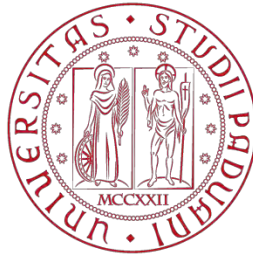


UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA



Dipartimento di Ingegneria Civile, Edile e Ambientale

**CORSO DI LAUREA MAGISTRALE A CICLO UNICO IN  
INGEGNERIA EDILE-ARCHITETTURA**

Tesi di laurea

**ANALISI COMPARATIVA DI MODELLI ANALITICI E NUMERICI PER LA  
VALUTAZIONE DELLA VULNERABILITÀ SISMICA DI PALAZZO SALA,  
FINALIZZATA ALLA PROPOSTA DI INTERVENTI DI MIGLIORAMENTO**

Relatore:  
Prof.ssa Maria Rosa Valluzzi

Correlatori:  
Prof. Claudio Modena  
Ing. Michele Fava  
Dott. Ing. Marco Munari

Laureanda:  
Francesca Becchetti

Anno Accademico 2014-2015



A mia mamma  
a mio papà  
e al nonno Federico



## INDICE

<b>Introduzione .....</b>	<b>11</b>
<b>1. Analisi Storico – Critica .....</b>	<b>15</b>
1.1 Inquadramento Territoriale .....	15
1.2 Storia Sismica .....	16
1.3 Storia Critica dell’Edificio .....	20
<b>2. Documentazione Fotografica .....</b>	<b>29</b>
2.1 Rilievo Fotografico .....	29
<b>3. Rilievo Geometrico Funzionale.....</b>	<b>33</b>
3.1 Rilievo Geometrico .....	33
3.2 Unità Strutturali .....	39
3.3 Analisi Funzionale .....	40
<b>4. Analisi dello Stato di Fatto e del Comportamento Strutturale .....</b>	<b>41</b>
4.1 Rilievo Strutturale .....	41
Elementi Verticali.....	41
Elementi Orizzontali .....	44
Particolari Costruttivi.....	46
4.2 Valutazione della Qualità Muraria.....	49
4.3 Rilievo Critico delle Vulnerabilità.....	50
4.4 Rilievo Critico dei Danni, dei Dissesti e dei Degradi.....	52
4.5 Valutazione dell’impatto degli impianti tecnologici sugli elementi strutturali .....	56
<b>5. Valutazione della Sicurezza Sismica .....</b>	<b>59</b>
5.1 Comportamento Sismico delle Costruzioni Storiche in Muratura .....	59
5.2 Analisi dei Carichi .....	62
Carichi Permanenti Strutturali e Non Strutturali .....	65
Carichi Variabili .....	68
Azione del vento .....	69
Azione della neve .....	72
Azione Sismica.....	72
Combinazione delle Azioni.....	84
5.3 Aggregati edilizi .....	85
5.4 Analisi dei meccanismi di collasso in edifici esistenti in muratura.....	86
5.5 Principali meccanismi locali di collasso .....	88
Meccanismo 1 – Ribaltamento globale di facciata.....	89
Meccanismo 2 – Ribaltamento parziale di facciata .....	91

Meccanismo 3 – Flessione verticale di parete.....	92
Meccanismo 4 – Catena cinematica nel piano.....	93
5.6 Approccio cinematico.....	94
Analisi cinematica lineare .....	94
Analisi cinematica non lineare .....	95
5.7 Verifiche di sicurezza .....	97
Stato Limite di Danno.....	97
Stato Limite di salvaguardia della Vita.....	98
5.8 Verifica dei macroelementi.....	100
Macroelemento1-Cinematismo1.....	101
Verifica dello Stato Limite di salvaguardia della Vita con analisi lineare.....	102
Verifica dello Stato Limite di salvaguardia della Vita con analisi non lineare.....	103
Calcolo dei tiranti.....	105
Macroelemento1-Cinematismo2.....	107
Macroelemento1-Cinematismo3.....	110
Macroelemento2-Cinematismo1.....	112
Macroelemento2-Cinematismo2.....	114
Macroelemento2-Cinematismo3.....	116
Macroelemento2-Cinematismo4.....	118
Macroelemento3-Cinematismo1.....	120
Macroelemento3-Cinematismo2.....	123
Macroelemento4-Cinematismo1.....	125
Macroelemento4-Cinematismo2.....	128
Macroelemento4-Cinematismo3.....	131
Macroelemento4-Cinematismo4.....	134
Macroelemento4-Cinematismo5.....	136
Macroelemento5-Cinematismo1.....	138
Macroelemento5-Cinematismo2.....	140
Macroelemento6-Cinematismo1.....	142
Macroelemento6-Cinematismo2.....	145
Macroelemento6-Cinematismo3.....	148
Macroelemento6-Cinematismo4.....	150
Macroelemento7-Cinematismo1.....	152
Macroelemento7-Cinematismo2.....	155
Macroelemento7-Cinematismo3.....	158
Macroelemento7-Cinematismo4.....	160
Macroelemento8-Cinematismo1.....	162
Macroelemento8-Cinematismo2.....	165
Macroelemento8-Cinematismo3.....	167
Macroelemento9-Cinematismo1.....	169
Macroelemento9-Cinematismo2.....	172
Macroelemento9-Cinematismo3.....	175
Macroelemento10-Cinematismo1.....	177
Macroelemento10-Cinematismo2.....	180
Macroelemento10-Cinematismo3.....	183
Macroelemento11-Cinematismo1.....	185

Macroelemento11-Cinematismo2 .....	188
Macroelemento11-Cinematismo3 .....	190
Macroelemento12-Cinematismo1 .....	192
Macroelemento12-Cinematismo2 .....	195
Macroelemento12-Cinematismo3 .....	197
Macroelemento13-Cinematismo1 .....	199
Macroelemento13-Cinematismo2 .....	202
Macroelemento13-Cinematismo3 .....	204
Macroelemento14-Cinematismo1 .....	206
Macroelemento14-Cinematismo2 .....	209
Macroelemento14-Cinematismo3 .....	211
Macroelemento15-Cinematismo1 .....	213
Macroelemento15-Cinematismo2 .....	216
Macroelemento15-Cinematismo3 .....	218
Tabella riassuntiva .....	220
<b>5.9 Verifica dei macroelementi in LC2 .....</b>	<b>221</b>
Macroelemento1-Cinematismo1 .....	222
Macroelemento1-Cinematismo2 .....	223
Macroelemento3-Cinematismo1 .....	224
Macroelemento4-Cinematismo1 .....	225
Macroelemento4-Cinematismo2 .....	226
Macroelemento4-Cinematismo3 .....	227
Macroelemento6-Cinematismo1 .....	228
Macroelemento6-Cinematismo2 .....	229
Macroelemento7-Cinematismo1 .....	230
Macroelemento7-Cinematismo2 .....	231
Macroelemento8-Cinematismo1 .....	232
Macroelemento9-Cinematismo1 .....	233
Macroelemento9-Cinematismo2 .....	234
Macroelemento10-Cinematismo1 .....	235
Macroelemento10-Cinematismo2 .....	236
Macroelemento11-Cinematismo1 .....	237
Macroelemento12-Cinematismo1 .....	238
Macroelemento13-Cinematismo1 .....	239
Macroelemento14-Cinematismo1 .....	240
Macroelemento15-Cinematismo1 .....	241
<b>6. Modellazione globale: applicazione della metodologia Vulnus .....</b>	<b>243</b>
6.1 La metodologia Vulnus .....	243
Calcolo dell'indice I1 .....	245
Calcolo dell'indice I2 .....	246
Calcolo dell'indice I3 .....	247
Procedura di calcolo della vulnerabilità .....	247
6.2 Applicazione della metodologia Vulnus all'edificio oggetto di studio .....	248
Analisi statistica .....	252
Analisi di vulnerabilità .....	253

Frequenze attese di danno .....	255
Attribuzione della classe di vulnerabilità macrosismica .....	257
<b>7. Verifica dei meccanismi d'insieme mediante analisi numerica.....</b>	<b>259</b>
7.1 Verifica dei meccanismi d'insieme mediante il software 3Muri.....	259
7.2 Definizione del modello.....	262
7.3 Effetti dell'aggregazione sul comportamento globale .....	270
7.4 Modello 1: edifici isolati .....	273
Blocco A.....	273
Blocco B.....	277
Blocco C.....	280
7.5 Modello 2: edifici in aggregato.....	283
Blocco A.....	283
Blocco B.....	286
Blocco C.....	289
7.6 Conclusioni .....	292
<b>8. Proposte di intervento per la riduzione della vulnerabilità sismica .....</b>	<b>295</b>
8.1 Proposta di un piano di indagini .....	297
Prove di laboratorio sulle colonne in pietra .....	298
Prove in situ leggermente distruttive: carotaggi ed endoscopia.....	300
8.2 Interventi volti a ridurre le carenze dei collegamenti.....	301
Inserimento di tiranti metallici .....	301
Cordolo metallico .....	305
Fasciature con materiali compositi .....	306
Speroni o ringrossi murari.....	308
8.3 Interventi volti a incrementare la resistenza nei maschi murari.....	310
Ristilatura dei giunti .....	310
Iniezioni di miscele leganti.....	312
Intonaco armato con FRP .....	314
8.4 Interventi su pilastri e colonne.....	316
Puntelli in acciaio .....	317
Muratura armata.....	318
8.5 Confronto tra interventi di miglioramento.....	320
8.6 Proposta di applicazione di alcuni interventi al caso oggetto di studio: tiranti e cordoli metallici .....	322
Verifica a trazione.....	323
Verifica allo sfilamento .....	324
Verifica a taglio .....	325
Verifica al rifollamento .....	326
Macroelemento 1 .....	327
Macroelemento 4 .....	327
Macroelemento 9 .....	328
Macroelemento 11.....	328
Macroelemento 15.....	329



Proposta d'intervento .....	329
8.7 Verifica delle colonne in pietra.....	331
Verifica a compressione .....	331
Analisi statica con 3Muri.....	336
8.8 Verifica della tamponatura delle arcate nel prospetto nord su patio interno.....	339
Verifica a compressione .....	340
Verifica dei cinematismi fuori piano.....	341
Analisi sismica con 3Muri.....	344
Analisi statica con 3Muri.....	345
8.9 Proposta di inserimento di nuove pareti nel Blocco B .....	348
Analisi con 3Muri .....	348
<b>Conclusioni .....</b>	<b>353</b>
<b>Bibliografia.....</b>	<b>357</b>
<b>Manuali consultati .....</b>	<b>358</b>
<b>Archivi consultati.....</b>	<b>358</b>
<b>Normativa di riferimento .....</b>	<b>359</b>
<b>Siti internet consultati.....</b>	<b>360</b>

## INDICE DELLE TAVOLE

1.01 Inquadramento territoriale
1.02 Inquadramento territoriale PRG
1.03 Inquadramento territoriale PATI
1.04 Evoluzione storica
2.01 Rilievo fotografico
2.02 Rilievo fotografico
2.03 Rilievo fotografico
3.01 Rilievo geometrico
3.02 Rilievo geometrico
3.03 Rilievo geometrico
3.04 Rilievo geometrico
3.05 Rilievo geometrico
3.06 Rilievo geometrico
3.07 Rilievo geometrico
3.08 Rilievo geometrico
3.09 Rilievo geometrico
3.10 Rilievo geometrico
3.11 Rilievo geometrico
3.12 Rilievo geometrico
3.13 Rilievo geometrico

- 3.14 Rilievo geometrico
- 3.15 Rilievo geometrico
- 3.16 Rilievo geometrico
- 3.17 Rilievo geometrico
- 3.18 Rilievo geometrico
- 3.19 Rilievo geometrico
- 3.20 Analisi funzionale
- 3.21 Analisi funzionale
- 3.22 Analisi funzionale

