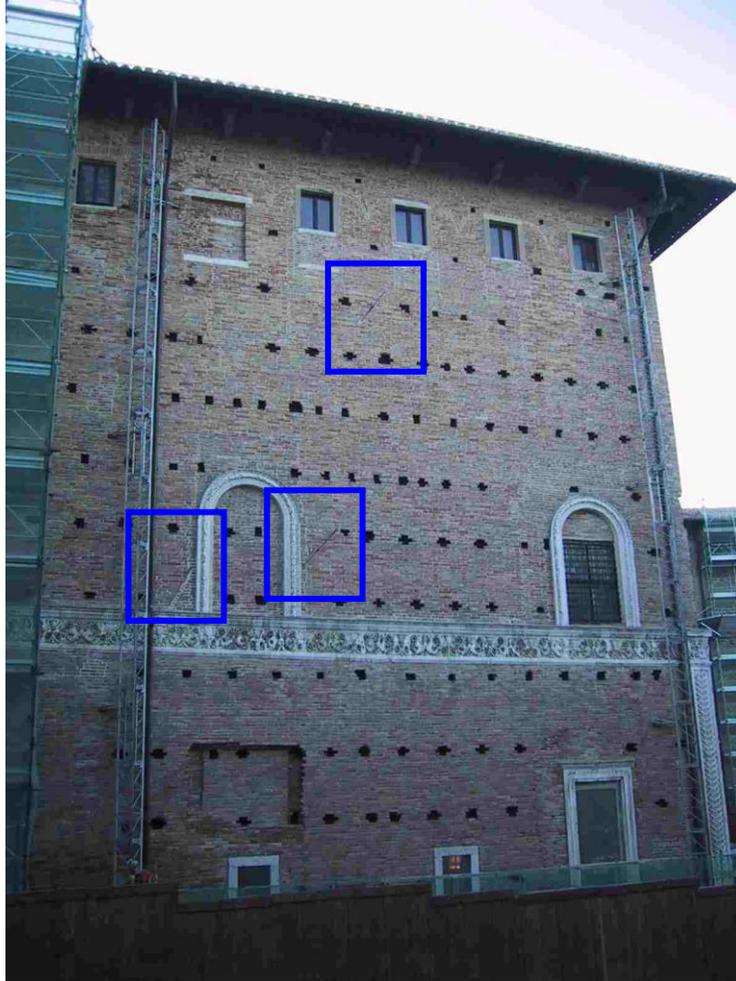
**Zona di
intervento :**

**Fronte su Piazza
Rinascimento**

VALUTAZIONE DELLA SICUREZZA STRUTTURALE

PALAZZO DUCALE DI URBINO

DESCRIZIONE INTERVENTO



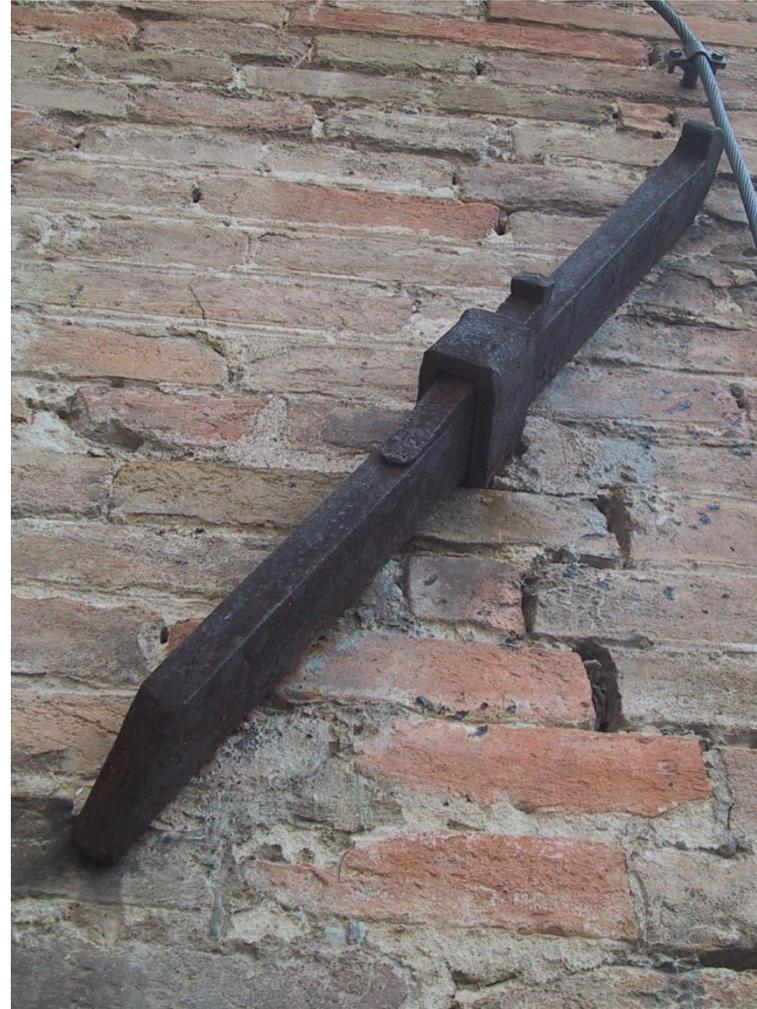
Capochiave
esistenti:



VALUTAZIONE DELLA SICUREZZA STRUTTURALE

PALAZZO DUCALE DI URBINO

DESCRIZIONE INTERVENTO



**Capochiave
esistenti : su
altro prospetto**

VALUTAZIONE DELLA SICUREZZA STRUTTURALE

PALAZZO DUCALE DI URBINO

Tirantatura facciata :
meccanismo elementare di
danno - ribaltamento
dell'intera parete

DESCRIZIONE INTERVENTO

Descrizione variabili :

h = altezza della parete

b = spessore della parete

W = peso della striscia di 1 m di parete ($b * h * \text{densità}$)

V = spinta dell'eventuale volta a soffitto del piano in esame

V_o = componente orizzontale della spinta della volta

V_v = componente verticale della spinta della volta

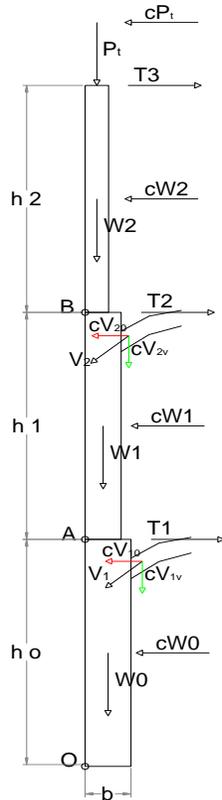
d = braccio del vettore considerato rispetto al centro di rotazione

P_t = peso della copertura

c = coefficiente di amplificazione sismica

(Urbino $c = a/g = 0.25$)

T = forza relativa al tirante

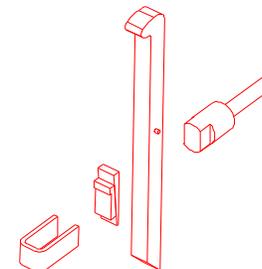
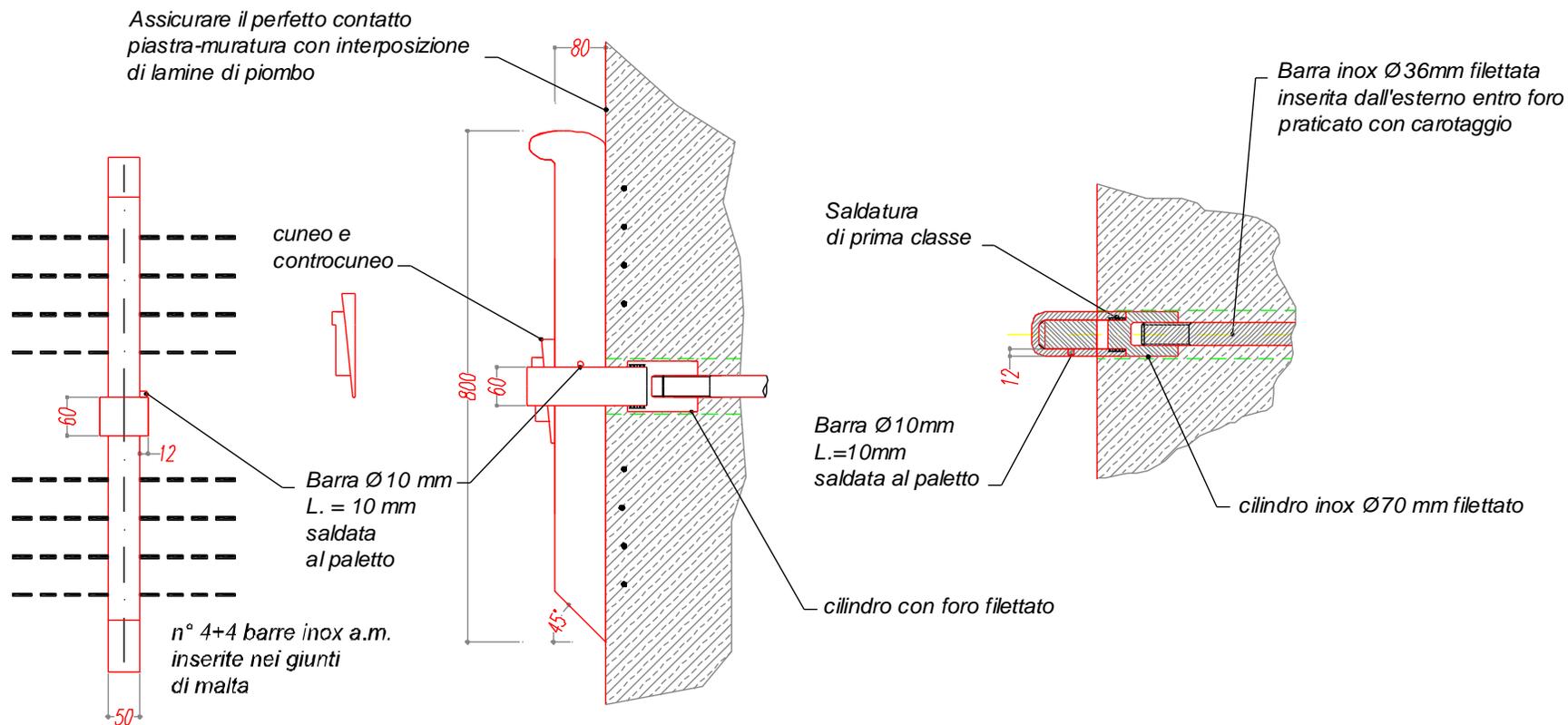


