

# COMUNE DI RIVOLI

## RIQUALIFICAZIONE DELLA VILLA ANTICA, DELLA PALAZZINA SVIZZERA E DELLE AREE ESTERNE AD ESSE CONNESSE DEL COMPENDIO DENOMINATO "VILLA MELANO"

FONTE DI FINANZIAMENTO: FONDO PER LO SVILUPPO E LA COESIONE (FSC)  
CIG: 938107432A - CUP: F25C19001500007



## PROGETTO DEFINITIVO

RTP: Isolarchitetti S.r.l. (capogruppo)

prof. arch. Giovanni Durbiano

arch. Umberto Montanari

arch. paesaggista Marco Ferrari

Nicola Restauri S.r.l.

MCM Ingegneria S.r.l.

ing. Damiano Bonomelli

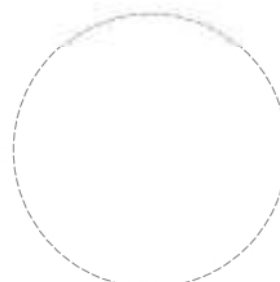
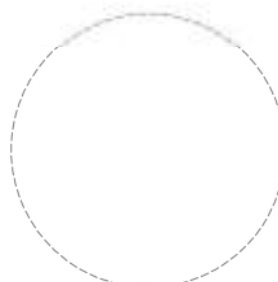
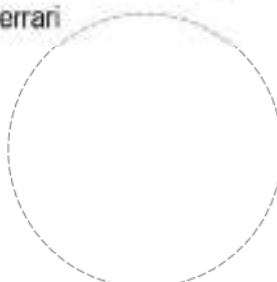
geol. Andrea Ferrarotti

Pirotecnico S.r.l.

RUP: arch. Antonio Graziani

Comune di Rivoli

Direzione Servizi al Territorio e alla Città



OGGETTO

RELAZIONE DI CALCOLO

Valutazione della vulnerabilità sismica:

Villa Antica

**B03c**

DATA

13/10/2023

REV.01

15/12/2023

REV.02

REV.03

SCALA



## COMUNE DI RIVOLI

### **RIQUALIFICAZIONE DELLA VILLA ANTICA, DELLA PALAZZINA SVIZZERA E DELLE AREE ESTERNE AD ESSE CONNESSE DEL COMPENDIO DENOMINATO “VILLA MELANO”**

FONTE DI FINANZIAMENTO: FONDO PER LO SVILUPPO E LA COESIONE (FSC)

CIG: 938107432A - CUP: F25C19001500007

## PROGETTO DEFINITIVO

*RELAZIONE DI CALCOLO: Valutazione della Vulnerabilità Sismica – Villa Antica*

### SOMMARIO

|                                                       |    |
|-------------------------------------------------------|----|
| 1. PREMESSA .....                                     | 1  |
| 2. OGGETTO.....                                       | 5  |
| 3. NORMATIVA DI RIFERIMENTO.....                      | 6  |
| 4. CAMPAGNA DI INDAGINE – LIVELLO DI CONOSCENZA ..... | 7  |
| 5. CRITERI DI CALCOLO ADOTTATI.....                   | 18 |
| 6. MATERIALI DA COSTRUZIONE STRUTTURE ESISTENTI.....  | 25 |
| 7. ANALISI DEI CARICHI .....                          | 27 |
| 8. MODELLO DI CALCOLO IMPIEGATO .....                 | 34 |
| 9. ANALISI STATO DI FATTO .....                       | 36 |

ALLEGATO A – ESTRATTI TAVOLE DI PROGETTO RELATIVE AL CANTIERE CONCLUSO NEL 2011

ALLEGATO B – REPORT DELLE PROVE SUI MATERIALI RIF. TO-153-23 DEL 22/09/23 – 4EMME SERVICE S.P.A.

## 1. PREMESSA

La Committenza, nell'ambito del “*Progetto Definitivo di riqualificazione della Villa Antica, della Palazzina Svizzera e delle aree esterne ad esse connesse del compendio denominato Villa Melano*” ed a seguito dell'evidente aumento dello stato di degrado delle murature portanti verificatosi nell'ultimo periodo, ha provveduto ad incaricare la Società 4EMME Service S.p.A. per eseguire delle prove in sito e di laboratorio atte alla definizione delle proprietà meccaniche delle murature esistenti. I risultati di tali prove saranno quindi usati come dato di partenza per la Valutazione di Vulnerabilità Sismica dei manufatti in muratura portante esistenti, in aggiornamento a quanto già predisposto dall' Ing. Franco Galvagno nell'ambito del “*Progetto di Fattibilità Tecnico – Economico – Gestionale per la valorizzazione del complesso architettonico della Villa Melano e nuove pertinenze*” datato 24 Giugno 2022.

Il compendio denominato Villa Melano, sito nel Comune di Rivoli (TO) in Via Melano, 1-3, è costituito da diversi edifici, in parte storici ed in parte più recenti.

- Gli edifici più recenti, realizzati con struttura in cemento armato, sono figli di un progetto del 2008 di riqualificazione del complesso con destinazione d'uso alberghiera, mai portato a termine ed i cui riferimenti sono riportati nei paragrafi successivi. Tali edifici sono esclusi dall'ambito del progetto definitivo e quindi NON oggetto di indagine.
- Gli edifici storici, realizzati in muratura portante a partire dal 1500 circa, ed in parte anch'essi interessati dal progetto del 2008 di cui sopra, sono gli unici oggetto di riqualificazione nell'ambito del progetto definitivo e sono identificabili 3 unità strutturali principali:
  - Villa antica;
  - Palazzina Svizzera;
  - Citroniera.

Si riporta di seguito una vista aerea del complesso con indicato in rosso gli edifici cementizi NON oggetto di indagine, in verde la Villa Antica, in azzurro la Palazzina Svizzera ed in giallo la Citroniera.



**Figura 1** – Vista aerea del compendio “Villa Melano” con l’identificazione della sagoma dei diversi edifici principali

Saranno dunque redatte tre diverse relazioni, con tale premessa comune per tutte, per ognuna delle unità strutturali sopra definite.

### 1.1. AMBITO DI INTERVENTO

Come precedentemente indicato, gli edifici storici oggetto del presente progetto definitivo sono stati oggetto di diversi interventi strutturali nell’ambito del “*Progetto di restauro, riqualificazione funzionale e ampliamento con destinazione ad albergo*” a firma dello Studio Arch. Gianfranco GRITELLA e Associati il cui iter del progetto strutturale è stato:

- Denuncia iniziale strutture prot. 2718 del 23/01/2008 Pratica n. 346. Progettista e D.L. strutturale Ing. Franco GALVAGNO;

- Variante alla Denuncia delle opere strutturali presentata il 07/01/2011;
- Relazione a Strutture Ultimate a firma del D.L. Ing. Franco GALVAGNO del 05/02/2018 e deposito prot. 6176 del 15/02/2018;
- Collaudo strutturale a firma dell' Ing. Giorgio NEGRO del 15/02/2018 e deposito prot. 6261 del 15/02/2018.

Per maggiori dettagli, si rimanda all'Allegato 1 del documento “B01 – Relazione tecnica specialistica” nel quale sono riportati alcuni estratti dei documenti appena sopra citati.

Nello specifico, i principali interventi strutturali eseguiti sulle strutture storiche nell'ambito del progetto di cui sopra sono stati:

- Rifacimento della copertura lignea della Villa Antica e della Palazzina Svizzera;
- Rifacimento dei solai della Villa Antica e della Palazzina Svizzera mediante strutture in latero-cemento o in travi metalliche e quindi lamiera grecata con getto di cls;
- Rifacimento di alcune scale della Villa Antica con struttura metallica e getto di cls;
- Consolidamento dell'estradosso della copertura voltata della Citroniera.

Tali interventi locali risultano collaudati e quindi non oggetto di ulteriore analisi in quanto, non prevedendo l'aumento dei carichi di progetto e non modificando la Classe d'Uso della costruzione, non si rende necessaria la Valutazione della Sicurezza ai sensi delle NTC2018 (Par. 8.3 D.M. 17 gennaio 2018). Si procederà solo alla Valutazione della Vulnerabilità Sismica delle strutture storiche come espressamente richiesto dalla Committenza.

## 1.2. VALUTAZIONE DELLA VULNERABILITÀ SISMICA - DEFINIZIONE

La valutazione della vulnerabilità sismica di una costruzione significa valutare quale sia la sua propensione a subire danni in conseguenza delle sollecitazioni indotte dal terremoto. Essenzialmente si tratta della determinazione della capacità resistente che le strutture sono in grado di esibire se soggette ad azioni orizzontali quali quelle sismiche. Il lavoro di studio è stato sviluppato secondo tre fasi concettuali: la fase di indagine, la fase di analisi e la fase conclusiva.

La fase di indagine ha comportato:

- indagini documentali, volte a recuperare documenti di progetto architettonico e/o strutturale per ricostruire l'evoluzione storica dell'edificio;
- rilievo geometrico, con lo scopo di ottenere dimensioni e distribuzione spaziale degli elementi strutturali;

- indagini visive, mirate a valutare la tipologia e lo stato di conservazione delle strutture nonché il loro quadro fessurativo, il grado di ammassamento tra i paramenti murari e con gli orizzontamenti;
- indagini strumentali in situ e di laboratorio, che hanno comportato l'esecuzione di riprese con termocamera, prove con martinetto doppio su muratura portante, prove penetrometriche da malta e prove di laboratorio su malta.

La fase di analisi è stata sviluppata secondo le seguenti fasi:

- analisi strutturale dei meccanismi locali di collasso, per valutare preliminarmente il grado di vulnerabilità della struttura nei confronti dei meccanismi di primo modo, ossia dei meccanismi c.d. “fuori piano”;
- analisi strutturale globale dell'edificio con metodo dinamico lineare, nell'ipotesi di comportamento scatolare della struttura.

Infine, la fase conclusiva in cui sono state esposte:

- conclusioni e giudizio sul grado di vulnerabilità sismica delle strutture sulla base delle indagini e delle analisi svolte;
- proposte di intervento atte a mitigare la vulnerabilità alle azioni sismiche.

Ogni fase di lavoro è dettagliatamente descritta nei capitoli seguenti per ognuna delle tre unità strutturali individuata.

## 2. OGGETTO

Oggetto della presente relazione è rappresentato dalla Valutazione di Vulnerabilità Sismica della **Villa Antica** del compendio “Villa Melano” ai sensi del D.M. 17/01/2018 e della Circ. n° 07 del 21/01/2019 C.S.LL.PP., sita in Via Melano, 1-3 – 10098 Rivoli (TO).



*Figura 2 – Facciata Sud della Villa Antica*



*Figura 3 – Facciata Nord della Villa Antica*

### 3. NORMATIVA DI RIFERIMENTO

Decreto del Presidente della Repubblica n° 308 del 6 Giugno 2001 “*Testo unico delle disposizioni legislative e regolamentari in materia edilizia*”

Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n° 3274 del 20 Marzo 2003 “*Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per costruzioni in zona sismica*”.

UNI ENV 1991 - 1 - 1 Eurocodice 1 “*Azioni sulle strutture*” Parte 1 “*Pesi per unità di volume, pesi propri, e sovraccarichi per gli edifici*”.

UNI ENV 1992 - 1 - 1 Eurocodice 2 “*Progettazione delle strutture cementizie*” Parte 1 “*Regole generali e regole per gli edifici*”.

UNI ENV 1996 - 1 - 1 Eurocodice 6 “*Progettazione delle strutture in muratura*” Parte 1 “*Regole generali per strutture di muratura armata e non armata*”.

UNI ENV 1998 - 1 - 1 Eurocodice 8 “*Progettazione delle strutture per la resistenza sismica*” Parte 1 “*Regole generali, azioni sismiche e regole per gli edifici*”.

D.P.C.M. 9 febbraio 2011 “*Valutazione e riduzione del rischio sismico del patrimonio culturale con riferimento alle norme tecniche per le costruzioni di cui al decreto ministeriale 14 gennaio 2008*”

Decreto Ministeriale del 17 Gennaio 2018 - “*Norme tecniche per le costruzioni*” Testo unitario.

Circolare 21 gennaio 2019 n° 7 C.S.LL.PP. “*Istruzioni per l'applicazione delle nuove Norme tecniche per le costruzioni di cui al D.M. 17 gennaio 2018*”.

#### 4. CAMPAGNA DI INDAGINE – LIVELLO DI CONOSCENZA

La Villa Antica presenta una storia più lunga rispetto a quella della Palazzina Svizzera in quanto le sue origini risalgono al 1600 circa. Le prime pietre furono infatti posate a partire dal 1601 quando il Ducato di Savoia decise di realizzare un convento di cappuccini e la chiesa dedicata a Maria Vergine delle Grazie, in prossimità dell'attuale Castello di Rivoli.

Nel *Theatrum Sabaudiae*, stampato nel 1682, il complesso conventuale è costituito da un corpo di fabbrica principale rivolto verso valle, collegato con due porzioni trasversali alla chiesa. La manica di collegamento occidentale si protende su una porzione di collina sistemata a orti.



**Figura 4** – *Theatrum Sabaudiae* - 1682

Con l'invasione Napoleonica e la secolarizzazione dei beni ecclesiastici, il convento diviene bene demaniale e quindi venduto a privati. Il primo acquirente fu tal Antonio Cajre nel 1808. Nelle rappresentazioni cartografiche del 1815 la chiesa risulta oramai già demolita. Nel corso del XIX secolo la villa cambia proprietà venendo acquistata dalla famiglia Melano la quale trasforma l'ex complesso conventuale in una lussuosa residenza borghese con radicali modifiche architettoniche. Nel catasto Rabbini, completato per la parte cartografica di Rivoli nel 1864, appare già una situazione molto simile a quella odierna.



**Figura 5** – *Carta catastale Rabbini* - 1864

All'estinzione della famiglia Melano, la proprietà viene da prima acquistata nel 1948 dall'Opera nazionale per gli invalidi di guerra e quindi nel 1958 dalla Pia Opera ospedale Maria Vittoria di Torino. Il complesso, in notevole stato di abbandono e degrado, diviene nel 1999 proprietà del Comune di Rivoli.

Nell'ambito del progetto e quindi del “recente” cantiere concluso nel 2011, di cui alla *Denuncia iniziale strutture prot. 2718 del 23/01/2008 Pratica n. 346*, la Villa Antica è stata interessata da importanti interventi strutturali, quali il rifacimento di quasi tutti gli orizzontamenti e della copertura lignea, la realizzazione di due nuove scale in acciaio e calcestruzzo, mentre nessun intervento è stato eseguito sulle murature portanti se non qualche chiusura di vani e passate su maschi murari.

Per la verifica della vulnerabilità sismica si considera dunque come stato di fatto la situazione esistente, compresi gli interventi terminati nel 2011, e come stato di progetto la situazione derivante dall'attuazione del progetto definitivo allegato.

#### 4.1. DESCRIZIONE SOMMARIA DELLE STRUTTURE

Il fabbricato in oggetto è disposto complessivamente su tre livelli, due dei quali fuori terra ed uno seminterrato. La struttura presenta una pianta a forma di “C” ed è composta da un corpo di fabbrica principale e quindi due ali posteriori.

Il piano seminterrato presenta una volta a botte in muratura come copertura dello stesso mentre tutti gli altri orizzontamenti della villa sono stati oggetto di rifacimento durante il cantiere concluso nel 2011. I nuovi solai sono realizzati in laterocemento con spessore variabile (si rimanda ai paragrafi successivi per maggiori dettagli) tranne che per una porzione del solaio tra il piano terra ed il piano primo dove è stata realizzata una soletta in cls pieno.

La muratura portante è essenzialmente costituita da due tipologie murarie, una più regolare in laterizio ed una più irregolare in blocchi lapidei. Si rimanda ai paragrafi successivi per maggiori dettagli.

#### 4.2. LIVELLO DI CONOSCENZA

Nel caso in esame, in accordo con la Committenza, si decide di raggiungere un Livello di Conoscenza minimo pari ad **LC2** (Paragrafo 8.5.4 del *D.M. 17/01/2018*), il quale implica l'esecuzione dell'analisi storico-critica, il rilievo geometrico completo e indagini estese (livello facilmente raggiungibile data l'esposizione al rustico di quasi tutti i maschi murari presenti) e quindi prove estese sulle caratteristiche di resistenza dei materiali. Il rispettivo Fattore di Confidenza da adottare sarà dunque pari a **FC=1,20**.

I fattori che contribuiscono a formare i livelli di conoscenza sono:

- Geometria (caratteristiche geometriche degli elementi strutturali);
- Dettagli strutturali (quantità, disposizione e forma delle armature);
- Materiali (proprietà meccaniche degli elementi strutturali).

La campagna delle indagini condotta sul fabbricato in questione, eseguita con l'obiettivo di raggiungere il Livello di Conoscenza LC2, ha compreso:

- indagini documentali, volte a recuperare documenti di progetto architettonico e/o strutturale per ricostruire l'evoluzione storica dell'edificio;
- rilievo geometrico, con lo scopo di ottenere dimensioni e distribuzione spaziale degli elementi strutturali, eventualmente anche a conferma di quanto attestato dai documenti disponibili;
- indagini visive, mirate a valutare la tipologia e lo stato di conservazione delle strutture nonché il loro quadro fessurativo, il grado di ammorsamento tra i paramenti murari e con gli orizzontamenti;
- indagini strumentali in situ e di laboratorio, che hanno comportato l'esecuzione di riprese con termocamera, prove penetrometriche da malta e prove di laboratorio su malta, endoscopie e prove con martinetto piatto doppio nonché la caratterizzazione dinamica dell'edificio. Nel dettaglio, lo scopo della caratterizzazione dinamica di un edificio è di individuare sperimentalmente le frequenze libere di vibrazione e le forme modali. La rilevazione di questi parametri, legati a tutte le caratteristiche geometriche, meccaniche e di vincolo della struttura, consente di fornirsi di valori sperimentali riconfrontabili nel tempo. Questa condizione permette una verifica, in tempi lunghi, delle condizioni generali dell'opera particolarmente utile in caso di evento sismico. I valori rilevati rappresentano un fondamentale supporto per la calibrazione dei modelli numerici, ottenuta facendo corrispondere, attraverso la modifica dei parametri di input (moduli elastici, gradi di vincolo...) forme e frequenze modali tra risultati sperimentali e valori teorici.

#### 4.3. ANALISI DOCUMENTALE

La documentazione storica relativa alla prima edificazione della Villa Antica risulta assente o comunque non reperita negli archivi storici. È stato invece esaminato il progetto completo relativo agli interventi strutturali di cui alla *Denuncia iniziale strutture prot. 2718 del 23/01/2008 Pratica n. 346*, nello specifico, quelli relativi alla Villa Antica sono:

- Tav. s03\_e (esecutivo) Villa Antica – Interventi tetto;
- Tav. s04\_e (esecutivo) Villa Antica – Carpenteria solaio sottotetto;
- Tav. s05\_e (esecutivo) Villa Antica – Ferri solaio sottotetto;
- Tav. s06\_e (esecutivo) Villa Antica – Carpenteria piano primo quota +7.05m;
- Tav. s07\_e (esecutivo) Villa Antica – Ferri solaio piano primo quota +7.05m;
- Tav. s08\_e (esecutivo) Villa Antica – Interventi volte quota +3,55m;
- Tav. s17\_e (esecutivo) Villa Antica – Scale;
- Tav. c31\_s (costruttivo) Villa Antica – Carpenteria piano primo quota +7.05m;
- Tav. c33\_s (costruttivo) Villa Antica – Carpenteria piano primo quota +7.05m\_Varianti solaio

Tali documenti, che hanno permesso di definire la natura dei nuovi solai realizzati nell'ambito del progetto di cui sopra, così da considerarne la reale rigidezza nella realizzazione del modello FEM della Villa Antica, sono riportati nell'*Allegato A* della presente relazione.

#### 4.4. RILIEVO GEOMETRICO, INDAGINI VISIVE ED INDAGINI STRUMENTALI

Il rilievo geometrico e le indagini visive sono state svolte contestualmente durante diversi sopralluoghi svolti presso l'edificio effettuati nei mesi di giugno - agosto 2023.

##### Rilievo geometrico ed indagini visive

Il rilievo geometrico è stato svolto con lo scopo di ottenere dimensioni e distribuzione spaziale degli elementi strutturali, nonché per verificare la veridicità della documentazione esistente, mentre le indagini visive sono state indirizzate a valutare la tipologia e lo stato di conservazione delle strutture e quindi il loro quadro fessurativo, il grado di ammorsamento tra i paramenti murari e con gli orizzontamenti. La muratura portante costituente l'edificio in oggetto risulta, almeno dal lato interno, quasi completamente priva di intonaco e questo ha permesso di valutare facilmente la tessitura della muratura e quindi eventuali criticità. Nello specifico, la struttura risulta costituita da paramenti murari aventi spessore variabile da 80 a 40cm a seconda del piano considerato. La muratura è generalmente integra e, dove oggetto di intervento nel cantiere concluso nel 2011, ben riparata ed ammorsata.



**Figura 6** – Interni di Villa Antica – Buona qualità e stato di conservazione delle murature

Solo a livello locale, sono presenti alcuni problemi su diverse architravi ed elementi isolati, i quali, una volta riparati, non inficiano in alcun modo la stabilità globale dell’edificio.

Si riportano di seguito alcune immagini dei principali dissesti locali riscontrati in sito.

#### Dissesto degli architravi

I voltini sopra le aperture risultano gravemente lesionati anche se non in attuale pericolo di crollo



**Figura 7** – Interni di Villa Antica – Dettaglio criticità locali – dissesto architravi

#### Assenza di collegamento tra i maschi murari

I maschi murari in alcuni punti, risultano scollegati tra di loro



**Figura 8** – Assenza di collegamento tra i maschi murari

### Irregolarità della muratura a causa di vani

Alcuni maschi murari risultano interessati dalla presenza di vani, brecce, nicchie i quali indeboliscono la struttura riducendo la sezione resistente delle pareti e sono causa di meccanismi di rottura locale.



**Figura 9** – Dissesti locali

Infine, i solai in latero cemento di recente realizzazione risultano ben ammassati con le pareti perimetrali.



**Figura 10** – Dettaglio ammassamento dei solai sulle pareti portanti

I solai in latero cemento presentano infatti un cordolo perimetrale in c.a. continuo in corrispondenza delle murature portanti del fabbricato e quindi degli innesti a “coda di rondine” sugli stessi così da garantire un buon ammassamento tra solai e maschi murari.

Si riporta di seguito, a titolo di esempio, un estratto di una delle tavole di progetto relative ai solai in oggetto, tavole elencate al Paragrafo 4.3 e quindi riportate nell'*Allegato A* della presente relazione.

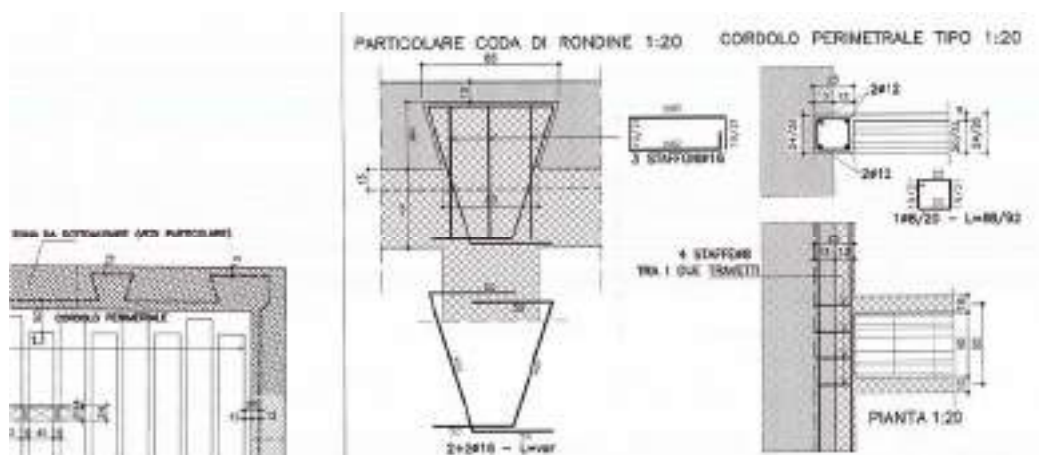


**Figura 11** – Dettaglio ammassamento con “code di rondine” – estratto tavola S06\_e di cui al Paragrafo 4.3

### **Indagini strumentali**

Le indagini strumentali sono state eseguite, oltre che per approfondire la geometria degli elementi strutturali, per la definizione delle proprietà meccaniche della muratura portante.

Il D.M. 17 gennaio 2018 stabilisce il numero e la tipologia di prove minime per la definizione delle caratteristiche meccaniche dei materiali costituenti la struttura in funzione del Livello di Conoscenza che si vuole raggiungere. Per il raggiungimento del Livello di Conoscenza LC2 è necessario procedere a prove estese sulla muratura, ossia indagini visive, diffuse e sistematiche, accompagnate da approfondimenti locali. Come definito dalle NTC2018, e quindi dalla relativa circolare esplicativa, sono da prevedersi saggi estesi, sia in superficie sia nello spessore murario (anche con endoscopie), mirati alla conoscenza dei materiali e della morfologia interna della muratura, all'individuazione delle zone omogenee per materiali e tessitura muraria, dei dispositivi di collegamento trasversale, oltre che dei fenomeni di degrado. È inoltre prevista l'esecuzione di analisi delle malte, accompagnate da tecniche diagnostiche non distruttive (penetrometriche, sclerometriche, soniche, termografiche, radar, ecc.) ed eventualmente integrate da tecniche moderatamente distruttive (ad esempio martinetti piatti), finalizzate a classificare in modo più accurato la tipologia muraria e la sua qualità.

La scelta del livello di conoscenza adottato, LC2, impone, in funzione della tipologia muraria in considerazione, l'assegnazione dei seguenti valori medi dei parametri meccanici da adottare nei calcoli:

- Resistenze: valori medi degli intervalli riportati nella Tabella C8.5.I;
- Moduli elastici: i valori medi degli intervalli riportati nella Tabella C8.5.I.

Di seguito si riporta la Tabella C8.5.I della Circolare Applicativa 21 gennaio 2019 n.7 del C.S.LL.PP., per la definizione delle proprietà meccaniche delle strutture in muratura.

- La Normativa vigente permettere inoltre di incrementare i suddetti valori medi, mediante appositi coefficienti correttivi, qualora ricorrano determinati parametri, come indicato nella Tabella C8.5.II della Circolare Applicativa 21 gennaio 2019 n.7 del C.S.LL.PP., di seguito riportata.

**Tabella 13.5.2** – Coefficienti correttivi massimali da applicare in presenza di rischi di contaminazione umana, animale o ambientale (contaminazioni naturali), considerando una via di esposizione orale, considerando un consumo medio di 10 kg di prodotto al giorno e un'assorbibilità del 100%

| Tipologia di muratura                                                          | Stato di fatto |                       |                           | Interessi di consolidamento      |                           |                                                    |                                          |
|--------------------------------------------------------------------------------|----------------|-----------------------|---------------------------|----------------------------------|---------------------------|----------------------------------------------------|------------------------------------------|
|                                                                                | Malta buona    | Ricorsi a<br>lavorare | Consolidare<br>irregolare | Incolore di<br>malta leganti (*) | Intensificare<br>lavorare | Ripulire malta<br>con concime<br>dei pigmenti (**) | Mantenere<br>coefficiente<br>complessivo |
| Muratura in pietra disordinata (scotti, pietre erratiche e irregolari)         | 1,5            | 1,3                   | 1,5                       | 2                                | 2,5                       | 1,6                                                | 3,5                                      |
| Muratura a conci disordinati, con punte di spessore disomogeneo                | 1,4            | 1,2                   | 1,5                       | 1,7                              | 2,0                       | 1,5                                                | 3,0                                      |
| Muratura in pietra a spacco con buona testitura                                | 1,3            | 1,1                   | 1,3                       | 1,8                              | 1,5                       | 1,4                                                | 2,4                                      |
| Muratura irregolare di pietra tenera (tufa, calcarenite, ecc.)                 | 1,3            | 1,2                   | 1,3                       | 1,4                              | 1,7                       | 1,1                                                | 2,0                                      |
| Muratura a conci sagliati di pietra tenera (tufa, calcarenite, ecc.)           | 1,8            | -                     | 1,2                       | 1,2                              | 1,5                       | 1,2                                                | 1,8                                      |
| Muratura a blocchi lapidei squadrati                                           | 1,2            | -                     | 1,3                       | 1,2                              | 1,2                       | -                                                  | 1,4                                      |
| Muratura in mattoni pieni e malta di calce                                     | (****)         | -                     | 1,3 (****)                | 1,2                              | 1,3                       | 1,2                                                | 1,8                                      |
| Muratura in mattoni riempiti con malta cementata (o) doppi UNI<br>dotata (10%) | 1,2            | -                     | -                         | -                                | 1,3                       | -                                                  | 1,3                                      |

(<sup>\*\*\*</sup>) Valori da 1 a 5 sono considerati come: 1= molto basso, 2= basso, 3= medio, 4= alto, 5= molto alto.

[100] Nel caso di mancata di cui fare il titolo come mostrato nell'esempio, connesso dalla approssimazione a riga d'oro.

Come anticipato precedentemente, anche se per il Livello di Conoscenza LC2 è sufficiente l'adozione dei valori meccanici della muratura come da tabelle sopra riportate, si eseguono comunque delle prove, in situ ed in laboratorio, per contestualizzare e verificare tali dati. Si riporta di seguito l'estratto delle piante della campagna di indagine effettuata.

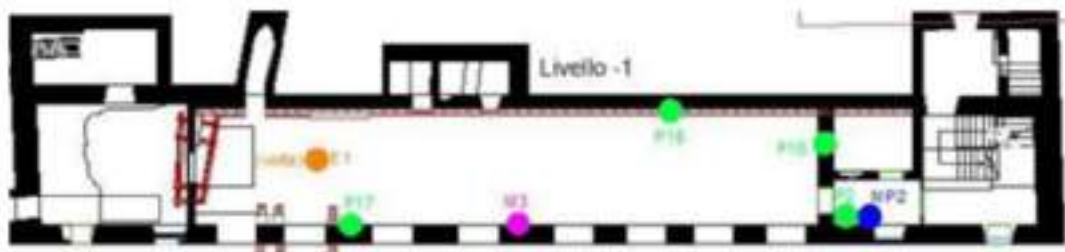


**Figura 12** – Indagini sulla muratura Villa Antica – Livello interrato

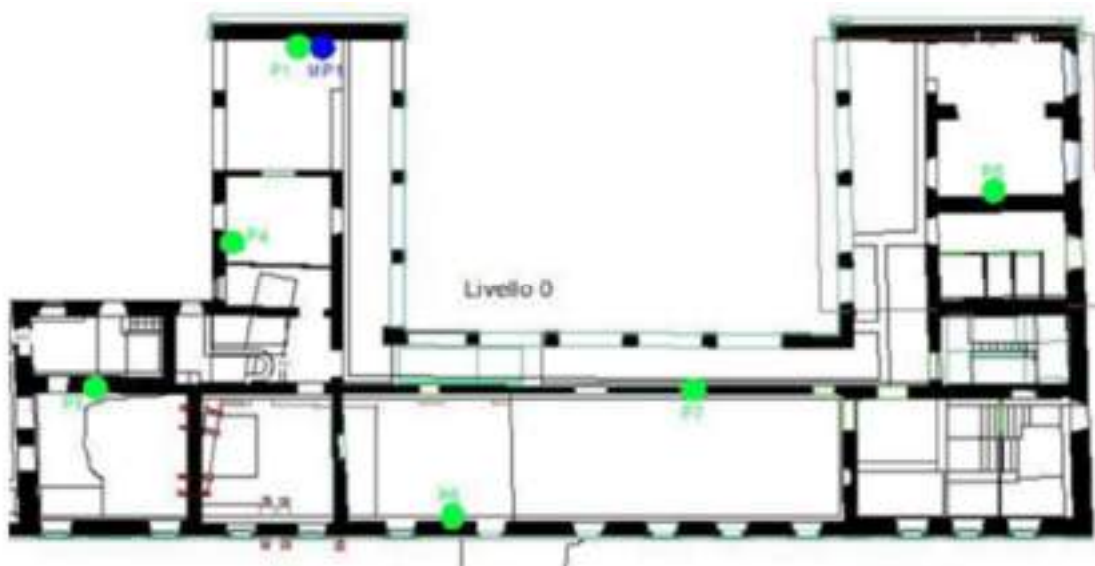


**Figura 13** – Indagini sulla muratura Villa Antica – Livello 0



**Figura 14** – Indagini sulla muratura Villa Antica – Livello 1

Si rimanda all'*Allegato B* per il dettaglio delle prove eseguite in sito, nello specifico la Relazione Rif.: TO-153-23 del 22/09/2023 redatta dall' Arch. Alberto Capussotto, direttore del Centro di Torino del Laboratorio di Prove Materiali “4EMME Service S.p.A.”, sede legale Via L. Zuegg, 20 – 39100 Bolzano per i risultati delle prove di cui sopra e quindi per la prova di caratterizzazione dinamica della struttura.

Nello specifico, per la Villa Antica, sono state fatte due prove con martinetto piatto doppio, individuate con “MP1” ed “MP2” nelle figure sopra riportate, ed una sulla palazzina Svizzera, denominata “MP3”, le quali sono ritenute significative e rappresentative delle due tipologie di muratura riscontrate in sito.

Nello specifico, le prove MP1 ed MP2 sono state eseguite su maschi murari definibili come “murature in pietrame disordinato” mentre la prova MP3 è stata eseguita su una muratura più regolare, rappresentativa della tipologia “murature in mattoni pieni e malta di calce”

Per ragioni pratiche, dato che la prova con martinetto piatto doppio mal sopporta le irregolarità delle murature per via delle falsate espansioni dei martinetti piatti che ne conseguirebbero, anche per le murature in pietra disordinata sono state comunque cercate le zone più regolari delle stesse.

I risultati delle suddette prove, per i quali dettagli si rimanda all'*Allegato B*, sono riassumibili in:

| Prova                    | $\sigma_{rottura}$<br>[MPa] | $E_{sec}$<br>[MPa] |
|--------------------------|-----------------------------|--------------------|
| MP1 – Villa Antica       | 1,74                        | 917                |
| MP2 – Villa Antica       | 1,60                        | 921                |
| MP3 – Palazzina Svizzera | 2,54                        | 1934               |

Dal riassunto dei risultati sopra riportati, è possibile notare come il risultato delle prove in situ con martinetto piatto doppio sia comparabile con i valori di resistenza a rottura e di modulo elastico della muratura proposti dalla Circolare Applicativa 21 gennaio 2019 n.7 del C.S.LL.PP.

#### Muratura in mattoni pieni e malta di calce

Per il livello di conoscenza LC2, le NTC2018, in funzione della Tabella C8.5.I della Circolare Applicativa 21 gennaio 2019 n.7 del C.S.LL.PP. precedentemente riportata, impongono di impiegare i seguenti parametri:

$$f_m = 3,45 \text{ N/mm}^2$$

$$E_m = 1500 \text{ N/mm}^2$$

Considerato però che il valore della resistenza a compressione misurata in sito risulta più basso del valore medio proposto dalle NTC18 per la tipologia muraria in esame, si decide di usare per la resistenza il valore minimo proposto dalle NTC e per il modulo elastico il valore medio ossia:

$$f_m = 2,6 \text{ N/mm}^2$$

$$E_m = 1500 \text{ N/mm}^2$$

### Muratura in pietrame disordinata

Per il livello di conoscenza LC2, le NTC2018, in funzione della Tabella C8.5.I della Circolare Applicativa 21 gennaio 2019 n.7 del C.S.LL.PP. precedentemente riportata, impongono di impiegare i seguenti parametri:

$$f_m = 1,50 \text{ N/mm}^2$$

$$E_m = 870 \text{ N/mm}^2$$

Il valore di resistenza di progetto a compressione della muratura  $f_m$ , così come il modulo elastico  $E_m$ , è minore rispetto a quelli ricavati sperimentalmente dalle prove MP1 ed MP2, pari rispettivamente a  $1,74 \text{ N/mm}^2$  ed a  $1,60 \text{ N/mm}^2$ , per cui, a favore di sicurezza, si considera come rappresentativo della tipologia muraria “muratura in pietra disordinata” e quindi si adottano i valori tabellari proposti dalle NTC per le successive analisi di vulnerabilità sismica.

La malta di calce, come da Rapporto di Prova n. 3922 del 31/08/23 della 4EMME Service S.p.A., è classificabile come malta idraulica tipo **M2.5** (Tabella 11.10.V D.M. 17 gennaio 2018) per cui con resistenza a compressione maggiore di  $2 \text{ N/mm}^2$  e quindi classificabile come “malta buona” in riferimento alla tabella C.8.5.II della Circolare Applicativa 21 gennaio 2019 n.7 del C.S.LL.PP. A favore di sicurezza, si decide comunque di non applicare nessun coefficiente correttivo ai parametri meccanici della muratura in quanto dalle indagini penetrometriche su malta il valore della resistenza media stimata si attesta mediamente su  $1 \text{ N/mm}^2$ .

## 4.5. GEOMETRIA DEGLI ELEMENTI STRUTTURALI MODELLATI

Di seguito si riporta il dettaglio dei solai presenti e quindi impiegati nella modellazione della struttura:

- Solaio quota 3.55m – tra piano seminterrato e piano terreno: solaio voltato spessore in chiave 12cm (rif Allegato B della presente relazione e tavola S08\_e dell’Allegato A)
- Solaio quota 7.05m – tra piano terra e piano primo: solaio in latero cemento  $h=20+4\text{cm}$  (rif. tavola S06\_e, S07\_e, c31\_s ed c33\_s dell’Allegato A);
- Solaio quota 7.05m – tra piano terra e piano primo per una porzione dell’ala est: soletta piena in cls sp. 14cm (rif. tavola c33\_s dell’Allegato A);
- Solaio sottotetto – tra piano primo e sottotetto: solaio in latero cemento  $h=18+4\text{cm}$  tranne che per l’ala est (quella più prossima al Castello di Rivoli) dove il solaio in latero cemento presenta spessore pari a  $h=22+4\text{cm}$  (rif tavola S04\_e ed S05\_e dell’Allegato A).

I singoli maschi murari sono stati modellati assegnando ad ognuno lo spessore rilevato in sito e quindi la tipologia di muratura di appartenenza tra le due definite ai paragrafi precedenti.

Le scale realizzate nel corso del cantiere del 2006-2011 non sono state modellate per la definizione della vulnerabilità sismica, è stato modellato il solo foro sui solai. Allo stesso modo, non è stato modellato il tetto, in quanto irrilevante nella modellazione di vulnerabilità sismica, ma è stato esclusivamente considerato il carico dovuto alla presenza dello stesso.

## 5. CRITERI DI CALCOLO ADOTTATI

I calcoli e le verifiche sono condotti utilizzando il criterio semiprobabilistico degli stati limite (o coefficienti parziali) secondo le indicazioni del D.M. 17 gennaio 2018.

Ad integrazione delle suddette norme si utilizzeranno i seguenti documenti:

- Eurocodici strutturali pubblicati dal CEN (comprese, quando presenti, le prescrizioni riportate nelle varie Appendici Nazionali);
- Norme UNI EN armonizzate i cui riferimenti siano pubblicati su Gazzetta Ufficiale dell'Unione Europea;
- Norme per prove, prodotti e materiali pubblicate dall'UNI.

Inoltre, in mancanza di specifiche indicazioni, ad ulteriore integrazione delle presenti norme, sono stati utilizzati tutti i documenti di comprovata validità definiti al *Capitolo 12* del D.M. 17 Gennaio 2018.

### 5.1. **PRINCIPI FONDAMENTALI**

La sicurezza e le prestazioni dell'opera sono valutate in relazione agli stati limite che si possono verificare durante la vita nominale. Uno stato limite è definito come la condizione superata la quale l'opera non soddisfa più le esigenze per le quali è stata progettata; in particolare gli stati limite si dividono in:

- *Sicurezza nei confronti di Stati Limite ultimi (SLU)*: capacità di evitare crolli, perdite di equilibrio e dissesti gravi, totali o parziali, che possano compromettere l'incolumità delle persone ovvero comportare la perdita di beni, ovvero provocare gravi danni ambientali e sociali, ovvero mettere fuori servizio l'opera;
- *Sicurezza nei confronti di Stati Limite di esercizio (SLE)*: capacità di garantire le prestazioni previste per le condizioni di esercizio;
- *Robustezza nei confronti di azioni eccezionali*: capacità di evitare danni sproporzionati rispetto all'entità delle cause innescanti quali incendio, urti, esplosioni.

### 5.2. **VITA NOMINALE, CLASSI D'USO E PERIODO DI RIFERIMENTO**

Vita Nominale ( $V_N$ ): di progetto pari a *50 anni* intesa come il periodo di tempo nel quale la struttura, purché soggetta a manutenzione ordinaria, deve poter essere usata per lo scopo alla quale è destinata.

Classe d'uso III: costruzioni con funzioni pubbliche o strategiche importanti, anche con riferimento alla gestione della protezione civile in caso di calamità quali le ledi degli uffici comunali.

Periodo di riferimento per l'azione sismica ( $V_R$ ): **75 anni**.

Le azioni sismiche vengono valutate in relazione ad un periodo di riferimento  $V_R$  che si ricava, per ciascun tipo di costruzione, moltiplicandone la vita nominale  $V_N$  per il coefficiente d'uso  $C_U$  (funzione della *Classe d'uso*) che, nel caso in esame, vale:

$$V_R = V_N \cdot C_U = 50 \cdot 1,5 = 75$$

### 5.3. FORMULAZIONE DEL CRITERIO SEMIPROBABILISTICO AGLI STATI LIMITE E VERIFICA DELLA SICUREZZA

#### 5.3.1. STATO LIMITE ULTIMO (S.L.U.)

Le verifiche agli *S.L.U.* si eseguono per tutte le più gravose condizioni di carico che possono agire sulla struttura. Per la situazione permanente e transitoria si occorre verificare che l'azione sollecitante di calcolo  $S_d$  sia inferiore alla resistenza ultima di calcolo  $R_d$ .

Le azioni sollecitanti di calcolo dovranno essere calcolate secondo la seguente formulazione (combinazione fondamentale):

$$\gamma_{G1} \cdot G_1 + \gamma_{G2} \cdot G_2 + \gamma_P \cdot P + \gamma_{Q1} \cdot Q_{K1} + \gamma_{Q2} \cdot \psi_{02} \cdot Q_{K2} + \gamma_{Q3} \cdot \psi_{03} \cdot Q_{K3} + ..$$

Dove:

$G_1$  peso proprio di tutti gli elementi strutturali e del terreno, quando pertinente; forze indotte dal terreno; forze risultanti dalla pressione dell'acqua (quando si configurino costanti nel tempo).

$G_2$  peso proprio di tutti gli elementi non strutturali.

$P$  pretensione e precompressione (se presente).

$Q_{K1}$  azione variabile dominante.

$Q_{Ki}$  azioni variabili che possono agire contemporaneamente a quella dominante.

$\gamma_{G1}$  coefficiente parziale riferito a  $G_1$ .

$\gamma_{G2}$  coefficiente parziale riferito a  $G_2$ .

$\gamma_P$  coefficiente parziale riferito a  $P$ .

$\gamma_{Qi}$  coefficiente parziale riferito ai carichi variabili  $Q_{Ki}$ .

$\psi_{0j}$  coefficienti di combinazione delle azioni variabili.

#### 5.3.2. STATO LIMITE DI ESERCIZIO (S.L.E.)

Anche per gli stati limite di esercizio occorre verificare che l'azione sollecitante di calcolo  $S_d$  sia inferiore alla resistenza ultima di calcolo  $R_d$ .

Le azioni sollecitanti di calcolo vanno calcolate secondo le seguenti formulazioni:

*combinazione caratteristica (rara)*

$$G_1 + G_2 + P + Q_{K1} + \psi_{02} \cdot Q_{K2} + \psi_{03} \cdot Q_{K3} + ..$$

combinazione frequente

$$G_1 + G_2 + P + \psi_{11} \cdot Q_{K1} + \psi_{22} \cdot Q_{K2} + \psi_{23} \cdot Q_{K3} + ..$$

combinazione quasi permanente

$$G_1 + G_2 + P + \psi_{21} \cdot Q_{K1} + \psi_{22} \cdot Q_{K2} + \psi_{23} \cdot Q_{K3} + ..$$

Dove i coefficienti  $\psi_{ij}$  rappresentano i coefficienti di combinazione delle azioni variabili.

### 5.3.3. COMBINAZIONE DELL'AZIONE SISMICA CON LE ALTRE AZIONI

Nel caso delle costruzioni civili ed industriali le verifiche agli stati limite ultimo o di esercizio devono essere effettuate per la combinazione dell'azione sismica di seguito riportata:

$$G_1 + G_2 + P + E + Q_{K1} + \psi_{21} \cdot Q_{K1} + \psi_{22} \cdot Q_{K2} + ..$$

Dove  $E$  rappresenta l'azione sismica.

Nei confronti delle azioni sismiche gli stati limite, sia di esercizio che ultimi, sono individuati riferendosi alle prestazioni della costruzione nel suo complesso, includendo gli elementi strutturali, quelli non strutturali e gli impianti.

Gli S.L.E. sono:

- **Stato Limite di Operatività (SLO):** a seguito del terremoto la costruzione nel suo complesso, includendo gli elementi strutturali, quelli non strutturali, le apparecchiature rilevanti alla sua funzione, non deve subire danni ed interruzioni d'uso significativi;
- **Stato Limite di Danno (SLD):** a seguito del terremoto la costruzione nel suo complesso, includendo gli elementi strutturali, quelli non strutturali, le apparecchiature rilevanti alla sua funzione, subisce danni tali da non mettere a rischio gli utenti e da non compromettere significativamente la capacità di resistenza e di rigidezza nei confronti delle azioni verticali e orizzontali, mantenendosi immediatamente utilizzabile pur nell'interruzione d'uso di parte delle apparecchiature;

Gli S.L.U. sono:

- **Stato Limite di salvaguardia della Vita (SLV):** a seguito del terremoto la costruzione subisce rotture e crolli dei componenti non strutturali ed impiantistici e significativi danni dei componenti strutturali cui si associa una perdita significativa di rigidezza nei confronti delle azioni orizzontali; la costruzione conserva invece una parte della resistenza e rigidezza per azioni verticali e un margine di sicurezza nei confronti del collasso per azioni sismiche orizzontali;
- **Stato Limite di prevenzione del Collasso (SLC):** a seguito del terremoto la costruzione subisce gravi rotture e crolli dei componenti non strutturali ed impiantistici e danni molto gravi dei componenti strutturali; la costruzione conserva

ancora un margine di sicurezza per azioni verticali ed un esiguo margine di sicurezza nei confronti del collasso per azioni orizzontali.

Le probabilità di superamento  $P_{VR}$  nel periodo di riferimento  $V_R$ , cui riferirsi per individuare l'azione sismica agente in ciascuno degli stati limite considerati, sono riportate nella tabella seguente (Tabella 3.2.I D.M. 17 Gennaio 2018 – Testo unico):

| Stato Limite              |     | $P_{VR}$ |
|---------------------------|-----|----------|
| Stati Limite di Esercizio | SLO | 81%      |
|                           | SLD | 63%      |
| Stati Limite Ultimi       | SLV | 10%      |
|                           | SLC | 5%       |

Nota la probabilità di superamento nel periodo di riferimento considerato è possibile determinare il tempo di ritorno dell'azione sismica tramite la relazione (relazione 3.2.0 del D.M. 17 Gennaio 2018 – Testo unico):

$$T_R = -\frac{V_R}{\ln(1 - P_{VR})} = -\frac{C_U \cdot V_N}{\ln(1 - P_{VR})}$$

**Per le strutture esistenti, fatta eccezione per le strutture in classe d'uso IV, la valutazione della sicurezza e la progettazione degli interventi sulle stesse potrà essere eseguita con riferimento ai soli SLU.**

Per la combinazione sismica le verifiche agli SLU possono essere eseguite rispetto alla condizione di salvaguardia della vita umana (SLV) o, in alternativa, alla condizione di collasso (SLC).

#### 5.4. VULNERABILITÀ SISMICA - METODO DI ANALISI

Come precedentemente indicato, si esegue di seguito la sola verifica di Vulnerabilità Sismica dell'edificio in oggetto, sia nei confronti dei meccanismi locali di collasso sia nei confronti dell'analisi globale (comportamento scatolare).

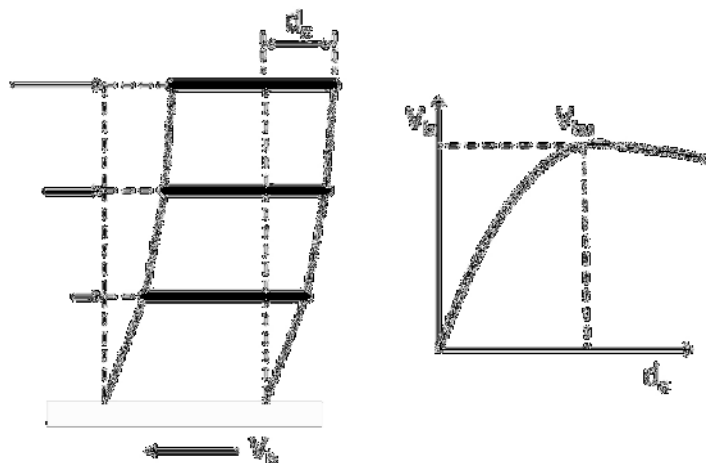
Al fine di eseguire le dovute verifiche nei riguardi dell'edificio in questione in presenza di azioni sismiche, si è proceduto con l'esecuzione di una analisi statica non lineare (push-over). Questo tipo di analisi permette di individuare i cambiamenti nella risposta della struttura man mano che alcuni elementi entrano in fase plastica e quindi la sua reale capacità deformativa. In particolare è di grande utilità per l'analisi di strutture esistenti che, essendo realizzate di solito senza alcuna attenzione alle risorse di duttilità, pongono problemi nella individuazione di un corretto fattore di struttura  $q$ .

L'analisi è svolta secondo la procedura seguente:

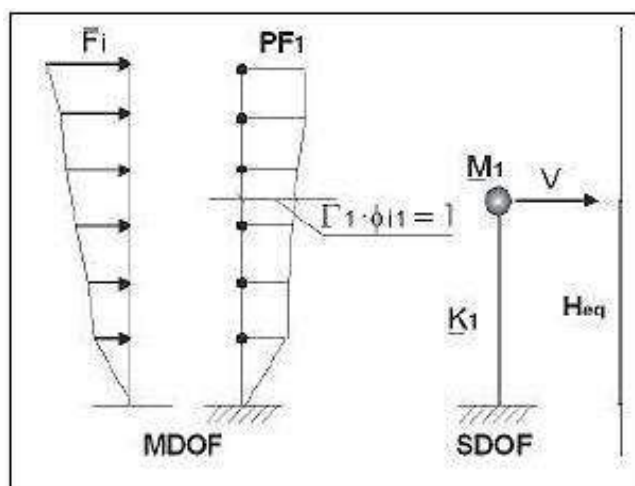
- applicazione al modello delle sole azioni statiche (corrispondenti alla combinazione sismica da NT);

$$E + G + \psi_{21} \cdot Q_{k1}$$

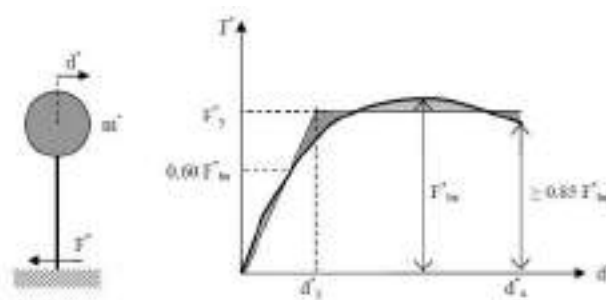
- applicazione al modello di due profili di forze sismiche (forze corrispondenti a spostamenti controllati) orizzontali crescenti: il primo crescente proporzionalmente alle forze statiche e il secondo desunto da un andamento uniforme di accelerazioni lungo l'altezza della costruzione;
- monitoraggio dello spostamento di un punto di controllo “ $d_c$ ” e tracciamento della curva di capacità



- sulla curva di capacità si individuano i limiti deformativi per il rispetto degli stati limite considerati e definiti dalla normativa;
- la curva di capacità viene trasformata, per mezzo del “fattore di partecipazione modale”  $G$ , da curva rappresentativa di un sistema M.D.O.F. a curva equivalente di un sistema S.D.O.F., ovvero un oscillatore ad un singolo grado di libertà;



- la curva di capacità S.D.O.F. viene approssimata con una “bilineare equivalente”, costruita secondo le prescrizioni di normativa. Il tracciamento di tale curva deve avvenire con una retta che, passando per l'origine interseca la curva del sistema reale in corrispondenza del 70% del valore di picco; la seconda retta risulterà parallela all'asse degli spostamenti tale da generare l'equivalenza delle aree tra i diagrammi del sistema reale e quello equivalente.



- la linearizzazione della curva permette di ricavare i parametri caratteristici di un oscillatore semplice, come il periodo  $T^*$

$$T^* = 2\pi \sqrt{\frac{m^*}{k^*}}$$

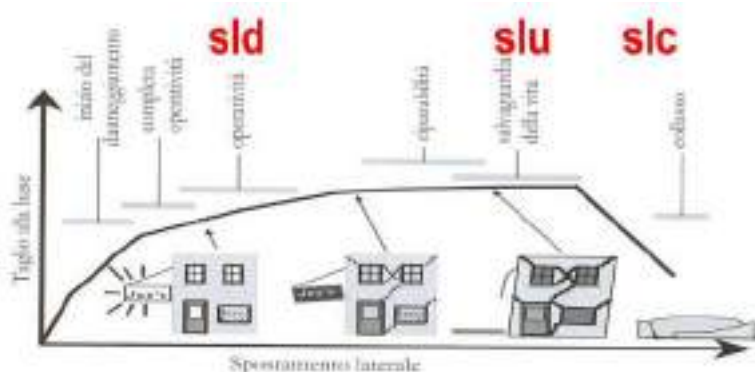
il periodo così calcolato viene utilizzato per ricavare, dagli spettri elastici di progetto (SLO, SLD, SLV, SLC), la massima accelerazione spettrale a cui corrisponde la domanda di spostamento richiesta  $d_{max}$  dal generico stato limite

$$d_{max} = \frac{S_e(T^*) \cdot m^*}{k^*}$$

- dal rapporto tra la forza elastica richiesta dallo spettro di progetto e la forza di snervamento del sistema equivalente S.D.O.F. è possibile calcolare il fattore di struttura. La norma impone che il fattore di struttura sia inferiore a 3; in caso contrario la verifica si considera non soddisfatta.

$$q^* = \frac{S_e(T^*) \cdot m^*}{F_y^*}$$

Le verifiche richieste si concretizzano nel confronto tra i limiti deformativi calcolati sulla curva di capacità e la domanda di spostamento  $d_{max}$  prevista dalla normativa per ogni stato limite considerato. Per cui questo tipo di analisi si concentra sulla verifica della capacità di spostamento - o duttilità - dell'edificio sottoposto all'azione sismica, prescindendo dalla verifica di resistenza dei singoli elementi.



*Curva di capacità e limiti deformativi imposti dagli stati limite di normativa*

Dal punto di vista del numero di analisi da svolgere, le norme tecniche prevedono che si debbano tenere in conto gli aspetti seguenti:

eccentricità accidentale del centro delle masse  
pari al 5% della massima dimensione dell'edificio  
in direzione perpendicolare al sisma

distribuzione di carico sismico proporzionale alle  
forze o uniforme

direzione lungo cui viene caricata la struttura (X o  
Y del sistema globale) dal carico sismico



**24 analisi distinte**

Al fine di individuare la condizione di carico sismico più gravosa, si eseguono tutte le 24 analisi distinte per tipologia di carico, direzione del sisma e di eventuali eccentricità accidentali.

## 6. MATERIALI DA COSTRUZIONE STRUTTURE ESISTENTI

Come anticipato ai Capitoli precedenti, le strutture costituenti l'edificio oggetto di indagine sono state indagate per mezzo di diverse prove in sito, si rimanda all' Allegato B per il dettaglio delle prove eseguite in sito, nello specifico la Relazione Rif.: TO-153-23 del 22/09/2023 redatta dall' Arch. Alberto Capussotto, direttore del Centro di Torino del Laboratorio di Prove Materiali “4EMME Service S.p.A.”, sede legale Via L. Zuegg, 20 – 39100 Bolzano.

### 6.1. MURATURA

Per il Livello di Conoscenza LC2 è possibile adottare i parametri meccanici medi della muratura riportati nella tabella C.8.5.I della Circolare Applicativa 21 gennaio 2019 n.7 del C.S.LL.PP. In particolare dovranno essere considerati:

- Resistenze: valori medi degli intervalli riportati nella Tabella C8.5.I;
- Moduli elastici: i valori medi degli intervalli riportati nella Tabella C8.5.I.

Visti però i risultati delle prove in sito, per la muratura in mattoni pieni e malta di calce saranno adottati, in riferimento alla tabella C.8.5.I della Circolare Applicativa 21 gennaio 2019 n.7 del C.S.LL.PP., i seguenti parametri:

- Resistenze: valori minimi degli intervalli riportati nella Tabella C8.5.I;
- Moduli elastici: i valori medi degli intervalli riportati nella Tabella C8.5.I.

I valori adottati nei calcoli, per ognuna delle due tipologie murarie riscontrate in sito, risultano dunque:

#### Muratura in mattoni pieni e malta di calce

- Resistenza media a compressione:  $f = 2,60\text{N/mm}^2$
- Resistenza media a taglio (in assenza di tensioni normali):  $t_0 = 0,05\text{N/mm}^2$
- Resistenza media a taglio (in assenza di tensioni normali):  $fv_0 = 0,13\text{N/mm}^2$
- Modulo di elasticità normale medio:  $E = 1500\text{N/mm}^2$
- Modulo di elasticità tangenziale medio:  $G = 500\text{N/mm}^2$
- Peso specifico medio:  $W = 18\text{kN/m}^3$

#### Muratura in pietrame disordinata

- Resistenza media a compressione:  $f = 1,50\text{N/mm}^2$
- Resistenza media a taglio (in assenza di tensioni normali):  $t_0 = 0,025\text{N/mm}^2$
- Resistenza media a taglio (in assenza di tensioni normali):  $fv_0 = 0\text{N/mm}^2$
- Modulo di elasticità normale medio:  $E = 870\text{N/mm}^2$
- Modulo di elasticità tangenziale medio:  $G = 290\text{N/mm}^2$
- Peso specifico medio:  $W = 19\text{kN/m}^3$

La malta di calce, come da Rapporto di Prova n. 3922 del 31/08/23 della 4EMME Service S.p.A., è classificabile come malta idraulica tipo **M2.5** (Tabella 11.10.V D.M. 17 gennaio 2018) per cui con resistenza a compressione maggiore di  $2N/mm^2$  e quindi classificabile come “malta buona” in riferimento alla tabella C.8.5.II della Circolare Applicativa 21 gennaio 2019 n.7 del C.S.LL.PP. A favore di sicurezza, si decide comunque di non applicare nessun coefficiente correttivo ai parametri meccanici della muratura in quanto dalle indagini penetrometriche su malta il valore della resistenza media stimata si attesta mediamente su  $1N/mm^2$ .