- 4.01 Rilievo strutturale
- 4.02 Rilievo strutturale
- 4.03 Rilievo strutturale
- 4.04 Rilievo delle vulnerabilità
- 4.05 Rilievo delle vulnerabilità
- 4.06 Rilievo delle vulnerabilità
- 4.07 Rilievo delle vulnerabilità
- 4.08 Rilievo delle vulnerabilità
- 4.09 Rilievo dei danni, dei dissesti e dei degradi
- 4.10 Rilievo dei danni, dei dissesti e dei degradi
- 4.11 Rilievo dei danni, dei dissesti e dei degradi
- 4.12 Dispositivi antincendio
- 4.13 Dispositivi antincendio
- 4.14 Dispositivi antincendio

5.01 Macroelementi

- 6.01 Pianta schematica dell'edificio
- 6.02 Pianta schematica dell'edificio
- 6.03 Pianta schematica dell'edificio

- 7.01 Pianta macroelementi Blocco A
- 7.02 Pianta macroelementi Blocco B
- 7.03 Pianta macroelementi Blocco C
- 7.04 Analisi 18 Blocco A
- 7.05 Analisi 18 Blocco A
- 7.06 Analisi 12 Blocco A
- 7.07 Analisi 12 Blocco A
- 7.08 Analisi 17 Blocco B
- 7.09 Analisi 12 Blocco B
- 7.10 Analisi 24 Blocco C
- 7.11 Analisi 14 Blocco C

- 8.01 Disposizione di tiranti e cordoli metallici
- 8.02 Disposizione dei tiranti in facciata
- 8.03 Disposizione dei tiranti in facciata
- 8.04 Modifica muratura Blocco B
- 8.05 Analisi 20 Blocco B modificato

## Introduzione

L'Università degli Studi di Padova, in accordo con quanto riportato nell'O.P.C.M. 3274:2003, ha promosso una campagna di indagini per la valutazione della vulnerabilità sismica, finalizzata allo studio e all'analisi della sicurezza strutturale degli edifici di Ateneo. Nella norma si sottolinea che l'unico modo per contrastare l'imprevedibilità dei terremoti consiste in una sistematica prevenzione, sia per la salvaguardia delle vite che dei manufatti e dei beni ivi contenuti.

Palazzo Sala, oggi sede del Centro Servizi Informatici di Ateneo, essendo un edificio pubblico rilevante caratterizzato da una Classe d'Uso III, si inserisce in questa campagna di indagini.

L'edificio oggetto di studio si trova in via S. Francesco, nel centro storico di Padova; fu costruito nel 1507 su commissione del nobile Francesco Sala.

Nel corso dei secoli l'edificio subì aggiunte, modifiche e cambi di destinazione d'uso. Infatti si possono individuare tre blocchi distinti sia per quanto riguarda la disposizione in pianta sia per i materiali che li costituiscono; per questo motivo l'analisi di vulnerabilità è stata condotta facendo riferimento al Blocco A, quello più antico prospiciente via S. Francesco, al Blocco B, il corpo di collegamento collocato sul lato est del cortile interno, e al Blocco C, il corpo costruito tra il 1815 e il 1845 posto a chiusura del lato nord del cortile interno.

La valutazione della vulnerabilità sismica è stata eseguita utilizzando come riferimento la normativa vigente in ambito di costruzioni: in particolar modo si fa riferimento alle "Norme Tecniche per le Costruzioni" (NTC 2008), che rimandano alle indicazioni della Circolare del Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti n. 617 del 02/02/2009, recante "Istruzioni per l'applicazione delle Norme Tecniche per le Costruzioni di cui al D.M. 14/01/2008".

I riferimenti tecnici delle NTC 2008 rimandano anche alle "Linee Guida per la valutazione e riduzione del rischio sismico del patrimonio culturale".

Le Linee Guida individuano un percorso da seguire articolato nei seguenti passaggi: conoscenza, valutazione del livello di sicurezza nei confronti delle azioni sismiche e progetto degli eventuali interventi.

Sulla base delle indicazioni fornite dalla normativa è stato condotto lo studio, che si sviluppa in più fasi, inizialmente finalizzate ad acquisire le informazioni e successivamente ad elaborare i dati con specifiche analisi di vulnerabilità.

La prima fase è l'indagine storico-critica, necessaria per comprendere l'evoluzione del fabbricato nel corso dei secoli e le varie destinazioni d'uso che ha subito. Le informazioni sono state reperite sia in opere bibliografiche sia nei progetti conservati nell'Archivio Generale dell'Università di Padova.

È stato anche fatto un inquadramento geografico, geologico e sismico del sito in cui sorge l'edificio, per comprendere meglio la pericolosità cui può essere soggetto.

Questa prima fase è stata poi seguita dal rilievo geometrico e fotografico, eseguiti in situ, ottenendo così un quadro conoscitivo dello stato di fatto e verificando l'esattezza dei rilievi forniti dall'Università.

Non è stato possibile eseguire specifiche indagini strumentali, per questo motivo il rilievo materico-strutturale è stato supportato da una serie di ipotesi che dovranno essere verificate e i parametri meccanici dei materiali fanno riferimento ai valori forniti dalla norma.

L'analisi delle vulnerabilità e del degrado ha permesso di individuare gli elementi più critici dell'edificio, fornendo un quadro più completo dello stato di fatto attuale.

Dopo aver quantificato i carichi agenti e aver valutato i parametri sismici di progetto è stato possibile effettuare l'analisi di vulnerabilità sismica mediante analisi locale e globale.

Nell'analisi locale si individuano i macroelementi che compongono l'edificio, si procede con la verifica agli SLV di diversi cinematismi fuori piano e, in alcuni casi, anche meccanismi nel piano mediante analisi lineare e analisi non lineare, qualora la prima non fosse soddisfatta.

Attraverso la metodologia Vulnus è stata eseguita un'analisi di vulnerabilità sismica dell'aggregato nel suo complesso; questo programma valuta in modo qualitativo la vulnerabilità, mentre un giudizio quantitativo viene fornito dall'analisi push-over effettuata in seguito.

Vulnus valuta la vulnerabilità di edifici in muratura, considerando i livelli di attivazione di alcuni meccanismi locali di collasso nel piano e fuori piano; vengono definiti due indici di vulnerabilità ai quali viene affiancato un terzo indice basato su informazioni di tipo qualitativo.

Basandosi sulla teoria degli insiemi sfuocati, Vulnus permette di ottenere dei giudizi di vulnerabilità e di costruire le curve di fragilità.

La modellazione globale viene effettuata anche utilizzando il software "3Muri", che permette di schematizzare la struttura mediante un modello a telaio equivalente sul quale vengono eseguite le analisi non lineari statiche, dette anche push-over, seguite dalle verifiche richieste dalla normativa.

Con 3Muri è stata inizialmente fatta l'analisi partendo da un modello non vincolato valutandone la risposta, per poi proseguire con l'inserimento di vincoli cedevoli elasticamente per rappresentare in maniera più realistica il comportamento dell'edificio in aggregato.

Queste diverse metodologie applicate si sono rivelate indispensabili per effettuare uno studio il più possibile esaustivo dell'edificio oggetto di studio. Il confronto dei risultati ottenuti ha permesso di individuare gli elementi più critici sui quali sarebbe opportuno concentrare le indagini conoscitive ed eventualmente proporre interventi di miglioramento.

Sono stati considerati alcuni interventi finalizzati al miglioramento del comportamento globale dell'edificio, sono state fatte alcune considerazioni preliminari su ciascuno di questi possibili interventi ed è stata fatta una valutazione indicativa dei pro e dei contro per ciascuno di essi.

Nei macroelementi non verificati sono stati progettati tiranti e cordoli metallici e sono state eseguite analisi più approfondite nei punti più critici dell'edificio, per avere una conoscenza maggiore dello stato di fatto.

Si sottolinea comunque il fatto che le proposte di intervento dovranno essere rivalutate in seguito a un preventivo piano di indagini che verifichi la fattibilità della proposta.



## CAPITOLO 1: ANALISI STORICO-CRITICA

### 1.1 INQUADRAMENTO TERRITORIALE

L'edificio oggetto di studio si trova in via S. Francesco al civico 11-13, nel centro storico di Padova, in prossimità della sede rappresentativa dell'università: Palazzo Bo.

Per raggiungere via S. Francesco è inevitabile ammirare l'antico ponte romano sul Naviglio Interno, ora interrato ma visitabile. Il Ponte di San Lorenzo, risalente al 40-30 a.C., è l'unico fra gli antichi cinque ponti romani di Padova a essere ancora interamente conservato.

Attraversata la Riviera Tito Livio si apre Piazza Antenore, dove sorge la cosiddetta tomba di Antenore, un'edicola a cuspide del 1283, che, secondo la tradizione, dovrebbe contenere le spoglie del mitico fondatore di Padova.

Sulla piazza, che fu aperta solo nel 1937, si affaccia il Palazzo della Provincia/Prefettura, costruito nel 1811 con la sua facciata neorinascimentale, nel luogo in cui sorgeva il Monastero di Santo Stefano<sup>1</sup>.

Dall'altro lato della piazza, al numero 9 di via S. Francesco, si erge il Palazzo Romanin Jacur, risalente al XIV-XV secolo, che anticamente era chiamato "Ca' d'Oro", perché il suo stile richiama quello dei palazzi veneziani, benché sia stato poi ricostruito e restaurato nell'Ottocento in chiave neogotica.

Proseguendo poi lungo la via si trova il duecentesco Palazzo Zabarella, che conserva la torre mozza medioevale con merlatura guelfa; il palazzo oggi è una prestigiosa sede espositiva e ospita numerosi eventi culturali.

E' tra questi importanti palazzi storici che si colloca Palazzo Sala, poi Francesconi, risalente al 1507, anno in cui il nobile Francesco Sala ne commissionò la costruzione per stabilirvisi<sup>2</sup>.



Figura 1.1 - Restituzione prospetti su via S. Francesco, in azzurro il palazzo Sala

La conoscenza del contesto urbano e ambientale in cui si colloca l'edificio è stata resa possibile anche grazie alla cartografia e alla documentazione disponibile per l'area in esame. Attraverso l'analisi della CTR (Carta Tecnica Regionale), di ortofoto e dei dati

<sup>1</sup>Touring Club Italiano. (2003). Padova e provincia: i colli Euganei e le terme, Este e le città fortificate, Touring Editore.

<sup>2</sup> [www.padovanet.it](http://www.padovanet.it), consultato nell'ottobre 2014

catastali è stato possibile effettuare una localizzazione accurata dell'edificio. (Tavola 1.01)

Mediante la cartografia del PRG (Piano Regolatore Generale) è possibile studiare l'assetto edilizio, lo sviluppo del territorio comunale, i vincoli presenti nelle zone a carattere storico, ambientale e paesistico.

In particolare nella serie B1 del PRG della zona del centro storico (Tavola 1.02) si nota che Palazzo Sala fa parte dell'unità di piano della classe A (cioè quella degli edifici costruiti prima del 1811, che hanno carattere di permanenza storica e di particolare valore architettonico e urbanistico o edifici che risalgono al periodo 1811-1936 e di particolare valore architettonico e urbanistico). Tali edifici sono sottoposti a restauro e risanamento scientifico, cioè interventi che consistono in un insieme sistematico di opere che, nel rispetto degli elementi tipologici, formali e strutturali dell'edificio, ne consentono la conservazione, valorizzandone i caratteri e rendendone possibile un uso adeguato alle intrinseche caratteristiche.

Nella serie B2 del PRG invece (Tavola 1.02) vengono individuate le destinazioni d'uso consentite nelle unità di piano e si nota che Palazzo Sala è indicato come un'area di servizi di interesse generale con attrezzature di interesse comune.