VALUTAZIONE DELLA SICUREZZA STRUTTURALE

PALAZZO DUCALE DI URBINO

DESCRIZIONE INTERVENTO

Capochiave di progetto:



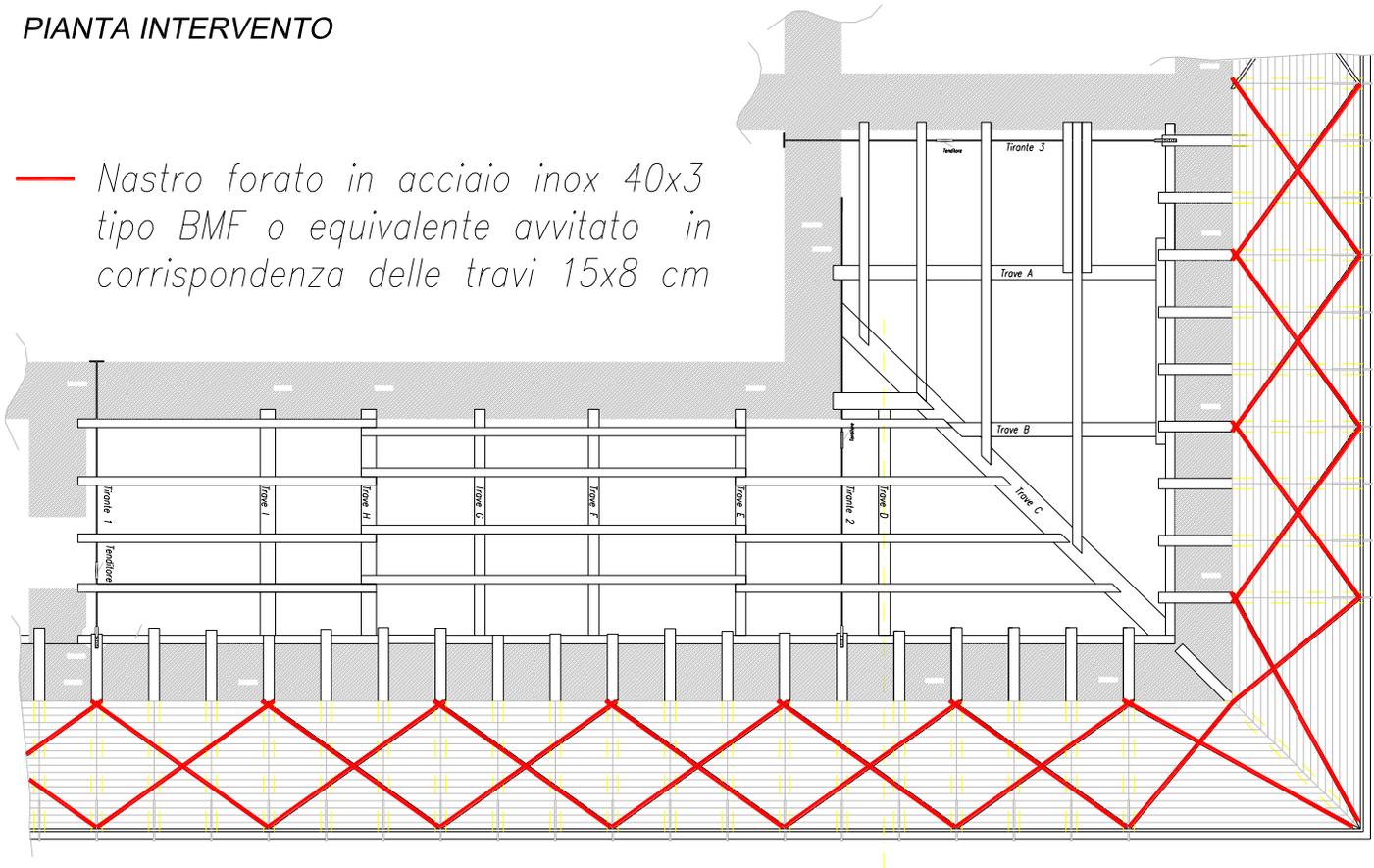
VALUTAZIONE DELLA SICUREZZA STRUTTURALE

PALAZZO DUCALE DI URBINO

DESCRIZIONE INTERVENTO

Intervento sulle coperture: croci di nastro forato per controventare il tetto

PIANTA INTERVENTO



VALUTAZIONE DELLA SICUREZZA STRUTTURALE

PALAZZO DUCALE DI URBINO

DESCRIZIONE INTERVENTO

Intervento sulle coperture: croci di
nastro forato per controventare il tetto

Vista da sotto della ventaglia



VALUTAZIONE DELLA SICUREZZA STRUTTURALE

PALAZZO DUCALE DI URBINO

DESCRIZIONE INTERVENTO



Vista del tavolato



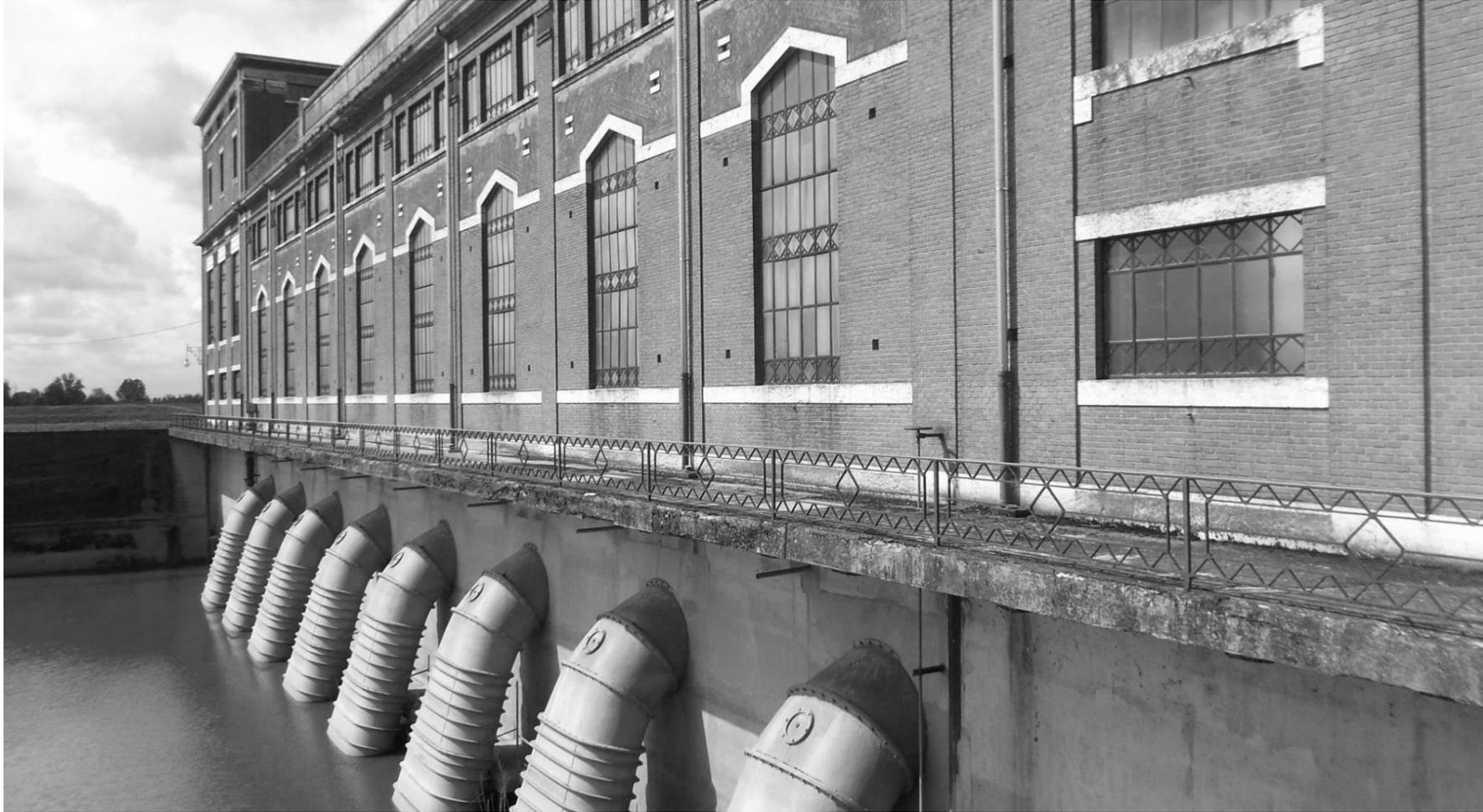
Intervento sulle coperture: croci di nastro forato per controventare il tetto