## 6.2. ELEMENTI IN C.A.

Gli elementi in c.a. realizzati nel corso del progetto 2006-2011, essenzialmente travi e solai in latero cemento, saranno definiti nel modello in funzione delle caratteristiche meccaniche dei materiali costituenti gli stessi riportate sugli elaborati grafici del progetto depositato (si rimanda all'Allegato A per maggiori dettagli), nello specifico:

### Calcestruzzo

- $R_{ck} > 25N/mm^2$
- Classe di esposizione 2a;
- Rapporto acqua/cemento  $< 0,55$ ;
- Copriferro nominale 25mm;
- Dimensione massima dell'aggregato 25mm;
- Cemento 42,5R;
- Classe di consistenza (Slump) S3.

### Acciaio da armatura

- FeB44K controllato in stabilimento

Considerata la mancanza di prove in sito su tali elementi, per eventuali verifiche locali si considera un livello di conoscenza delle strutture in c.a. pari ad **LC1** per cui sarà applicato un fattore di confidenza **FC = 1,35**.

## 7. ANALISI DEI CARICHI

Per la determinazione dei pesi propri dei materiali da costruzione e per il calcolo dei sovraccarichi permanenti si è fatto riferimento alla *Tabella 3.1.I* del D.M. 17 Gennaio 2018.

Le sollecitazioni di calcolo verranno determinate considerando le azioni di calcolo ( $F_d$ ) classificate in relazione al tempo come:

- Azioni permanenti ( $G_1$ ): peso proprio di tutti gli elementi strutturali, peso proprio del terreno (quando pertinente), forze indotte dal terreno, forze risultanti dall'azione dell'acqua (quando si configurano costanti nel tempo).
- Azioni permanenti ( $G_2$ ): peso proprio di tutti gli elementi non strutturali.
- Azioni variabili ( $Q_{ki}$ ): carichi d'esercizio, neve, vento, ecc...

Le combinazioni di carico utilizzate per le analisi allo S.L.U. ed allo S.L.E. sono quelle indicate nel *Capitolo 5.0*.

### AZIONI PERMANENTI

Tra le azioni permanenti rientrano, come detto prima, i pesi propri ( $G_1$ ) ed i carichi permanenti non strutturali ( $G_2$ ).

- |                                                           |                                     |
|-----------------------------------------------------------|-------------------------------------|
| • peso proprio elementi in C.A.                           | $g_{1c} = 2500 \text{ daN/m}^3$     |
| • peso proprio muratura in pietrame disordinata           | $g_{1m1} = 1900 \text{ daN/m}^3$    |
| • peso proprio muratura in mattoni pieni e malta di calce | $g_{1m2} = 1800 \text{ daN/m}^3$    |
| • peso proprio legno                                      | $g_{1l} = 300 \text{ daN/m}^3$      |
| • peso proprio solai in laterocemento 18+4cm              | $g_{1sa} = 260 \text{ daN/m}^2$     |
| • peso proprio solai in laterocemento 20+4cm              | $g_{1sb} = 280 \text{ daN/m}^2$     |
| • peso proprio solai in laterocemento 22+4cm              | $g_{1sc} = 300 \text{ daN/m}^2$     |
| • peso proprio solai in cls pieno sp. 14cm                | $g_{1l} = 350 \text{ daN/m}^2$      |
| • permanente portato solai                                | $g_{2s} = \text{vedere di seguito}$ |
| • permanente portato copertura + strutture tetto          | $g_{2c} = 177 \text{ daN/m}^2$      |

Il carico permanente portato dei solai realizzati/consolidati nel corso del progetto 2006-2011 è pari a  $150 \text{ daN/m}^2$  come si evince dagli elaborati grafici riportati nell'Allegato A.

Nella condizione di progetto definitivo, tale carico permanente è definibile come:

#### Solaio voltato quota 3,45m tra piano semi interrato e piano terra

|                                                                                              |                       |
|----------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------|
| Pavimento in mosaico/cocciopesto sp. 90mm (compreso strato di sottofondo)                    | 190daN/m <sup>2</sup> |
| Massetto alleggerito sp. 100mm (600daN/m <sup>3</sup> )                                      | 60daN/m <sup>2</sup>  |
| Rinfianco volta (valore medio ipotizzando un riempimento con $\gamma=1700 \text{ daN/m}^3$ ) | 350daN/m <sup>2</sup> |
| Tramezzi interni                                                                             | Non presenti          |
|                                                                                              | 600daN/m <sup>2</sup> |

Solaio quota 7,05m tra piano terra e piano primo

|                                                                                                              |                             |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------|
| Pavimento in gres sp. 20mm (piastrelle+colla)                                                                | 35daN/m <sup>2</sup>        |
| Massetto alleggerito sp. 80mm (600daN/m <sup>3</sup> )                                                       | 48daN/m <sup>2</sup>        |
| Controsoffitto in lastra singola sp. 12,5mm<br>(compreso di struttura di supporto, rasatura e tinteggiatura) | 25daN/m <sup>2</sup>        |
| Impianti appesi                                                                                              | 15daN/m <sup>2</sup>        |
| Tramezzi sp.10cm<br>(mattoni forato sp. 8cm + intonaco su due facce) peso parete 140daN/m <sup>2</sup>       | 160daN/m <sup>2</sup>       |
|                                                                                                              | <hr/> 283daN/m <sup>2</sup> |

Solaio sottotetto

|                                                                                                              |                            |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------|
| Pavimento e massetto                                                                                         | Non presente               |
| Controsoffitto in lastra singola sp. 12,5mm<br>(compreso di struttura di supporto, rasatura e tinteggiatura) | 25daN/m <sup>2</sup>       |
| Tramezzi interni                                                                                             | Non presenti               |
| Impianti installati nel sottotetto                                                                           | 25 daN/m <sup>2</sup>      |
|                                                                                                              | <hr/> 50daN/m <sup>2</sup> |

Dall’analisi sopra riportata si evince come il carico permanente del solaio del sottotetto nel progetto 2006-2011 sia ampiamente sovrastimato rispetto al carico dell’attuale progetto definitivo mentre il carico permanente del solaio quota 7,05m risulta più alto nell’attuale progetto definitivo. Allo stesso modo, il carico permanente sulla volta a copertura del pino seminterrato risulta anch’esso maggiore nell’attuale progetto definitivo.

A livello globale, per quanto concerne la risposta sismica del fabbricato, tale modifica dei carichi permanenti incide poco in quanto complessivamente la massa partecipante rimane invariata (il maggior carico del solaio a quota 7,05m è compensato dal minor carico del solaio del sottotetto ed il carico permanente sulla volta è applicato sullo zero sismico). Si procederà però alla verifica statica del solaio a quota 7,05m e quindi della volta a copertura del piano seminterrato.

AZIONI VARIABILI

Sovraccarico accidentale legato alla destinazione d’uso dei locali

- Cat.A – Aree per attività domestiche e residenziali  $q_1= 200 \text{ daN/m}^2$
- Cat.A – Scale e balconi  $q_2= 400 \text{ daN/m}^2$

Sovraccarico accidentale neve

Per la determinazione del carico neve agente sulla copertura si è fatto riferimento al *Capitolo 3.4 “Azioni della Neve”* del D.M. 17 Gennaio 2018.

Il carico provocato dalla neve sulla copertura sarà valutato mediante la seguente espressione:

$$q_s = \mu_i \cdot q_{sk} \cdot c_E \cdot c_t$$

Dove:

$q_s$  = carico della neve sulla copertura;

$\mu_i$  = coefficiente di forma della copertura;

$q_{sk}$  = valore caratteristico di riferimento del carico neve al suolo [ $kN/m^2$ ];

$c_E$  = coefficiente d'esposizione = 1;

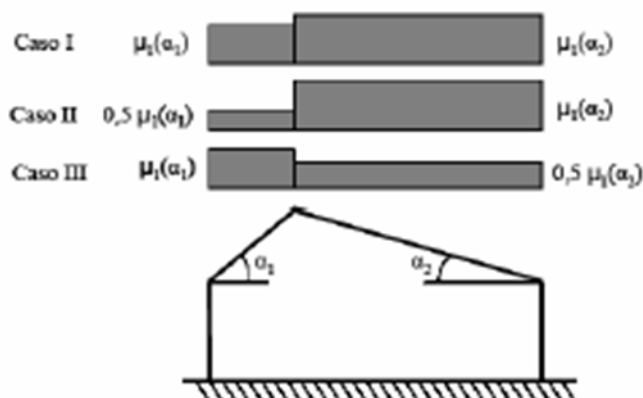
$c_t$  = coefficiente termico = 1

Il fabbricato risulta sito ad una quota sul livello del mare pari a circa  $a_s = 430m$ , la zona di riferimento è la N° I – **Alpina** per cui  $q_{sk} \rightarrow$  valore di riferimento del carico neve al suolo, per  $a_s > 200m$ , vale:

$$q_{sk} = 1,39 \cdot [1 + (a_s/728)^2] = 1,39 \cdot [1 + (430/728)^2] = 1,875 \text{ kN/m}^2$$

Nel caso di coperture a falde con inclinazione minore di  $30^\circ$  nell'ipotesi che la neve non sia impedita di scivolare si assume  $\mu_i = 0,8$ .

Dovranno essere considerate, in alternativa, le tre condizioni denominate Caso(I), Caso(II) e Caso (III) indicate nella figura C3.4.3 del D.M. 17 gennaio 2018 e di seguito riportata.



Per il caso di carico da neve senza vento si deve considerare la condizione denominata Caso I, per il caso di carico da neve con vento si deve considerare la peggiore tra le condizioni denominate Caso II e Caso III.

$$[\mu_1(a_1) = \mu_1(a_2) = 0,8]$$

### **Caso (I)**

$$\mu_1 = 0,8$$

Per cui:

$$q_s = 0,8 \cdot 1,875 \cdot 1 \cdot 1 = 1,50 \text{ kN/m}^2$$

**Caso (II) e Caso (III)**

Su ognuna delle due falde verranno applicati alternativamente:

$$\mu_1 = 0,8 \quad - \quad 0,5\mu_1 = 0,4$$

Per cui:

$$q_{s,\mu_1} = 0,8 \cdot 1,875 \cdot 1 \cdot 1 = \mathbf{1,50 \text{ KN/m}^2}$$

$$q_{s,0,5\mu_1} = 0,4 \cdot 1,875 \cdot 1 \cdot 1 = \mathbf{0,75 \text{ KN/m}^2}$$

**7.1. AZIONE SISMICA**

La zona sismica in cui è collocata l'opera in esame è la **Zona III** (come indicato nell'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3274/2003, aggiornata con la Delibera della Giunta Regionale del Piemonte n. 4-3084 del 12.12.2011 ed in seguito modificate con la D.G.R. n. 65-7656 del 21 maggio 2014 e con la D.G.R. n.6-887 del 30 dicembre 2011)". Più precisamente Rivoli (TO) è caratterizzata dalle seguenti coordinate:

Latitudine 45,0725

Longitudine 7,5273

Il D.M. 17 Gennaio 2018 permette di determinare i parametri spettrali necessari per la definizione dell'azione sismica di progetto ( $a_g$ ,  $F_0$  e  $T^*_C$ ) direttamente per il sito in esame in funzione del tempo di ritorno dell'azione sismica.

Dove:

- $a_g$ : accelerazione orizzontale massima la sito;
- $F_0$ : valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale;
- $T^*_C$ : periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale.

Di seguito viene riportata la tabella in cui sono indicati i parametri sopracitati al variare dello stato limite (e quindi del tempo di ritorno dell'azione sismica) considerato. I dati di partenza sono lo stato limite sismico (SLD, SLV, etc.) e il termine  $P_{VR}$  che indica la probabilità di superamento assegnata nel periodo di riferimento  $V_R$ . Il tempo di ritorno dell'azione sismica è indicato con  $T_R$ .

| Stato limite | $P_{VR}$ | $T_R$<br>[anni] | $a_g$<br>[m/s <sup>2</sup> ] | $F_0$<br>[-] | $T^*_C$<br>[sec] |
|--------------|----------|-----------------|------------------------------|--------------|------------------|
| SLO          | 81%      | 45              | 0,33                         | 2,54         | 0,21             |
| SLD          | 63%      | 75              | 0,40                         | 2,59         | 0,22             |
| SLV          | 10%      | 712             | 0,83                         | 2,66         | 0,28             |
| SLC          | 5%       | 1462            | 1,02                         | 2,67         | 0,28             |

### Spettro di risposta elastico

Note la categoria al suolo di sedime, il coefficiente di smorzamento ed il parametro S, è possibile tracciare lo spettro di risposta elastico della componente orizzontale  $S_{e(T)}$ , caratterizzato dalle seguenti espressioni (D.M. 17 Gennaio 2018 – Testo Unico):

$$0 \leq T < T_B \quad S_{e(T)} = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0 \cdot \left[ \frac{T}{T_B} + \frac{1}{\eta \cdot F_0} \cdot \left( 1 - \frac{T}{T_B} \right) \right]$$

$$T_B \leq T \leq T_C \quad S_{e(T)} = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0$$

$$T_C \leq T < T_D \quad S_{e(T)} = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0 \cdot \left( \frac{T_C}{T} \right)$$

$$T_D \leq T \quad S_{e(T)} = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0 \cdot \left( \frac{T_C \cdot T_D}{T^2} \right)$$

Dove T ed Se sono, rispettivamente, periodo di vibrazione ed accelerazione spettrale orizzontale.

La categoria di sottosuolo è considerabile come **categoria B** mentre la categoria topografica applicabile, vista la morfologia locale, è la categoria **T2** (per i dettagli si rimanda alla “Relazione Geologica sulle indagini” del 14/07/2023 a firma del Geologo Dott. Andrea Ferrarotti).

S è il coefficiente che tiene conto della categoria di sottosuolo e delle condizioni topografiche mediante la relazione

$$S = S_S \cdot S_T$$

Dove:

$S_S$  coefficiente di amplificazione stratigrafica

$S_T$  coefficiente di amplificazione topografica

$T_C$  è il periodo corrispondente all'inizio del tratto a velocità costante dello spettro, dato da:

$$T_C = C_C \cdot T_C^*$$

Dove:

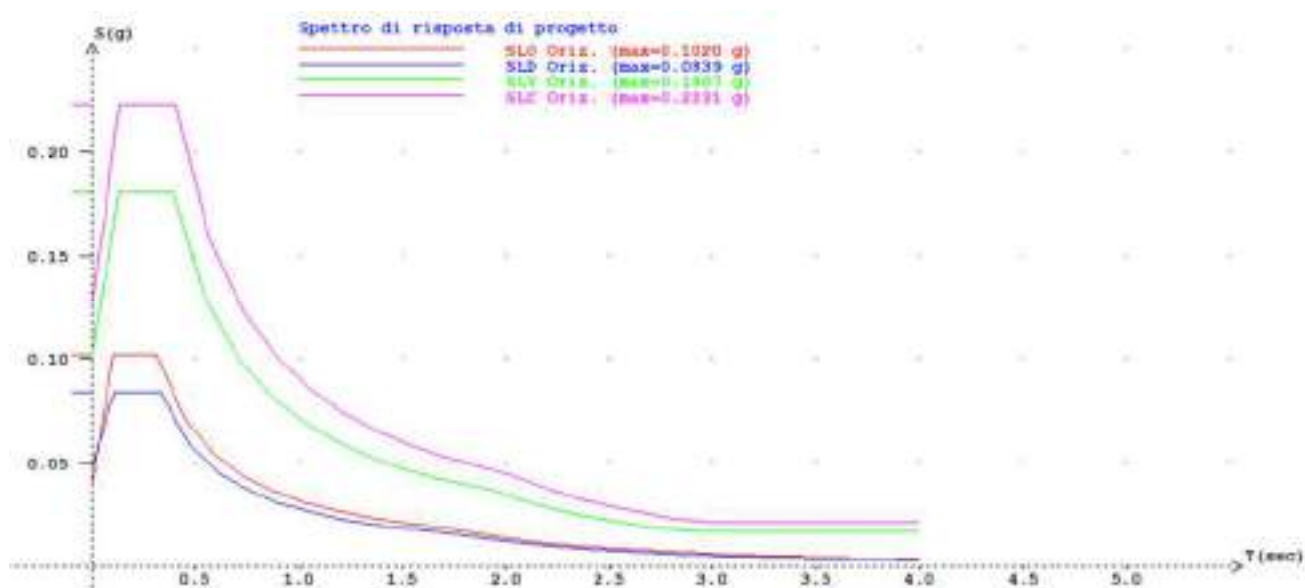
$C_C$  coefficiente in funzione della categoria del sottosuolo

$T_B$  è il periodo corrispondente all'inizio del tratto ad accelerazione costante dello spettro, dato da:

$$T_B = T_C/3$$

$T_D$  è il periodo corrispondente all'inizio del tratto a spostamento costante dello spettro, dato da:

$$T_D = 4,0 \cdot \frac{a_g}{g} + 1,6$$



Spettri di risposta elastici considerati per i diversi Stati limite considerati (SLO, SLD, SLV, SLC)

## 7.2. COEFFICIENTI PARZIALI ADOTTATI PER LE AZIONI

|                                              |                    | Coefficiente<br>$\gamma_F$ | <b>EQU</b> | <b>A1<br/>STR</b> | <b>A2<br/>GEO</b> |
|----------------------------------------------|--------------------|----------------------------|------------|-------------------|-------------------|
| Carichi permanenti ( $g_1$ )                 | <i>favorevoli</i>  | $\gamma_{G1}$              | 0,9        | 1,0               | 1,0               |
|                                              | <i>sfavorevoli</i> |                            | 1,1        | 1,3               | 1,0               |
| Carichi permanenti non strutturali ( $g_2$ ) | <i>favorevoli</i>  | $\gamma_{G2}$              | 0,8        | 0,8               | 0,8               |
|                                              | <i>sfavorevoli</i> |                            | 1,5        | 1,5               | 1,3               |
| Carichi variabili ( $q$ )                    | <i>favorevoli</i>  | $\gamma_{Qi}$              | 0,0        | 0,0               | 0,0               |
|                                              | <i>sfavorevoli</i> |                            | 1,5        | 1,5               | 1,3               |

## 7.3. COEFFICIENTI DI COMBINAZIONE ADOTTATI PER LE AZIONI

| Azione                                                                      | $\psi_{0i}$ | $\psi_{1i}$ | $\psi_{2i}$ |
|-----------------------------------------------------------------------------|-------------|-------------|-------------|
| Categoria A – Ambienti ad uso residenziale                                  | 0,7         | 0,5         | 0,3         |
| Categoria B – Uffici                                                        | 0,7         | 0,5         | 0,3         |
| Categoria C – Ambienti suscettibili di affollamento                         | 0,7         | 0,7         | 0,6         |
| Categoria D – Ambienti ad uso commerciale                                   | 0,7         | 0,7         | 0,6         |
| Categoria E – Biblioteche, archivi, magazzini e ambienti ad uso industriale | 1,0         | 0,9         | 0,8         |
| Categoria F – Rimesse e parcheggi (per autoveicoli di peso $\leq 30$ kN)    | 0,7         | 0,7         | 0,6         |

|                                                                               |     |     |     |
|-------------------------------------------------------------------------------|-----|-----|-----|
| Categoria G – <i>Rimesse e parcheggi (per autoveicoli di peso &gt; 30 kN)</i> | 0,7 | 0,5 | 0,3 |
| Categoria H – <i>Coperture</i>                                                | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| <i>Vento</i>                                                                  | 0,6 | 0,2 | 0,0 |
| <i>Neve (a quota ≤ 1000 m s.l.m.)</i>                                         | 0,5 | 0,2 | 0,0 |
| <i>Neve (a quota &gt; 1000 m s.l.m.)</i>                                      | 0,7 | 0,5 | 0,2 |
| <i>Variazioni termiche</i>                                                    | 0,6 | 0,5 | 0,0 |

## 8. MODELLO DI CALCOLO IMPIEGATO

Il calcolo e la verifica delle strutture sono stati svolti mediante analisi statica non lineare di tipo push-over con codice di calcolo 3Muri, prodotto da S.T.A. Data di Torino, in conformità di quanto disposto dalle NT 2018 e dalla circolare applicativa del 2019. I modelli realizzati sono due distinti, il primo per le verifiche pre-intervento e il secondo per le verifiche post-intervento.

### 8.1. PROGRAMMA DI CALCOLO IMPIEGATO

Per il calcolo delle sollecitazioni e per la verifica delle strutture murarie, sia nei confronti delle azioni globali sia nei confronti dei cinematismi locali, si è fatto ricorso all'elaboratore elettronico, utilizzando il seguente programma di calcolo:

|                            |                                                                                                                                                                |
|----------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Nome del Software          | <b>3MURI</b>                                                                                                                                                   |
| Versione                   | Release 14.0.0.4                                                                                                                                               |
| Licenza                    | Licenza n° 15994 intestata a MCM Ingegneria Srl                                                                                                                |
| Produzione e Distribuzione | <b>S.T.A. DATA S.r.l.</b><br>Corso Raffaello, 12<br>10138 Torino (TO)<br>Tel. 011.6699345 – 011.6509864<br>e-mail: info@stadata.com – Internet www.stadata.com |

### 8.2. MODELLAZIONE DELLA STRUTTURA

Gli elementi strutturali sono stati modellati con le loro effettive dimensioni spaziali ottenute dal rilievo geometrico. I carichi applicati al modello derivano direttamente dall'analisi dei carichi svolta in precedenza. I materiali sono stati caratterizzati come indicato ai paragrafi che seguono e applicati ai corrispondenti elementi nel modello.

L'ultima fase di modellazione, eseguita automaticamente dal codice di calcolo, è la generazione di un telaio equivalente. Le pareti si possono suddividere in componenti elementari: maschi, fasce ed elementi rigidi. In particolare gli elementi "maschio" sono disposti a fianco delle aperture, gli elementi "fascia" sono disposti sopra e sotto le aperture. La muratura restante che non confina con aperture e che risulta quindi contenuta, si può considerare infinitamente rigida rispetto agli altri elementi e viene modellata con elementi di rigidità infinita (tratti neri).

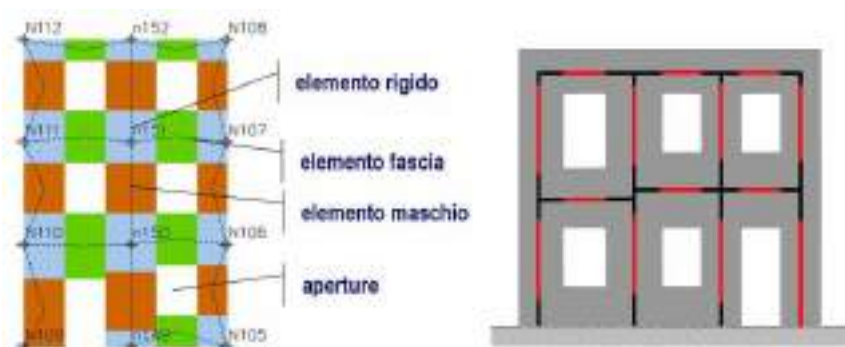


**Figura 15** – Modellazione della struttura a “telaio equivalente”

La ricerca teorica e sperimentale ha confermato che il comportamento di maschi e fasce, pur coinvolgendo elementi di superficie, può essere reso equivalente ad un elemento lineare. Collegando quindi questi elementi si ottiene lo schema a telaio, detto appunto telaio equivalente.

Il telaio equivalente consente di ben rappresentare il comportamento delle strutture in muratura; inoltre semplifica l'analisi, in quanto riduce i gradi di libertà rispetto ad altri schemi, come per esempio gli elementi finiti di superficie velocizzando i tempi di calcolo.

La modellazione di calcolo dell'edificio viene quindi realizzata mediante l'inserimento di pareti che vengono discretizzate in macro-elementi, rappresentativi di maschi murari e fasce di piano deformabili; i nodi rigidi sono indicati nelle porzioni di muratura che tipicamente sono meno soggette al danneggiamento sismico. Solitamente i maschi e le fasce sono contigui alle aperture, i nodi rigidi rappresentano elementi di collegamento tra maschi e fasce. La concezione matematica che si nasconde nell'impiego di tale elemento, permette di riconoscere il meccanismo di danno, a taglio nella sua parte centrale o a pressoflessione sui bordi dell'elemento in modo da percepire la dinamica del danneggiamento così come si presenta effettivamente nella realtà.

Gli orizzontamenti, sono modellati con elementi solaio a tre nodi connessi ai nodi tridimensionali, sono caricabili perpendicolarmente al loro piano dai carichi accidentali e permanenti; le azioni sismiche caricano il solaio lungo la direzione del piano medio. Per questo l'elemento finito solaio viene definito con una rigidezza assiale, ma nessuna rigidezza flessionale, in quanto il comportamento meccanico principale che si intende sondare è quello sotto carico orizzontale dovuto al sisma.

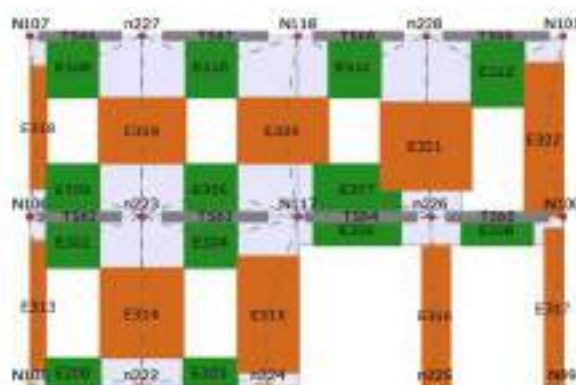


**Figura 16** – Parete muraria: modello (a sinistra) e corrispondente schema a telaio equivalente (a destra)

## 9. ANALISI STATO DI FATTO

L'analisi pre-intervento rappresenta, come precedentemente accennato, la verifica della struttura nello stato attuale. In questa condizione, il carico permanente agente sui solai sarà quello previsto nel progetto 2006-2011 per cui pari a  $150 \text{ daN/m}^2$ . Si rimanda al Capitolo 7 per maggiori dettagli.

La verifica sismica di sicurezza globale dell'edificio viene svolta per valutare il grado di vulnerabilità della struttura esistente nei confronti delle azioni statiche e sismiche. Questo tipo di analisi si fonda sull'ipotesi che la struttura sia in grado di offrire un comportamento globale di tipo “scatolare” nei confronti delle azioni sismiche. Tale ipotesi è considerabile veritiera in quanto i maschi murari ortogonali presentano un buon ammassamento tra gli stessi e la presenza dei solai in laterocemento garantisce un buon contributo di vincolo.

### 9.1. MODELLO STRUTTURALE

L'edificio è stato modellato a partire dal livello semi interrato lato valle, mentre dal lato monte sono state inserite le fondazioni al livello del solaio voltato del piano seminterrato. La struttura presenta dunque due livelli di fondazione distinti tra lato valle e lato monte della stessa.

Le fondazioni, dato che non sono completamente note, sono state modellate come travi in muratura, aventi le stesse proprietà meccaniche della struttura soprastante.

Le strutture di copertura non sono oggetto di indagine per cui è stato modellato il tetto semplicemente come contributo di carico dello stesso sulle murature sottostanti.

Le aperture con architrave voltato sono state modellate, per semplicità, come rettangolari considerando come altezza dell'apertura stessa quella in corrispondenza della chiave dell'arco.

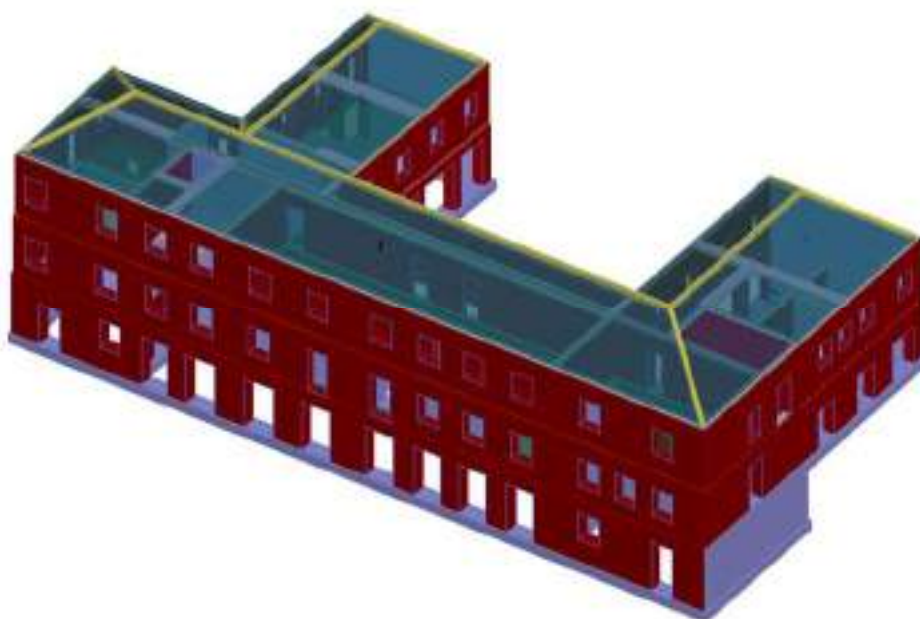


**Figura 17** – Modello strutturale della Villa Antica – Pre-intervento, lato valle

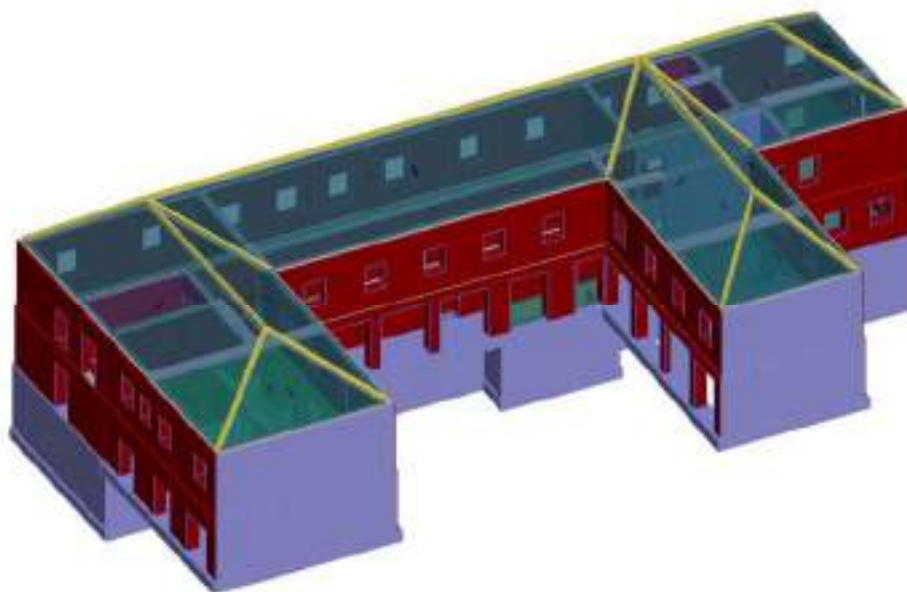


**Figura 18** – Modello strutturale della Villa Antica – Pre-intervento, lato monte

Come è possibile notare dalle due immagini appena riportate, la muratura presenta due campiture diverse, dovute alle due tipologie murarie riscontrate in sito e quindi identificate al Paragrafo 4.4, nel dettaglio:

- Muratura in mattoni pieni e malta di calce
- Muratura in pietrame disordinata

## 9.2. CARATTERIZZAZIONE DEI MATERIALI

Definito il Livello di Conoscenza adottato e la tipologia di muratura riscontrata in sito, il programma di calcolo propone automaticamente i parametri meccanici da considerare nelle verifiche oppure è possibile inserirli manualmente.

### Muratura di mattoni pieni e malta di calce

|                               |        |
|-------------------------------|--------|
| $E$ [N/mm <sup>2</sup> ]      | 1900   |
| $E_s$ [N/mm <sup>2</sup> ]    | 1900   |
| $G$ [N/mm <sup>2</sup> ]      | 800    |
| $\nu$ [N/mm <sup>2</sup> ]    | 0.8    |
| $f_m$ [N/cm <sup>2</sup> ]    | 260    |
| $f_b$ [N/mm <sup>2</sup> ]    | 124.81 |
| $f_t$ [N/mm <sup>2</sup> ]    | 7.3    |
| $f_{td}$ [N/cm <sup>2</sup> ] | 13     |
| $\phi$                        | 8.5    |
| $\alpha$                      | 0.677  |
| $f_{ct}$ [N/mm <sup>2</sup> ] | 0.8    |
| PC                            | 1.3    |
| $\gamma_{FH}$                 | 1      |
| Massimo drift taglio          | 0.005  |
| Massimo drift flessione       | 0.01   |
| Massimo drift taglio          | 0.015  |
| Massimo drift flessione       | 0.018  |
| Massimo accoppiato drift      | 0.02   |

**Figura 19** – Parametri meccanici della muratura di mattoni pieni e malta di calce



- $\rho$ : il fattore laterale di vincolo.

La verifica di snellezza risulta soddisfatta se risulta verificata la seguente disequazione:

$$h_0/t < 20$$

Il controllo dell'eccentricità dei carichi è eseguito in accordo con quanto riportato al punto 4.5.6.2 del D.M.2018. Tale verifica risulta soddisfatta qualora risultino verificate le seguenti condizioni:

$$e_1/t \leq 0.33$$

$$e_2/t \leq 0.33$$

Dove:

t: spessore del muro

$$e_1 = |e_s| + |e_a| \quad ; \quad e_2 = \frac{e_1}{2} + |e_v|$$

es: eccentricità totale dei carichi verticali

ea:  $h/200$

ev: eccentricità dovuta al vento  $e_v = M_v / N$

La verifica a compressione è eseguita in accordo con quanto riportato al punto 4.5.6.2 del D.M.2018. Tale verifica risulta soddisfatta qualora risulti verificata la seguente disequazione:

$$N_d \leq N_r$$

Dove.

$N_d$ : carico verticale agente

$N_r$ : carico verticale resistente, calcolato come  $N_r = \phi f_d A$

A: area della sezione orizzontale del muro al netto delle aperture;

$f_d$ : resistenza di calcolo della muratura;

$\phi$ : coefficiente di riduzione della resistenza del muro

Queste tre verifiche sono state eseguite in ogni maschio murario della struttura, nelle tre sezioni principali (inferiore, centrale, superiore). I valori dello sforzo normale resistente saranno calcolabili solamente se le verifiche di snellezza ed eccentricità dei carichi risultano soddisfatte. Si riporta di seguito una sintesi dei risultati ottenuti per ogni parete. Si ricorda che ogni parete contiene più maschi murari, pertanto i risultati indicati rappresentano il valore peggiore tra le tre posizioni indagate (inferiore, centrale, superiore) del maschio peggiore tra tutti quelli costituenti una parete. Si osservi che il risultato di verifica viene espresso anche mediante il parametro  $\zeta_v$  che esprime il livello di sicurezza mediante rapporto capacità/domanda, per un rapido raffronto tra l'azione sopportabile dalla struttura e quella richiesta per il nuovo.

| Parete | Maschi<br>tot | n1/Nr<br>Max | n0/R<br>Max | e1/R<br>Max | e2/R<br>Max |
|--------|---------------|--------------|-------------|-------------|-------------|
| 10     | 4             | 1.28         | 8.70        | 0.288       | 0.037       |
| 14     | 3             | 1.53         | 8.70        | 0.222       | 0.032       |
| 21     | 2             | 1.28         | 8.70        | 0.044       | 0.044       |
| 6      | 2             | 1.09         | 7.27        | 0.264       | 0.113       |
| 7      | 1             | 1.03         | 8.70        | 0.121       | 0.094       |
| 5      | 0             | 0.96         | 14.72       | 0.173       | 0.075       |
| 4      | 0             | 0.57         | 7.24        | 0.176       | 0.063       |
| 8      | 0             | 0.64         | 8.70        | 0.251       | 0.083       |
| 9      | 0             | 0.99         | 8.70        | 0.288       | 0.089       |
| 3      | 0             | 0.70         | 15.67       | 0.318       | 0.124       |
| 2      | 0             | 0.56         | 7.60        | 0.083       | 0.036       |
| 12     | 0             | 0.42         | 8.70        | 0.047       | 0.047       |
| 13     | 0             | 0.38         | 8.33        | 0.032       | 0.032       |
| 1      | 0             | 0.99         | 7.22        | 0.245       | 0.099       |
| 15     | 0             | 0.84         | 8.32        | 0.289       | 0.094       |
| 16     | 0             | 0.73         | 6.00        | 0.038       | 0.030       |
| 17     | 0             | 0.72         | 6.00        | 0.036       | 0.030       |
| 18     | 0             | 0.66         | 8.70        | 0.044       | 0.044       |
| 19     | 0             | 0.90         | 5.93        | 0.323       | 0.209       |
| 20     | 0             | 0.44         | 7.22        | 0.036       | 0.036       |
| 11     | 0             | 0.37         | 4.75        | 0.024       | 0.024       |

Si nota come le pareti 10, 14, 21, 6 e 7 comprendano maschi murari NON verificati, di cui si riportano di seguito i dettagli più significativi.

#### Parete10

Si riportano di seguito lo schema grafico della muratura con identificato in rosso il maschio o i maschi non verificati e quindi il dettaglio delle verifiche svolte.



Figura 22 – Dettaglio della parete 10 – verifiche statiche

## Parete 14

Si riportano di seguito lo schema grafico della muratura con identificato in rosso il maschio o i maschi non verificati e quindi il dettaglio delle verifiche svolte.

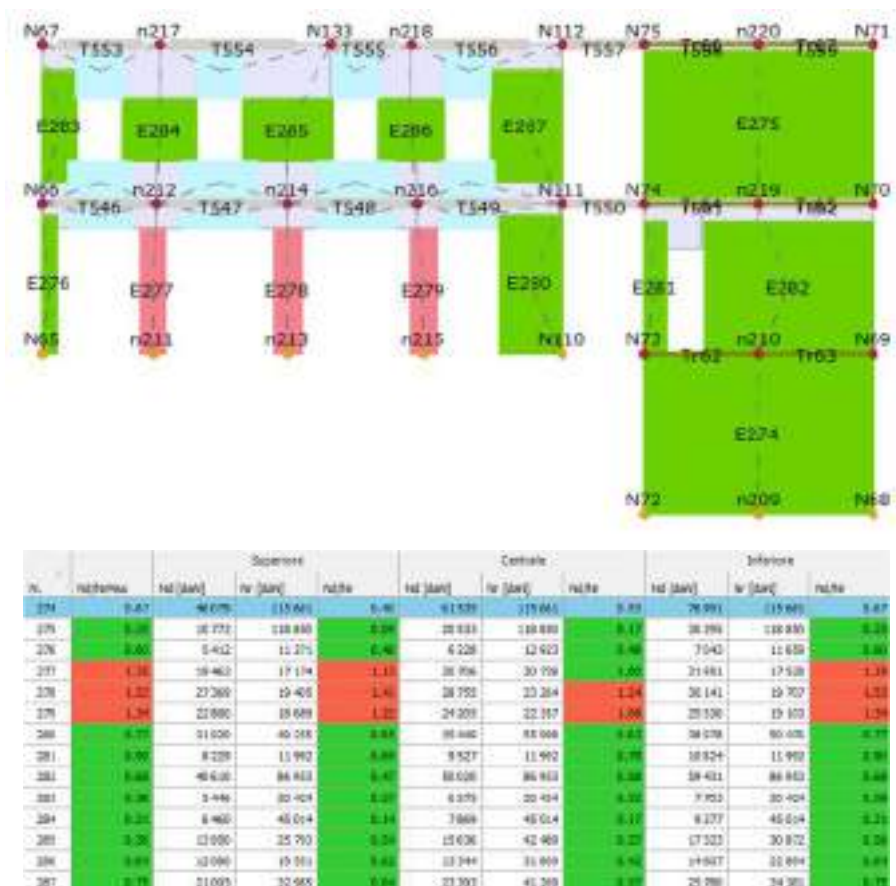
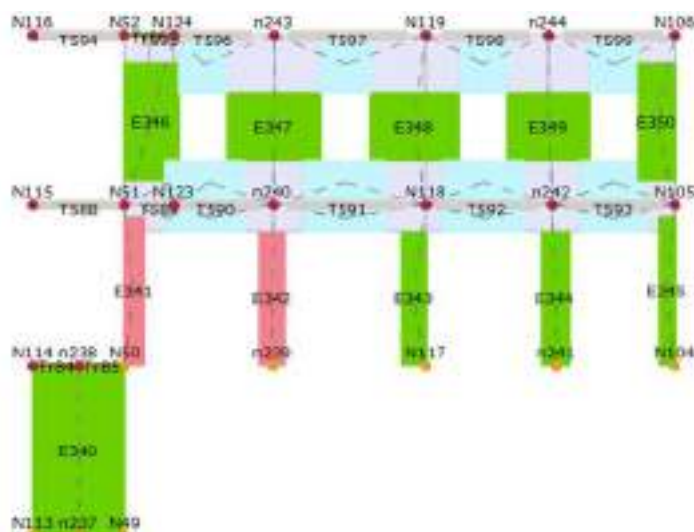


Figura 23 – Dettaglio della parete 14 – verifiche statiche

## Parete 21

Si riportano di seguito lo schema grafico della muratura con identificato in rosso il maschio o i maschi non verificati e quindi il dettaglio delle verifiche svolte.

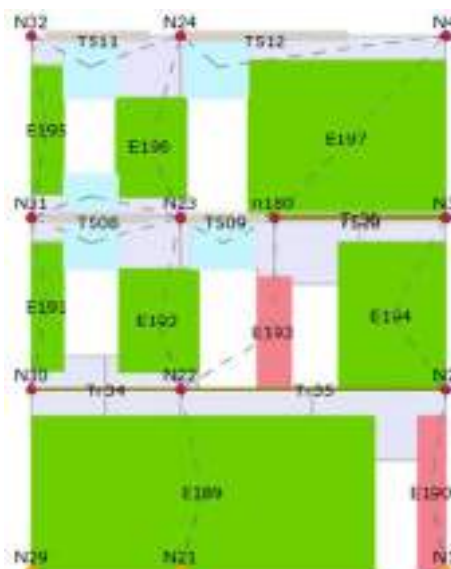


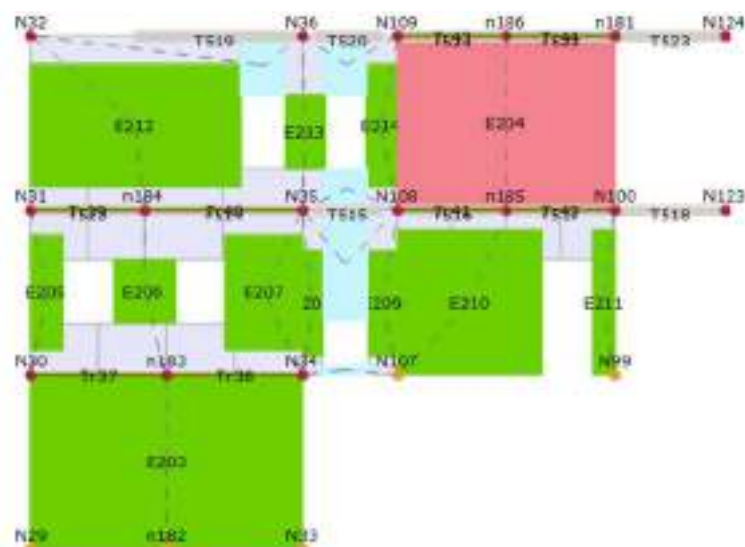
| N.  | NodMax | Superiore |          |       | Centrale |          |       | Inferiore |          |       |
|-----|--------|-----------|----------|-------|----------|----------|-------|-----------|----------|-------|
|     |        | Nd [daN]  | Nr [daN] | Nd/Pr | Nd [daN] | Nr [daN] | Nd/Pr | Nd [daN]  | Nr [daN] | Nd/Pr |
| 340 | 0.13   | 18 905    | 15 867   | 0.84  | 17 922   | 15 867   | 0.88  | 18 904    | 15 867   | 0.84  |
| 341 | 1.07   | 20 822    | 21 839   | 0.95  | 22 952   | 21 839   | 1.05  | 23 282    | 21 839   | 1.07  |
| 342 | 0.04   | 11 257    | 21 042   | 0.53  | 12 350   | 21 042   | 0.59  | 13 536    | 21 042   | 0.64  |
| 343 | 0.06   | 12 899    | 22 982   | 0.56  | 13 949   | 22 982   | 0.61  | 15 240    | 22 982   | 0.66  |
| 344 | 0.47   | 4 736     | 13 638   | 0.35  | 5 586    | 13 638   | 0.41  | 6 441     | 13 638   | 0.47  |
| 345 | 0.66   | 14 904    | 26 167   | 0.57  | 16 402   | 26 167   | 0.63  | 17 900    | 26 167   | 0.68  |
| 346 | 0.25   | 8 536     | 45 323   | 0.19  | 10 001   | 45 323   | 0.22  | 11 478    | 45 323   | 0.25  |
| 347 | 0.07   | 15 867    | 40 246   | 0.40  | 17 389   | 40 246   | 0.43  | 18 791    | 40 246   | 0.47  |
| 348 | 0.21   | 5 932     | 39 799   | 0.15  | 7 221    | 39 799   | 0.18  | 8 513     | 39 799   | 0.21  |
| 349 | 0.31   | 3 490     | 17 645   | 0.20  | 4 500    | 17 645   | 0.26  | 5 511     | 17 645   | 0.31  |

Figura 24 – Dettaglio della parete 21 – verifiche statiche

## Parete 6

Si riportano di seguito lo schema grafico della muratura con identificato in rosso il maschio o i maschi non verificati e quindi il dettaglio delle verifiche svolte.





| N.  | NellaMax | Superiore   |             |       | Centrale    |             |       | Inferiore   |             |       |
|-----|----------|-------------|-------------|-------|-------------|-------------|-------|-------------|-------------|-------|
|     |          | Nella (dat) | Nella (dat) | Nella | Nella (dat) | Nella (dat) | Nella | Nella (dat) | Nella (dat) | Nella |
| 201 | 0.68     | 66.253      | 69.966      | 0.40  | 81.504      | 173.257     | 0.53  | 113.753     | 166.641     | 0.68  |
| 204 | 1.33     | 30.514      | 40.645      | 0.72  | 39.436      | 96.501      | 0.71  | 40.318      | 47.506      | 1.33  |
| 205 | 0.81     | 10.998      | 28.523      | 0.41  | 12.384      | 36.523      | 0.46  | 13.430      | 26.522      | 0.81  |
| 206 | 0.70     | 32.510      | 49.945      | 0.40  | 33.831      | 49.945      | 0.44  | 35.136      | 49.945      | 0.70  |
| 207 | 0.33     | 14.432      | 62.776      | 0.33  | 17.381      | 62.776      | 0.38  | 20.328      | 62.776      | 0.33  |
| 208 | 0.30     | 3.483       | 16.181      | 0.11  | 4.157       | 36.361      | 0.38  | 4.861       | 36.161      | 0.30  |
| 209 | 0.67     | 12.170      | 28.606      | 0.36  | 13.399      | 33.949      | 0.36  | 14.227      | 21.133      | 0.67  |
| 210 | 0.83     | 40.030      | 55.239      | 0.72  | 47.387      | 86.358      | 0.72  | 54.747      | 58.671      | 0.83  |
| 211 | 0.68     | 4.252       | 9.120       | 0.47  | 5.391       | 30.513      | 0.51  | 6.529       | 9.606       | 0.68  |
| 212 | 0.22     | 16.996      | 252.048     | 0.11  | 24.844      | 152.048     | 0.16  | 32.762      | 152.048     | 0.22  |
| 213 | 0.37     | 7.188       | 23.179      | 0.11  | 7.976       | 27.429      | 0.38  | 8.844       | 24.034      | 0.37  |
| 214 | 0.33     | 4.891       | 21.670      | 0.23  | 6.073       | 32.651      | 0.27  | 7.269       | 21.994      | 0.33  |

Figura 26 – Dettaglio della parete 7 – verifiche statiche

Dalle verifiche sopra riportate si evince come i problemi principali si hanno sulle colonne delle arcate dei portici del cortile lato nord i quali, essendo snelli, tendono ad instabilizzarsi con maggiore facilità.

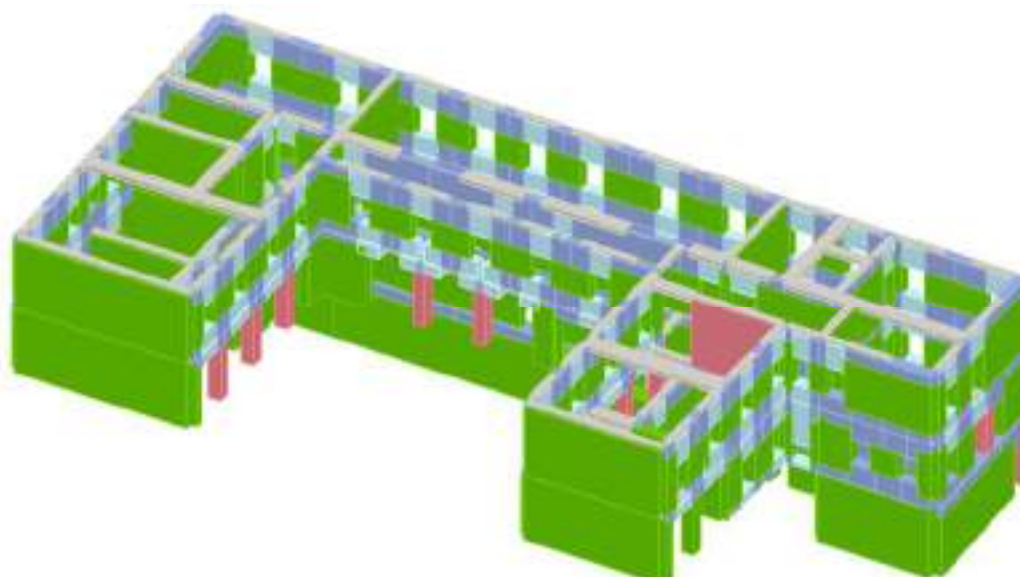


Figura 27 – Modello di calcolo con evidenziati i setti non verificati in condizioni statiche

## 9.4. VERIFICA GLOBALE

Secondo le indicazioni della Circolare alle norme tecniche [C8.7.1.3.1], le verifiche globali di vulnerabilità sismica si intendono soddisfatte se sono rispettate le seguenti condizioni.

| Stato limite                                  | condizioni di verifica                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
|-----------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Stato limite di collasso (SLC)                | $D_{max}^{SLC} \leq D_u^{SLC}$<br><br>$D_{max}^{SLC}$ è lo spostamento massimo richiesto dalla normativa, individuato dallo spettro elastico<br>$D_u^{SLC}$ è lo spostamento massimo offerto dalla struttura corrispondente al minore tra gli spostamenti ottenuti al verificarsi di: <ul style="list-style-type: none"> <li>– taglio alla base residuo pari all'80% (ovvero ad un decadimento della curva push-over di un valore pari all'80% di quello massimo)</li> <li>– raggiungimento della soglia limite della deformazione angolare a SLC in tutti i maschi murari</li> </ul>                                                                                                                      |
|                                               | $q^* < 4$<br><br>$q^*$ è il rapporto tra la forza di risposta elastica e la forza di snervamento del sistema equivalente                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
| Stato limite di salvaguardia della vita (SLV) | $D_{max}^{SLV} \leq D_u^{SLV}$<br><br>$D_{max}^{SLV}$ è lo spostamento massimo richiesto dalla normativa, individuato dallo spettro elastico<br>$D_u^{SLV}$ è lo spostamento massimo offerto dalla struttura individuato in corrispondenza di $\frac{3}{4} D_u^{SLC}$                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
|                                               | $q^* < 3$<br><br>$q^*$ è il rapporto tra la forza di risposta elastica e la forza di snervamento del sistema equivalente                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
| Stato limite di danno (SLD)                   | $D_{max}^{SLD} \leq D_u^{SLD}$<br><br>$D_{max}^{SLD}$ è lo spostamento massimo richiesto dalla normativa, calcolato in base allo spettro sismico definito per lo stato limite di danno<br>$D_u^{SLD}$ è lo spostamento massimo corrispondente al minore ottenuto tra le seguenti condizioni: <ul style="list-style-type: none"> <li>– quello corrispondente al limite elastico della bilineare equivalente, definita a partire dallo spostamento ultimo a SLC;</li> <li>– quello corrispondente al raggiungimento della resistenza massima a taglio in tutti i maschi murari, e comunque non prima del raggiungimento di un taglio alla base pari a <math>\frac{3}{4}</math> di quello massimo.</li> </ul> |
| Stato limite di operatività (SLO)             | $D_{max}^{SLO} \leq D_u^{SLO}$<br><br>$D_{max}^{SLO}$ è lo spostamento massimo richiesto dalla normativa, calcolato in base allo spettro sismico definito per lo stato limite di operatività<br>$D_u^{SLO}$ è lo spostamento corrispondente a $\frac{2}{3}$ di quello allo SLD                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |

Le NT 2018 introducono il parametro di valutazione delle condizioni di sicurezza di una struttura rispetto alle azioni sismiche che viene indicato con la lettera greca  $\xi$ . Esso coincide con il rapporto tra l'azione sismica massima sopportabile dalla struttura ( $PGAC$  – accelerazione al suolo di capacità) e l'azione sismica massima che si utilizzerebbe nel progetto di una nuova costruzione ( $PGAD$  – accelerazione al suolo di domanda). La prima rappresenta la capacità offerta dalla struttura, intesa come azione sismica massima che – applicata alla struttura – consente il superamento delle verifiche di cui sopra, mentre la seconda è la domanda richiesta dagli spettri di accelerazione da normativa.

È immediato osservare che si possono calcolare tanti indici di rischio quanti sono gli stati limite contemplati, per cui si ha:

$$\xi_{SLO} = \frac{PGAC_{SLO}}{PGAD_{SLO}} \quad \xi_{SLD} = \frac{PGAC_{SLD}}{PGAD_{SLD}} \quad \xi_{SLV} = \frac{PGAC_{SLV}}{PGAD_{SLV}} \quad \xi_{SLC} = \frac{PGAC_{SLC}}{PGAD_{SLC}}$$

In generale più bassi sono tali valori e più sono richiesti interventi atti a migliorare il comportamento sismico della costruzione: per una struttura in sicurezza assumono valori superiori od uguali ad 1. Il codice utilizzato effettua il calcolo di tutti gli indici di rischio riportati per ognuna delle analisi svolte.

Nonostante l'introduzione degli indici di rischio, è da precisare che tutte le verifiche sono comunque condotte in termini di spostamento, come descritto in precedenza. Il passaggio agli indici di PGA (o di TR) si riduce semplicemente all'individuazione delle accelerazioni (o tempi di ritorno) corrispondenti agli spostamenti già calcolati in precedenza.

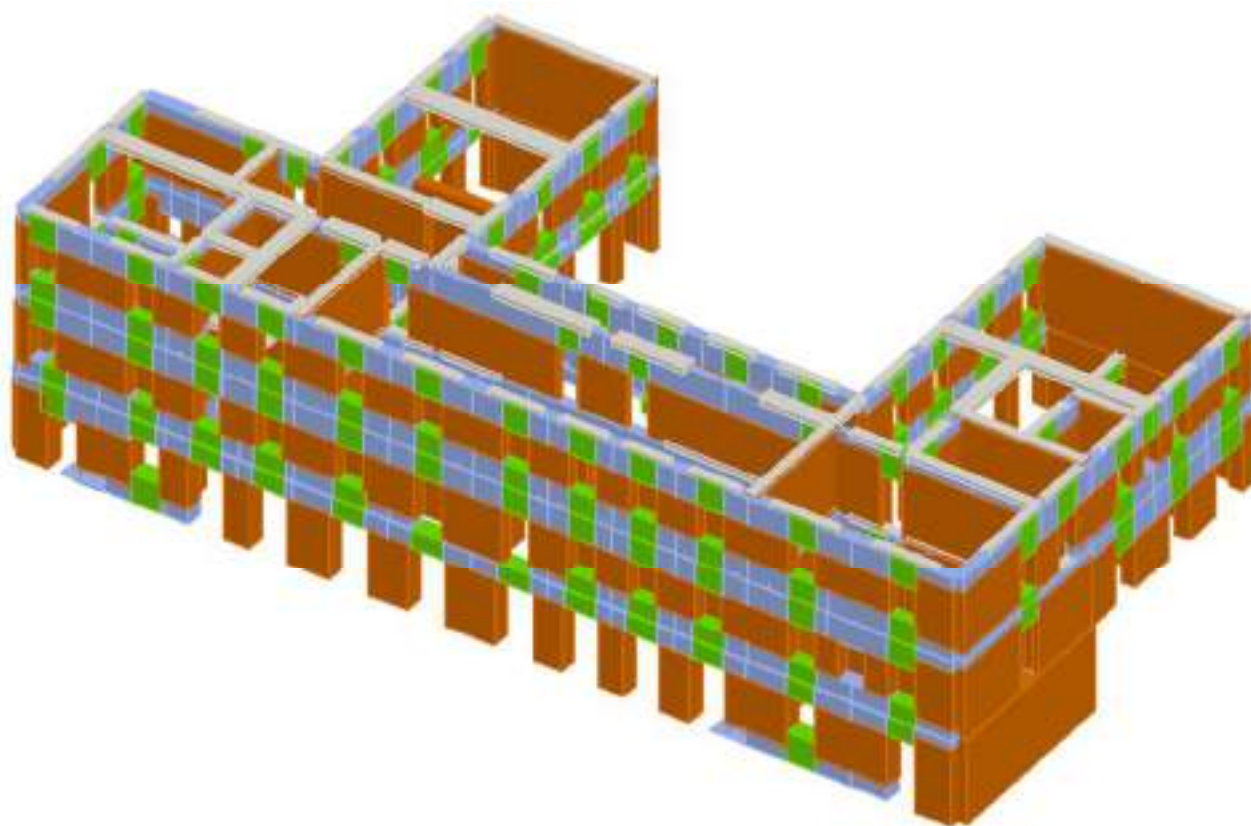


**Figura 28** – Modello a telaio equivalente della struttura

L'immagine che segue sintetizza i risultati delle 24 analisi svolte sulla struttura in esame, ottenute combinando le differenti direzioni di applicazione del sisma, la tipologia di carico e l'eccentricità. Per ogni analisi è indicata:

- la direzione sismica e il verso
- la combinazione di carico applicata
- l'eccentricità
- lo spostamento di capacità e di domanda, relativo ai diversi stati limite
- l'indice di rischio  $\zeta_E$  per i quattro stati limite contemplati.

