



**Agenzia del Demanio**  
**Direzione regionale Emilia Romagna**

## **PROGETTO DEGLI INTERVENTI URGENTI E DI MESSA IN SICUREZZA DEI LOCALI - EX CONVENTO DEI TEATINI**

Corso della Giovecca 60 – Ferrara (FE)

### **PROGETTO DEFINITIVO-ESECUTIVO**



### **ALLEGATO A2**

#### **RELAZIONE SPECIALISTICA**

Firenze, lì 12.10.2017

SICURING srl  
Il Direttore tecnico  
Ing. Carlo La Ferlita



# S I C U R I N G

s i c u r e z z a & i n g e g n e r i a

## Indice

1. Geologia.....	2
2. Geotecnica.....	5
3. Interventi di messa in sicurezza.....	6
4. Conclusioni.....	20

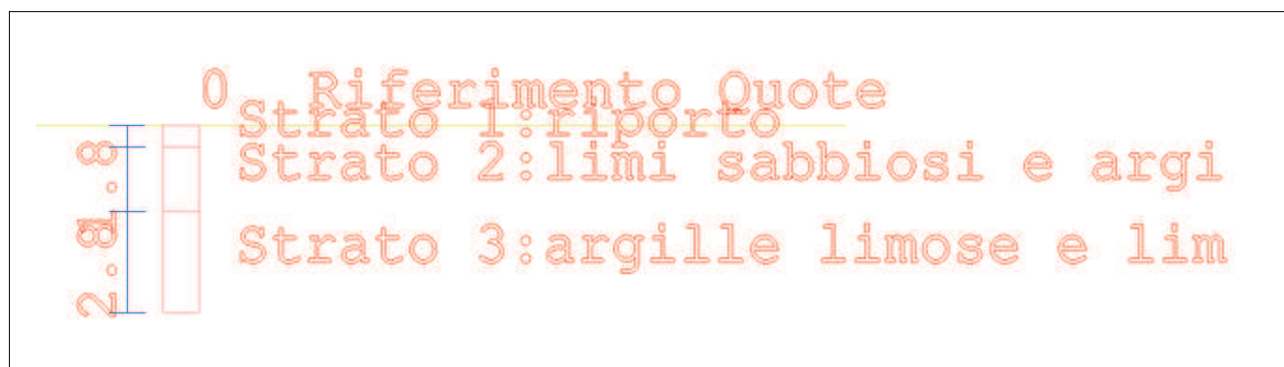




## 1. Geologia

Dal punto di vista geologico, dalle indagini condotte dallo studio Igea s.a.s. in sede di verifica di vulnerabilità sismica tramite 2 prove penetrometriche, 1 prova MASW e dal calcolo delle prospezioni sismiche HVSR risulta il terreno di categoria S1 secondo quanto riportato dalla Tab. 3.2.V delle NTC '08.

Dalla relazione geologica a firma del Dott. Geol. Luca Tofacchi, è emersa una categoria di sottosuolo S2, con prevalentemente strati di terreno argilloso e limoso al di sotto della struttura schematizzato come segue:



I seguenti livelli di strati di terreno sono stati separati in base alla loro omogeneità ed alle prove penetrometriche disponibili, oltre che dall'indagine diretta in foro. Le caratteristiche di resistenza di ogni singolo livello (o strato di terreno) tenute in considerazione nel modello di calcolo sono di seguito esplicitate:



STRATIGRAFIA	
<b>Numerazione</b>	
Strato N.:	1
<b>-----</b>	
Spessore (m)	0,6
Peso Sp.(kg/mq)	1800
Ang.Attrito (°)	29
Ang.Attrito(°')	20
Coes.dr(kg/cmq)	0,1
Coes.nd(kg/cmq)	0
Mod.El.(kg/cmq)	220
Coeff. Poisson	0,2
Descrizione	riporto
Coeff. di Lambe	0
Mod.edom kg/cmq	35
Grado sovracons	1

Strato 1

STRATIGRAFIA	
<b>Numerazione</b>	
Strato N.:	2
<b>-----</b>	
Spessore (m)	1,8
Peso Sp.(kg/mq)	1800
Ang.Attrito (°)	27
Ang.Attrito(°')	18
Coes.dr(kg/cmq)	0,1
Coes.nd(kg/cmq)	0
Mod.El.(kg/cmq)	55
Coeff. Poisson	0,3
Descrizione	limi sab
Coeff. di Lambe	0
Mod.edom kg/cmq	35
Grado sovracons	1

Strato 2

STRATIGRAFIA	
<b>Numerazione</b>	
Strato N.:	3
<b>-----</b>	
Spessore (m)	2,8
Peso Sp.(kg/mq)	1750
Ang.Attrito (°)	29
Ang.Attrito(°')	20
Coes.dr(kg/cmq)	0,1
Coes.nd(kg/cmq)	0
Mod.El.(kg/cmq)	150
Coeff. Poisson	0,3
Descrizione	argille l
Coeff. di Lambe	0
Mod.edom kg/cmq	42
Grado sovracons	1

Strato 3

Dai seguenti dati è stata poi ricavata la costante di winkler (o di sottofondo) per schematizzare il terreno come un letto di molle avente una costante elastica di abbassamento secondo la teoria del suolo alla winkler.

È stata inoltre riscontrata la presenza di una lama d'acqua (falda freatica) alla profondità di 1,8m.



DATI GENERALI	
Descrizione	Stratigrafia
Affondamento(m)	2
Ricoprimento(m)	0
Pend.X terr.(%)	0
Pend.Y terr.(%)	0
Falda (m)	1.8
Tipo fondazione	Superf./Pal

Dati affondamento sezione di fondazione

FONDAZ. SUPERFICIALI	
Kw Vertic. kg/cm <sup>2</sup>	3
Kw Drizz. kg/cm <sup>2</sup>	0
Attrito x slittam	15
Adesione Kg/cm <sup>2</sup>	0
STRATO SUPERFICIALE	
Peso Spec.(kg/m <sup>3</sup> )	1800
Ang.Attrito (°)	29
Coes.dren(kg/cm <sup>2</sup> )	0.1
Coes.nd (kg/cm <sup>2</sup> )	0

Dati di Kw

Dalla relazione Geologica è emerso anche come la struttura non ricada in particolari restrizioni di vincolo, ovvero è fuori dalle aree perimetrate secondo i rischi R3 ed R4 da frane, e fuori dalle aree a rischio idraulico e di alluvione.