Vista del nastro avvitato al
tavolato

Mercoledì 14 – 12 -2022

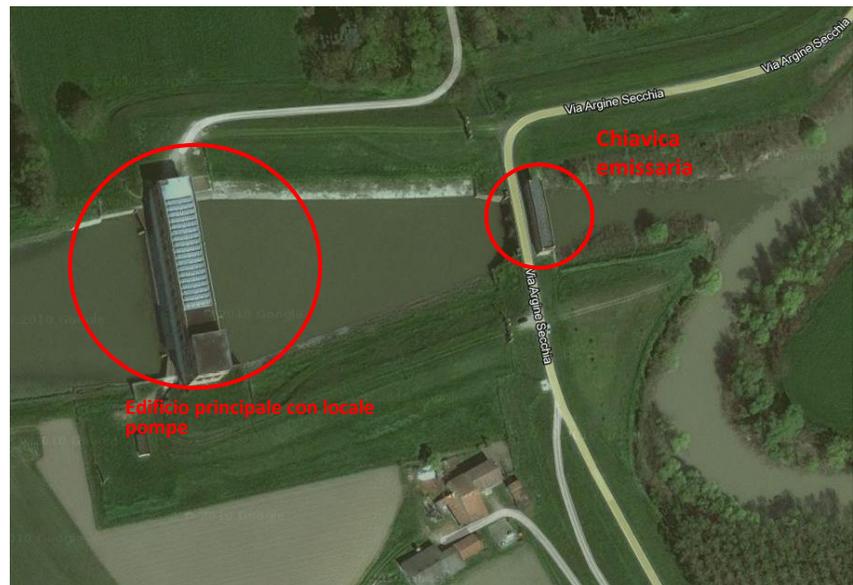
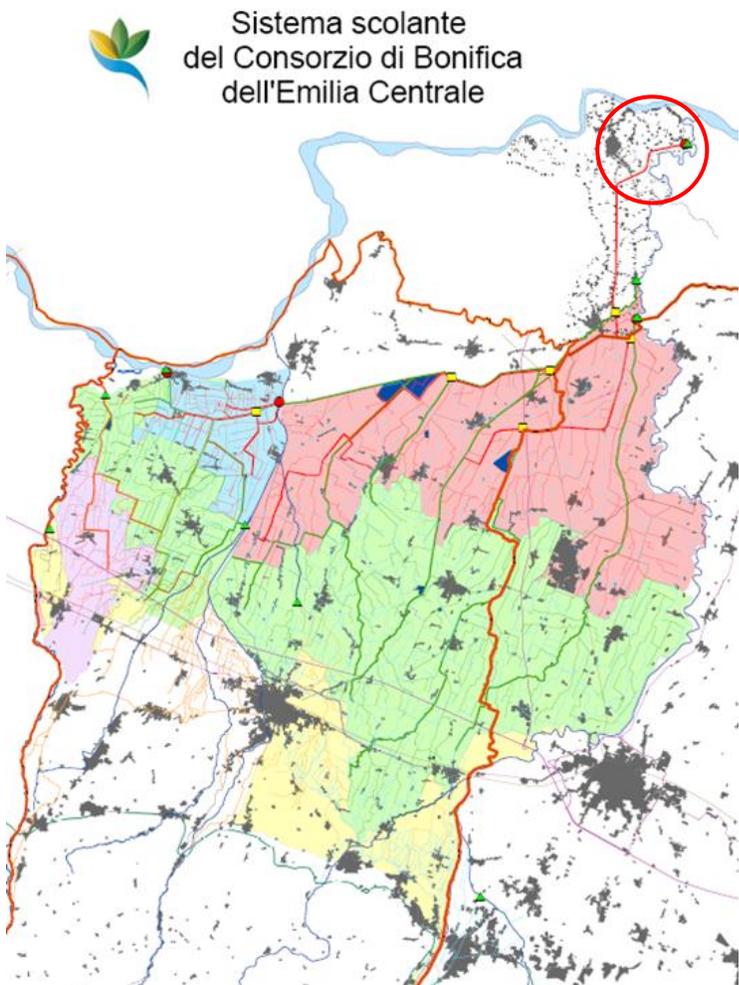
IL CONSOLIDAMENTO STRUTTURALE
Criteria, tecniche e cantieri

IDROVORA SAN SIRO – MN



IDROVORA SAN SIRO – MN

Impianto idrovoro "San Siro", sito in Comune di San Benedetto Po (MN), danneggiato dagli eventi sismici del 20 e 29 maggio 2012



IDROVORA SAN SIRO – MN

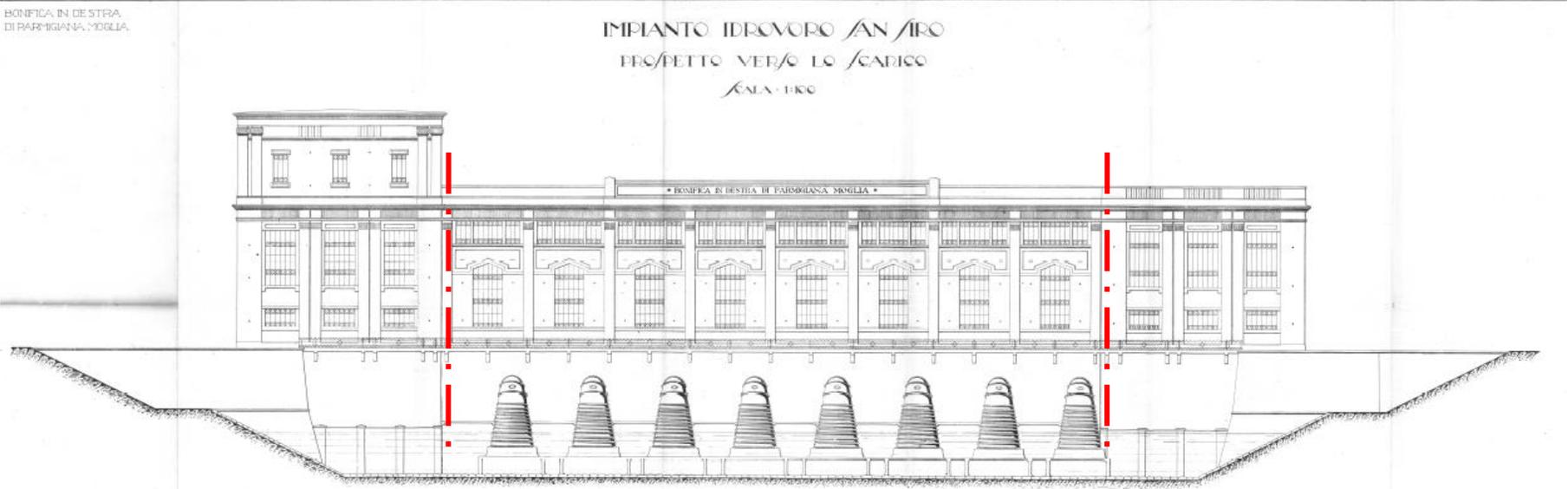


**Opera di Bonifica realizzata tra il 1919 ed il 1925,
in gestione al Consorzio di Bonifica dell'Emilia
Centrale.**



IDROVORA SAN SIRO – MN

Danni da sisma – Lesioni in corrispondenza dei giunti termici



IDROVORA SAN SIRO – MN

Danni da sisma – Lesioni in corrispondenza dei giunti termici



Danni da sisma – Lesioni in sommità della cabina elettrica



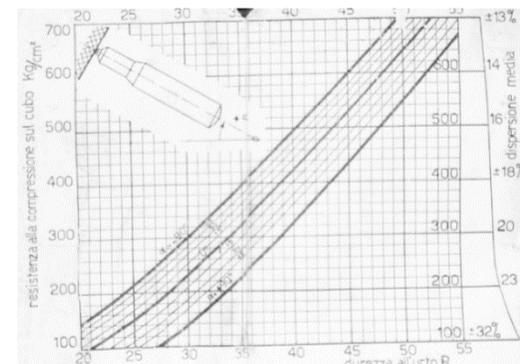
Campagna d'indagini per la caratterizzazione dei materiali

- n. 10 prove di **carotaggio su cls** per la determinazione della resistenza a compressione del materiale e della profondità di carbonatazione
- n. 23 **indagini magnetometriche con pacometro** finalizzate alla determinazione della posizione ed alla stima del diametro e del copriferro delle armature



IDROVORA SAN SIRO – MN

- n. 14 **indagini sclerometriche** finalizzate alla stima delle caratteristiche del conglomerato cementizio

