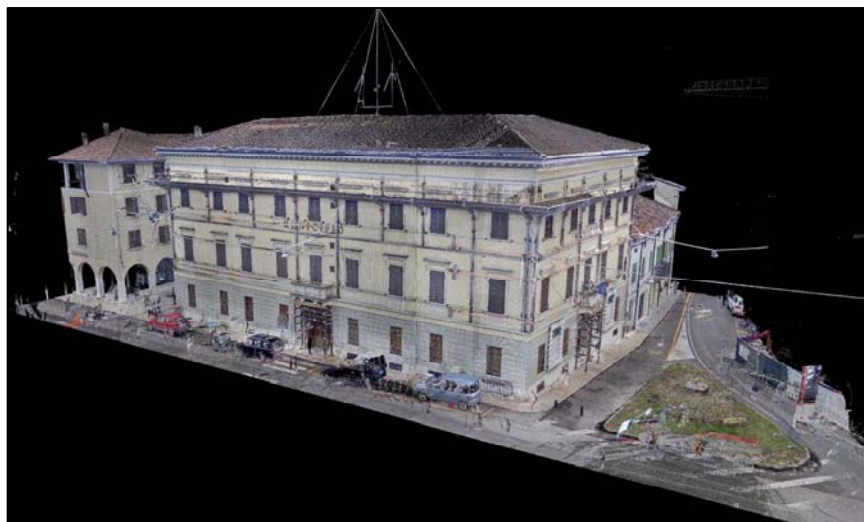




# COMUNE DI QUISTELLO



INTERVENTO DI RIPRISTINO DEI DANNI SISMICI,  
MIGLIORAMENTO SISMICO, RESTAURO ARCHITETTONICO,  
COMPRESI INTERVENTI DI ADEGUAMENTO IMPIANTI ED  
EFFICIENTAMENTO ENERGETICO

## PROGETTO ESECUTIVO

ELABORATO <b>TAV. ST 1</b>	<b>OPERE STRUTTURALI</b> RELAZIONE TECNICA SPECIALISTICA	SCALA
<i>PROGETTAZIONE</i> <i>ARCH. STEFANO RIGHI</i> <i>ISCRIZIONE ORDINE DEGLI ARCHITETTI DI MANTOVA N. 275</i>		
<i>PROGETTAZIONE STRUTTURE</i> <i>ING. LUCA SIGNORINI</i> <i>ISCRIZIONE ALL'ALBO DEGLI INGEGNERI DI MANTOVA N. 972</i>		
<i>PROGETTAZIONE IMPIANTI MECCANICI</i> <i>ING. PAOLO LOTTI</i> <i>ISCRIZIONE ALL'ALBO DEGLI INGEGNERI DI MANTOVA N. 804</i>		
<i>PROGETTAZIONE IMPIANTI ELETTRICI</i> <i>P.I. ALESSANDRO NEGRINI</i> <i>ISCRIZIONE ALL'ALBO DEI PERITI INDUSTRIALI DI MANTOVA N. 900</i>		
<i>ESECUZIONE DEI RILIEVI</i> <b>GEOGRA</b> <i>via Indipendenza, 106 SERMIDE (MN) 0386-62628 <a href="http://www.geogra.it">www.geogra.it</a> e-mail: <a href="mailto:info@geogra.it">info@geogra.it</a></i>		IL-RESPONSABILE-DEL-PROCEDIMENTO
DATA 19-12-2016	REVISIONE	ARCHIVIO

OGGETTO

**RECUPERO FUNZIONALE  
DELLA RESIDENZA MUNICIPALE DI PIAZZA MATTEOTTI N. 1  
A SEGUITO DEI DANNI RIPORTATI CON GLI EVENTI SISMICI DEL 2012**

COMMITTENTE

Comune di Quistello  
Piazza Matteotti n. 1, 46026 Quistello (MN)

**PROGETTO ESECUTIVO**

RELAZIONE TECNICA SPECIALISTICA

**OPERE STRUTTURALI**

Borgo Virgilio, 19/12/2016

IL TECNICO  
Ing. Luca Signorini

## SOMMARIO

1.	Premessa e cenni storici .....	3
2.	Stato di fatto .....	4
2.1	Descrizione delle strutture esistenti.....	4
2.1.1	Solai.....	4
2.1.2	Murature .....	6
2.1.3	Copertura.....	6
2.2	Unità strutturali.....	7
2.3	Rilievo geometrico .....	7
2.4	Saggi e indagini visive .....	7
2.4.1	Indagini a soffitto .....	8
2.4.2	Indagini a pavimento .....	8
2.4.3	Indagini a parete.....	9
2.4.4	Indagini in copertura.....	9
2.5	Prove in sito e di laboratorio .....	10
2.5.1	Prove di schiacciamento con martinetti piatti doppi .....	10
2.5.2	Prove di scorrimento .....	13
2.5.3	Prove petrografiche su malte strutturali ed intonaci.....	13
2.5.4	Indagine con georadar .....	14
2.5.5	Caratterizzazione dinamica.....	14
2.6	Livello di conoscenza raggiunto .....	14
3.	Descrizione del danno.....	18
3.1	Copertura.....	18
3.1.1	Copertura del piano sottotetto.....	18
3.1.2	Copertura zona Sala Consigliare.....	18
3.1.3	Copertura della ex casa del Custode.....	18
3.2	Solai con volta in muratura.....	18
3.2.1	Solai con volta in muratura.....	18
3.2.2	Solai con struttura in legno o tipo "Varese" con cappa collaborante.....	19
3.2.3	Solai con struttura in latero-cemento gettato in opera.....	20
3.3	Murature.....	20
3.4	Danni e carenze preesistenti.....	22
4.	Descrizione degli interventi .....	23
4.1	Interventi nel Palazzo Viani .....	23
4.1.1	Interventi su solai a volta.....	23
4.1.2	Interventi su solai lignei con soletta esistente .....	24
4.1.3	Interventi in copertura.....	25
4.1.4	Interventi sulle murature.....	25
4.1.5	Altre opere .....	26
4.2	Interventi nella ex casa del Custode.....	27
4.2.1	Interventi sulle murature .....	27
4.2.2	Interventi in fondazione .....	27
4.2.3	Interventi a solaio .....	28
5.	Elaborazioni numeriche e verifiche svolte.....	28
6.	Sintesi dei risultati delle analisi svolte .....	29
6.1	Analisi lineare dinamica .....	29
6.2	Analisi statica non lineare .....	29
6.3	Analisi dei meccanismi di collasso .....	30
6.4	Verifica di nuovi elementi strutturali.....	31

## **1. Premessa e cenni storici**

L'immobile, oggi destinato a sede municipale, è ubicato nel centro storico di Quistello in Piazza Matteotti, angolo via Martiri di Belfiore.

L'edificio, composto da due corpi di fabbrica distinti, presenta una conformazione planimetrica a "C" orientata secondo la direttrice est-ovest e si sviluppa in altezza in complessivi 5 livelli (interrato, piano terra, piano primo, piano secondo e sottotetto).

Il primo corpo di fabbrica, quello principale, corrispondente al nucleo dell'originario Palazzo Viani risalente alla prima metà del XIX sec., presenta una conformazione planimetrica ad "L" con lati esposti a nord e a ovest e si sviluppa per tutti e cinque i livelli.

Il secondo corpo di fabbrica, corrispondente ad antichi magazzini e scuderie annessi al Palazzo Viani, presenta una conformazione planimetrica compatta a sagoma rettangolare con fronte esposto ad est e si sviluppa in altezza al solo piano terra e primo.

L'acquisto del palazzo da parte dell'Amministrazione municipale, avvenuto il 7 febbraio 1918, ha introdotto, negli anni immediatamente successivi, le prime e radicali modifiche alla struttura originaria, che si possono riassumere come segue:

- realizzazione della Sala Consiliare, ricavata nei locali rustici liberi esistenti al secondo piano nell'ala est dell'originario Palazzo Viani, che ha comportato la demolizione del solaio del sottotetto e dei relativi muri portanti al piano secondo e sottotetto e l'inserimento di capriate in legno per sostenere la copertura;
- realizzazione dell'abitazione per il messo comunale (custode), oggi trasformata in uffici della polizia locale, a seguito della trasformazione dei magazzini e scuderie posti ad est del Palazzo Viani;

Successivamente, nel 1932, vennero realizzati i servizi igienici ad ogni piano, sostituita parte della lattoneria e riordinata la facciata.

Di particolare rilievo è l'intervento di ristrutturazione generale, svolto negli anni '80 a firma degli arch. Spelta, nel corso del quale si sono attuati interventi di consolidamento dei solai lignei, ricostruzione integrale della porzione di copertura lignea che ancora conservava l'originale struttura portante, restauro di tutte le finiture architettoniche e dell'apparato decorativo, ricostruzione di tutta l'impiantistica (meccanica, idrosanitaria ed elettrica) con linee sottotraccia.

L'ultimo intervento svolto sull'immobile risale al 2005, con il rifacimento del manto di copertura, il recupero di parte dei serramenti esterni e la tinteggiatura delle facciate.

Nel 2012, a seguito degli eventi sismici verificatisi nei giorni 20 e 29 maggio e seguenti nelle Regioni Emilia Romagna, Lombardia e Veneto, l'edificio è stato dichiarato totalmente inagibile a causa dei danni subiti alle strutture portanti in muratura. L'edificio è stato poi posto in sicurezza mediante l'inserimento di tirantature provvisorie e diffuse aventi la funzione di ancorare le pareti contrapposte di facciata. Ad oggi l'edificio è inutilizzato.

## **2. Stato di fatto**

### **2.1 Descrizione delle strutture esistenti**

La conoscenza delle strutture portanti esistenti deriva, come meglio descritto nel seguito, dalla consultazione della documentazione relativa a precedenti progettazioni, da sopralluoghi e da specifiche indagini e prove in sito, programmate per approfondire alcuni aspetti particolari.

- a) Gran parte delle informazioni derivano dalla documentazione relativa ai lavori di restauro e risanamento del Palazzo Municipale, redatto nell'anno 1986 a firma degli Arch. Luigi e Rosanna Spelta di Mantova con direttori dei lavori edili Ing. Carpeggiani Adriano e Arch. Luigi Spelta e progettista e direttore lavori strutturali Ing. Bonini Giuseppe di Mirandola. I documenti progettuali di particolare interesse riguardano le tavole architettoniche e le tavole degli interventi strutturali a solaio, le relazioni tecniche illustrative e di calcolo ed i computi di progetto ed allegati alla contabilità dei lavori.
- b) La documentazione relativa ai lavori di risanamento conservativo del manto di copertura della Sede Municipale, redatto nell'anno 2005 a firma dell'arch. Stefano Righi e Geom. Frigeri Bettino, ha permesso di recuperare informazioni relative al pacchetto di copertura.
- c) Diversi sopralluoghi, volti alla verifica delle informazioni acquisite con la consultazione dei documenti di cui sopra, hanno permesso di rilevare lo stato di danno conseguente l'evento sismico e di verificare la consistenza delle strutture murarie, sfruttando la presenza dei numerosi carotaggi svolti per la realizzazione dell'intervento di messa in sicurezza post-sisma dell'immobile.
- d) Campagna di indagini e saggi nei controsoffitti e nei pavimenti per verificare la struttura dei solai e della copertura.
- e) Campagna di indagini in sito e di laboratorio per approfondire la conoscenza delle caratteristiche strutturali delle murature e dell'edificio nel suo insieme, con particolare riferimento al comportamento sismico dello stesso, oltre ad indagini sulle malte e sugli intonaci interni ed esterni, per individuarne le principali caratteristiche di composizione.