Vista la particolare natura dei terreni di fondazione è stato necessario studiare la risposta sismica locale non potendo dedurre lo spettro elastico di riferimento in base a quelli semplificati presenti nelle NTC 08.

L'indagine sismica locale è consistita quindi nella misura del rumore sismico passivo e delle frequenze di risonanza del terreno. Da tali dati, così come riportato nelle relazioni specialistiche allegate sono riportati gli spettri elastici di riferimento sulla base dei quali è stato possibile tarare gli opportuni interventi.





## 2. Geotecnica

Dal saggio in fondazione è emerso che la stessa poggia (essendo molto profonda) su uno strato di terreno non molto resistente (in base alle prove penetrometriche), e peraltro con la falda leggermente superiore alla quota di posa. La fondazione è la prosecuzione ideale delle murature soprastanti (quindi con laterizio pieno) con un leggero ringrosso rispetto alla sezione di base, ma costituita dalla stessa tipologia di materiale, e dunque schematizzata come un'asta piena in muratura per condurre la verifica di resistenza della stessa.

Di seguito le foto dello scavo e la sezione rilevata. Quest'ultima è stata poi assimilata ad una sezione ideale resistente che interagisce con il terreno.



Foto scavo per saggio di fondazione

Lo scavo è stato effettuato in corrispondenza dell'angolo della corte interna, al fine di individuare eventuali difformità tra i due sistemi fondali. L'unica difformità rilevata è la presenza di archi di scarico sulla stecca in cui è alloggiato il conservatorio e le sue aule. Non sono state rilevate altre evidenti difformità in dimensione e tipologia, e come si evince dalle foto si tratta di una fondazione continua e assolutamente uguale su entrambi i corpi di fabbrica. La nuova fondazione è stata quindi ben ammorsata alla vecchia creando un buon vincolo di continuità.



### 3. Interventi di messa in sicurezza

Come già accennato nella relazione generale gli interventi di messa in sicurezza degli ambienti riguardano diversi ambiti.

#### Tirantature murature

Visto il quadro fessurativo delle murature (interno ed esterno) rilevato nella zona prospiciente Viale della Giovecca e Sagrato della chiesa dei Teatini, tenuto conto delle analisi numeriche svolte in sede di verifica di vulnerabilità sismica in cui è emersa la effettiva alta vulnerabilità delle suddette pareti soggette a verifica sismica tramite analisi cinematica lineare si è deciso di predisporre un intervento preventivo di confinamento delle murature snelle, per evitarne il ribaltamento fuori piano.

In sede di analisi è stato riscontrato infatti un moto attivo di rotazione rigida della parete, tramite l'individuazione di una serie di lesioni localizzate soprattutto nelle assenti ammorsature con le pareti ortogonali. La muratura portante perimetrale parallela a Viale della Giovecca risulta ad oggi completamente scollegata così come emerge anche dalle foto di seguito:



Particolare della parete su Via della Giovecca lato sx

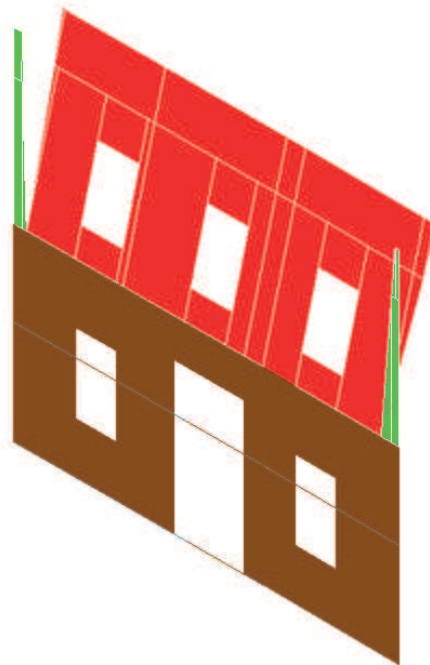


Particolare della parete su Via della Giovecca lato dx

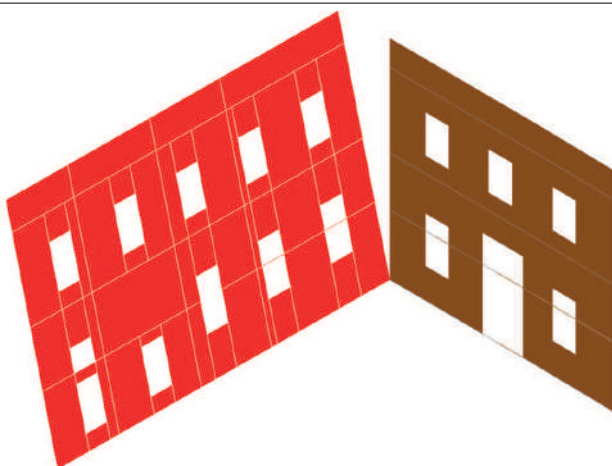
Le verifiche numeriche condotte sono brevemente riportate qui di seguito:



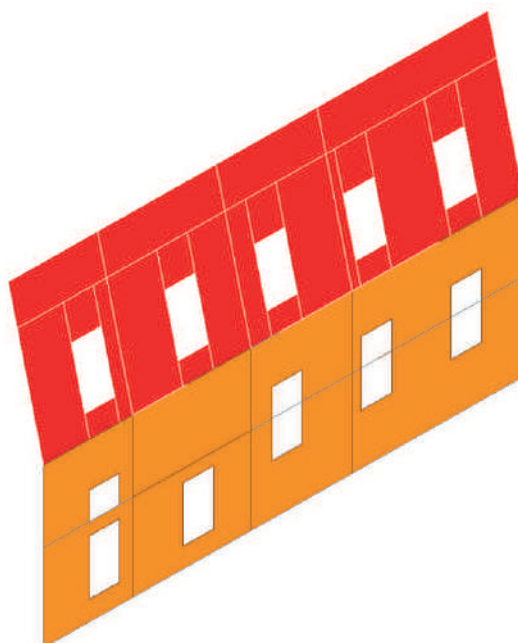
Meccanismo 1: Ribaltamento semplice totale della facciata Nord\_linea di frattura  $h=0\text{m}$ ;  $\alpha=0,11$



Meccanismo 2: Ribaltamento semplice della facciata Nord\_linea di frattura  $h=7,2\text{m}$ ;  $\alpha=0,16$