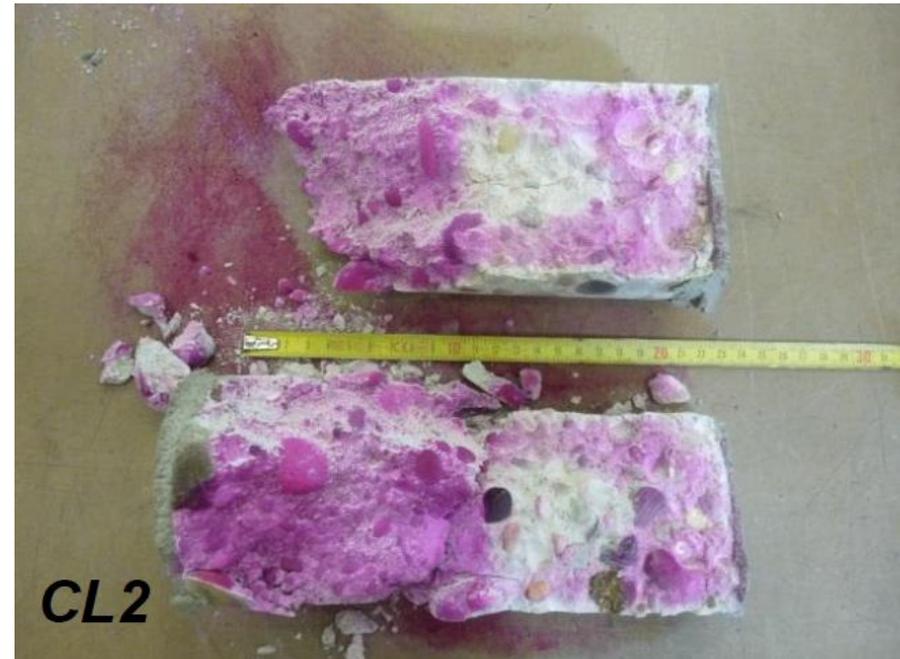


IDROVORA SAN SIRO – MN

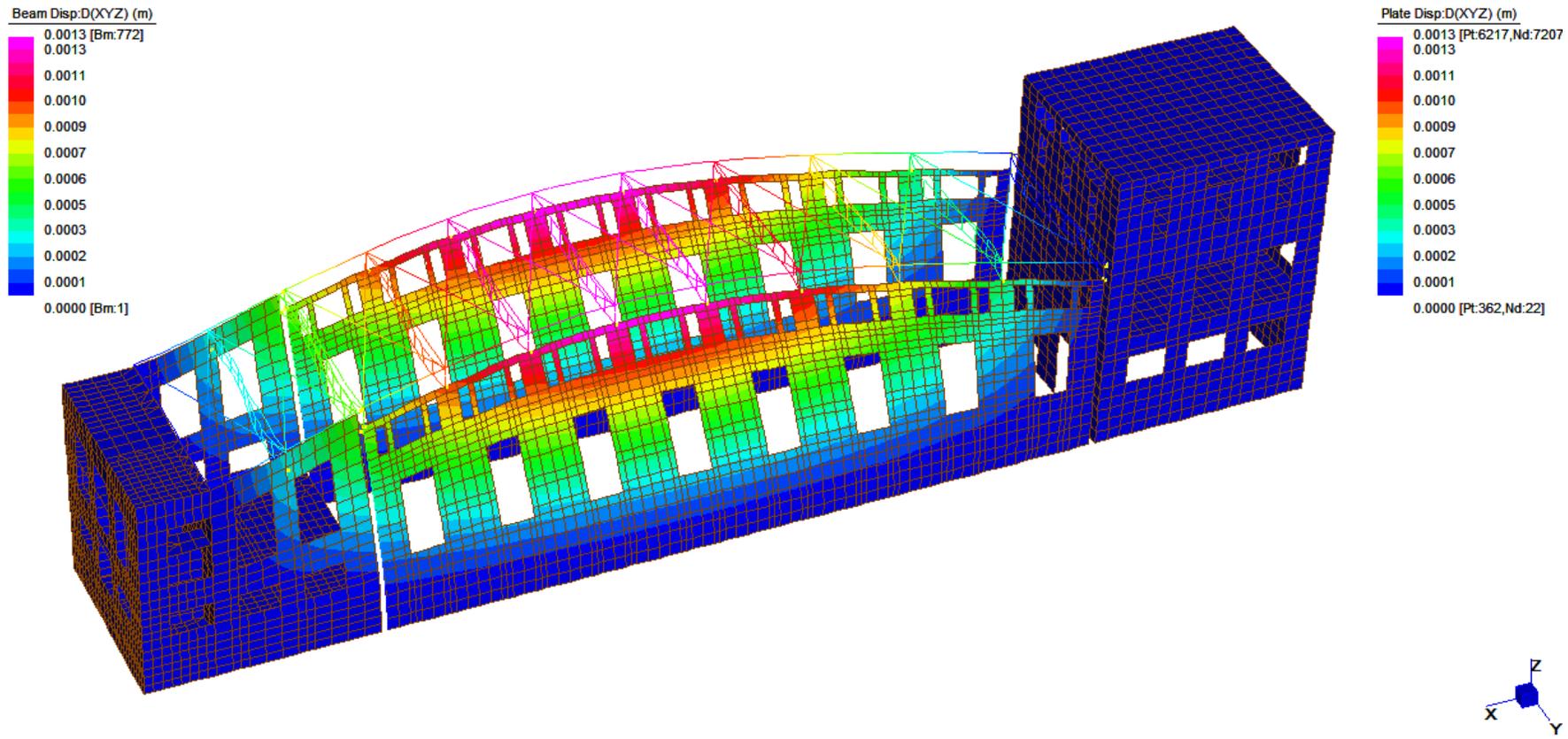
Campagna d'indagini per la caratterizzazione dei materiali

Presso il Laboratorio Prove sui Materiali da Costruzione dell'Università degli Studi di Padova, a partire dai campioni estratti dalla struttura, sono state effettuate le seguenti prove:

- 10 **prove di compressione sulle carote** di conglomerato cementizio estratte; Sui ogni provino è stata effettuata la prova di carbonatazione mediante spruzzo sulla superficie di una soluzione alcolica di fenolftaleina; in tutti è stato riscontrato un livello elevato di carbonatazione, segno evidente del degrado del calcestruzzo sottoposto a prova;
- 8 **prove di trazione su barre** d'acciaio



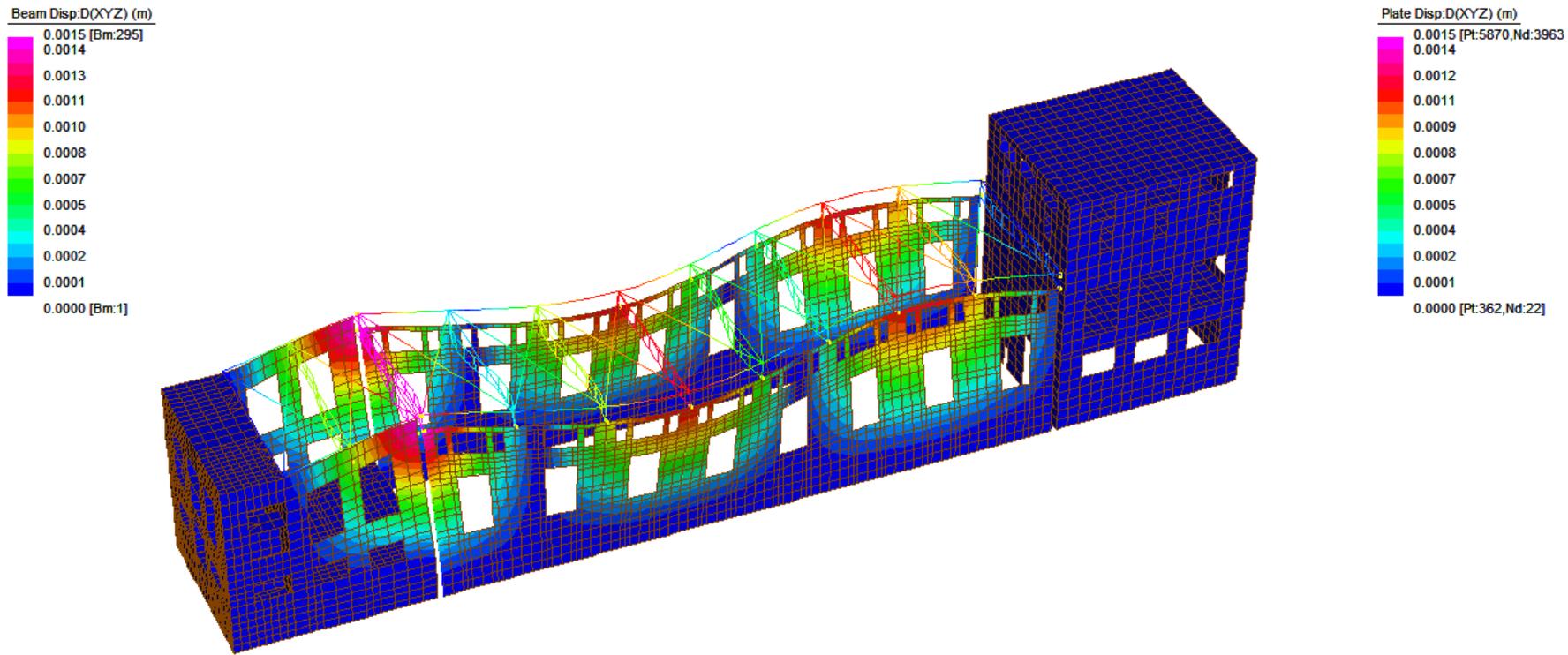
Modellazione e verifica sismica della struttura in progetto: analisi globale con dinamica modale



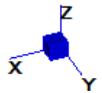
MODO	FREQUENZA	MASSA MODALE	% DIREZIONE X	% DIREZIONE Y
1	1.18 Hz	5.64E+05	0.00	25.69

IDROVORA SAN SIRO – MN

Modellazione e verifica sismica della struttura in progetto: analisi globale con dinamica modale



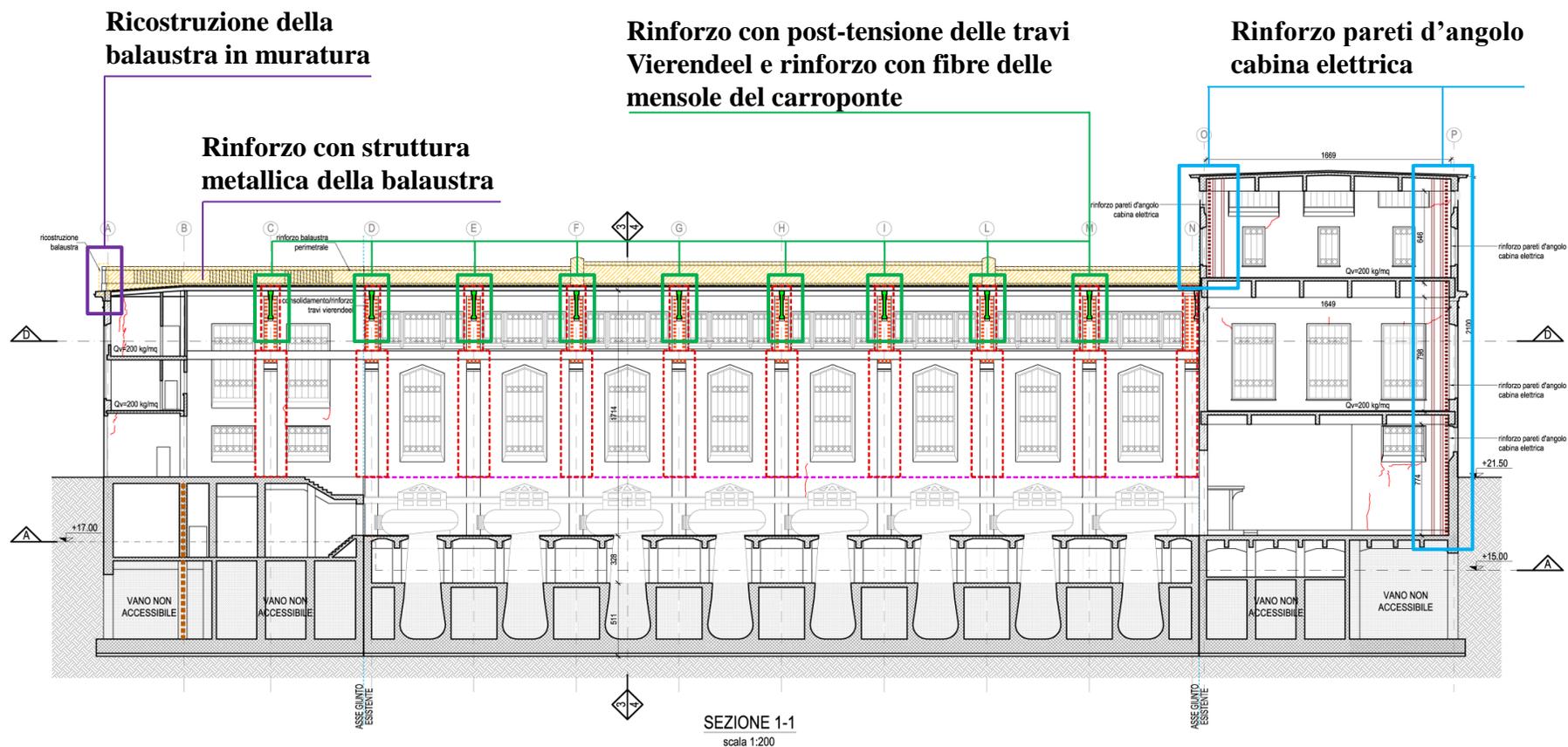
MODO	FREQUENZA	MASSA MODALE	% DIREZIONE X	% DIREZIONE Y
13	2.37 Hz	4.70E+05	0.00	3.75