Attualmente il PRG non è più in vigore, ma è stato sostituito dal PATI (Piano di Assetto del Territorio Intercomunale), questo nuovo strumento di pianificazione territoriale, in vigore dal 4 ottobre 2014, è suddiviso in due parti: il PAT (Piano di Assetto del Territorio), che contiene disposizioni strutturali e programmatiche, e il PI (Piano degli Interventi), che contiene disposizioni operative per consentire la realizzazione delle opere programmate.

In particolare, nella carta delle fragilità, che evidenzia le diverse condizioni del suolo ai fini della loro edificabilità, sia sotto l'aspetto idrogeologico, sia rispetto al dissesto idraulico, Palazzo Sala si inserisce in un'area idonea, così come la maggior parte del centro storico di Padova.

Nella carta Geolitologica si nota che gran parte del centro storico, e quindi anche Palazzo Sala, è costruito su materiale di riporto e nella carta Idrogeologica viene evidenziato che la zona dove sorge l'edificio è situata su una falda freatica posta a una profondità compresa tra 2 e 5 metri dal piano campagna<sup>3</sup>.

## 1.2 STORIA SISMICA

Dalla ricerca storica e dalle informazioni ricavate sul sito dell'INGV (Istituto Nazionale Geofisica e Vulcanologia) è emerso che il territorio veneto è da sempre interessato da eventi sismici, che nel corso dei secoli hanno avuto ripercussioni sul patrimonio edilizio delle città.

Il primo evento sismico registrato risale al 3 gennaio 1117 e fu il più forte terremoto storico del nord Italia, con magnitudo 6.5 ed epicentro nel veronese.

---

<sup>3</sup> Piano di Assetto del Territorio Intercomunale, norme tecniche di attuazione, 2008



Successivamente la città di Padova venne coinvolta in altri 145 eventi sismici, fino al 2004, di diversa intensità e con epicentri in varie località del nord e centro Italia.<sup>4</sup>

Nei documenti storici non ci sono testimonianze di un diretto coinvolgimento dell'edificio oggetto di studio, ma la mancanza di tali notizie non indica che Palazzo Sala non sia mai stato interessato da eventi sismici, semplicemente queste informazioni non sono state tramandate ai posteri.

Nel grafico 1.1 vengono riportati gli eventi sismici sopracitati che hanno coinvolto Padova; in ordinata è indicata l'intensità sismica, mentre in ascissa sono indicati gli anni.

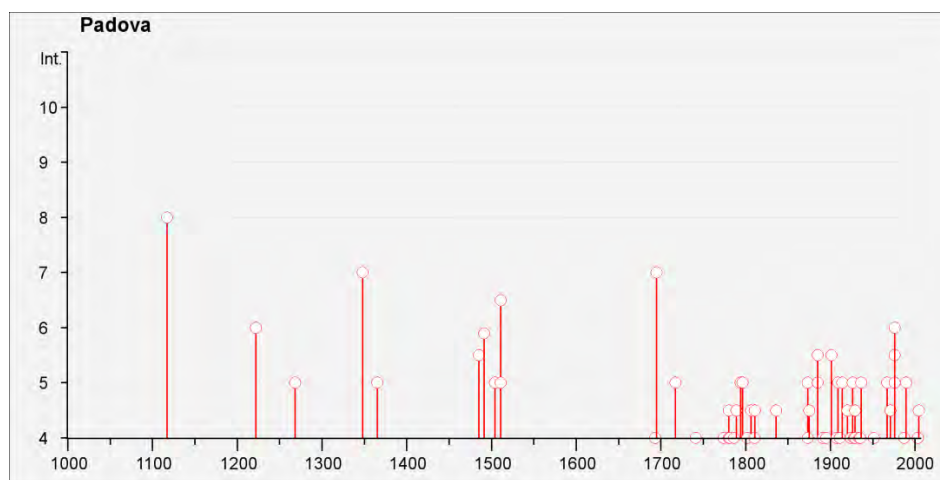


Grafico 1.1: Diagramma della storia sismica di Padova ([www.emidius.mi.ingv.it](http://www.emidius.mi.ingv.it))

In seguito al terremoto del 31 ottobre 2002, che colpì i territori al confine tra Molise e Puglia, la Protezione civile ha adottato l'ordinanza 20 marzo 2003, n. 3274, con lo scopo di aggiornare la classificazione sismica del territorio italiano e le relative norme antisismiche<sup>5</sup>.

Alla luce dell'ordinanza n. 3274, diversamente da quanto previsto nella normativa precedente, tutto il territorio nazionale è stato classificato come sismico ed è stato suddiviso in quattro zone, caratterizzate da pericolosità sismica decrescente.

Le zone 1, 2, 3 corrispondono, dal punto di vista degli adempimenti previsti dalla legge n. 64 del 1974<sup>6</sup>, alle zone di sismicità alta, media e bassa; invece per la zona 4, di nuova introduzione, viene data facoltà alle regioni di imporre l'obbligo della progettazione antisismica.

<sup>4</sup> [www.emidius.mi.ingv.it](http://www.emidius.mi.ingv.it), consultato nel novembre 2014

<sup>5</sup> 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 le costruzioni in zona sismica.

<sup>6</sup> Legge 2 febbraio 1974, n.64 – Provvedimenti per le costruzioni con particolari prescrizioni per le zone sismiche.

Il collegamento tra la nuova classificazione e le norme tecniche risulta pertanto molto stretto.

La mappa di pericolosità sismica è diventata un riferimento ufficiale con l'Ordinanza n. 3519/2006<sup>7</sup>, che ha quindi suddiviso il territorio nazionale in quattro zone sulla base dell'accelerazione massima attesa su suolo rigido o pianeggiante con una probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni.

Padova è stata classificata in zona 4, quindi ha una pericolosità sismica molto bassa, le possibilità di danni sismici sono piuttosto ridotte e con accelerazione  $a_g < 0.05g$ .

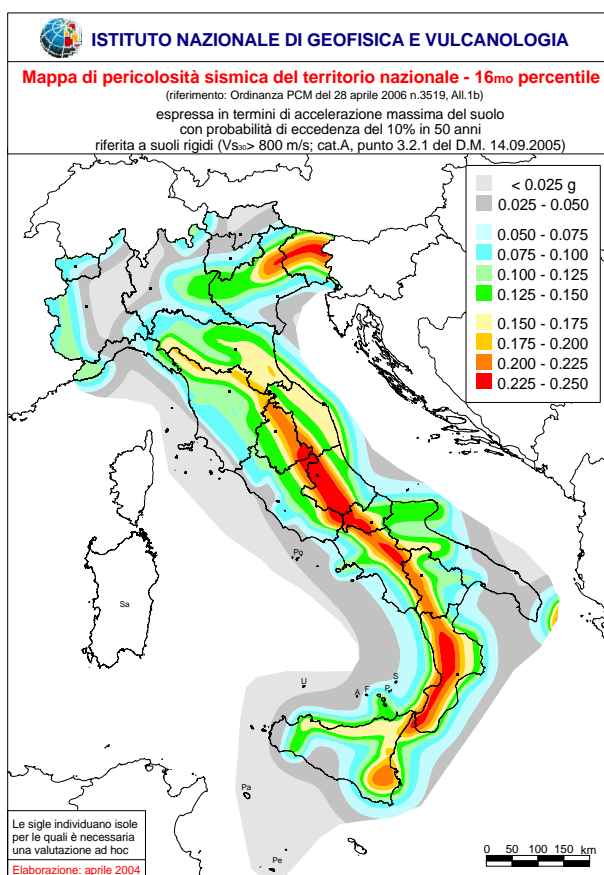


Figura 1.2: Mappa di pericolosità sismica del territorio nazionale - sedicesimo percentile.

<sup>7</sup> Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3519 del 28 aprile 2006 – Criteri generali per l'individuazione delle zone sismiche e per la formazione e l'aggiornamento degli elenchi delle medesime zone.

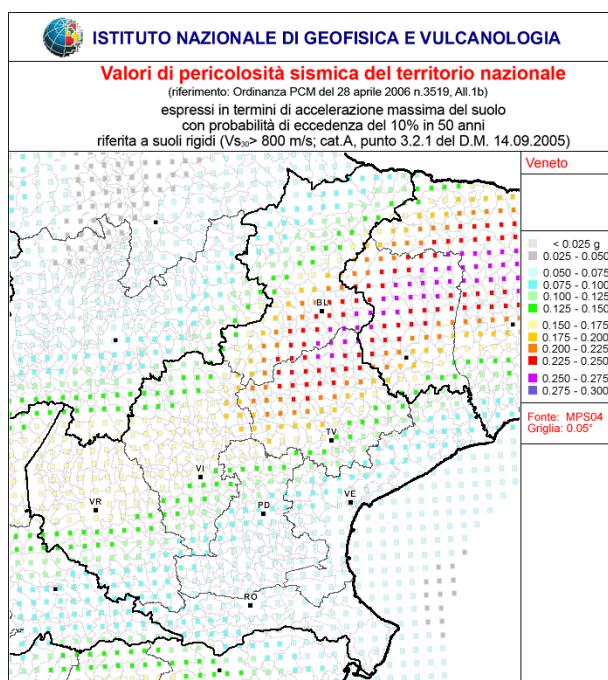


Figura 1.3: Mappa di pericolosità sismica della regione Veneto

Il criterio fondamentale a cui bisogna fare riferimento è il rischio sismico: concetto generale che considera la probabilità che un evento sismico si verifichi e le conseguenze che esso può produrre; misura i danni attesi in un determinato periodo di tempo, in base al tipo di sismicità, di resistenza delle costruzioni e di antropizzazione<sup>8</sup>.

Il rischio sismico è determinato dalla combinazione della pericolosità, della vulnerabilità e dell'esposizione.

La pericolosità sismica di un territorio è la probabilità che in una determinata area e in un determinato intervallo di tempo si verifichi un terremoto che superi una soglia di intensità, magnitudo o accelerazione di picco (Pga).

La vulnerabilità sismica è la propensione di una struttura a subire danni di un determinato livello, in seguito a un evento sismico di una determinata intensità; misura quindi la riduzione di efficienza dell'edificio e la capacità residua di svolgere le funzioni per cui è stato costruito.

L'esposizione invece misura l'importanza dell'oggetto esposto al rischio in relazione alle caratteristiche ambientali del sito; questo parametro è strettamente connesso alla presenza di attività umana nella zona dove si verifica il sisma.

Sulla base di queste definizioni è possibile avere un'idea del rischio sismico della città di Padova: in particolare la città presenta una pericolosità sismica limitata, una vulnerabilità elevata, dovuta alla fragilità del patrimonio storico-artistico e un'esposizione elevata, per densità abitativa e lavorativa elevatissime del centro storico.

<sup>8</sup> [www.protezionecivile.it](http://www.protezionecivile.it), consultato nel novembre 2014

Proprio per ridurre tali rischi l'Università di Padova, mossa da un nuovo spirito di prevenzione, ha deciso di attuare un progetto di aggiornamento della sicurezza sismica dei suoi edifici.

### 1.3 STORIA CRITICA DELL'EDIFICIO

Come testimonia un'antica iscrizione, Palazzo Sala fu costruito nel 1507 su commissione del nobile Francesco Sala<sup>9</sup>; quanto all'architetto le attribuzioni sono opinabili, perché lo stile architettonico del palazzo non trova alcuna corrispondenza in edifici coevi di certa attribuzione.

Inizialmente si pensava che fosse stato progettato da Lorenzo da Bologna per via della ricca facciata di gusto ferrarese, ma quest'ipotesi è stata ormai scartata.

La prima testimonianza grafica dell'edificio è riscontrabile nella mappa di Padova del Valle del 1784 (Figura 1.4), nella quale si possono riconoscere il corpo che oggi si affaccia su piazza Antenore, due ali che cingono il retrostante cortile e un corpo trasversale che chiude il cortile stesso; è difficile però attribuire le varie porzioni alle diverse proprietà date le numerose adiacenze tra gli edifici.