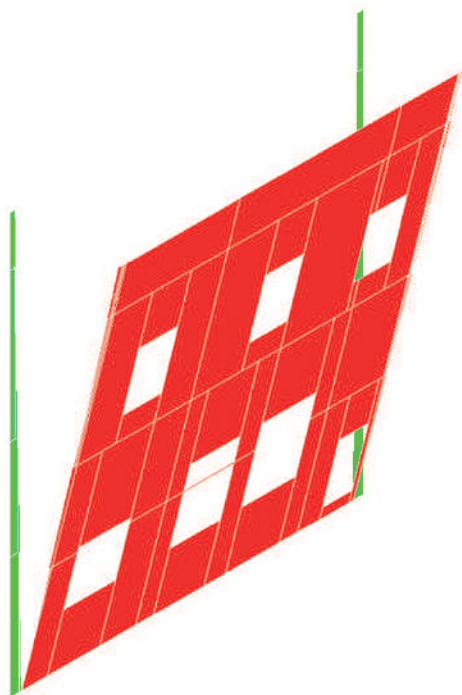


Meccanismo 3: Ribaltamento semplice della parete Ovest (sagrato)\_linea di frattura  $h=0\text{m}$ ;  $\alpha=0,16$

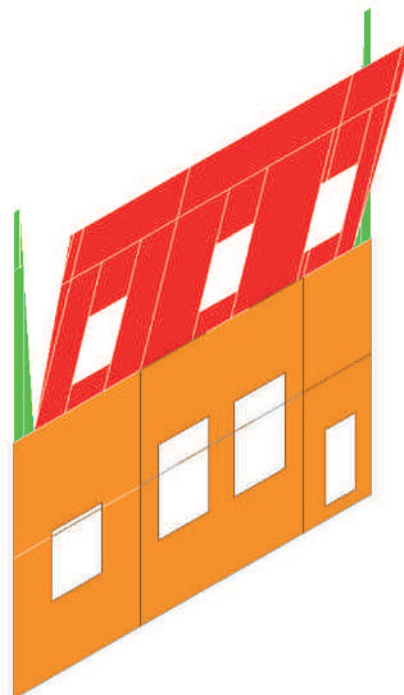


Meccanismo 4: Ribaltamento semplice parziale della parete Ovest (sagrato)\_linea di frattura  $h=7,2\text{m}$ ;  $\alpha=0,03$





Meccanismo 5: Ribaltamento semplice parziale della facciata Est (corte interna laterale\_linea di frattura  $h=0\text{m}$ ;  $\alpha=0,20$ )