#### **2.1.1 Solai**

I solai del piano terra sovrastanti i locali interrati, sono interamente costituiti da volte a botte e localmente da volte a crociera. Le volte a botte presentano, a seconda delle dimensioni planimetriche coperte, una struttura composta da mattoni posati “di coltello” in presenza di luci superiori ai 4 m, oppure mattoni posati “di piatto” nelle campate minori. Le volte a crociera sono invece tutte realizzate con mattoni pieni posati “di piatto”. In particolare nel locale URP al piano terra, la struttura di sostegno del pavimento è composta da quattro volte

a crociera sostenute centralmente da un pilastro in muratura di lato tre teste. Su questi solai non risultano essere stati svolti interventi di consolidamento.

I solai a pavimento del piano primo, secondo e sottotetto, presentano strutture portanti differenziate. Nei locali minori, caratterizzati da larghezza inferiore ai 4 m e generalmente impiegati come corridoi o androni di ingresso, la struttura è composta da volte a crociera con mattoni posati “di piatto”. In questa tipologia di solaio non risultano essere stati svolti interventi di consolidamento. Negli ambienti di maggior dimensione la struttura è, generalmente, composta da travi principali in legno di sezione media 30x30 e 25x30 cm, luce variabile tra i 5 ed i 6.5 m ed interasse massimo di 2.2 m. Con l'intervento progettato nel 1986, le strutture esistenti sono state consolidate e rinforzate mediante infittimento delle travi principali con interposizione di putrelle IPE300, al fine di dimezzare la luce dei travetti ed il carico sulle travi esistenti. Ove erano già presenti elementi metallici di rinforzo, in quanto inseriti in precedenti interventi di cui non si hanno informazioni, questi sono stati sostituiti oppure affiancati da coppie di profili IPE220.

Al di sopra dell'assito, posato all'estradosso dei travetti di sezione 10x10 cm ed interasse 50 cm, è stato realizzato un massetto in calcestruzzo di spessore minimo 4 cm, armato con rete elettrosaldata Ø6/20x20 e collegato ai travetti del solaio mediante n. 4 connettori Ø16/mq. I connettori hanno la funzione di consolidare ed irrigidire l'orditura secondaria del solaio.

La struttura è stata a suo tempo verificata con i seguenti sovraccarichi accidentali:

ai diversi piani di ufficio	300 kg/mq
sala consigliare	400 kg/mq
rampa scale	400 kg/mq
copertura	100 kg/mq

e con i seguenti carichi strutturali e permanenti:

struttura solaio	100 kg/mq
soletta 4 cm	100 kg/mq
pavimento	150 kg/mq
controsoffitto	<u>50 kg/mq</u>
	400 kg/mq

Solo in due ambienti, ubicati al piano secondo e terzo, i solai di pavimentazione sono realizzati in travi tipo “varese” e tavelloni, preesistenti all'intervento del 1986 e sui quali non sono stati eseguiti interventi di rinforzo.

La documentazione progettuale del 1986 non fornisce però informazioni adeguate circa i solai di diverse zone a suo tempo escluse dagli interventi ed in particolare:

- solai con travi in c.a. tipo “varese” e tavelloni
- solai di pavimentazione dei locali ragioneria al piano primo (soffitto stanze 25 e 27)
- solai dei locali della ex “Casa del custode”, poi occupati dalla polizia locale.

Queste zone sono quindi state interessate da una campagna di saggi per individuare la tipologia delle strutture presenti.

### **2.1.2 Murature**

Dalla documentazione progettuale recuperata e dai carotaggi svolti in occasione della posa in opera dei tiranti di presidio e messa in sicurezza provvisoria dell'edificio, si è potuto verificare che le murature portanti sono composte da mattoni pieni legati con malta, di spessore complessivo variabile da un massimo di 5 teste al piano interrato, a circa 2 e 3 teste nel piano sottotetto.

Si è in particolare constatato che, al piano primo e secondo e presumibilmente anche in tutte le aree dell'ex Palazzo Viani, non sono presenti murature a sacco e che la tessitura muraria appare regolare e ben eseguita. Solo in corrispondenza di vecchie aperture tamponate o di canne fumarie nascoste nello spessore murario, si trovano discontinuità ed irregolarità nella matrice muraria.

Nei locali della ex "Casa del custode" non è stato possibile verificare, in sede preliminare, le caratteristiche della tessitura muraria. Solo in occasione della realizzazione della prova di schiacciamento con martinetti piatti è stato rimosso parte dell'intonaco di finitura ed è stato possibile verificare la presenza di muratura di scadente fattura, con malta localmente incoerente e generalmente friabile, matrice muraria con letti di malta orizzontali ed irregolari e localmente disorganizzata nella disposizione dei blocchi.

La caratterizzazione meccanica delle murature è stata svolta attraverso lo svolgimento di prove di carico con martinetti piatti, prove di taglio e analisi delle malte.

### **2.1.3 Copertura**

La copertura è composta da una struttura portante in legno con tipologia differenziata a seconda delle seguenti due zone:

- copertura soprastante la Sala Consigliare: la struttura portante attuale risale agli inizi del XX sec. quando, per realizzare la Sala Consigliare, l'originaria struttura del tetto è stata interamente eliminata e sostituita con capriate, cantonali e terzere, permettendo quindi l'eliminazione del solaio di sottotetto e delle murature del secondo e terzo piano, permettendo quindi la creazione dell'attuale ampia Sala.  
Col progetto del 1986 è stata mantenuta l'orditura portante principale ed è stata sostituita parte dell'orditura secondaria (morali) e posato un nuovo perlinato;
- copertura locali del terzo piano: la struttura portante principale, composta da trave di colmo, cantonali, terzere e travetti in legno lamellare con perline, è stata posata in occasione dell'intervento del 1986, sostituendo l'originaria struttura degli inizi del XIX sec.

## **2.2 Unità strutturali**

La conformazione geometrica e volumetrica dell'immobile, la qualità delle strutture murarie rinvenute e le diverse caratteristiche strutturali degli orizzontamenti, hanno permesso di individuare due diverse unità strutturali:

- la prima corrispondente con il nucleo originario di Palazzo Viani
- la seconda corrispondente all'edificio degli antichi magazzini e scuderie, poi casa del Custode.

Gli eventi sismici hanno evidenziato un diverso comportamento strutturale, comandato prioritariamente da meccanismi di ribaltamento all'interno del Palazzo Viani e da meccanismi globali nelle ex scuderie.

Il diverso comportamento strutturale ha determinato il parziale distacco delle strutture murarie dei due corpi di fabbrica, con formazione di una lesione di alcuni millimetri nella facciata esterna (nodo 24). Nella facciata interna (nodo 23), il vuoto a solaio determinato dal vano scala, ha mitigato il diverso comportamento strutturale, evitando così la formazione di un ampio distacco tra le murature.

## **2.3 Rilievo geometrico**

L'esecuzione del rilievo geometrico dell'immobile è stata affidata alla Ditta GEOGRÀ di Sermide (MN), la quale ha eseguito il rilievo geometrico dell'intero edificio con metodologia laser-scanner. Il rilievo ha riguardato la geometria degli ambienti, sia in pianta che in spiccato, oltre al rilievo fotografico di ciascuna stanza, al fine di definirne anche lo stato di danno nel dettaglio.

Nei locali dotati di controsoffitto, quindi nella quasi totalità degli uffici, il rilievo non ha potuto approfondire le caratteristiche della struttura portante dei solai, in quanto non rilevabili.

Il rilievo così ottenuto costituisce la base grafica utilizzata per l'elaborazione dei disegni di rilievo e di progetto allegati al presente progetto.

## **2.4 Saggi e indagini visive**

Per approfondire la conoscenza relativamente alla struttura portante dei solai, non fornita dal rilievo geometrico di cui al paragrafo precedente, è stato necessario organizzare una serie di saggi ed indagini visive specifiche. In particolare si è proceduto alla rimozione di parti di controsoffitto in cartongesso e di intonaci a soffitto, alla esecuzione di saggi puntuali a pavimento oltre ad indagini in corrispondenza degli appoggi dei travetti della copertura.

Gli approfondimenti svolti hanno permesso, da un lato, di confermare le caratteristiche della struttura portante dei solai negli ambienti in cui l'intervento del 1986 aveva previsto opere di consolidamento, mentre, negli ambienti in cui non erano indicati interventi, di individuare la struttura presente.



L'ubicazione dei saggi e delle indagini svolte, con le relative immagini fotografiche, sono illustrati nell'apposito allegato.

#### **2.4.1 Indagini a soffitto**

Le indagini a soffitto hanno consistito nella rimozione di porzioni di controsoffitto al fine di verificare la struttura, visibile all'intradosso, dei solai soprastanti. I rilievi svolti hanno consentito di verificare la sostanziale attendibilità della documentazione progettuale agli atti e relativa agli interventi svolti negli anni '80 sull'immobile e di verificare che, analoghi interventi sono stati svolti anche negli ambienti in cui non erano previste opere di rinforzo.

I solai con struttura tipo "Varese" con travetti n.c.a. e tavelloni è stata individuata come indicato nella documentazione progettuale citata e ne è stata verificata l'orditura.

Nella Sala Consigliere la rimozione del controsoffitto, già danneggiato gravemente dall'evento sismico, ha permesso di mettere a vista la struttura portante del controsoffitto e dell'impalcato ligneo di accesso al sottotetto.

Nei locali della ex casa del Custode si è proceduto alla rimozione di porzioni di intonaco a soffitto per verificare l'orditura e la tipologia del solaio presente in entrambi i piani: solai in latero cemento con travetto parzialmente prefabbricato dotato di fondello in cotto ed interposti in laterizio.

#### **2.4.2 Indagini a pavimento**

Oltre alle indagini a soffitto, sono state svolte indagini a pavimento nei locali del Palazzo Viani, al fine di verificare quanto realizzato all'estradosso della struttura portante dei solai e per confermare quanto indicato nella documentazione agli atti. I saggi sono stati svolti sia su solai in legno, sui solai con struttura tipo "Varese" e sui solai a volta. In tutti i casi è stata individuata la presenza di una soletta in calcestruzzo di spessore pari a circa 4-5 cm dotata di connettori di collegamento inseriti nei travetti in legno e di rete elettrosaldata a barre lisce, posata e fissata a diretto contatto col piano di sostegno del getto. La rete, così posata, è risultata essere poco efficace, in quanto, non essendo inglobata all'interno della soletta, non è in grado di collaborare efficacemente con essa. Inoltre si è evidenziata la completa assenza di collegamenti tra la soletta e le murature perimetrali o tra le armature di locali adiacenti.

Nei sondaggi svolti sui solai in legno si è verificata la presenza di diverse tipologie di piano che, generalmente composto da assiti, in alcuni ambienti presenta una struttura in mattoni di laterizio di tipo tradizionale.

Le indagini svolte sui solai tipo "Varese" hanno evidenziato la presenza di tavelloni posati all'estradosso ed all'intradosso dei travetti prefabbricati con getto di completamento superiore in calcestruzzo.

Analogamente, anche nelle zone con struttura a volta è stata rilevata la presenza della soletta armata, priva di ancoraggi alle murature ed adagiata al di sopra di un riempimento

inerte composto generalmente da ghiaia mista. Solo in un punto del sottotetto, al di sopra dei locali 59-60-61, è stato rinvenuto un riempimento con inerti in argilla espansa. Le volte sono apparse rivestite all'estradosso con rasatura in malta.