Verifica analisi

| N. | Direzione in relazione | Dir. asse | Carico statico | Eccentricità [cm] | Displ. SLC [cm] | Displ. SLC [cm] | $\zeta_E$ SLC | Displ. SLV [cm] | Displ. SLV [cm] | $\zeta_E$ SLV | Displ. SLD [cm] | Displ. SLD [cm] | $\zeta_E$ SLD | Displ. SLO [cm] | Displ. SLO [cm] | $\zeta_E$ SLO | $\zeta_E$ SLC | $\zeta_E$ SLV | $\zeta_E$ SLD | $\zeta_E$ SLO |
|----|------------------------|-----------|----------------|-------------------|-----------------|-----------------|---------------|-----------------|-----------------|---------------|-----------------|-----------------|---------------|-----------------|-----------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| 1  | +                      | +         | Uniforme       | 0,00              | 0,36            | 1,70            | 0,84          | 0,25            | 0,36            | 0,98          | 0,34            | 0,40            | 0,71          | 0,29            | 0,70            | 0,70          | 0,70          | 0,70          | 0,70          | 0,70          |
| 2  | +                      | +         | Forze statiche | 0,00              | 0,46            | 1,86            | 0,86          | 0,24            | 0,46            | 0,88          | 0,37            | 0,47            | 0,69          | 0,31            | 0,70            | 0,70          | 0,70          | 0,70          | 0,70          | 0,70          |
| 3  | +                      | -         | Uniforme       | 0,00              | 0,36            | 1,70            | 0,84          | 0,25            | 0,36            | 0,98          | 0,34            | 0,40            | 0,71          | 0,29            | 0,70            | 0,70          | 0,70          | 0,70          | 0,70          | 0,70          |
| 4  | +                      | -         | Forze statiche | 0,00              | 0,46            | 1,86            | 0,86          | 0,24            | 0,46            | 0,88          | 0,37            | 0,47            | 0,69          | 0,31            | 0,70            | 0,70          | 0,70          | 0,70          | 0,70          | 0,70          |
| 5  | +                      | +         | Uniforme       | 0,00              | 0,36            | 1,70            | 0,84          | 0,25            | 0,36            | 0,98          | 0,34            | 0,40            | 0,71          | 0,29            | 0,70            | 0,70          | 0,70          | 0,70          | 0,70          | 0,70          |
| 6  | +                      | +         | Forze statiche | 0,00              | 0,46            | 1,86            | 0,86          | 0,24            | 0,46            | 0,88          | 0,37            | 0,47            | 0,69          | 0,31            | 0,70            | 0,70          | 0,70          | 0,70          | 0,70          | 0,70          |
| 7  | +                      | -         | Uniforme       | 0,00              | 0,36            | 1,70            | 0,84          | 0,25            | 0,36            | 0,98          | 0,34            | 0,40            | 0,71          | 0,29            | 0,70            | 0,70          | 0,70          | 0,70          | 0,70          | 0,70          |
| 8  | +                      | -         | Forze statiche | 0,00              | 0,46            | 1,86            | 0,86          | 0,24            | 0,46            | 0,88          | 0,37            | 0,47            | 0,69          | 0,31            | 0,70            | 0,70          | 0,70          | 0,70          | 0,70          | 0,70          |
| 9  | +                      | +         | Uniforme       | 99,75             | 0,36            | 1,70            | 0,84          | 0,25            | 0,36            | 0,98          | 0,34            | 0,40            | 0,71          | 0,29            | 0,70            | 0,70          | 0,70          | 0,70          | 0,70          | 0,70          |
| 10 | +                      | +         | Forze statiche | 99,75             | 0,46            | 1,86            | 0,86          | 0,24            | 0,46            | 0,88          | 0,37            | 0,47            | 0,69          | 0,31            | 0,70            | 0,70          | 0,70          | 0,70          | 0,70          | 0,70          |
| 11 | +                      | -         | Uniforme       | 99,75             | 0,36            | 1,70            | 0,84          | 0,25            | 0,36            | 0,98          | 0,34            | 0,40            | 0,71          | 0,29            | 0,70            | 0,70          | 0,70          | 0,70          | 0,70          | 0,70          |
| 12 | +                      | -         | Forze statiche | 99,75             | 0,46            | 1,86            | 0,86          | 0,24            | 0,46            | 0,88          | 0,37            | 0,47            | 0,69          | 0,31            | 0,70            | 0,70          | 0,70          | 0,70          | 0,70          | 0,70          |
| 13 | +                      | +         | Uniforme       | 99,75             | 0,36            | 1,70            | 0,84          | 0,25            | 0,36            | 0,98          | 0,34            | 0,40            | 0,71          | 0,29            | 0,70            | 0,70          | 0,70          | 0,70          | 0,70          | 0,70          |
| 14 | +                      | +         | Forze statiche | 99,75             | 0,46            | 1,86            | 0,86          | 0,24            | 0,46            | 0,88          | 0,37            | 0,47            | 0,69          | 0,31            | 0,70            | 0,70          | 0,70          | 0,70          | 0,70          | 0,70          |
| 15 | +                      | -         | Uniforme       | 99,75             | 0,36            | 1,70            | 0,84          | 0,25            | 0,36            | 0,98          | 0,34            | 0,40            | 0,71          | 0,29            | 0,70            | 0,70          | 0,70          | 0,70          | 0,70          | 0,70          |
| 16 | +                      | -         | Forze statiche | 99,75             | 0,46            | 1,86            | 0,86          | 0,24            | 0,46            | 0,88          | 0,37            | 0,47            | 0,69          | 0,31            | 0,70            | 0,70          | 0,70          | 0,70          | 0,70          | 0,70          |
| 17 | +                      | +         | Uniforme       | 213,40            | 0,36            | 1,70            | 0,84          | 0,25            | 0,36            | 0,98          | 0,34            | 0,40            | 0,71          | 0,29            | 0,70            | 0,70          | 0,70          | 0,70          | 0,70          | 0,70          |
| 18 | +                      | +         | Forze statiche | 213,40            | 0,46            | 1,86            | 0,86          | 0,24            | 0,46            | 0,88          | 0,37            | 0,47            | 0,69          | 0,31            | 0,70            | 0,70          | 0,70          | 0,70          | 0,70          | 0,70          |
| 19 | +                      | -         | Uniforme       | 213,40            | 0,36            | 1,70            | 0,84          | 0,25            | 0,36            | 0,98          | 0,34            | 0,40            | 0,71          | 0,29            | 0,70            | 0,70          | 0,70          | 0,70          | 0,70          | 0,70          |
| 20 | +                      | -         | Forze statiche | 213,40            | 0,46            | 1,86            | 0,86          | 0,24            | 0,46            | 0,88          | 0,37            | 0,47            | 0,69          | 0,31            | 0,70            | 0,70          | 0,70          | 0,70          | 0,70          | 0,70          |
| 21 | +                      | +         | Uniforme       | 213,40            | 0,36            | 1,70            | 0,84          | 0,25            | 0,36            | 0,98          | 0,34            | 0,40            | 0,71          | 0,29            | 0,70            | 0,70          | 0,70          | 0,70          | 0,70          | 0,70          |
| 22 | +                      | +         | Forze statiche | 213,40            | 0,46            | 1,86            | 0,86          | 0,24            | 0,46            | 0,88          | 0,37            | 0,47            | 0,69          | 0,31            | 0,70            | 0,70          | 0,70          | 0,70          | 0,70          | 0,70          |
| 23 | +                      | -         | Uniforme       | 213,40            | 0,36            | 1,70            | 0,84          | 0,25            | 0,36            | 0,98          | 0,34            | 0,40            | 0,71          | 0,29            | 0,70            | 0,70          | 0,70          | 0,70          | 0,70          | 0,70          |
| 24 | +                      | -         | Forze statiche | 213,40            | 0,46            | 1,86            | 0,86          | 0,24            | 0,46            | 0,88          | 0,37            | 0,47            | 0,69          | 0,31            | 0,70            | 0,70          | 0,70          | 0,70          | 0,70          | 0,70          |

Visualizza dettagli

4g

0,40

Aggiungi

Inserisci la forza in relazione

Cancella tutto

Imposta ordine

Verificato

Non verificato

Analisi disaccoppiata

Non convergenza iterativa

Analisi peggiorativa

Info

Figura 29 – Riassunto dei risultati delle 24 analisi

Per le verifiche soddisfatte, la casella corrispondente assume la colorazione verde e l'indice di vulnerabilità corrispondente ( $\zeta_E$ ) assume valori superiori all'unità. Quando la capacità di spostamento è inferiore alla domanda la verifica non è soddisfatta, la casella corrispondente assume la colorazione rossa e l'indice di vulnerabilità corrispondente ( $\zeta_E$ ) assume valori inferiori all'unità.

Dalla figura sopra riportata si evince come la vulnerabilità sismica della struttura, considerata la stessa con comportamento scatolare, risulterebbe soddisfatta per tutti gli Stati Limite per tutte le 24 analisi sia rispetto l'asse X sia rispetto l'asse Y.

Si riassumono di seguito i più bassi indici di vulnerabilità sismica:

$$\text{SLC} \rightarrow \zeta_E = 1,020 \text{ (asse Y – analisi 24)}$$

$$\text{SLV} \rightarrow \zeta_E = 0,979 \text{ (asse Y – analisi 24)}$$

$$\text{SLD} \rightarrow \zeta_E = 1,182 \text{ (asse Y – analisi 24)}$$

$$\text{SLO} \rightarrow \zeta_E = 0,972 \text{ (asse Y – analisi 24)}$$

Dato che la struttura oggetto di verifica è esistente e trattasi di bene culturale, le NTC2018, così come il D.P.C.M. 9 febbraio 2011 “Valutazione e riduzione del rischio sismico del patrimonio culturale con riferimento alle norme tecniche per le costruzioni

di cui al decreto ministeriale 14 gennaio 2008”, stabiliscono che l'indice minimo  $\xi_E$  debba sempre essere maggiore di 0,6 affinché la struttura sia considerata verificata.

$$\xi_{E,min} = 0,979 \text{ (SLV asse Y – analisi 24)} > 0,60 \text{ Verificato!}$$

Si riporta di seguito, per le due analisi più gravose lungo l'asse X e lungo l'asse Y, il dettaglio del telaio equivalente delle pareti più significative e la curva di capacità sovrapposta alla bilineare equivalente determinata ai sensi delle Norme Tecniche.

### Analisi 16 – Asse X

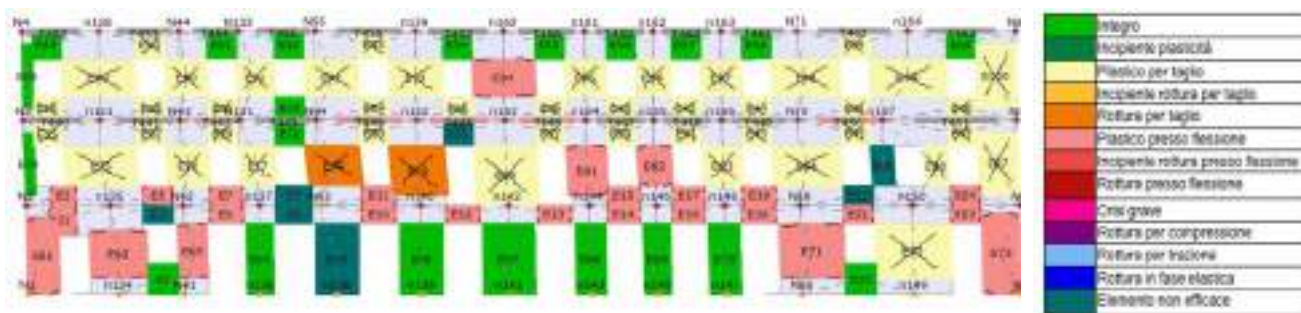


Figura 30 – Analisi 16 asse X – Parete P1 – Schema dei maschi murari

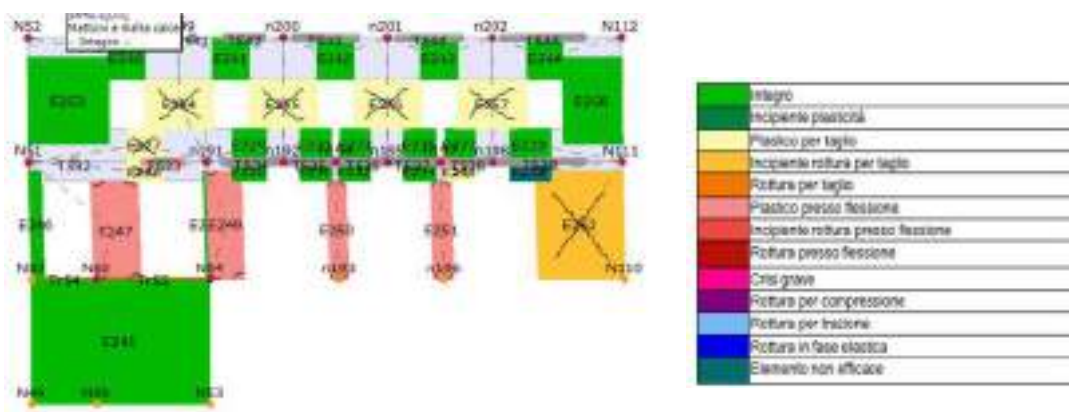


Figura 31 – Analisi 16 asse X – Parete P10 – Schema dei maschi murari

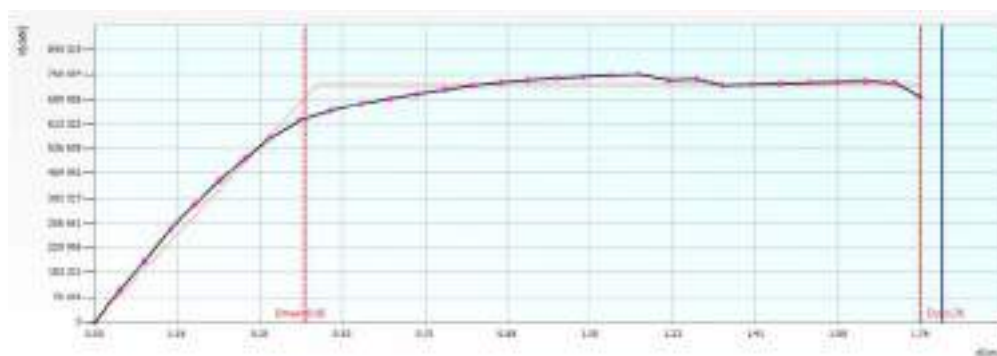


Figura 32 – Analisi 16 – Curva di capacità

|     | TR <sub>C</sub> | TR <sub>D</sub> | Q <sub>TR</sub> | PGA <sub>D</sub><br>[m/s <sup>2</sup> ] | PGA <sub>C</sub> (TR)<br>[m/s <sup>2</sup> ] | F <sub>0</sub> (TR) | T* <sub>C</sub> (TR) | α <sub>PGA</sub> (TR) | PGA <sub>C</sub><br>[m/s <sup>2</sup> ] | α <sub>PGA</sub> |
|-----|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------------------------------|----------------------------------------------|---------------------|----------------------|-----------------------|-----------------------------------------|------------------|
| SLC | > 2475          | 1462            | > 1.6929        | 1.0202                                  | 1.1831                                       | 2.67                | 0.29                 | 1.1596                | 2.4566                                  | 2.4079           |
| SLV | > 2475          | 712             | > 1.4761        | 0.8288                                  | 1.1831                                       | 2.67                | 0.29                 | 1.4272                | 1.9921                                  | 2.4032           |
| SLD | 1766            | 75              | 23.5467         | 0.3963                                  | 1.0762                                       | 2.67                | 0.29                 | 2.7153                | 1.1095                                  | 2.7994           |
| SLO | 451             | 45              | 10.0222         | 0.3277                                  | 0.7230                                       | 2.65                | 0.27                 | 2.2066                | 0.7546                                  | 2.3029           |

Questa tabella riporta gli indici di vulnerabilità (αPGA) calcolate con due approcci differenti:

#### αPGA: Ricavato da PGAc

Con PGAc si intende l'accelerazione di capacità prodotta mantenendo uno spettro sismico coincidente con quello del reticolo di riferimento scalando il valore di  $a_g$  fino al raggiungimento della condizione corrispondente allo stato limite considerato. Tale valore di accelerazione ( $a_g$ ) rappresenta la PGAc.

#### αPGA(TR): Ricavato da PGAc(TR)

Con PGAc(TR) si intende l'accelerazione di capacità prodotta ricalcolando il TR in modo da ottenere uno spettro sismico che conduce alla condizione corrispondente allo stato limite considerato.

Periodo elastico  $T^*[s] = 0.187$

Massa partecipante  $m^*/M [\%] = 48.156$

### Analisi 24 – Asse Y

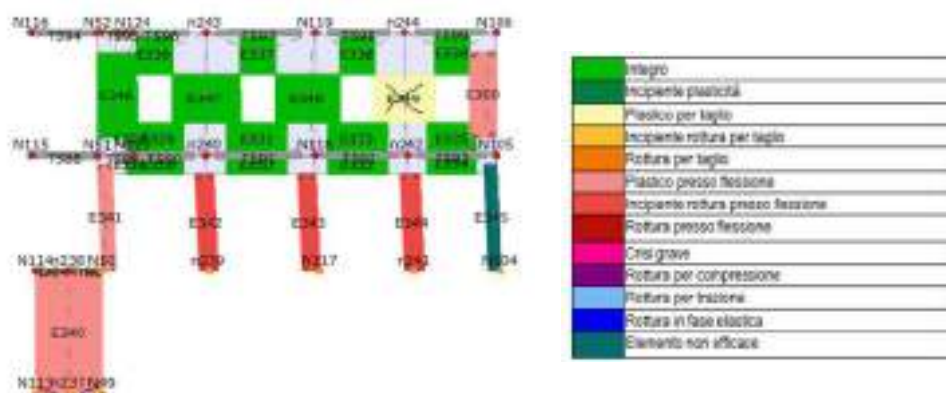


Figura 33 – Analisi 24 asse Y – Parete P21 – Schema dei maschi murari

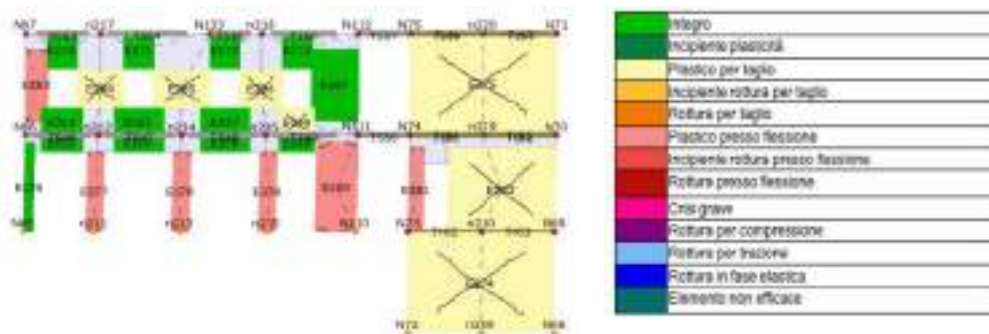


Figura 34 – Analisi 24 asse Y – Parete P14 – Schema dei maschi murari

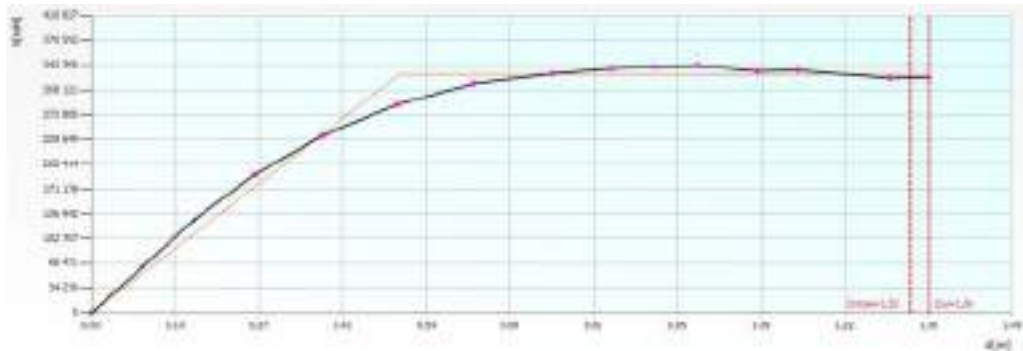


Figura 35 – Analisi 24 – Curva di capacità

|     | TR <sub>C</sub> | TR <sub>D</sub> | $\alpha_{TR}$ | PGA <sub>D</sub><br>[m/s <sup>2</sup> ] | PGA <sub>C</sub> (TR)<br>[m/s <sup>2</sup> ] | F <sub>0</sub> (TR) | T* <sub>C</sub> (TR) | $\alpha$ PGA (TR) | PGA <sub>C</sub><br>[m/s <sup>2</sup> ] | $\alpha$ PGA |
|-----|-----------------|-----------------|---------------|-----------------------------------------|----------------------------------------------|---------------------|----------------------|-------------------|-----------------------------------------|--------------|
| SLC | 1560            | 1462            | 1.0670        | 1.0202                                  | 1.0389                                       | 2.67                | 0.29                 | 1.0183            | 1.0406                                  | 1.0200       |
| SLV | 683             | 712             | 0.9593        | 0.8280                                  | 0.8191                                       | 2.66                | 0.28                 | 0.9882            | 0.8116                                  | 0.9791       |
| SLD | 117             | 75              | 1.5600        | 0.3963                                  | 0.4670                                       | 2.60                | 0.24                 | 1.1762            | 0.4663                                  | 1.1817       |
| SLO | 43              | 45              | 0.9556        | 0.3277                                  | 0.3218                                       | 2.53                | 0.20                 | 0.9820            | 0.3185                                  | 0.9721       |

Questa tabella riporta gli indici di vulnerabilità ( $\alpha$ PGA) calcolate con due approcci differenti:

#### $\alpha$ PGA: Ricavato da PGAc

Con PGAc si intende l'accelerazione di capacità prodotta mantenendo uno spettro sismico coincidente con quello del reticolo di riferimento scalando il valore di  $a_g$  fino al raggiungimento della condizione corrispondente allo stato limite considerato. Tale valore di accelerazione ( $a_g$ ) rappresenta la PGAc.

#### $\alpha$ PGA(TR): Ricavato da PGAc(TR)

Con PGAc(TR) si intende l'accelerazione di capacità prodotta ricalcolando il TR in modo da ottenere uno spettro sismico che conduce alla condizione corrispondente allo stato limite considerato.

Periodo elastico T\*[s]= 0.299

Massa partecipante  $m^*/M$  [%]= 52.132

#### Conclusioni

In base alla tipologia di edificio si assume dunque  $\zeta_{E\_lim} = 0,60$

#### Analisi sismica n. 16 Direzione X

#### Analisi sismica n. 24 Direzione Y

| Stato limite | $\alpha$ PGA (TR) | $\alpha$ TR | $\alpha$ PGA (TR) | $\alpha$ TR |
|--------------|-------------------|-------------|-------------------|-------------|
| SLC          | 1.1596            | > 1.6929    | 1.0183            | 1,0670      |

(\*) Tutti i valori di  $\alpha_{TR}$  sono da ritenersi calcolati come  $\alpha_{TR} = TR_C/TR_D$  (privi di qualsiasi esponente correttivo).

La verifica risulta superata, la condizione più gravosa si ha in corrispondenza della direzione [Y] del sisma.

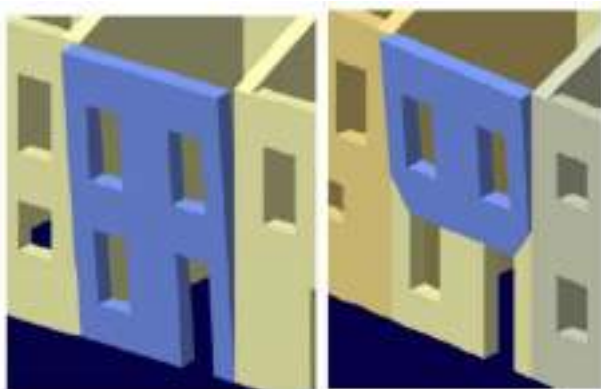
## 9.5. VERIFICA CINEMATISMI LOCALI

L'analisi strutturale dei meccanismi locali di collasso per cause sismiche è svolta per valutare preliminarmente il grado di vulnerabilità della struttura nei confronti dei meccanismi di primo modo, ossia dei meccanismi c.d. “fuori piano”. Questo tipo di analisi è fondamentale, poiché se vi è la possibilità di mobilitazione di meccanismi locali significa che la struttura non è in grado di offrire un comportamento globale di tipo “scatolare” nei confronti delle azioni sismiche.

La scelta dei meccanismi locali da analizzare è un aspetto molto delicato, in quanto è necessario conoscere a fondo i dettagli costruttivi della struttura che si intende analizzare per potere individuare e verificare i soli meccanismi significativi tra gli infiniti meccanismi possibili. Si richiamano pertanto le ipotesi in merito ai dettagli costruttivi desunte dalle indagini strutturali:

| aspetti di interesse<br>dettagli costruttivi    | indagini svolte                                                                             | giudizio                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
|-------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| quadro fessurativo, anche di natura non sismica | analisi visiva interna ed esterna                                                           | stato di conservazione soddisfacente, non è stato rilevato alcun quadro fessurativo da analizzare se non piccole lesioni come descritte al Paragrafo 4.4 in prossimità di architravi e comunque circoscritte                                                                                                                                                                      |
| collegamento tra pareti ortogonali              | saggi esplorativi sull'incrocio di pareti ortogonali e considerazioni sul tipo di materiale | considerando i rilievi svolti e vista la specifica tipologia di muratura riscontrata, si ritiene che l'ammorsamento tra pareti sia efficace se non per alcuni maschi murari interni                                                                                                                                                                                               |
| collegamento tra pareti e solai                 | analisi visiva ed esame dei documenti di progetto del 2006-2011                             | dalle indagini visive svolte, le quali confermano i disegni di progetto dei solai relativi al cantiere 2006-2011, è confermata la presenza di un cordolo continuo in c.a. a tutti i livelli, compreso l'ultimo solaio di sottotetto al livello base della copertura e quindi è presumibile considerare eseguite le ammorsature “a coda di rondine” previste nel suddetto progetto |
| schema statico di copertura                     | indagine visiva ed esame dei documenti di progetto del 2006-2011                            | lo schema di copertura è prevalentemente di tipo non-spingente                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
| edifici adiacenti e/o parti interrato           | indagine visiva e documentale                                                               | Non sono presenti edifici adiacenti al fabbricato in oggetto. Altresì è possibile escludere ogni cinematismo relativo alle parti di struttura interrato.                                                                                                                                                                                                                          |

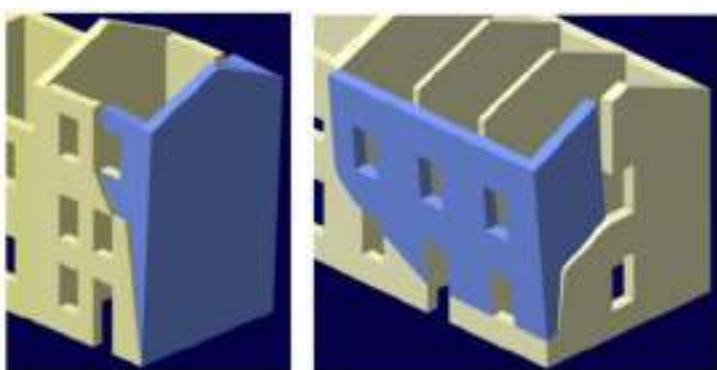
In ordine ai giudizi sui dettagli costruttivi è possibile definire i principali meccanismi locali che si possono verificare.



Ribaltamento semplice di parete

probabilità di insorgenza: **bassa**

per l'ipotesi di efficace vincolo sommitale



Ribaltamento composto di parete

probabilità di insorgenza: **medio**

per l'ipotesi di buon collegamento tra pareti ortogonali perimetrali ma scarso collegamento delle pareti perimetrali con quelle interne



Flessione verticale di parete

probabilità di insorgenza: **bassa**

per l'ipotesi di trattenimento efficace in sommità

e contestuale carenza di collegamento tra pareti ortogonali intermedie



Flessione orizzontale di parete

probabilità di insorgenza: **bassa**

per l'ipotesi di trattenimento efficace in sommità

e contestuale carenza di collegamento tra pareti ortogonali intermedie

### 9.5.1. METODO DI CALCOLO

La verifica nei riguardi dei collassi parziali per cause sismiche (in genere per perdita dell'equilibrio di porzioni murarie) secondo le modalità descritte nel seguito, assume significato se si assume l'ipotesi di monoliticità della parete muraria, tale da impedire collassi puntuali per disgregazione della muratura.

Il codice di calcolo svolge le verifiche con riferimento ai meccanismi locali tramite l'analisi limite dell'equilibrio, secondo l'approccio cinematico, che si basa sulla scelta del meccanismo di collasso e la valutazione dell'azione orizzontale che attiva tale cinematismo.

L'applicazione del metodo di verifica presuppone quindi l'analisi dei meccanismi locali ritenuti significativi per la costruzione, che possono essere ipotizzati sulla base della conoscenza del comportamento sismico di strutture analoghe, già danneggiate dal terremoto, o individuati considerando la presenza di eventuali stati fessurativi, anche di natura non sismica; inoltre saranno tenute presente la qualità della connessione tra le pareti murarie, la tessitura muraria, la presenza di catene, le interazioni con altri elementi della costruzione o degli edifici adiacenti. L'approccio cinematico permette inoltre di determinare l'andamento dell'azione orizzontale che la struttura è progressivamente in grado di sopportare all'evolversi del meccanismo.

Nel caso in cui la verifica riguardi un elemento isolato o una porzione della costruzione comunque sostanzialmente appoggiata a terra la condizione di superamento della verifica in relazione allo stato limite in questione è fornita dalla seguente disequazione:

$$a_z \geq a_z(z = 0) = S_e(T = 0) = a_g \cdot S$$

$$a_z = \frac{\alpha_0 \cdot g}{e^* \cdot FC} \cdot q$$

Nel caso in cui il meccanismo locale interessa una porzione della costruzione posta ad una certa quota, si deve tener conto del fatto che l'accelerazione assoluta alla quota della porzione di edificio interessata dal cinematismo è in genere amplificata rispetto a quella al suolo; per questo il superamento della verifica è fornita dalla seguente disequazione:

$$a_z \geq \max(a_z(z = 0); a_z(z))$$

$$a_z(z) = \sqrt{\sum a_{z,k}^2(z)}$$

$$a_{z,k}(z) = S_e(T_k, \xi_k) \cdot |\gamma_k \cdot \Psi_k(z)| \cdot \sqrt{1 + 0.0004 \cdot \xi_k^2}$$

È consentito riferirsi al solo primo modo di vibrare significativo per la direzione significativa, si assume quindi  $k=1$ .

$$a_z(z) = S_e(T_1, \xi_1) \cdot |\gamma_1 \cdot \Psi_1(z)| \cdot \sqrt{1 + 0.0004 \cdot \xi_1^2}$$

Se(T ,x): spettro di risposta elastico al suolo, valutato per il periodo equivalente T e lo smorzamento viscoso equivalente x (5%) dell'elemento non strutturale, dell'impianto o del meccanismo locale considerato;

$\gamma_k$  : k-esimo coefficiente di partecipazione modale della costruzione;

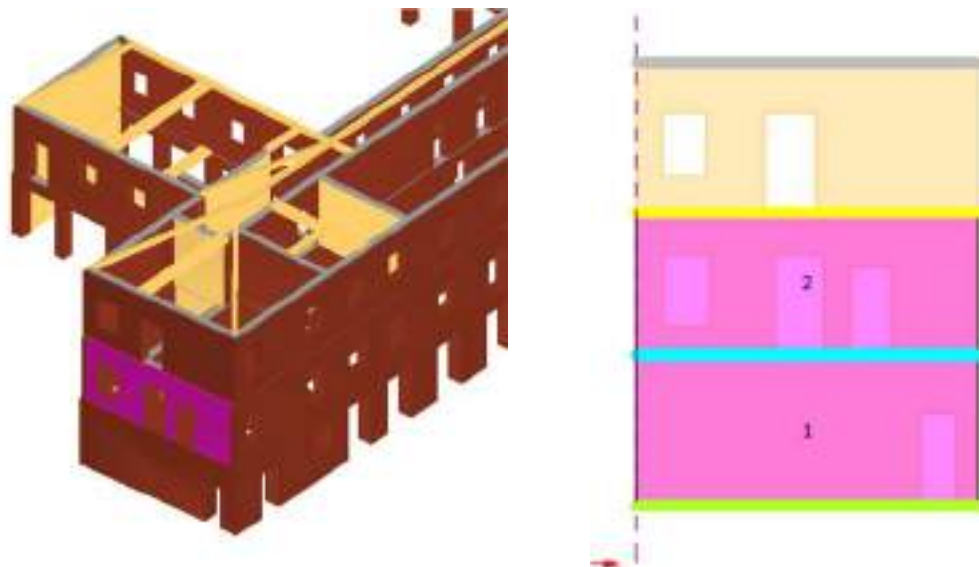
$\psi_k(z)$ : valore della k-esimaforma modale alla quota z nella posizione in pianta dove è collocato il meccanismo locale da verificare;

$\alpha_{z,k}$  : contributo del k-esimo modo alla accelerazione massima di piano.

### 9.5.2. RISULTATI DI VERIFICA

Si riportano di seguito tutti i meccanismi cinematici analizzati. Dato lo scarso collegamento tra pareti murarie interne e tamponamenti, sono stati preferiti meccanismi cinematici che coinvolgono zone di parete potenzialmente soggette a sollecitazioni (e quindi distacchi) provenienti da pareti ortogonali. Si ipotizzano comunque anche distacchi di pareti perimetrali per maggiore cautela. Per ogni meccanismo vengono indicati: uno schema grafico rappresentativo, le caratteristiche dei blocchi cinematici coinvolti, il tipo di vincolo e i risultati di verifica che trovano la loro sintesi nel coefficiente di sicurezza.

#### Cinematismo 1 – Parete 6 ribaltamento

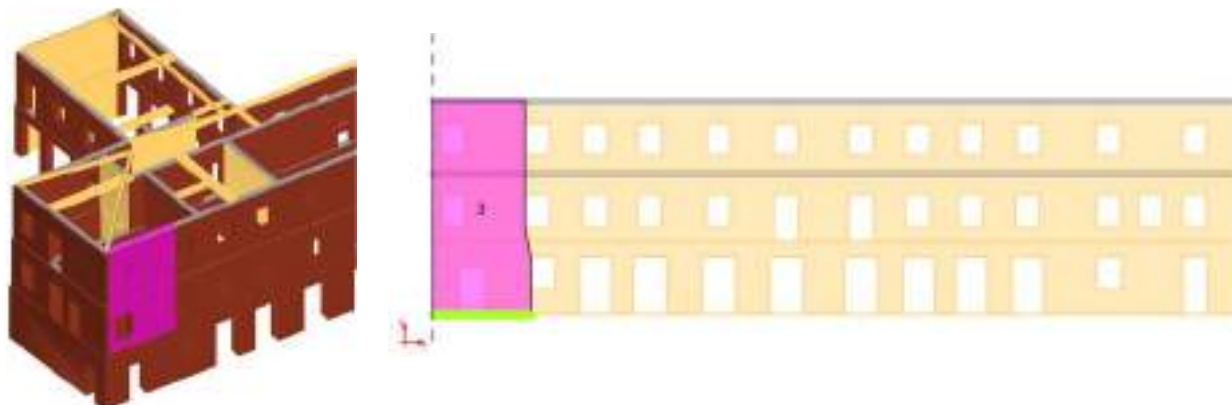


| Blocco | Xg [cm] | Yg [cm] | Zg [cm] | Peso[daN] | Parete |
|--------|---------|---------|---------|-----------|--------|
| 1      | 411     | 0       | 195     | -49 823   | 6      |
| 2      | 448     | 0       | 575     | -25 696   | 6      |

| Tipo vincolo     | Quota [cm] | Parete | Angolo [°] |
|------------------|------------|--------|------------|
| Cerniera esterna | 0          | 6      | 0          |
| Cerniera interna | 380        | 6      | -          |
| Appoggio esterno | 740        | 6      | -          |

|                                           |        |
|-------------------------------------------|--------|
| Moltiplicatore attivazione ( $\alpha_0$ ) | 0.420  |
| $a_{z,c}$ (SLV) [m/s <sup>2</sup> ]       | 8.9219 |
| $a_{z(0)}$ (SLV) [m/s <sup>2</sup> ]      | 1.1937 |
| Coefficiente sicurezza PGAc/PGAd (SLV)    | 7.47   |
| Verifica superata(SLV)                    | Sì     |

### Cinematismo 2 – Parete 1 Ribaltamento

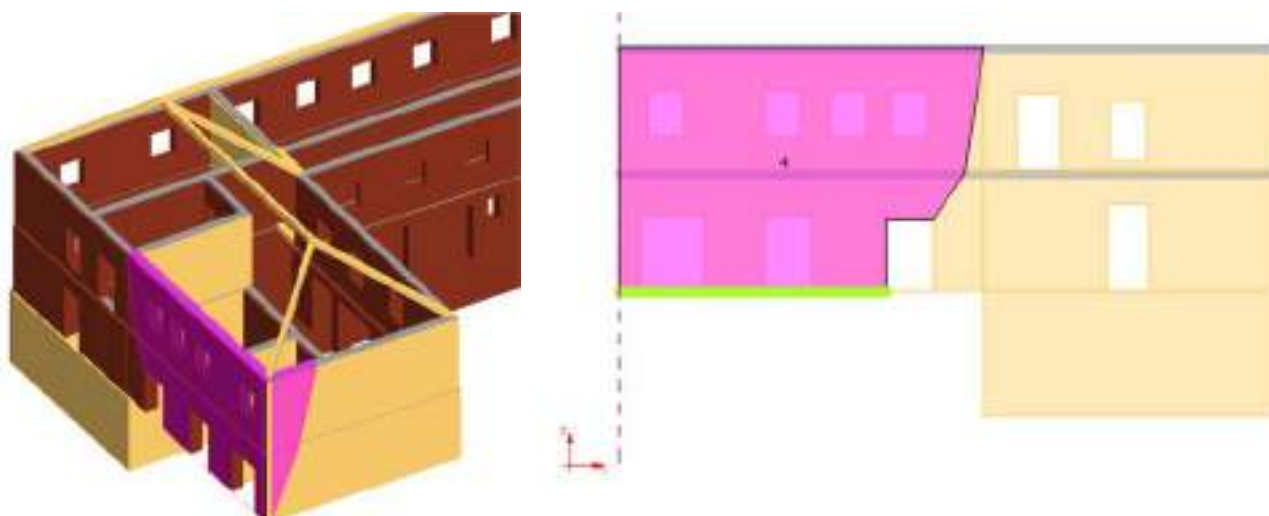


| Blocco | Xg [cm] | Yg [cm] | Zg [cm] | Peso[daN] | Parete |
|--------|---------|---------|---------|-----------|--------|
| 3      | 263     | 0       | 508     | -54 821   | 1      |

| Tipo vincolo     | Quota [cm] | Parete | Angolo [°] |
|------------------|------------|--------|------------|
| Cerniera esterna | 0          | 1      | 0          |

|                                           |        |
|-------------------------------------------|--------|
| Moltiplicatore attivazione ( $\alpha_0$ ) | 0.085  |
| $az,c$ (SLV) [m/s <sup>2</sup> ]          | 1.7017 |
| $az(0)$ (SLV) [m/s <sup>2</sup> ]         | 1.1937 |
| Coefficiente sicurezza PGAc/PGAd (SLV)    | 1.43   |
| Verifica superata(SLV)                    | Si     |

### Cinematismo 3 – Parete 2 Ribaltamento

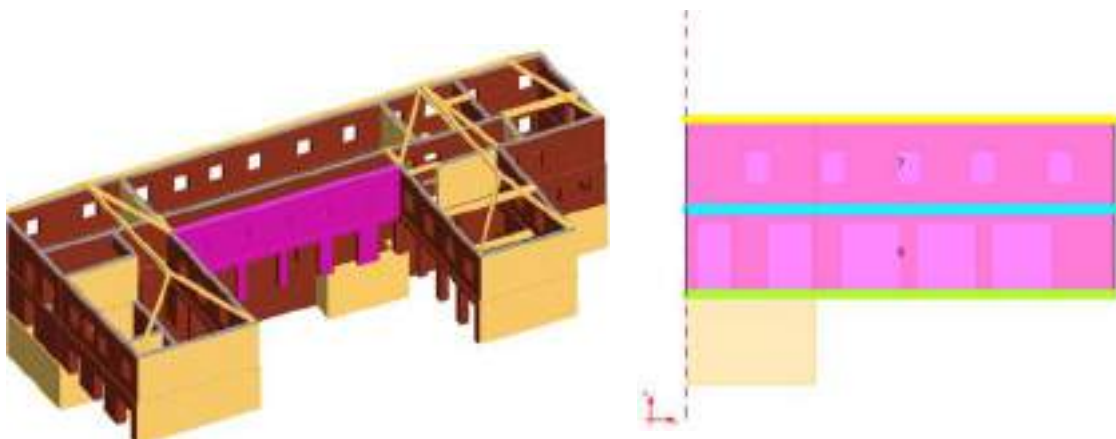


| Blocco | Xg [cm] | Yg [cm] | Zg [cm] | Peso[daN] | Parete |
|--------|---------|---------|---------|-----------|--------|
| 4      | 516     | 0       | 780     | -57 295   | 2      |
| 5      | -2      | -81     | 853     | -11 135   | 17     |

| Tipo vincolo     | Quota [cm] | Parete | Angolo [°] |
|------------------|------------|--------|------------|
| Cerniera esterna | 380        | 2      | 0          |

|                                           |        |
|-------------------------------------------|--------|
| Moltiplicatore attivazione ( $\alpha_0$ ) | 0.107  |
| az,c (SLV) [m/s <sup>2</sup> ]            | 1.8947 |
| az(0) (SLV) [m/s <sup>2</sup> ]           | 1.1937 |
| Coefficiente sicurezza PGAc/PGAd (SLV)    | 1.59   |
| Verifica superata(SLV)                    | Sì     |

#### Cinematismo 4 – Parete 11 Spinta



| Blocco | Xg [cm] | Yg [cm] | Zg [cm] | Peso[daN] | Parete |
|--------|---------|---------|---------|-----------|--------|
| 6      | 963     | 0       | 593     | -33 638   | 11     |
| 7      | 899     | 0       | 932     | -43 495   | 11     |

| Tipo vincolo     | Quota [cm] | Parete | Angolo [°] |
|------------------|------------|--------|------------|
| Cerniera esterna | 380        | 11     | 0          |
| Cerniera interna | 740        | 11     | -          |
| Appoggio esterno | 1 120      | 11     | -          |

|                                           |        |
|-------------------------------------------|--------|
| Moltiplicatore attivazione ( $\alpha_0$ ) | 0.294  |
| az,c (SLV) [m/s <sup>2</sup> ]            | 6.3793 |
| az(0) (SLV) [m/s <sup>2</sup> ]           | 1.1937 |
| Coefficiente sicurezza PGAc/PGAd (SLV)    | 5.34   |
| Verifica superata(SLV)                    | Sì     |

I potenziali meccanismi locali individuati come “più probabili” sono stati oggetto di verifica come sopra esposto. Tra i vari meccanismi locali, nessuno presenta un fattore di sicurezza inferiore all’unità ossia si ha sempre  **$F_s > 1,0$** .

## 9.6. DEFINIZIONE DELLA VULNERABILITÀ SISMICA PRE-INTERVENTO

Dai risultati sopra esposti è possibile affermare che l'indice di vulnerabilità sismica della struttura nello stato di fatto è pari al minore tra i rapporti  $PGAc/PGAd$  (**SLV**) definiti per i cinatismi locali e per l'analisi sismica globale. Il grado di vulnerabilità sismica della struttura (dovuto all'analisi locale in quanto i cinatismi locali sono poco influenti) è pari a:

$$PGAc/PGAd = 0,979$$

Dal punto di vista sismico si ha comunque uno  $\zeta_E > 0,60$  per cui non è necessario nessun intervento di miglioramento/adeguamento. Saranno realizzati solo degli interventi locali per risolvere i limitati problemi statici.

## 10. ANALISI POST-INTERVENTO

Come analizzato nel Capitolo precedente la struttura oggetto di verifica presenta limitati problemi statici sugli elementi più snelli, principalmente dovuti all'eccentricità delle sollecitazioni di compressione sui maschi murari, mentre dal punto di vista sismico, il parametro  $\zeta_E$  allo SLV risulta sempre maggiore di 0,60.

Gli interventi strutturali in progetto sono dunque mirati essenzialmente al rinforzo delle “colonne” delle arcate dei portici del cortile della villa mediante la realizzazione di intonaco armato su tutte le facce delle colonne mediante la stesura di una rete biassiale bilanciata GFRP, ossia polimerica rinforzata con fibre di vetro, impregnata da un intonaco in resina termoindurente. Le reti posate sulle facce opposte dei paramenti murari dovranno essere connesse tra di loro mediante barre elicoidali in acciaio come da specifiche del produttore.

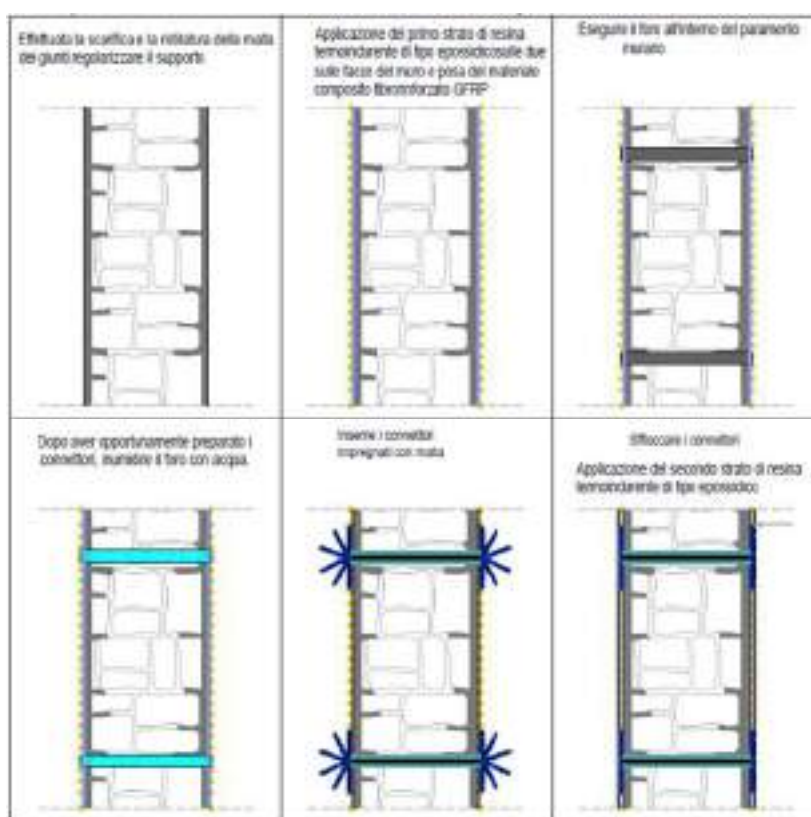


**Figura 36** – Tipologico intervento di rinforzo delle pareti mediante intonaco armato

Il modello di calcolo della situazione post intervento si differenzia da quello pre intervento per via dei piccoli interventi locali strutturali necessari all'accoglimento delle esigenze architettoniche, quali l'apertura e la chiusura di vani e passate sui maschi murari.

Il maggior intervento è l'inserimento del nuovo vano ascensore in c.a. all'interno della Villa Antica il quale sarà rigidamente collegato ai solai intersecanti e quindi modificherà la risposta sismica del fabbricato.

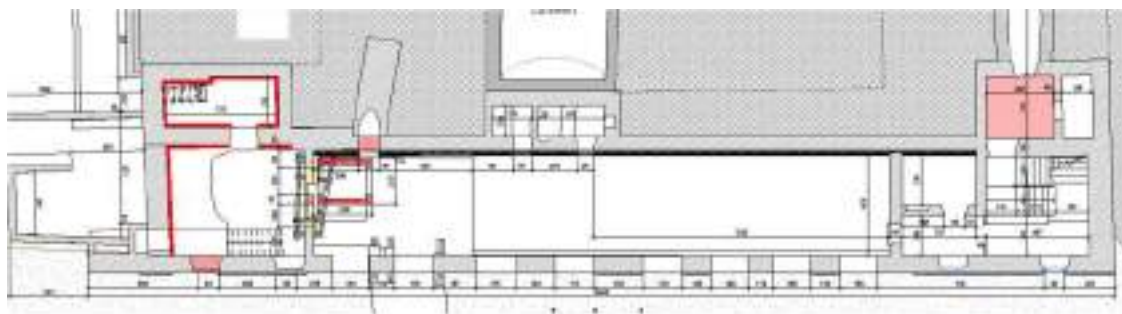


**Figura 37** – Principali interventi strutturali in progetto – pianta piano seminterrato

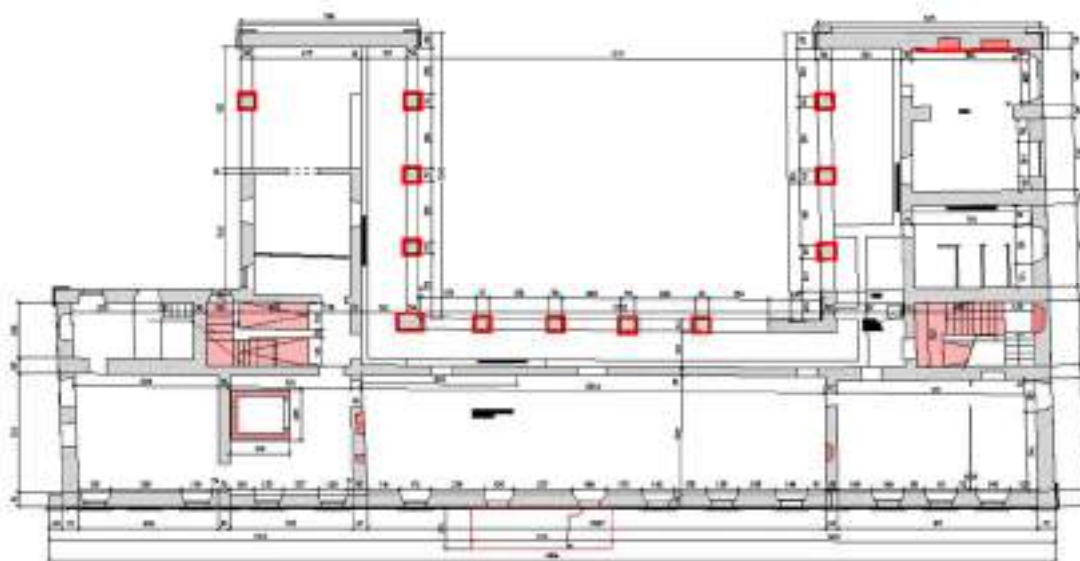


**Figura 38** – Principali interventi strutturali in progetto – pianta piano terra

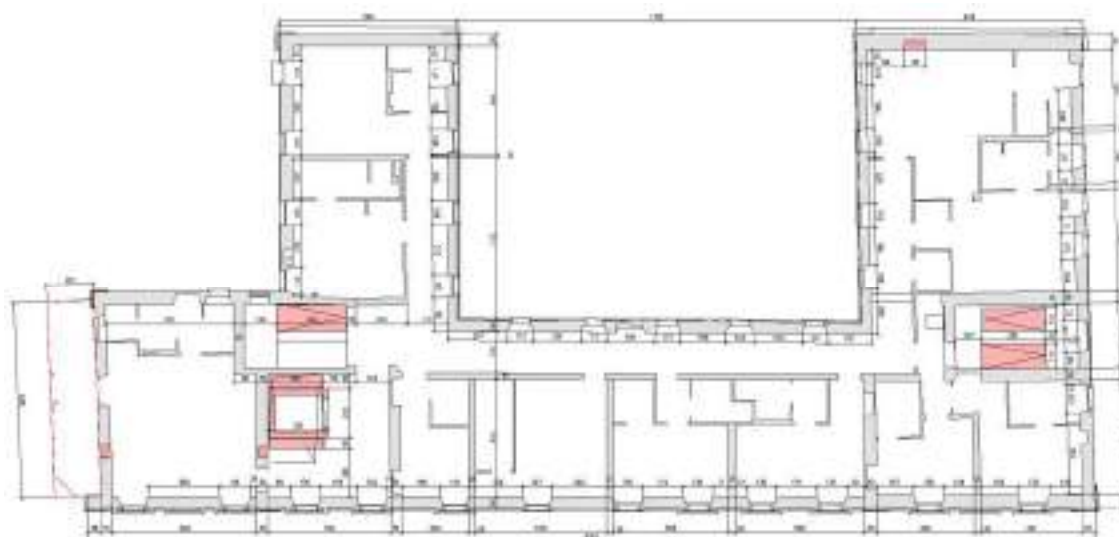


**Figura 39** – Principali interventi strutturali in progetto – pianta piano primo

Si rimanda agli elaborati grafici B04, B05, B06 e B09 per il dettaglio degli interventi sui maschi murari della Villa Antica ed all'elaborato grafico B07 per le carpenterie del nuovo vano ascensore.

## 10.1. CARATTERIZZAZIONE DEI MATERIALI

### 10.1.1. MURATURA

Come analizzato nel Capitolo precedente la struttura oggetto di verifica presenta limitati problemi statici sugli elementi più snelli, principalmente dovuti all'eccentricità delle

Il progetto prevede integrazioni murarie mediante tecnica cuci-scuci impiegando mattoni pieni legati con malta M10. Ai fini dell'analisi si è fatta l'assunzione cautelativa che tale integrazione possa riportare i maschi interessati quantomeno alla resistenza originaria, mantenendo nel calcolo i parametri peggiorativi dovuti al livello di conoscenza. Pertanto non sono stati inseriti nel modello nuovi materiali murari ma sono stati impiegati quelli del modello pre-intervento.

Le murature oggetto di rinforzo mediante intonaco armato, ma solo quelle che presentano l'intonaco armato su entrambe le facce del paramento in quanto quelle rinforzate solo su una faccia saranno cautelativamente considerate come NON rinforzate, presenteranno un incremento delle resistenze dovuto all'applicazione del coefficiente correttivo come da Tabella C8.5.II della Circolare Applicativa 21 gennaio 2019 n.7 del C.S.LL.PP..

Nello specifico i parametri meccanici delle murature rinforzate con intonaco armato sono:

#### Muratura di mattoni pieni e malta di calce – rinforzata

|                         |                             |
|-------------------------|-----------------------------|
| E [N/mm²]               | 2 250.00                    |
| Eh [N/mm²]              | 2 250.00                    |
| G [N/mm²]               | 750.00                      |
| w [N/mm²]               | 18                          |
| f <sub>k</sub> [N/mm²]  | 202.00                      |
| f <sub>d</sub> [N/mm²]  | 202.22                      |
| f <sub>vd</sub> [N/mm²] | 7.5                         |
| f <sub>vd</sub> [N/mm²] | 13.50                       |
| φ                       | 0.50                        |
| μ                       | 0.58                        |
| f <sub>bt</sub> [N/mm²] | 0.8                         |
| FC                      | 1.20                        |
| γ <sub>m</sub>          | 3.00                        |
| Maschio drift taglio    | 0.0050                      |
| Maschio drift flessione | 0.0100                      |
| Fascia drift taglio     | 0.0150                      |
| Fascia drift flessione  | 0.0150                      |
| Fascia accoppiata drift | 0.0200                      |
| Stato                   | Esistente                   |
| Descrizione             | Esistente mattoni e malt... |
| Libreria                |                             |

**Figura 40** – Parametri meccanici della muratura di mattoni pieni e malta di calce rinforzata con intonaco armato

### Muratura in pietrame disordinata – rinforzata

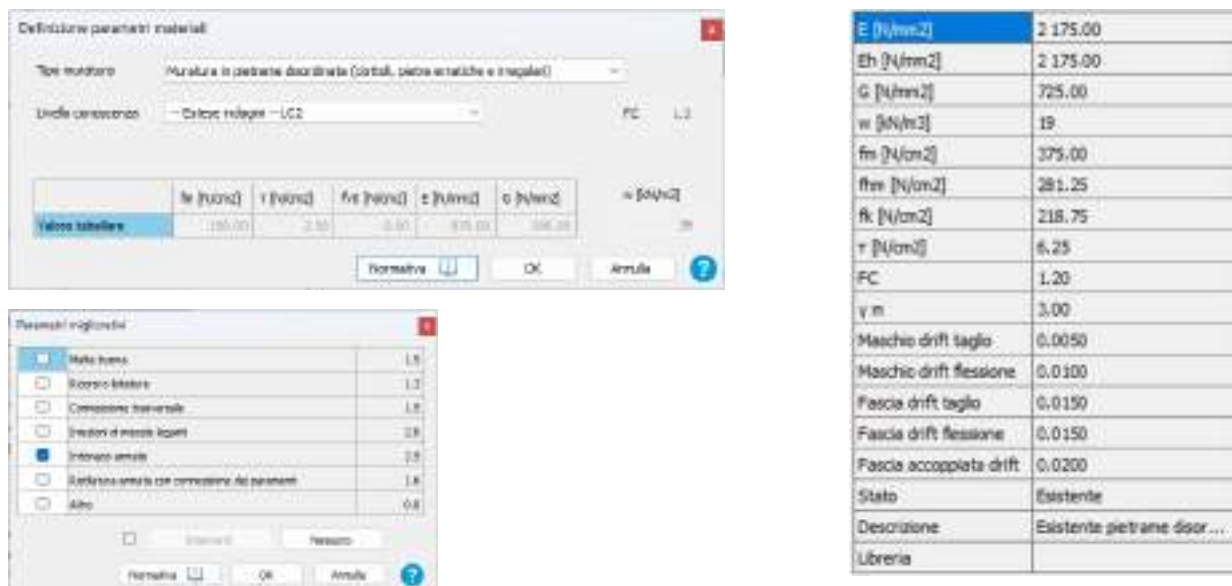


**Figura 41** – Parametri meccanici della muratura in pietrame disordinata rinforzata con intonaco armato

Si precisa che nel progetto di rinforzo è prevista l'applicazione dell'intonaco armato su entrambe le facce del paramento murario solo per la muratura della tipologia in mattoni pieni e malta di calce.

### 10.1.2. OPERE IN C.A.

Per le opere in c.a. esistenti si rimanda al Paragrafo 6.2.

Le nuove opere in c.a., essenzialmente il vano ascensore, saranno caratterizzate dalle seguenti proprietà meccaniche

| Nome                                 | C25/30                  |
|--------------------------------------|-------------------------|
| E [N/mm <sup>2</sup> ]               | 31 476.00               |
| G [N/mm <sup>2</sup> ]               | 13 115.00               |
| w [N/mm <sup>2</sup> ]               | 25                      |
| f <sub>ox</sub> [N/mm <sup>2</sup> ] | 33.0                    |
| f <sub>ok</sub> [N/mm <sup>2</sup> ] | 25.0                    |
| γ <sub>c</sub>                       | 1.50                    |
| α <sub>cc</sub>                      | 0.85                    |
| Stato                                | Nuovo                   |
| Descrizione                          |                         |
| Libreria                             | Italia (NT18 circolare) |

**Figura 42** – Parametri meccanici delle nuove opere in c.a. – vano ascensore

I materiali strutturali costituenti il modello post intervento saranno dunque:

- Muratura in mattoni pieni e malta di calce
- Muratura in pietrame disordinata
- Muratura in mattoni pieni e malta di calce rinforzata
- Opere in c.a.