Interventi per il miglioramento sismico in progetto

- **rinforzo delle balaustre** poste sul tetto e loro ancoraggio al solaio di copertura;
- **blocco degli spostamenti relativi in senso trasversale** in corrispondenza dei giunti strutturali tra le tre indipendenti porzioni dell'edificio, mediante l'introduzione di **trasmettitori d'urto** e di **collegamenti a taglio** posti in copertura in grado di garantire comunque il corretto funzionamento dei giunti di dilatazione nelle condizioni di esercizio dell'opera;
- **solidarizzazione degli elementi di copertura**, ora fra di loro praticamente indipendenti e perciò causa di possibili effetti dinamici di martellamento e perdite d'appoggio, mediante un sistema di controventamento di piano posto al di sopra della copertura;
- **inserimento di una parete al livello interrato**, ed al di sotto dello stesso fino alla platea di fondazione, finalizzato alla realizzazione di un collegamento rigido dalla fondazione alla parete posta sull'asse "B", trasversalmente alla direzione principale del fabbricato, che sarà interessata da rilevanti azioni orizzontali;
- **legature dei pilastri in cemento armato** posti sul perimetro della sala pompe ai maschi murari ad essi adiacenti mediante barre in acciaio inox;
- **riparazioni localizzate di lesioni** su murature e opere in c.a.;
- **rinforzi localizzati con tessuti in materiale composito**, in particolare in corrispondenza degli elementi verticali in c.a.;
- **rinforzo/parziale ricostruzione delle passerelle esterne in cemento armato**, necessarie per consentire la manutenzione ordinaria delle griglie a protezione dei collettori di aspirazione delle pompe che viene eseguita con mezzi d'opera (escavatori, pale meccaniche)

Interventi per il miglioramento sismico in progetto



Legature dei pilastri esistenti con barre in inox a scomparsa nei giunti di malta

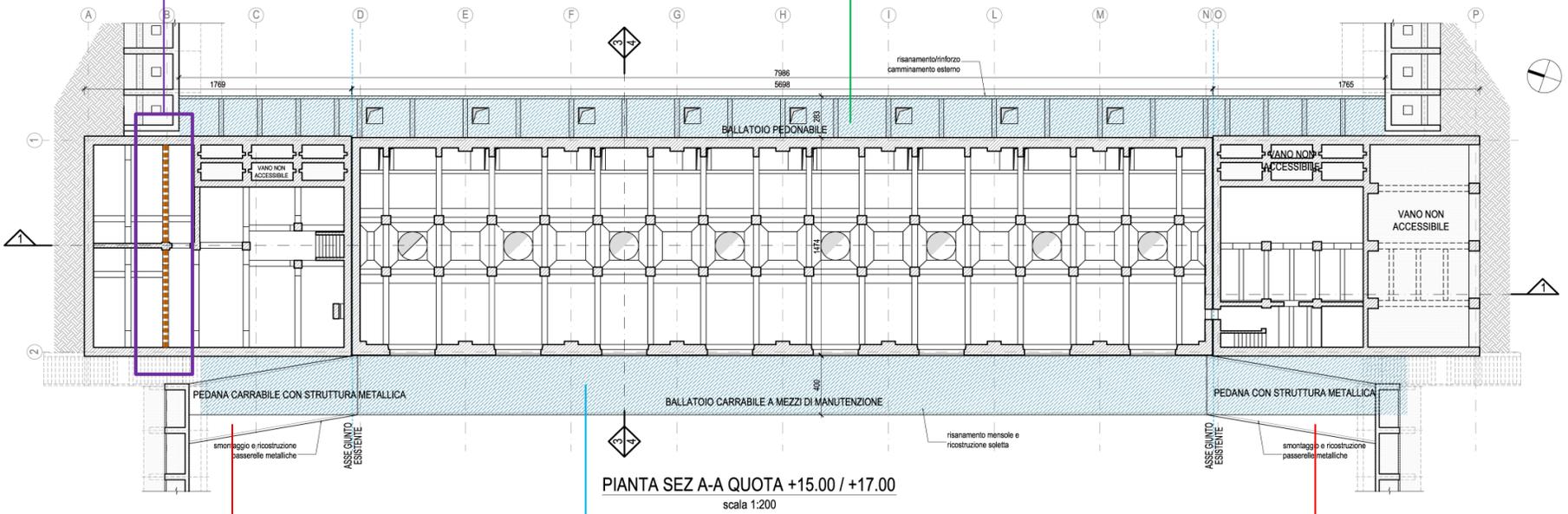


Applicazione di fibre in FRP sul calcestruzzo

Interventi per il miglioramento sismico in progetto

Realizzazione di nuova parete in c.a. e muratura in fondazione e al piano interrato

Risanamento e rinforzo del camminamento esterno in c.a.