Figura 1.4 - Mappa storica di Padova, G. Valle, 1784

Attraverso le fonti catastali è possibile ricostruire lo sviluppo planimetrico nel corso degli anni, frutto di aggiunte e modifiche all'impianto iniziale.

Nel catasto napoleonico del 1815 (Figura 1.5) si può osservare che il corpo trasversale posto a chiusura del cortile interno facesse parte di un'altra proprietà limitrofa.

---

<sup>9</sup> G. Brunetta, *Gli interventi dell'Università di Padova nel riutilizzo di antichi edifici*, Padova, Tipografia Editrice <<La Garangola>>, 1966

Nel catasto austriaco del 1845 (Figura 1.6) si perde l'impianto rimasto pressoché immutato fino ad allora e si può notare una ripartizione conservata fino ad oggi in cui si perde l'ala ovest dell'edificio, attualmente di pertinenza del Palazzo Romanin, ma si acquisisce un corpo trasversale in fondo al cortile, realizzato appunto tra il 1815 e il 1845.

Nel catasto austriaco del 1852 (Figura 1.7) non si riscontrano cambiamenti significativi.



Figura 1.5 - Catasto napoleonico 1815



Figura 1.6 - Catasto austriaco, 1845



Figura 1.7 - Catasto austriaco, 1852

Le trasformazioni realizzate in epoca più recente sono documentate dal prof. Arch. Ing. Giulio Brunetta, che descrive il progetto per il riutilizzo dei palazzi Sala e Romanin ad uso delle segreterie universitarie<sup>10</sup>.

Nella relazione di progetto Brunetta scrive: *“E’ necessario premettere che le attuali segreterie universitarie al Palazzo Centrale furono progettate, e costruite, attorno al 1940, quando l’Università di Padova aveva poco più di 4000 studenti. Nonostante alcuni successivi adattamenti interni la situazione è diventata, è ovvio il dirlo, già da molti anni, critica, tanto che nel 1968 – acquisito il non lontano antico Palazzo Sala, fu possibile trasferirvi, al piano terreno e al primo piano, le segreterie di alcune facoltà: anche se era una soluzione già in partenza del tutto insufficiente. (Per completare il panorama circa l’utilizzo del Palazzo Sala è bene anche dire che recentemente, 1969, sempre a cura dell’Università, vi fu installato al secondo piano, previ costosi lavori di restauro statico e conservativo, il nuovo Centro di Calcolo elettronico).”* (Brunetta, 1970)

Tale progetto prevedeva la conservazione integrale della disposizione muraria principale, alla quale sono state adattate le necessità funzionali conseguenti alla nuova destinazione d’uso.

Gli unici interventi degni di nota sono il ripristino del portico sotto il Palazzo Romanin lungo il cortile interno del Palazzo Sala, denunciato da evidenti indicazioni murarie, e l’apertura di un passaggio tra i due cortili, per rendere ancora più evidente la loro unità funzionale.

Con questo progetto l’università intendeva conservare i due palazzi così com’erano, essendo entrambi parte integrante di un ambiente urbano ormai definito, restaurandoli internamente per adattarli alla loro nuova destinazione d’uso.

Il progetto prevedeva la realizzazione di nove sportelli per gli studenti, accessibili per vie diverse, attraversando il cortile o il portico oppure salendo le scale fino al primo piano.

Il programma di restauro di Palazzo Sala prevedeva anche la ristrutturazione del corpo interno dell’edificio, che era in condizioni del tutto precarie, tuttavia, a causa delle difficoltà di accesso per potervi installare un efficiente cantiere e a causa delle servitù di veduta che gode Palazzo Romanin, i lavori sono stati rinviati fino a quando l’Università potesse disporre anche di Palazzo Romanin.

Considerando il nuovo utilizzo erano stati previsti il rifacimento dei solai lignei con altre strutture, numerosi interventi di modifica muraria, il rifacimento delle coperture e degli intonaci.

Bisognava sostituire tutti gli impianti termici idrici ed elettrici, alcuni serramenti esterni e interni, pavimenti rivestimenti ecc. ecc.

Concretamente erano stati previsti:

---

<sup>10</sup> G. Brunetta, *Relazione del progetto di utilizzazione dei palazzi Romanin e Sala ad uso delle segreterie universitarie*, Ufficio Tecnico dell’Università degli Studi di Padova, 1970.

- un nuovo vano scala con ascensore/montacarichi centrale nella parte est del corpo principale, che sostituisce quello già presente e collega, a differenza del precedente, tutti i livelli dell'edificio;
- un solaio misto ferro-latero-cementizio (travi HE 160 A, trasversali in mezzeria HE 140 A saldati, tavelloni e cappa superiore armata).



Figura 1.8 - Corpo nord, 31 maggio 1973



Figura 1.9 - Risistemazione dell'ala ovest sul cortile interno, 12 dicembre 1973



Il progetto così com'era stato ipotizzato non fu mai portato in cantiere, dovette subire modifiche e revisioni negli anni seguenti fino al 1973.

Quando finalmente si procedette con il recupero si preferì creare ambienti anche al piano terra dell'ala ovest, riconfigurandone le aperture sul cortile e allineandole ai piani superiori. Invece rimase pressoché immutata la parte riguardante il corpo nord.

Vale la pena concentrarsi sull'intervento di rifacimento degli orizzontamenti, poiché oggi su quelle stesse strutture poggiano le attrezzature del Centro Servizi Informatici di Ateneo.

Facendo riferimento al verbale di collaudo statico redatto dall'ing. Enrico Varagnolo nel 1976<sup>11</sup>: *"Tutti i vecchi solai sono stati rifatti in latero-cemento e precisamente:*

- 1° orizzontamento a quota 1° piano in latero-cemento eseguito in opera,  $H=20+4=24\text{cm}$ ,  $i=40\text{cm}$ , con carico accidentale di  $500\text{kg/mq}$  per la parete verso il cortile e di  $400\text{kg/mq}$  per la rimanente;
- 2° orizzontamento, solaio di copertura, in latero-cemento eseguito in opera,  $H=20+4=24\text{cm}$ ,  $i=40\text{cm}$ , con sovraccarico totale di  $350\text{kg/mq}$ .

*Le strutture verticali di muratura e le fondazioni sono state rinforzate dove era necessario."* (Varagnolo, 1976)

Come già accennato, attualmente questi ambienti ospitano numerosi server, apparecchiature per il trattamento climatico dei locali, gruppi di continuità, alcuni uffici e servizi igienici.

Tutti i locali sono dotati di pavimento flottante che alloggia i collegamenti elettrici.

A distanza di dodici anni, nel 1985, quando mutarono nuovamente le esigenze dell'Università di Padova, l'edificio divenne esclusivamente il Centro Servizi Informatici di Ateneo e per questo vennero eseguiti ulteriori lavori di risistemazione interna, che modificarono la disposizione delle partizioni, l'apertura o la chiusura di passaggi e la costruzione o demolizione di scale.

Negli ultimi anni è stato necessario contrastare gli effetti del degrado delle strutture in pietra delle aperture sulla facciata sud del corpo principale con un tamponamento in mattoni forati lasciati a vista, a sottolineare l'urgenza e la temporaneità dell'intervento. Sono state inoltre installate nello stesso punto e lungo la facciata ovest delle opere provvisorie a scopo precauzionale, a causa della precarietà in cui vertono alcune parti dell'edificio.

---

<sup>11</sup> E. Varagnolo, *Collaudo statico, Verbale*, Ufficio Tecnico dell'Università degli Studi di Padova, 1976

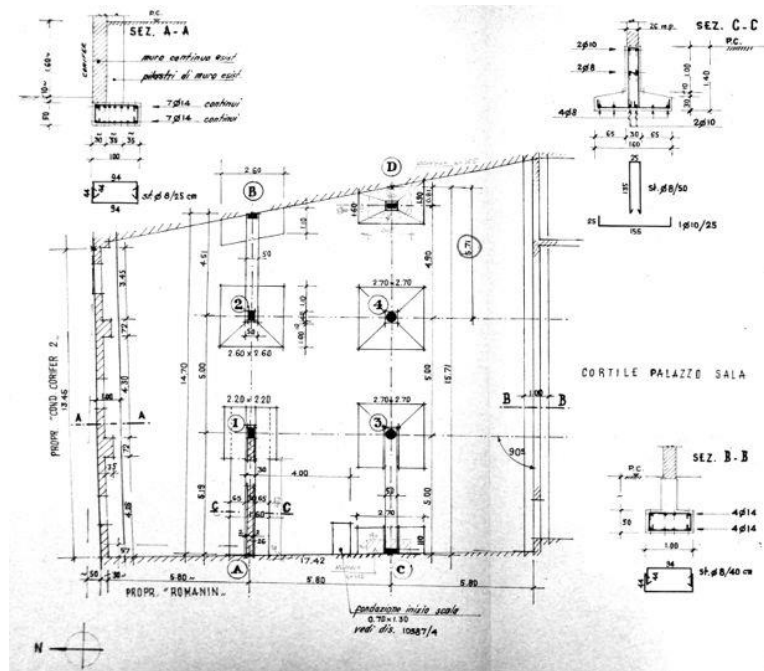


Figura 1.10 - Strutturale fondazioni, 7 agosto 1973

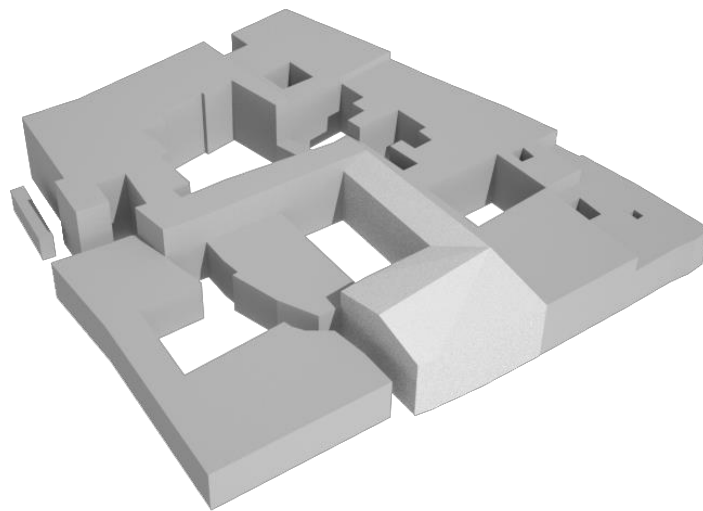


Figura 1.11 - Evoluzione dell'edificio, 1815

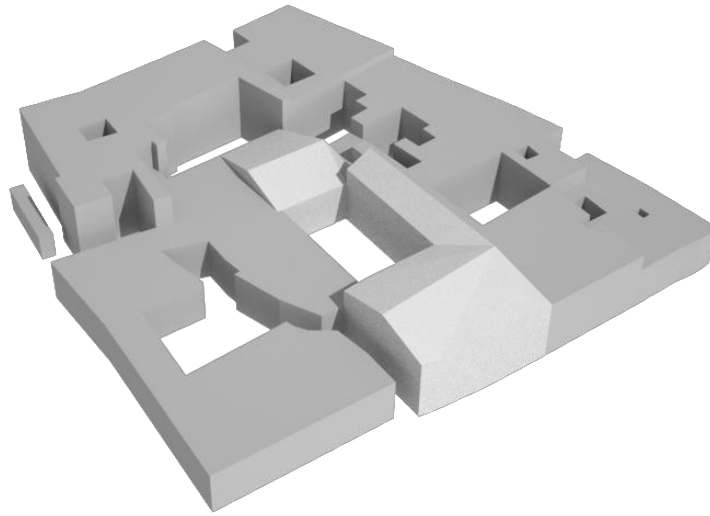


Figura 1.12 - Evoluzione dell'edificio 1945

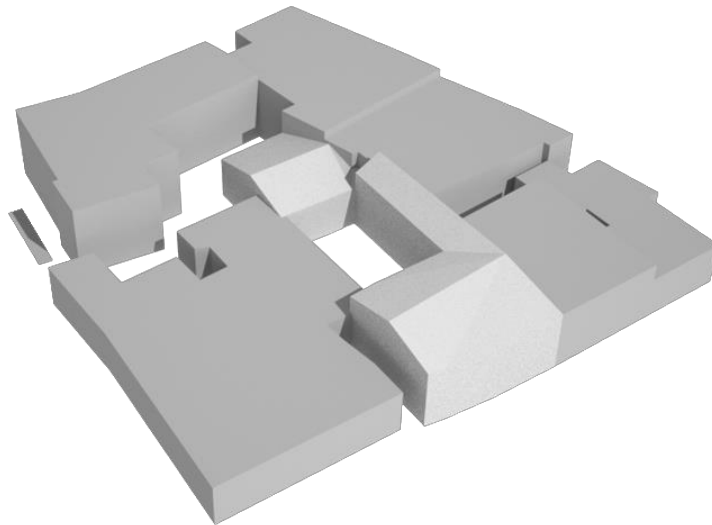


Figura 1.13 - Evoluzione dell'edificio, oggi



## CAPITOLO 2: DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA

### 2.1 RILIEVO FOTOGRAFICO

Attraverso sopralluoghi in situ è stato possibile ricavare numerose informazioni riguardanti lo stato di fatto, il livello di danneggiamento dell'edificio e il degrado dei materiali e della struttura.