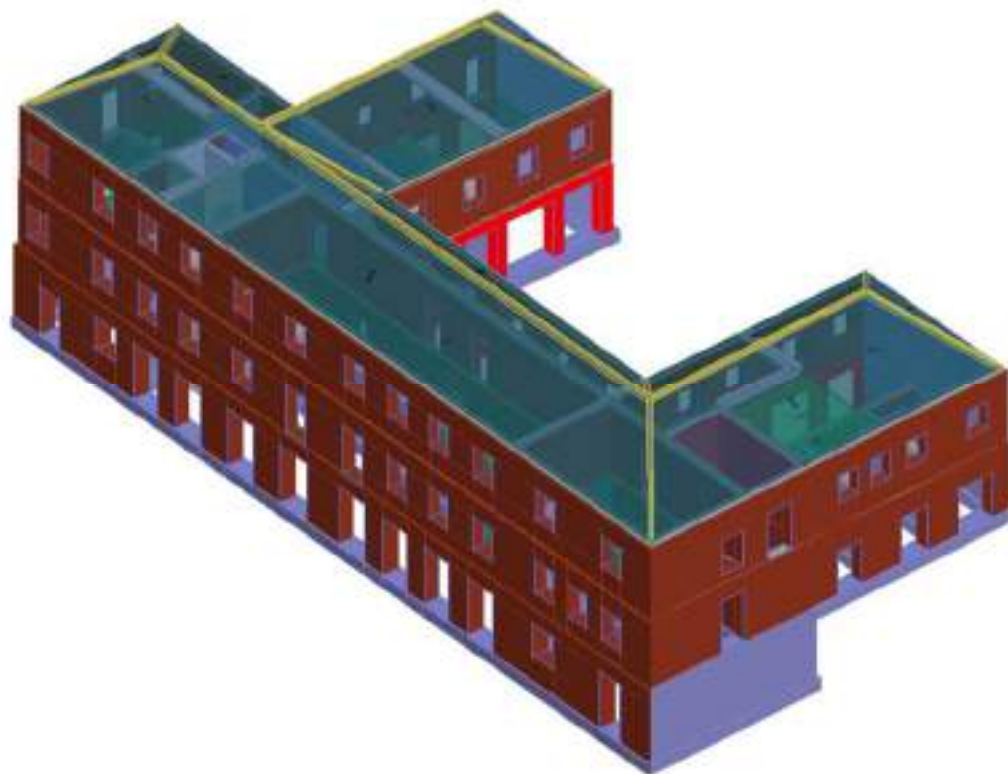


**Figura 43** – Modello strutturale della Villa Antica – Post-intervento, lato valle

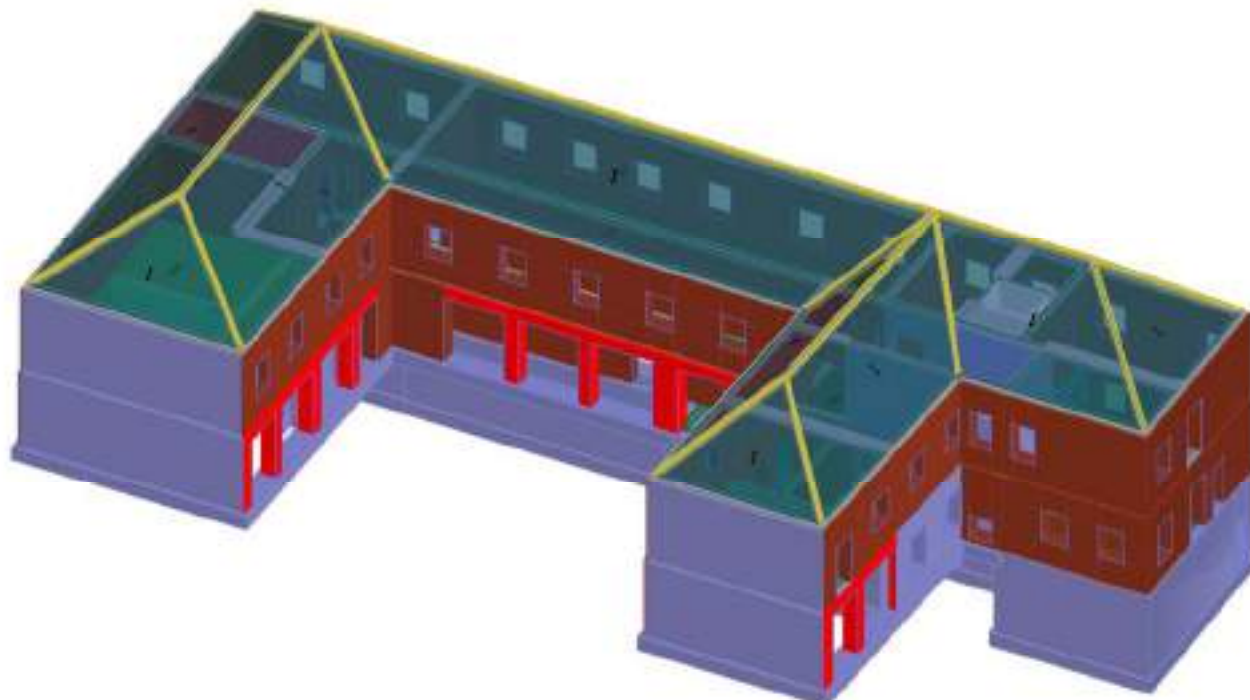


**Figura 44** – Modello strutturale della Villa Antica – Post-intervento, lato monte

## 10.2. MODIFICA DEI CARICHI DI PROGETTO

Come accennato in precedenza, i solai in latero cemento realizzati nel corso del progetto 2006-2011 sono stati dimensionati, oltre che per il peso proprio ed il carico accidentale pari a  $200\text{daN/m}^2$ , per un carico permanente portato pari a  $150\text{daN/m}^2$  per tutti i livelli del fabbricato.

Si riporta di seguito una tabella contenente i carichi di progetto pre-intervento (ossia ipotesi di progetto 2006-2011) e post-intervento (ossia ipotesi di progetto definitivo in appalto) per evidenziare le differenze. Si rimanda all'analisi dei carichi di cui al Capitolo 7 per maggiori dettagli.

|                                         | Stato pre-intervento<br>[daN/m <sup>2</sup> ] | Stato post-intervento<br>[daN/m <sup>2</sup> ] |
|-----------------------------------------|-----------------------------------------------|------------------------------------------------|
| <b>Solaio voltato quota 3,45m</b>       |                                               |                                                |
| Carico permanente portato               | -                                             | 600                                            |
| Carico accidentale                      | 200                                           | 200                                            |
| <b>Solaio laterocemento quota 7,05m</b> |                                               |                                                |
| Carico permanente portato               | 150                                           | 283                                            |
| Carico accidentale                      | 200                                           | 200                                            |
| <b>Solaio laterocemento sottotetto</b>  |                                               |                                                |
| Carico permanente portato               | 150                                           | 50                                             |
| Carico accidentale                      | 200                                           | 100*                                           |

\*N.B.: nella condizione di progetto definitivo, il sottotetto è chiuso al pubblico ed accessibile per sola manutenzione. Si considera comunque un carico accidentale in Categoria H maggiore di quello previsto dalle NTC2018 e pari a  $100\text{daN/m}^2$ .

## 10.3. VERIFICA LOCALI PER AZIONI STATICHE

Come visto per il modello pre-intervento, si riporta di seguito la sintesi dei risultati nei confronti delle azioni statiche ottenuti per ogni parete nella condizione post-intervento, caratterizzato dalle seguenti modifiche principali:

- Presenza del vano ascensore
- Modifica delle aperture/chiusure dei vani sulle murature portanti come da nuova distribuzione architettonica
- Rinforzo della muratura con intonaco armato
- Modifica dei carichi permanenti di progetto sul solai in latero cemento e sul solaio voltato a copertura del piano seminterrato.

Si riporta di seguito uno schema planimetrico con l'indicazione della numerazione utilizzata per le pareti nella condizione post-intervento.

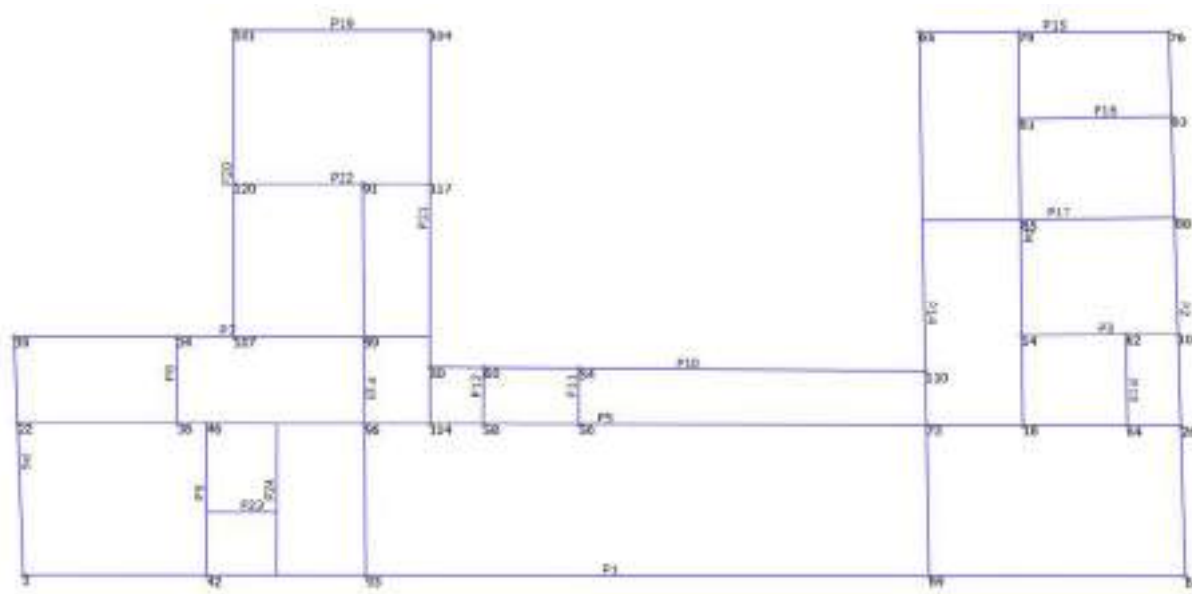


**Figura 45** – Schema planimetrico delle pareti murarie – post intervento

Si ricorda che ogni parete contiene più maschi murari, pertanto i risultati indicati rappresentano il valore peggiore tra le tre posizioni indagate (inferiore, centrale, superiore) del maschio peggiore tra tutti quelli costituenti una parete. Si osservi che il risultato di verifica viene espresso anche mediante il parametro  $\zeta_v$  che esprime il livello di sicurezza mediante rapporto capacità/domanda, per un rapido raffronto tra l'azione sopportabile dalla struttura e quella richiesta per il nuovo.

| Parete | Maschi rotti | Nd/fir Max | h0/t Max | e1/t Max | e2/t Max |
|--------|--------------|------------|----------|----------|----------|
| 6      | 1            | 1.01       | 7.12     | 9.162    | 0.073    |
| 2      | 0            | 0.37       | 7.60     | 9.109    | 0.049    |
| 3      | 0            | 0.27       | 6.67     | 9.084    | 0.033    |
| 4      | 0            | 0.43       | 7.34     | 9.168    | 0.064    |
| 5      | 0            | 0.97       | 14.72    | 9.200    | 0.086    |
| 1      | 0            | 0.75       | 7.12     | 9.211    | 0.091    |
| 7      | 0            | 0.93       | 8.90     | 9.131    | 0.053    |
| 8      | 0            | 0.57       | 8.90     | 9.273    | 0.075    |
| 9      | 0            | 0.93       | 9.50     | 9.294    | 0.075    |
| 10     | 0            | 0.75       | 8.90     | 9.161    | 0.069    |
| 11     | 0            | 0.38       | 4.75     | 9.024    | 0.024    |
| 12     | 0            | 0.43       | 9.50     | 9.047    | 0.047    |
| 13     | 0            | 0.18       | 6.33     | 9.032    | 0.032    |
| 14     | 0            | 0.86       | 8.90     | 9.189    | 0.085    |
| 15     | 0            | 0.76       | 6.12     | 9.289    | 0.098    |
| 16     | 0            | 0.51       | 6.00     | 9.030    | 0.030    |
| 17     | 0            | 0.49       | 6.00     | 9.030    | 0.030    |
| 18     | 0            | 0.48       | 8.90     | 9.044    | 0.044    |
| 19     | 0            | 0.96       | 5.93     | 9.320    | 0.104    |
| 20     | 0            | 0.95       | 7.12     | 9.036    | 0.036    |
| 21     | 0            | 0.71       | 8.90     | 9.044    | 0.044    |

Si nota come la sola Parete 6 presenta un maschio murario “rotto” anche se con un valore di  $\zeta_v$  molto prossimo all'unità. Di seguito si riporta il dettaglio della parete.

## Parete 6

Si riportano di seguito lo schema grafico della muratura con identificato in rosso il maschio o i maschi non verificati e quindi il dettaglio delle verifiche svolte.



Figura 46 – Dettaglio della parete 6 – verifiche statiche post-intervento

Anche se con un valore del parametro  $\zeta_v$  maggiore dell'unità, si ritiene il maschio murario n. 190 facente parte della Parete 6 comunque verificato in quanto il parametro  $\zeta_v$  si discosta dal valore unitario di una quantità praticamente trascurabile.

### 10.3.1. VERIFICA DEL SOLAIO VOLTATO 3,45M

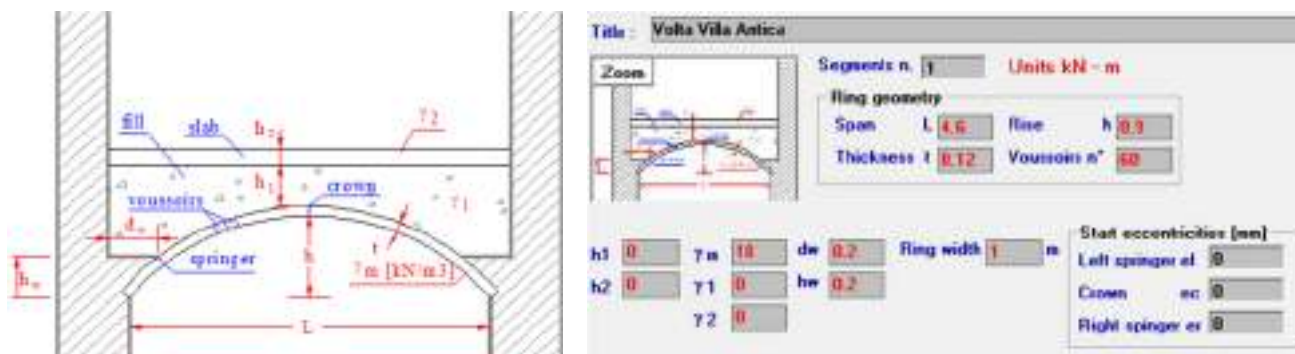
Di seguito la tabella riepilogativa dei carichi considerati in progetto sulla volta:

|                                                 |                       |
|-------------------------------------------------|-----------------------|
| Peso proprio volta sp.12cm                      | 216daN/m <sup>2</sup> |
| Carico permanente portato rinfiando medio       | 350daN/m <sup>2</sup> |
| Carico permanente massetto+sottofondo+pavimento | 250daN/m <sup>2</sup> |
| Carico accidentale                              | 200daN/m <sup>2</sup> |

Per la verifica della volta si impiega il programma di calcolo messo a disposizione gratuitamente dall' Ing. Piero Gelfi "Assessment of masonry arches and vaults" il quale, definita la geometria ed i carichi agenti, è in grado di determinare le

tensioni all'interno dell'arco e quindi le reazioni vincolari sulle reni dell'arco. Nel caso in esame, la volta a botte verrà rappresentata con un arco avente sviluppo pari a un metro.

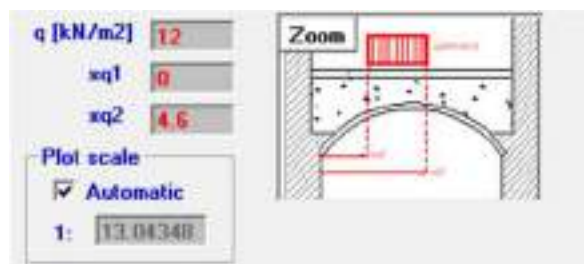
### Dati geometrici di input



### Carichi

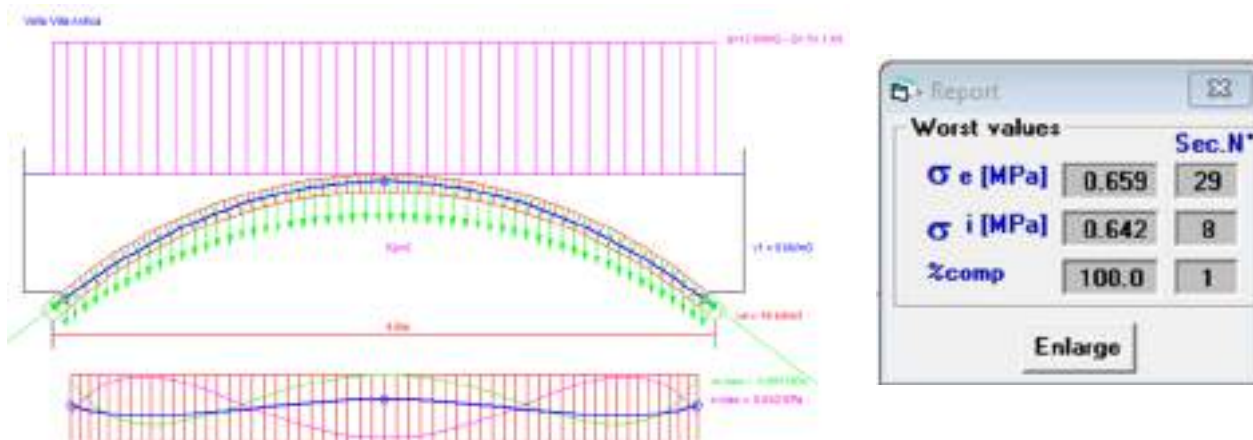
Il carico agente sulla volta, allo SLU ed al netto del peso proprio della volta stessa, è definito cautelativamente come:

$$\gamma_{G2} + G_2 + \gamma_Q \cdot Q = 1,5 \cdot 600 + 1,5 \cdot 200 = 1200 \text{ daN/m}^2$$



### Risultati

Applicati i carichi di cui sopra, ipotizzando la volta a spessore costante e pari a 12cm (rif. endoscopia “E1” dell’Allegato B)



Le massime tensioni agenti sulla volta allo SLU, sempre compressa, sono pari a circa 0,66N/mm<sup>2</sup>.

La massima sollecitazione di compressione resistente della muratura costituente la volta allo SLU, sempre in condizione LC2, è definibile a partire dai valori definiti al Paragrafo 6.1 considerando la volta realizzata con muratura di mattoni pieni e malta di calce.

$$f_{m,d} = \frac{f}{\gamma_m \cdot FC} = \frac{2,6}{3,0 \cdot 1,20} = 0,72 \text{ N/mm}^2 > 0,66 \text{ N/mm}^2 \rightarrow \text{VERIFICATO!!}$$

La volta a copertura del piano seminterrato risulta dunque verificata nei confronti dei nuovi carichi di progetto.

In fase di cantiere, sarà comunque opportuno verificare se l'intervento di consolidamento della volta in oggetto previsto nel progetto del 2006-2011 risulta eseguito o meno.

### 10.3.2. VERIFICA DEL SOLAIO IN LATERO CEMENTO QUOTA 7,05M

Se per il solaio in latero-cemento del sottotetto si ha una riduzione dei carichi sia permanenti sia accidentali tra la condizione pre-intervento, ossia lo stato di fatto, e la situazione post-intervento, ossia la condizione di progetto definitivo, il solaio in latero-cemento a quota 7,05m, a parità di peso proprio (praticamente invariato) e di carico accidentale, presenta, nella condizione posto-intervento, un aumento dei carichi permanenti.

#### Solaio 20+4cm

Di seguito la tabella riepilogativa dei carichi considerati in progetto

|                           | Stato pre-intervento<br>[daN/m²] | Stato post-intervento<br>[daN/m²] |
|---------------------------|----------------------------------|-----------------------------------|
| Peso proprio h=20+4cm     | 270                              | 280                               |
| Carico permanente portato | 150                              | 283                               |
| Carico accidentale        | 200                              | 200                               |

Il solaio in oggetto, spessore totale 24cm (20+4cm), presenta nella condizione più sfavorevole una luce di calcolo pari a 550cm in corrispondenza dell'ala ovest della Villa Antica (rif. tavola “S06\_e”, “S07\_e” e “C31\_s” di cui all'Allegato A)

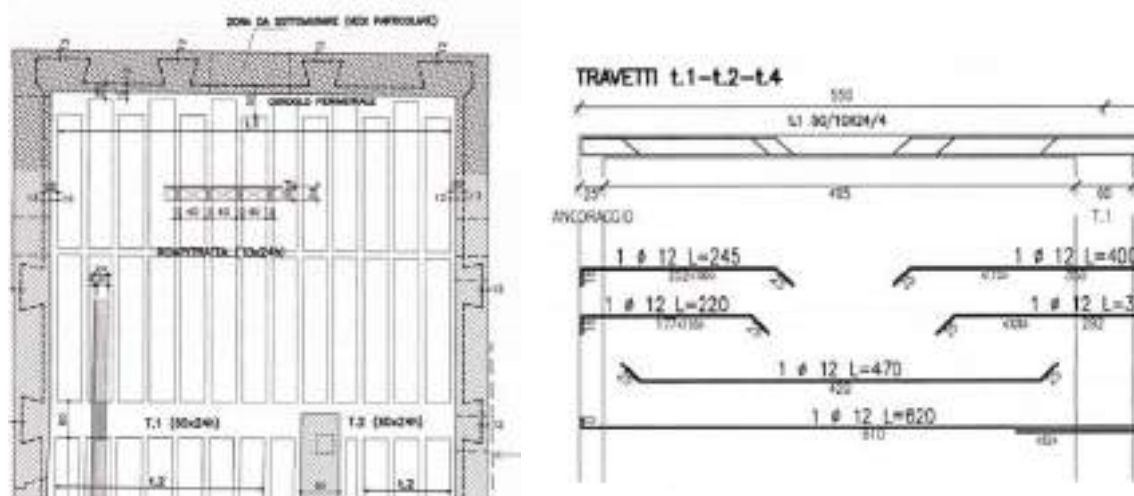
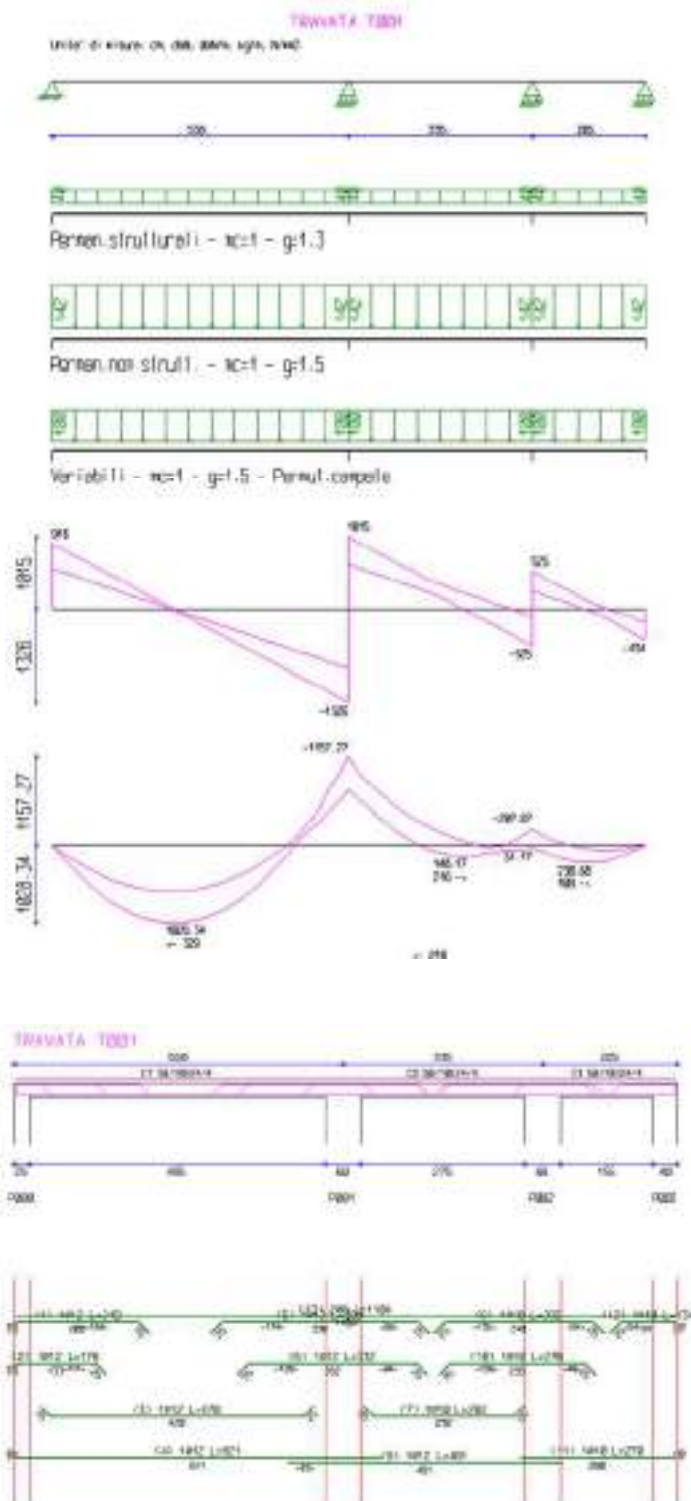


Figura 47 – Dettaglio carpenterie e armature solaio “t.1” 20+4cm – Rif. Allegato 1 - tavola “S06\_e” ed “S07\_e”

Si modella dunque il singolo travetto di solaio, con la stessa geometria ed armature definite nel progetto di cui alle tavole riportate in *Allegato A* ma con i nuovi carichi da progetto definitivo e di seguito riportati.

I materiali costituenti la struttura sono imputati come esistenti, ossia cls C20/25 e acciaio FeB44k. Data l'assenza di prove in sito sugli stessi, si considera un Livello di Conoscenza LC1 per cui un Fattore di Confidenza FC=1,35. La correttezza dei materiali impiegati è comunque certificata nella RSU del febbraio 2011 ed allegata alla Relazione B01 del presente progetto definitivo.



VERIFICA TRAVATA IN CEMENTO ARMATO

Nome travata : TRAVATA T001 (travetto)  
 Metodo di verifica : stati limite (NTC18). ->  
 Duttilita' : calcolo semplificato.  
 : struttura non dissipativa.  
 : dettagli costruttivi del capitolo 7 non attivi.  
 : dettagli costruttivi del capitolo 4 non attivi.  
 Unita' di misura : cm; daN; daN/m; kgfm; N/mm2; deform. %.  
 Unita' particolari : fessure [wk]:mm - ferri:mm e mm2 - sezioni:cm e derivate.  
 Copriferri (assi) : longitudinali= 3 ; staffe= 2

MATERIALI

CLS : Rck =25. ; fck=20.75; fctk= 1.59; fctm= 2.27; Ec= 30200.5 ;  
 gc =2.02; fcd= 8.71; fbd= 1.76; fctd= .78; Ecud=.35%  
 ACCIAIO : Feb44k; ftk=517.5 ; fyk=450. ; Es=210000. ;  
 gs =1.55; fyd=290.32; ftd(k\*fyd)=333.87; fud=329.43; Eud=6.75%

TENSIONI E FESSURE MASSIME IN ESERCIZIO

GRUPPO : ordinario.  
 CLS : ScIs(rara)=12.45; ScIs(quasi permanente)= 9.34; fbd(esercizio)= 1.76  
 ACCIAIO : Sacc(rara)=360. ; Coeff.Omogeneizzazione= 15  
 FESSURE : Wdmax(fre.)=.4 ; Wdmax(q.p.)=.3 [4.1.2.2.4.5];  
 kt=.4 [EN 1992-1 7.3.4].

<-

CONDIZIONI DI CARICO

| Nro | Descrizione        | Tipo               | Molt. | Coeff. per combinazioni |      |       |        |  |
|-----|--------------------|--------------------|-------|-------------------------|------|-------|--------|--|
|     |                    |                    | Caric | SLU                     | Rare | Freq. | Q.Per. |  |
| 1   | Perman.strutturali | senza permutazioni | 1.    | 1.3                     | 1.   | 1.    | 1.     |  |
| 2   | Perman.non strutt. | senza permutazioni | 1.    | 1.5                     | 1.   | 1.    | 1.     |  |
| 3   | Variabili          | permutaz. campate  | 1.    | 1.5                     | 1.   | .5    | .3     |  |

CARICHI APPLICATI

| Nro | Con | Camp. | Tipo              | Sistema | carico 1 | carico 2 | dist.1 | dist.2 |
|-----|-----|-------|-------------------|---------|----------|----------|--------|--------|
| 1   | 1   | 1     | Forza distribuita | Globale | -37.     | -        | -      | -      |
| 2   | 1   | 2     | Forza distribuita | Globale | -37.     | -        | -      | -      |
| 3   | 1   | 3     | Forza distribuita | Globale | -37.     | -        | -      | -      |
| 4   | 3   | 1     | Forza distribuita | Globale | -100.    | -        | -      | -      |
| 5   | 3   | 2     | Forza distribuita | Globale | -100.    | -        | -      | -      |
| 6   | 3   | 3     | Forza distribuita | Globale | -100.    | -        | -      | -      |
| 7   | 2   | 1     | Forza distribuita | Globale | -142.    | -        | -      | -      |
| 8   | 2   | 2     | Forza distribuita | Globale | -142.    | -        | -      | -      |
| 9   | 2   | 3     | Forza distribuita | Globale | -142.    | -        | -      | -      |

SEZIONI UTILIZZATE

3) Sezione a T : 50/10X24/4; A=400.; Jg=21333.; E=30200.49

DESCRIZIONE CAMPATE

| Cam. | Descriz. | S.ini | Sez. | S.fin | Incl. | L.assi | L.net. | lambda | K   | r.Ar. | lam.max |
|------|----------|-------|------|-------|-------|--------|--------|--------|-----|-------|---------|
| 1    | C1       |       | 3    | 3     | 0     | 538.   | 495.   | 22.396 | 1.3 | 1.73  | 37.003  |
| 2    | C2       |       | 3    | 3     | 0     | 335.   | 275.   | 13.958 | 1.5 | 5.    | 127.177 |
| 3    | C3       |       | 3    | 3     | 0     | 205.   | 155.   | 8.542  | 1.3 | 3.226 | 83.645  |

VERIFICHE ALLO STATO LIMITE ULTIMO

FLESSIONE:

| Progressive | SE   | Ar | Msd      | Epscl  | Epsac | Mrd      | Epscl  | Epsac | Cam | x/d  | Mr/Ms | VE  |
|-------------|------|----|----------|--------|-------|----------|--------|-------|-----|------|-------|-----|
| > 0.        | 0.   | 3. | 0.       | 0.     | 0.    | -1263.88 | -.35   | 1.146 | 3.  | .234 | ***   | SI  |
| 208.        | 208. | 3. | 1018.9   | !-.03  | .094  | 1762.38  | !-.35  | 5.728 | 3.  | .058 | 1.73  | !SI |
| 449.        | 449. | 3. | -127.16  | !-.007 | .012  | -2128.14 | !-.35  | 1.893 | 3.  | .156 | 16.74 | !SI |
| 538.        | 538. | 3. | -1146.45 | !-.064 | .113  | -2128.14 | !-.35  | 1.893 | 3.  | .156 | 1.856 | !SI |
| > 538.      | 0.   | 3. | -1146.45 | !-.064 | .113  | -2128.14 | !-.35  | 1.893 | 3.  | .156 | 1.856 | !SI |
| 689.        | 151. | 3. | 73.45    | !-.002 | .008  | 1558.25  | !-.317 | 6.75  | 2.  | .045 | 21.22 | !SI |
| 754.        | 216. | 3. | -28.45   | !-.002 | .003  | -1760.27 | !-.35  | 2.093 | 3.  | .143 | 61.88 | !SI |
| 754.        | 216. | 3. | 147.48   | !-.004 | .016  | 1550.5   | !-.35  | 3.122 | 3.  | .101 | 10.51 | !SI |
| 833.        | 296. | 3. | -29.88   | !-.002 | .003  | -1723.7  | !-.35  | 1.415 | 3.  | .198 | 57.69 | !SI |
| 872.        | 335. | 3. | -206.97  | !-.012 | .023  | -1760.27 | !-.35  | 2.093 | 3.  | .143 | 8.505 | !SI |
| 872.        | 335. | 3. | 52.07    | !-.001 | .006  | 1550.5   | !-.35  | 3.122 | 3.  | .101 | 29.78 | !SI |
| > 872.      | 0.   | 3. | -206.97  | !-.012 | .023  | -1760.27 | !-.35  | 2.093 | 3.  | .143 | 8.505 | !SI |
| 872.        | 0.   | 3. | 52.07    | !-.001 | .006  | 1550.5   | !-.35  | 3.122 | 3.  | .101 | 29.78 | !SI |
| 882.        | 9.   | 3. | -158.7   | !-.011 | .018  | -1688.19 | !-.35  | 1.094 | 3.  | .242 | 10.64 | !SI |
| 926.        | 54.  | 3. | -20.01   | !-.001 | .002  | -1688.19 | !-.35  | 1.094 | 3.  | .242 | 84.35 | !SI |
| 953.        | 81.  | 3. | 222.2    | !-.007 | .052  | 838.8    | !-.206 | 6.75  | 2.  | .03  | 3.775 | !SI |
| 980.        | 108. | 3. | 229.03   | !-.007 | .054  | 738.75   | 0.     | 6.75  | 2.  | .191 | 3.226 | !SI |
| 1078.       | 205. | 3. | 0.       | 0.     | 0.    | -1327.77 | !-.35  | 1.973 | 3.  | .151 | ***   | !SI |

TAGLIO:

| Progressive | Se   | Vsd    | VRd   | Ve    |
|-------------|------|--------|-------|-------|
| > 0.        | 0.   | 908.   | 930.  | SI    |
| 508.        | 508. | -1191. | 1174. | NO 18 |
| 518.        | 518. | -1233. | 1174. | NO 18 |
| 528.        | 528. | -1275. | 1174. | NO 18 |
| 538.        | 538. | -1314. | 1174. | NO 18 |
| > 538.      | 0.   | 1006.  | 1174. | SI    |
| 872.        | 335. | -521.  | 930.  | SI    |
| > 872.      | 0.   | 520.   | 930.  | SI    |
| 1078.       | 205. | -431.  | 930.  | SI    |

ARMATURE LONGITUDINALI (%=100\*Af/Acls - Acls=area intera sezione)

| Nro | Totale | %     | Super. | %    | Barre           | Infer. | %    | Barre      |
|-----|--------|-------|--------|------|-----------------|--------|------|------------|
| 1   | 339.   | .848  | 226.   | .565 | 1d12 +1d12      | 113.   | .283 | 1d12       |
| 2   | 440.   | 1.1   | 327.   | .817 | 1d12 +1d12 +2d8 | 113.   | .283 | 1d12       |
| 3   | 553.   | 1.382 | 327.   | .817 | 1d12 +1d12 +2d8 | 226.   | .565 | 1d12 +1d12 |
| 4   | 440.   | 1.1   | 214.   | .534 | 1d12 +2d8       | 226.   | .565 | 1d12 +1d12 |
| 5   | 327.   | .817  | 101.   | .251 | 2d8             | 226.   | .565 | 1d12 +1d12 |
| 6   | 518.   | 1.296 | 327.   | .817 | 1d12 +1d12 +2d8 | 192.   | .479 | 1d10 +1d12 |
| 7   | 292.   | .73   | 101.   | .251 | 2d8             | 192.   | .479 | 1d10 +1d12 |
| 8   | 449.   | 1.123 | 258.   | .644 | 1d10 +1d10 +2d8 | 192.   | .479 | 1d10 +1d12 |
| 9   | 371.   | .927  | 258.   | .644 | 1d10 +1d10 +2d8 | 113.   | .283 | 1d12       |
| 10  | 449.   | 1.123 | 258.   | .644 | 1d10 +1d10 +2d8 | 192.   | .479 | 1d12 +1d10 |
| 11  | 336.   | .84   | 258.   | .644 | 1d10 +1d10 +2d8 | 79.    | .196 | 1d10       |
| 12  | 258.   | .644  | 179.   | .448 | 1d10 +2d8       | 79.    | .196 | 1d10       |
| 13  | 179.   | .448  | 101.   | .251 | 2d8             | 79.    | .196 | 1d10       |

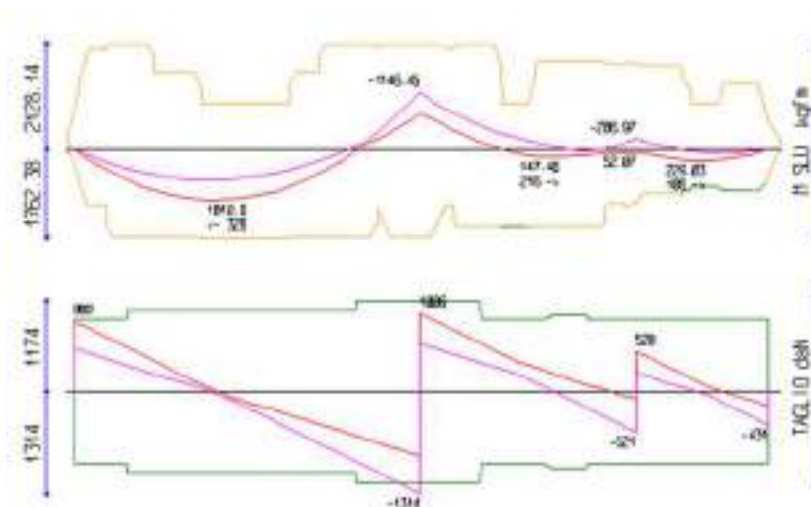
MESSAGGI

18) Verifica a taglio per elementi senza armature trasversali non soddisfatta - Vsd > VRd [NTC18 4.1.2.3.5.1].

Nel listato sopra riportato si evidenziano in grassetto i coefficienti sui materiali “gc” e “gs” definiti tenendo conto del fattore di confidenza nel seguente modo:

$$g_M = \gamma_M \cdot FC$$

Sempre nel listato, sono evidenziati in rosso i punti in cui non viene rispettata la verifica allo SLU per taglio sui travetti ma questo non è significativo in quanto il punto di non verifica è in corrispondenza della trave di solaio T1 riportata in *Figura 47* la quale si fa carico del taglio agente.



Dato che le verifiche allo SLU ed allo SLE risultano superate, il solaio 20+4cm è verificato per i nuovi carichi di progetto.

## Solaio 22+4cm

Di seguito la tabella riepilogativa dei carichi considerati in progetto

|                           | Stato pre-intervento<br>[daN/m <sup>2</sup> ] | Stato post-intervento<br>[daN/m <sup>2</sup> ] |
|---------------------------|-----------------------------------------------|------------------------------------------------|
| Peso proprio h=22+4cm     | 270                                           | 300                                            |
| Carico permanente portato | 150                                           | 283                                            |
| Carico accidentale        | 200                                           | 200                                            |

Il solaio in oggetto, spessore totale 26cm (22+4cm), presenta nella condizione più sfavorevole una luce di calcolo pari a 630cm in corrispondenza dell’ala est della Villa Antica (rif. tavola “S06\_e”, “S07\_e” e “C31\_s” di cui all’Allegato A).

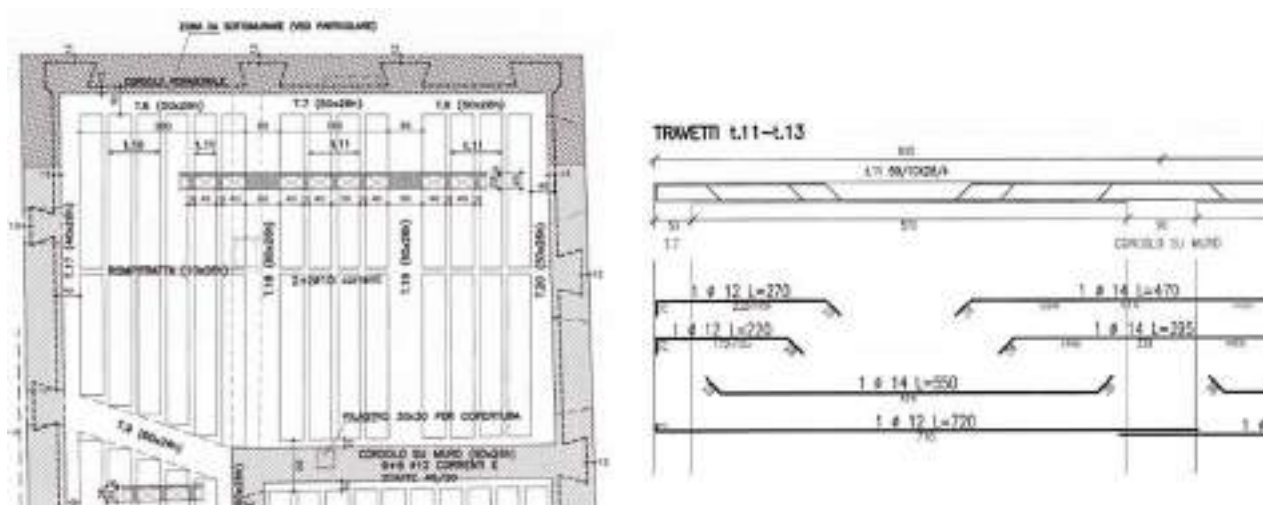
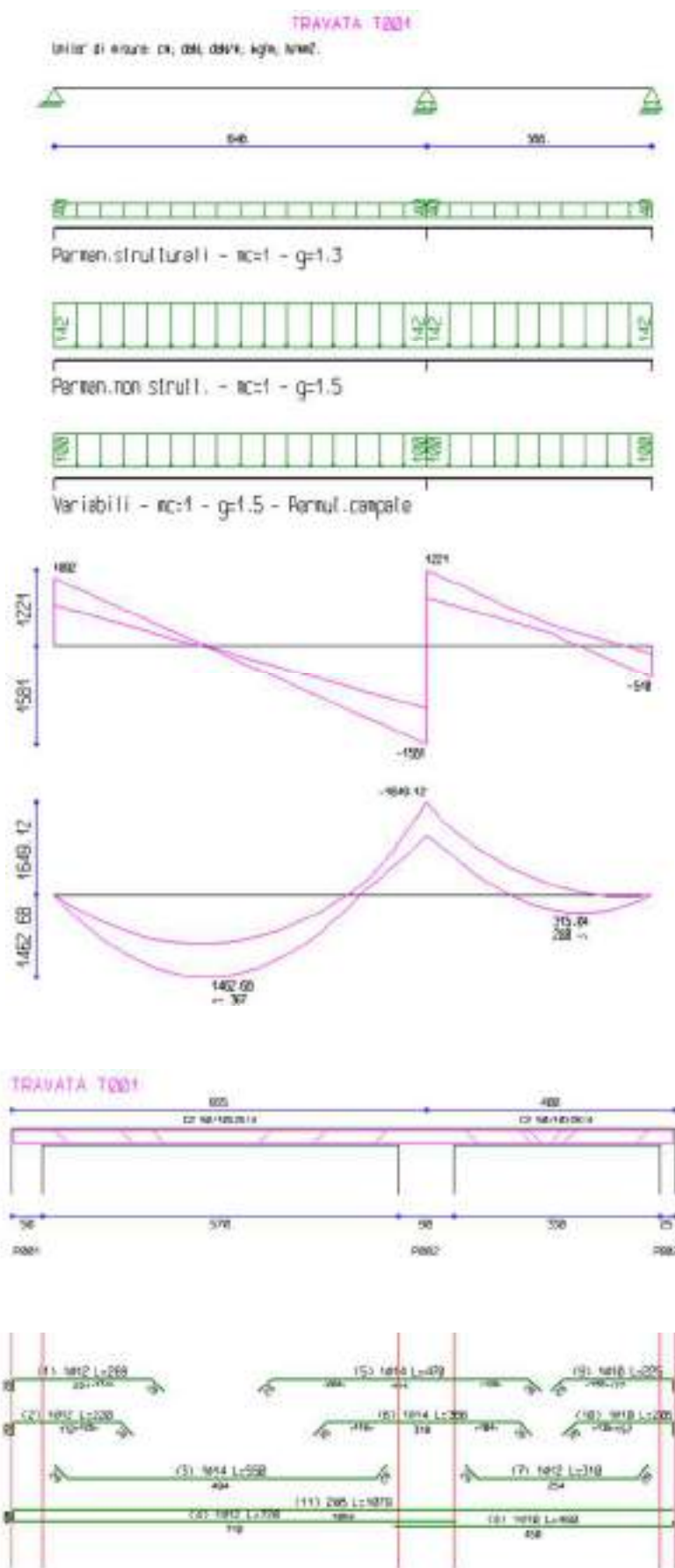


**Figura 48** – Dettaglio carpenterie e armature solaio “t.11” 22+4cm – Rif. Allegato 1 - tavola “S06\_e” ed “S07\_e”

Anche in questo caso, si modella dunque il singolo travetto di solaio, con la stessa geometria ed armature definite nel progetto di cui alle tavole riportate in *Allegato A* ma con i nuovi carichi da progetto definitivo e di seguito riportati.

I materiali costituenti la struttura sono imputati come esistenti, ossia cls C20/25 e acciaio FeB44k. Data l’assenza di prove in sito sugli stessi, si considera un Livello di Conoscenza LC1 per cui un Fattore di Confidenza FC=1,35. La correttezza dei materiali impiegati è comunque certificata nella RSU del febbraio 2011 ed allegata alla Relazione B01 del presente progetto definitivo.



VERIFICA TRAVATA IN CEMENTO ARMATO

Nome travata : TRAVATA T001 (travetto)  
 Metodo di verifica : stati limite (NTC18). ->  
 Duttilita' : calcolo semplificato.  
 : struttura non dissipativa.  
 : dettagli costruttivi del capitolo 7 non attivi.  
 : dettagli costruttivi del capitolo 4 non attivi.  
 Unita' di misura : cm; daN; daN/m; kgfm; N/mm2; deform. %.  
 Unita' particolari : fessure [wk]:mm - ferri:mm e mm2 - sezioni:cm e derivate.  
 Copriferri (assi) : longitudinali= 3 ; staffe= 2

MATERIALI

CLS : Rck =25. ; fck=20.75; fctk= 1.59; fctm= 2.27; Ec= 30200.5 ;  
 gc =2.02; fcd= 8.71; fbd= 1.76; fctd= .78; Ecd=.35%  
 ACCIAIO : Feb44k; ftk=517.5 ; fyk=450. ; Es=210000. ;  
 gs =1.55; fyd=290.32; ftd(k\*fyd)=333.87; fud=329.43; Eud=6.75%

TENSIONI E FESSURE MASSIME IN ESERCIZIO

GRUPPO : ordinario.  
 CLS : ScIs(rara)=12.45; ScIs(quasi permanente)= 9.34; fbd(esercizio)= 1.76  
 ACCIAIO : Sacc(rara)=360. ; Coeff.Omogeneizzazione= 15  
 FESSURE : Wdmax(fre.)=.4 ; Wdmax(q.p.)=.3 [4.1.2.2.4.5];  
 kt=.4 [EN 1992-1 7.3.4].

<-

CONDIZIONI DI CARICO

| Nro | Descrizione        | Tipo               | Molt. Coeff. per combinazioni |     |      |       |        |
|-----|--------------------|--------------------|-------------------------------|-----|------|-------|--------|
|     |                    |                    | Caric                         | SLU | Rare | Freq. | Q.Per. |
| 1   | Perman.strutturali | senza permutazioni | 1.                            | 1.3 | 1.   | 1.    | 1.     |
| 2   | Perman.non strutt. | senza permutazioni | 1.                            | 1.5 | 1.   | 1.    | 1.     |
| 3   | Variabili          | permutaz. campate  | 1.                            | 1.5 | 1.   | .5    | .3     |

CARICHI APPLICATI

| Nro | Con | Camp. | Tipo              | Sistema | carico 1 | carico 2 | dist.1 | dist.2 |
|-----|-----|-------|-------------------|---------|----------|----------|--------|--------|
| 1   | 1   | 1     | Forza distribuita | Globale | -40.     | -        | -      | -      |
| 2   | 3   | 1     | Forza distribuita | Globale | -100.    | -        | -      | -      |
| 3   | 2   | 1     | Forza distribuita | Globale | -142.    | -        | -      | -      |
| 4   | 1   | 2     | Forza distribuita | Globale | -40.     | -        | -      | -      |
| 5   | 2   | 2     | Forza distribuita | Globale | -142.    | -        | -      | -      |
| 6   | 3   | 2     | Forza distribuita | Globale | -100.    | -        | -      | -      |

SEZIONI UTILIZZATE

3) Sezione a T : 50/10X26/4; A=420.; Jg=26845.; E=30200.49

DESCRIZIONE CAMPATE

| Cam. | Descriz. | S.ini | Sez. | S.fin | Incl. | L.assi | L.net. | lambda | K   | r.Ar. | lam.max |
|------|----------|-------|------|-------|-------|--------|--------|--------|-----|-------|---------|
| 1    | C2       | 3     | 3    | 3     | 0     | 640.   | 570.   | 24.615 | 1.3 | 1.261 | 26.511  |
| 2    | C2       | 3     | 3    | 3     | 0     | 388.   | 330.   | 14.904 | 1.3 | 4.362 | 97.499  |

VERIFICHE ALLO STATO LIMITE ULTIMO

FLESSIONE:

| Progressive | SE   | Ar | Msd | Epscl    | Epsac | Mrd      | Epscl    | Epsac | Cam   | x/d  | Mr/Ms | VE     |    |
|-------------|------|----|-----|----------|-------|----------|----------|-------|-------|------|-------|--------|----|
| > 0.        | 0.   | 3. | 1.  | 0.       | 0.    | -1905.95 | -.35     | .554  | 3.    | .387 | ***   | SI     |    |
| 10.         | 10.  | 3. | 1.  | 112.97   | -.005 | .022     | 882.51   | -.35  | 2.916 | 3.   | .107  | 17.812 | SI |
| 236.        | 236. | 3. | 4.  | 1449.21  | -.052 | .121     | 1844.27  | -.35  | 2.723 | 3.   | .114  | 1.273  | SI |
| 273.        | 273. | 3. | 4.  | 1462.68  | -.053 | .122     | 1844.27  | -.35  | 2.723 | 3.   | .114  | 1.261  | SI |
| 532.        | 532. | 3. | 6.  | -189.05  | -.011 | .011     | -2479.47 | -.35  | .97   | 3.   | .265  | 13.12  | SI |
| 569.        | 569. | 3. | 7.  | -611.36  | -.045 | .037     | -2244.27 | -.35  | .309  | 3.   | .531  | 3.671  | SI |
| 640.        | 640. | 3. | 8.  | -1649.12 | -.114 | .098     | -2388.26 | -.35  | .54   | 3.   | .393  | 1.448  | SI |
| > 640.      | 0.   | 3. | 8.  | -1649.12 | -.114 | .098     | -2388.26 | -.35  | .54   | 3.   | .393  | 1.448  | SI |
| 668.        | 28.  | 3. | 9.  | -1320.64 | -.115 | -.09     | -2162.88 | -.35  | -.273 | 4.   | .592  | 1.638  | SI |
| 885.        | 245. | 3. | 11  | 311.44   | -.011 | .036     | 1374.19  | -.35  | 2.785 | 3.   | .112  | 4.412  | SI |
| 920.        | 280. | 3. | 11  | -21.6    | -.002 | .002     | -1603.39 | -.35  | 1.466 | 3.   | .193  | 74.23  | SI |
| 920.        | 280. | 3. | 11  | 315.04   | -.011 | .036     | 1374.19  | -.35  | 2.785 | 3.   | .112  | 4.362  | SI |
| 989.        | 349. | 3. | 12  | 168.92   | -.009 | .047     | 662.64   | -.35  | 3.142 | 3.   | .1    | 3.923  | SI |
| 1028.       | 388. | 3. | 13  | 0.       | 0.    | 0.       | -994.38  | -.35  | 1.545 | 3.   | .185  | ***    | SI |

TAGLIO:

| Progressive | Se   | Vsd | VRd    | Ve    |       |
|-------------|------|-----|--------|-------|-------|
| > 0.        | 0.   | 3.  | 1092.  | 985.  | NO 18 |
| 10.         | 10.  | 3.  | 1049.  | 985.  | NO 18 |
| 25.         | 25.  | 3.  | 988.   | 985.  | NO 18 |
| 585.        | 585. | 3.  | -1351. | 1315. | NO 18 |
| 595.        | 595. | 3.  | -1394. | 1315. | NO 18 |
| 612.        | 612. | 3.  | -1466. | 1315. | NO 18 |
| 630.        | 630. | 3.  | -1538. | 1315. | NO 18 |
| 640.        | 640. | 3.  | -1581. | 1315. | NO 18 |

> 640. | 0. | 3. | 1221. | 1315. | SI |  
1028. | 388. | 3. | -510. | 985. | SI |

ARMATURE LONGITUDINALI (%=100\*Af/Acls - Acls=area intera sezione)

| Nro | Totale | %     | Super. | %    | Barre           | Infer. | %    | Barre      |
|-----|--------|-------|--------|------|-----------------|--------|------|------------|
| 1   | 440.   | 1.047 | 327.   | .778 | 1d12 +1d12 +2d8 | 113.   | .269 | 1d12       |
| 2   | 594.   | 1.414 | 327.   | .778 | 1d12 +1d12 +2d8 | 267.   | .636 | 1d14 +1d12 |
| 3   | 481.   | 1.144 | 214.   | .509 | 1d12 +2d8       | 267.   | .636 | 1d14 +1d12 |
| 4   | 368.   | .875  | 101.   | .239 | 2d8             | 267.   | .636 | 1d14 +1d12 |
| 5   | 522.   | 1.242 | 254.   | .606 | 1d14 +2d8       | 267.   | .636 | 1d14 +1d12 |
| 6   | 675.   | 1.608 | 408.   | .972 | 1d14 +1d14 +2d8 | 267.   | .636 | 1d14 +1d12 |
| 7   | 522.   | 1.242 | 408.   | .972 | 1d14 +1d14 +2d8 | 113.   | .269 | 1d12       |
| 8   | 600.   | 1.429 | 408.   | .972 | 1d14 +1d14 +2d8 | 192.   | .456 | 1d12 +1d10 |
| 9   | 487.   | 1.159 | 408.   | .972 | 1d14 +1d14 +2d8 | 79.    | .187 | 1d10       |
| 10  | 292.   | .696  | 101.   | .239 | 2d8             | 192.   | .456 | 1d12 +1d10 |
| 11  | 449.   | 1.07  | 258.   | .613 | 1d10 +1d10 +2d8 | 192.   | .456 | 1d12 +1d10 |
| 12  | 336.   | .8    | 258.   | .613 | 1d10 +1d10 +2d8 | 79.    | .187 | 1d10       |
| 13  | 236.   | .561  | 157.   | .374 | 1d10 +1d10      | 79.    | .187 | 1d10       |

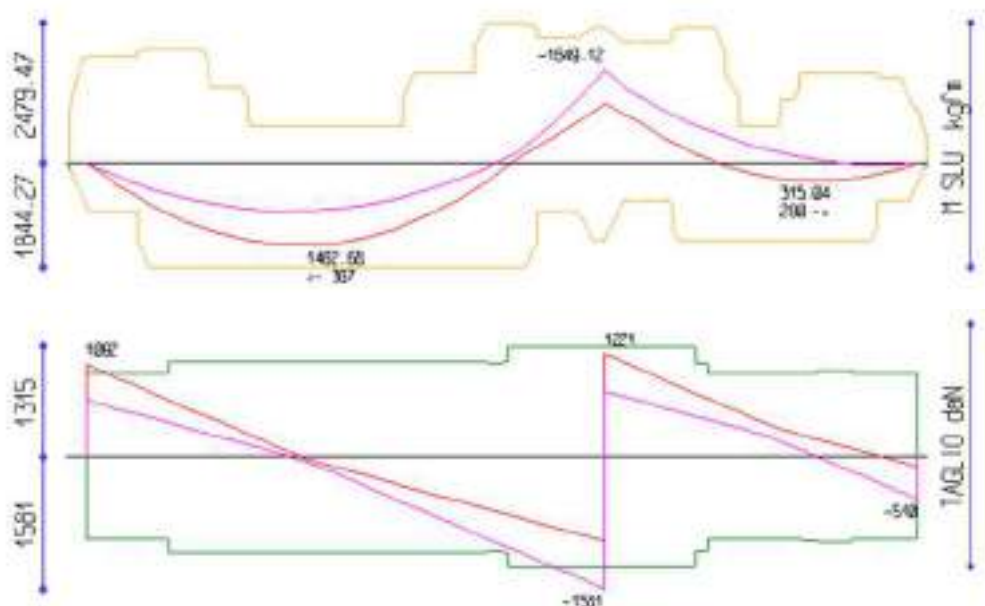
MESSAGGI

18) Verifica a taglio per elementi senza armature trasversali non soddisfatta -  $V_{sd} > V_{Rd}$  [NTC18 4.1.2.3.5.1].

Nel listato sopra riportato si evidenziano in grassetto i coefficienti sui materiali “gc” e “gs” definiti tenendo conto del fattore di confidenza nel seguente modo:

$$g_M = \gamma_M \cdot FC$$

Sempre nel listato, sono evidenziati in rosso i punti in cui non viene rispettata la verifica allo SLU per taglio sui travetti ma questi non sono significativi in quanto entrambi i punti di non verifica sono in corrispondenza dell'appoggio sulla muratura e sulla trave intermedia, i quali si fanno carico del taglio agente.



Dato che le verifiche allo SLU ed allo SLE risultano superate, il solaio 22+4cm è verificato per i nuovi carichi di progetto.



SLC →  $\xi_E = 1,170$  (asse Y – analisi 24)

SLV →  $\xi_E = 1,124$  (asse Y – analisi 24)

SLD →  $\xi_E = 1,205$  (asse Y – analisi 24)

SLO →  $\xi_E = 0,991$  (asse Y – analisi 24)

Si considera cautelativamente il grado di vulnerabilità sismica della struttura post intervento, pari a:

$$PGAc/PGAd = 1,124$$

#### 10.4.1. VERIFICA SISMICA DEL NUOVO VANO ASCENSORE

Per la verifica del vano ascensore, si rimanda alla Relazione B03a sulla quale è riportata la verifica statica e dinamica dello stesso, considerato come rigidamente collegato agli orizzontamenti della Villa Antica.