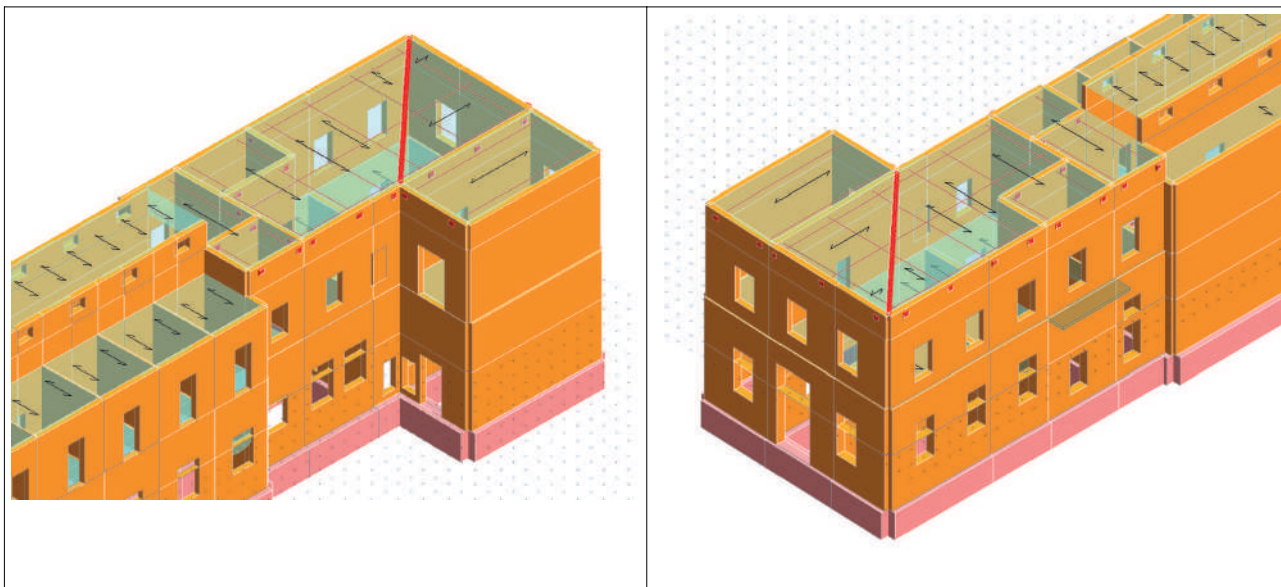


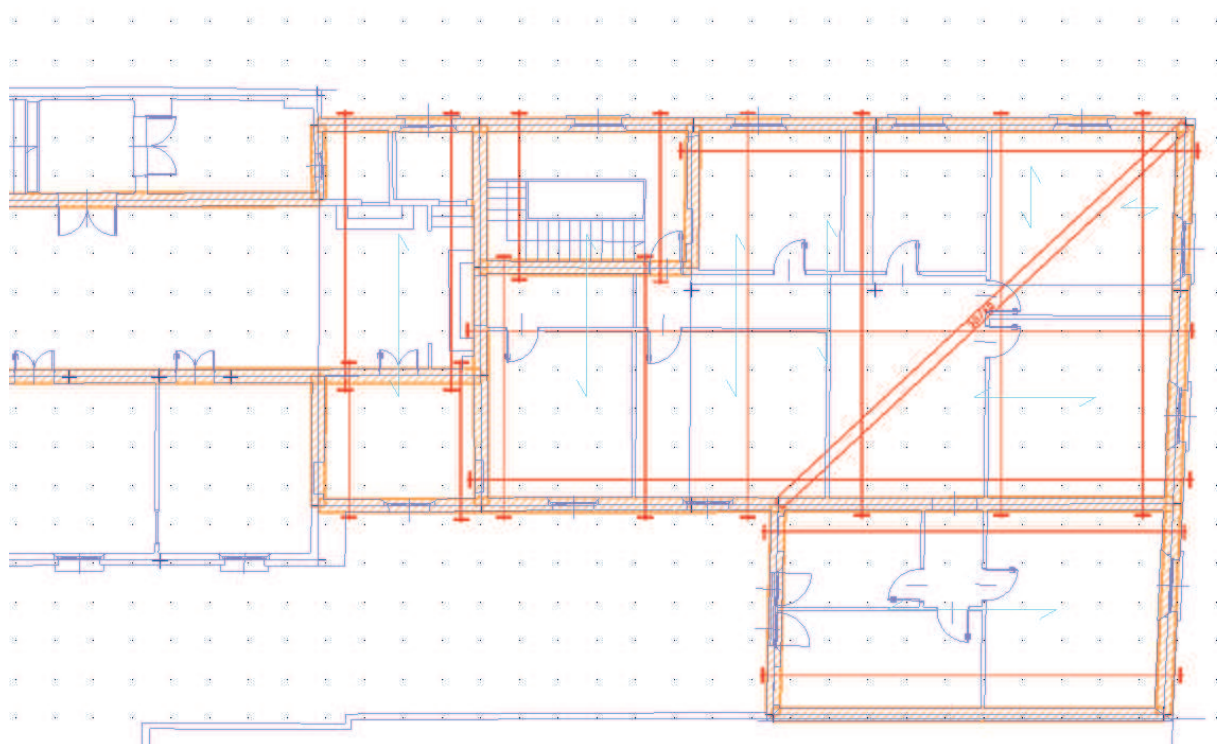
Meccanismo 6: Ribaltamento semplice totale della facciata Est (lat\_linea di frattura  $h=7,2\text{m}$ ;  $\alpha=0,32$ )



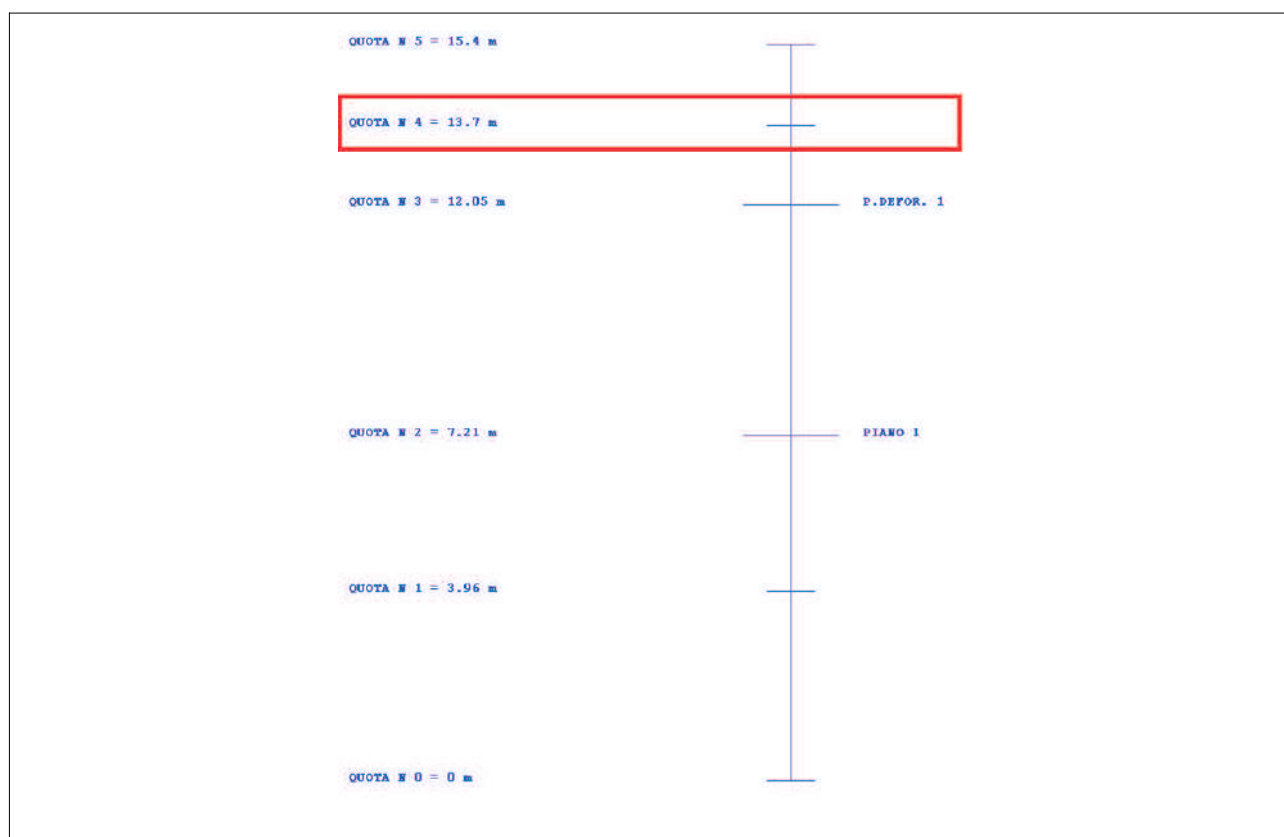
L'intervento previsto è dunque l'inserimento di catene in acciaio Ø20 con capochiave di dimensioni 40 cm di larghezza e 30 cm di altezza su due murature portanti tra di esse parallele, al fine di creare un effetto confinamento al ribaltamento rigido fuori piano delle murature esterne, che rappresentano i meccanismi di primo modo e generalmente maggiormente pericolosi e suscettibili alle forze sismiche orizzontali.

A tal fine si prospettano il seguente numero di catene:





Planimetria con la localizzazione in pianta delle catene

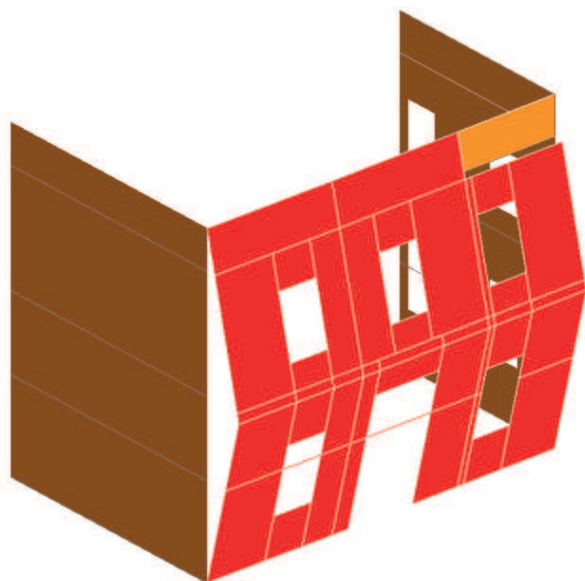




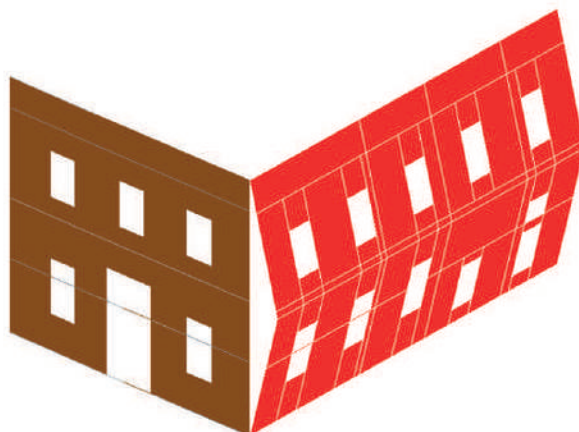
Il numero e la disposizione in pianta e sezione delle catene è esplicitato nei disegni esecutivi.

Per limitare l'impatto visivo in facciata dei capochiave è stata studiata la possibilità di inserire un solo ordine di catene nel sottotetto, così da risultare non visibili all'interno essendo al di sopra dell'attuale controsoffitto ed inoltre evitare l'impatto in facciata, così come da parere ed indicazione della Soprintendenza ai Beni Culturali di Ferrara. Affinchè questo sistema possa considerarsi efficace è necessario svolgere anche alcune ulteriori verifiche che potrebbero insorgere confinando una muratura così snella ed alta solo in testa, ovvero l'innescarsi di una instabilità che possa provocare la formazione di un punto di cerniera orizzontale al livello del primo solaio, determinando una flessione verticale dell'intera parete.

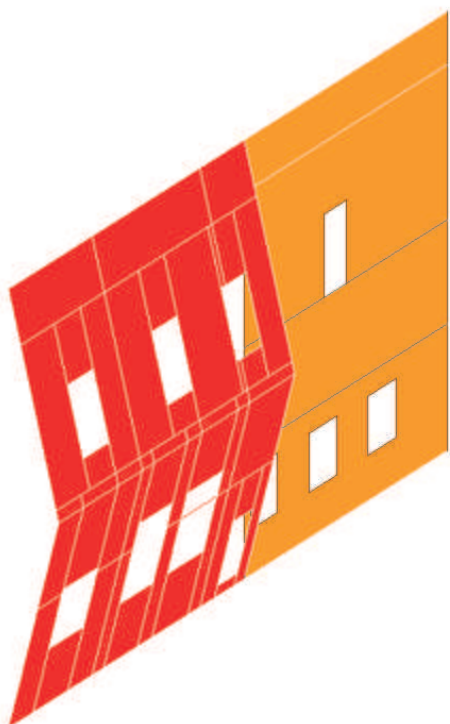
Di seguito la verifica a questo cinematismo possibile.



Meccanismo 7: Flessione verticale della facciata su Viale Giovecca\_linea di frattura  $h=7,2m$ ;



Meccanismo 8: Flessione verticale della facciata su Viale del Sagrato\_linea di frattura  $h=7,2m$ ;



Meccanismo 9: Flessione verticale della facciata della corte interna\_linea di frattura  $h=7,2m$ ;

E di seguito i risultati numerici inerenti anche le precedenti verifiche considerando gli interventi da eseguirsi. Si intendono verificati allo SLV i risultati che presentano il “coefficiente di sicurezza”





(ovvero il rapporto tra capacità e domanda allo SLV) maggiore di 1.

Meccanismo n. 1	
Coefficiente di sicurezza:	1.275596
Meccanismo n. 2	
Coefficiente di sicurezza:	1.67647
Meccanismo n. 3	
Coefficiente di sicurezza:	1.019574
Meccanismo n. 4	
Coefficiente di sicurezza:	1.375323
Meccanismo n. 5	
Coefficiente di sicurezza:	1.358069
Meccanismo n. 6	
Coefficiente di sicurezza:	2.663614
Meccanismo n. 7	
Coefficiente di sicurezza:	1.293743
Meccanismo n. 8	
Coefficiente di sicurezza:	1.261753
Meccanismo n. 9	
Coefficiente di sicurezza:	1.494732

Come si evince dai risultati sopra riportati le verifiche condotte soddisfano tutti i requisiti di sicurezza.

Per rendere più efficace l'effetto confinamento delle murature ed avere una più efficace ripartizione dello sforzo di trazione potenziale che potrebbe insistere sulla testa delle murature sotto sisma, viene inserito un profilo UPN 160 di contrasto con il capochiave esterno, che però corre per tutto lo sviluppo della muratura portante, così da ripartire lo sforzo non in maniera puntuale ma distribuita.

Sia per l'inserimento di questi profili che dei capochiave andrà prevista la regolarizzazione dei piani di posa, mediante scarifica superficiale e finitura con apposita malta a base calce su cui ripartire l'azione dei profili metallici.

Nei disegni esecutivi sono riportati i particolari costruttivi per l'inserimento delle catene e tutti i



passaggi per la loro realizzazione.

**- Rinforzo di volte in foglio.**

Un altro intervento urgente da porre in opera è il rinforzo di alcune volte in foglio presenti su due lati del fabbricato, ovvero lungo il lato della corte interna al piano primo dove sono allocate le aule del conservatorio di musica, e sull'ala perpendicolare a quest'ultima, ovvero al di sopra di locali ormai abbandonati in disuso. Queste volte sono composte da una sola fila di mattoni messi "in foglio" ovvero non disposti "a coltello", che determinano una alta pericolosità nei confronti della stabilità degli elementi che la compongono in quanto possono essere soggette caduta di materiale dall'alto, soprattutto in caso di azioni esterne.

Siccome in parte dei locali sono presenti ambienti attualmente utilizzati si è reso necessario intervenire per garantire la sicurezza di codesti ambienti.