Le solette investigate hanno evidenziato la presenza di quote omogenei all'interno di un medesimo impalcato. Inoltre, lo spessore rilevato è risultato, generalmente, compreso tra i 10 ed i 12 cm, comprendendo la soletta in c.a. collaborante e la pavimentazione.

### **2.4.3 Indagini a parete**

Le indagini a parete sono state svolte per valutare la qualità della tessitura muraria. Sono infatti stati rimossi intonaci, sia in zone in cui si sono evidenziate diffuse fessurazioni, le cui cause non apparivano evidenti dall'analisi del quadro fessurativo superficiale, sia nelle zone in cui è stato scelto di svolgere le prove in sito di qualificazione delle caratteristiche meccaniche della muratura.

I saggi a parete sono stati svolti in particolare nelle stanze 34 e 37 del piano primo evidenziando la presenza di finestre tamponate (foto 13), di aperture tamponate e spostate (foto 14) e di altre aperture tamponate e di impianti sottotraccia (foto 16).

In generale, a meno delle carenze e delle manomissioni sopra indicate, le murature di Palazzo Viani sono apparse ben organizzate ed eseguite, con corsi, diatoni e letti di malta regolari, giacitura di posa orizzontale e senza l'impiego di materiali di recupero.

I numerosi carotaggi eseguiti ai diversi piani, per la posa in opera delle cerchiature realizzate mediante fasce in poliestere tesate, hanno permesso di valutare la consistenza delle murature, nell'intero loro spessore ed in diversi punti dell'edificio.

Le murature della ex casa del Custode, invece, sono apparse di qualità più scadente essendo presenti mezzi mattoni di recupero, una scadente organizzazione della matrice muraria e degli ammorsamenti ed una certa irregolarità nella orizzontalità e spessore dei letti di malta. La muratura è apparsa inoltre localmente inconsistente e con vuoti nella parte interna, in quanto alcuni mattoni potevano essere facilmente smossi e spinti verso l'interno dello spessore murario.

### **2.4.4 Indagini in copertura**

Il quadro fessurativo e di danneggiamento della copertura è apparso, da subito, chiaro ed inequivocabile. Si è scelto comunque di svolgere indagini sulla sede di appoggio in gronda dei travetti, al fine di chiarire il motivo di un così contenuto sfilamento all'appoggio degli stessi, a scapito di un dissesto della muratura di gronda, con parziale scorrimento dei blocchi sui letti di malta. Le indagini svolte in due travetti hanno evidenziato una profondità di appoggio inferiore ai 20 cm e la presenza occasionale di listelli in legno, avvitati al travetto e disposti trasversalmente allo stesso, utilizzati come spessore e murati all'interno della struttura muraria. Tali elementi, assieme alla giacitura inclinata del piano di posa dei travetti,

hanno contribuito al parziale ancoraggio del travetto stesso ed al conseguente danneggiamento della muratura in gronda, oltre al dissesto rilevato in colmo.

## **2.5 Prove in sito e di laboratorio**

Oltre al rilievo geometrico ed alle indagini visive di cui sopra, sono state svolte indagini strumentali al fine di approfondire le conoscenze meccaniche della struttura portante muraria e di acquisire informazioni relativamente ad aspetti strutturali altrimenti non verificabili.

Le prove in sito e di laboratorio eseguite nell'immobile sono le seguenti:

- a) n. 2 prove con martinetti piatti associate a prove di scorrimento (shave test), nelle murature del nucleo originario di Villa Viani;
- b) n. 1 prova con martinetti piatti associata a prova di scorrimento (shave test), nelle murature della ex Casa del Custode;
- c) n. 3 analisi petrografiche su malte prelevate nei precedenti punti di prova;
- d) n. 5 analisi petrografiche su intonaci prelevati all'interno ed all'esterno dell'edificio;
- e) indagine georadar per la verifica e ricerca delle fondazioni e della loro profondità;
- f) caratterizzazione dinamica, mediante analisi modale della struttura, finalizzata alla caratterizzazione dinamica dell'edificio e delle possibili interazioni col terreno.

Una dettagliata descrizione delle metodologie di indagine applicate, dell'ubicazione delle prove e dei prelievi e dell'esito delle verifiche svolte, è riportato nella allegata relazione redatta dalla Ditta 4EMME Service s.p.a. di Verona.

### **2.5.1 Prove di schiacciamento con martinetti piatti doppi**

Le prove di schiacciamento con martinetti piatti sono state impiegate per caratterizzare le proprietà meccaniche della muratura in termini di resistenza a schiacciamento e modulo elastico. All'interno del Palazzo Viani sono state svolte due prove, mentre nella ex casa del Custode, una sola prova.

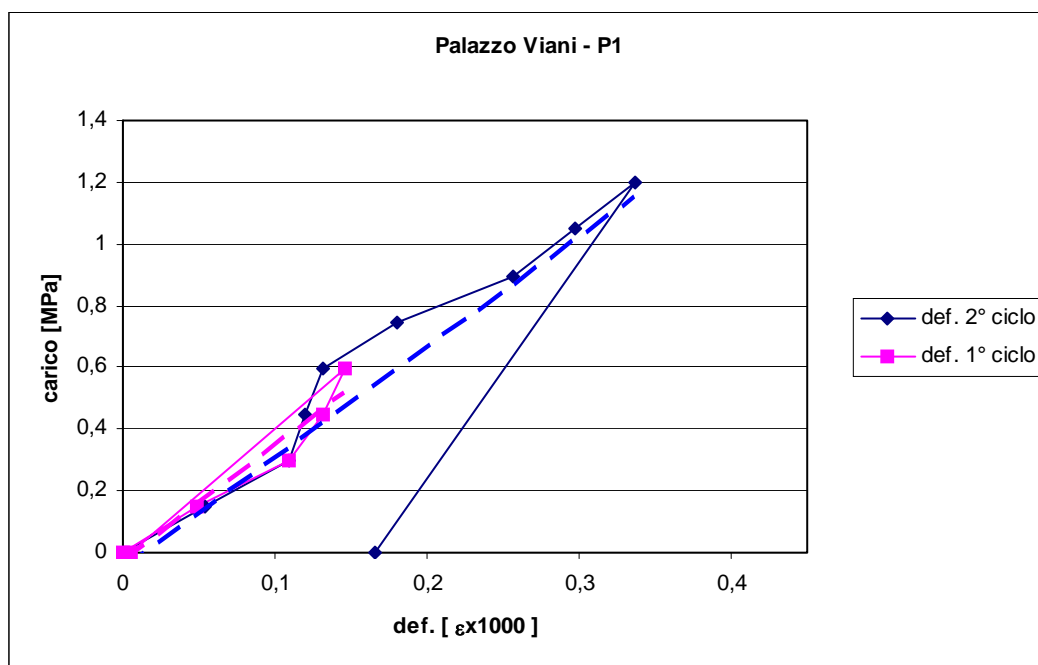
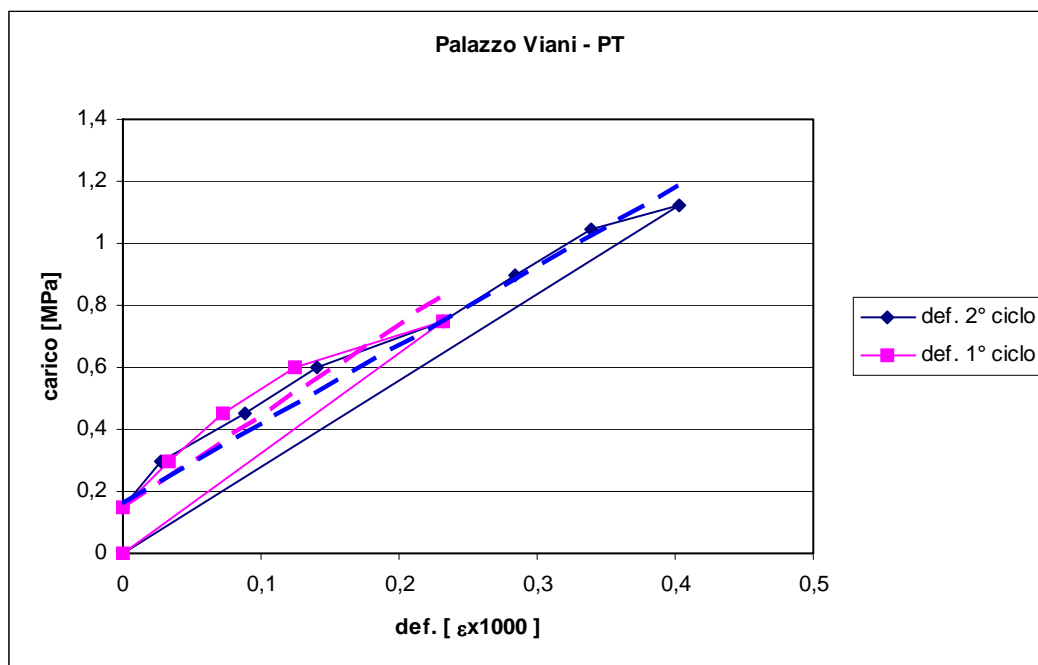
Le prove hanno fornito i seguenti esiti:

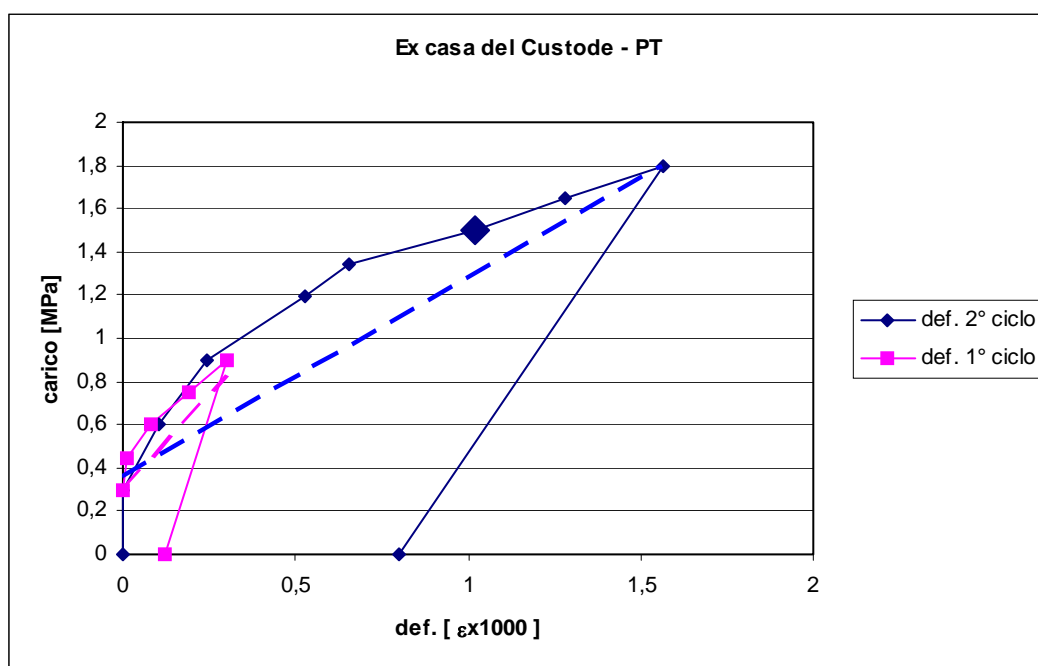
<u>ubicazione prova</u>	<u>Carico di 1<sup>a</sup> fessurazione [MPa]</u>	<u>Modulo elastico [MPa]</u>
piano terra Palazzo Viani	1.12	3855
piano primo Palazzo Viani	1.20	2409
piano terra ex casa Custode	1.79	4307

Diagrammando i valori delle prove, nel piano "deformazione x carico" si evidenzia come, nei diversi cicli di carico e scarico delle prove svolte in Palazzo Viani, si sia manifestata una omogeneità del modulo elastico (linee di tendenza del grafico con inclinazione equivalente), a dimostrazione del fatto che il campione è rimasto in campo sostanzialmente elastico e che la prova è quindi stata interrotta all'inizio del tratto di plasticizzazione del materiale.