## 11. CONCLUSIONI

Di seguito si riporta il riassunto degli indici di sicurezza ottenuti e quindi alcune considerazioni sui risultati più significativi delle verifiche di calcolo svolte.

|                                              | Analisi pre-intervento | Analisi post-intervento |
|----------------------------------------------|------------------------|-------------------------|
| Verifica statica per azioni locali - $\xi_v$ | 1,53                   | 1,01                    |
| Analisi cinematici locali - $\xi_{E,loc}$    | Non rilevanti          | Non presenti            |
| Analisi statica globale (SLV) - $\xi_E$      | 0,979                  | 1,124                   |

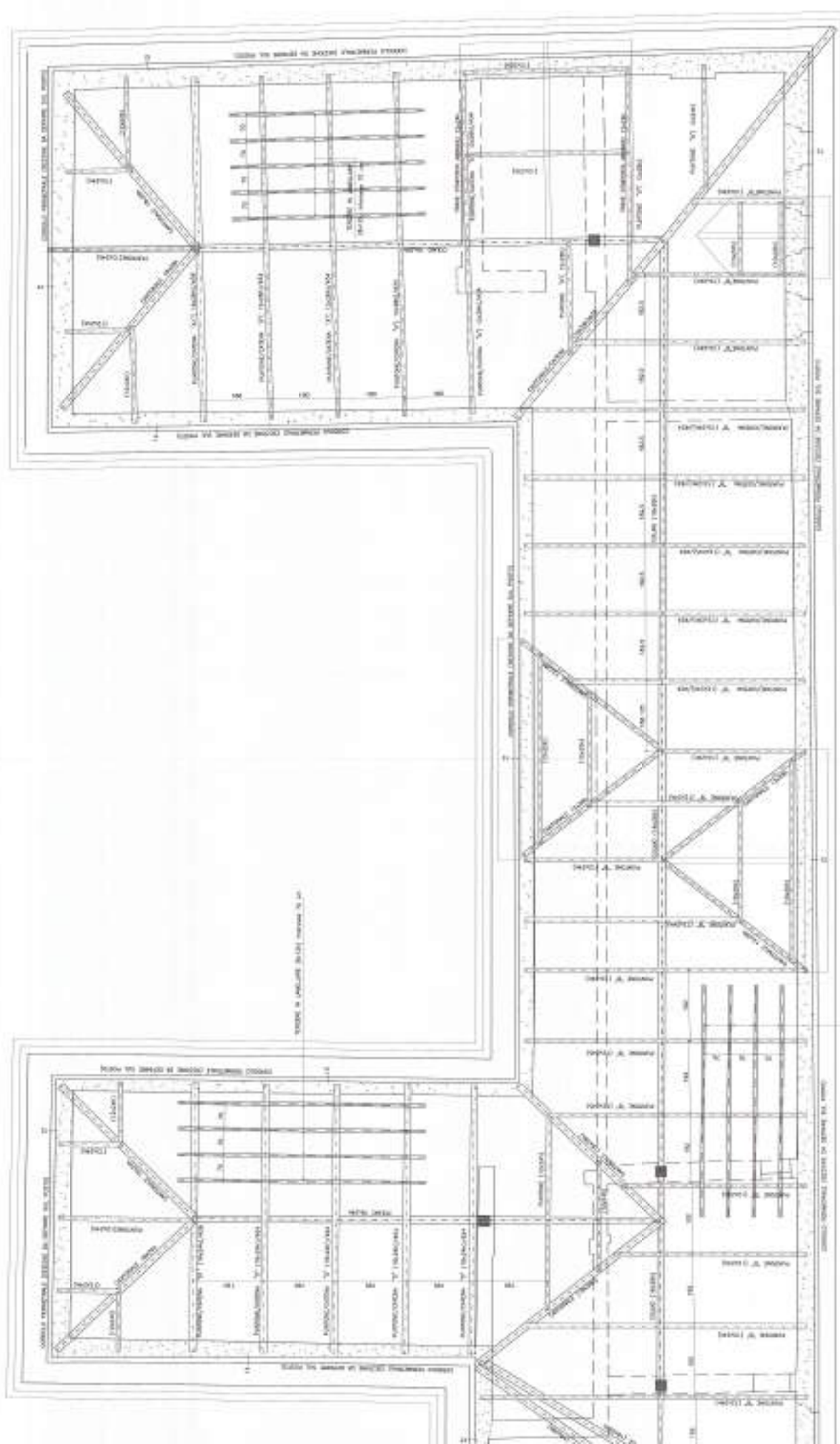
La struttura nello stato di fatto ha un livello di sicurezza stimato allo SLV  $\xi_{E-PRE} = 0,979$ .

Per i beni tutelati è sufficiente raggiungere un  $\xi_E > 0,6$ . Tale valore limite è stato già raggiunto nella condizione pre-intervento ma, data la presenza di alcune criticità statiche, è stato comunque necessario procedere ad un intervento di rinforzo locale come descritto al Paragrafo precedente livello di sicurezza stimato allo SLV  $\xi_{E-PRE} = 0,979$ .


 Arch. Paolo Giorda  
 MCM Ingegneria s.r.l.

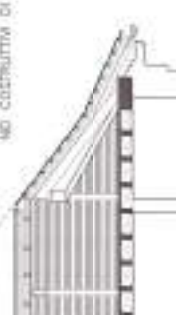
# **ALLEGATO A**

ESTRATTI TAVOLE DI PROGETTO RELATIVE AL CANTIERE  
CONCLUSO NEL 2011



PIANTA DELLA COPERTURA 1:50

N.B. TUTTI I DETTAGLI ESEGUITI SARANNO REDOTTI  
NO COSTRUTTIVI DI OFFICINA A CURA DELL'IMPRESA



**MATERIALI**  
-ACCIAIO - SECONDO R  
-ACCIAIO TEO FA SIO  
-TRALUNE CON VITE R  
-SALVATORE T. GLASS  
-LEGNO - SECONDO R  
-LEGNO LARICINE IN  
-LEGNO MISTOCCO D

REGIONE DEL  
-CITTA DI R

**VILLA M**

PROGETTO DI R  
RISTRUTTURAZIONE  
E AMPLIA  
CON DESTINAZIONE

**PROG**  
C/OSSISTENTE  
VILLA M  
C/OSSISTENTE  
PROGETTO  
Studio  
Studio

**COORDINATI**  
S. E. Regia  
S. E. Regia  
S. E. Regia  
S. E. Regia

**VILLA ANTICA - INTERIORS**

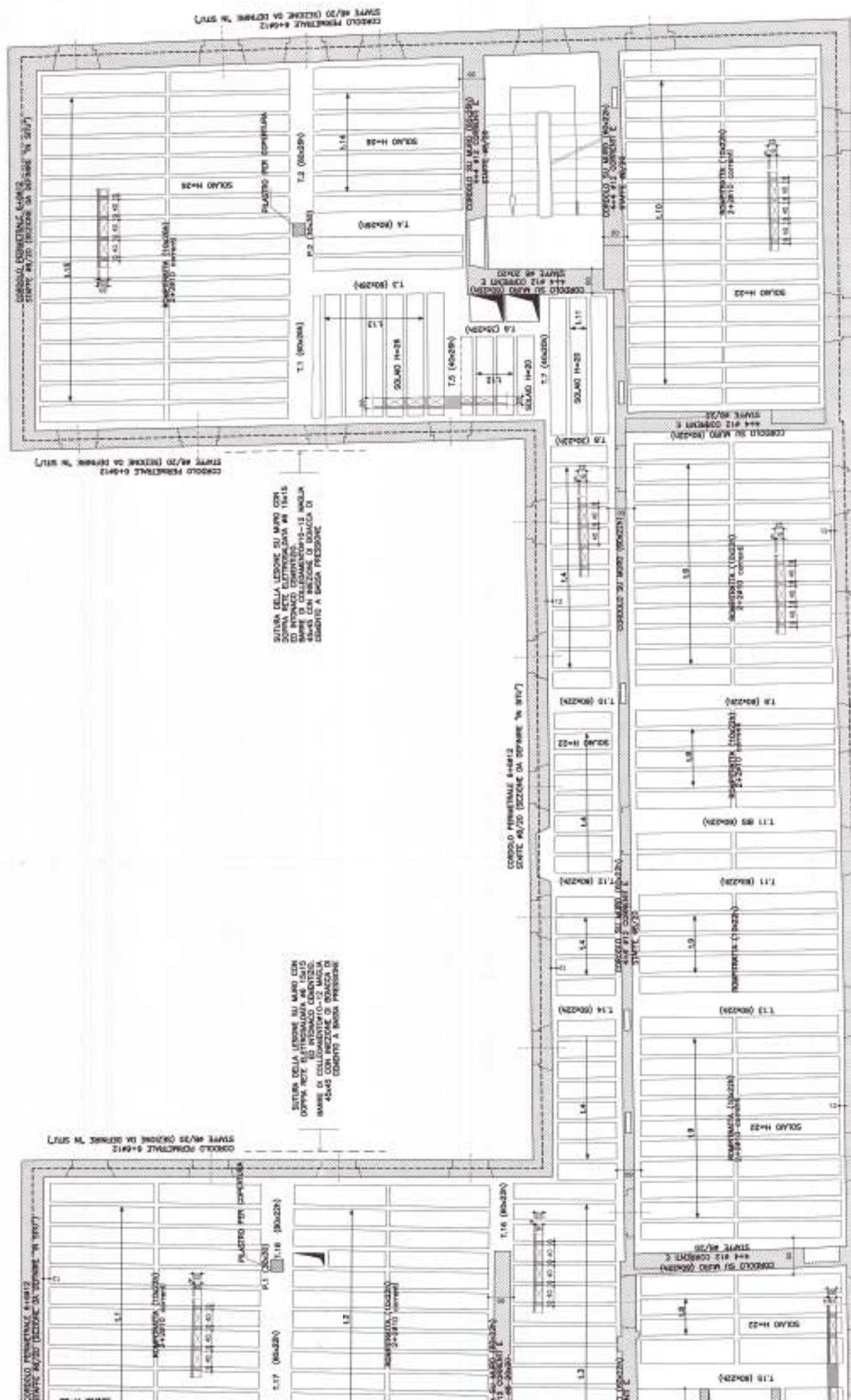
**MAP** **SDS/E** **SCALA**

Disegnato da: Ing. Sergio Vignati

Disegnato da: Ing. Sergio Vignati

Disegnato da: Ing. Sergio Vignati

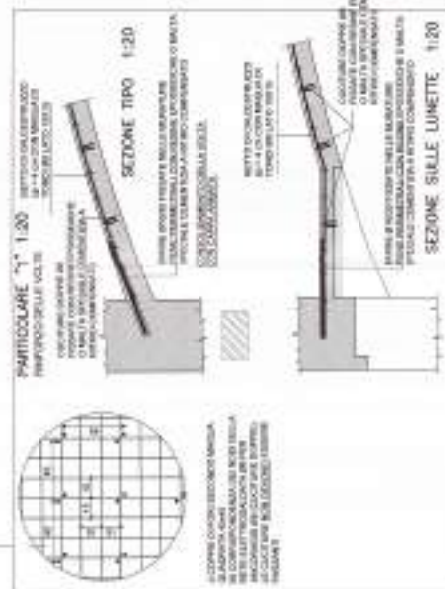
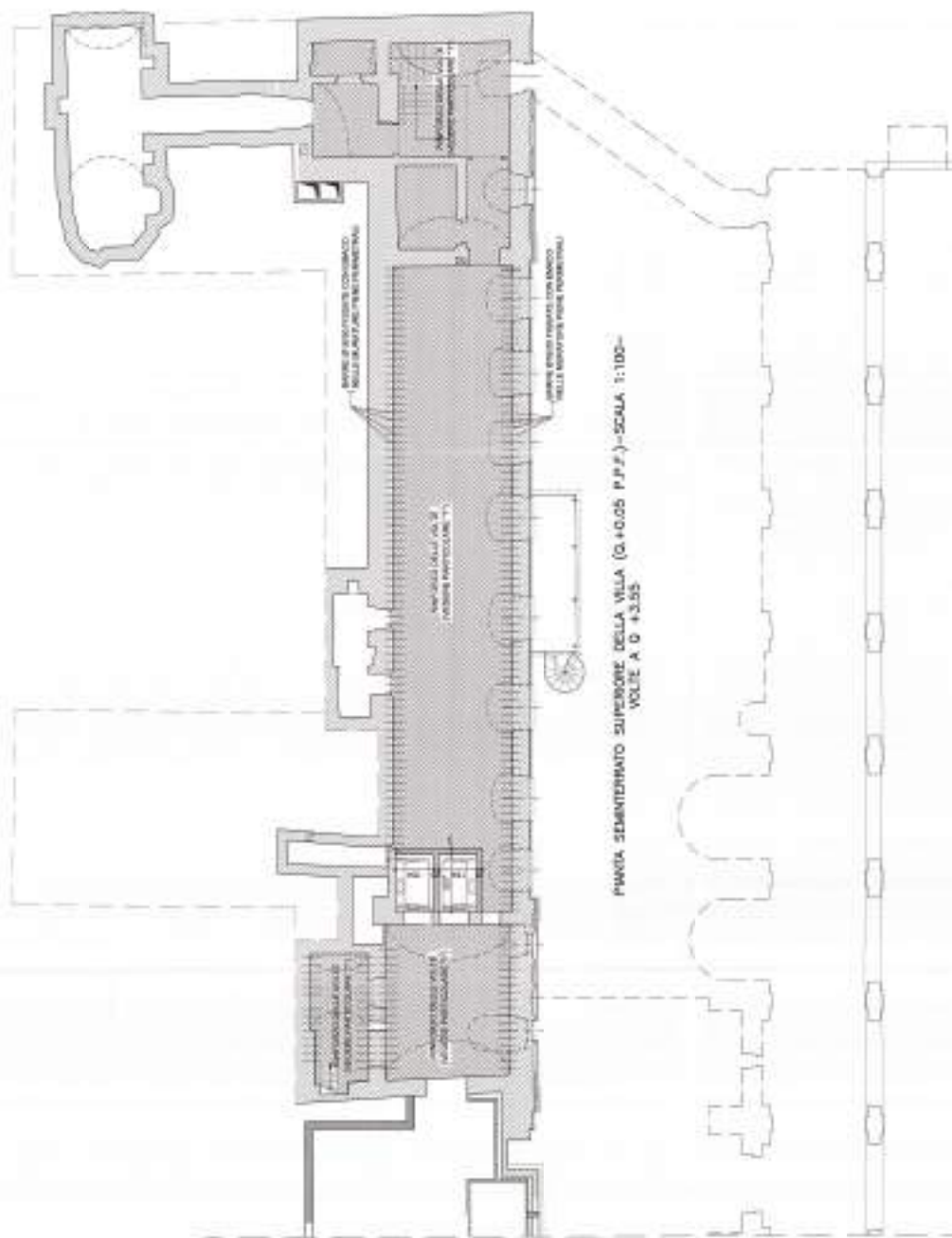
Disegnato da: Ing. Sergio Vignati











- CITTÀ DI RIVOLI -

## VILLA MELANO

PROGETTO DI RESTAURO,  
RIFUNZIONALIZZAZIONE FUNZIONALE  
E AMPLIAMENTO  
CON DESTINAZIONE AD ALBERGO

PROGETTO ESECUTIVO

COMITTEE: VILLA MELANO S.p.A.

© 2004 Blackwell Publishing Ltd, *Journal of Internal Medicine* 255: 103–110

Studio architetto Gianfranco Grimaldi &amp; Associati

A. Gaudenzi Gradiola, with Carlo-Franzini

1000

1.1. Engineering Services (Eng. Service Bureau)

© 2004 Blackwell Publishing Ltd  
Journal of Internal Medicine 255: 103–110

© 2011 Blackwell Publishing Ltd *Journal of Internal Medicine* 270: 103–111

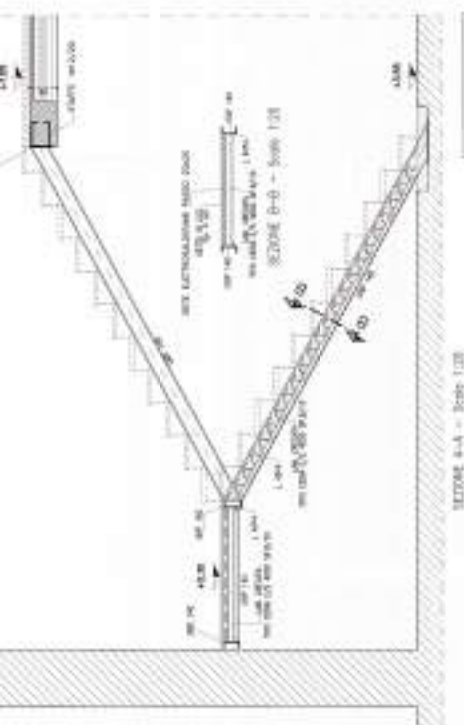
VILLA ANTICA - INTERVENTI SULLE VOLTE A C. +3.55

[illegible]

|       |          |
|-------|----------|
| Scale | 1/100-20 |
|-------|----------|

*Stomoxys calcitrans* (L.) (Diptera: Stomoxysidae), with *Zabrotes* *Stenobothrus*

1000



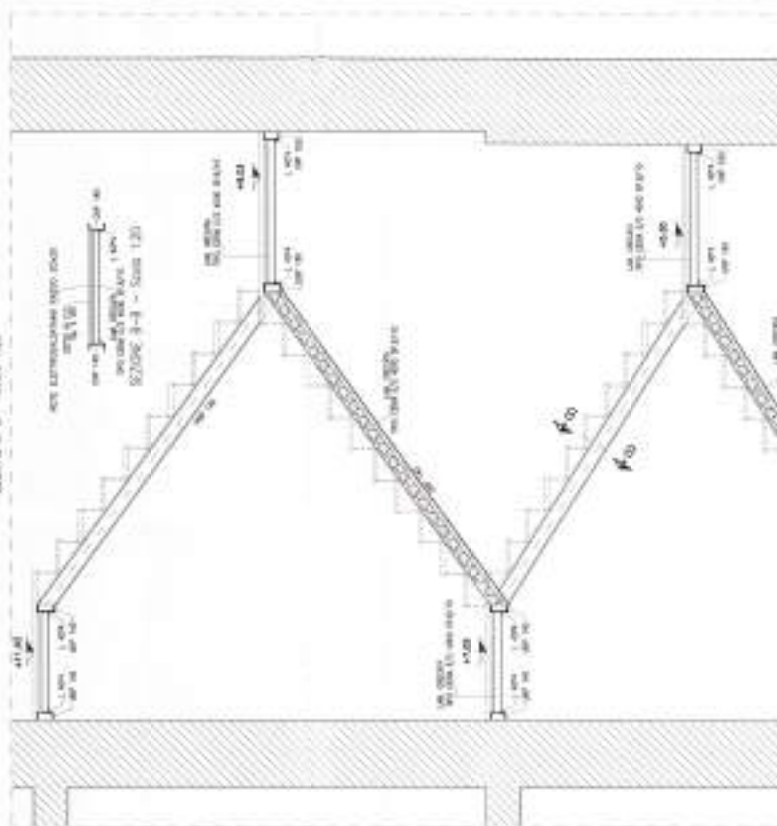
SEZIONE "A"

SEZIONE A-A - Scala 1:20

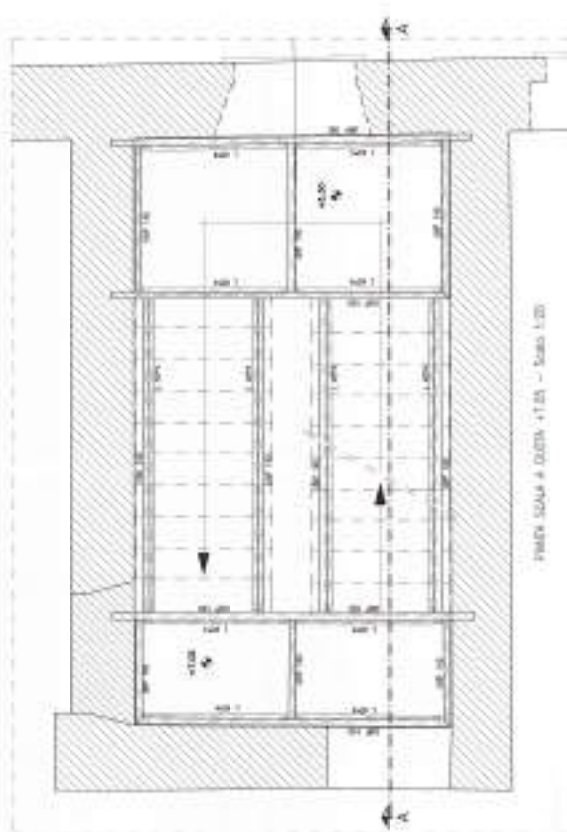
N.B. LE DATATE SARANNO DEFINITE IN SEDE DI ESECUZIONE DEL COSTRUTTIVO D'OPERA A SEGUITO DI RILEVIO PUNTUALE DELLO STATO D'FATTO

SEZIONE "B"

SEZIONE B-B - Scala 1:20



SEZIONE A-A - Scala 1:20



SEZIONE B-B - Scala 1:20



REGIONE LOMBARDA  
CITTÀ DI MILANO

# VILLA MELANO

PROGETTO DI RESTAURO  
RISALPIRIZIONE FUNZIONALE  
E AMPLIAMENTO  
CON DESTINAZIONE AD ALBERGO

PROGETTO ESECUTIVO

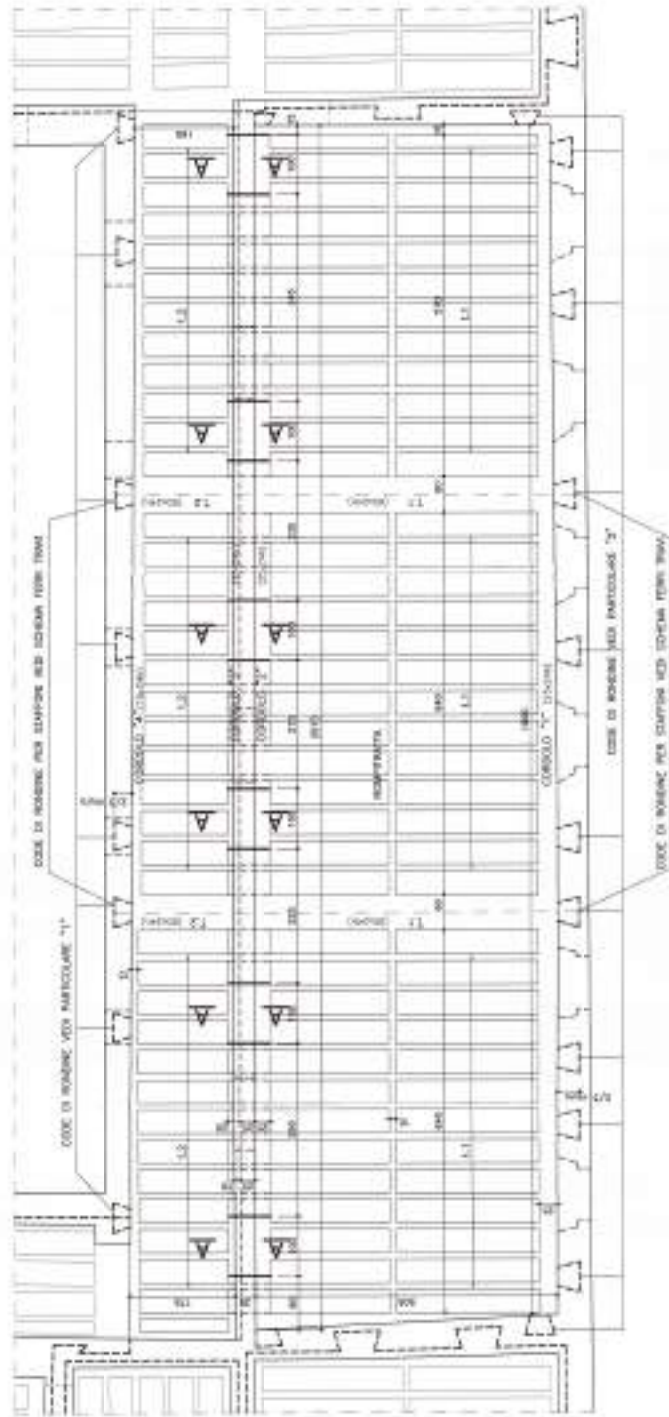
COMITATO: VILLA MELANO S.p.A.  
C.so Venezia 10 - 20121 Milano (IT)

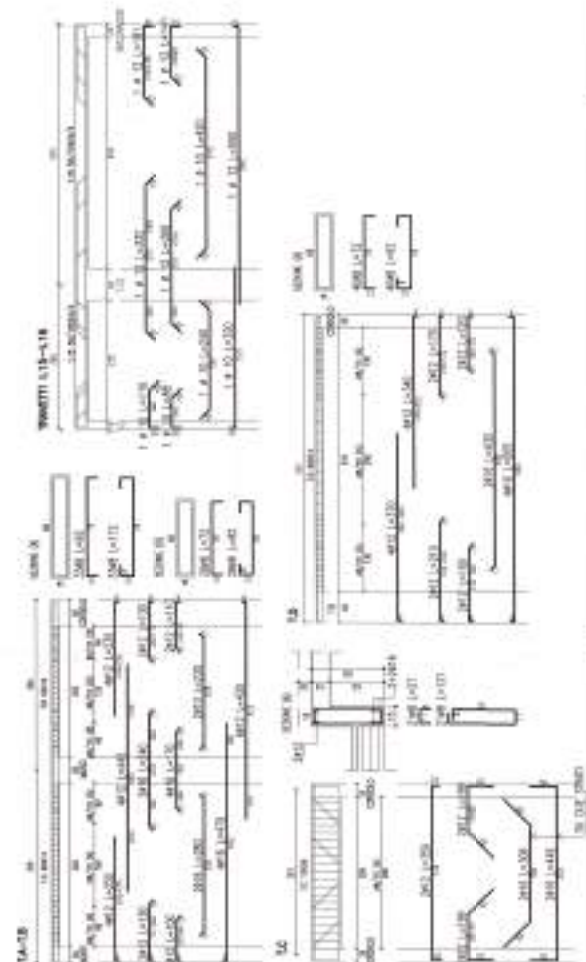
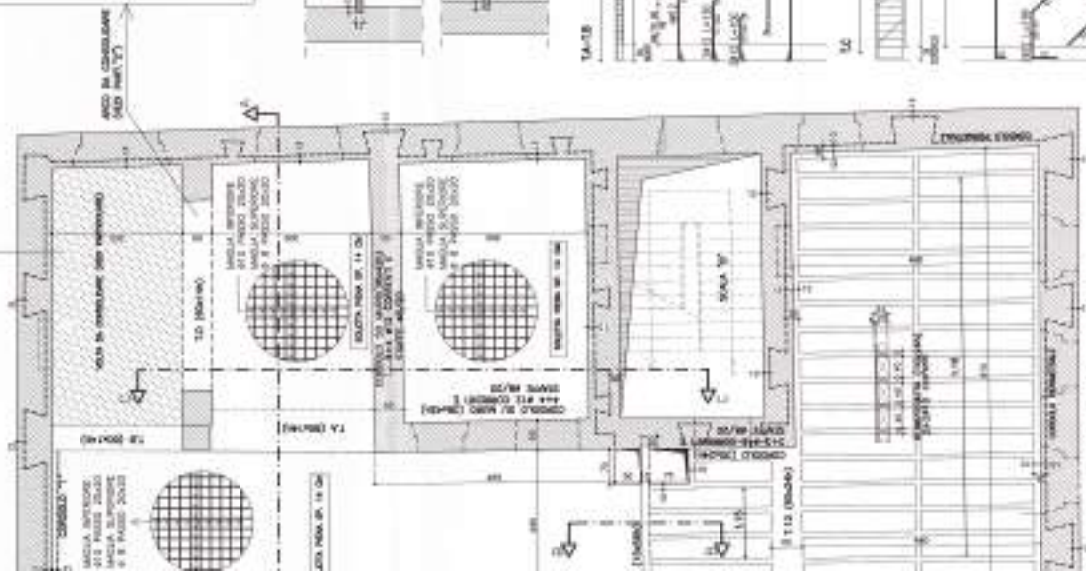
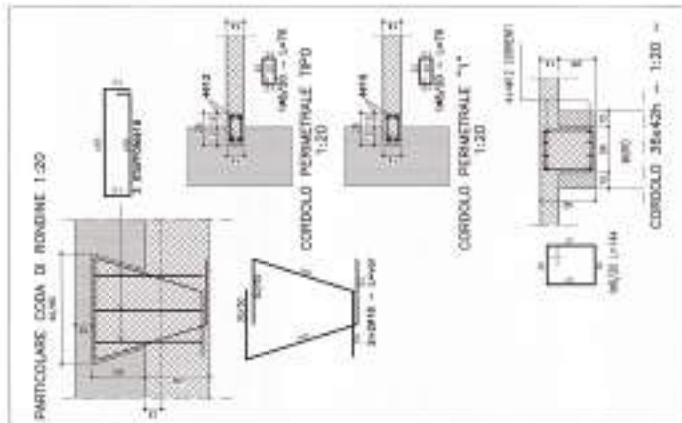
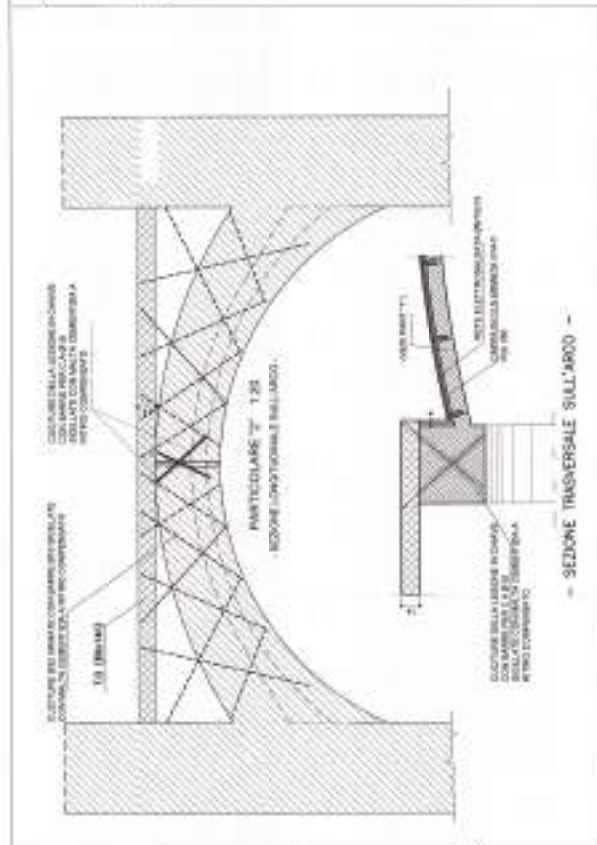
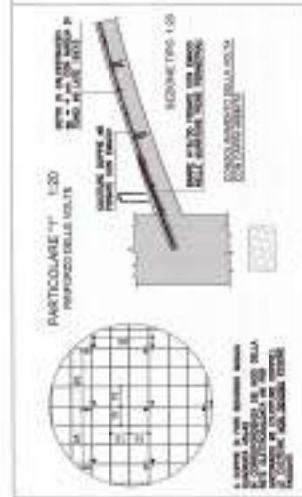
PROGETTO: Studio Architetto Lombardo Pirelli & Associati  
Via Venezia 10 - 20121 Milano (IT)

CONTORE

Studio Architetto Lombardo Pirelli & Associati  
Via Venezia 10 - 20121 Milano (IT)

VILLA AN...





REGIONE PIEMONTE  
- CITTA' DI RIVOLI -

VILLA MELANO

PROGETTO DI RESTAURO  
RIQUALIFICAZIONE FUNZIONALE  
E AMPLIAMENTO  
CON DESTINAZIONE AD ALBERGO

PROGETTO COSTRUTTIVO

VILLA MELANO S.p.A.

PROGETTO Studio architettonico Gianfranco Corbelli  
via Cavour 10, 10121 Torino, Italia  
tel. 011/512121 - fax 011/512122

CONSEGNA Studio di ingegneria (Ing. Sergio Riva)  
via Cavour 10, 10121 Torino, Italia  
tel. 011/512121 - fax 011/512122

VILLA ANTICA - CARPENTERIA P. P. P.  
VARIANTE SCLAUJO

SCALE 1:50/20

PROGETTO COSTRUTTIVO

## **ALLEGATO B**

Report delle prove sui materiali Rif. TO-153-23 del 22/09/23 –  
4EMME Service S.p.A.



**4 EMME Service S.p.A.**

**Prove in Sito - Laboratorio Prove Materiali**

Sede legale: Via L. Zuegg, 20 - 39100 Bolzano - ITALY

Tel. 0471/543111 - Fax 543110 [4emme@legalmail.it](mailto:4emme@legalmail.it) [www.4emme.it](http://www.4emme.it)

Sistema Qualità ISO 9001:2008 certificato RINA nr. 6441/01/S

## INDAGINI E PROVE SPERIMENTALI SU STRUTTURE

**“VILLA MELANO”**

**VIA MELANO s.n.c. – RIVOLI (TO)**

**PROVE n° 10067/TO ÷ 10070/TO**

**dal 30 agosto al 4 settembre 2023**

Committente: **EDITEL S.p.A.**

Progettisti: **MCM Ingegneria S.r.l.**

Relatore: **geom. Diego Doto**



*Vista dell'edificio principale (Villa Antica)*

RIF.: TO-153-23

Torino, 22 settembre 2023

C.F./P.I. IT 01288130212 Cap. Soc. 500.000,00 Euro R.E.A. – BZ 111601 BNL IT97 H 01005 11600 000000021486

Bolzano 0471-543111  
Bologna 051-6346808  
Cagliari 070-490732  
Como 031-305253

Firenze 055-461000  
Genova 010-586195  
Milano 02-40092545  
Modena 059-395414

Padova 049-8020707  
Palermo 091-6703629  
Piacenza 0523-755849  
Roma 06-71546992

Torino 011-7706023  
Treviso 0438-990200  
Verona 045-8004278

**Laboratori Autorizzati**  
Bolzano 0471-543111  
Milano 02-40092545

## INDICE

|                                                                      |    |
|----------------------------------------------------------------------|----|
| 1. PREMESSA.....                                                     | 2  |
| 2. UBICAZIONE DELLE PROVE.....                                       | 3  |
| 3. PROVE PENETROMETRICHE SU MALTE - PROVA N° 10067/TO .....          | 6  |
| 4. INDAGINI ENDOSCOPICHE – PROVA N° 10068/TO .....                   | 14 |
| 5. PROVE CON MARTINETTI PIATTI SU MURATURA - PROVA N° 10069/TO ..... | 20 |
| 6. ANALISI PETROGRAFICHE SU MALTE - PROVA N° 10070/TO .....          | 41 |

## ALLEGATO

- rapporto di prova n° 3922 del Laboratorio Prove Materiali di Bolzano

### 1. PREMESSA

La Società **4 EMME Service S.p.A.**, specializzata nell'esecuzione di prove sperimentali su strutture in sito, è stata incaricata dalla società **EDITEL S.p.A.** con sede in **Via Campodello n° 1 a Nucetto (CN)** di eseguire delle indagini e prove sperimentali in sito sulle strutture in muratura presso il complesso di Villa Melano (Villino Svizzero e Villa Antica) sita in Via Melano a Rivoli (TO).

La scelta degli elementi strutturali da sottoporre ad indagine, le modalità di prova ed i punti di misura sono stati preventivamente concordati con l'arch. Paolo Giorda e l'ing. Alessandro Pisano dello studio MCM Ingegneria S.r.l. di Torino.

Le prove sono state eseguite nei giorni compresi tra il 30 agosto e 4 settembre 2023 dal geom. Diego Doto e dal geom. Sebastiano Greco della **4 EMME Service S.p.A.**.

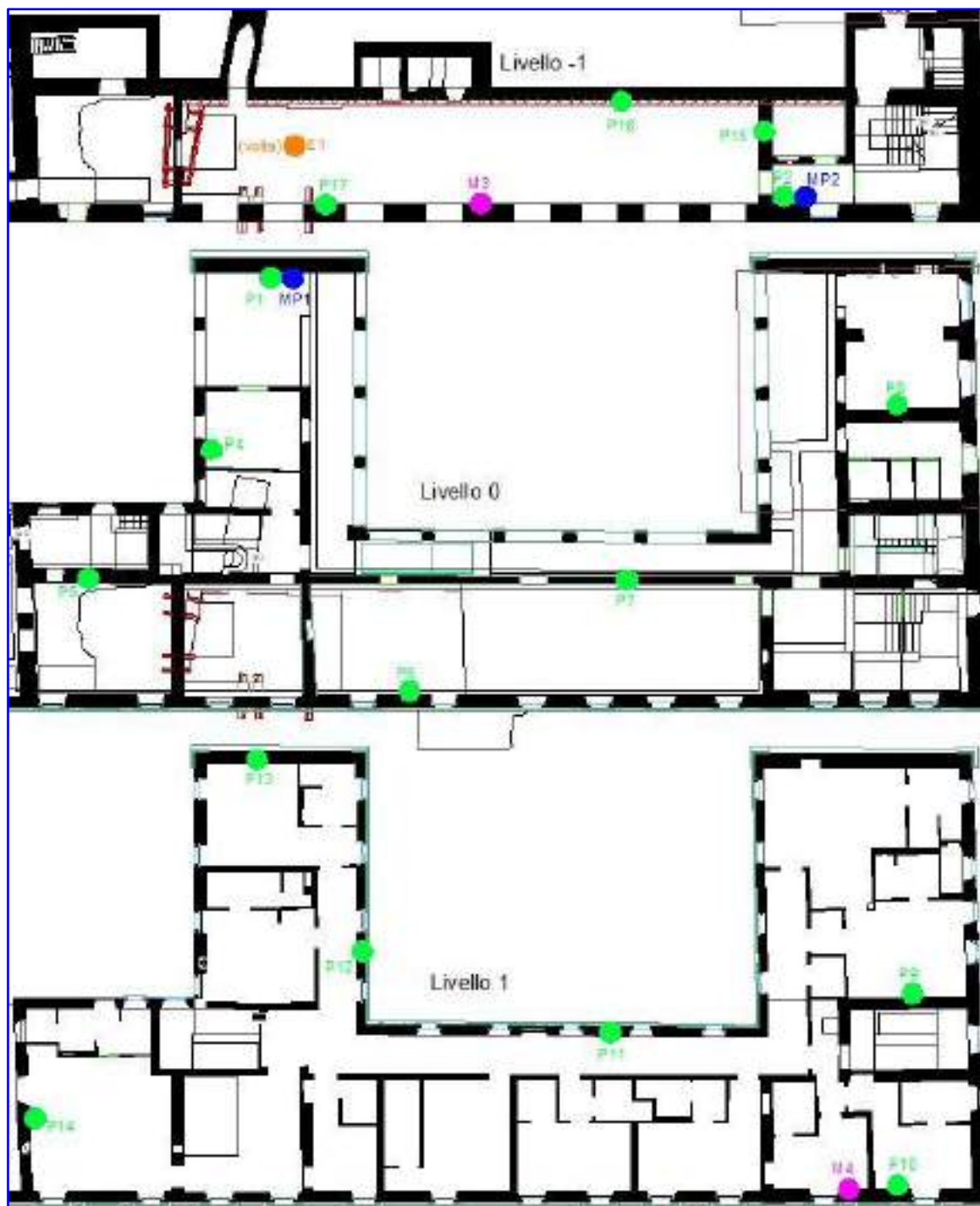


*Vista del fabbricato denominato "Villino Svizzero"*

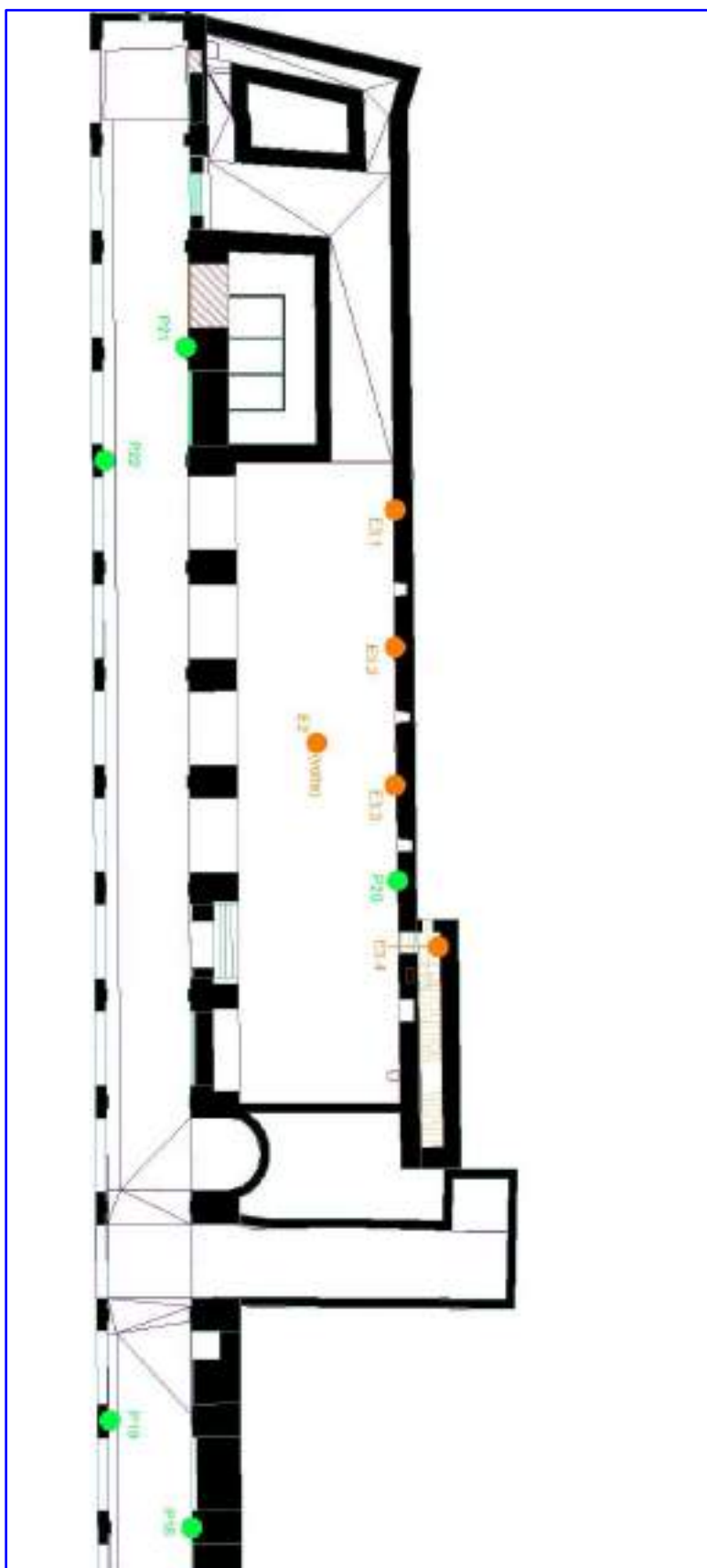
## 2. UBICAZIONE DELLE PROVE

Di seguito si riportano i disegni con l'ubicazione delle prove eseguite.

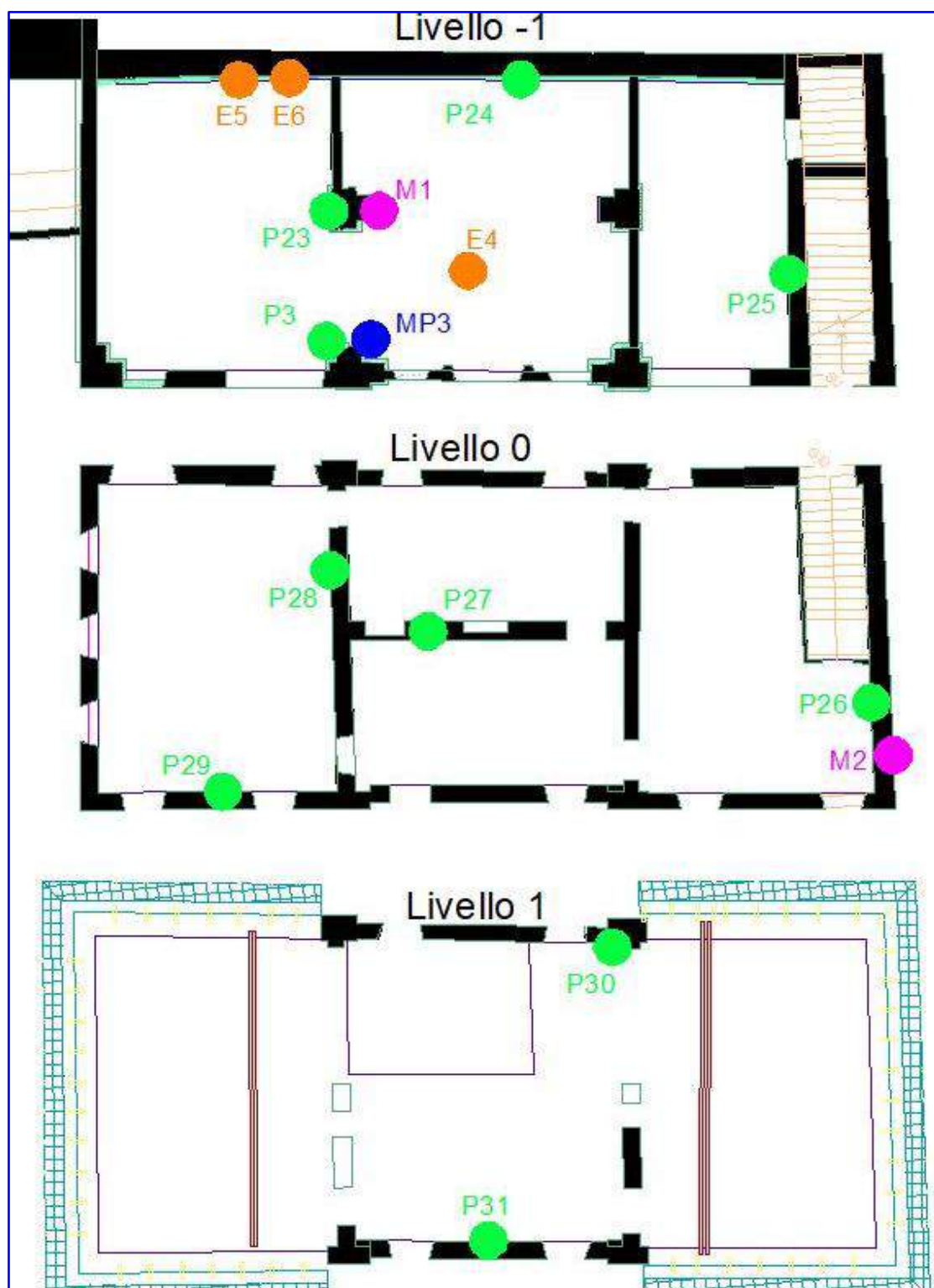
**NOTA BENE:** nei disegni allegati l'ubicazione delle indagini sugli elementi strutturali verticali (muri) è riportata nella planimetria del piano a cui sono state effettivamente eseguite; le indagini sugli elementi strutturali orizzontali, sono riportate sulle planimetrie come proiezioni a soffitto.



*Disegno n° 1 – Planimetrie del fabbricato Villa Antica*



*Disegno n° 2 – Planimetria del fabbricato Citroniera*



*Disegno n° 3 – Planimetrie del fabbricato Villino Svizzero*

#### LEGENDA

- P:** prova penetrometrica sulla malta delle murature
- E:** indagine endoscopica
- M:** prelievo campione di malta per analisi petrografica
- MP:** prova con martinetti piatti sulla muratura

### 3. PROVE PENETROMETRICHE SU MALTE - PROVA N° 10067/TO

#### 3.1. Metodologia di indagine

Per l'esecuzione delle prove è stato utilizzato un penetrometro per malta modello RSM15 matricola n° 15G00Z1L.

Lo scopo della prova è di valutare l'omogeneità delle varie zone indagate e stimare la resistenza a compressione della malta.

Il sistema prevede di far penetrare, in un corso di malta, una punta di acciaio d'acciaio, diametro  $\varnothing$  4 mm e lunghezza 78 mm, tramite un'apposita massa battente, allo scopo di rilevare la resistenza alla penetrazione. La resistenza alla penetrazione è correlata, attraverso una curva sperimentale, alla resistenza a compressione.



*Indagine penetrometrica*



*Misurazione con micrometro*

Individuata una *sezione* di misura si procede ad operare in 3 distinti *punti* con una distanza tra loro generalmente non superiore a 10 cm. Per ogni punto d'indagine si eseguono 10 battute, una successiva all'altra nello stesso punto. Si procede quindi a misurare la profondità di infissione dell'ago attraverso uno specifico micrometro. Tale valore permette di ottenere una stima della resistenza a compressione attraverso una specifica curva di correlazione sperimentale.

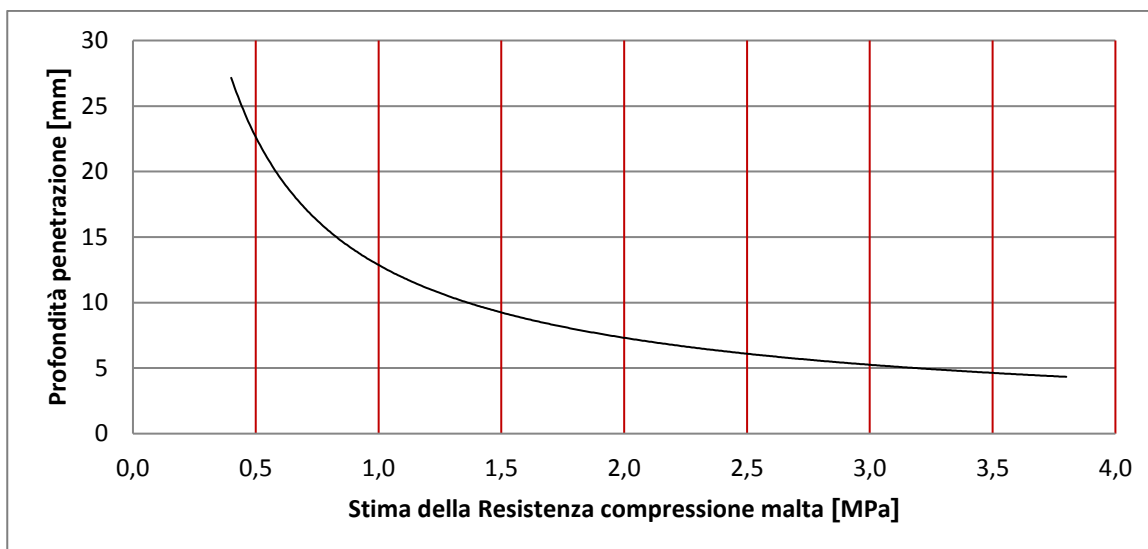


*Grafico di correlazione per la stima della resistenza delle malte*

### 3.2. Rapporto dei risultati

Sono state indagate delle zone di vari elementi murari del fabbricato in oggetto. Vengono di seguito allegate le tabelle riepilogative dei risultati ottenuti. La posizione delle prove è riportata sui disegni al paragrafo 2.

L'abbreviazione "Sup." sta a significare che la prova è stata eseguita sulla superficie del corso di malta.

In corrispondenza delle prove P1, P2 e P3 sono state successivamente eseguite tre prove con martinetto piatto doppio i cui risultati sono riportati al paragrafo 5.

#### VILLA ANTICA

| n°  | Tipo di misura | Penetrazione [mm] |         |         | Resistenza [MPa] |         |         | Resistenza media stimata [Mpa] |
|-----|----------------|-------------------|---------|---------|------------------|---------|---------|--------------------------------|
|     |                | punto 1           | punto 2 | punto 3 | punto 1          | punto 2 | punto 3 |                                |
| P1  | Sup.           | 27                | 29      | 28      | 0,4              | 0,4     | 0,4     | 0,4                            |
| P2  | Sup.           | 31                | 30      | 32      | 0,3              | 0,4     | 0,3     | 0,3                            |
| P4  | Sup.           | 15                | 15      | 17      | 0,8              | 0,8     | 0,7     | 0,8                            |
| P5  | Sup.           | 30                | 32      | 34      | 0,4              | 0,3     | 0,3     | 0,3                            |
| P6  | Sup.           | 24                | 22      | 21      | 0,5              | 0,5     | 0,5     | 0,5                            |
| P7  | Sup.           | 16                | 16      | 18      | 0,8              | 0,8     | 0,7     | 0,7                            |
| P8  | Sup.           | 20                | 22      | 24      | 0,6              | 0,5     | 0,5     | 0,5                            |
| P9  | Sup.           | 21                | 19      | 21      | 0,5              | 0,6     | 0,5     | 0,6                            |
| P10 | Sup.           | 36                | 34      | 36      | 0,3              | 0,3     | 0,3     | 0,3                            |
| P11 | Sup.           | 15                | 17      | 18      | 0,8              | 0,7     | 0,7     | 0,7                            |
| P12 | Sup.           | 17                | 15      | 15      | 0,7              | 0,8     | 0,8     | 0,8                            |
| P13 | Sup.           | 38                | 39      | 36      | 0,3              | 0,3     | 0,3     | 0,3                            |
| P14 | Sup.           | 17                | 18      | 15      | 0,7              | 0,7     | 0,8     | 0,7                            |
| P15 | Sup.           | 14                | 16      | 10      | 0,9              | 0,8     | 1,4     | 1,0                            |
| P16 | Sup.           | 35                | 38      | 37      | 0,3              | 0,3     | 0,3     | 0,3                            |
| P17 | Sup.           | 16                | 18      | 19      | 0,8              | 0,7     | 0,6     | 0,7                            |

### CITRONIERA

| n°  | Tipo di misura | Penetrazione [mm] |         |         | Resistenza [MPa] |         |         | Resistenza media stimata [Mpa] |
|-----|----------------|-------------------|---------|---------|------------------|---------|---------|--------------------------------|
|     |                | punto 1           | punto 2 | punto 3 | punto 1          | punto 2 | punto 3 |                                |
| P18 | Sup.           | 5                 | 7       | 4       | 3,2              | 2,1     | 4,2     | 3,2                            |
| P19 | Sup.           | 8                 | 7       | 5       | 1,8              | 2,1     | 3,2     | 2,4                            |
| P20 | Sup.           | 8                 | 10      | 6       | 1,8              | 1,4     | 2,5     | 1,9                            |
| P21 | Sup.           | 6                 | 6       | 5       | 2,5              | 2,5     | 3,2     | 2,8                            |
| P22 | Sup.           | 4                 | 7       | 5       | 4,2              | 2,1     | 3,2     | 3,2                            |

### VILLINO SVIZZERO

| n°  | Tipo di misura | Penetrazione [mm] |         |         | Resistenza [MPa] |         |         | Resistenza media stimata [Mpa] |
|-----|----------------|-------------------|---------|---------|------------------|---------|---------|--------------------------------|
|     |                | punto 1           | punto 2 | punto 3 | punto 1          | punto 2 | punto 3 |                                |
| P3  | Sup.           | 10                | 10      | 7       | 1,4              | 1,4     | 2,1     | 1,6                            |
| P23 | Sup.           | 11                | 9       | 8       | 1,2              | 1,6     | 1,8     | 1,5                            |
| P24 | Sup.           | 22                | 18      | 24      | 0,5              | 0,7     | 0,5     | 0,5                            |
| P25 | Sup.           | 19                | 21      | 16      | 0,6              | 0,5     | 0,8     | 0,6                            |
| P26 | Sup.           | 15                | 14      | 11      | 0,8              | 0,9     | 1,2     | 1,0                            |
| P27 | Sup.           | 15                | 17      | 20      | 0,8              | 0,7     | 0,6     | 0,7                            |
| P28 | Sup.           | 18                | 18      | 16      | 0,7              | 0,7     | 0,8     | 0,7                            |
| P29 | Sup.           | 21                | 19      | 22      | 0,5              | 0,6     | 0,5     | 1,0                            |
| P30 | Sup.           | 17                | 15      | 19      | 0,7              | 0,8     | 0,6     | 0,7                            |
| P31 | Sup.           | 19                | 21      | 16      | 0,6              | 0,5     | 0,8     | 0,6                            |

Vengono di seguito riportate le fotografie delle prove effettuate.



La prova P1



La prova P2



La prova P3



La prova P4



La prova P5



La prova P6



La prova P7



La prova P8



La prova P9



La prova P10



La prova P11



La prova P12



La prova P13



La prova P14



La prova P15



La prova P16



La prova P17



La prova P18



La prova P19



La prova P20



La prova P21



La prova P22



La prova P23



La prova P24



La prova P25



La prova P26



La prova P27



La prova P28



La prova P29



La prova P30



La prova P31

#### 4. INDAGINI ENDOSCOPICHE – PROVA N° 10068/TO

##### 4.1. Descrizione della strumentazione

Le indagini endoscopiche sono state eseguite mediante un endoscopio costituito da un'unità di base EXTECH HDV600 a cui era collegata una sonda dotata di testa mobile a 320°, di lunghezza 200 cm e di diametro 6 mm; essa viene telecomandata tramite un'unità di controllo cablata HDV-TX2 ed è dotata di illuminazione a led e consente la trasmissione delle immagini mediante fibre ottiche.

L'immagine viene visualizzata sul monitor a colori con definizione di 640 x 480 pixel e può essere registrata o fotografata.



*L'endoscopio EXTECH HDV600*

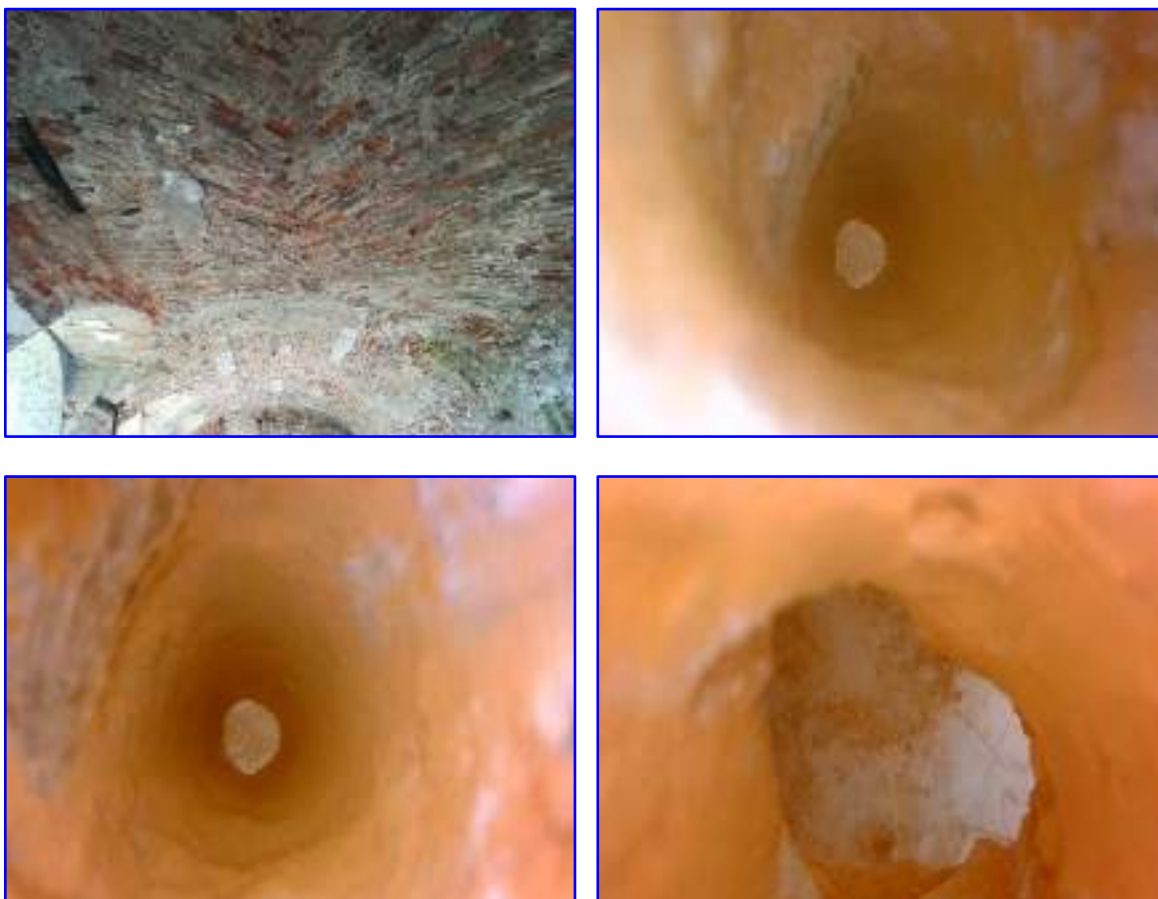
#### 4.2. Rapporto dei risultati

La posizione delle prove è riportata sui disegni al paragrafo 2.