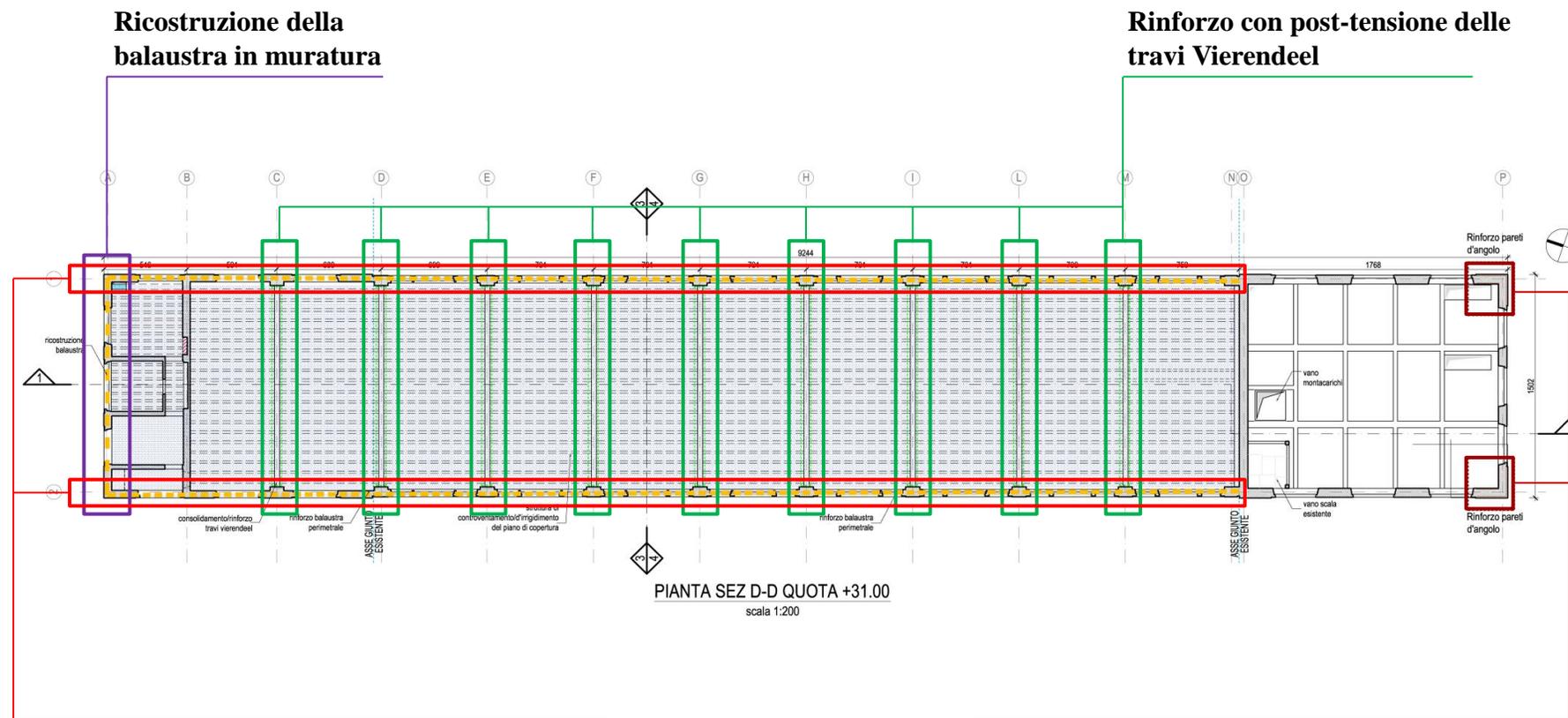


PIANTA SEZ A-A QUOTA +15.00 / +17.00
scala 1:200

Risanamento mensole in c.a. e ricostruzione soletta

Smontaggio e ricostruzione di rampe in carpenteria metallica

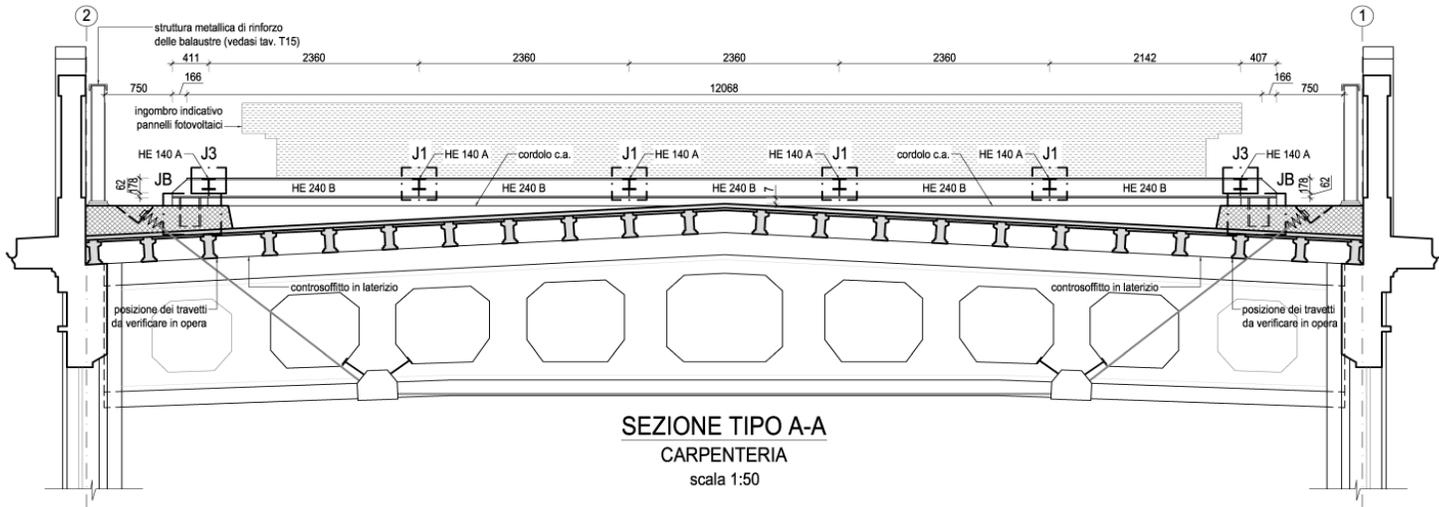
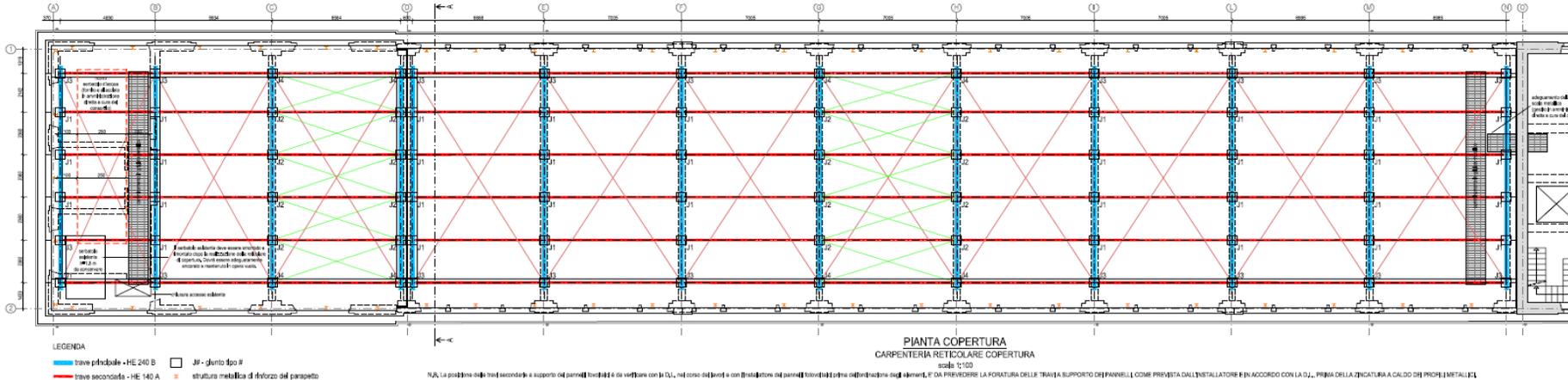
Interventi per il miglioramento sismico in progetto



Rinforzo della balaustra in muratura con struttura in carpenteria metallica

Rinforzo delle pareti d'angolo della cabina elettrica con profili in carpenteria metallica

Reticolare di irrigidimento della copertura – componenti metallici



IDROVORA SAN SIRO – MN

Reticolare di irrigidimento della copertura – componenti metallici

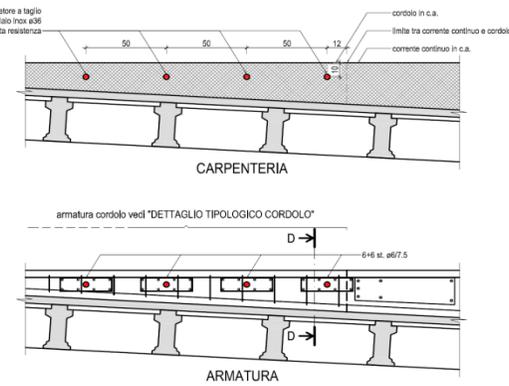
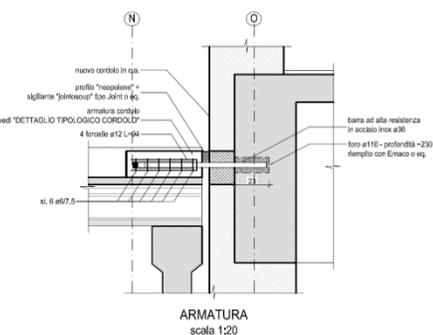
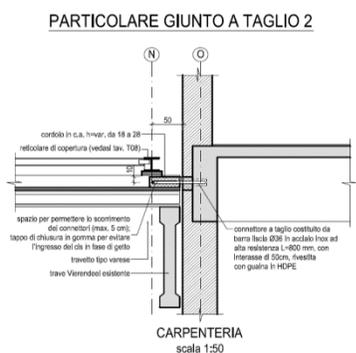
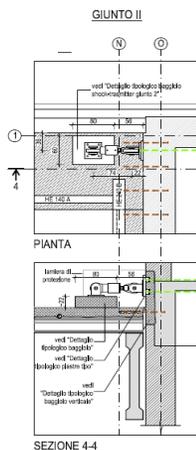
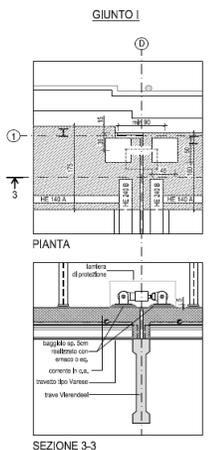
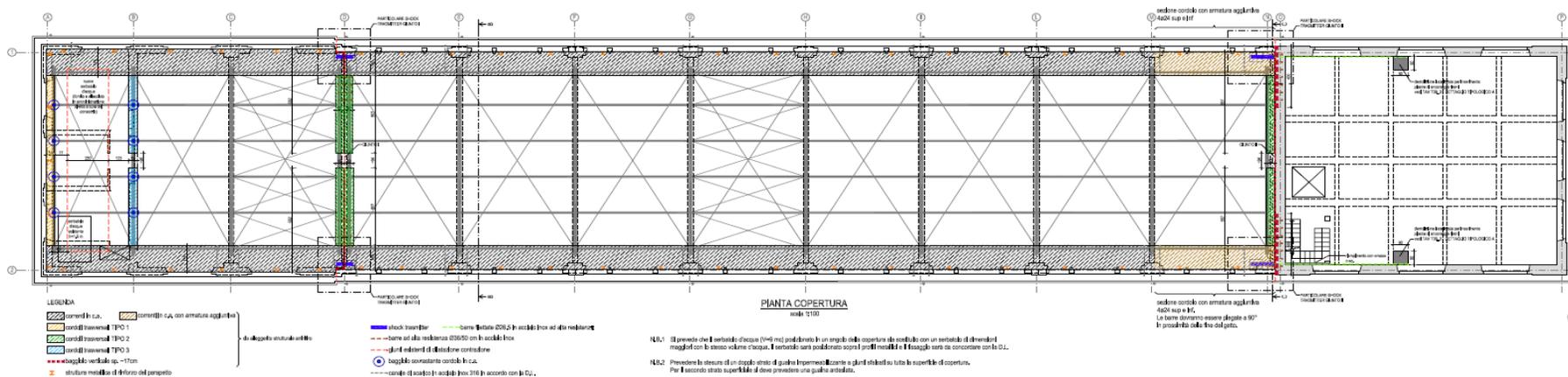


IDROVORA SAN SIRO – MN

Rinforzo delle travi Vierendeel con post-tensione



Reticolare di irrigidimento della copertura – cordoli in c.a.