Essendo prive di riempimento, il rinforzo è praticato dall'estradosso tramite l'inserimento di una piccola cappa collaborante armata solo con una rete di in GFRP (Glass Fiber Reinforced Polymer). La rete fa da supporto all'estradosso della volta grazie ad una malta a base calce in cui essa risulta annegata (come da prescrizioni della Soprintendenza). La rete andrà stesa previa una fase di pulitura dell'estradosso fino a mettere a nudo ed in maniera pulita gli elementi portanti. La fase successiva è l'applicazione all'estradosso di connettori in acciaio zincato fissati con apposita resina epossidica (per evitare di perforare l'esiguo spessore della volta). Dato che il fissaggio risulta essere di tipo chimico vengono predisposti almeno 25 connettori al mq, ovvero uno ogni 25 cm nello sviluppo longitudinale e trasversale. La fase successiva prevede di porre in opera uno strato di malta a base calce (altamente traspirabile) di circa 3 cm di spessore in cui viene annegata la rete in GRFP maglia 33x33mm. La rete deve essere opportunamente collegata ai supporti perimetrali tramite un angolare in GFRP 33x33cm a sua volta fissato alle pareti tramite un barra in GFRP Ø12 inghisata con resina nelle murature.

Le reni della volta al di sotto dell'angolare in GFRP verranno riempiti con la stessa malta cementizia.

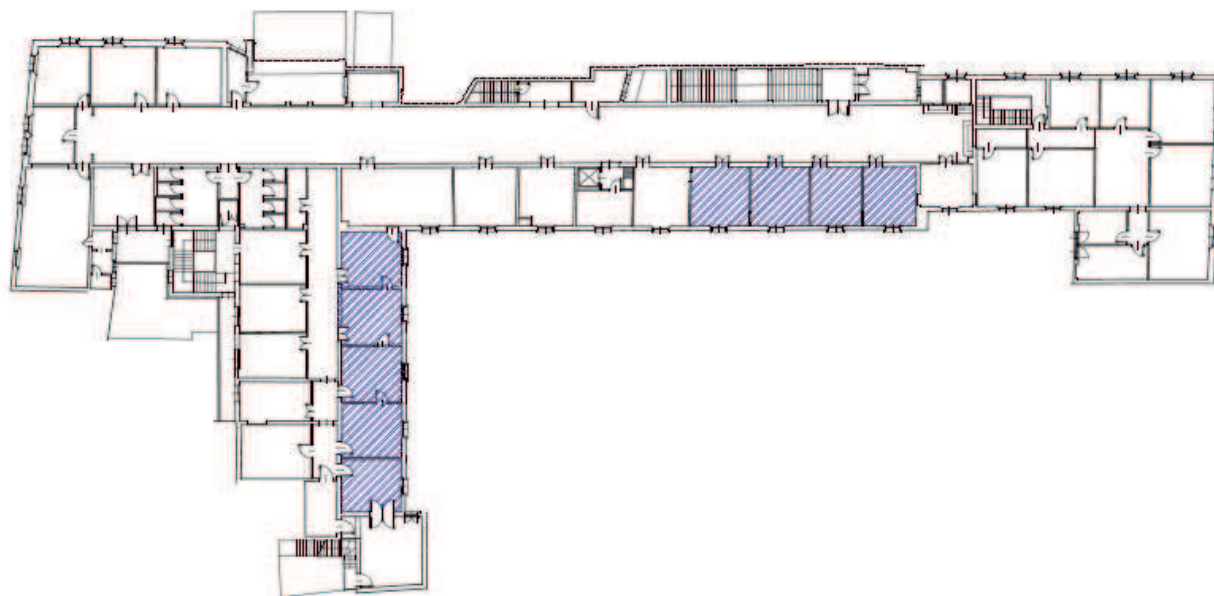
Il risultato finale è di aver solidarizzato la parte portante della volta con la cappa armata in fibra in un unico elemento strutturale così da evitare che gli elementi che compongono la volta



**S I C U R I N G**  
s i c u r e z z a & i n g e g n e r i a

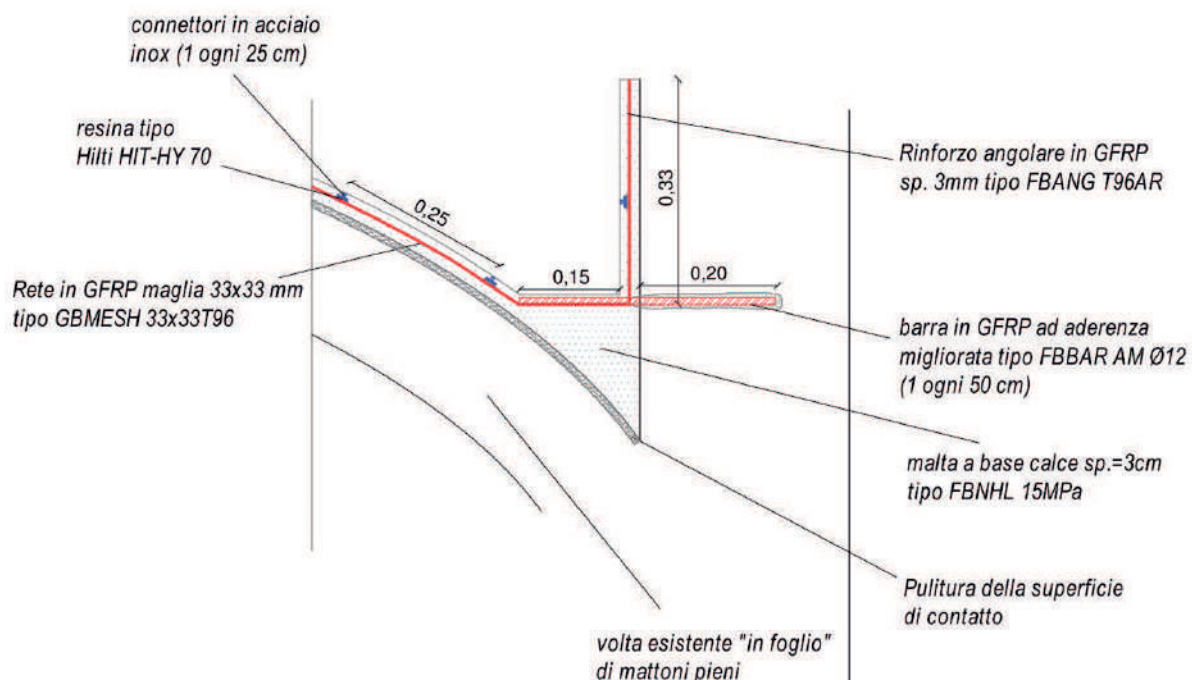
possono in qualche modo staccarsi e cadere negli ambienti inferiori.