##### ENDOSCOPIA E1

**Posizione:** fabbricato Villa Antica, centro volta copertura livello -1

**Stratigrafia a partire dall'estradosso:** 2 cm sottofondo, 12 cm mattone pieno.



*L'indagine endoscopica E1*

## ENDOSCOPIA E2

**Posizione:** fabbricato Citroniera, centro volta

**Stratigrafia a partire dall'estradosso:** 60 cm circa terra di riporto, 25 cm mattone pieno.



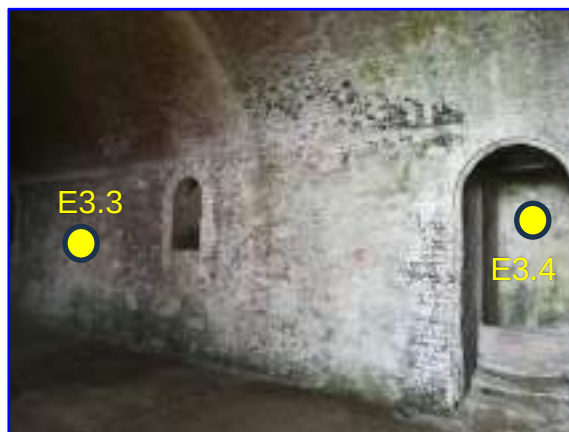
*L'indagine endoscopica E2*

## ENDOSCOPIA E3

**Posizione:** fabbricato Citroniera, parete laterale interno fabbricato

**Profondità foro:** E3.1 – E3.2 – E3.3: 100 cm circa - E3.4: 60 cm circa  
all'interno di fori praticati con carotatrice già presenti nel muro

**Stratigrafia:** muratura mista in pietra e mattoni con inerti parzialmente sciolti



*Posizione dei punti di indagine*



*Endoscopio E3.1*



*Endoscopio E3.2*



*Endoscopio E.3.3*



*Endoscopio E.3.4*

## ENDOSCOPIA E4

**Posizione:** fabbricato Villino Svizzero, centro volta copertura livello -1

**Stratigrafia a partire dall'estradosso:** 6 cm circa sottofondo, 8 cm circa caldana, 12 cm mattone pieno.



*L'indagine endoscopica E4*

## ENDOSCOPIA E5

**Posizione:** fabbricato Villino Svizzero, parete a quota 90 cm

**Profondità foro:** 60 cm circa

**Stratigrafia:** muratura in pietra con inerti parzialmente sciolti

## ENDOSCOPIA E6

**Posizione:** fabbricato Villino Svizzero, parete a quota 250 cm

**Profondità foro:** 60 cm circa

**Stratigrafia:** muratura in pietra con inerti parzialmente sciolti



*Le indagini endoscopiche E5 e E6*

## 5. PROVE CON MARTINETTI PIATTI SU MURATURA - PROVA N° 10069/TO

### 5.1. Metodologia d'indagine

#### Rilievo dello stato tensionale (prova con martinetto piatto singolo)

Lo stato tensionale della muratura in esame viene alterato mediante un taglio piano normale alla superficie della parete muraria.

Le tensioni, che tendono a richiudere il taglio, sono bilanciate da uno speciale martinetto inserito nell'incisione. Il taglio comporta il rilascio delle tensioni che si manifestano con la tendenza a richiudere i lembi del taglio.

La pressione applicata al martinetto piatto introdotto nell'incisione, che riporterà alle condizioni di deformazione antecedenti al taglio, si assume come prossima, sostanzialmente, alla tensione in sito.

#### Valutazione della resistenza alla compressione (prova con martinetto piatto doppio)

Una volta rilevato il carico di esercizio della muratura si può proseguire installando un secondo martinetto parallelo al primo.

La prova è condotta ad incrementi di carico costanti mentre i sensori differenziali, opportunamente installati rilevano in tempo reale l'andamento della prova.

### 5.2. Descrizione della strumentazione

#### Martinetti piatti

I martinetti piatti utilizzati sono celle di carico d'acciaio speciale di forma semicircolare, azionati idraulicamente ed aventi le seguenti caratteristiche:

- superficie: 778,56 cm<sup>2</sup>
- spessore: 3 mm
- diametro semicircolo: 350 mm
- profondità: 260 mm
- press. max esercizio: 50 bar



Mediante il coefficiente "Km" fornito dal costruttore si determina la riduzione della sezione di spinta del martinetto, tenuto conto dell'influenza della maggiore rigidità del bordo e dello stato di affaticamento e deformazione dello strumento.

#### Pompa oleodinamica

Il martinetto piatto è azionato idraulicamente da un'apposita pompa a mano che permette di gestire con particolare cura gli incrementi di carico oltre a mantenere costante la pressione.

#### Manometro di precisione

Per la rilevazione delle pressioni esercitate è stato utilizzato un manometro digitale AEP DMC 0÷700 Bar matricola n. 121426, installato sulla pompa oleodinamica a monte del martinetto.



La calibrazione del manometro è documentata col rapporto di taratura n° 2115/23 del 15/02/2023.

### Troncatrice idraulica

Il taglio di inserimento del martinetto è effettuato da una troncatrice idraulica manuale con lama anulare diamantata. Il taglio che ne deriva, grazie alla particolare caratteristica della sega che utilizza una trasmissione eccentrica, oltre a disturbare in maniera molto ridotta la struttura non modificandone le caratteristiche meccaniche, è netto e di dimensioni quasi uguali a quelle del martinetto.



### Collaudatore GS04

Le rilevazioni delle deformazioni sono state eseguite con l'attrezzatura denominata "Collaudatore GS04" costituita da:

- unità computerizzata di registrazione delle deformazioni *GS04 matricola n. 040*;
- trasduttori di spostamento LVDT *Schaevitz serie E200*;
- personal computer con software di elaborazione *4 EMME Service S.p.A.*



### Sensori differenziali

Le deformazioni della muratura sono state effettuate mediante sensori differenziali installati su mini fessuometri, fissati solidalmente alla muratura in esame mediante tasselli. I sensori impiegati hanno una precisione dello 0,4 % ed escursione massima di  $\pm 1,5$  mm.

I sensori impiegati hanno le seguenti caratteristiche:

- sensibilità 0,001 mm;
- ripetibilità 98,5%;
- linearità 99,4%;

La calibrazione dei sensori è documentata col rapporto di taratura n. 2106/23 del 15/02/2023.



Tutti gli strumenti sono stati tarati dal Laboratorio Tarature della *4 EMME Service S.p.A.* utilizzando dei sensori campione come previsto dalla procedura 7.6 del Manuale di Qualità.

### 5.3. Formule principali

#### Tensione di esercizio della muratura (prova con martinetto piatto singolo)

La tensione di esercizio della muratura è calcolata mediante la seguente formula:

$$\sigma_e = p_o * K_m * A_m / A_t$$

dove:

$\sigma_e$  = tensione di esercizio della muratura;

$p_o$  = pressione di ripristino delle condizioni di deformazione;

$K_m$  = coefficiente di taratura del martinetto;

$A_m$  = area del martinetto;

$A_t$  = area della superficie del taglio.

Ad ogni incremento di pressione corrisponde un decremento del valore massimo di deformazione registrato dai sensori al completamento del taglio.

La pressione che riporta a “zero” lo spostamento dei sensori identifica il valore “ $p_o$ ” della formula.

#### Tensione di rottura della muratura (prova con martinetto piatto doppio)

Le tensioni di rottura della muratura sono state calcolate secondo la seguente formula:

$$\sigma_r = p * \Sigma(K_m * A_m / A_t) / 2$$

dove:

$\sigma_r$  = tensione di rottura;

$p$  = pressione di collasso;

$\Sigma K_m$  =  $K_m$  martinetto superiore +  $K_m$  martinetto inferiore;

$A_m$  = area del martinetto;

$\Sigma A_t$  = sommatoria delle aree di taglio.

Una volta ripristinata la tensione di esercizio della muratura in esame, si incrementa il carico prodotto dai martinetti rilevando la tensione di rottura del complesso murario.

Lo stato di rottura del muro è rilevato dal grafico delle deformazioni oltre che dal riscontro visivo dello stato fessurativo indotto dalla prova.

## 5.4. Prova MP1 – Livello 0 Villa Antica

### 5.4.1. Descrizione della prova

Scopo della prova era determinare il carico d'esercizio ed il carico di rottura della muratura al livello 0 del fabbricato (prova con martinetto piatto doppio) nella zona indicata con la sigla MP1 nel disegno n° 1 riportato al paragrafo 2.



*La porzione di muratura provata con il martinetto piatto doppio*

La porzione di muratura oggetto della prova era costituita da mattoni pieni con giunti di malta regolari.

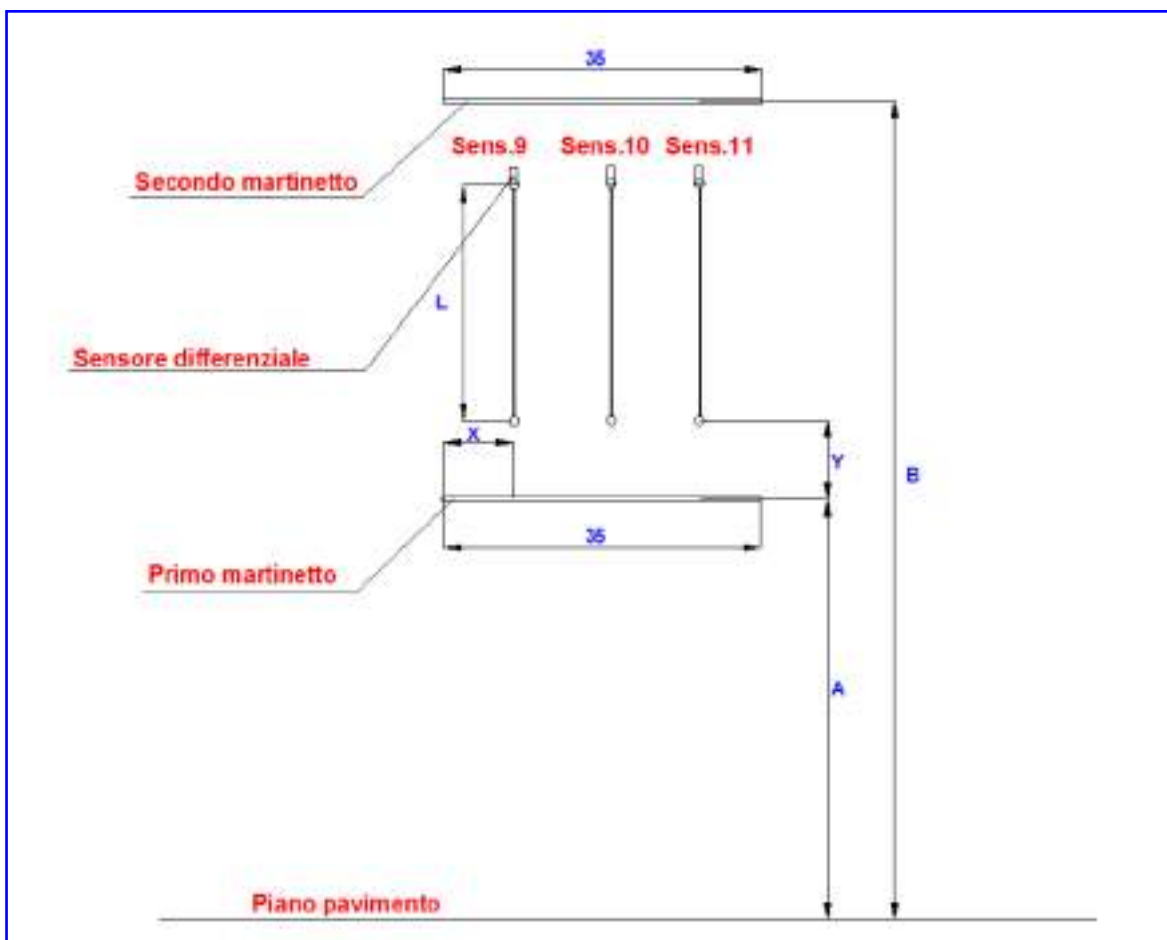
#### 5.4.2. Rapporto dei risultati

|                                       |                          |
|---------------------------------------|--------------------------|
| Data:                                 | 30 agosto 2023           |
| Tipologia prova:                      | martinetto piatto doppio |
| Martinetti piatti tipo:               | semicircolare            |
| Disposizione martinetti:              | orizzontali              |
| Area lorda martinetti:                | 778,56 cm <sup>2</sup>   |
| Area effettiva martinetti:            | 715,87 cm <sup>2</sup>   |
| Quota A da p.p. martinetto inferiore: | 62 cm                    |
| Quota B da p.p. martinetto superiore: | 111 cm                   |
| Coefficiente martinetti:              | 0,83                     |

#### Disposizione dei sensori differenziali

| Sensore  | X [mm] | Y [mm] | L [mm] |
|----------|--------|--------|--------|
| Sens. 9  | 69     | 132    | 203    |
| Sens. 10 | 181    | 132    | 205    |
| Sens. 11 | 278    | 131    | 208    |

**NOTA BENE:** il sistema di riferimento ha origine dallo spigolo sinistro del martinetto piatto inferiore, con asse X orizzontale ed asse Y verticale; la lunghezza L rappresenta la distanza fra i punti di fissaggio dello strumento ed è quindi la sua base di misura.



*Schema con la disposizione dei sensori e dei martinetti piatti*

Nella prima tabella allegata sono riportati tutti i dati rilevati in sito e successivamente elaborati per determinare la tensione di esercizio (vedere anche grafico allegato); nella seconda tabella i dati per determinare la tensione di rottura (vedere anche grafico allegato) ed il modulo elastico della muratura.

Il modulo elastico secante è stato calcolato tre volte su due cicli di carico e scarico diversi per verificare la ripetibilità del risultato.



*La seconda fase della prova: martinetto piatto doppio*

**RAPPORTO DEI RISULTATI**  
**MARTINETTO PIATTO DOPPIO - MP1**  
**DEL 30/08/2023 RIVOLI - VILLA MELANO - VILLA ANTICA**

**TENSIONE**

|          |     |             | Sens. 9<br>vert. sx<br>L=203 mm | Sens. 10<br>vert. centro<br>L=205 mm | Sens. 11<br>vert. dx<br>L=208 mm |
|----------|-----|-------------|---------------------------------|--------------------------------------|----------------------------------|
|          | bar | MPa         | mm                              | mm                                   | mm                               |
| 1° ciclo | 0   | 0,00        | 0,000                           | 0,000                                | 0,000                            |
|          | 0   | 0,00        | 0,009                           | 0,008                                | 0,003                            |
|          | 1   | 0,07        | 0,008                           | 0,007                                | 0,002                            |
|          | 2   | 0,13        | 0,007                           | 0,006                                | 0,002                            |
|          | 3   | 0,20        | 0,005                           | 0,005                                | 0,002                            |
|          | 4   | 0,27        | 0,003                           | 0,004                                | 0,002                            |
|          | 5   | 0,33        | 0,001                           | 0,002                                | 0,002                            |
| 2° ciclo | 6   | 0,40        | -0,001                          | 0,001                                | 0,002                            |
|          | 7   | <b>0,47</b> | -0,002                          | 0,000                                | 0,002                            |
|          | 0   | 0,00        | 0,011                           | 0,007                                | 0,002                            |
|          | 1   | 0,07        | 0,011                           | 0,007                                | 0,002                            |
|          | 2   | 0,13        | 0,009                           | 0,005                                | 0,002                            |
|          | 3   | 0,20        | 0,007                           | 0,004                                | 0,002                            |
|          | 4   | 0,27        | 0,006                           | 0,003                                | 0,002                            |
|          | 5   | 0,33        | 0,004                           | 0,002                                | 0,001                            |
|          | 6   | 0,40        | 0,002                           | 0,000                                | 0,001                            |
|          | 7   | <b>0,47</b> | <b>0,000</b>                    | <b>-0,001</b>                        | <b>0,001</b>                     |
|          | 0   | 0,00        | 0,008                           | 0,007                                | 0,002                            |

| Sens. 9<br>vert. sx       | Sens. 10<br>vert. centro | Sens. 11<br>vert. dx |
|---------------------------|--------------------------|----------------------|
| epsilon* 10 <sup>-5</sup> |                          |                      |
| 0,0                       | 0,0                      | 0,0                  |
| 4,4                       | 3,9                      | 1,4                  |
| 3,9                       | 3,4                      | 1,0                  |
| 3,4                       | 2,9                      | 1,0                  |
| 2,5                       | 2,4                      | 1,0                  |
| 1,5                       | 2,0                      | 1,0                  |
| 0,5                       | 1,0                      | 1,0                  |
| -0,5                      | 0,5                      | 1,0                  |
| -1,0                      | 0,0                      | 1,0                  |
| 5,4                       | 3,4                      | 1,0                  |
| 5,4                       | 3,4                      | 1,0                  |
| 4,4                       | 2,4                      | 1,0                  |
| 3,4                       | 2,0                      | 1,0                  |
| 3,0                       | 1,5                      | 1,0                  |
| 2,0                       | 1,0                      | 0,5                  |
| 1,0                       | 0,0                      | 0,5                  |
| <b>0,0</b>                | <b>-0,5</b>              | <b>0,5</b>           |
| 3,9                       | 3,4                      | 1,0                  |

NOTA segno - compressione; segno + trazione

**TENSIONE DI ESERCIZIO DELLA MURATURA**

$$\sigma_e = p_o \times K_m \times A_m / A_t = 0,47 \text{ Mpa}$$

dove:  $p_o = 7 \text{ bar}$   
 $K_m = 0,83$   
 $A_m = 715,87 \text{ cm}^2$   
 $A_t = 890,00 \text{ cm}^2$

# MP1 DEL 30/08/2023

## ROTTURA

|          |     |      | Sens. 9<br>vert. sx<br>L=203 mm | Sens. 10<br>vert. centro<br>L=205 mm | Sens. 11<br>vert. dx<br>L=208 mm |
|----------|-----|------|---------------------------------|--------------------------------------|----------------------------------|
|          | bar | Mpa  | mm                              | mm                                   | mm                               |
| 1° ciclo | 0   | 0,00 | 0,000                           | 0,000                                | 0,000                            |
|          | 2   | 0,13 | -0,012                          | -0,025                               | -0,022                           |
|          | 4   | 0,27 | -0,024                          | -0,051                               | -0,031                           |
|          | 6   | 0,40 | -0,035                          | -0,077                               | -0,043                           |
|          | 8   | 0,53 | -0,045                          | -0,108                               | -0,057                           |
|          | 10  | 0,67 | -0,054                          | -0,131                               | -0,068                           |
|          | 12  | 0,80 | -0,066                          | -0,159                               | -0,078                           |
|          | 14  | 0,93 | -0,077                          | -0,185                               | -0,089                           |
| 2° ciclo | 16  | 1,07 | -0,096                          | -0,237                               | -0,105                           |
|          | 0   | 0,00 | 0,001                           | -0,001                               | -0,001                           |
|          | 2   | 0,13 | -0,003                          | -0,018                               | -0,003                           |
|          | 4   | 0,27 | -0,019                          | -0,039                               | -0,012                           |
|          | 6   | 0,40 | -0,029                          | -0,067                               | -0,018                           |
|          | 8   | 0,53 | -0,037                          | -0,098                               | -0,026                           |
|          | 10  | 0,67 | -0,052                          | -0,128                               | -0,034                           |
|          | 12  | 0,80 | -0,064                          | -0,153                               | -0,043                           |
|          | 14  | 0,93 | -0,078                          | -0,179                               | -0,054                           |
|          | 16  | 1,07 | -0,096                          | -0,227                               | -0,072                           |
|          | 18  | 1,20 | -0,109                          | -0,279                               | -0,098                           |
|          | 20  | 1,34 | -0,127                          | -0,341                               | -0,131                           |
|          | 22  | 1,47 | -0,157                          | -0,428                               | -0,164                           |
|          | 24  | 1,60 | -0,192                          | -0,523                               | -0,204                           |
|          | 26  | 1,74 | -0,298                          | -0,652                               | -0,263                           |
|          | 0   | 0,00 | -0,174                          | -0,491                               | -0,209                           |

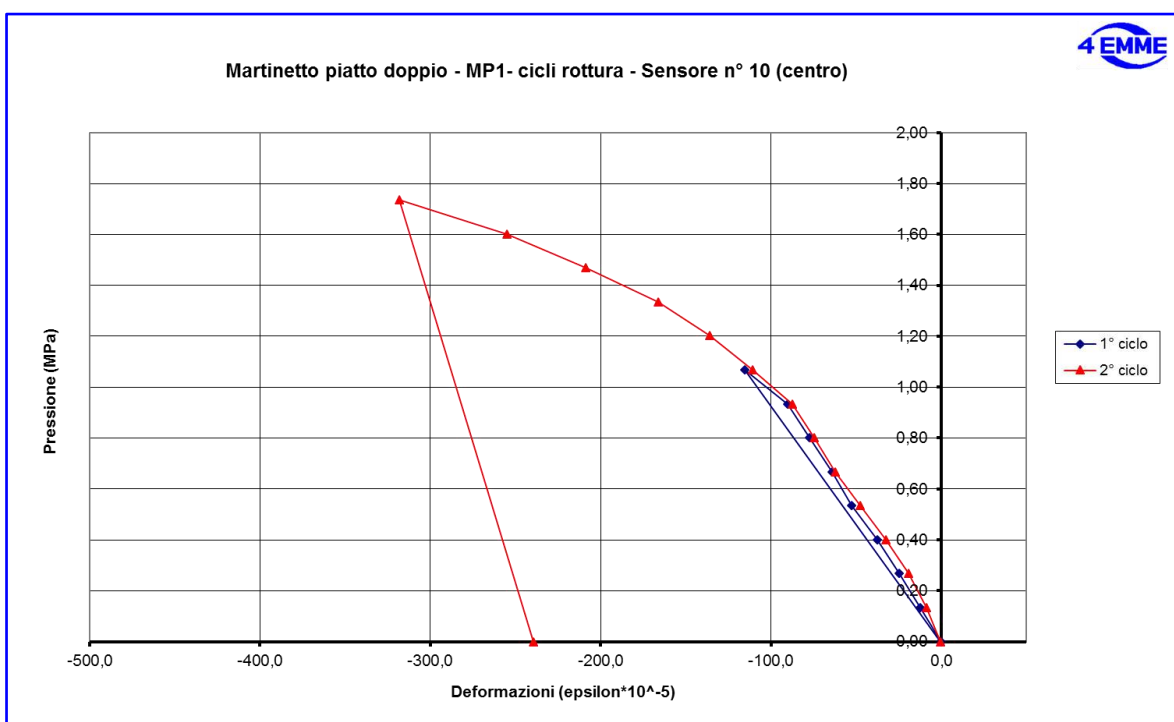
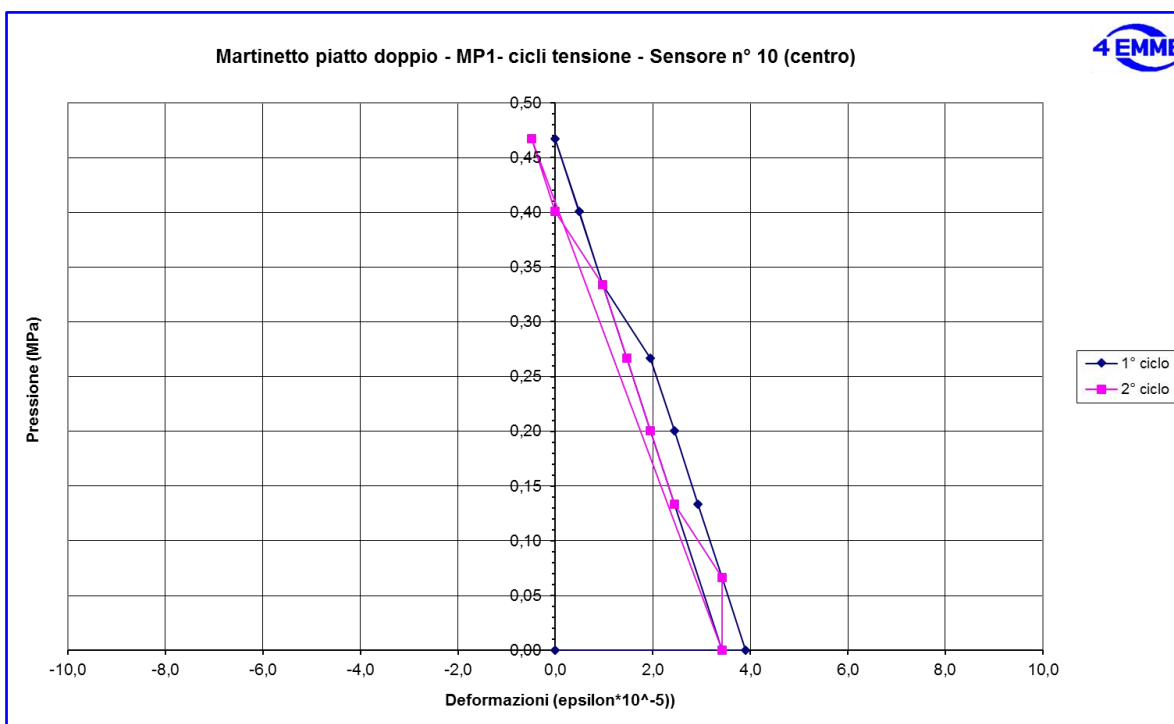
| Sens. 9<br>vert. sx | Sens. 10<br>vert. centro | Sens. 11<br>vert. dx |
|---------------------|--------------------------|----------------------|
| epsilon* 10^-5      |                          |                      |
| 0,0                 | 0,0                      | 0,0                  |
| -5,9                | -12,2                    | -10,6                |
| -11,8               | -24,9                    | -14,9                |
| -17,2               | -37,6                    | -20,7                |
| -22,2               | -52,7                    | -27,4                |
| -26,6               | -63,9                    | -32,7                |
| -32,5               | -77,6                    | -37,5                |
| -37,9               | -90,2                    | -42,8                |
| -47,3               | -115,6                   | -50,5                |
| 0,5                 | -0,5                     | -0,5                 |
| -1,5                | -8,8                     | -1,4                 |
| -9,4                | -19,0                    | -5,8                 |
| -14,3               | -32,7                    | -8,7                 |
| -18,2               | -47,8                    | -12,5                |
| -25,6               | -62,4                    | -16,3                |
| -31,5               | -74,6                    | -20,7                |
| -38,4               | -87,3                    | -26,0                |
| -47,3               | -110,7                   | -34,6                |
| -53,7               | -136,1                   | -47,1                |
| -62,6               | -166,3                   | -63,0                |
| -77,3               | -208,8                   | -78,8                |
| -94,6               | -255,1                   | -98,1                |
| -146,8              | -318,0                   | -126,4               |
| -85,7               | -239,5                   | -100,5               |

## TENSIONE DI ROTTURA DELLA MURATURA

$$\sigma_r = p \times \Sigma K_m \times A_m / \Sigma A_t = 1,74 \text{ Mpa}$$

dove: p = 26,0 bar  
 $\Sigma K_m$  = 1,66  
 $A_m$  = 715,87 cm<sup>2</sup>  
 $\Sigma A_t$  = 1780,00 cm<sup>2</sup>

| CALCOLO MODULO ELASTICO su Sens. 10 |       |                     |       |     |
|-------------------------------------|-------|---------------------|-------|-----|
| 1° ciclo                            | E sec | (0,13 - 0,80 Mpa) = | 1.021 | Mpa |
| 2° ciclo                            | E sec | (0,13 - 0,80 Mpa) = | 1.014 | Mpa |
| 2° ciclo                            | E sec | (0,13 - 1,07 Mpa) = | 917   | Mpa |



## 5.5. Prova MP2 – Livello -1 Villa Antica

### 5.5.1. Descrizione della prova

Scopo della prova era determinare il carico d'esercizio ed il carico di rottura della muratura al livello -1 del fabbricato (prova con martinetto piatto doppio) nella zona indicata con la sigla MP2 nel disegno n° 1 riportato al paragrafo 2.



*La porzione di muratura provata con il martinetto piatto doppio*

La porzione di muratura oggetto della prova era costituita da mattoni pieni e pietre con giunti di malta irregolari.

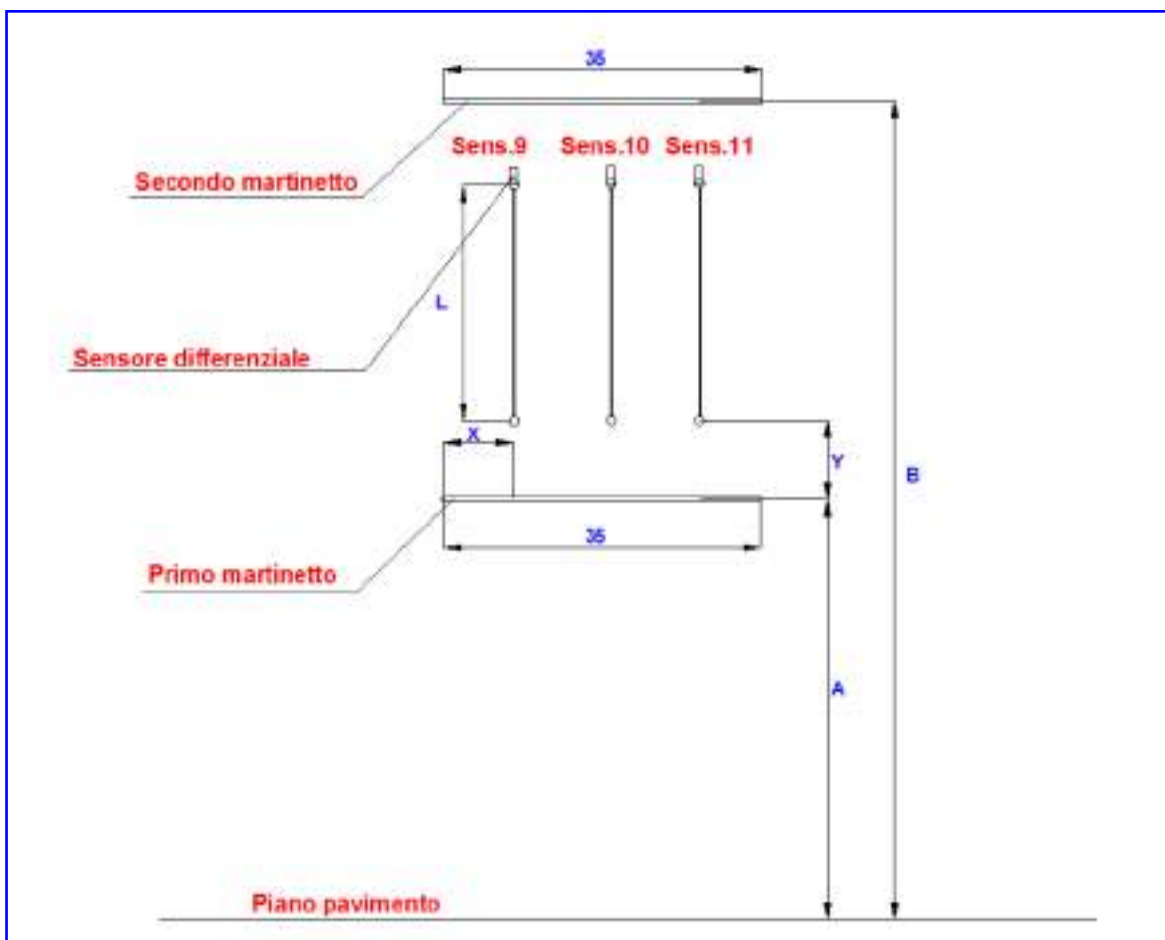
## 5.5.2. Rapporto dei risultati

|                                       |                          |
|---------------------------------------|--------------------------|
| Data:                                 | 31 agosto 2023           |
| Tipologia prova:                      | martinetto piatto doppio |
| Martinetti piatti tipo:               | semicircolare            |
| Disposizione martinetti:              | orizzontali              |
| Area lorda martinetti:                | 778,56 cm <sup>2</sup>   |
| Area effettiva martinetti:            | 715,87 cm <sup>2</sup>   |
| Quota A da p.p. martinetto inferiore: | 56 cm                    |
| Quota B da p.p. martinetto superiore: | 104 cm                   |
| Coefficiente martinetti:              | 0,83                     |

### Disposizione dei sensori differenziali

| Sensore  | X [mm] | Y [mm] | L [mm] |
|----------|--------|--------|--------|
| Sens. 9  | 76     | 134    | 197    |
| Sens. 10 | 179    | 134    | 199    |
| Sens. 11 | 277    | 135    | 201    |

**NOTA BENE:** il sistema di riferimento ha origine dallo spigolo sinistro del martinetto piatto inferiore, con asse X orizzontale ed asse Y verticale; la lunghezza L rappresenta la distanza fra i punti di fissaggio dello strumento ed è quindi la sua base di misura.



*Schema con la disposizione dei sensori e dei martinetti piatti*

Nella prima tabella allegata sono riportati tutti i dati rilevati in sito e successivamente elaborati per determinare la tensione di esercizio (vedere anche grafico allegato); nella seconda tabella i dati per determinare la tensione di rottura (vedere anche grafico allegato) ed il modulo elastico della muratura.

Il modulo elastico secante è stato calcolato tre volte su due cicli di carico e scarico diversi per verificare la ripetibilità del risultato.



*La seconda fase della prova: martinetto piatto doppio*

**RAPPORTO DEI RISULTATI**  
**MARTINETTO PIATTO DOPPIO - MP2**  
**DEL 31/08/2023 RIVOLI - VILLA MELANO - VILLA ANTICA**

**TENSIONE**

|          |     | Sens. 9<br>vert. sx<br>L=197 mm | Sens. 10<br>vert. centro<br>L=199 mm | Sens. 11<br>vert. dx<br>L=201 mm |
|----------|-----|---------------------------------|--------------------------------------|----------------------------------|
|          | bar | MPa                             | mm                                   | mm                               |
| 1° ciclo | 0   | 0,00                            | 0,000                                | 0,000                            |
|          | 0   | 0,00                            | 0,032                                | 0,064                            |
|          | 1   | 0,07                            | 0,032                                | 0,060                            |
|          | 2   | 0,13                            | 0,031                                | 0,054                            |
|          | 3   | 0,20                            | 0,026                                | 0,048                            |
|          | 4   | 0,27                            | 0,022                                | 0,042                            |
|          | 5   | 0,33                            | 0,018                                | 0,036                            |
|          | 6   | 0,40                            | 0,012                                | 0,029                            |
|          | 7   | 0,47                            | 0,009                                | 0,023                            |
|          | 8   | 0,53                            | 0,007                                | 0,016                            |
|          | 9   | 0,60                            | 0,004                                | 0,011                            |
| 2° ciclo | 10  | 0,67                            | 0,001                                | 0,005                            |
|          | 11  | 0,73                            | -0,002                               | -0,002                           |
|          | 0   | 0,00                            | 0,031                                | 0,063                            |
|          | 1   | 0,07                            | 0,032                                | 0,061                            |
|          | 2   | 0,13                            | 0,031                                | 0,053                            |
|          | 3   | 0,20                            | 0,027                                | 0,049                            |
|          | 4   | 0,27                            | 0,023                                | 0,043                            |
|          | 5   | 0,33                            | 0,019                                | 0,038                            |
|          | 6   | 0,40                            | 0,013                                | 0,030                            |
|          | 7   | 0,47                            | 0,010                                | 0,024                            |
|          | 8   | 0,53                            | 0,008                                | 0,018                            |
|          | 9   | 0,60                            | 0,003                                | 0,013                            |
|          | 10  | 0,67                            | -0,001                               | 0,007                            |
|          | 11  | 0,73                            | -0,005                               | -0,001                           |
|          | 0   | 0,00                            | 0,031                                | 0,063                            |

| Sens. 9<br>vert. sx | Sens. 10<br>vert. centro | Sens. 11<br>vert. dx |
|---------------------|--------------------------|----------------------|
| epsilon* 10^-5      |                          |                      |
| 0,0                 | 0,0                      | 0,0                  |
| 16,2                | 32,2                     | 17,9                 |
| 16,2                | 30,2                     | 17,9                 |
| 15,7                | 27,1                     | 16,9                 |
| 13,2                | 24,1                     | 14,4                 |
| 11,2                | 21,1                     | 11,9                 |
| 9,1                 | 18,1                     | 10,0                 |
| 6,1                 | 14,6                     | 8,0                  |
| 4,6                 | 11,6                     | 6,0                  |
| 3,6                 | 8,0                      | 4,0                  |
| 2,0                 | 5,5                      | 3,0                  |
| 0,5                 | 2,5                      | 1,0                  |
| -1,0                | -1,0                     | -1,0                 |
| 15,7                | 31,7                     | 17,9                 |
| 16,2                | 30,7                     | 17,9                 |
| 15,7                | 26,6                     | 17,4                 |
| 13,7                | 24,6                     | 14,4                 |
| 11,7                | 21,6                     | 12,4                 |
| 9,6                 | 19,1                     | 10,4                 |
| 6,6                 | 15,1                     | 9,0                  |
| 5,1                 | 12,1                     | 7,0                  |
| 4,1                 | 9,0                      | 5,0                  |
| 1,5                 | 6,5                      | 3,0                  |
| -0,5                | 3,5                      | 1,5                  |
| -2,5                | -0,5                     | -1,5                 |
| 15,7                | 31,7                     | 17,4                 |

**NOTA** segno - compressione; segno + trazione

**TENSIONE DI ESERCIZIO DELLA MURATURA**

$$\sigma_e = p_o \times K_m \times A_m / A_t = 0,73 \text{ Mpa}$$

dove:  $p_o = 11 \text{ bar}$   
 $K_m = 0,83$   
 $A_m = 715,87 \text{ cm}^2$   
 $A_t = 890,00 \text{ cm}^2$

## MP2 DEL 31/08/2023

### ROTTURA

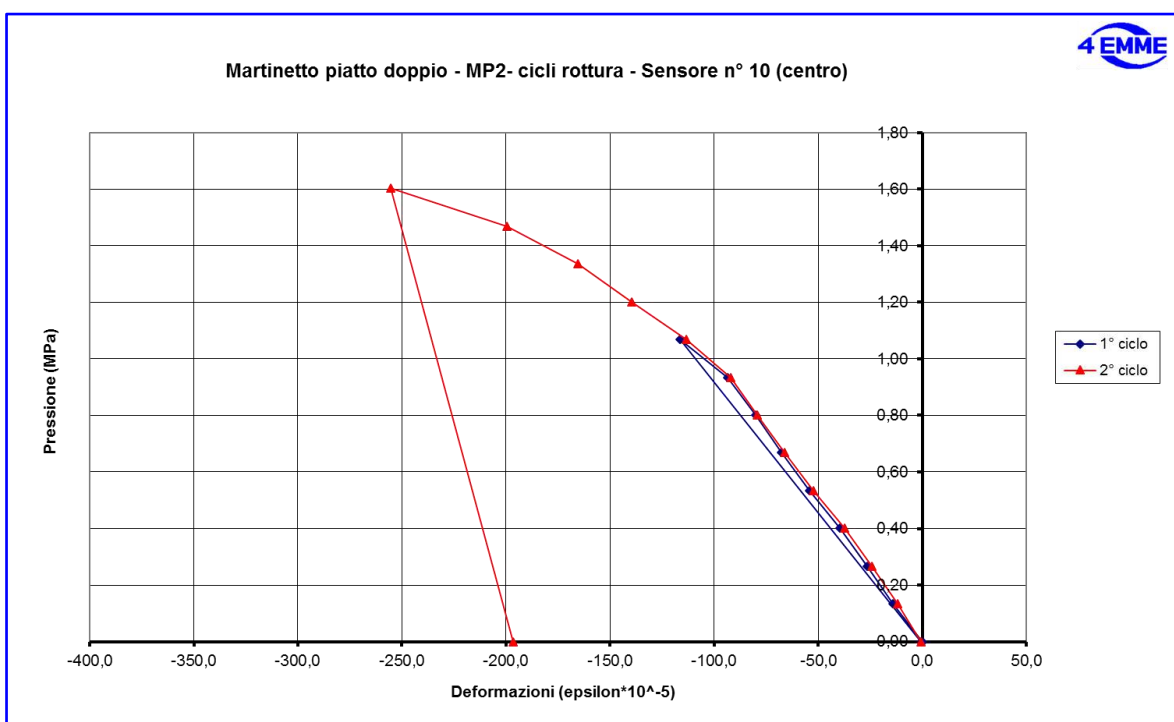
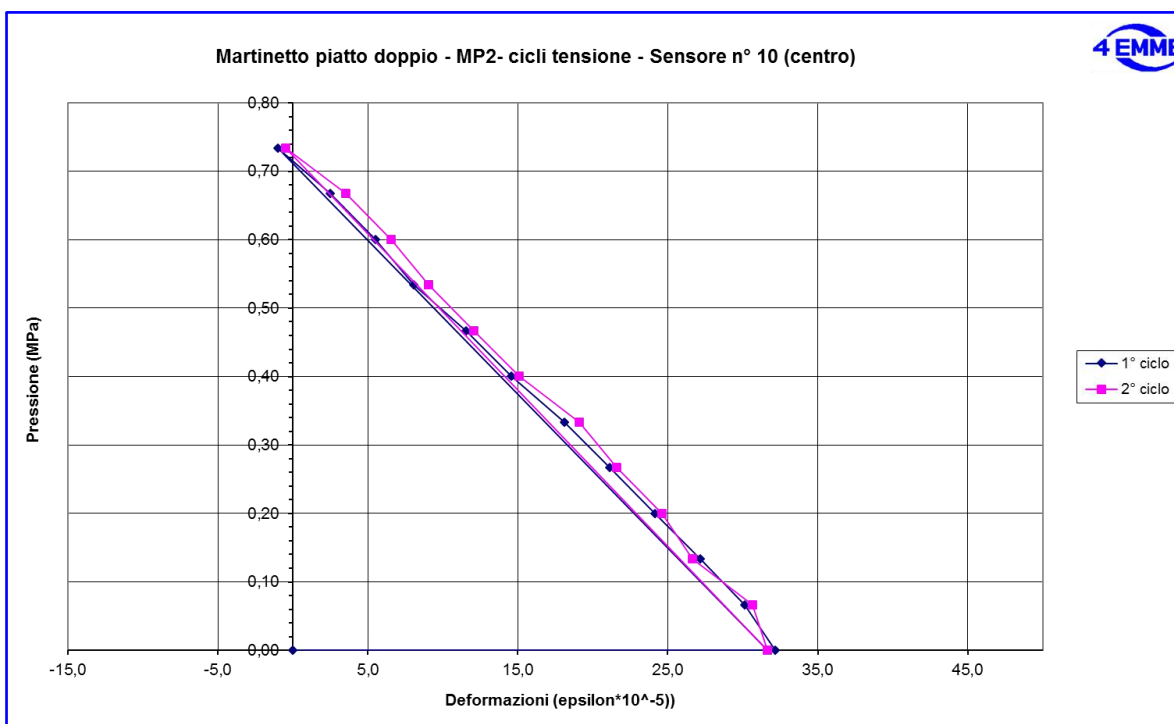
|          |    | Sens. 9<br>vert. sx<br>L=197 mm | Sens. 10<br>vert. centro<br>L=199 mm | Sens. 11<br>vert. dx<br>L=201 mm |        |        |                           |
|----------|----|---------------------------------|--------------------------------------|----------------------------------|--------|--------|---------------------------|
|          |    | bar                             | Mpa                                  | mm                               | mm     | mm     | epsilon* 10 <sup>-5</sup> |
| 1° ciclo | 0  | 0,00                            | 0,000                                | 0,000                            | 0,000  | 0,000  | 0,0                       |
|          | 2  | 0,13                            | -0,010                               | -0,028                           | -0,005 | -0,005 | -5,1                      |
|          | 4  | 0,27                            | -0,022                               | -0,053                           | -0,016 | -0,016 | -11,2                     |
|          | 6  | 0,40                            | -0,038                               | -0,079                           | -0,023 | -0,023 | -19,3                     |
|          | 8  | 0,53                            | -0,047                               | -0,108                           | -0,031 | -0,031 | -23,9                     |
|          | 10 | 0,67                            | -0,056                               | -0,135                           | -0,039 | -0,039 | -28,4                     |
|          | 12 | 0,80                            | -0,069                               | -0,159                           | -0,047 | -0,047 | -35,0                     |
|          | 14 | 0,93                            | -0,082                               | -0,186                           | -0,059 | -0,059 | -41,6                     |
| 2° ciclo | 16 | 1,07                            | -0,105                               | -0,232                           | -0,072 | -0,072 | -53,3                     |
|          | 0  | 0,00                            | 0,001                                | -0,001                           | -0,001 | -0,001 | 0,5                       |
|          | 2  | 0,13                            | 0,002                                | -0,024                           | -0,009 | -0,009 | 1,0                       |
|          | 4  | 0,27                            | -0,018                               | -0,048                           | -0,019 | -0,019 | -9,1                      |
|          | 6  | 0,40                            | -0,027                               | -0,074                           | -0,026 | -0,026 | -13,7                     |
|          | 8  | 0,53                            | -0,038                               | -0,104                           | -0,034 | -0,034 | -19,3                     |
|          | 10 | 0,67                            | -0,049                               | -0,132                           | -0,045 | -0,045 | -24,9                     |
|          | 12 | 0,80                            | -0,061                               | -0,158                           | -0,062 | -0,062 | -31,0                     |
|          | 14 | 0,93                            | -0,074                               | -0,183                           | -0,074 | -0,074 | -37,6                     |
|          | 16 | 1,07                            | -0,092                               | -0,226                           | -0,089 | -0,089 | -46,7                     |
|          | 18 | 1,20                            | -0,114                               | -0,278                           | -0,108 | -0,108 | -57,9                     |
|          | 20 | 1,34                            | -0,147                               | -0,329                           | -0,139 | -0,139 | -74,6                     |
|          | 22 | 1,47                            | -0,192                               | -0,397                           | -0,193 | -0,193 | -97,5                     |
|          | 24 | 1,60                            | -0,286                               | -0,508                           | -0,296 | -0,296 | -145,2                    |
|          | 0  | 0,00                            | -0,174                               | -0,391                           | -0,109 | -0,109 | -88,3                     |
|          |    |                                 |                                      |                                  |        |        | -196,5                    |
|          |    |                                 |                                      |                                  |        |        | -54,2                     |

### TENSIONE DI ROTTURA DELLA MURATURA

$$\sigma_r = p \times \Sigma K_m \times A_m / \Sigma A_t = 1,60 \text{ Mpa}$$

dove: p = 24,0 bar  
 $\Sigma K_m = 1,66$   
 $A_m = 715,87 \text{ cm}^2$   
 $\Sigma A_t = 1780,00 \text{ cm}^2$

| CALCOLO MODULO ELASTICO su Sens. 10 |       |                     |       |     |
|-------------------------------------|-------|---------------------|-------|-----|
| 1° ciclo                            | E sec | (0,13 - 0,80 Mpa) = | 1.014 | Mpa |
| 2° ciclo                            | E sec | (0,13 - 0,80 Mpa) = | 991   | Mpa |
| 2° ciclo                            | E sec | (0,13 - 1,07 Mpa) = | 921   | Mpa |



## 5.6. Prova MP3 – Livello -1 Villino Svizzero

### 5.6.1. Descrizione della prova

Scopo della prova era determinare il carico d'esercizio ed il carico di rottura della muratura al livello -1 del fabbricato (prova con martinetto piatto doppio) nella zona indicata con la sigla MP3 nel disegno n° 3 riportato al paragrafo 2.



*La porzione di muratura provata con il martinetto piatto doppio*

La porzione di muratura oggetto della prova era costituita da mattoni pieni con giunti di malta regolari.

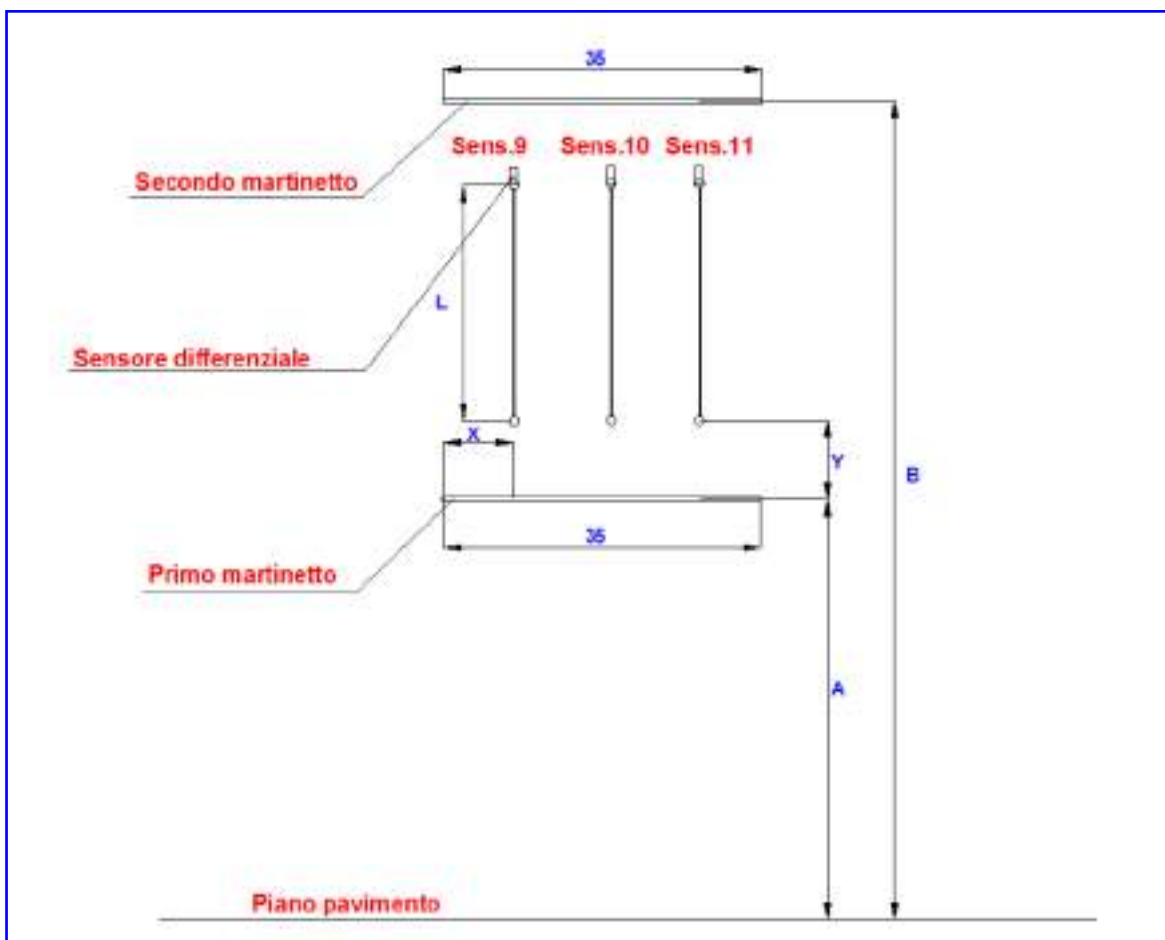
## 5.6.2. Rapporto dei risultati

|                                       |                          |
|---------------------------------------|--------------------------|
| Data:                                 | 4 settembre 2023         |
| Tipologia prova:                      | martinetto piatto doppio |
| Martinetti piatti tipo:               | semicircolare            |
| Disposizione martinetti:              | orizzontali              |
| Area lorda martinetti:                | 778,56 cm <sup>2</sup>   |
| Area effettiva martinetti:            | 715,87 cm <sup>2</sup>   |
| Quota A da p.p. martinetto inferiore: | 130 cm                   |
| Quota B da p.p. martinetto superiore: | 181 cm                   |
| Coefficiente martinetti:              | 0,83                     |

### Disposizione dei sensori differenziali

| Sensore  | X [mm] | Y [mm] | L [mm] |
|----------|--------|--------|--------|
| Sens. 9  | 60     | 135    | 202    |
| Sens. 10 | 171    | 136    | 209    |
| Sens. 11 | 269    | 134    | 207    |

**NOTA BENE:** il sistema di riferimento ha origine dallo spigolo sinistro del martinetto piatto inferiore, con asse X orizzontale ed asse Y verticale; la lunghezza L rappresenta la distanza fra i punti di fissaggio dello strumento ed è quindi la sua base di misura.



*Schema con la disposizione dei sensori e dei martinetti piatti*

Nella prima tabella allegata sono riportati tutti i dati rilevati in sito e successivamente elaborati per determinare la tensione di esercizio (vedere anche grafico allegato); nella seconda tabella i dati per determinare la tensione di rottura (vedere anche grafico allegato) ed il modulo elastico della muratura.

Il modulo elastico secante è stato calcolato tre volte su due cicli di carico e scarico diversi per verificare la ripetibilità del risultato.