Quanto indicato è dimostrato dai valori elevati dei moduli elastici.

Infatti, considerando la formula di normativa  $E = 1000 f_k$ , che lega il modulo elastico con la resistenza caratteristica a rottura della muratura, essendo, nel caso di Palazzo Viani, mediamente  $E = 3100 \text{ MPa}$ , si possono ipotizzare valori di rottura caratteristici, prossimi a  $3.1 \text{ MPa}$ , quindi sensibilmente superiori rispetto ai dati sperimentali di prima fessurazione.





La prova svolta nella Ex casa del Custode, invece, manifesta una diversa rigidità tra il primo ed il secondo ciclo di carico, a testimonianza che il materiale ha manifestato comportamenti non lineari, pur non giungendo alla rottura del campione. Analizzando il grafico è possibile individuare il tratto di inizio della fessurazione in corrispondenza del carico pari a circa 1.50 MPa (evidenziato nel grafico), quindi in corrispondenza di un valore di poco superiore a quello rilevato nelle precedenti prove di carico.

Il rapporto tra i moduli elastici e le resistenze, tra la prima e la seconda serie di prove, risultano poi paragonabili:

$$\begin{aligned} \text{tensioni} & \quad 1.50 \text{ MPa} / 1.16 \text{ MPa} = 1.29 \\ \text{moduli elastici} & \quad 4307 \text{ MPa} / 3132 \text{ MPa} = 1.38 \\ & \quad \text{con una differenza di solo l'7\%.} \end{aligned}$$

Sulla base delle considerazioni sopra esposte, si è scelto di adottare parametri di resistenza intermedi, tra la resistenza di prima fessurazione e la resistenza data da  $E/1000$ . In particolare per la muratura di Palazzo Viani si è utilizzato il parametro minimo fornito dalla tabella C8A.2.1 della Circolare n. 617/2009, pari a 2.4 MPa.

Con analoghe considerazioni, per la Ex casa del Custode, si sono adottate resistenze superiori e pari a 3.0 MPa.

Per il modulo elastico si possono adottare i valori medi di tabella C8A.2.1 ( $E = 1500 \text{ MPa}$ ,  $G = 500 \text{ MPa}$ ) oppure i valori medi sperimentali. Considerando i valori sperimentali come moduli elastici “non fessurati”, si è scelto di adottare i valori sperimentali ridotti del 50% ed arrotondati ai valori di seguito riportati. L'adozione di parametri elastici inferiori di circa il 50%, rispetto ai valori sperimentali permette di mettere in conto le non linearità strutturali riconducibili a difetti costruttivi e al comportamento strutturale del materiale fessurato.

Pertanto i parametri meccanici adottati sono i seguenti:

<u>muratura</u>	<u>Carico di rottura</u> [MPa]	<u>Modulo elastico E</u> [MPa]
Palazzo Viani	2.4	1500
ex casa Custode	3.0	2000

### **2.5.2 Prove di scorrimento**

Nei medesimi punti di prova precedenti sono state svolte inoltre prove con martinetti semplici, per misurare lo stato di sollecitazione della muratura, e prove di scorrimento per stimare la resistenza a taglio coesiva della muratura stessa, attraverso l'assunzione di un coeff. di attrito mattone-malta.

Le prove hanno fornito i seguenti esiti:

<u>muratura</u>	<u>Carico di esercizio</u> [N/cm <sup>2</sup> ]	<u>Coeff. attrito</u> (0.3-1.6)	$\tau_0$ [N/cm <sup>2</sup> ]
piano terra Palazzo Viani	40.0	0.5	2.54
piano primo Palazzo Viani	28.0	1.0	10.40
piano terra ex casa Custode	23.0	0.8	9.21

Sulla base delle indicazioni di normativa, vengono utilizzati i valori medi, di seguito riportati, dei parametri sperimentali della resistenza a taglio. Questi valori appaiono sostanzialmente equivalenti a quelli riportati nella tabella C8A.2.1 della Circolare n. 617/2009.

Si nota inoltre come, anche per il caso del taglio, la resistenza delle murature appare migliore nella Ex casa del Custode, di circa il 50%.

<u>muratura</u>	$\tau_0$ [N/cm <sup>2</sup> ]	<u>Modulo elastico G</u> [MPa]
Palazzo Viani	6.00	600
ex casa Custode	9.00	800

### **2.5.3 Prove petrografiche su malte strutturali ed intonaci**

Le malte e gli intonaci presentano caratteristiche molto simili tra loro, presentano una struttura con matrice composta in prevalenza da calcite. La malta si presenta tenace, di colorazione grigio chiaro e porosità medio-bassa. È composta da sabbia e calce idraulica in rapporto 3/1. Strutturalmente la malta è stata classificata nella classe M2.5 (idraulica) in base al D.M. 14/01/2008.

### 2.5.4 Indagine con georadar

L'indagine con georadar è stata svolta allo scopo di investigare il sottosuolo dell'interrato e del perimetro esterno dell'edificio, al fine di rilevare la presenza di eventuali allargamenti fondali nelle murature interrato. I rilievi svolti hanno evidenziato come le murature siano prive di ringrossi ed allargamenti interrati associate a sistemi fondali. Apare quindi che l'appoggio a terra dia stato realizzato mediante il semplice approfondimento delle pareti e senza allargamenti delle stesse. Leggeri allargamenti sono stati rilevati nella sola stanza n. 1 dell'interrato, a circa 50 cm al di sotto della pavimentazione e solamente nel lato interno delle murature perimetrali esterne controterra.

### 2.5.5 Caratterizzazione dinamica

L'analisi dinamica in sito dell'edificio è stata svolta per acquisire le reali frequenze principali di vibrazione dell'edificio, al fine di poterle confrontare con le frequenze del terreno e con le analisi numeriche svolte.

Il confronto coi dati rilevati nel terreno permette di evidenziare eventuali potenziali rischi di risonanza tra terreno ed edificio, i quali comporterebbero il rischio di amplificazione delle oscillazioni e quindi dei danni.

Il confronto invece con le risultanze delle analisi numeriche, permette di valutare l'attendibilità e quindi, eventualmente, di calibrare la modellazione svolta, almeno in termini di modi principali di vibrazione.

Le indagini strumentali svolte hanno evidenziato le frequenze di seguito indicate.

Frequenza est-ovest [Hz]	Frequenza nord-sud [Hz]	Periodo [sec]	Descrizione
	3.1	0.32	Flessione/traslazione
3.6		0.28	Flessione/traslazione
4.0	4.0	0.25	Torsione
4.3		0.23	n.d.
	5.1	0.20	Flessione/traslazione
5.4		0.19	Torsione ala ovest
6.1		0.16	Flessione contrapposta/dilatazione

Queste frequenze, evidentemente associate all'edificio in condizioni di murature fessurate, sono state utilizzate per calibrare e verificare il modello di analisi numerica, attraverso analisi modale.

Il terreno ha manifestato frequenze proprie pari a 1.13 Hz (periodo 0.88 sec) negli strati profondi (bedrock) e frequenze di 1.65 Hz (periodo 1.61 sec) negli strati più superficiali.

L'edificio presenta frequenze notevolmente diverse da quelle del terreno, con fattore minimo pari a circa 1.9 in condizione di murature fessurate. Non si palesano quindi rischi di risonanza tra terreno ed edificio.

## 2.6 Livello di conoscenza raggiunto

La campagna di prove e di approfondimenti svolti, ha permesso di approfondire la conoscenza strutturale dell'edificio nel suo insieme. Sulla base delle indicazioni contenute nel paragrafo C84.1.A della Circolare n. 617 del 2 febbraio 2009 contenente "Istruzioni per l'applicazione delle «Nuove norme tecniche per le costruzioni» di cui al decreto ministeriale 14 gennaio 2008", è possibile individuare il "livello di conoscenza LC" raggiunto per l'edificio.

*Geometria:* la conoscenza geometrica dell'edificio ed il relativo stato di danno, sono forniti dal rilievo geometrico, eseguito con metodologia laser-scanner e di cui si è detto in precedenza, mentre lo stato di danno è stato rilevato dallo scrivente e riportato negli elaborati allegati. L'entità dei carichi e la tipologia dei materiali e degli schemi statici di calcolo, adottati per il dimensionamento degli interventi svolti in passato, deriva dalla documentazione originale recuperata e dalle indagini e saggi svolti.

*Dettagli costruttivi:* la conoscenza dei dettagli costruttivi deriva dalle informazioni relative alla pratica costruttiva in vigore all'epoca della realizzazione dell'edificio, dalle indicazioni contenute nella documentazione originale di precedenti progettazioni, confermata dallo stato di danno rilevato e dalle indagini e saggi svolti. In particolare:

- collegamento tra pareti verticali: le angolate e martelli non hanno mostrato, in generale, carenze costruttive negli ammorsamenti, se non localmente in corrispondenza di ampliamenti (giunti strutturali naturali) o di modifiche alla tessitura muraria originaria (nuove murature);
- collegamento tra orizzontamenti e pareti verticali: gli orizzontamenti dei solai e della copertura sono privi di specifici dispositivi di ancoraggio alle murature di appoggio, sia a livello di travi che di travetti. Anche la soletta in c.a., realizzata al di sopra dell'assito dei solai, si presenta priva di ancoraggi nella muratura. L'ancoraggio degli orizzontamenti alle murature è quindi costituito dal semplice ammorsamento, ad attrito, degli elementi portanti incassati all'interno della muratura di appoggio: si sono infatti evidenziati movimenti agli appoggi delle strutture secondarie dei solai (travetti o tavelle) in quanto poco caricate all'appoggio, mentre tali spostamenti sono risultati essere molto contenuti o trascurabili in corrispondenza degli appoggi di travi in quanto maggiormente caricate. Solo i travetti in legno lamellare della copertura, realizzata negli anni '80, presentano, occasionalmente, un parziale ancoraggio costituito da listelli avvitati all'appoggio, con funzione di semplice spessore, ma che, in occasione degli eventi sismici, hanno contribuito a fornire un utile ancoraggio all'appoggio.