Grazie a queste informazioni, unitamente all'analisi dell'evoluzione storica dell'edificio, è possibile effettuare una corretta valutazione della sicurezza sismica e scegliere quindi gli interventi di miglioramento opportuni.

Il rilievo fotografico è stato quindi il primo strumento utilizzato per approfondire la conoscenza di Palazzo Sala.

Nelle cinque piante in scala 1:200 (Tavole 2.01 – 2.02 – 2.03) sono stati indicati i coni ottici delle fotografie scattate durante il sopralluogo.

Le fotografie scelte sono quelle più significative, che mostrano la diversità degli ambienti che compongono l'edificio, i diversi materiali e gli effetti del degrado che hanno trasformato il fabbricato.

Da una prima osservazione delle piante, si può notare che il corpo principale dell'edificio prospiciente la piazza ha pianta quadrangolare.

La facciata presenta un porticato al livello strada, sormontato da tre piani e copertura a due falde.

L'edificio è costituito da cinque piani in tutto, tenendo conto dell'interrato e del sottotetto.



Figura 2.1 Facciata principale su via S. Francesco

A lato del palazzo c'è un passaggio che consente l'accesso al cortile interno; il vicolo conduce anche all'interno dell'adiacente Palazzo Romanin-Jacur.



Figura 2.2 Passaggio laterale tra i palazzi Sala e Romanin

Sul cortile si affacciano oggi un corpo, anch'esso quadrangolare, costituito da due piani fuori terra e da una copertura a due falde, e un'ala che funge da collegamento fra le due parti, parimenti disposta su due livelli e sormontata da una copertura a falda singola.



Figura 2.3 Cortile interno, vista del corpo principale



Figura 2.4 Cortile interno, vista del corpo retrostante

L'ingresso all'edificio non avviene dal maestoso portone che si affaccia su via S. Francesco, ma bensì dal retro dell'edificio, percorrendo il vicolo laterale adiacente a palazzo Romanin.

La portineria che funge da ingresso è un fulcro di collegamento tra le varie parti del palazzo.

Al piano interrato, presente solo sotto il corpo principale, gli ambienti sono ristretti e i solai posti a un'altezza di 2,34 m.



Figura 2.5 Centrale termica, Piano Interrato



Figura 2.6 Sala server, Piano Interrato

Al piano terra dell'edificio principale ci sono ambienti con travi a vista decorate poste ad un'altezza di 5,50 m o di 3.70 m. Questi ambienti, che sono i più antichi dell'edificio erano anche quelli di rappresentanza e quindi più curati nei dettagli rispetto agli altri.



Figura 2.7 Aula magna, Piano Terra



Figura 2.8 Sala riunioni, Piano Terra

Nel Corpo retrostante e nel corpo di collegamento gli ambienti presentano altezze ridotte e uniformi in tutti i piani; i solai sono infatti posti a un'altezza di 2,86 m.

In queste stanze, di costruzione più recente non ci sono travi lignee o decorazioni, ma le strutture sono costituite da cemento o latero-cemento.

Nel corpo principale invece gli ambienti presentano altezze abbastanza elevate anche al primo piano (dai 4,44 m ai 5,5 m), qui però i controsoffitti rendono particolarmente difficile l'identificazione della tipologia dei solai.



Figura 2.9 Disimpegno, Piano Primo

Al secondo piano le altezze si riducono fino a 2,45 m e i solai presentano forme e inclinazioni diverse.

Non sono presenti decorazioni di rilievo storico, ma si possono notare numerosi effetti del degrado.



Figura 2.10 Ufficio, Piano Secondo

Il sottotetto, di altezza molto ridotta, non è interamente calpestabile, ma il rilievo fotografico in questa zona è risultato particolarmente interessante perché ha permesso di individuare la tipologia costruttiva della copertura.



Figura 2.11 Copertura, Piano Terzo

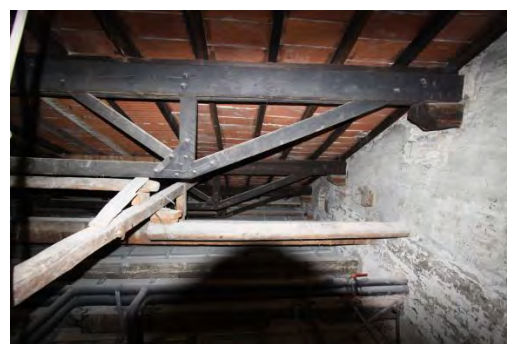


Figura 2.12 Dettaglio copertura, Piano Terzo



## CAPITOLO 3: RILIEVO GEOMETRICO-FUNZIONALE

### 3.1 RILIEVO GEOMETRICO

Il rilievo geometrico è stato compiuto svolgendo un controllo approfondito dell'edificio, tramite l'uso di distanziometri laser e metri, per verificare la congruità tra le documentazioni fornite dall'archivio e lo stato di fatto.

Molte misure coincidevano con quelle della documentazione storica, ma alcuni ambienti presentavano discrepanze, dovute a modifiche successive o cambi di destinazione d'uso. Nelle tavole dalla 3.01 alla 3.19 è riportato il rilievo geometrico di tutto il palazzo.

Per i piani terra, primo e secondo vengono riportate piante in scala 1:200 che mostrano interamente il livello oggetto di studio, che viene suddiviso in tre aree (corpo principale, corpo retrostante e corridoio di collegamento); ognuna di queste aree viene poi rappresentata in scala 1:100 con tutte le misure verificate.

Anche i prospetti e le sezioni, rispettivamente in scala 1:100 e 1:200, forniscono in maniera esaustiva le informazioni necessarie per poter elaborare un rilievo geometrico dell'edificio in tutta la sua complessità.

Lo studio Galeazzo di Padova ha fornito il materiale base per i tre prospetti più antichi (sud su via S. Francesco, ovest su vicolo e nord) su cui si è operato seguendo la medesima procedura utilizzata per le piante.

A causa dell'assenza di materiale digitale invece, le sezioni sono state effettuate rielaborando i documenti del Piano di Restauro del 1985, verificandone la veridicità e comparandole con le misurazioni ottenute in situ.

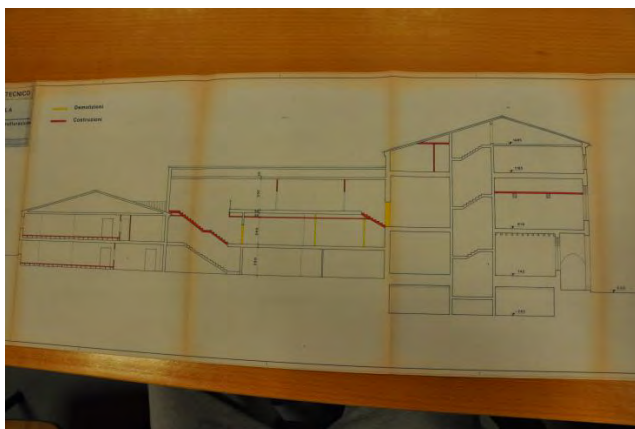


Figura 3.1 Sezione del Piano di Restauro del 1985

Le piante dei cinque piani mostrano un edificio piuttosto eterogeneo, dotato di ambienti con forme e dimensioni molto diversi fra loro.

Il piano interrato è molto più piccolo rispetto a quelli soprastanti, infatti è composto da due stanze quadrate collegate dal vano scale. L'altezza di questi ambienti (2,34 m) è molto ridotta rispetto a quella degli altri piani.

Osservando la pianta del piano terra si può notare che il corpo principale dell'edificio, che si affaccia su via S. Francesco, ha pianta pressoché quadrangolare; a questo livello ci sono ambienti molto piccoli nella zona ovest e stanze più grandi, dotate di soffitti piuttosto alti nella zona est.

Il corpo retrostante, anch'esso quadrangolare, è costituito da due stanze principali abbastanza grandi e cinque ambienti di servizio di dimensioni ridotte. Le altezze dei solai sono ridotte a 2,86 m.

Il corpo di collegamento invece ha una forma rettangolare allungata ed è formato da tre piccole stanze consecutive, che fungono sia da corridoio che da uffici.

Osservando la pianta del Primo Piano, si nota che il corpo principale è costituito da tanti piccoli ambienti, collegati gli uni agli altri da corridoi o disimpegni.

I diversi livelli del corpo principale sono collegati fra loro da due vani scale: uno a est, dotato anche di vano ascensore, e l'altro a ovest.

Anche il primo piano del corpo retrostante è costituito da tante piccole stanze, collegate però da un grande ambiente centrale.

Osservando la sezione si può facilmente notare che questo livello, così come il primo piano del corpo di collegamento si trovano a un'altezza diversa rispetto al corpo principale. Qui i solai sono sempre posti a un'altezza di 2,86 m, mentre nel corpo più antico l'elevata altezza degli ambienti crea un dislivello, colmato dalla presenza di piccole rampe di scale.

Il Secondo Piano si sviluppa solo sopra il corpo di facciata e il corpo di collegamento e, in pianta, la suddivisione degli spazi risulta piuttosto simile al livello sottostante.

Le altezze dei solai si riducono anche nel corpo più antico, quasi ad uniformarsi con quelle del corpo di collegamento (dai 2,45 m ai 3,05 m).

Il dislivello tra le due porzioni dell'edificio qui è particolarmente evidente.

Il Terzo Piano, o sottotetto, è di dimensioni decisamente ridotte: si sviluppa solo sopra una piccola porzione del corpo principale ed è costituito da due stanze rettangolari con copertura inclinata.