*La seconda fase della prova: martinetto piatto doppio*

**RAPPORTO DEI RISULTATI**  
**MARTINETTO PIATTO DOPPIO - MP3**  
**DEL 04/09/2023 RIVOLI VILLA MELANO - VILLINO SVIZZERO**

**TENSIONE**

|          | bar | MPa  | Sens. 9<br>vert. sx<br>L=202 mm | Sens. 10<br>vert. centro<br>L=209 mm | Sens. 11<br>vert. dx<br>L=207 mm |
|----------|-----|------|---------------------------------|--------------------------------------|----------------------------------|
|          |     |      | mm                              | mm                                   | mm                               |
| 1° ciclo | 0   | 0,00 | 0,000                           | 0,000                                | 0,000                            |
|          | 0   | 0,00 | 0,021                           | 0,038                                | 0,030                            |
|          | 1   | 0,07 | 0,019                           | 0,036                                | 0,030                            |
|          | 2   | 0,13 | 0,018                           | 0,032                                | 0,030                            |
|          | 3   | 0,20 | 0,016                           | 0,026                                | 0,025                            |
|          | 4   | 0,27 | 0,014                           | 0,021                                | 0,021                            |
|          | 5   | 0,33 | 0,011                           | 0,018                                | 0,016                            |
|          | 6   | 0,40 | 0,009                           | 0,015                                | 0,013                            |
|          | 7   | 0,47 | 0,006                           | 0,012                                | 0,010                            |
|          | 8   | 0,53 | 0,004                           | 0,009                                | 0,008                            |
|          | 9   | 0,60 | 0,002                           | 0,007                                | 0,005                            |
|          | 10  | 0,67 | 0,000                           | 0,005                                | 0,003                            |
| 2° ciclo | 11  | 0,73 | -0,001                          | 0,003                                | 0,001                            |
|          | 12  | 0,80 | -0,004                          | 0,000                                | -0,002                           |
|          | 0   | 0,00 | 0,021                           | 0,039                                | 0,030                            |
|          | 1   | 0,07 | 0,020                           | 0,036                                | 0,028                            |
|          | 2   | 0,13 | 0,019                           | 0,033                                | 0,028                            |
|          | 3   | 0,20 | 0,016                           | 0,027                                | 0,026                            |
|          | 4   | 0,27 | 0,015                           | 0,023                                | 0,022                            |
|          | 5   | 0,33 | 0,012                           | 0,018                                | 0,017                            |
|          | 6   | 0,40 | 0,009                           | 0,015                                | 0,014                            |
|          | 7   | 0,47 | 0,007                           | 0,013                                | 0,011                            |
|          | 8   | 0,53 | 0,005                           | 0,010                                | 0,009                            |
|          | 9   | 0,60 | 0,003                           | 0,006                                | 0,006                            |
|          | 10  | 0,67 | 0,001                           | 0,003                                | 0,004                            |
|          | 11  | 0,73 | -0,001                          | 0,001                                | 0,002                            |
|          | 12  | 0,80 | -0,003                          | -0,001                               | 0,000                            |
|          | 0   | 0,00 | 0,020                           | 0,041                                | 0,029                            |

| Sens. 9<br>vert. sx | Sens. 10<br>vert. centro | Sens. 11<br>vert. dx |
|---------------------|--------------------------|----------------------|
| epsilon* 10^-5      |                          |                      |
| 0,0                 | 0,0                      | 0,0                  |
| 10,4                | 18,2                     | 14,5                 |
| 9,4                 | 17,2                     | 14,5                 |
| 8,9                 | 15,3                     | 14,5                 |
| 7,9                 | 12,4                     | 12,1                 |
| 6,9                 | 10,0                     | 10,1                 |
| 5,4                 | 8,6                      | 7,7                  |
| 4,5                 | 7,2                      | 6,3                  |
| 3,0                 | 5,7                      | 4,8                  |
| 2,0                 | 4,3                      | 3,9                  |
| 1,0                 | 3,3                      | 2,4                  |
| 0,0                 | 2,4                      | 1,4                  |
| -0,5                | 1,4                      | 0,5                  |
| -2,0                | 0,0                      | -1,0                 |
| 10,4                | 18,7                     | 14,5                 |
| 9,9                 | 17,2                     | 13,5                 |
| 9,4                 | 15,8                     | 13,5                 |
| 7,9                 | 12,9                     | 12,6                 |
| 7,4                 | 11,0                     | 10,6                 |
| 5,9                 | 8,6                      | 8,2                  |
| 4,5                 | 7,2                      | 6,8                  |
| 3,5                 | 6,2                      | 5,3                  |
| 2,5                 | 4,8                      | 4,3                  |
| 1,5                 | 2,9                      | 2,9                  |
| 0,5                 | 1,4                      | 1,9                  |
| -0,5                | 0,5                      | 1,0                  |
| -1,5                | -0,5                     | 0,0                  |
| 9,9                 | 19,6                     | 14,0                 |

NOTA segno - compressione; segno + trazione

**TENSIONE DI ESERCIZIO DELLA MURATURA**

$$\sigma_e = p_o \times K_m \times A_m / A_t = 0,80 \text{ Mpa}$$

dove:  $p_o = 12 \text{ bar}$   
 $K_m = 0,83$   
 $A_m = 715,87 \text{ cm}^2$   
 $A_t = 890,00 \text{ cm}^2$

**MP3 DEL 04/09/2023**

**ROTTURA**

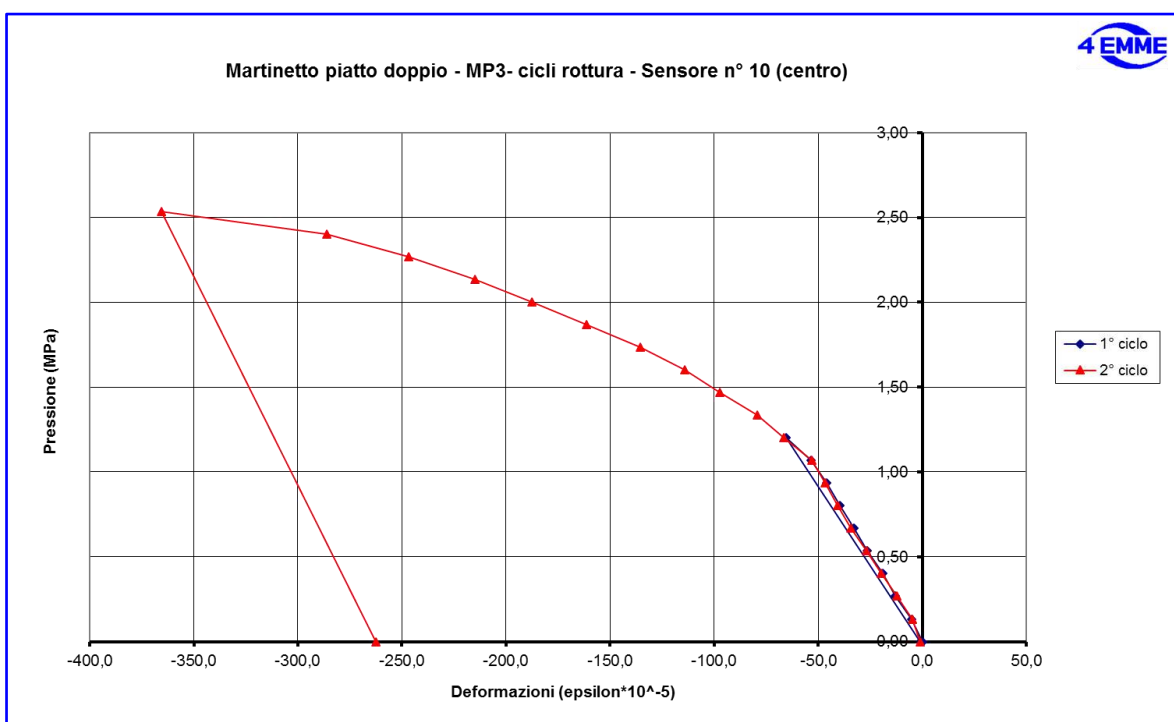
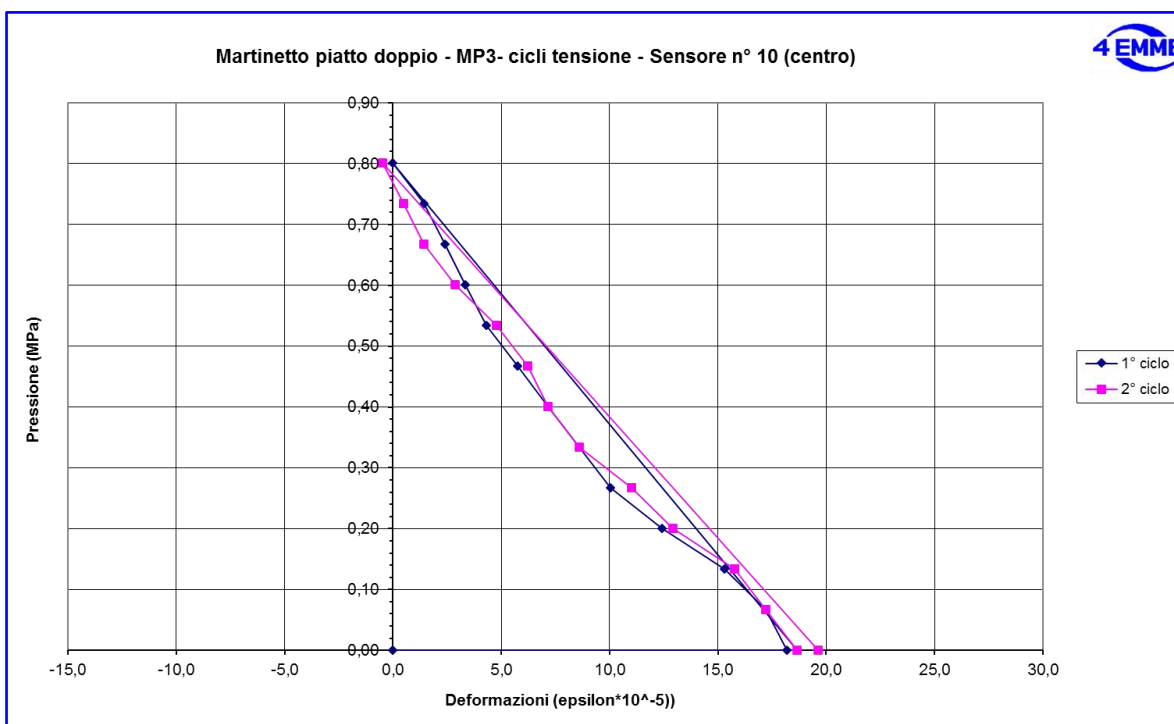
|          | bar | Mpa  | Sens. 9<br>vert. sx<br>L=202 mm | Sens. 10<br>vert. centro<br>L=209 mm | Sens. 11<br>vert. dx<br>L=207 mm | Sens. 9<br>vert. sx       | Sens. 10<br>vert. centro | Sens. 11<br>vert. dx |
|----------|-----|------|---------------------------------|--------------------------------------|----------------------------------|---------------------------|--------------------------|----------------------|
|          |     |      | mm                              | mm                                   | mm                               | epsilon* 10 <sup>-5</sup> |                          |                      |
| 1° ciclo | 0   | 0,00 | 0,000                           | 0,000                                | 0,000                            | 0,0                       | 0,0                      | 0,0                  |
|          | 2   | 0,13 | -0,001                          | -0,011                               | -0,009                           | -0,5                      | -5,3                     | -4,3                 |
|          | 4   | 0,27 | -0,007                          | -0,027                               | -0,021                           | -3,5                      | -12,9                    | -10,1                |
|          | 6   | 0,40 | -0,016                          | -0,040                               | -0,036                           | -7,9                      | -19,1                    | -17,4                |
|          | 8   | 0,53 | -0,024                          | -0,055                               | -0,054                           | -11,9                     | -26,3                    | -26,1                |
|          | 10  | 0,67 | -0,033                          | -0,069                               | -0,069                           | -16,3                     | -33,0                    | -33,3                |
|          | 12  | 0,80 | -0,042                          | -0,083                               | -0,084                           | -20,8                     | -39,7                    | -40,6                |
|          | 14  | 0,93 | -0,050                          | -0,096                               | -0,103                           | -24,8                     | -45,9                    | -49,8                |
|          | 16  | 1,07 | -0,056                          | -0,112                               | -0,127                           | -27,7                     | -53,6                    | -61,4                |
|          | 18  | 1,20 | -0,069                          | -0,137                               | -0,158                           | -34,2                     | -65,6                    | -76,3                |
| 2° ciclo | 0   | 0,00 | -0,001                          | -0,002                               | -0,002                           | -0,5                      | -1,0                     | -1,0                 |
|          | 2   | 0,13 | -0,003                          | -0,010                               | -0,010                           | -1,5                      | -4,8                     | -4,8                 |
|          | 4   | 0,27 | -0,007                          | -0,026                               | -0,028                           | -3,5                      | -12,4                    | -13,5                |
|          | 6   | 0,40 | -0,012                          | -0,041                               | -0,044                           | -5,9                      | -19,6                    | -21,3                |
|          | 8   | 0,53 | -0,020                          | -0,056                               | -0,063                           | -9,9                      | -26,8                    | -30,4                |
|          | 10  | 0,67 | -0,026                          | -0,072                               | -0,079                           | -12,9                     | -34,4                    | -38,2                |
|          | 12  | 0,80 | -0,050                          | -0,085                               | -0,103                           | -24,8                     | -40,7                    | -49,8                |
|          | 14  | 0,93 | -0,044                          | -0,098                               | -0,127                           | -21,8                     | -46,9                    | -61,4                |
|          | 16  | 1,07 | -0,052                          | -0,111                               | -0,144                           | -25,7                     | -53,1                    | -69,6                |
|          | 18  | 1,20 | -0,065                          | -0,139                               | -0,162                           | -32,2                     | -66,5                    | -78,3                |
|          | 20  | 1,34 | -0,079                          | -0,166                               | -0,183                           | -39,1                     | -79,4                    | -88,4                |
|          | 22  | 1,47 | -0,093                          | -0,203                               | -0,219                           | -46,0                     | -97,1                    | -105,8               |
|          | 24  | 1,60 | -0,102                          | -0,239                               | -0,258                           | -50,5                     | -114,4                   | -124,6               |
|          | 26  | 1,74 | -0,116                          | -0,283                               | -0,291                           | -57,4                     | -135,4                   | -140,6               |
|          | 28  | 1,87 | -0,132                          | -0,337                               | -0,348                           | -65,3                     | -161,2                   | -168,1               |
|          | 30  | 2,00 | -0,152                          | -0,392                               | -0,409                           | -75,2                     | -187,6                   | -197,6               |
|          | 32  | 2,14 | -0,179                          | -0,449                               | -0,468                           | -88,6                     | -214,8                   | -226,1               |
|          | 34  | 2,27 | -0,214                          | -0,516                               | -0,582                           | -105,9                    | -246,9                   | -281,2               |
|          | 36  | 2,40 | -0,257                          | -0,598                               | -0,698                           | -127,2                    | -286,1                   | -337,2               |
|          | 38  | 2,54 | -0,322                          | -0,764                               | -0,918                           | -159,4                    | -365,6                   | -443,5               |
|          | 0   | 0,00 | -0,301                          | -0,549                               | -0,802                           | -149,0                    | -262,7                   | -387,4               |

**TENSIONE DI ROTTURA DELLA MURATURA**

$$\sigma_r = p \times \Sigma K_m \times A_m / \Sigma A_t = 2,54 \text{ Mpa}$$

dove: p = 38,0 bar  
 $\Sigma K_m$  = 1,66  
 $A_m$  = 715,87 cm<sup>2</sup>  
 $\Sigma A_t$  = 1780,00 cm<sup>2</sup>

| CALCOLO MODULO ELASTICO su Sens. 10 |       |                     |       |     |
|-------------------------------------|-------|---------------------|-------|-----|
| 1° ciclo                            | E sec | (0,13 - 0,80 Mpa) = | 1.938 | Mpa |
| 2° ciclo                            | E sec | (0,13 - 0,80 Mpa) = | 1.860 | Mpa |
| 2° ciclo                            | E sec | (0,13 - 1,07 Mpa) = | 1.934 | Mpa |



## 6. ANALISI PETROGRAFICHE SU MALTE - PROVA N° 10070/TO

Il prelievo dei campioni di malta è avvenuto il 2 agosto 2023 in alcuni punti degli elementi murari dei fabbricati Villino Svizzero e Villa Antica come indicato nei disegni riportati in relazione al paragrafo 2.

I punti di prelievo sono i seguenti:

- **malta M1 – Villino Svizzero:** livello -1, colonna centrale, campione prelevato da muratura in mattoni pieni;
- **malta M2 – Villino Svizzero:** livello 0, muro perimetrale verso Nord-Est, campione prelevato da muratura mista in mattoni pieni e pietre;
- **malta M3 – Villa Antica:** livello -1, colonna porticata, campione prelevato da muratura mista in mattoni pieni e pietre;
- **malta M4 – Villa Antica:** livello 1, muro perimetrale verso Sud-Est, campione prelevato da muratura mista in mattoni pieni e pietre.

Dopo il prelievo i campioni di malta sono stati inviati al Laboratorio Prove Materiali della 4 EMME Service S.p.A. di Bolzano, dove sono stati preparati dei provini poi sottoposti a studio petrografico quantitativo al microscopio polarizzatore (MPOM) su preparato in sezione sottile secondo la norma UNI 11176:2006.

Le modalità di prova ed i risultati sono riportati sul rapporto di prova n° 3922 del 31/08/2023 del Laboratorio Prove Materiali di Bolzano, allegato alla relazione.



*Prelievo malta M1*



*Prelievo malta M2*



*Prelievo malta M3*



*Prelievo malta M4*

Tutti i dati riportati nella relazione sono stati ricavati dai rilievi eseguiti in sito e dai file memorizzati durante l'esecuzione delle prove.

Torino, 22 settembre 2023

il Relatore  
Geom. Diego Doto

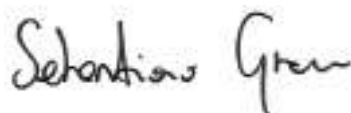


4 EMME Service S.p.A.  
il Direttore del Centro di Torino  
Arch. Alberto Capussotto



RELAZIONE REVISIONATA DA:

Geom. Sebastiano Greco





## 4 EMME Service S.p.A.

### Laboratorio Prove Materiali

Via L. Zuegg, 20 39100 Bolzano Tel. 0471 543182 – Fax 543180  
laboratoriobolzano-4m@legalmail.it – www.4emme.it

Sistema Qualità ISO 9001:2015 certificato RINA nr. 6441/01/S

Pagina / Seite 1 di / von 5

#### RAPPORTO DI PROVA / PRÜFBERICHT

NR. 3922

del / vom 31/08/2023

Il sottoscritto:

Der Unterfertigte:

Fabio Macario

Consegna per ordine di:  
Übergibt im Auftrag:

Editel S.p.A.

In qualità di:

In seiner Eigenschaft als:

Incaricato

**Cliente:**

**Kunde:**

**Editel S.p.A.  
Via Campodello, 1  
12070 Nucereto (CN)**

Verbale di accettazione:

Annahmeprotokoll:

Nr. 12270 del/vom 03/08/2023

**Descrizione della prova:**

**Prüfungsbeschreibung:**

**DESCRIZIONE PETROGRAFICA**

Norme di riferimento:

Bezugsnormen:

UNI 11176:2006

Descrizione del materiale:

Materialbeschreibung:

4 campioni di malta

Cantiere - Luogo del prelievo:

Baustelle - Ort der Probeentnahme:

Villa Melano - Rivoli (TO)

Committente delle opere:

Bautenauftraggeber:

Editel S.p.A.

Impresa:

Baufirma:

Richiesta sottoscritta dal Direttore Lavori:

Prüfauftrag vom Bauleiter unterschrieben:

Prelievo eseguito da:

Entnahme verrichtet von:

4 Emme Service S.p.A.

Data del Prelievo:

Entnahmedatum:

02/08/2023

Data della prova:

Prüfdatum:

31/08/2023

*Il presente Rapporto di Prova si riferisce solo al campione sottoposto alle prove.*

Il Sperimentatore  
Der Labortechniker  
Dott. geol. Andrea Tralli

Il Direttore del Laboratorio  
Der Direktor  
Dott. ing. Stefano Martinello



## 4 EMME Service S.p.A.

### Laboratorio Prove Materiali

Via L. Zuegg, 20 - 39100 Bolzano Tel. 0471 543182 - Fax 543180

laboratoriobolzano4m@legalmail.it - www.4emme.it

Sistema Qualità ISO 9001:2015 certificato RINA nr. 8441/01/S

Pagina / Seite 2 di / von 5

## RAPPORTO DI PROVA / PRÜFBERICHT

NR. 3922

del / vom 31/08/2023

Sigla Campione: M1

Ubicazione Prelievo: Muro livello -1 Villa Svizzera

### Descrizione macroscopica

Malta di colore grigio chiaro e coesione tenace a granulometria arenacea.

### Descrizione mineralogico-petrografica

| TESSITURA                            | COMPONENTI                                                 | ANALISI MODALE* |
|--------------------------------------|------------------------------------------------------------|-----------------|
| Matrice                              | Formata da calce a struttura omogenea e tessitura micacea. | 38 %            |
| Porosità da aggregati                | Definita da vuoti di forma irregolare.                     | 2 %             |
| Porosità da legante                  | Definita da vuoti di forma irregolare.                     | 16 %            |
| Porosità da sutura aggregato/legante | Non definita.                                              | -               |
| Aggregati                            | Calceanti Quarzo                                           | 86 %            |
|                                      | Rocce Metamorfiche                                         | 6 %             |
|                                      | Plagioclasio                                               | 2 %             |
|                                      | Altri                                                      | 2 %             |

\* Determinazioni effettuate con il metodo di analisi modale (SP/21.5.01/11.5) - 1994.

### Descrizione microscopica degli aggregati

| TESSITURA     | COMPONENTI                                                  | ANALISI MODALE* |
|---------------|-------------------------------------------------------------|-----------------|
| Granulometria | Siltoso (minore di 62,5 µm)                                 | 20 %            |
|               | Arenaceo (62,5 µm - 2,0 mm)                                 | 80 %            |
|               | Conglomeratico fine (tra 2,0 e 4,0 mm)                      | 0 %             |
|               | Conglomeratico grossolano (oltre i 4,0 mm)                  | 0 %             |
| Forma         | Da arrotondato ad angoloso                                  |                 |
| Stacchi       | Medio-belli                                                 |                 |
| Classazione   | Scarsa. Non si notano orientazioni preferenziali dei ciassi |                 |

\* Determinazioni effettuate con il metodo di analisi modale (SP/21.5.01/11.5) - 1994.



Comunità del grato.

### Caratterizzazione del materiale

|                              |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |                                                                                           |
|------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------|
| Classificazione dell'impasto | <p>Malta di colore grigio chiaro, tenace, realizzata con calce idraulica caricata con inerti principalmente silicei.</p> <p>La granulometria dell'aggregato varia dalla classe siltoso a quella arenacea con prevalenza di quest'ultima frazione.</p> <p>Il rapporto aggregato/legante in pasta è circa 5/2.</p> <p>La porosità totale è medio-bassa, definita da vuoti di forma prevalentemente regolare.</p> <p>Lo stato di conservazione è buono.</p> |                                                                                           |
| Osservazioni particolari     | L'impasto analizzato può essere classificato come appartenente alla classe M 2,5 (idraulica) secondo il D.L. 17/01/2018, Tab. 1 e 10.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | Fotomicrografia al Microscopio Polarizzatore in luce trasmessa, sezione sottile, 40 x N+. |

Lo Sperimentatore  
Der Laborantiker  
Dott. ing. Andrea Trill

Il Direttore del Laboratorio  
Der Direktor  
Dott. ing. Stefano Martinello

**RAPPORTO DI PROVA /  
PRÜFBERICHT**
**NR. 3922**
**del / vom 31/08/2023**

Sigla Campione: M2

Ubicazione Prelievo: Mur di Ivelin Il Villino Svizzera

**Descrizione macroscopica**

Malta di colore grigio chiaro a coesione tenace a granulometria arenacea.

**Descrizione mineralogico-petrografica**

| TESSITURA                            | COMPONENTI                                                    | ANALISI MODALE* |
|--------------------------------------|---------------------------------------------------------------|-----------------|
| Matrice                              | Formato da calcite a struttura omogenea e tessitura mictrica. | 39 %            |
| Porosità da aggregati                | Definita da vuoti di forma irregolare.                        | 2 %             |
| Porosità da legante                  | Definita da vuoti di forma irregolare.                        | 14 %            |
| Porosità da sutura aggregato/legante | Non definita                                                  | -               |
| Aggregati                            | Calcareniti Quarzo                                            | 60 %            |
|                                      | Calcani mortigli                                              | 20 %            |
|                                      | Rocce Metamorfiche                                            | 12 %            |
|                                      | Altre                                                         | 8 %             |

\* Determinazioni percentuali sulla base di un campione asciutto (ISAE 7500/4.3 - 1954)

**Descrizione microscopica degli aggregati**

| TESSITURA       | COMPONENTI                                                   | ANALISI MODALE* |
|-----------------|--------------------------------------------------------------|-----------------|
| Granulometria   | Silioso (minore di 62,5 µm).                                 | 25 %            |
|                 | Arenacea (62,5 µm – 2,0 mm).                                 | 75 %            |
|                 | Conglomerato fine (tra 2,0 e 4,0 mm).                        | 0 %             |
|                 | Conglomerato grossolano (oltre i 4,0 mm).                    | 0 %             |
| Forma           | Da arrotondata ad angiosa.                                   |                 |
| Strofilità      | Medio-alta                                                   |                 |
| Classificazione | Scarsa. Non si notano orientazioni preferenziali dei clasti. |                 |



Campione tal quale.

\* Determinazioni percentuali sulla base di un campione asciutto (ISAE 7500/4.3 - 1954)

**Caratterizzazione del materiale**

|                              |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |                                                                                       |
|------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
| Classificazione dell'impasto | <p>Malta di colore grigio chiaro, tenace, realizzata con calce idraulica caricata con inerti principalmente silicei.</p> <p>La granulometria dell'aggregato varia dalla classe silioso a quella arenacea con prevalenza di quest'ultima frazione.</p> <p>Il rapporto aggregato/legante in pasta è circa 5/2.</p> <p>La porosità totale è medio-bassa, definita da vuoti di forma prevalentemente irregolare.</p> <p>Lo stato di conservazione è buono.</p> |  |
| Osservazioni particolari     | <p>L'impasto analizzato può essere classificato come appartenente alla classe M 2.5 (Idraulica) secondo il D.M. 17/01/2018, Tab. 11.10 v.</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |                                                                                       |

Fotomicrografia al Microscopio Polarizzatore in luce trasmessa, sezione sottile, 40 x N+

Lo Sperimentatore  
Der Labortechniker  
Dott. Geol. Andrea Trani

Il Direttore del Laboratorio  
Der Direktor  
Dott. Ing. Settimio Martinello

**RAPPORTO DI PROVA /  
PRÜFBERICHT**
**NR. 3922**
**del / vom 31/08/2023**

Segla Campione: M3

Ubicazione Prelievo: Muro livello -1 Villa Antica

**Descrizione macroscopica**

Malta di colore grigio chiaro a coesione tenace a granulometria arenacea

**Descrizione mineralogico-petrografica**

| TESSITURA                            | COMPONENTI                                                   |      | ANALISI MODALE* |
|--------------------------------------|--------------------------------------------------------------|------|-----------------|
| Matrice                              | Formato da calcite a struttura omogenea e tessitura micnica. |      | 34 %            |
| Porosità da aggregati                | Definita da vacui di forma irregolare.                       |      | 3 %             |
| Porosità da legante                  | Definita da vacui di forma irregolare.                       |      | 15 %            |
| Porosità da sutura aggregato/legante | Non definita.                                                |      | -               |
| Aggregati                            | Calcestruzzo Quarzo                                          | 60 % | 48 %            |
|                                      | Calcestruzzo miclici                                         | 20 % |                 |
|                                      | Rocce Metamorfiche                                           | 12 % |                 |
|                                      | Altre                                                        | 8 %  |                 |

\* Determinazioni percentuali sulla base di una sonda casuale (Shufeldt/NAS - 1956)

**Descrizione microscopica degli aggregati**

Descrizione microscopica degli aggregati

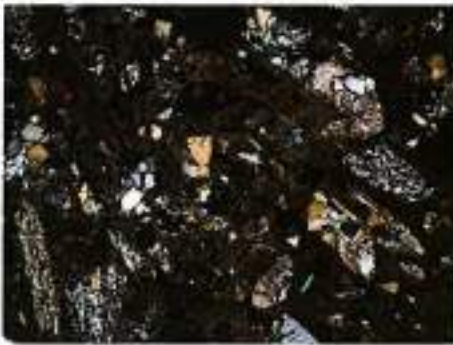
| TESSITURA     | COMPONENTI                                                   | ANALISI MODALE* |
|---------------|--------------------------------------------------------------|-----------------|
| Granulometria | Siltoso (minore di 62.5 µm).                                 | 25 %            |
|               | Arenaceo (62.5 µm – 2.0 mm).                                 | 75 %            |
|               | Conglomeratico fine (tra 2.0 e 4.0 mm)                       | 0 %             |
|               | Conglomeratico grossolano (oltre 4.0 mm).                    | 0 %             |
| Forma         | Lia arrotondata ad angoloso.                                 |                 |
| Sfericità     | Medio-alta.                                                  |                 |
| Classazione   | Scarsa. Non si notano orientazioni preferenziali dei clasti. |                 |



Campione fai quelo.

\* Determinazioni percentuali sulla base di una sonda casuale (Shufeldt/NAS - 1956)

**Caratterizzazione del materiale**

|                              |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |                                                                                                 |
|------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Classificazione dell'impasto | <p>Malta di colore grigio chiaro tenace, realizzata con calce idraulica caricata con inerti principalmente siltatici.</p> <p>La granulometria dell'aggregato varia dalla classe siltoso a quella arenacea con prevalenza di quest'ultima frazione.</p> <p>Il rapporto aggregato/legante in pasta è circa 5/2.</p> <p>La porosità totale è medio-bassa, definita da vacui di forma prevalentemente irregolare.</p> <p>Lo stato di conservazione è buono.</p> |            |
| Osservazioni particolari     | <p>L'impasto analizzato può essere classificato come appartenente alla classe M 2,5 (Idraulica) secondo il D.M. 17/01/2011, Tab. 11 1) V.</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | <p>Foronicrografia al Microscopio Polarizzatore in luce trasmessa, sezione sottile, 40 x N=</p> |

Lo Sperimentatore  
Der Labordachnik  
Dott. geol. Andrea Tralli

Il Direttore del laboratorio  
Der Direktor  
Dott. Ing. Stefano Martinello

**RAPPORTO DI PROVA /  
PRÜFBERICHT**
**NR. 3922**
**del / vom 31/08/2023**

Sigla Campione: M4

Ubicazione Prelievo: Miro Inello 1 Villa Anthra

**Descrizione macroscopica**

Matta di colore grigio chiaro a coesione tenace a granulometria arenacea.

**Descrizione mineralogico-petrografica**

| TESSITURA                            | COMPONENTI                                                   | ANALISI MODALE* |
|--------------------------------------|--------------------------------------------------------------|-----------------|
| Matrice                              | Formata da calcite a struttura omogenea a tessitura micrida. | 36 %            |
| Porosità da aggregati                | Definita da vacui di forma irregolare.                       | 4 %             |
| Porosità da legante                  | Definita da vacui di forma irregolare.                       | 16 %            |
| Porosità da sutura aggregato/legante | Non definita                                                 |                 |
| Aggregati                            | Quarzo                                                       | 70 %            |
|                                      | Rocke Metamorfiche                                           | 20 %            |
|                                      | Calcoli micridici                                            | 5 %             |
|                                      | Altro                                                        | 5 %             |

\*Determinazioni percentuali sulla base di una sabbia (quarzo) (SAB 15/2) (M.S. - 1954).

**Descrizione microscopica degli aggregati**

| TESSITURA     | COMPONENTI                                                  | ANALISI MODALE* |
|---------------|-------------------------------------------------------------|-----------------|
| Granulometria | Siltoso (minore di 62,5 µm).                                | 23 %            |
|               | Arenaceo (62,5 µm - 2,0 mm)                                 | 77 %            |
|               | Conglomeratico fine (tra 2,0 e 4,0 mm).                     | 0 %             |
|               | Conglomeratico grossolano (oltre 4,0 mm).                   | 0 %             |
| Forma         | Da arrotondati ad angolosi                                  |                 |
| Sfericità     | Medio-bassa.                                                |                 |
| Classazione   | Scarsa. Non si notano orientazioni preferenziali dei clasti |                 |



Campione in quale.

\*Determinazioni percentuali sulla base di una sabbia (quarzo) (SAB 15/2) (M.S. - 1954).

**Caratterizzazione del materiale**

|                              |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |                                                                                                 |
|------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Classificazione dell'impasto | <p>Matta di colore grigio chiaro, tenace, realizzata con calce idraulica carente con inerti principalmente silatici.</p> <p>La granulometria dell'aggregato varia dalla classe siltoso a quella arenacea con prevalenza di quest'ultima frazione.</p> <p>Il rapporto aggregato/legante in pasta è circa 0,2</p> <p>La porosità totale è medio-bassa, definita da vacui di forma prevalentemente irregolare.</p> <p>Lo stato di conservazione è buono.</p> |            |
| Osservazioni particolari     | <p>L'impasto analizzato può essere classificato come appartenente alla classe M 7,5 (Idraulica) secondo il D.M. 17/01/2018, Tab. 11.10.V.</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | <p>Fotomicrografia al Microscopio Polarizzatore in luce trasmessa, sezione sottile, 40 x N+</p> |

Lo Sperimentatore  
Der Laborantiker  
Dott. ing. Andrea Tassi

Il Direttore del Laboratorio  
Der Direktor  
Dott. ing. Stefano Martello





**4 EMME Service S.p.A.**

**Prove in Sito - Laboratorio Prove Materiali**

Sede legale: Via L. Zuegg, 20 - 39100 Bolzano - ITALY

Tel. 0471/543111 - Fax 543110 [4emme@legalmail.it](mailto:4emme@legalmail.it) [www.4emme.it](http://www.4emme.it)

Sistema Qualità ISO 9001:2015 certificato RINA nr. 6441/01/S

**CARATTERIZZAZIONI DINAMICHE**  
**“VILLA ANTICA” E “VILLINO SVIZZERO”**  
**VIA MELANO s.n.c. – RIVOLI (TO)**

**PROVA n° 10071/TO**

**12 e 14 settembre 2023**

Committente: **EDITEL S.p.A.**

Progettisti: **MCM Ingegneria S.r.l.**

Relatore: **ing. Fabio Macario**



***Vista aerea di “Villa Antica” e del “Villino Svizzero”***

RIF.: TO-153-23

Torino, 29 settembre 2023

|                          |             |                           |                    |                                                              |             |
|--------------------------|-------------|---------------------------|--------------------|--------------------------------------------------------------|-------------|
| C.F./P.I. IT 01288130212 |             | Cap. Soc. 500.000,00 Euro | R.E.A. - BZ 111601 | CASSA CENTRALE RAIFFEISEN BZ IT49 B 03493 11600 000305027138 |             |
| Bolzano                  | 0471-543111 | Firenze                   | 055-461000         | Modena                                                       | 059-395414  |
| Bologna                  | 051-6346908 | Genova                    | 010-586195         | Padova                                                       | 049-8020707 |
| Cagliari                 | 070-480732  | Marche                    | 0734-903279        | Palermo                                                      | 091-6703629 |
| Como                     | 031-305253  | Milano                    | 02-40092545        | Piacenza                                                     | 0523-755849 |
|                          |             |                           |                    | Roma                                                         | 06-71546992 |
|                          |             |                           |                    | Torino                                                       | 011-7706023 |
|                          |             |                           |                    | Treviso                                                      | 0438-960200 |
|                          |             |                           |                    | Verona                                                       | 045-8004278 |
|                          |             |                           |                    | <b>Laboratori Autorizzati</b>                                |             |
|                          |             |                           |                    | Bolzano                                                      | 0471-543111 |
|                          |             |                           |                    | Milano                                                       | 02-40092545 |

## INDICE

|                                                                    |    |
|--------------------------------------------------------------------|----|
| 1. PREMESSA.....                                                   | 2  |
| 2. UBICAZIONI DELLE PROVE.....                                     | 3  |
| 3. CARATTERIZZAZIONE DINAMICA.....                                 | 4  |
| 4. CARATTERIZZAZIONE “VILLA ANTICA” – PROVA N° 10071-A/TO.....     | 5  |
| 5. CARATTERIZZAZIONE “VILLINO SVIZZERO” – PROVA N°10071-B/TO ..... | 15 |

### 1. PREMESSA

La Società *4 EMME Service S.p.A.*, specializzata nell'esecuzione di prove sperimentali su strutture in sito, è stata incaricata dalla società **EDITEL S.p.A.** con sede in **Via Campodello n° 1 a Nucetto (CN)**, di eseguire le caratterizzazioni dinamiche del complesso di Villa Melano (Villa Antica e Villino Svizzero) sito in Via Merano a Rivoli (TO).

La scelta degli elementi strutturali da sottoporre a prova, le modalità di prova ed i punti di misura sono stati preventivamente concordati con l'arch. Paolo Giorda e l'ing. Alessandro Pisano dello studio MCM Ingegneria S.r.l. di Torino.

Le prove sono state eseguite nei giorni 12 e 14 settembre 2023.

All'esecuzione delle prove erano presenti per la *4 EMME Service S.p.A.*:

ing. Fabio Macario;  
geom. Roberto Monaco.

## 2. UBICAZIONI DELLE PROVE

Di seguito si riporta la vista aerea e qualche fotografia degli edifici oggetto delle prove.



*Vista aerea di "Villa Antica" (A) e del "Villino Svizzero" (B)*



*Vista di "Villa Antica"*



*Vista del "Villino Svizzero"*

### 3. CARATTERIZZAZIONE DINAMICA

Lo scopo della caratterizzazione dinamica è quello di individuare sperimentalmente le frequenze e le forme modali di una struttura. I parametri dinamici, essendo legati a tutti gli elementi geometrici e meccanici, sono un supporto fondamentale per la calibrazione dei modelli numerici e rappresentano un valido strumento di controllo nel tempo dell'eventuale variazione delle condizioni generali.

Va considerato che il modello numerico di una struttura è realizzato attraverso delle ipotesi teoriche estremamente difficili da valutare, come rigidità, moduli di elasticità dei materiali, gradi di vincolo. Valori che devono essere introdotti in maniera tale da realizzare teoricamente una struttura aderente al comportamento reale.

La calibrazione del modello si ottiene attraverso la variazione intelligente dei parametri di input in modo tale che la risposta teorica, statica e/o dinamica, abbia corrispondenza coi parametri ottenuti dalla sperimentazione.

Sul modello calibrato, rappresentativo della struttura reale, si potranno effettuare tutte le simulazioni utili, in particolar modo quelle sismiche, per valutare il comportamento nella condizione di sollecitazione estrema.

#### 3.1. Strumentazione impiegata

Le misure delle frequenze proprie della struttura sono state ottenute utilizzando tromografi digitali Microsismic 6S costituiti da una terna accelerometrica ed una geofonica:

- sensibilità velocimetri:  $\pm 1,5 \div \pm 45,6$  mm/s;
- fondo scala accelerometri:  $\pm 3$  g nella banda 0,5 Hz-1600 Hz per gli assi X e Y e 0,5 Hz-550 Hz per l'asse Z;
- la densità di potenza spettrale del rumore è 280  $\mu\text{g}/\sqrt{\text{Hz}}$  rms per gli assi X e Y e 350  $\mu\text{g}/\sqrt{\text{Hz}}$  rms per l'asse Z;
- la tipologia è MEMS®.

Le apparecchiature sono collegate tra loro via radio per consentire la sincronizzazione del segnale.

L'eccitazione della struttura è stata di tipo naturale attraverso il microtremore di fondo.



*Un Microsismic 6S*

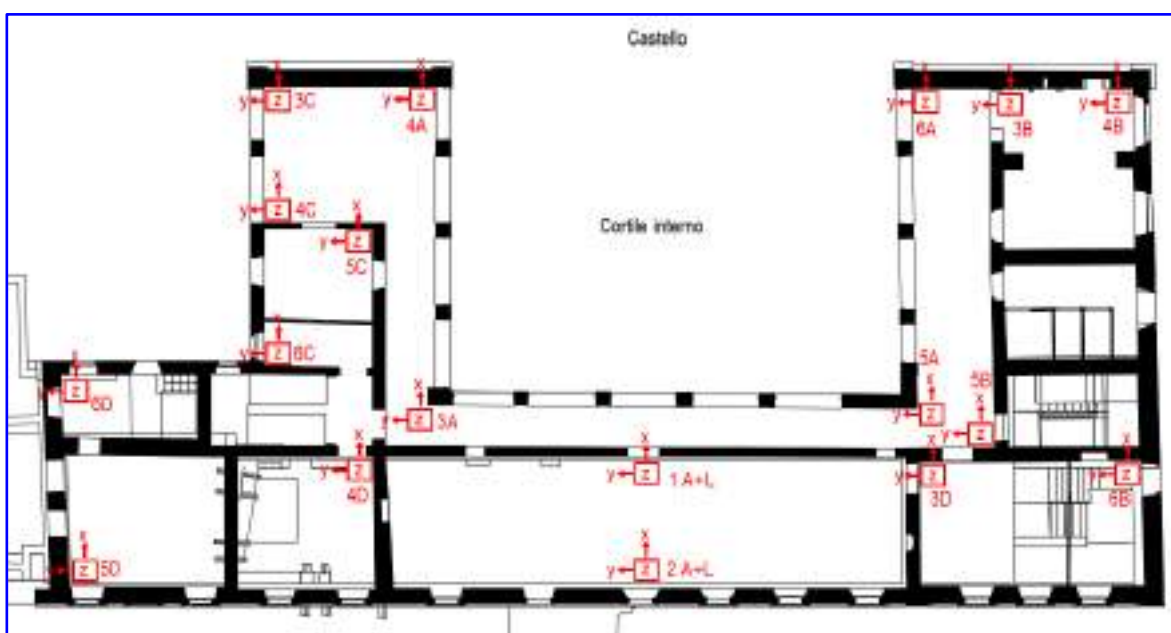
#### 4. CARATTERIZZAZIONE “VILLA ANTICA” – PROVA N° 10071-A/TO

##### 4.1. Posizioni degli strumenti

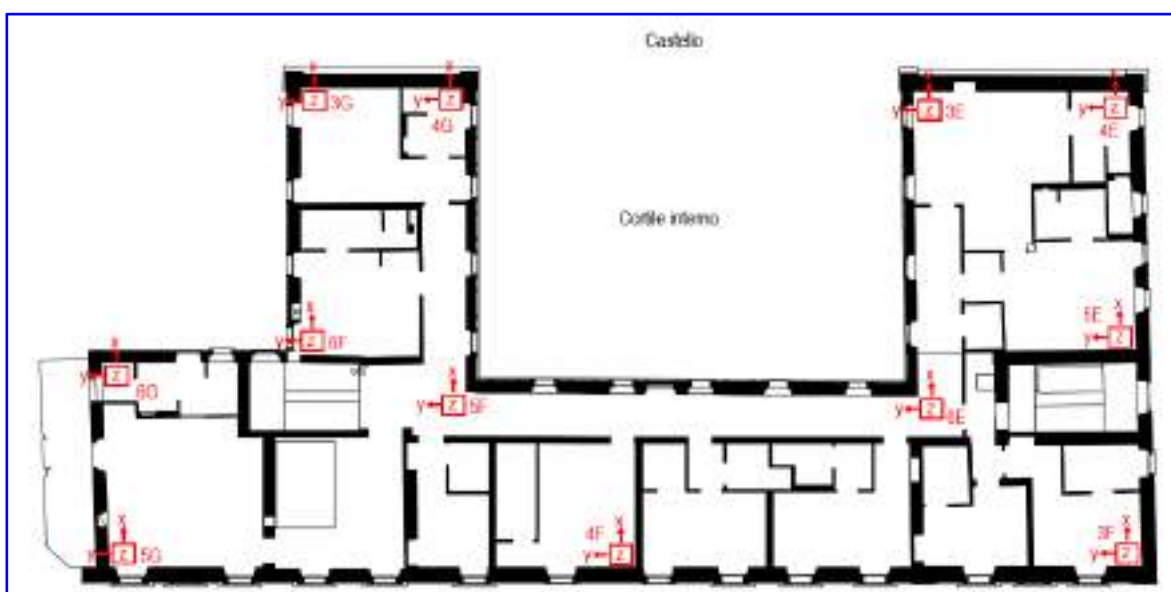
Utilizzando 6 strumenti sono state eseguite 10 differenti configurazioni di posizionamento, così distribuite: quattro al piano terreno, tre al piano primo e tre nel sottotetto.

Per ogni configurazione due strumenti, quelli numerati **1** e **2**, rimangono fissi mentre vengono via via spostati gli altri, posizionandoli in prossimità dei nodi strutturali. Questa metodologia permette, attraverso delle speciali elaborazioni software, una sincronizzazione virtuale che simula la contemporaneità di rilievo in 43 diverse posizioni.

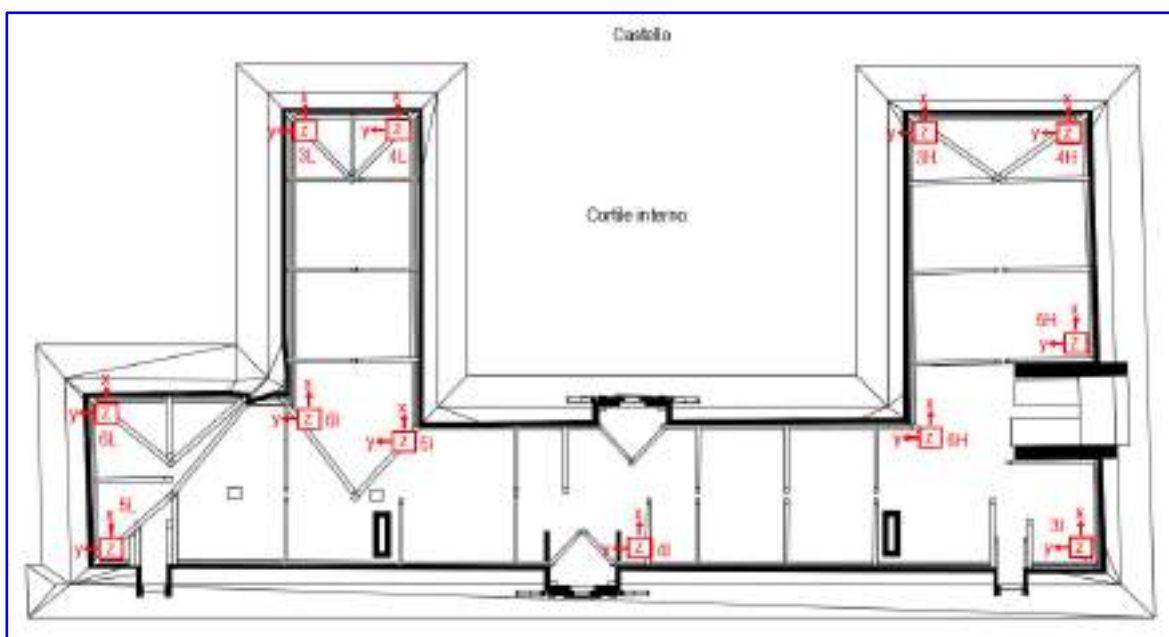
Di seguito si riportano gli schemi con in evidenza tutti i punti posti a misura.



*Posizione dei Microismic nelle configurazioni A, B, C e D al piano terreno*



*Posizione dei Microismic nelle configurazioni E, F e G al piano primo*



*Posizione dei Microsismic nelle configurazioni H, I ed L al piano sottotetto*

Di seguito si riportano alcune fotografie dei Microsismic nelle varie configurazioni.



*I Microsismic fissi n°1 e n°2 nelle configurazioni A÷L*



*Microsismic nella configurazione B*



*Microsismic nella configurazione D*



*Microsismic nella configurazione G*



*Microsismic nella configurazione L*

#### 4.2. Acquisizione dei dati

Il campionamento dei dati è stato di 512 Hz. Per ogni singola configurazione sono stati acquisiti due file, la cui denominazione e durata sono riportate nella tabella seguente:

| Configurazioni | File | Campionamento | Durata acquisizione |
|----------------|------|---------------|---------------------|
| A              | F1   | 512 Hz        | 4 min               |
|                | F2   |               |                     |
| B              | F3   | 512 Hz        | 4 min               |
|                | F4   |               |                     |
| C              | F5   | 512 Hz        | 4 min               |
|                | F6   |               |                     |
| D              | F7   | 512 Hz        | 4 min               |
|                | F8   |               |                     |
| E              | F9   | 512 Hz        | 4 min               |
|                | F10  |               |                     |
| F              | F11  | 512 Hz        | 4 min               |
|                | F12  |               |                     |
| G              | F13  | 512 Hz        | 4 min               |
|                | F14  |               |                     |
| H              | F15  | 512 Hz        | 4 min               |
|                | F16  |               |                     |
| I              | F17  | 512 Hz        | 4 min               |
|                | F18  |               |                     |
| L              | F19  | 512 Hz        | 4 min               |
|                | F20  |               |                     |

Durante l'acquisizione dei dati il 12 settembre la temperatura media esterna era di 24 °C. Sulla base del rapporto campionamento / numero di campioni si raggiunge una precisione di  $\pm 0,01$  Hz nella valutazione delle frequenze proprie.

#### 4.3. Analisi ed elaborazione dei dati

Per rilevare le frequenze proprie e le forme modali del fabbricato i dati acquisiti in campo sono stati analizzati mediante due modalità di elaborazione.

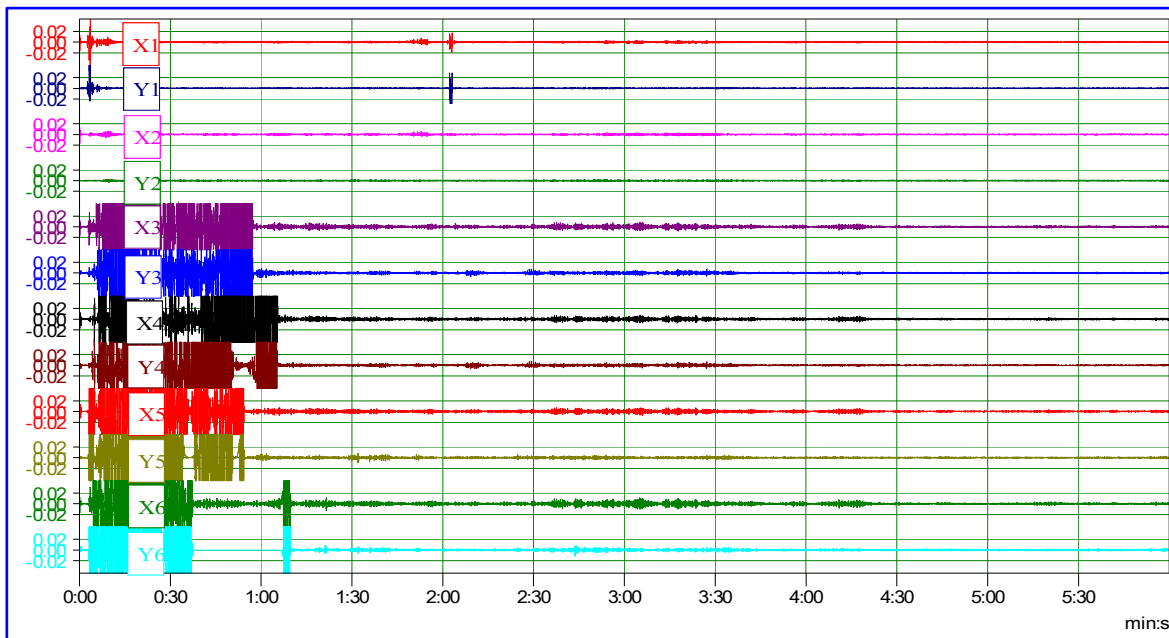
La prima prevede l'analisi delle frequenze direttamente nel dominio dei tempi, consentendo, attraverso opportuni filtri passa basso, di ottenere un segnale pulito all'interno del campo di frequenze ricercato e di conseguenza misurare il "periodo" con una precisione di  $\pm 0,001$  secondi.

In seconda analisi si procede alla realizzazione di un modello geometrico dinamico che elaborando tutti i segnali ricavati in punti diversi della struttura, determina il comportamento modale individuandone le forme corrispondenti alle frequenze libere rilevate.

#### 4.4. Analisi mediante oscillogrammi

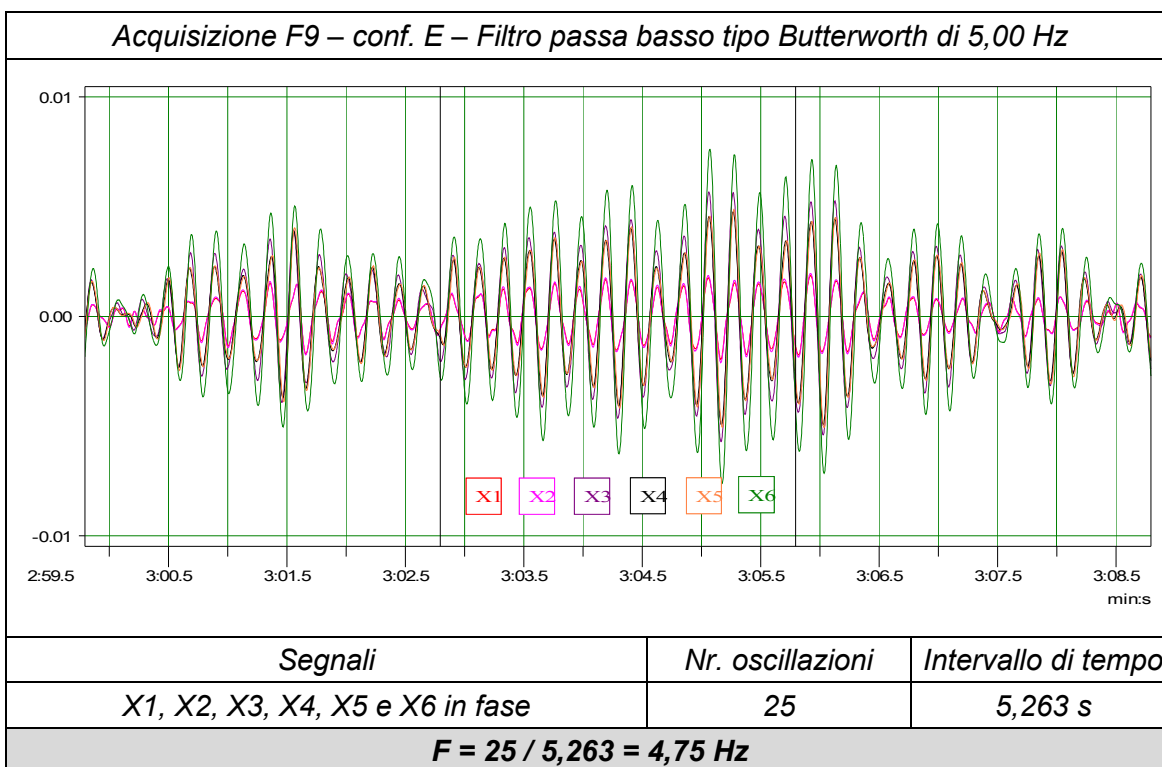
Nel grafico seguente si riporta a titolo d'esempio l'oscillogramma di 12 sensori lungo X e Y nell'acquisizione F9 per la Configurazione E.

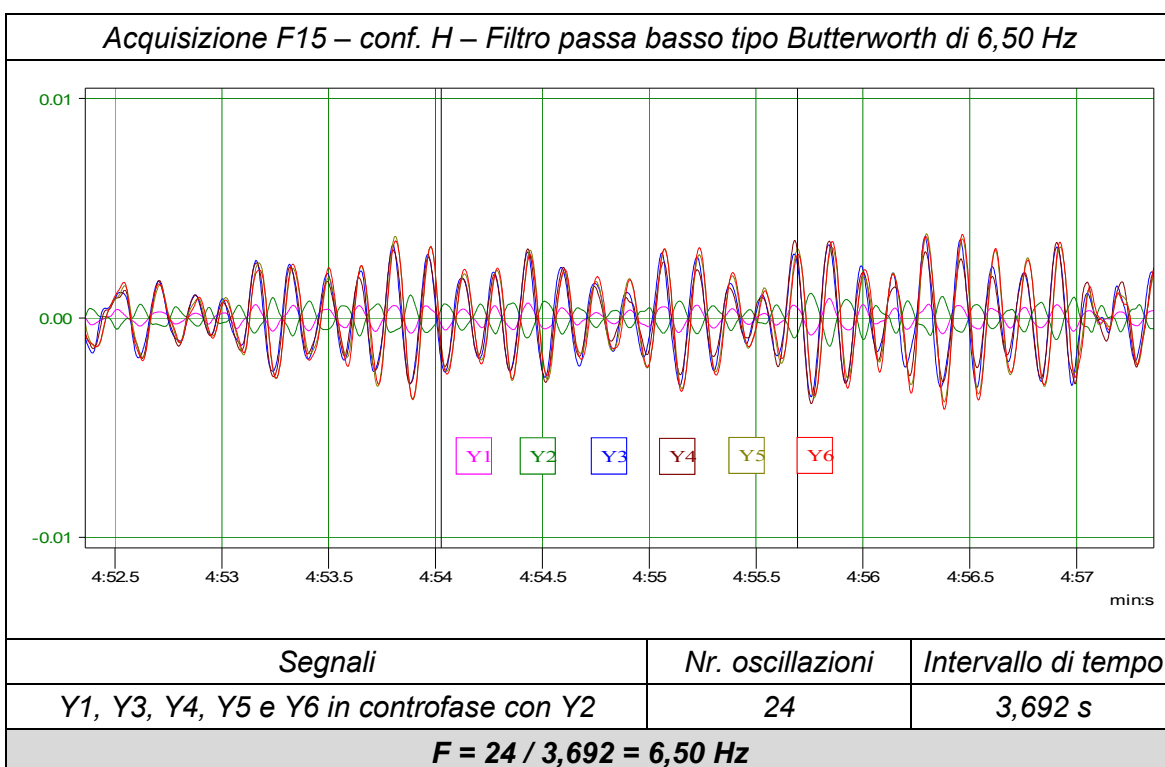
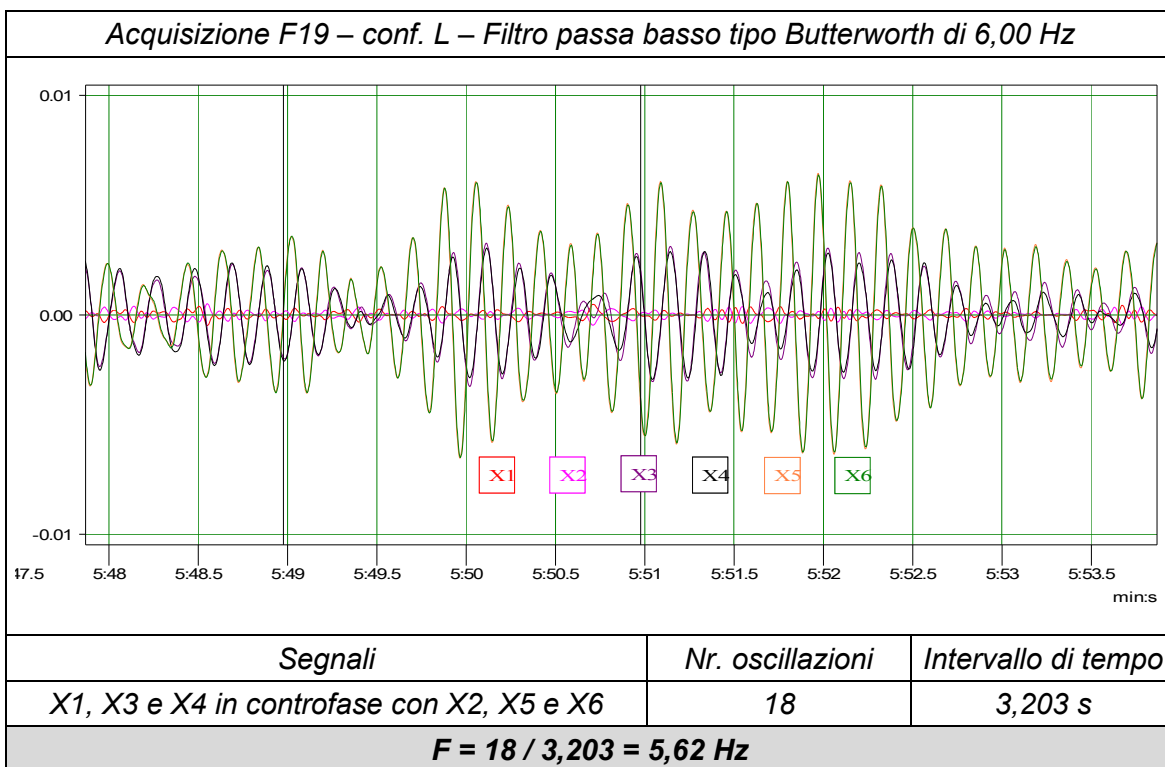
In ascissa è riportato il tempo in minuti ed in ordinata la velocità in mm/s.

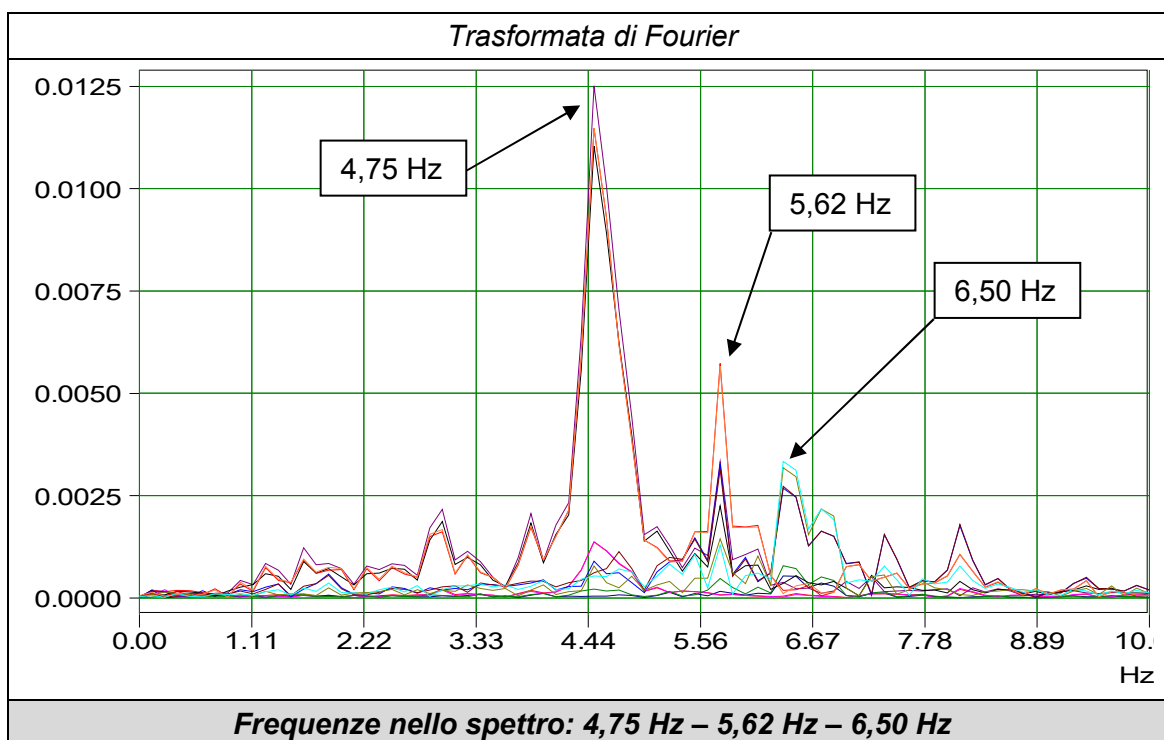


Tutte le acquisizioni sono state elaborate ed a seguire si riporta l'analisi delle frequenze per le configurazioni più significative con in evidenza le finestre temporali in cui si è rilevata la frequenza e lo spettro calcolato con la trasformata di Fourier.

I dati sono stati pre-elaborati attraverso filtri passa basso di tipo Butterworth in grado di isolare le frequenze ricercate depurandole dalle frequenze di ordine superiore.