- architravi: la pratica costruttiva dell'epoca, sia di costruzione che di ristrutturazione dell'edificio, fanno ipotizzare l'assenza di adeguati elementi di architrave. Anche lo stato di danno rilevato ha evidenziato tale carenza. Infatti le aperture esterne presentano architravi con lesioni diffuse e ramificate che evidenziano la presenza di un architrave in muratura privo di resistenza a trazione e di adeguato appoggio sulle spalle laterali. Le aperture interne presentano talvolta architravi in mattoni, analogo a quello delle aperture esterne, oppure architravi composti da tavelloni posati in piano, anch'essi quindi privi di resistenza a trazione e di una adeguata portata nei confronti del materiale murario sostenuto.
- dispositivi per l'eliminazione di spinte a vuoto: l'edificio presenta l'intero piano interrato coperto con volte a botte o a crociera ad arco ribassato, prive di catene o tiranti a vista, ma la cui spinta a vuoto viene scaricata su murature esterne di elevato spessore e con contrasto esterno fornito dal terreno della sede stradale. Ai piani sono presenti corridoi con copertura a volta ribassata, privi di dispositivi per l'eliminazione delle spinte. Considerando la limitata estensione di tali solai e che questi sono collocati in posizione interna, rispetto alla distribuzione planimetrica degli ambienti, le spinte generate si possono considerare assorbite dalle murature circostanti. Sono infine presenti, ai diversi piani, aperture interne di modeste dimensioni e dotate di arco a tutto sesto privo di catene e le cui spinte possono essere considerate trascurabili rispetto alle masse in gioco.  
  
Le catene attualmente presenti nell'immobile, sono state applicate in occasione degli interventi di messa in sicurezza post sisma dell'immobile.
- elementi ad elevata vulnerabilità: l'edificio presenta tre elementi di elevata vulnerabilità legati ad elementi anche non strutturali:
  - camini*: l'edificio presenta un camino al di sopra della copertura che è crollato in occasione degli eventi sismici;
  - scaffalature interne*: nel sottotetto ed in alcuni uffici al piano primo e secondo, erano presenti scaffalature metalliche non adeguatamente ancorate, che si sono ribaltate o gravemente sbilanciate nel corso della scossa sismica;
  - rampa scale*: la rampa scale ed i pianerottoli intermedi sono composti da elementi in marmo incastrati nelle murature laterali, rinforzati e sostenuti da una struttura metallica di presidio, progettata con gli

interventi del 1986, per adeguare la scala ai carichi richiesti per locali ad ufficio. La struttura metallica e la scala non hanno evidenziato problematiche di rilievo. Restano però, tre pianerottoli su quattro, composti da semplici lastre in marmo prive di rinforzo e la cui fragilità costituisce una potenziale vulnerabilità.

- tipologia della muratura: le murature sono composte da mattoni pieni squadriati in laterizio di discreta qualità e legati con malta friabile di bassa qualità. Nelle zone visibili, la tessitura muraria è apparsa generalmente regolare nella disposizione dei mattoni e dei letti di malta. Gli spessori murari variano, riducendosi salendo di piano, da spessori di 5-6 teste nell'interrato sino a spessori di 2-3 teste nel piano sottotetto. Le murature interne della ex Casa del Custode presentano invece mattoni pieni squadriati in laterizio di fattura irregolare e legati con malta incoerente di scarsa qualità. Nelle zone visibili, la tessitura muraria è apparsa localmente irregolare nella disposizione dei mattoni e con letti di malta di spessore rilevante ed irregolare. Gli spessori murari variano, riducendosi salendo di piano, da spessori di 3-4 teste nel piano terra sino a spessori di 2-3 teste nel piano primo.

*Proprietà dei materiali:* le proprietà dei materiali strutturali portanti sono state investigate con riferimento alla sola componente muraria, in quanto costituisce l'elemento strutturale a cui è totalmente affidata la capacità portante dell'edificio, sia in condizioni statiche che sismiche.

Essendo state individuate due diverse unità strutturali, le indagini sulle murature sono state organizzate in modo da coinvolgere entrambi gli edifici.

Si rimanda al precedente paragrafo 2.5 ed alla relazione tecnica fornita dalla Ditta Esecutrice delle prove, per un approfondimento delle metodologie di prova e dei risultati conseguiti.

*Livello di conoscenza:* sulla base della conoscenza geometrica acquisita, delle conoscenze e verifiche svolte in riferimento ai dettagli costruttivi ed alle indagini in sito svolte per valutare le proprietà dei materiali, si è assunto un livello di conoscenza LC3 a cui corrisponde un fattore di confidenza F.C. = 1.00 di riduzione dei parametri di resistenza.

### **3. Descrizione del danno**

Gli eventi sismici del maggio 2012 hanno determinato un diffuso danneggiamento delle strutture portanti, come di seguito illustrato:

#### **3.1 Copertura.**

La copertura dell'edificio si compone di tre diverse tipologie strutturali.

##### ***3.1.1 Copertura del piano sottotetto.***

La copertura, composta da una struttura in legno lamellare con perlinato semplice, ha evidenziato il parziale distacco dei travetti dalla trave di colmo, con formazione di un vuoto di circa 1-1.5 cm e scivolamento del manto di copertura. In corrispondenza dell'appoggio in gronda si è rilevato invece un locale danneggiamento della muratura con lieve traslazione di alcuni corsi di mattoni e/o sfilamento all'appoggio dei travetti.

##### ***3.1.2 Copertura zona Sala Consigliare.***

La zona soprastante la Sala Consigliate, priva del 3° solaio presente invece nei locali adiacenti, presenta una struttura di tipo tradizionale composta da due capriate lignee, con terzere, travetti e perlinato. A differenza delle altre zone, sono completamente assenti murature interne o solai irrigidenti tra il secondo solaio e la copertura. La copertura, priva di elementi irrigidenti di falda, ha quindi assecondato i movimenti delle alte murature presenti, con conseguente distacco di travetti in colmo e parziale sfilamento agli appoggi degli elementi lignei portanti.

##### ***3.1.3 Copertura della ex casa del Custode.***

Questa porzione di edificio presenta una copertura a due falde, in appoggio su solaio in latero-cemento piano. La copertura, in quanto portata dal sottostante solaio, non costituisce un elemento portante essenziale e pertanto non è stata investigata nel dettaglio. Si sono comunque rilevati il dissesto del manto di copertura e, presumibilmente, un locale danneggiamento degli elementi portanti sottostanti.

#### **3.2 Solai con volta in muratura.**

Nell'edificio si sono individuate tre diverse tipologie di volta: volte ribassate a crociera con mattoni di piatto, volte a tutto sesto con mattoni di coltello e volte ribassate con mattoni di piatto.

##### ***3.2.1 Solai con volta in muratura.***

###### **Volte ribassate a crociera con mattoni di piatto.**

Questa tipologia di volta è stata rinvenuta in un solo locale dell'interrato (locale n. 10) a sostegno della pavimentazione del locale n. 18 del piano terra. Le volte, organizzate in

quattro campiture all'incirca quadrate con pilastro centrale, hanno evidenziato un comportamento deformativi difforme da quello delle murature perimetrali più rigide. Questa diversa rigidità ha innescato il manifestarsi di lesioni organizzate con andamento circolare lungo il perimetro dell'ambiente interrato e con ampiezza pari a circa 1-2 mm.

*Volte a tutto sesto con mattoni di coltello.*

Questa tipologia di volta è stata rinvenuta negli ambienti di maggior ampiezza: stanza 1-2-11 del piano interrato. La volta, per la propria conformazione geometrica e massa, presenta una rigidità paragonabile a quella delle murature circostanti e non si sono rilevati segni di lesioni riconducibili agli eventi sismici.

*Volte ribassate con mattoni di piatto.*

Questa tipologia di volta è stata rinvenuta in gran parte dei corridoi di distribuzione presenti in tutti i piani dell'edificio: locali 4, 5, 6, 16, 17, 22, 23, 35, 38, 44, 63, 64.

Alle estremità dei locali, la volta presenta una conformazione geometrica a crociera, priva di costolature, che la rende particolarmente rigida, pur mantenendo la propria fragilità intrinseca a causa del limitato spessore strutturale. Quindi, in occasione degli eventi sismici, la volta non è stata in grado di assorbire le deformazioni delle murature, manifestando quindi lesioni in corrispondenza delle testate rigide. Le lesioni sono spesso di ampiezza compresa tra 0.5-2 mm e concentrate nelle zone di intersezione dei diversi spicchi di volta o in chiave, talvolta seguono il perimetro dei mattoni che in alcuni casi appaiono ben visibili e delimitati.

**3.2.2 Solai con struttura in legno o tipo “Varese” con cappa collaborante.**

I solai, pur presentando localmente tipologie costruttive diversificate (solai in legno o ferro con cappa collaborante e solai tipo “Varese”), sono tutti accumulati dalla presenza di una cappa collaborante in calcestruzzo, avente la sola funzione di irrigidire il piano di calpestio e renderlo adeguato ai carichi previsti per uffici pubblici non aperti al pubblico e non soggetti ad affollamenti.

Le solette collaboranti non presentano ancoraggi alle murature e nemmeno elementi di collegamento con le solette presenti in ambienti adiacenti. Inoltre le solette risultano essere collaboranti con i soli travetti del solaio e non con le travi principali. Di conseguenza, ciascuna singola soletta di una stanza, in occasione del sisma, ha reagito singolarmente e senza collaborare col resto dell'impalcato. L'impalcato non è quindi in grado di attivare un comportamento scatolare o d'insieme adeguato e le murature vengono, di conseguenza, sollecitate dalle masse ad esse applicate, sia nel piano che fuori piano, senza beneficiare di effetti ridistributivi delle azioni ribaltanti ad esse applicate.

I solai infatti hanno evidenziato lievi distacchi perimetrali dalle murature, ben visibili in alcune soglie interne e nei distacchi perimetrali generalizzati dei controsoffitti presenti ai diversi piani. Lesioni interne ai solai, come evidenti distacchi perimetrali, sono ben visibili nel piano sottotetto, in quanto privo di pavimentazione.

### **3.2.3 Solai con struttura in latero-cemento gettato in opera.**

I solai della ex Casa del Custode sono composti da una struttura in latero cemento, con travetti parzialmente prefabbricati, in appoggio alle murature interne ed orditi parallelamente alle facciate esterne dell'edificio. I solai hanno evidenziato un marginale danneggiamento a soffitto del piano primo, con lesione parallela alla facciata esterna e parziale distacco tra la pignatta in appoggio alla parete ed il primo travetto portante interno. Il danneggiamento è evidentemente da associare alla mancanza di una adeguata armatura trasversale nel solaio ed alla mancanza, nella stessa direzione trasversale, di collegamenti tra impalcato e murature. Condizioni che hanno evidenziato un non trascurabile movimento fuori piano della parete di facciata.

### **3.3 Murature.**

Le murature della ex Casa del Custode, per la loro limitata altezza e per la presenza di solai sufficientemente rigidi, hanno riportato un danneggiamento minimo e limitato ad alcuni architravi di porte e finestre.

Le murature di Palazzo Viani presentano invece lesioni di gravità crescente, salendo di piano. Le lesioni sono apparse diffuse e gravi negli architravi di porte e finestre, in martelli murari ed in corrispondenza di elementi di discontinuità, come canne fumarie e porte o finestre tamponate.

Il quadro fessurativo, riportato nello specifico allegato grafico, evidenzia chiaramente come le lesioni siano da imputare alla sostanziale mancanza di piani rigidi e quindi, alla mancanza di un comportamento globale della struttura muraria. Infatti, in assenza di sistemi di piano in grado di garantire una adeguata collaborazione scatolare della struttura muraria, ciascuna parete, caricata dalle masse e carichi di propria pertinenza, risulta sollecitata, a seconda della direzione dell'azione sismica, da azioni di taglio e flessioni agenti nel piano della parete o agenti fuori piano. Nel primo caso (azioni agenti nel piano), la singola parete reagisce nel suo insieme, ridistribuendo longitudinale le azioni e sollecitando a flessione i singoli maschi murari e gli architravi di porte e finestre appartenenti alla parete stessa, con lesioni tendenzialmente inclinate o conformate a "X". Nel secondo caso invece (azioni agenti fuori piano) la muratura è sollecitata trasversalmente al proprio piano e tende a ribaltarsi. Il meccanismo trova opposizione solo nell'azione stabilizzante del peso proprio della parete, nelle connessioni presenti in incroci con pareti trasversali e in eventuali ancoraggi presenti a solaio o copertura. Vista l'assenza di questi ultimi, le pareti hanno manifestato la tendenza al distacco dai solai interni, specialmente nei punti in cui sono maggiormente deboli gli ancoraggi con murature interne trasversali (angolate e martelli).