IDROVORA SAN SIRO – MN

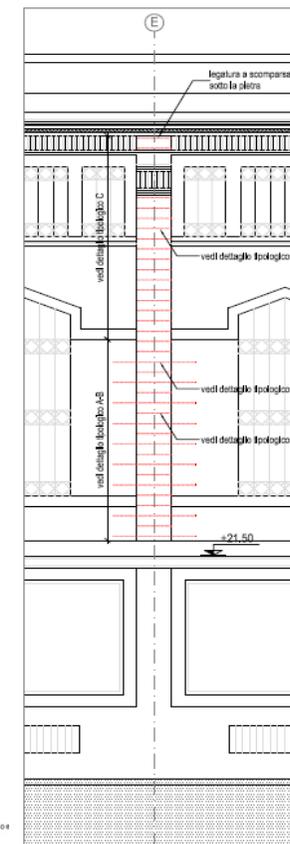
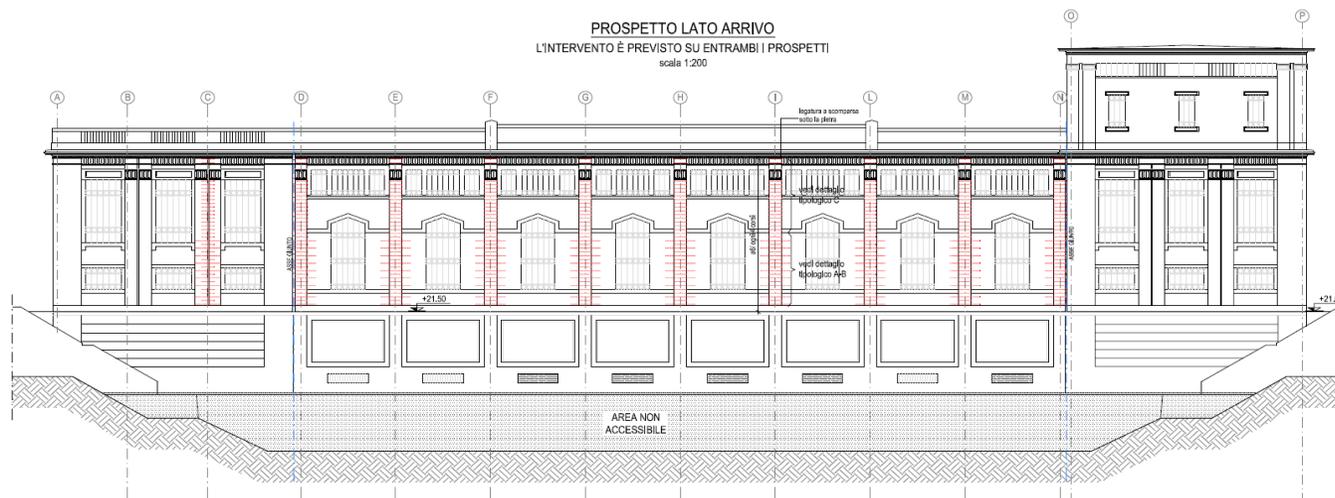
Reticolare di irrigidimento della copertura – cordoli in c.a.



Reticolare di irrigidimento della copertura – trasmettitori d'urto



Legature tra pilastri e le pareti in muratura



PROSPETTO

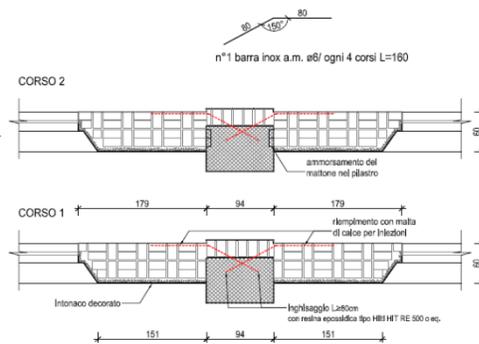
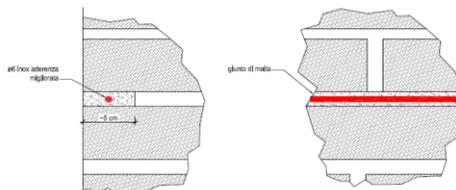
INSERIMENTO BARRE INOX NEI GIUNTI DI MALTA

Inserimento di barre ottanuda mediante:

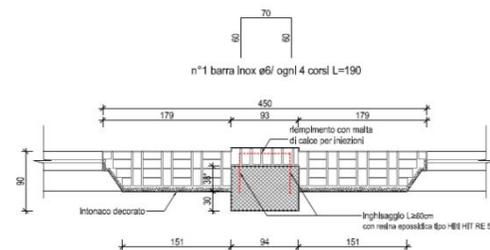
- rimozione parziale del giunto di malta profondità circa 6 cm;
- rimozione con raschietti di parti di malta e muratura decessa;
- inserimento di n° 1 barre inox AISI 304/316 ad acceranza migliorata B450C Ø 6 mm;
- fissaggio delle barre inserite entro eventuali perforazioni con malta di calce per iniezioni;
- sigillatura delle barre con malta di calce litraulica tipo M10 o superiore acciando riempimento con malta di calce litraulica. La malta utilizzata dovrà essere compatibile con la muratura esistente, priva di sali solubili e garantire una resistenza a compressione a 28 gg non inferiore 50 kg/cmq;
- per muratura a faccia a vista: sigillatura e stuccatura finale con malta di caratteristiche e colore adeguati.

SCHEMI INTERVENTO GIUNTI DI MALTA:

Da adattare in funzione dello stato di degrado e delle indicazioni della Soprintendenza



DETTAGLIO TIPOLOGICO A
INSERIMENTO BARRE INOX NEI GIUNTI DI MALTA
scala 1:50



*=misura desunta da progetto originale

DETTAGLIO TIPOLOGICO B
INSERIMENTO BARRE INOX NEI GIUNTI DI MALTA
scala 1:50

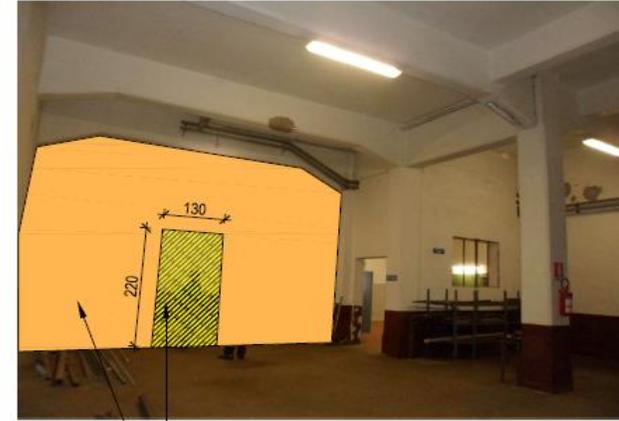
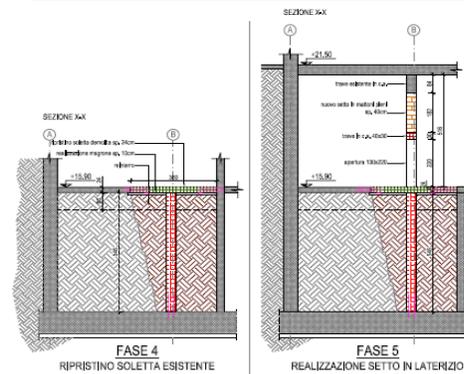
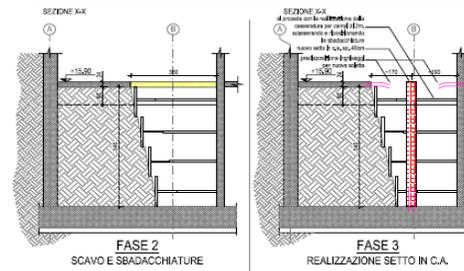
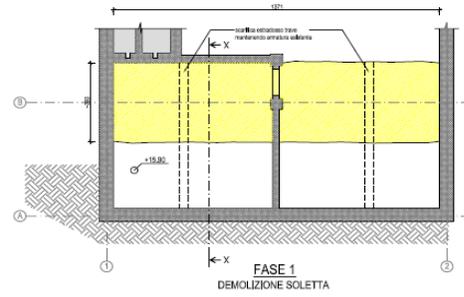
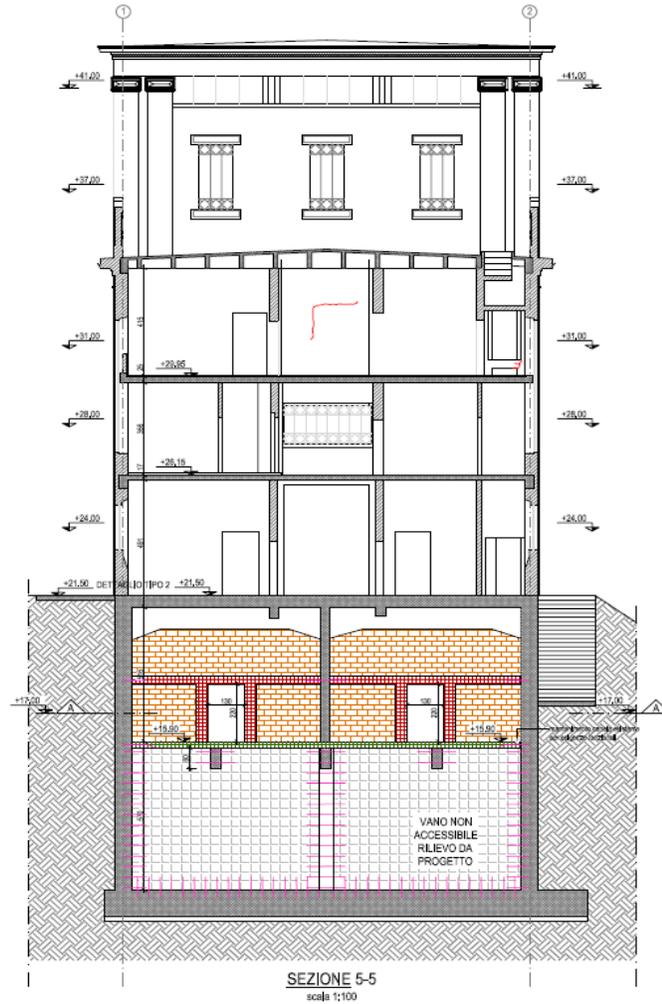
IDROVORA SAN SIRO – MN