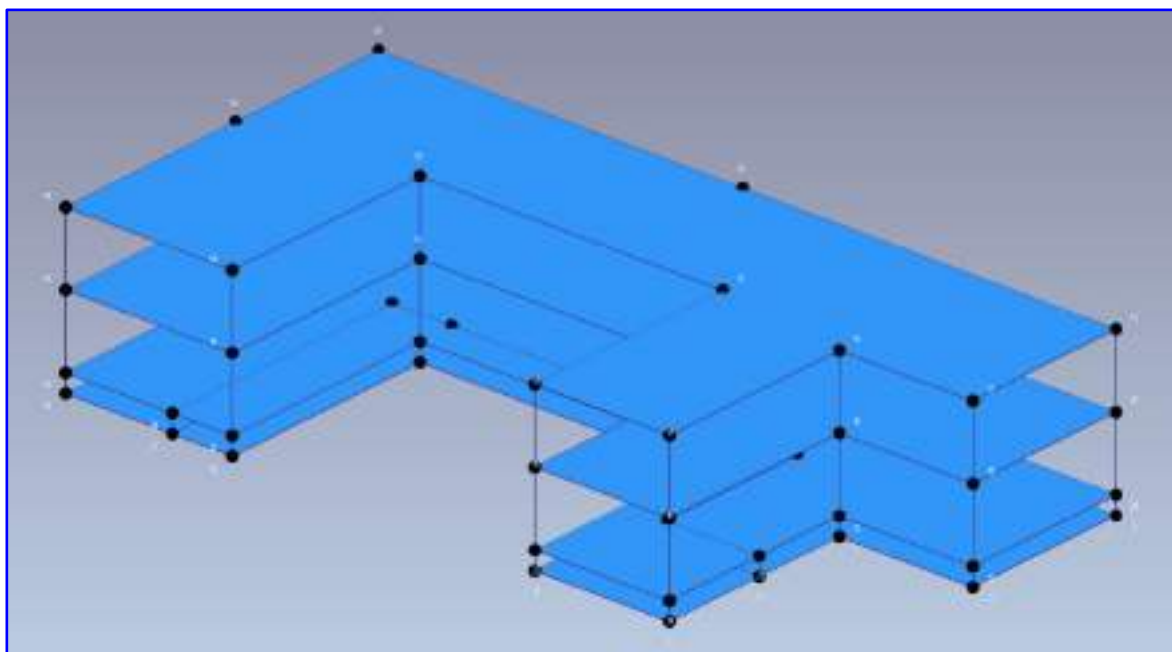




#### 4.5. Analisi con modello geometrico

Si è eseguito un modello dinamico geometrico trattato con tecnica EFDD, che consente di utilizzare contemporaneamente i segnali ricavati da tutte le diverse posizioni. Questo metodo, oltre a verificare i risultati ottenuti dall'analisi diretta dei segnali, consente di individuare le forme modali.

Il modello geometrico della struttura è costituito da 62 nodi collegati tra loro con linee e superfici. A tale modello sono poi stati assegnati i segnali acquisiti in campo.

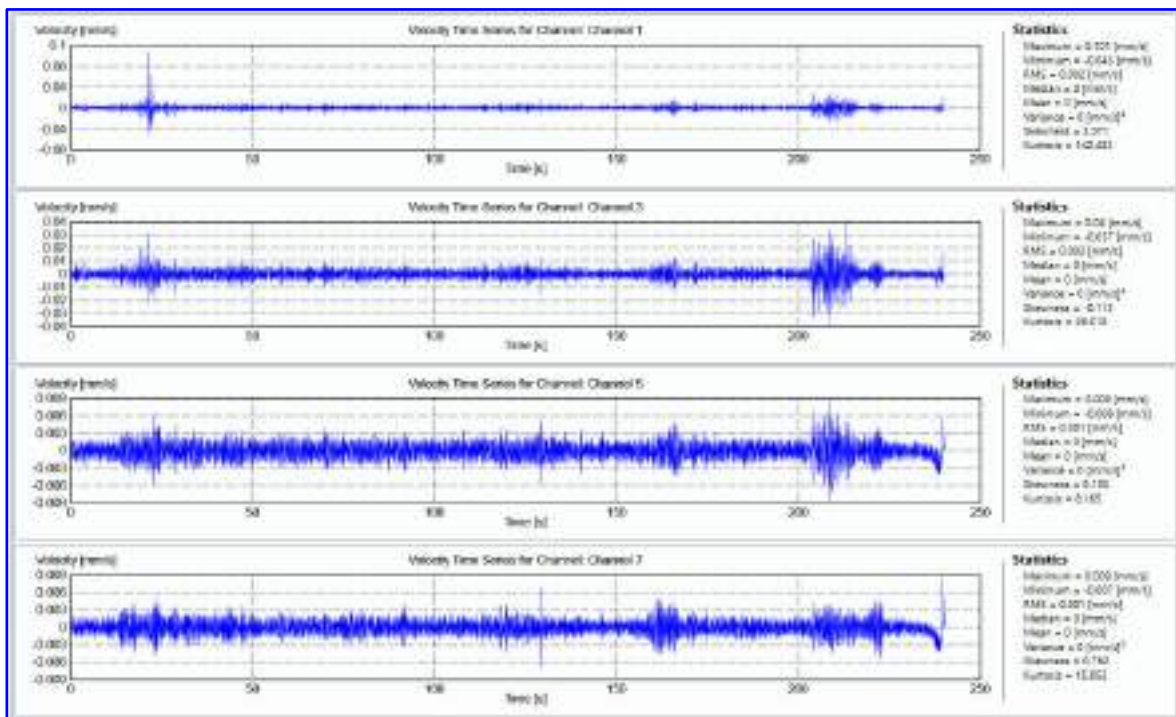


*Modello geometrico del fabbricato*

L'identificazione strutturale avviene mediante tecnica EFDD – Enhanced Frequency Domain Decomposition, che si basa sui seguenti processi:

- decomposizione ai valori singolari, SVD, della matrice spettrale del segnale;
- ottenimento delle curve SVD nel dominio delle frequenze;
- ricerca dei picchi di intensità mediante tecnica pick-picking corrispondenti ai singoli gradi di libertà del sistema (SDOF – Single Degree of Freedom);
- ottenimento della funzione di autocorrelazione per ogni grado di libertà;
- trasformazione nel dominio del tempo di ciascuna funzione di autocorrelazione attraverso trasformata di Fourier inversa (IFFT), stima della frequenza propria mediante misura dei periodi e dello smorzamento associato mediante calcolo del decremento logaritmico.

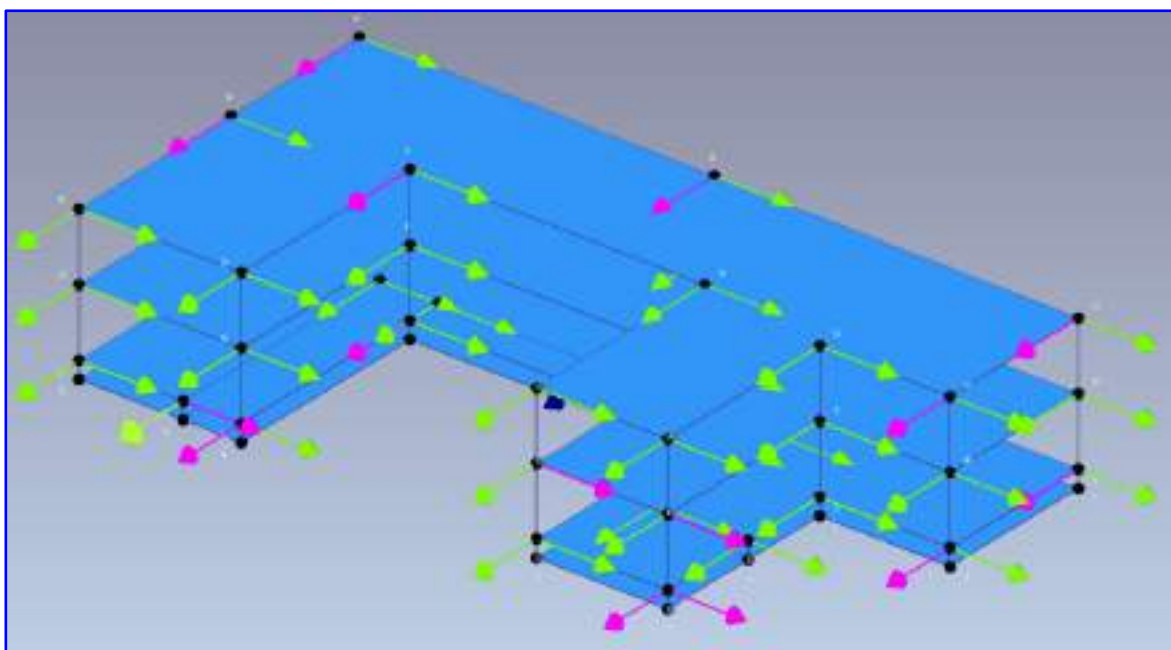
Di seguito si riportano i passaggi salienti dell'analisi modale operativa EFDD e le time-series relative agli accelerometri in una configurazione di esempio.



*Time-series – File 1 – alcuni segnali lungo l'asse x*

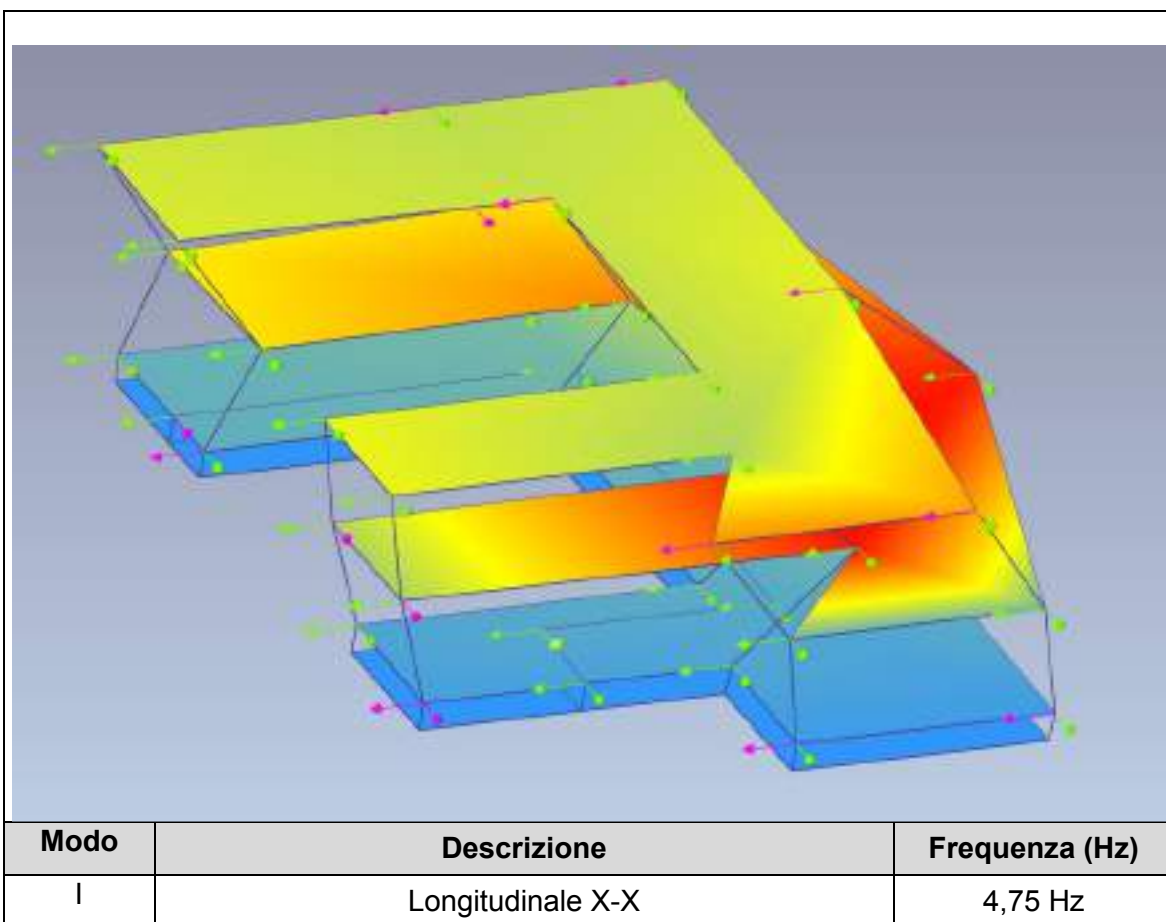
Nel modello geometrico sono state introdotte le time-series derivanti dai sensori per le 10 configurazioni, da A a L.

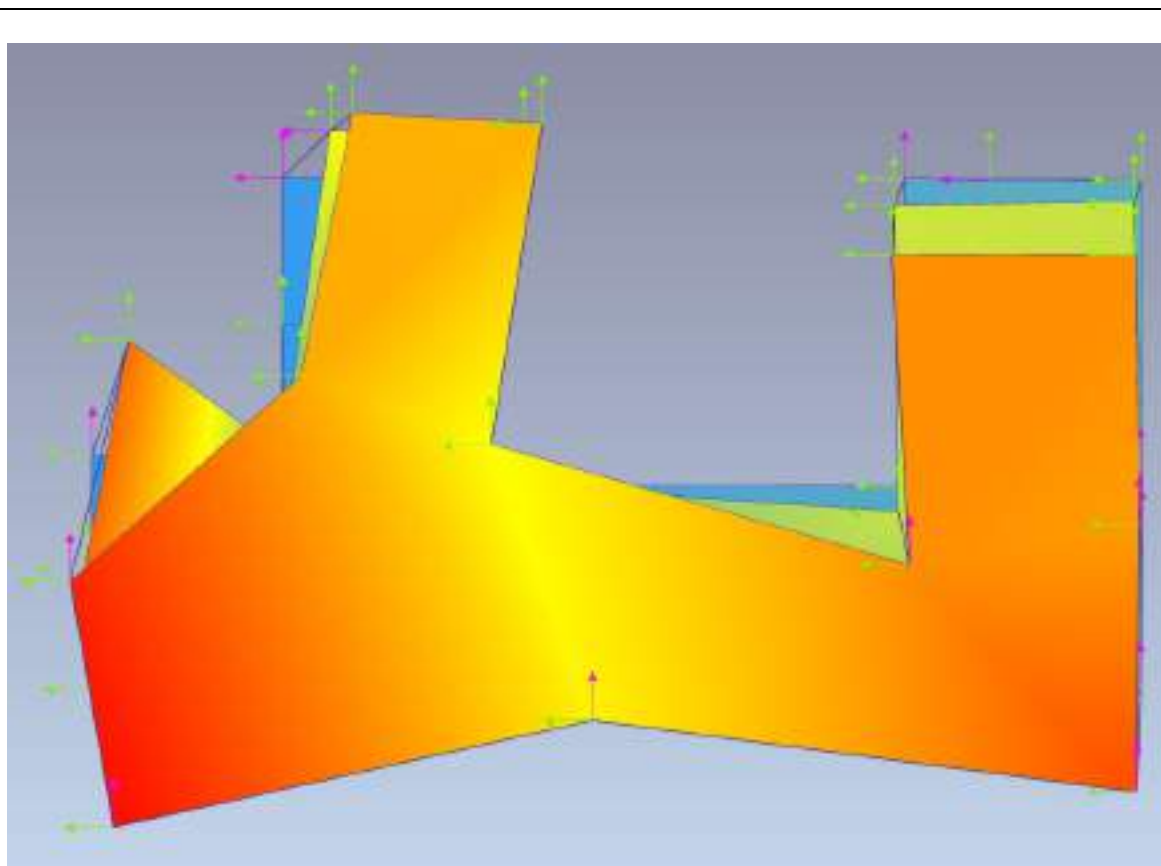
Tutti i segnali acquisiti vengono sincronizzati virtualmente, attraverso la tecnica EFDD.



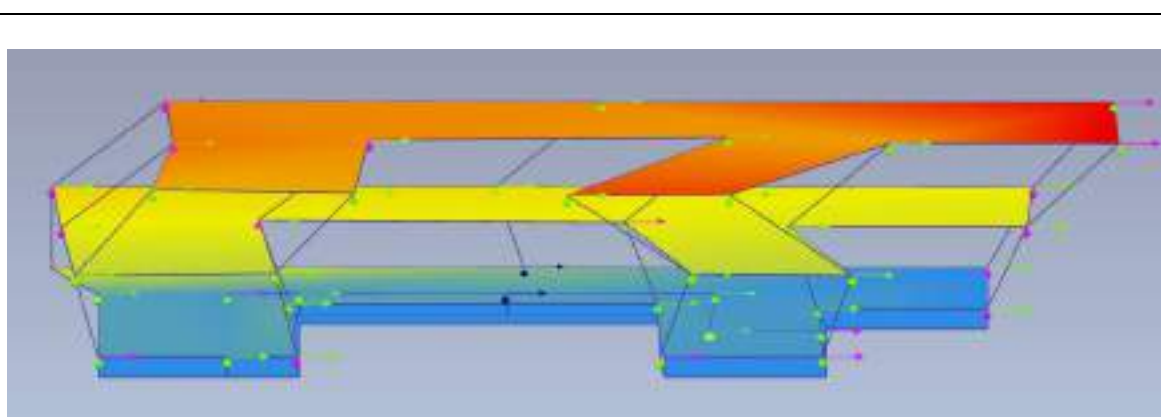
*Modello geometrico con punti di misura*

Dall'elaborazione effettuata secondo la tecnica descritta si ricava lo spettro sul quale si individuano i picchi corrispondenti alle frequenze proprie.





| Modo | Descrizione | Frequenza (Hz) |
|------|-------------|----------------|
| II   | Torsionale  | 5,62 Hz        |



| Modo | Descrizione     | Frequenza (Hz) |
|------|-----------------|----------------|
| III  | Trasversale Y-Y | 6,50 Hz        |

#### 4.6. Tabella riepilogativa dei risultati

L'analisi delle fasi del segnale oscillatorio nel dominio del tempo ha permesso di individuare le forme modali tramite la corrispondenza di fase e frequenza tra le varie parti dell'edificio; il modello dinamico ha poi confermato tali frequenze e identificato le forme modali.

Di seguito è riportata una tabella riassuntiva delle frequenze individuate con la suddivisione percentuale delle ampiezze oscillatorie relative alle frequenze rilevate, suddivise nei due assi X e Y, calcolate sulla base dell'ampiezza media di tutti i punti misurati:

| DISTRIBUZIONE ASSIALE DELLE AMPIEZZE DI OSCILLAZIONE |                   |                |                       |           |
|------------------------------------------------------|-------------------|----------------|-----------------------|-----------|
| Modo                                                 | Forma modale      | Frequenza [Hz] | Distribuzione assiale |           |
|                                                      |                   |                | $a_x$ [%]             | $a_y$ [%] |
| I                                                    | Longitudinale X-X | 4,75           | 88%                   | 12%       |
| II                                                   | Torsionale        | 5,62           | 76%                   | 24%       |
| III                                                  | Trasversale Y-Y   | 6,50           | 10%                   | 90%       |

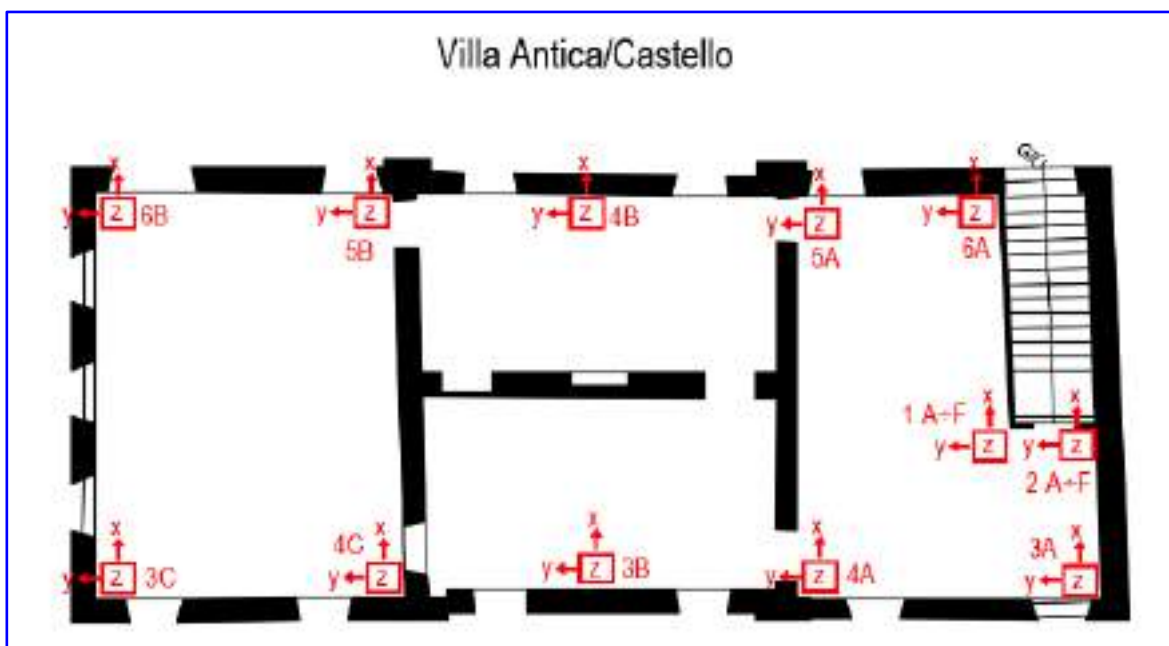
### 5. CARATTERIZZAZIONE “VILLINO SVIZZERO” – PROVA N°10071-B/TO

#### 5.1. Posizioni degli strumenti

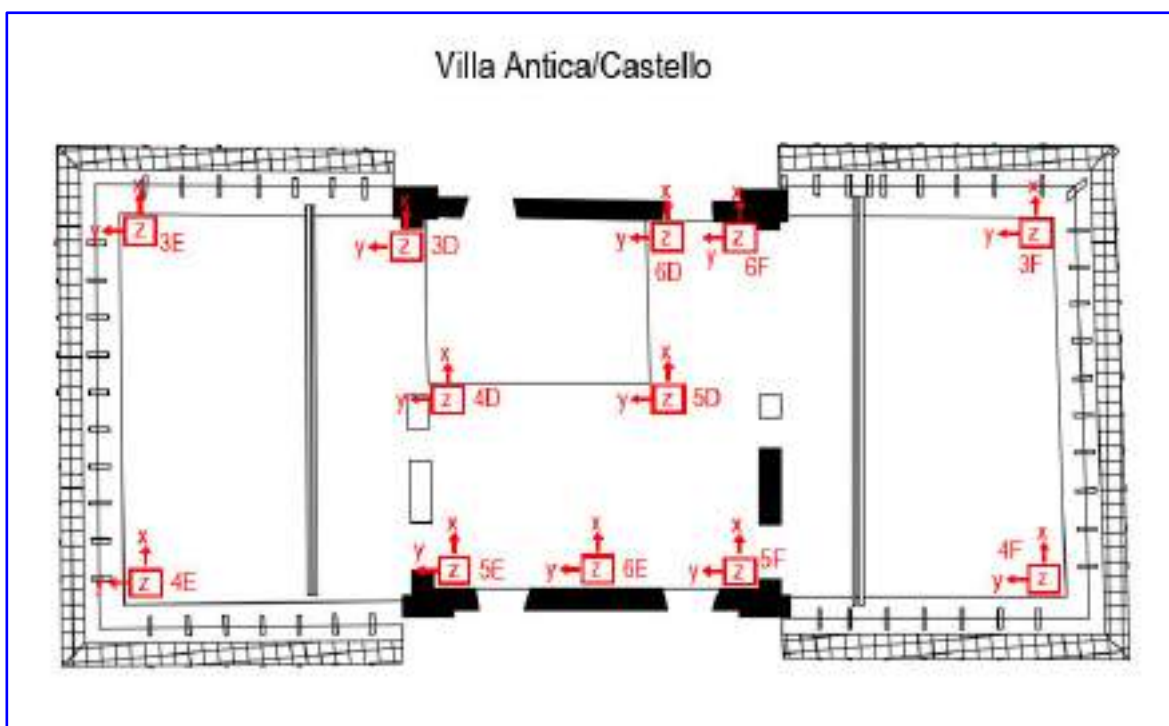
Utilizzando 6 strumenti sono state eseguite 6 differenti configurazioni di posizionamento, così distribuite: tre al piano terreno e tre al piano primo/sottotetto.

Per ogni configurazione due strumenti, quelli numerati **1** e **2**, rimangono fissi mentre vengono via via spostati gli altri, posizionandoli in prossimità dei nodi strutturali. Questa metodologia permette, attraverso delle speciali elaborazioni software, una sincronizzazione virtuale che simula la contemporaneità di rilievo in 24 diverse posizioni.

Di seguito si riportano gli schemi con in evidenza tutti i punti posti a misura.



*Posizione dei Microsismic nelle configurazioni A, B, e C al piano terreno*



*Posizione dei Microsismic nelle configurazioni D, E ed F al piano primo/sottotetto*

Di seguito si riportano alcune fotografie dei Microsismic nelle varie configurazioni.



*I Microsismic fissi n°1 e n°2 nelle configurazioni A-F*



*Microsismic nella configurazione A*



*Microsismic nella configurazione D*



*Microsismic nella configurazione E*

## 5.2. Acquisizione dei dati

Il campionamento dei dati è stato di 512 Hz. Per ogni singola configurazione sono stati acquisiti due file, la cui denominazione e durata sono riportate nella tabella seguente:

| Configurazioni | File | Campionamento | Durata acquisizione |
|----------------|------|---------------|---------------------|
| A              | F1   | 512 Hz        | 4 min               |
|                | F2   |               |                     |
| B              | F3   | 512 Hz        | 4 min               |
|                | F4   |               |                     |
| C              | F5   | 512 Hz        | 4 min               |
|                | F6   |               |                     |
| D              | F7   | 512 Hz        | 4 min               |
|                | F8   |               |                     |
| E              | F9   | 512 Hz        | 4 min               |
|                | F10  |               |                     |
| F              | F11  | 512 Hz        | 4 min               |
|                | F12  |               |                     |

Durante l'acquisizione dei dati il 14 settembre la temperatura media esterna era di 21 °C. Sulla base del rapporto campionamento / numero di campioni si raggiunge una precisione di  $\pm 0,01$  Hz nella valutazione delle frequenze proprie.

## 5.3. Analisi ed elaborazione dei dati

Per rilevare le frequenze proprie e le forme modali del fabbricato i dati acquisiti in campo sono stati analizzati mediante due modalità di elaborazione.

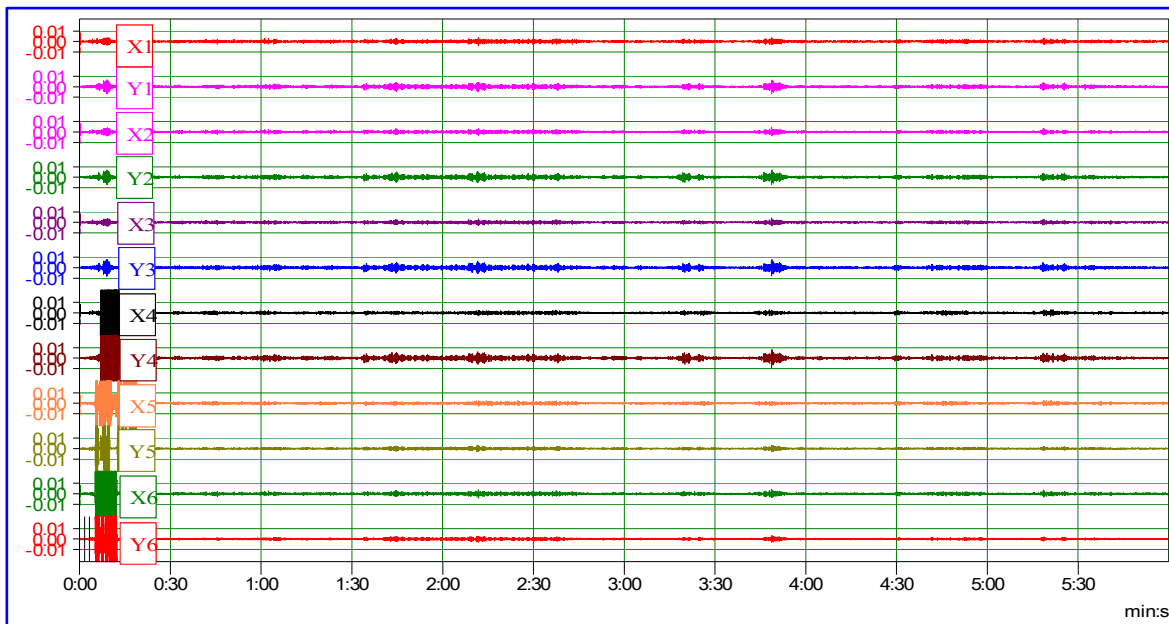
La prima prevede l'analisi delle frequenze direttamente nel dominio dei tempi, consentendo, attraverso opportuni filtri passa basso, di ottenere un segnale pulito all'interno del campo di frequenze ricercato e di conseguenza misurare il "periodo" con una precisione di  $\pm 0,001$  secondi.

In seconda analisi si procede alla realizzazione di un modello geometrico dinamico che elaborando tutti i segnali ricavati in punti diversi della struttura, determina il comportamento modale individuandone le forme corrispondenti alle frequenze libere rilevate.

#### 5.4. Analisi mediante oscillogrammi

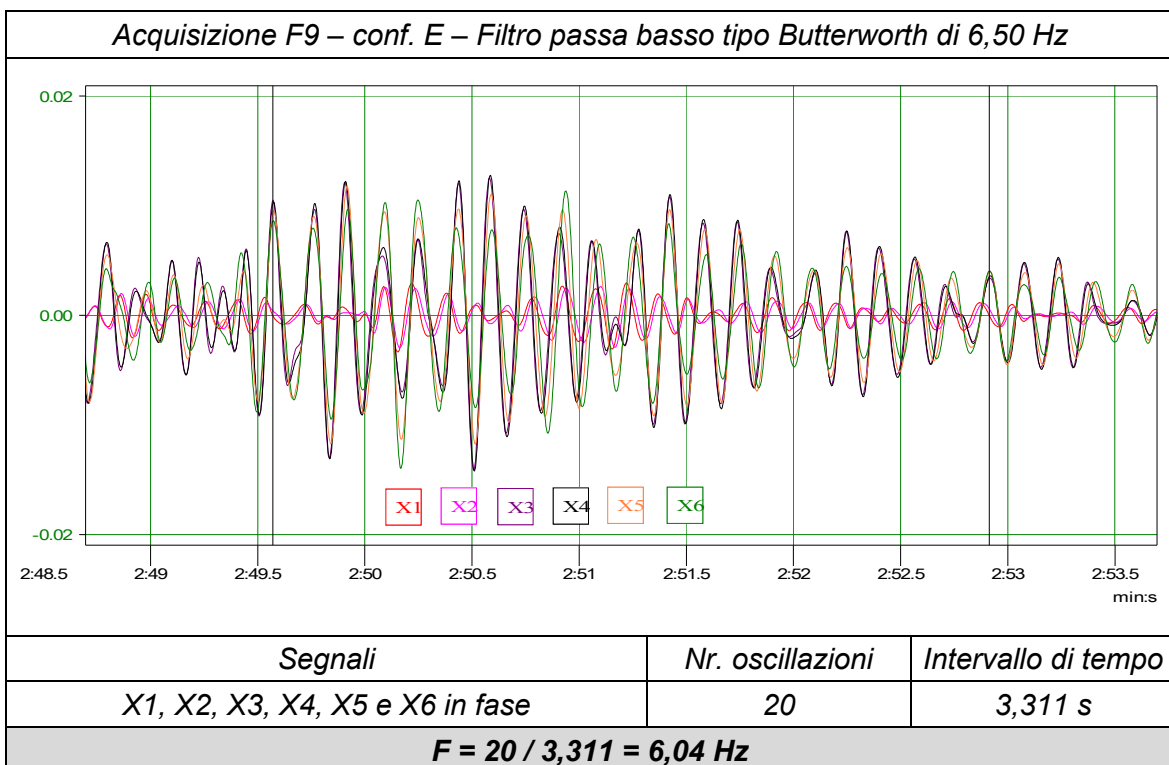
Nel grafico seguente si riporta a titolo d'esempio l'oscillogramma di 12 sensori lungo X e Y nell'acquisizione F1 per la Configurazione A.

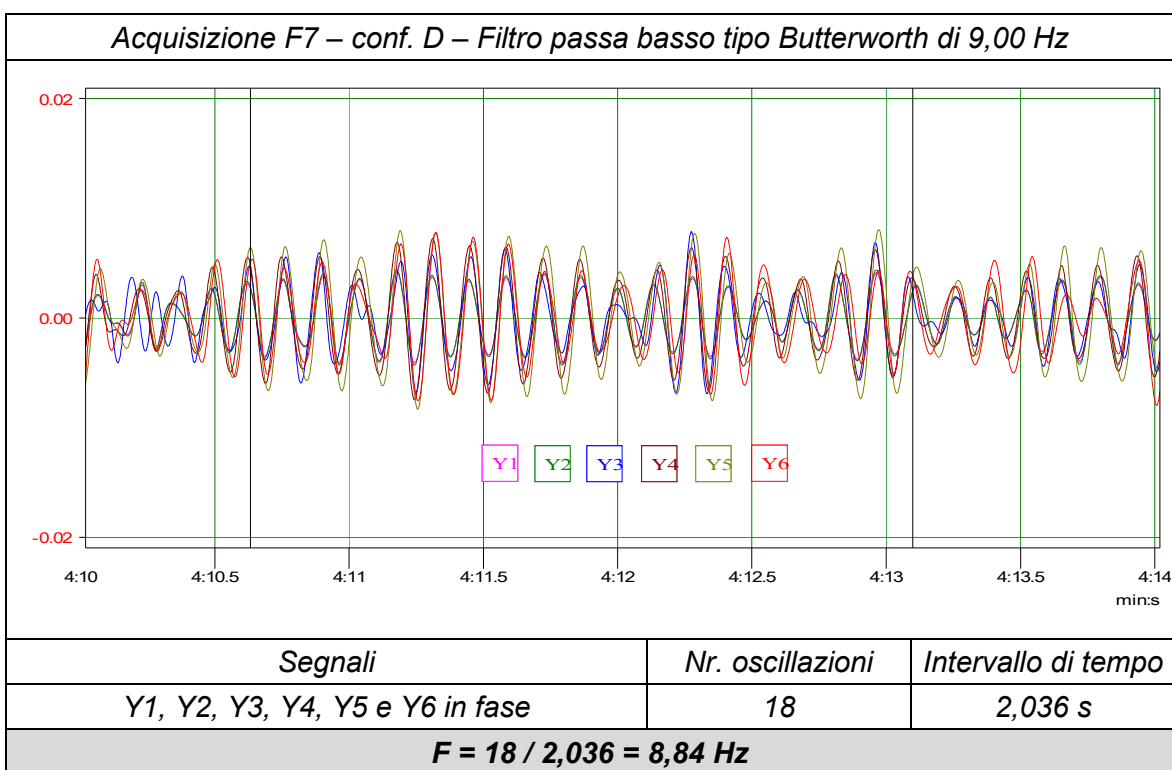
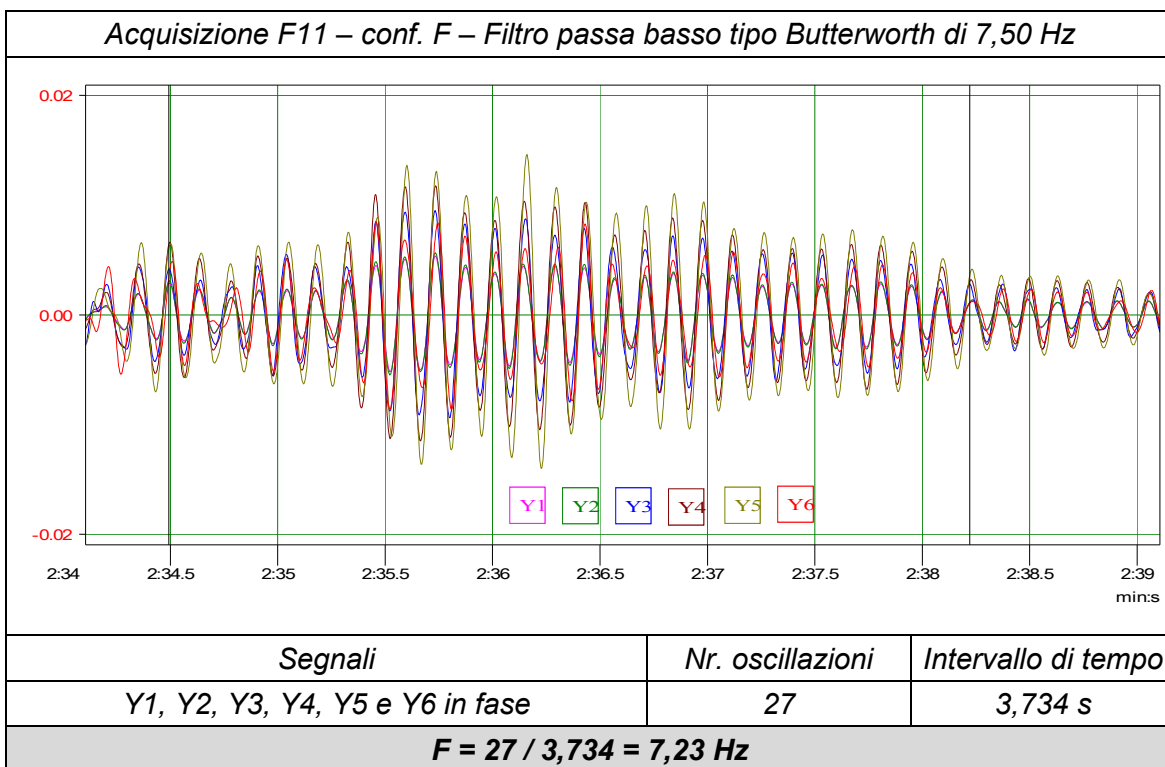
In ascissa è riportato il tempo in minuti ed in ordinata la velocità in mm/s.

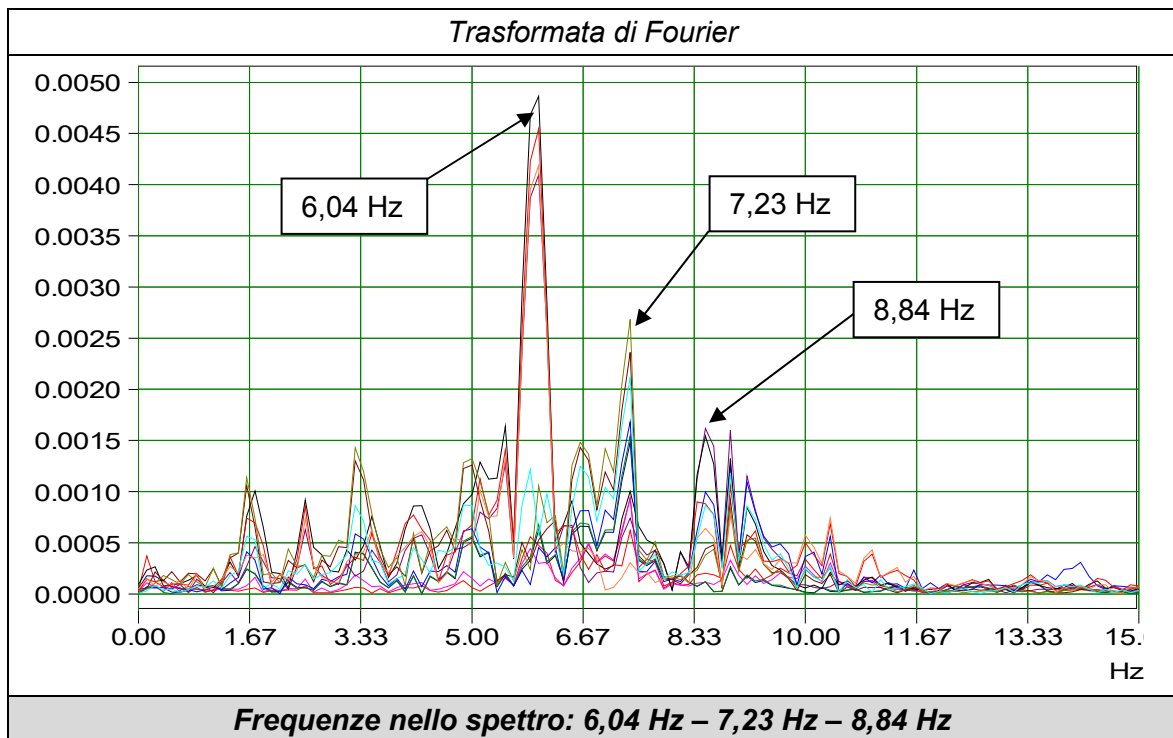


Tutte le acquisizioni sono state elaborate ed a seguire si riporta l'analisi delle frequenze per le configurazioni più significative con in evidenza le finestre temporali in cui si è rilevata la frequenza e lo spettro calcolato con la trasformata di Fourier.

I dati sono stati pre-elaborati attraverso filtri passa basso di tipo Butterworth in grado di isolare le frequenze ricercate depurandole dalle frequenze di ordine superiore.



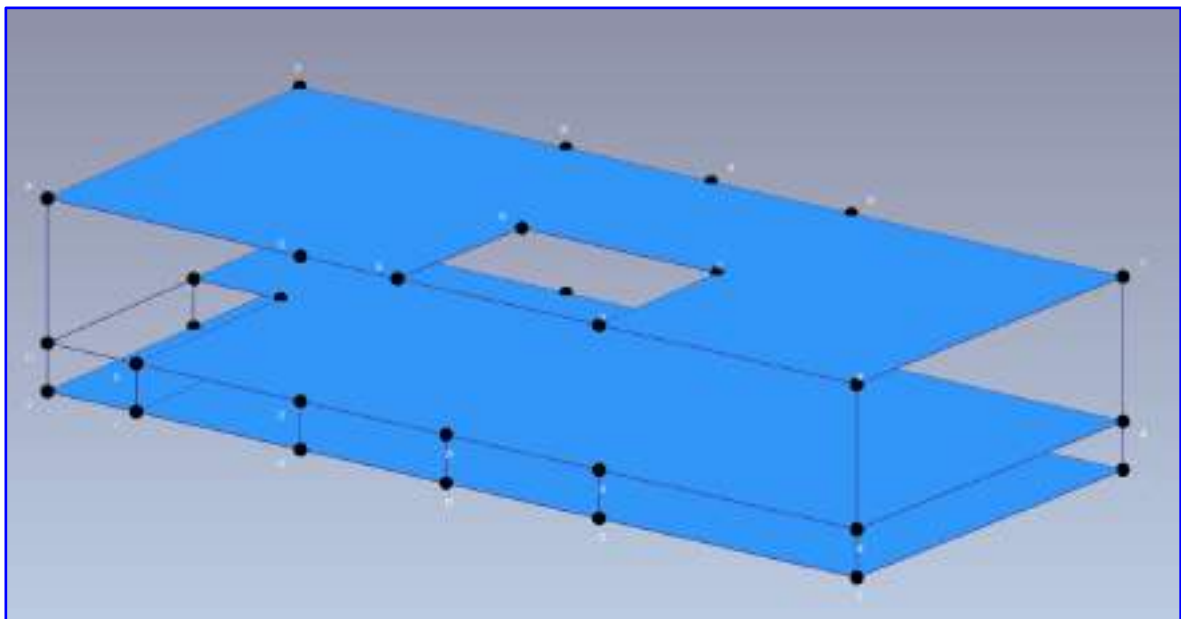




### 5.5. Analisi con modello geometrico

Si è eseguito un modello dinamico geometrico trattato con tecnica EFDD, che consente di utilizzare contemporaneamente i segnali ricavati da tutte le diverse posizioni. Questo metodo, oltre a verificare i risultati ottenuti dall'analisi diretta dei segnali, consente di individuare le forme modali.

Il modello geometrico della struttura è costituito da 38 nodi collegati tra loro con linee e superfici. A tale modello sono poi stati assegnati i segnali acquisiti in campo.

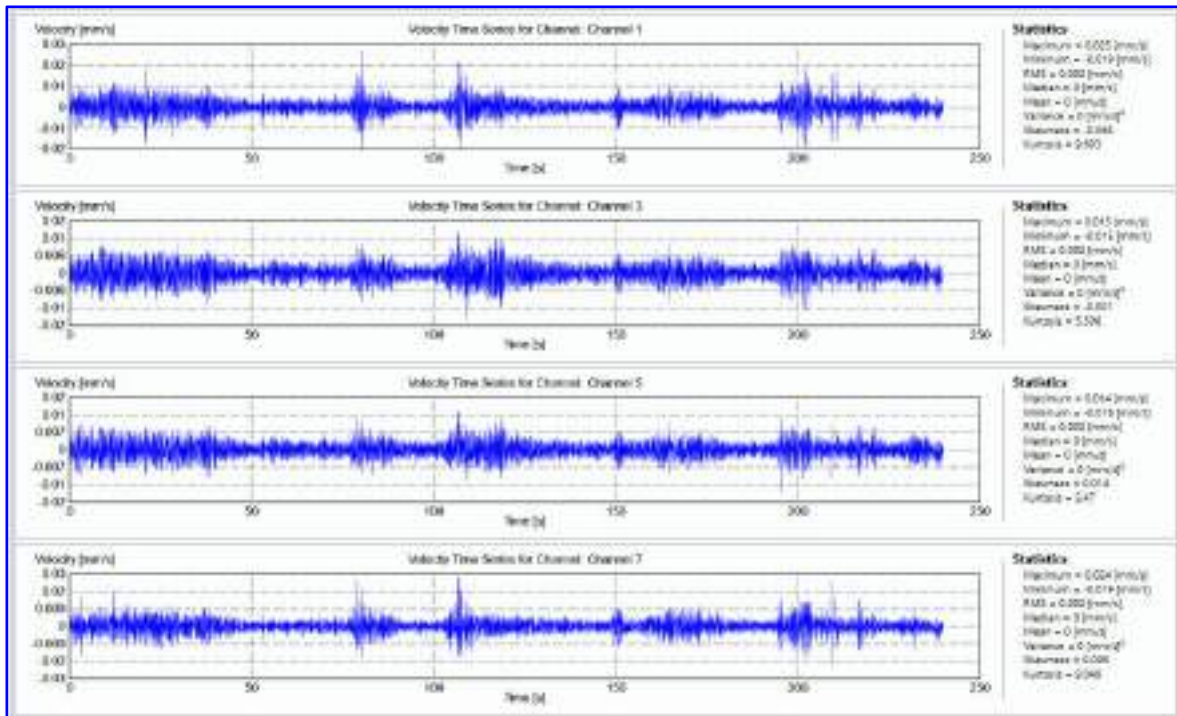


*Modello geometrico del fabbricato*

L'identificazione strutturale avviene mediante tecnica EFDD – Enhanced Frequency Domain Decomposition, che si basa sui seguenti processi:

- decomposizione ai valori singolari, SVD, della matrice spettrale del segnale;
- ottenimento delle curve SVD nel dominio delle frequenze;
- ricerca dei picchi di intensità mediante tecnica pick-picking corrispondenti ai singoli gradi di libertà del sistema (SDOF – Single Degree of Freedom);
- ottenimento della funzione di autocorrelazione per ogni grado di libertà;
- trasformazione nel dominio del tempo di ciascuna funzione di autocorrelazione attraverso trasformata di Fourier inversa (IFFT), stima della frequenza propria mediante misura dei periodi e dello smorzamento associato mediante calcolo del decremento logaritmico.

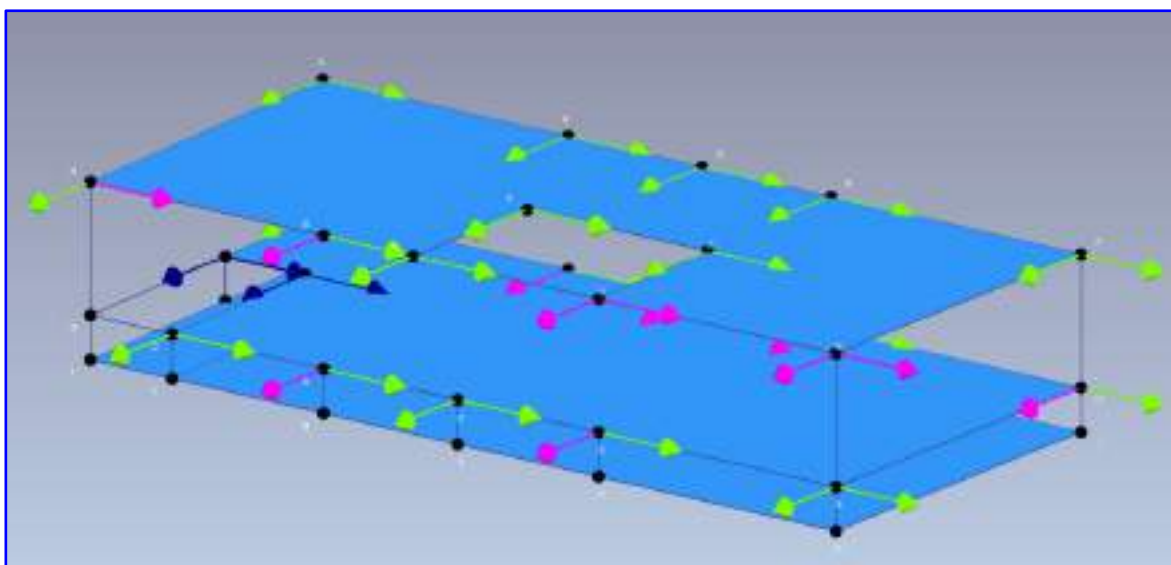
Di seguito si riportano i passaggi salienti dell'analisi modale operativa EFDD e le time-series relative agli accelerometri in una configurazione di esempio.



*Time-series – File 1 – alcuni segnali lungo l'asse x*

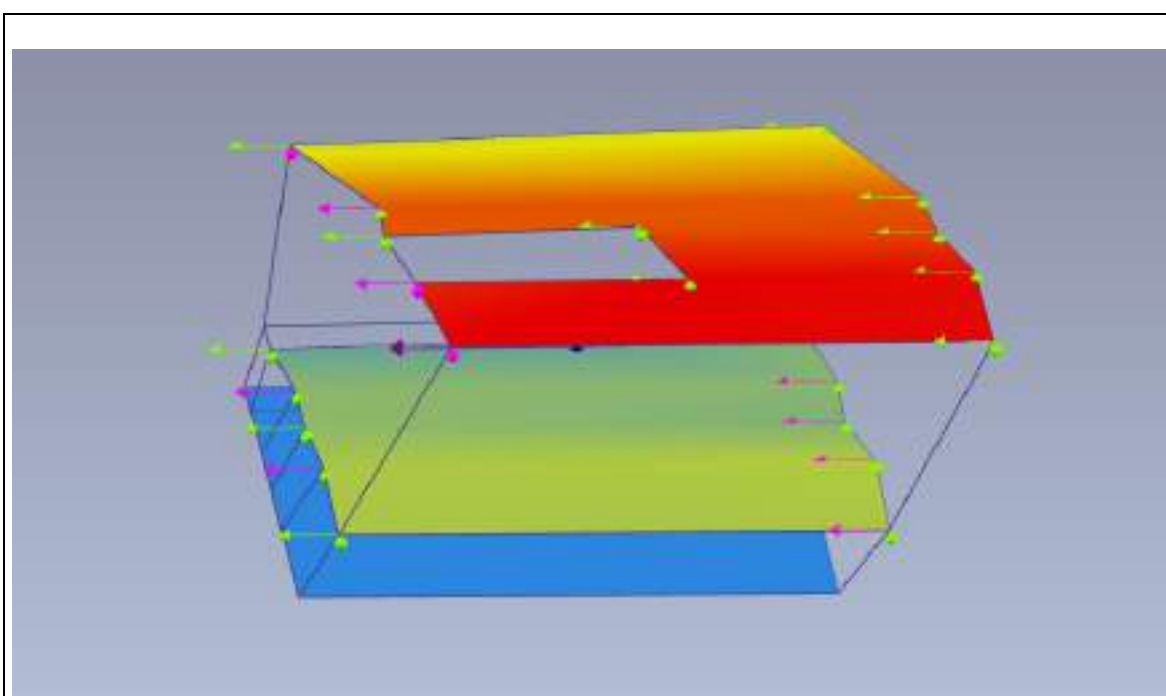
Nel modello geometrico sono state introdotte le time-series derivanti dai sensori per le 6 configurazioni, da A a F.

Tutti i segnali acquisiti vengono sincronizzati virtualmente, attraverso la tecnica EFDD.

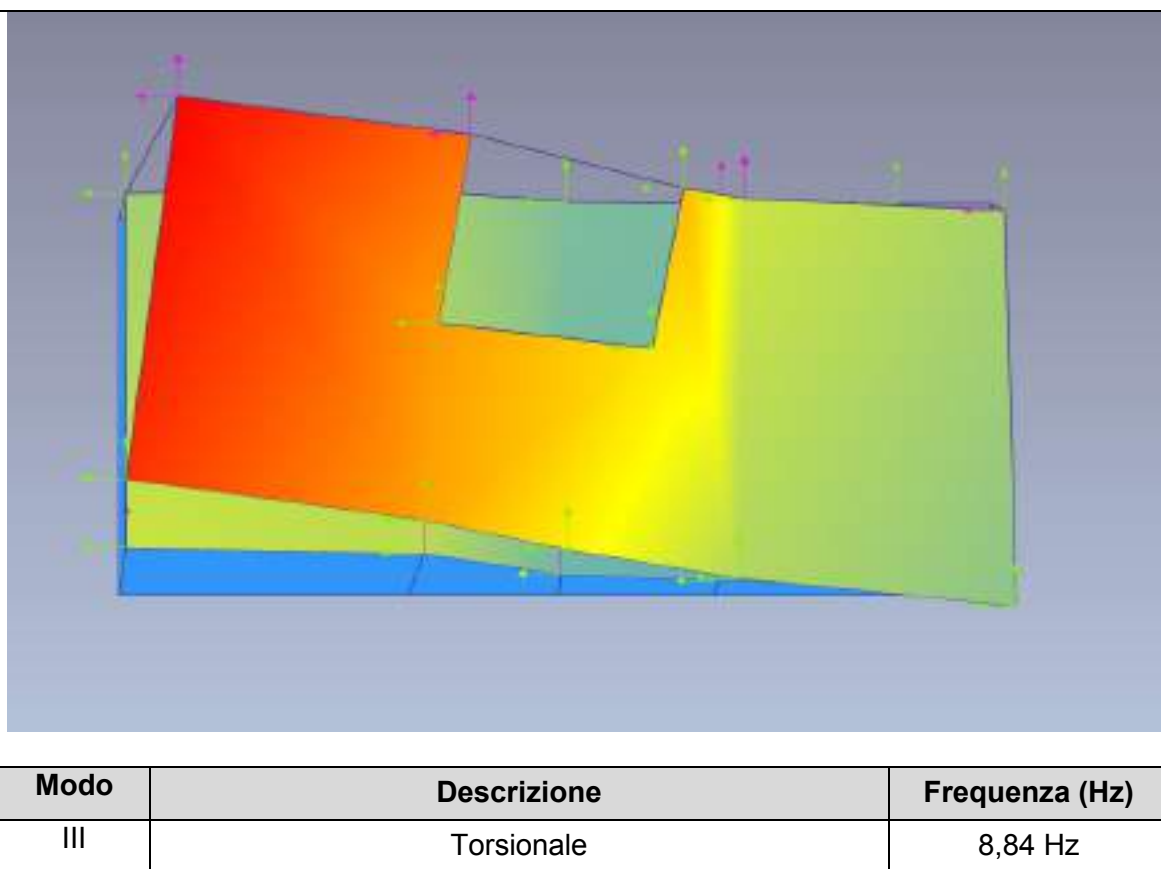
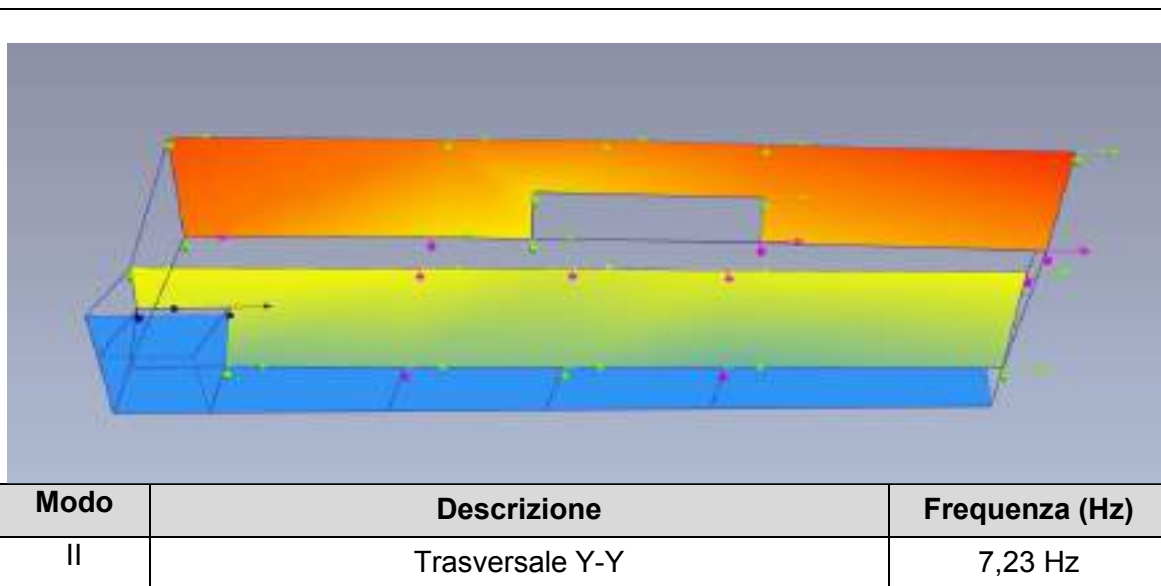


*Modello geometrico con punti di misura*

Dall'elaborazione effettuata secondo la tecnica descritta si ricava lo spettro sul quale si individuano i picchi corrispondenti alle frequenze proprie.



| Modo | Descrizione       | Frequenza (Hz) |
|------|-------------------|----------------|
| I    | Longitudinale X-X | 6,04 Hz        |



## 5.6. Tabella riepilogativa dei risultati

L'analisi delle fasi del segnale oscillatorio nel dominio del tempo ha permesso di individuare le forme modali tramite la corrispondenza di fase e frequenza tra le varie parti dell'edificio; il modello dinamico ha poi confermato tali frequenze e identificato le forme modali.

Di seguito è riportata una tabella riassuntiva delle frequenze individuate con la suddivisione percentuale delle ampiezze oscillatorie relative alle frequenze rilevate, suddivise nei due assi X e Y, calcolate sulla base dell'ampiezza media di tutti i punti misurati:

| DISTRIBUZIONE ASSIALE DELLE AMPIEZZE DI OSCILLAZIONE |                   |                |                       |           |
|------------------------------------------------------|-------------------|----------------|-----------------------|-----------|
| Modo                                                 | Forma modale      | Frequenza [Hz] | Distribuzione assiale |           |
|                                                      |                   |                | $a_x$ [%]             | $a_y$ [%] |
| I                                                    | Longitudinale X-X | 6,04           | 79%                   | 21%       |
| II                                                   | Trasversale Y-Y   | 7,23           | 27%                   | 73%       |
| III                                                  | Torsionale        | 8,84           | 67%                   | 33%       |

Tutti i dati riportati nella relazione sono stati ricavati dai file memorizzati durante la prova.

Torino, 29 settembre 2023

il Relatore  
Ing. Fabio Macario



4 EMME Service S.p.A.  
il Direttore del Centro di Torino  
Arch. Alberto Capussotto