Questo fenomeno di collasso è risultato particolarmente evidente in quattro diverse pareti dell'edificio:

- a) parete est della Sala Consigliare (nodi 8-14-24): la parete è stata interessata da importanti rotazioni fuori piano rilevate a partire dal 2° solaio. Il meccanismo di collasso è stato accentuato dall'assenza di pareti interne e per la presenza, nelle pareti trasversali di facciata, di finestre e di canne fumarie, poste nelle immediate vicinanze dello spigolo. Il danneggiamento è risultato particolarmente grave nell'angolo sud-est, in quanto, la parete sud, di spessore pari a sole tre teste, risultata interrotta dalla canna fumaria che ne occupa quasi interamente lo spessore. Nella parete nord, invece, il problema è risultata meno evidente, in quanto, pur essendo ancora presente una canna fumaria, lo spessore della muratura è di quattro teste;
- b) parete sud del vano scala, corridoio e Sala Consigliare (nodi 20-21-22-23): la parete è stata interessata da rotazioni fuori piano a partire dal 2° solaio. Il danneggiamento, meno importante ed evidente del precedente, è stato aggravato dalla presenza di soffitti a volta ed aperture ad arco presenti nelle pareti trasversali interne, la cui azione spingente si è sommata ai carichi sismici associati alla massa muraria della parete di facciata. A questo si è aggiunta la migrazione di masse sismiche provenienti dalla Sala Consigliare, le cui pareti esterne, essendo più deformabili, hanno trovato un punto rigido in corrispondenza delle volte del 3° solaio dell'adiacente corridoio (stanza 64). Il danneggiamento si è localizzato nel martello del nodo 22 e negli architravi a volta delle aperture presenti nelle murature interne;
- c) parete nord con uffici (nodi 1-2-3-4): la parete è stata interessata da rotazioni fuori piano a partire dal piano terra. Il meccanismo è stato aggravato dalla presenza, nelle murature interne e a tutti i piani, di porte, anche tamponate, che hanno reso vano l'ancoraggio fornito dalle pareti trasversali interne. Inoltre, la struttura dei solai, presentando l'orditura principale in appoggio alle pareti interne, non ha fornito alcun contributo di ancoraggio. Per questi motivi il meccanismo ha potuto attivarsi sin dal piano terra e con gravi lesioni in tutti gli architravi delle porte interne. Nel piano sottotetto è inoltre ben evidente il distacco subito dal martello murario in corrispondenza del nodo 3;
- d) parete nord con scala, corridoio e Sala Consigliare (nodi 4-5-6-7-8): la parete è stata interessata da meccanismi di collasso carenze simili a quanto già indicato al precedente punto b) ma con attivazione già a partire dal primo piano a causa della maggior massa sismica della parete di facciata;
- e) parete ovest con uffici e corridoio (nodi 1-15-18-30): la parete è stata interessata da contenute rotazioni fuori piano rilevate a partire dal 2° solaio. Il meccanismo di collasso è stato contenuto dalla presenza di pareti interne prive di aperture in prossimità del nodo murario e dalla presenza di solai con orditura principale in appoggio alla parete esterna. La rilevante massa muraria della facciata ha comunque determinato, a partire dal 2° solaio, il distacco delle pareti interne in corrispondenza

dei martelli: ben visibile nel nodo 15 a cui si associa anche il diffuso danneggiamento della vicina finestra. Il danno appare particolarmente evidente in questo nodo in quanto, nel piano sottotetto, la muratura interna non è presente, con conseguente sovraccarico del martello del nodo 18 posto nel sottotetto ed incremento delle deformazioni fuori piano in corrispondenza del nodo 15 e della vicina finestra.

Nelle pareti interne, come in quelle di facciata, si sono rilevate numerose aperture tamponate e nicchie che creano discontinuità nella tessitura muraria ed indeboliscono la struttura resistente. Tali elementi sono generalmente ben visibili in quanto associati a lesioni ben definite, ad andamento rettilineo, che delimita il perimetro di tali discontinuità.

La presenza di tali carenze costruttive, di ampie porte e finestre, assieme ad una muratura con modeste resistenze meccaniche, ha determinato un diffuso quadro fessurativo associato a lesioni di ampiezza generalmente limitata (circa 1-3 mm), ma spesso ramificate e multiple, specialmente in architravi di porte e finestre, in cui quindi, il distacco complessivo tra le murature collegate, assume una rilevanza maggiore ed in molti casi prossima o superiore ad 1 cm.

Il sistema murario, pur massiccio e dotato di elementi “forti”, ha complessivamente evidenziato una carenza nel comportamento scatolare d'insieme determinata dalla tipologia di solai e di copertura e dalla intrinseca mancanza di un comportamento a diaframma degli impalcati. La mancanza di un comportamento scatolare si è evidenziata specialmente negli elementi di maggior debolezza, come il vano scala con ascensore e la Sala Consigliare, che, a causa della propria conformazione geometrica e strutturale, hanno subito i danni maggiori.

### **3.4 Danni e carenze preesistenti.**

Nel corso dei sopralluoghi svolti non si sono riscontrati elementi di degrado o danni imputabili a cause o situazioni ante sisma. La totalità dei danni rilevati appare infatti giustificabile e riconducibile alle sollecitazioni e movimenti che l'evento sismico ha indotto nelle strutture murarie e nei solai dell'edificio.

Si rileva unicamente che la struttura della scala è stata, negli anni '80, consolidata nelle sole rampe scale, senza interventi ai pianerottoli, anche se alcuni di essi sono composti da una semplice lastra in marmo con appoggio perimetrale sulle murature.

## **4. Descrizione degli interventi**

L'analisi dello stato di danno ha evidenziato come l'edificio abbia subito l'evento sismico, senza poter esplicitare idonee risorse strutturali d'insieme (comportamento scatolare) e che quindi, ciascuna parete, sia stata chiamata a resistere, ad azioni flettenti sismiche, agenti sia nel piano che fuori piano. Specialmente le azioni fuori piano, hanno determinato fenomeni di rotazione delle murature di facciata con distacchi dalle strutture interne (murature e solai) ad esse collegate.

L'intervento quindi, oltre a prevedere interventi di riparazione dei danni recati dal sisma, specialmente in architravi ed in angolate o martelli, mira a realizzare un sistema di diaframmi di piano, in grado di ancorare le murature di facciata e trasmetterne le azioni alle murature trasversali interne. Realizzando un sistema strutturale, con impalcati dotati di comportamento a diaframma, si è in grado di migliorare la risposta sismica d'insieme dell'edificio, configurando così l'intervento, ai sensi del par. 8.4 delle NTC 2008, come un intervento di "miglioramento sismico".

Mentre nell'ambito del nucleo originario di Palazzo Viani, gli interventi previsti sono di tipo conservativo, sia nei confronti delle murature che delle strutture esistenti dei solai, nella ex casa del Custode, invece, l'intervento è più invasivo allo scopo di riorganizzare l'intero edificio, sia dal punto di vista prospettico che delle funzioni interne.

Tutti gli interventi, di seguito brevemente illustrati, dovranno sottostare al parere preventivo della Soprintendenza ai beni architettonici, territorialmente competente.

### **4.1 Interventi nel Palazzo Viani**

#### **4.1.1 Interventi su solai a volta**

1. Rimozione della pavimentazione, realizzata negli anni '80 del secolo scorso.
2. Demolizione della soletta esistente in calcestruzzo non armato, mediante taglio della stessa con l'impiego di strumenti non a percussione.
3. Svuotamento delle volte sino all'estradosso della stessa.
4. Riparazione delle lesioni presenti nella struttura muraria della volta mediante iniezione di malta di calce fluida.
5. Rinforzo della volta mediante rasatura con malta a base di calce, armata con rete in fibra di vetro per intonaci, con applicazione di un secondo strato di rete nelle zone perimetrali della volta (cerchiatura). L'intervento ha la funzione di fornire alla volta in muratura una maggior duttilità strutturale e contenere l'eventuale fessurazione in occasione di futuri eventi sismici.
6. Riempimento della volta in materiale alleggerito, composto da inerti in argilla espansa legati con malta di calce in basso tenore, al fine di ottenere un riempimento rigido, ma



sensibilmente più leggero dell'esistente (riempimento attuale in ghiaia mista e detriti con massa stimata di circa 1500 kg/mc; riempimento previsto con massa < 1000 kg/mc, consigliato 600 kg/mc).

7. Al di sopra delle volte del piano terra e negli adiacenti locali privi di interrato, viene realizzata una soletta in calcestruzzo, di spessore pari a 5 cm, dotata di armatura interna costituita da rete elettrosaldata Ø6/20x20 cm e collegamenti perimetrali, passanti le murature interne, al fine di collegare reciprocamente le solette adiacenti. Questo intervento mira ad ottenere il reciproco ancoraggio al piede delle murature interne del piano terra, mediante il confinamento delle stesse.
8. Nei solai a volta fuori terra viene ricostituita la soletta in calcestruzzo preesistente, di spessore pari a 5 cm, dotandola però di armatura interna diffusa costituita da rete elettrosaldata Ø6/20x20 cm ed armature perimetrali radiali per l'ancoraggio della soletta stessa alle murature di contorno. L'intervento, assieme a quanto previsto sui solai di cui al punto successivo, tende alla realizzazione di diaframmi nei piani intermedi.
9. L'ancoraggio delle armature perimetrali radiali, di cui al punto precedente, con le murature di contorno, prevede la perforazione della muratura e l'inghisaggio delle barre con colatura di malta di calce fluida.

#### **4.1.2 Interventi su solai lignei con soletta esistente**

1. Rimozione della pavimentazione, realizzata negli anni '80 del secolo scorso.
2. Demolizione puntuale della soletta armata esistente, nelle posizioni di inserimento delle armature perimetrali radiali di ancoraggio della soletta alla muratura. La demolizione sarà condotta privilegiando l'impiego di strumenti a taglio e limitando al massimo l'utilizzo di strumenti a percussione.
3. Ancoraggio delle armature perimetrali radiali, di cui sopra, alle murature di contorno, mediante perforazione della muratura ed inghisaggio delle barre con colatura di malta di calce fluida.
4. Piegatura ed inserimento delle barre perimetrali radiali nello spessore della soletta, con saldatura di ancoraggio in più punti, alla esistente rete elettrosaldata (posata sul fondo della soletta esistente).
5. Ripresa di getto della soletta in c.a., al fine di ripristinare la continuità della soletta nelle porzioni precedentemente demolite.
6. Rinforzo membranale della soletta in c.a., precedentemente collegata alle murature, mediante rasatura superficiale di regolarizzazione della superficie ed applicazione di una rasatura a base cementizia armata con rete in fibra di vetro.
7. Collegamento reciproco delle singole solette di piano in c.a., mediante fasce al carbonio applicate all'estradosso delle solette stesse, al fine di realizzare un sistema d'insieme in grado di offrire un comportamento a diaframma al piano.