In blu gli ambienti interessati dal rinforzo estradossale delle volte in foglio.

L'intervento andrà quindi eseguito su circa 162 mq di superficie voltata. Le volte su cui si eseguirà l'intervento sono pressapoco le medesime sia sulla parte del conservatorio che sulla parte ortogonale.





## - Rimozione dei controsoffitti pericolanti

E' prevista la rimozione di tutti i controsoffitti pericolanti in special modo quelli che riguardano gli ambienti in cui l'uso vi è un uso attualmente attivo.

Per questa ragione è riportata una pianta di tutte le tipologie di controsoffitto pericolanti (in laterizio, cannicciato, fibre ecc.) che necessitano della immediata rimozione, nonché di quelli che vengono rimossi perché connessi ad interventi strutturali diretti.



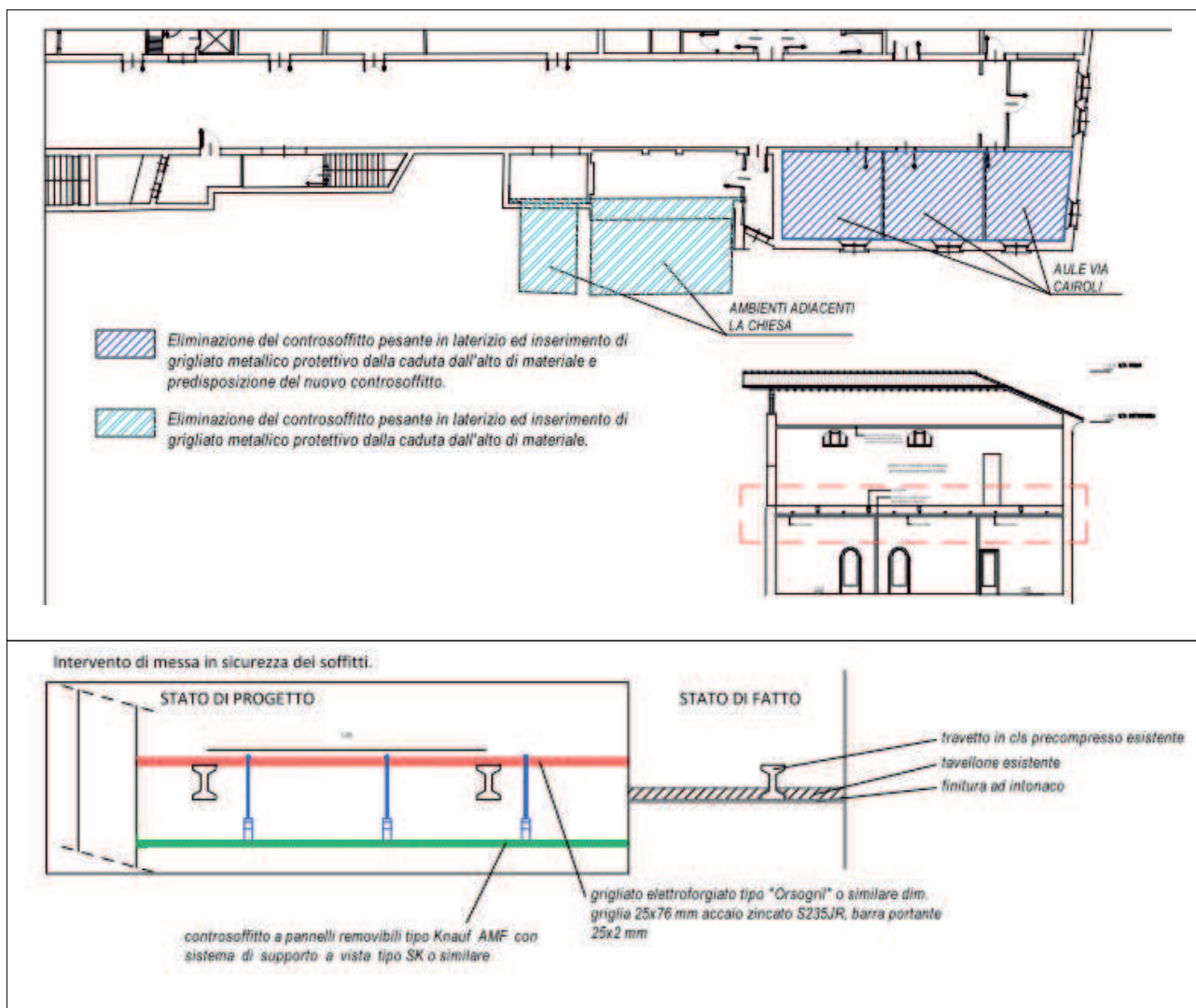




## - Rifacimento dei controsoffitti

Gli ambienti che presentano i rischi maggiori nei confronti della sicurezza e stabilità dei controsoffitti sono quelli in corrispondenza di Via Cairoli, identificati con il numero 22,23 e 24. Per questi ambienti è prevista la rimozione dell'attuale controsoffitto pesante in laterizio ed intonaco, e la successiva posa di grigliato elettroforgiato all'estradosso dei travetti in cls precompresso. Il grigliato garantirà la protezione dalla caduta di materiale dall'alto (tetto). Sul grigliato è poi predisposta la struttura portante del nuovo controsoffitto in fibre tipo Knauf AMF con pendini antisismici. Nella parte confinante con la proprietà della chiesa è invece rimosso lo scempiato di tavelline in laterizio, attualmente pericolante. Verrà quindi predisposto anche per questo ambiente un grigliato del tipo "Orsogril".

Qui la mappa degli ambienti e l'intervento da eseguirsi.