Legature tra pilastri e le pareti in muratura



IDROVORA SAN SIRO – MN

Nuova parete al piano interrato



Apertura di accesso al vano
Nuovo setto in mattoni pieni sp. 40 cm



Trave intradossata al piano interrato

IDROVORA SAN SIRO – MN

Nuova parete al piano interrato



IDROVORA SAN SIRO – MN

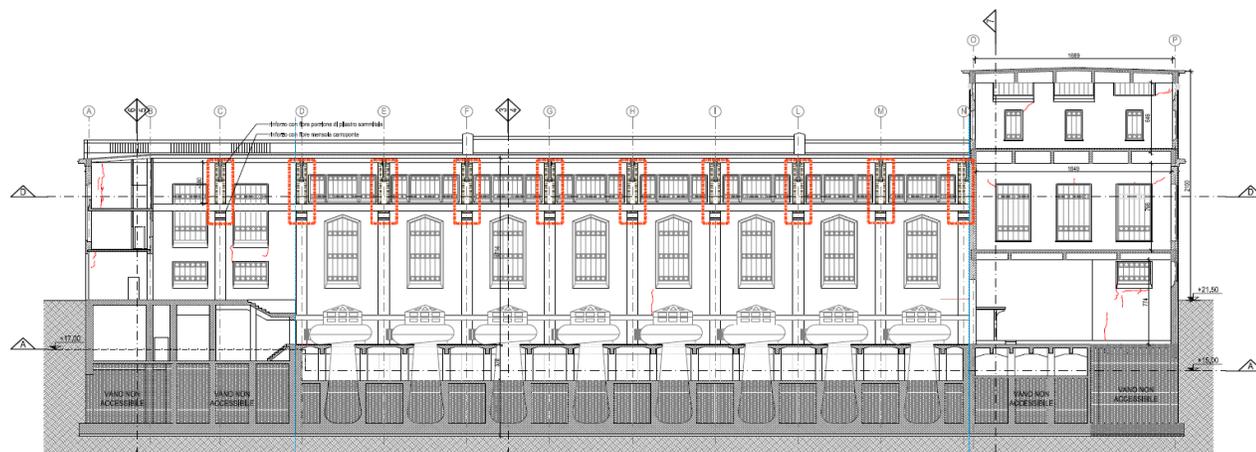
Ripristini e rinforzo all'intradosso del camminamento esterno lato Est



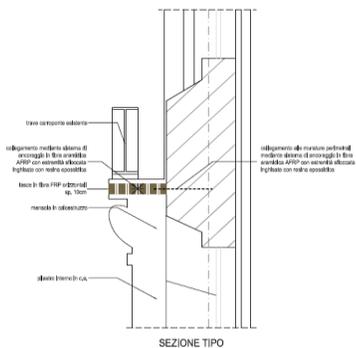
Rinforzo angolate cabina elettrica



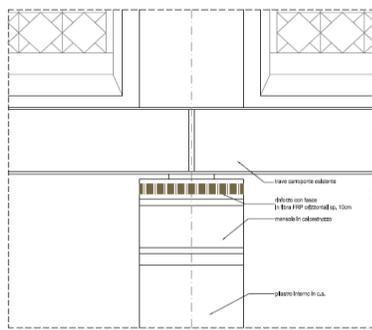
Rinforzi localizzati con fasciature in materiale composito (FRP)



SEZIONE 1-1
L'INTERVENTO È PREVISTO SU ENTRAMBI I PROSPETTI INTERNI

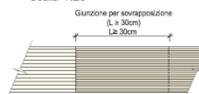


SEZIONE TIPO



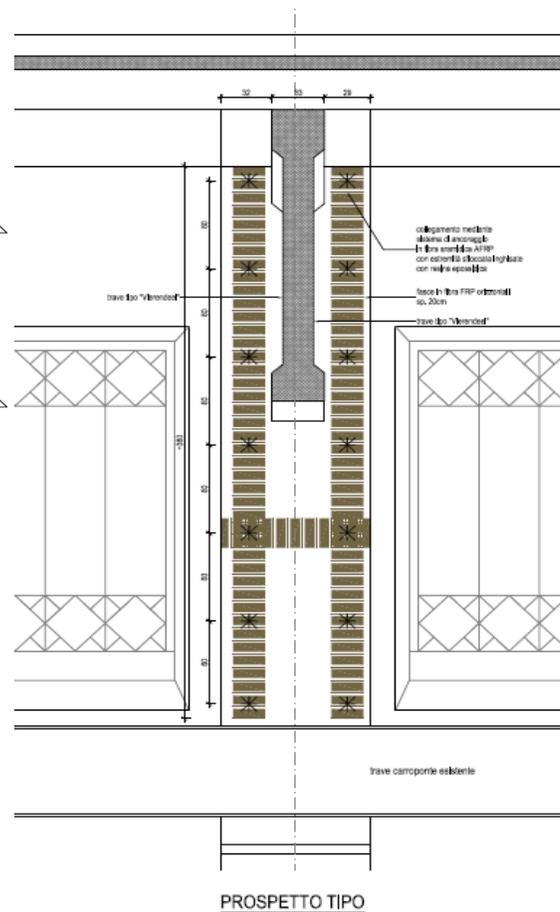
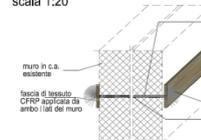
PROSPETTO TIPO

Particolare 01A
rinforzo con fasce CFRP
scala 1:20



- INDICAZIONI OPERATIVE PER APPLICAZIONE RINFORZI CFRP:
- rimozione parziale dell'intonaco;
 - pulizia e regolarizzazione della superficie;
 - eventuale applicazione del primer tipo MBrace Primer della BASF o equivalente;
 - eventuale applicazione della resatura tipo MBrace Putty della BASF o equivalente;
 - applicazione dell'adesivo tipo MBrace Adesivo della BASF o equivalente;
 - applicazione dello strato di tessuto unidirezionale in fibra di carbonio tipo MBrace Fibre Alta Resistenza della BASF o equivalente;
 - posizionazione del secondo strato di adesivo (ove richiesto);
 - ripristino dell'intonaco e delle finiture preesistenti.
- NOTA: riportare in ogni caso le indicazioni riportate nella scheda tecnica del prodotto.
NOTA 2: è stata riportata la sequenza applicativa BASF.

Particolare 01B
sficcatura per ancoraggio delle fasce CFRP
scala 1:20



PROSPETTO TIPO

IDROVORA SAN SIRO – MN

Rinforzi localizzati con fasciature in materiale composito (FRP)



Interventi su lesioni

SIGILLATURA DI LESIONI FINO A 5 mm SU C.A. FESSURATO CON RESINA EPOSSIDICA BICOMPONENTE

- eliminazione di parti friabili e incoerenti e pulizia accurata della superficie con aria compressa;
- fissaggio tubicini d'iniezione;
- sigillatura delle fessurazioni;
- iniezioni a bassa pressione di resina epossidica bicomponente, a bassissima viscosità, priva di solventi, colabile ed iniettabile a bassa pressione tipo Concretive superfluido della Basf o equivalente;



Scaratura di lesioni ottenuta mediante:

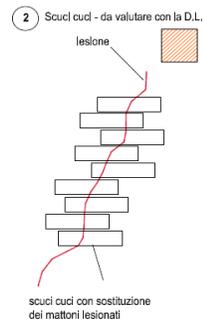
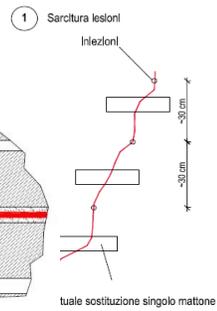
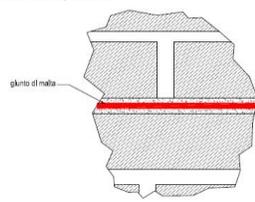
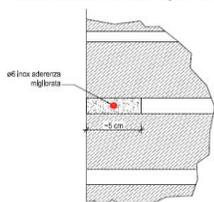
- pulizia della lesione con aria compressa;
- rimozione con raschietti di parti di malta e muratura decessa all'interno della lesione;
- eventuale sostituzione di singoli mattoni per la creazione di ammortature;
- Inserimento di cannule per la successiva iniezione a passo di circa 30 cm;
- accurato riempimento con malta di calce idraulica. La malta utilizzata dovrà essere compatibile con la muratura esistente, priva di sali solubili e garantire una resistenza a compressione a 28 gg non inferiore 50 kg/cm². Per lesioni di grande ampiezza potranno essere inserite scaglie di mattone;
- Iniezione a bassa pressione di bolacca di calce;
- per muratura a faccia a vista: sigillatura e stollatura finale con malta di caratteristiche e colore conformi all'originale.

Potrà essere previsto l'inserimento nei giunti di malta di barre inox a.m. Ø6 mm B450C.

SCHEMI INTERVENTO TIPO SU LESIONI:

Da adattare in funzione dello stato di degrado e delle indicazioni della Soprintendenza

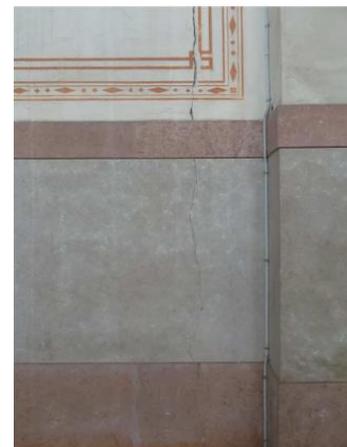
SCHEMI INTERVENTO GIUNTI DI MALTA:
Da adattare in funzione dello stato di degrado e delle indicazioni della Soprintendenza



Quadro fessurativo: lesione su calcestruzzo



Vista di dettaglio: lesione su calcestruzzo



Vista di dettaglio: lesione su calcestruzzo



Vista di dettaglio: lesione su calcestruzzo

IDROVORA SAN SIRO – MN

Viste a lavori ultimati



Viste a lavori ultimati



**IL CONSOLIDAMENTO
STRUTTURALE**
Criteri, tecniche e cantieri

Mercoledì 14 dicembre 2022

Grazie per l'attenzione...!

Prof. Ing. Claudio Modena
Prof. Emerito, già Ordinario di
Tecnica delle Costruzioni
claudio.modena@unipd.it

Università degli Studi di Padova