8. Nel terzo solaio (piano sottotetto), essendo presente una soletta strutturale in c.a. di spessore 12 cm circa, utilizzata come pavimentazione, si è scelto di rimuovere completamente la soletta e di ricostruirne una di spessore 5 cm e lasciare il rimanente spessore per opere di finitura. La demolizione della soletta sarà eseguita, come nei casi precedenti, impiegando strumenti a taglio e non a percussione. Nello spessore della nuova soletta, sono inserite tutte le armature di rinforzo necessarie per realizzare un diaframma di piano.
9. Le travi lignee principali vengono collegate ai travetti secondari, mediante squadrette metalliche avvitate all'intradosso del solaio spesso.

#### **4.1.3 Interventi in copertura**

Mentre la struttura in legno lamellare risulta adeguata nei confronti dei carichi gravitazionali presenti e con dimensioni tali da poter trasmettere anche eventuali azioni membranali indotte da carichi sismici, le strutture di copertura presenti al di sopra della Sala Consigliare, sono apparse non altrettanto adeguate. La presenza di sezioni resistenti con ridotta inerzia e di evidenti deformazioni permanenti, specialmente in alcuni elementi portanti, ha indotto a prevedere interventi di rinforzo e consolidamento delle strutture lignee esistenti.

1. Le terzere, di limitata sezione e deformate, vengono intervallate con altri elementi nuovi, allo scopo di ridurre l'interasse di calcolo e di dimezzarne così il carico di pertinenza.
2. Le capriate ed i puntoni, vengono rinforzati mediante accostamento laterale con profili metallici collaboranti.
3. Sostituzione parziale di travetti ed assito al fine di regolarizzare la struttura minore ed il piano di posa superiore per l'accoglimento delle successive lavorazioni.
4. Realizzazione di un secondo tavolato, collaborante col primo e coi travetti di sostegno, allo scopo di realizzare un unico diaframma in copertura, in grado di regolarizzare i movimenti reciproci delle strutture murarie del piano sottotetto.
5. Posa di piatti e nastri forati sul piano di falda al fine di realizzare cordolature perimetrali e collegamenti interni nelle zone di displuvio/compluvio, allo scopo di rendere unitario il comportamento membranale delle diverse falde del tetto.
6. Ancoraggio dei travetti alla muratura di appoggio, sia perimetrale che interna, con contemporaneo collegamento dei cordoli o catene in acciaio di cui al punto precedente.
7. Ancoraggio reciproco di elementi lignei: travetto con trave e trave con trave; al fine di rinforzare o realizzare un idoneo ancoraggio reciproco tra gli elementi strutturali, in grado, inoltre, di contribuire al comportamento membranale della copertura.

#### **4.1.4 Interventi sulle murature**

La distribuzione degli ambienti interni, delle porte di collegamento interno e delle aperture a prospetto, non viene modificata rispetto all'esistente, nel rispetto della originaria struttura

storica. Vengono svolte opere di riparazione delle lesioni e di ripristino di numerose discontinuità rilevate.

1. Porte in disuso, totalmente tamponate in passato mediante mattoni pieni e per l'intero spessore murario, nel caso abbiano manifestato l'insorgere di lesioni con distacchi superficiali di intonaco, vengono conservate nello stato attuale e consolidate mediante iniezioni di malta fluida a base di calce, al fine di intasare eventuali vuoti presenti nel materiale fessurato. Vengono inoltre previste cuciture metalliche profonde, mediante spinotti lisci inseriti diagonalmente a secco in fori calibrati con invito (barre Ø16), al fine di migliorare la continuità strutturale della parete.
2. Porte in disuso o canne fumarie, parzialmente tamponate o con nicchia incassata, e le porte completamente tamponate con mattoni forati o foratoni, previa rimozione del materiale non omogeneo, vengono interamente tamponate con muratura nuova in mattoni pieni di recupero, collegata all'esistente mediante spinotti lisci Ø16 inseriti a secco in fori calibrati con invito, al fine di migliorare la continuità strutturale della parete.
3. Riparazione di angolate e martelli, con lesioni da distacco, mediante colatura di malta fluida a base di calce, al fine di intasare i vuoti creati dalla lesione e presenti nel materiale fessurato. Nella riparazione non saranno utilizzate barre o rinforzi metallici.
4. Gli architravi di porte, realizzati con elementi "moderni" e fragili, come i tavelloni, vengono rimosse e sostituite da putrelle in ferro di adeguata lunghezza.
5. Nelle zone in cui la muratura appare eccessivamente lesionata si è optato per la riparazione/ricostruzione della tessitura muraria mediante cuci-scuci, eseguito con mattoni di recupero e malta a base di calce.
6. Nelle zone lesionate, in cui un intervento di cuci-scuci risulterebbe eccessivamente invasivo o dispendioso (lesioni di distacco in angolate e martelli e lesioni in architravi di porte e finestre), si è optato per una riparazione delle stesse mediante iniezioni controllate di malte colabili a base di calce, al fine di ripristinare la continuità della struttura muraria mantenendone gli elementi originari.
7. Nella Sala Consigliare, a presidio della parete est, gravemente lesionata, è previsto l'inserimento di due tiranti con capochiave esterno a paletto. Il paletto dovrà essere disposto orizzontalmente ed in appoggio sulla cornice esistente, al fine di nascondere la presenza.

#### **4.1.5 Altre opere**

1. I pianerottoli intermedi del vano scala principale, diversamente dalle rampe delle stesse scale, presentano una struttura di tipo fragile e sono privi di adeguate opere di presidio che ne garantiscano la stabilità.

I pianerottoli compresi tra i piani interrato, terra, primo e secondo, sono composti da una semplice lastra in marmo incastrata nelle murature perimetrali: si prevede la

realizzazione di una sottostruttura metallica di sostegno, in grado di fornire un appoggio diffuso al di sotto della lastra e prevenire eventuali lesioni e crolli.

Il pianerottolo tra il secondo ed il terzo piano presenta una struttura a volta in mattoni, sulla quale è previsto un intervento di rasatura con intonaco di calce rinforzato con rete.

2. I balconi presentano una struttura portante a sbalzo composta da mensole in marmo su cui poggia una lastra in marmo di notevole spessore. Durante l'evento sismico, una delle mensole si è spezzata, senza causare danni apparenti alla lastra di pavimentazione. Il consolidamento è previsto mediante l'inserimento, all'interno delle mensole, di una armatura metallica adeguatamente ancorata nelle stesse e bloccata all'interno della parete portante, mediante capochiave nascosto al di sotto della pavimentazione dei corridoi.

## **4.2 Interventi nella ex casa del Custode**

### **4.2.1 Interventi sulle murature**

1. La riorganizzazione architettonica del volume edilizio comporta lo spostamento, la chiusura e l'apertura di numerose porte e finestre, quindi la struttura muraria viene modificata integrando le vecchie murature con nuove murature in mattoni pieni collegate con spinotti metallici inseriti a secco in fori calibrati.
2. Inserimento di un giunto strutturale a separazione della ex casa del Custode dalla struttura di Palazzo Viani, al fine di regolarizzare il comportamento strutturale dei due edifici, con inserimento di una nuova parete in blocchi in tipo Doppio UNI all'interno del locale 29a.
3. Iniezioni consolidanti delle murature interne in quanto la tessitura muraria è apparsa localmente molto lacunosa, con vuoti interni e per far fronte agli incrementi di carico dovuti alle nuove destinazioni d'uso dei locali.

### **4.2.2 Interventi in fondazione**

1. Per far fronte agli incrementi di carico conseguenti alle mutate destinazioni d'uso dei locali ed all'introduzione di un nuovo giunto strutturale, è prevista la realizzazione di nuove fondazioni e di opere di rinforzo delle fondazioni esistenti mediante la realizzazione di cordoli in c.a. in affiancamento alle fondazioni esistenti.
2. Al di sopra del vespaio del piano terra, viene realizzata una soletta in calcestruzzo, di spessore pari a 10 cm, dotata di armatura interna costituita da rete elettrosaldata Ø6/20x20 cm, armature perimetrali continue e passanti le murature interne (per collegare reciprocamente solette adiacenti) ed armature perimetrali radiali (per ancorare al piede le murature esterne). Le armature perimetrali radiali sono ancorate alle murature mediante perforazione della muratura ed inghisaggio delle barre con colatura di malta di calce.

#### **4.2.3 Interventi a solaio**

1. I solai esistenti vengono interamente demoliti e rimossi, salvaguardando le murature, al fine di consentire la realizzazione di nuove strutture, sempre in latero-cemento, ma adeguate alle nuove destinazioni d'uso.
2. Le solette dei nuovi solai vengono collegate alle murature esterne mediante armature perimetrali radiali ancorate alle murature stesse mediante perforazione ed inghisaggio delle barre con colatura di malta di calce.
3. La copertura, per contenere il peso complessivo dell'intervento e rispondere alle esigenze di resistenza ai carichi d'incendio previsti, viene realizzata in latero-cemento, mantenendo la sagoma attuale e posando i solai secondo l'andamento di falda, evitando quindi il peso di inutili soprastrutture in muricci e tavelloni.

### **5. Elaborazioni numeriche e verifiche svolte**

L'edificio è stato analizzato sia nello stato di fatto che nello stato di progetto, al fine di poter valutare l'effetto degli interventi previsti.

In prima analisi, a causa della tipologia prevalente del danno rilevato, sono state svolte verifiche locali dei meccanismi di ribaltamento delle pareti di facciata, riscontrando le carenze evidenziate dal danno subito dall'edificio.

Il complesso è stato anche analizzato globalmente mediante analisi globale di tipo dinamica lineare e di tipo statica non lineare, per poter valutare la situazione strutturale dell'edificio, sia nei confronti delle azioni statiche che di quelle sismiche e valutare quindi le risorse globali di resistenza possedute dal sistema murario.

Gli interventi a solaio e in copertura, mirati alla realizzazione di diaframmi di piano, sono stati dimensionati mediante una analisi statica semplificata, limitata a singole pareti dell'edificio ed utilizzata come riferimento tipologico per l'estensione degli interventi all'intero piano.

Gli interventi di riorganizzazione strutturale, previsti nella Ex casa del Custode, sono stati anch'essi dimensionati e verificati, a seconda dei casi, come elementi esistenti o come elementi nuovi e quindi verificati nelle diverse condizioni di carico previste dalla norma.

L'analisi globale, come i meccanismi di collasso, sono stati implementati introducendo il contributo degli interventi progettati, verificandone l'effetto positivo, sia in termini di resistenze statiche che di resistenze sismiche locali e globali.

Per maggior un dettaglio di approfondimento ed analisi delle analisi e verifiche svolte, si rimanda alla specifica documentazione.

## 6. Sintesi dei risultati delle analisi svolte

### 6.1 Analisi lineare dinamica

Le verifiche statiche, condotte sui maschi murari di Palazzo Viani, evidenziano un quadro sostanzialmente invariato degli indici di sicurezza, tra lo stato di fatto e lo stato di progetto.

Le verifiche sismiche, condotte sui maschi murari di Palazzo Viani, evidenziano un quadro sostanzialmente invariato degli indici di sicurezza, tra lo stato di fatto e lo stato di progetto, per le verifiche a presso flessione nel piano, mentre indicano un lieve decremento degli indici di sicurezza per le verifiche a taglio nel piano. Queste variazioni, in generale non superiori al 10%, sono imputabili alla redistribuzione delle azioni determinata dal miglioramento dei comportamenti membranale degli orizzontamenti ed alla introduzione del giunto strutturale con la Ex Casa del Custode. Come si vedrà nel seguito, non risultano comunque penalizzazioni nelle risorse resistenti d'insieme che anzi, appaiono complessivamente migliorate.