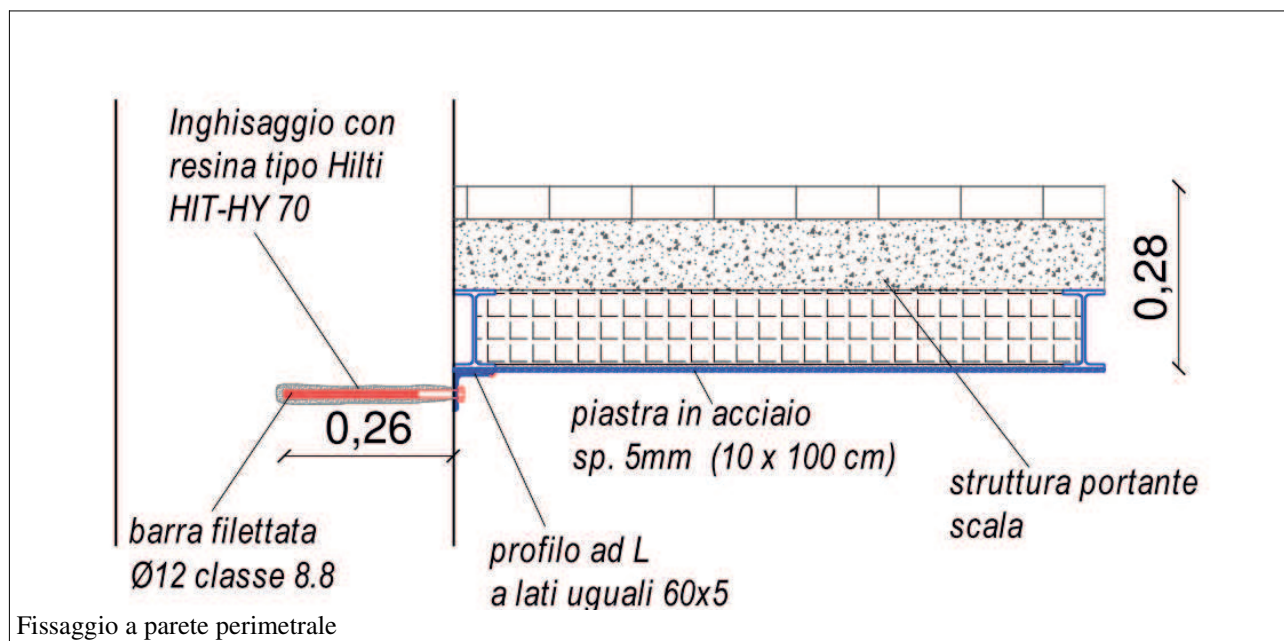


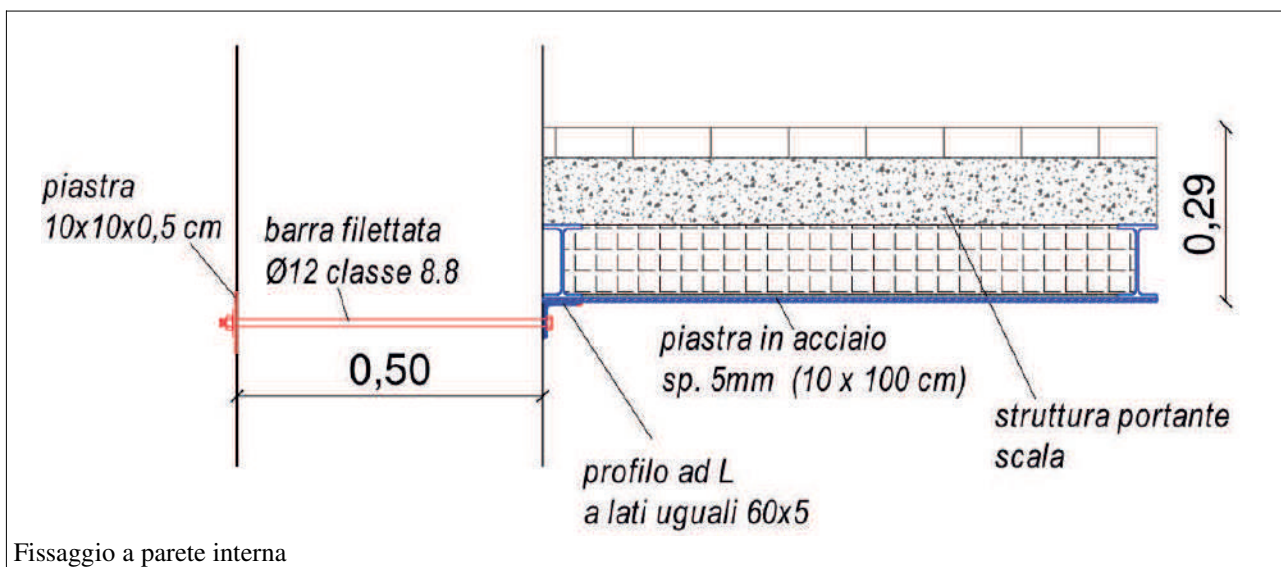
- Rinforzo scala

Nell'ambiente n°16 è stato invece riscontrato il parziale inizio di distacco della scala dalla parete perimetrale, a causa della rotazione rigida fuori piano di quest'ultima. L'intervento ha il fine di confinare la struttura portante della scala alle pareti perimetrali così da ottenere il duplice scopo di evitare il distacco della scala e di costituire un nucleo più rigido del sistema scatolare murario sul quale la stessa scala poggia.

La struttura portante della scala è costituita da montanti in putrelle di ferro che sorreggono del laterizio alla volterrana ed il riempimento dei gradini. L'intervento prevede l'inserimento di un profilo di acciaio angolare a lati uguali 60x5mm ancorato su di un lato alla muratura perimetrale e sull'altro al profilo portante della scala parallelo alla muratura, a cui è opportunamente saldato. Viene predisposta anche una piastra d'acciaio 10x100cm e sp. 5Mm che colleghi i due profili portanti della scala, per assicurare maggiore rigidità alla struttura.

L'angolare è fissato tramite bulloni M12 classe 8.8 serrati tramite una piastrina all'altra estremità della parete. Per la parete esterna il fissaggio al muro è assicurato da inghisaggio con resina epossidica.







#### 4. Conclusioni

In seguito agli interventi previsti si può asserire che tutte le problematiche connesse agli interventi sono state eliminate. In particolar modo si è ottenuto la messa in sicurezza nei confronti del ribaltamento delle pareti fuori piano (meccanismi di primo modo) fino al raggiungimento dell'adeguamento sismico nei confronti di tali cinematismi.

Si è ottenuta la messa in sicurezza della scala e del suo confinamento alle pareti perimetrali.

Si è inoltre ottenuta la messa in sicurezza di tutti i controsoffitti presenti, eliminando quelli in stato di alto degrado e/o con alto rischio di crolli, nonché sono stati sostituiti i controsoffitti negli ambienti ad uso frequente con altre tipologie completamente a norma anche dal punto di vista antisismico.

Si sono ancora messi in sicurezza gli ambienti ad uso frequente in cui vi sia un soffitto con elementi portanti pesanti (volte in foglio) che sono suscettibili di instabilità nei confronti di azioni esterne e non.