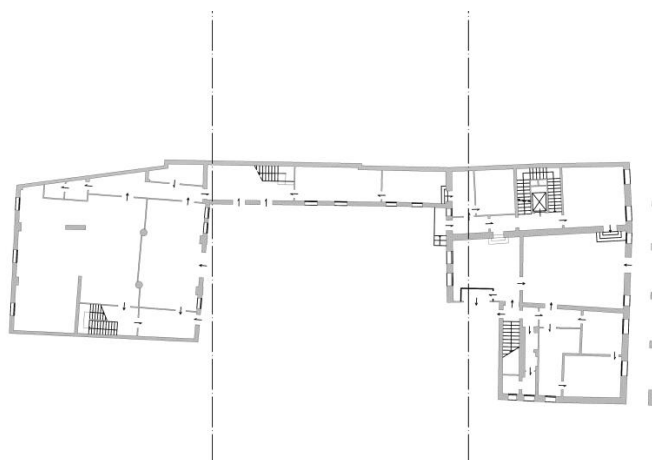


Figura 3.2 Pianta Piano Terra

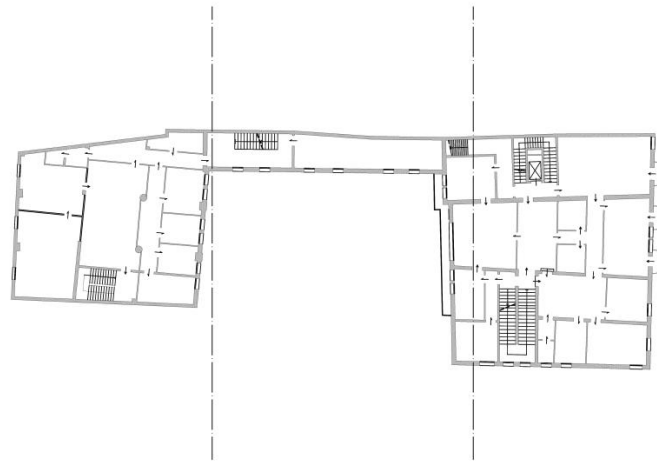


Figura 3.3 Pianta Piano Primo

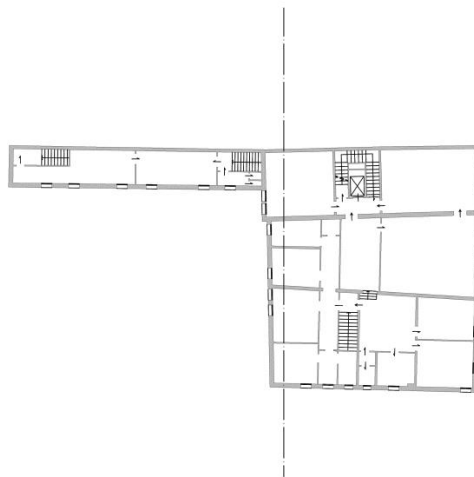


Figura 3.4 Pianta Piano Secondo

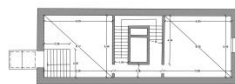


Figura 3.5 Pianta Piano Interrato

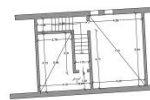


Figura 3.6 Pianta Piano Terzo

Il prospetto sud su via S. Francesco è quello principale: l'imponente facciata di rappresentanza è costituita da un porticato al livello strada, sormontato da tre piani e copertura a due falde.

Sotto il portico, ai lati di quello che una volta era il portone d'ingresso, ci sono due finestre a edicola, più piccole rispetto alle altre quattro finestre del piano terra, che invece sono sormontate da archi a tutto sesto.

Solo nella parte centrale di questa porzione di facciata la muratura presenta la tecnica del bugnato, nel resto del prospetto la muratura è semplicemente intonacata.

Al primo piano una grande apertura centrale domina lo spazio. Essa è formata da quattro finestre intervallate da esili colonne di richiamo ionico, due delle quali sono dotate di balconcino semicircolare.

Due bassorilievi rappresentanti stemmi araldici separano questa apertura centrale dalle altre finestre, due per lato, anch'esse dotate di archi a tutto sesto e, per quanto riguarda le due più centrali, anche di balconcino semicircolare.

Un piccolo cornicione separa il primo dal secondo piano, dove troviamo aperture in corrispondenza di quelle sottostanti, ma di dimensioni ridotte e forma rettangolare.

A lato del palazzo c'è un passaggio che consente l'accesso al cortile interno; il vicolo conduce anche all'interno dell'adiacente Palazzo Romanin-Jacur.

Il prospetto ovest sul vicolo presenta una distribuzione delle aperture piuttosto disordinata: le finestre hanno forme e dimensioni molto diverse le une dalle altre e sono totalmente prive di decorazioni.

Il prospetto nord sul patio interno richiama quello principale su via S. Francesco: al piano terra la muratura è caratterizzata dalla tecnica a bugnato; al primo piano troviamo una sequenza di finestre sormontate da archi a tutto sesto, sostenuti da colonne simili a quelle precedentemente descritte; al secondo piano invece le aperture sono piccole e rettangolari.

Questa facciata però, a differenza delle altre, si trova in un cattivo stato di conservazione.

Il prospetto ovest sul patio interno è molto più semplice e pulito dei precedenti: le aperture sono tutte rettangolari, prive di decorazione e regolarmente distribuite su tutta la facciata.

Solo le due porte, poste in basso a sinistra, presentano una piccola decorazione in sommità.

Il prospetto sud sul patio interno è costituito da due piani fuori terra e da una copertura a due falde. Una grande portafinestra centrale costituisce l'accesso principale a questa porzione di edificio, una piccola porta rettangolare sulla sinistra costituisce invece un accesso secondario.

Le finestre sono rettangolari, distribuite in maniera regolare e totalmente prive di decorazioni.

L'unico elemento decorativo, se così si può chiamare, è costituito da due lesene che dividono l'intera facciata in tre porzioni.

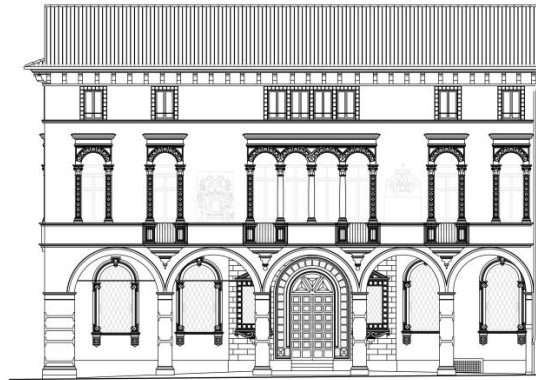


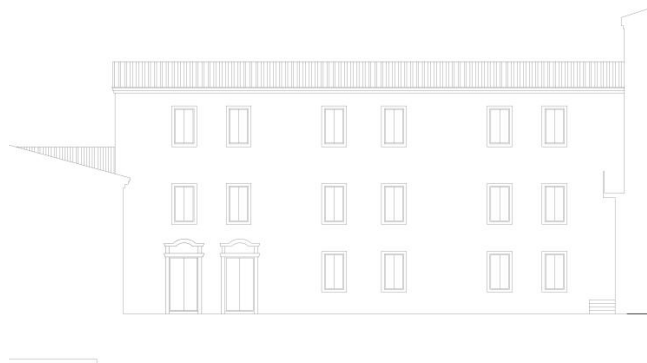
Figura 3.7 Prospetto Sud su via S. Francesco



Figura 3.8 Prospetto Ovest su vicolo



Figura 3.9 Prospetto Nord su patio



**Figura 3.10** Prospetto Ovest su patio



**Figura 3.11** Prospetto Sud su patio

### 3.2 UNITA' STRUTTURALI

Secondo le NTC 2008, nell'analisi di un edificio facente parte di un aggregato edilizio, bisogna tener conto delle possibili interazioni derivanti dalla contiguità strutturale con gli edifici adiacenti.

Per questo motivo è importante individuare le diverse unità strutturali (US).

*“L'US dovrà avere continuità da cielo a terra per quanto riguarda il flusso dei carichi verticali e, di norma, sarà delimitata da spazi aperti, o da giunti strutturali, o da edifici contigui strutturalmente ma, almeno tipologicamente, diversi.”* (NTC 2008)<sup>1</sup>

Per quanto riguarda Palazzo Sala sono state individuate tre unità strutturali: il Blocco A che coincide con la parte più antica dell'edificio che si affaccia su via S. Francesco; il Blocco B che corrisponde all'edificio di collegamento tra le due zone principali; il Blocco C costituito dalla parte retrostante, di costruzione più recente.

I tre diversi blocchi si differenziano quindi per epoca costruttiva, materiali e forma.

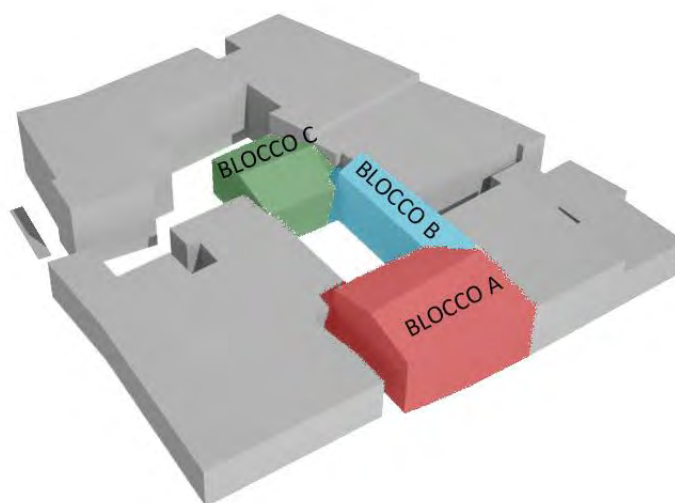


Figura 3.12 Identificazione delle unità strutturali

<sup>1</sup> NTC 2008, capitolo 8.7.1

### 3.3 ANALISI FUNZIONALE

Palazzo Sala, come precedentemente descritto nel Capitolo 1, ha subito un importante cambiamento di destinazione d'uso: da segreteria universitaria è stato trasformato nel Centro Servizi Informatici di Ateneo; quindi da edificio aperto al pubblico è diventato un palazzo ad uso esclusivo dei dipendenti dell'università.

Sulla base delle funzioni attuali è stata svolta un'analisi dell'intero edificio (Tavole 3.20, 3.21, 3.22), in cui le diverse destinazioni d'uso sono state evidenziate con colori diversi.

In particolare al piano terra, nel blocco A, oltre alla portineria ci sono un'aula magna, una sala riunioni, un piccolo ufficio, tre magazzini e un bagno, oltre ovviamente al corpo scale che ospita anche il vano ascensore.

Percorrendo il corpo di collegamento, Blocco B, si attraversa un lungo corridoio adibito a uffici e si arriva nella zona retrostante, Blocco C, occupata principalmente dalla sala server. In questa parte di edificio ci sono anche una piccola sala riunioni, due uffici ricavati in epoca recente e un bagno.

Scendendo la scala del corpo di facciata, si giunge al piano interrato, ambiente molto più piccolo dei piani sovrastanti. Questo livello è costituito solamente da due stanze: la centrale termica e un nuovo punto di accesso alla rete (POP).

Al primo piano troviamo esclusivamente uffici nel blocco A e nel blocco B, mentre la parte retrostante è occupata dalle sale server, da tre uffici e da un piccolo magazzino.

Il secondo piano, che si sviluppa solamente sopra il corpo di facciata e il corpo di collegamento è adibito a uffici ed è occupato anche dall'abitazione del custode.

Quest'ultima, raggiungibile anche dall'esterno attraverso la scala adiacente la portineria, è articolata in quattro spazi principali che si affacciano sul cortile interno.

Il sottotetto invece è costituito da un ambiente molto piccolo e solo parzialmente calpestabile che ospita due vani tecnici, uno per il sistema di condizionamento dell'aria e l'altro per il locale tecnico dell'ascensore.



## **CAPITOLO 4: ANALISI DELLO STATO DI FATTO E DEL COMPORTAMENTO STRUTTURALE**

### **4.1 RILIEVO STRUTTURALE**

Il seguente capitolo tratta la descrizione strutturale dell'edificio, con particolare attenzione alle problematiche di vulnerabilità sismica.

Palazzo Sala è costituito da corpi di fabbrica che presentano metodi costruttivi differenti in quanto realizzati in epoche diverse.