Le verifiche statiche e sismiche, condotte nello stato di progetto sui maschi murari della Ex Casa del Custode, mostrano la presenza di indici di sicurezza migliori rispetto all'analisi dello stato di fatto, anche a fronte delle modifiche morfologiche apportate ed ai nuovi e maggiori carichi applicati a solaio, a seguito della previsione di realizzarvi un archivio.

### 6.2 Analisi statica non lineare

La verifica globale condotta mediante analisi statica non lineare di Palazzo Viani, evidenzia, confrontando lo stato di fatto e di progetto, un sostanziale mantenimento dei livelli medi di sicurezza antisismica e con miglioramenti di rilievo in alcune combinazioni di carico.

Comb.	PGA,SLV rif	PGA,SLV Fatto	PGA,SLV Progetto	IR,PGA,SLV Fatto	IR,PGA,SLV Progetto	IR,PGA,SLD Fatto	IR,PGA,SLD Progetto	IR,PGA,SLO	IR,PGA,SLO
1 gruppo1	0.175	0.128	0.23	<b>0.732</b>	1.314	<b>0.022</b>	1.621	<b>0.026</b>	1.554
1 gruppo2	0.175	0.23	0.23	1.314	1.314	<b>0.022</b>	2.362	<b>0.026</b>	1.921
2 gruppo1	0.175	0.128	0.23	<b>0.732</b>	1.314	<b>0.022</b>	1.621	<b>0.026</b>	1.554
2 gruppo2	0.175	0.23	0.23	1.314	1.314	<b>0.022</b>	2.362	<b>0.026</b>	1.921
3 gruppo1	0.175	0.17	0.147	0.971	0.840	<b>0.022</b>	1.868	<b>0.026</b>	<b>0.529</b>
3 gruppo2	0.175	0.148	0.145	0.844	<b>0.826</b>	<b>0.022</b>	1.83	<b>0.026</b>	1.050
4 gruppo1	0.175	0.17	0.147	0.971	0.84	<b>0.022</b>	1.868	<b>0.026</b>	<b>0.529</b>
4 gruppo2	0.175	0.148	0.154	0.844	0.881	<b>0.022</b>	2.015	<b>0.026</b>	1.039
5 gruppo1	0.175	0.187	0.152	1.067	0.870	<b>0.022</b>	1.639	<b>0.026</b>	1.245
5 gruppo2	0.175	0.165	0.155	0.941	0.885	<b>0.022</b>	1.792	<b>0.026</b>	1.554
6 gruppo1	0.175	0.187	0.152	1.067	0.870	<b>0.022</b>	1.639	<b>0.026</b>	1.245
6 gruppo2	0.175	0.165	0.155	0.941	0.885	<b>0.022</b>	1.792	<b>0.026</b>	1.554
7 gruppo1	0.175	0.222	0.193	1.269	1.100	<b>0.022</b>	<b>0.764</b>	<b>0.026</b>	1.408
7 gruppo2	0.175	0.21	0.189	1.198	1.076	<b>0.022</b>	2.305	<b>0.026</b>	1.833
8 gruppo1	0.175	0.222	0.193	1.269	1.100	<b>0.022</b>	<b>0.764</b>	<b>0.026</b>	1.408
8 gruppo2	0.175	0.21	0.189	1.200	1.076	<b>0.022</b>	2.305	<b>0.026</b>	1.833

Le verifiche in esercizio (SLO ed SLV) nello stato di progetto, presentano indici di sicurezza generalmente molto più elevati rispetto allo stato di fatto, con sole due condizioni di mancata verifica, ma con indice comunque maggiore al 50% in SLO maggiore del 75% in SLD.

Le verifiche in SLV evidenziano un netto miglioramento degli indici di verifica in direzione "X" (combinazioni 1-2-7-8, con sisma agente parallelamente al fronte principale dell'edificio in via

Martiri di Belfiore), con fattore che da un minimo del 73% (nello stato di fatto) giunge ad un massimo del 110% (nello stato di progetto). In direzione "Y" (combinazioni 3-4-5-6) si nota una alternanza, con contenuti miglioramenti e peggioramenti dei singoli indici, che, partendo da valori compresi tra l'84 ed il 101% nello stato di fatto, giungono a valori compresi tra l'83 e l'89%, comunque sempre superiori all'80%.

Dal confronto dei minimi fattori rilevati è possibile definire il miglioramento sismico, valutato globalmente sull'edificio principale, in termini di PGA e pari a:

$83\% - 73\% = 10\%$                       **miglioramento sismico rispetto a  $PGA_{SLV,rif}$**

da cui  $10\% / 73\% = 14\%$               **miglioramento sismico rispetto allo stato di fatto.**

Da alcune prove svolte sui modelli di calcolo, si è potuto verificare che le variazioni sopra indicate sono determinate, per quanto riguarda il netto miglioramento delle condizioni di esercizio, dalla introduzione dei diaframmi di piano. Mentre, per le verifiche in SLV, l'introduzione del giunto strutturale ha risolto le vulnerabilità in direzione X (passaggio dalla forma a "C" alla forma ad "L" dell'edificio), ma ha comportato un parziale peggioramento degli indici in direzione Y (a causa della perdita di simmetria dell'edificio in questa direzione). L'intervento agli orizzontamenti ha comunque permesso di rendere omogeneo il comportamento strutturale, per le diverse combinazioni di carico nelle due direzioni principali.

Le verifiche condotte sulla Ex Casa del Custode mostrano invece fattori  $f_a$ , tutti superiori al

100%:               $f_{a,min} = 110\%$  in SLV

$f_{a,min} = 152\%$  in SLD

$f_{a,min} = 125\%$  in SLO

### 6.3 Analisi dei meccanismi di collasso

Le verifiche condotte sulle murature di facciata del Palazzo Viani, hanno mostrato la presenza, nello stato di fatto, di fattori di sicurezza minimi compresi tra il 30 ed il 40%, come di seguito riportati:

parete 1-2-3-4 da P.T.	$f_a = 0.41$
parete 1-15-18-30 da P.2°	$f_a = 0.76f_a = 0.39$ (in quota)
parete 4-5-6-7-8 da P.1°	$f_a = 0.44f_a = 0.48$ (in quota)
parete 4-5-6-7-8 da P.2°	$f_a = 0.79f_a = 0.41$ (in quota)
parete 8-24 da P.1°	$f_a = 0.43f_a = 0.46$ (in quota)
parete 8-24 da P.2°	$f_a = 0.78f_a = 0.40$ (in quota)
parete 20-21-22-23-24 da P.2°	$f_a = 0.64f_a = 0.33$ (in quota)

Le vulnerabilità evidenziate dalle analisi hanno trovato riscontro nello stato di danno rilevato nell'edificio.

L'attivazione dei diaframmi di piano e di copertura, impedendo l'attivazione dei meccanismi sopra analizzati (ribaltamento semplice), determina l'attivazione, sia dei meccanismi di 2°

tipo (inflessione fuori piano della parete tra un orizzontamento e quello successivo), che del comportamento di tipo scatolare d'insieme dell'edificio (comportamento d'insieme valutato con le analisi di cui ai precedenti punti 6.1 e 6.2.). I fattori di sicurezza ottenuti sono di seguito riportati:

parete 1-2-3-4 da P.T.	fa = 3.67	fa = 1.81 (fles. fuori piano)
parete 1-15-18-30 da P.2°	fa = 3.08fa = 1.60 (in quota)	fa = 1.72 (fles. fuori piano)
parete 4-5-6-7-8 da P.1°	fa = 2.81fa = 3.02 (in quota)	fa = 1.07 (fles. fuori piano)
parete 4-5-6-7-8 da P.2°	fa = 4.97fa = 2.57 (in quota)	fa = 1.07 (fles. fuori piano)
parete 8-24 da P.1°	fa = 3.18fa = 3.42 (in quota)	fa = 0.93 (fles. fuori piano)
parete 8-24 da P.2°	fa = 3.71fa = 1.92 (in quota)	fa = 0.93 (fles. fuori piano)
parete 20-21-22-23-24 da P.2°	fa = 4.95fa = 2.57 (in quota)	fa = 0.87 (fles. fuori piano)

I meccanismi di 1° tipo (ribaltamento semplice) sono impediti, in quanto i relativi fattori di sicurezza risultano tutti abbondantemente superiori al 100%, mentre, i meccanismi di 2° tipo presentano le vulnerabilità maggiori nelle pareti della Sala Consigliare, caratterizzate dalle maggiori snellezze (min. 87%).

Dal confronto dei minimi fattori rilevati, è possibile definire il miglioramento sismico, valutato nei confronti dei meccanismi locali di collasso ed in termini di PGA, pari a:

87% - 33% = **54%**                      **miglioramento sismico rispetto a  $PGA_{SLV,rif}$**   
 da cui 54% / 33% = **164%**        **miglioramento sismico rispetto allo stato di fatto.**

#### 6.4 Verifica di nuovi elementi strutturali

Si rimanda al dettaglio delle analisi contenute nello specifico documento allegato.

IL TECNICO  
 Ing. Luca Signorini



# PROGETTO ESECUTIVO

(rev.VI - data 15/05/2018)

## ELENCO ALLEGATI STRUTTURE

1. RELAZIONE TECNICA SPECIALISTICA OPERE STRUTTURALI
- 1A. INDAGINI E RILIEVI
- 1B. PROVE STRUMENTALI IN SITO
- 1C. STRALCIO PROGETTO STRUTTURALE DEL 1987

## ELABORATI GRAFICI

- 2A. STATO DI FATTO *(rev.VI: aggiunta sezione strutturale)*
- 2B. STATO DI DANNO
- 2C. STATO DI PROGETTO: interventi su murature, volte e travi *(rev.VI: modificata legenda)*
- 2D. STATO DI PROGETTO: interventi a solaio *(rev.VI: modificata legenda)*
- 2E. STATO DI PROGETTO: particolari degli interventi *(rev.VI: modificata tav.A e D)*
- 2F. STATO DI PROGETTO: piante quotate con abaco degli interventi e sezioni *(rev.VI: nuovo documento)*
- 2G. STATO DI PROGETTO: piante delle tipologie murarie *(rev.VI: nuovo documento)*

## RELAZIONE DI CALCOLO DELLE OPERE STRUTTURALI

- 3A. RELAZIONE SINTETICA E DI CALCOLO DELLO STATO DI FATTO
- 3B. RELAZIONE SINTETICA E DI CALCOLO DELLO STATO DI PROGETTO
- 3C. RELAZIONE DI CALCOLO DEI MECCANISMI DI COLLASSO
- 3D. RELAZIONE DI CALCOLO DEI NUOVI ELEMENTI STRUTTURALI

## RELAZIONE SUI MATERIALI

- 4A. DISCIPLINARE DESCRITTIVO E PRESTAZIONALE DEGLI ELEMENTI TECNICI
- 4B. RELAZIONE SUI MATERIALI (NTC 2008 di cui al D.M. 14/01/2008) *(rev.VI: nuovo documento)*

## 5. COMPUTO METRICO ESTIMATIVO CON ELENCO PREZZI UNITARI

## 6. PIANO DI MANUTENZIONE