Le informazioni necessarie per effettuare l'analisi dello stato di fatto sono state reperite negli Archivi Tecnici dell'Università e durante il sopralluogo e sono state rielaborate nelle Tavole 4.01, 4.02 e 4.03.

#### **Elementi verticali**

I dati relativi agli elementi verticali sono quasi inesistenti per quanto riguarda la parte più antica dell'edificio, quindi è stato possibile effettuare un'analisi dello stato di fatto solamente sulla base delle informazioni reperite durante il sopralluogo.

Per quanto riguarda i blocchi B e C sono state ricavate alcune informazioni dai documenti reperiti in Archivio. Grazie a questi documenti è stato possibile individuare le pareti originarie, quelle demolite e quelle realizzate durante il restauro del 1973.

Sulla base delle informazioni raccolte si evince che la struttura portante è costituita da muratura per tutti e tre i blocchi. La muratura, secondo le tabelle da normativa, appartiene alla tipologia "muratura in mattone pieno e malta di calce".

Durante l'intervento di restauro del 1973 è stata ricostruita parte della parete perimetrale del blocco B al piano terra e al primo piano, mentre al secondo piano è stata fatta una rifodera.

Nel blocco C, oltre ai due pilastri circolari in c.a., sono stati costruiti altri due pilastri in calcestruzzo armato (28x42 cm), successivamente inglobati nella muratura.

Numerosi furono gli interventi di restauro della facciata ovest sul cortile interno: gran parte della muro venne demolito e poi ricostruito in mattoni pieni con il metodo "scuci-cuci" ; vennero chiuse molte aperture e ne vennero aperte di nuove, più simmetriche e regolari.

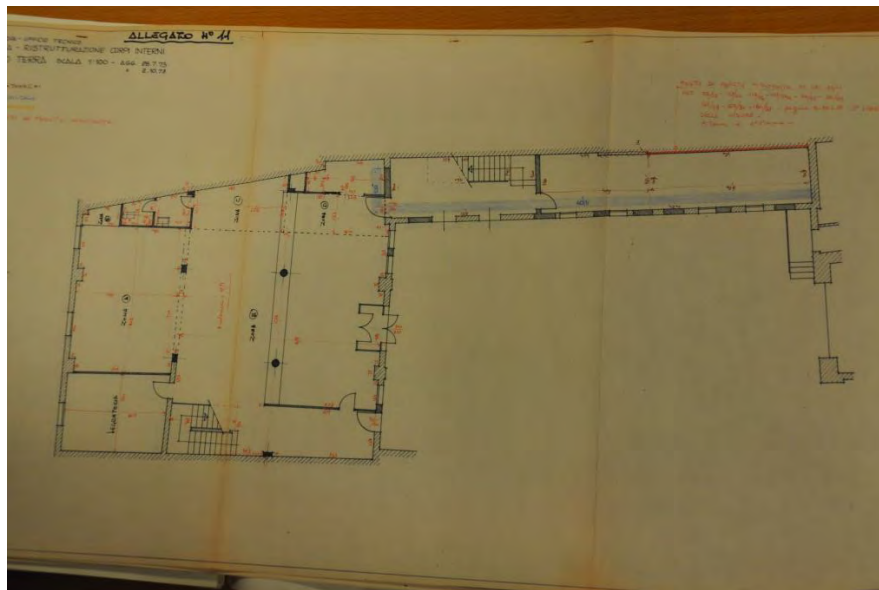


Figura 4.1 Restauro 1973, Pianta Piano Terra

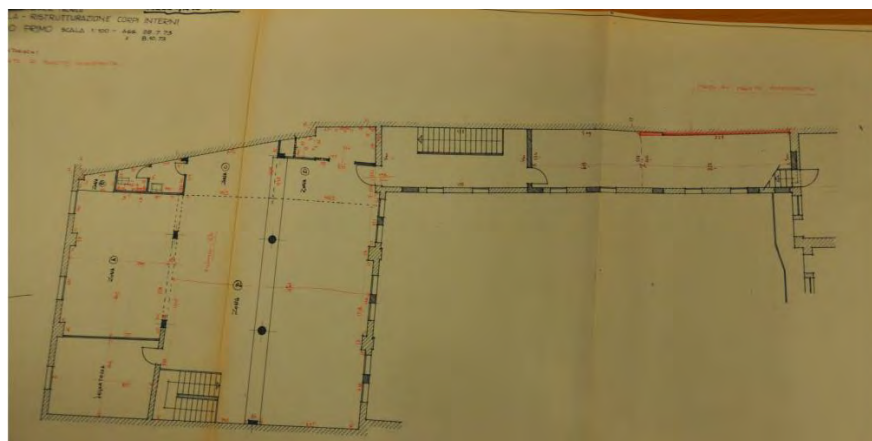


Figura 4.2 Restauro 1973, Pianta Piano Primo

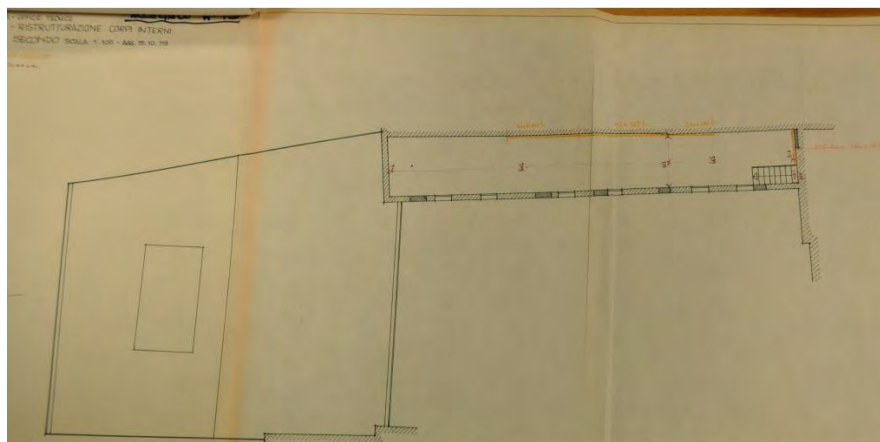


Figura 4.3 Restauro 1973, Pianta Piano Secondo

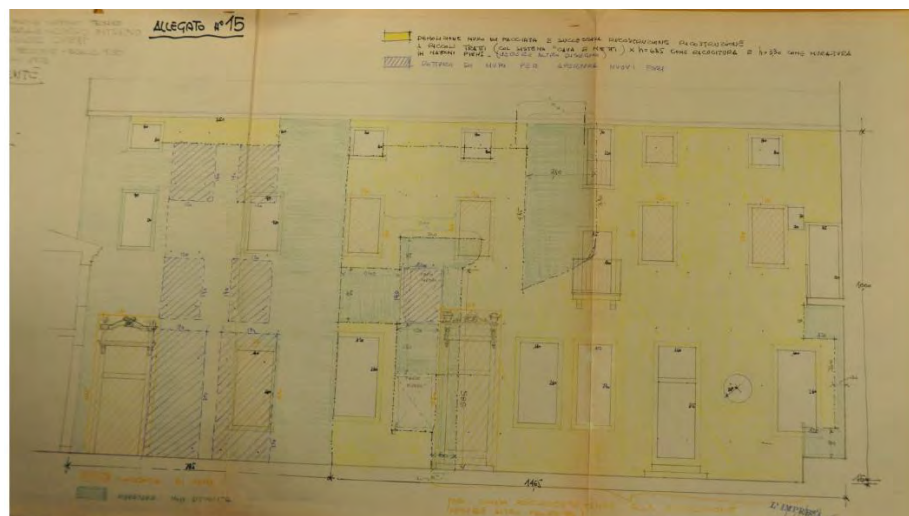


Figura 4.4 Restauro 1973, Facciata ovest su patio

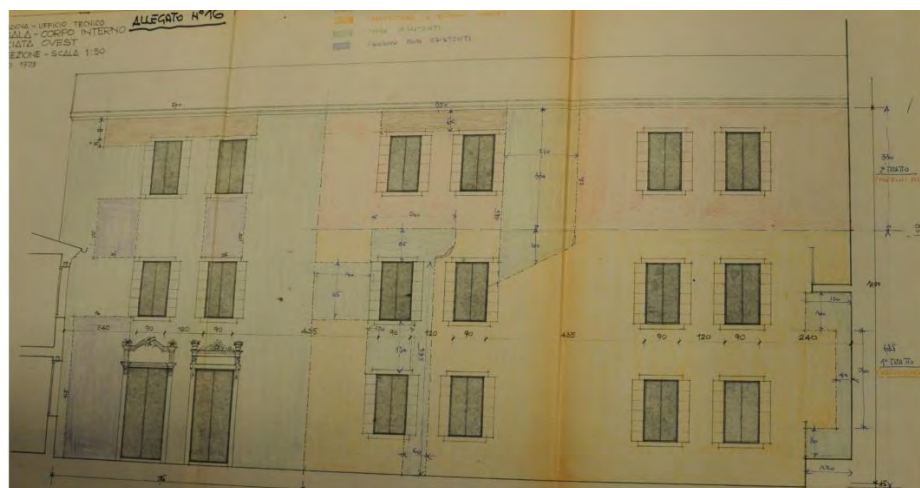


Figura 4.5 Restauro 1973, Facciata ovest su patio

Per quanto riguarda il sistema di fondazioni, dalle poche informazioni reperite in Archivio si evince che il blocco C poggia su un sistema di plinti di 260x260 cm e 270x270 cm, disposti regolarmente ogni 5 m.

Le scale invece poggiano su una fondazione continua larga 160 cm, sotto la quale è stato gettato uno strato di magrone.

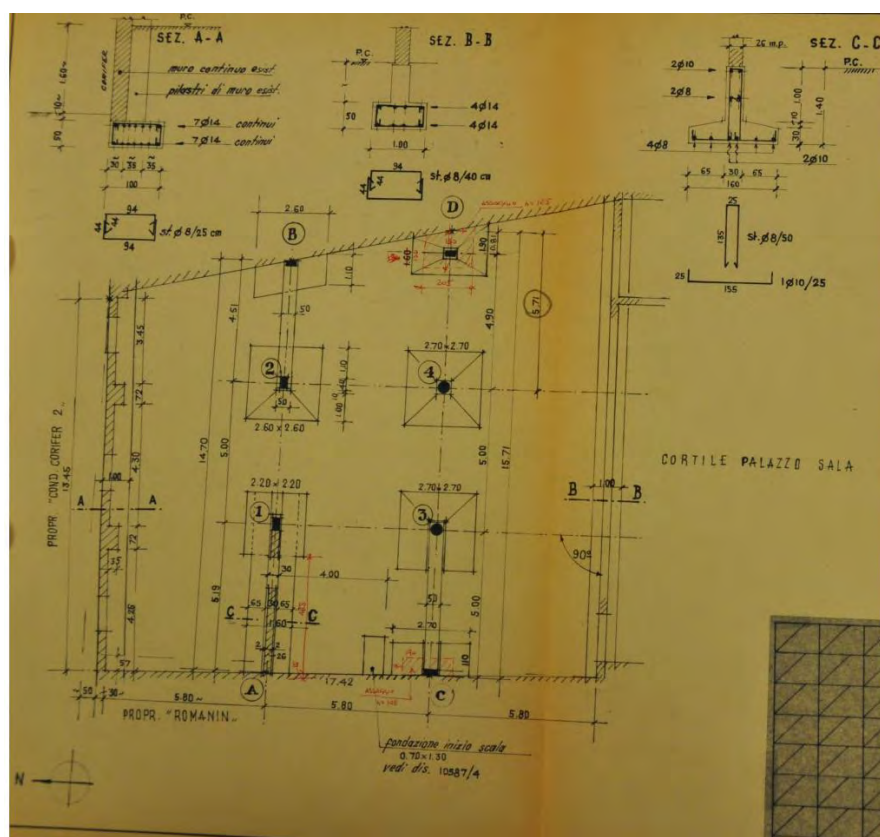


Figura 4.6 Restauro 1973, Pianta Fondazioni

### Elementi orizzontali

Per quanto concerne gli elementi orizzontali, le informazioni derivano principalmente dall'analisi visiva, che però non è stata esaustiva in quanto gran parte dei solai sono stati controsoffittati.

Sulla base dei documenti forniti dall'Archivio si è potuto risalire o ipotizzare con un certo grado di sicurezza buona parte dei solai dell'edificio.

Nel primo orizzontamento del blocco A si possono osservare le orditure delle travi nella portineria, nell'aula magna e nella sala conferenze, ma non ci sono dati precisi riguardo la struttura del solaio.

Nel blocco C invece, come è riportato nei documenti di progetto del restauro del 1985, il solaio è di tipo bausta, può sostenere fino a 500 kg per metro quadrato.

Questo orizzontamento è stato progettato per sostenere tutto il peso dei server al piano superiore, per questo venne modificato nell'85.

In tutte le altre zone del piano terra la tipologia di solaio è stata ipotizzata (vedi Tavole 4.01, 4.02 e 4.03).

Anche al piano interrato non abbiamo informazioni riguardo alla tipologia di solaio, ma, da un'attenta osservazione, si può notare che nella sala server il soffitto è costituito da una volta a botte ribassata.

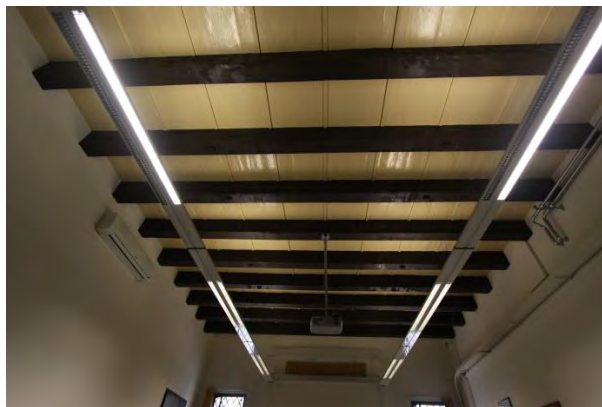


Figura 4.7 Travi del solaio al Piano Terra

Il secondo orizzontamento nel blocco A è stato interamente controsoffittato, ma grazie ai documenti reperiti si può identificare in maniera precisa la struttura del solaio.

Si tratta di un solaio misto legno-cemento, che recupera quelle che erano le travature originarie, in corrispondenza di queste ultime infatti sono state sovrapposte delle travi in acciaio HE 160 A, sopra le quali ci sono tavole in cotto da 4 cm, 5 cm di cappa in c. a. armata con una rete di armamento 15x15 e 5 cm per la pavimentazione.

Non ci sono comunque dati relativi ai carichi sostenibili.

Nel blocco C la struttura è identica a quella del primo orizzontamento, anche se non deve sostenere l'ingente peso dei server; mentre nel blocco B il solaio non è rilevabile.



Figura 4.8 Travi secondo orizzontamento

Non ci sono informazioni sufficienti neanche per quanto riguarda il terzo orizzontamento.

Nel quarto orizzontamento si può osservare un'orditura a travi in uno dei due locali tecnici.

### Particolari costruttivi

Lo studio dei documenti reperiti in Archivio ha permesso di ricavare informazioni rilevanti riguardanti alcune parti della struttura.

In particolar modo le tavole e i documenti storici del 1969, del 1973 e del 1985 hanno fornito notizie precise relative al tipo di materiale utilizzato e alle tecniche costruttive.

Questi progetti si sono rivelati utili per una comprensione più approfondita dell'edificio e per la successiva modellazione.

Come è già stato detto questi documenti sono relativi solo a una piccola porzione di edificio, quindi non è possibile effettuare una modellazione completa ed esauriente di Palazzo Sala.

Di seguito sono riportati alcuni dettagli riguardanti i blocchi A e C, riguardanti i diversi solai, le fondazioni e la copertura.

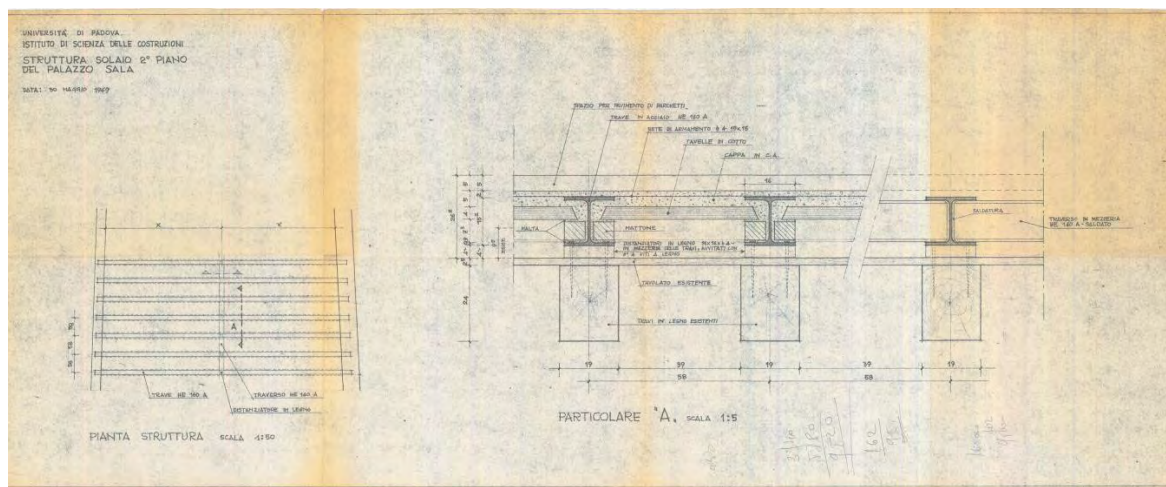


Figura 4.9 Struttura solaio secondo piano, blocco A

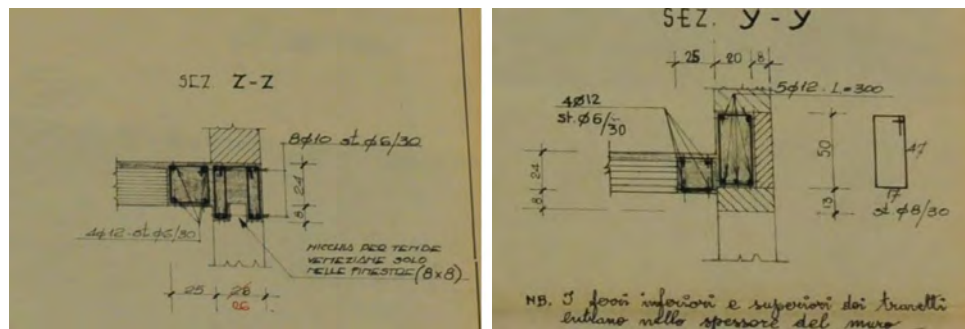


Figura 4.10 Dettagli primo orizzontamento, blocco C

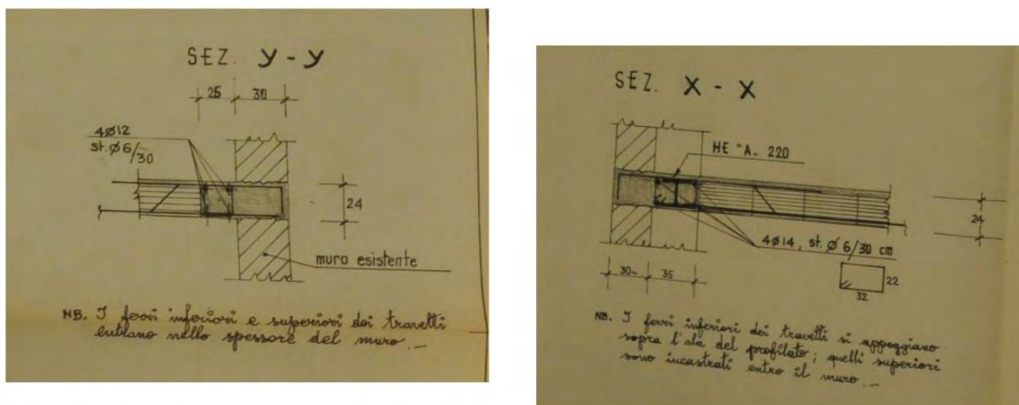


Figura 4.11 Dettaglio secondo orizzontamento, blocco C

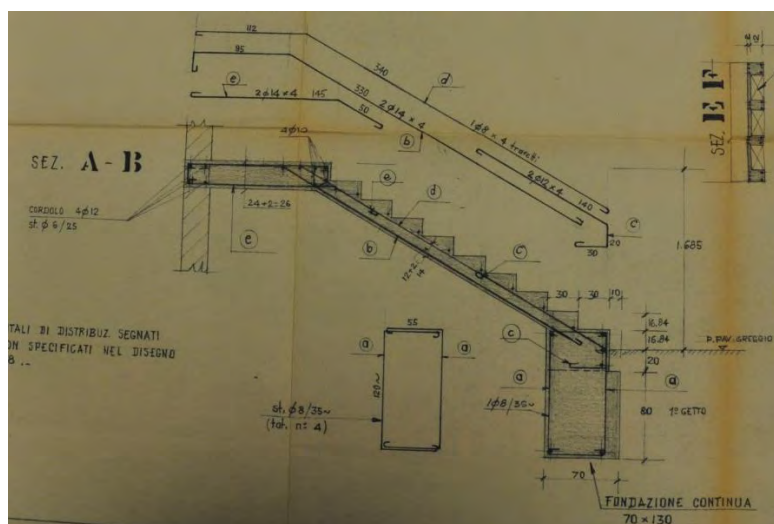


Figura 4.12 Dettaglio scala, blocco C

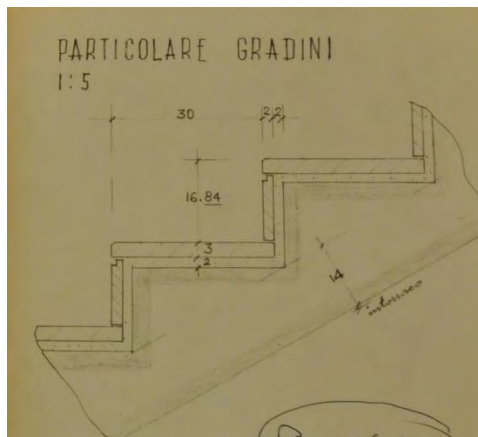


Figura 4.13 Dettaglio copertura, blocco C

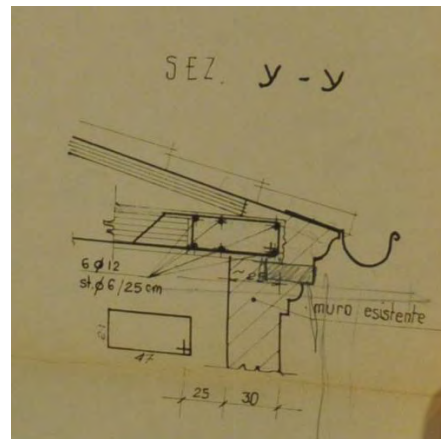


Figura 4.14 Dettaglio scala, blocco C



## 4.2 VALUTAZIONE DELLA QUALITÀ MURARIA



Figura 4.15 Particolari della facciata nord su patio interno

Poiché le pareti dell'edificio sono interamente intonacate, non è stato possibile effettuare un'accurata valutazione della qualità muraria secondo la regola dell'arte, tuttavia una piccola parte della facciata nord che si affaccia sul patio interno è priva di intonaco ed è proprio su questa piccola porzione di muratura che vengono valutati gli otto parametri della regola dell'arte.

- *Qualità della malta*: non essendo stati eseguiti prelievi o analisi granulometriche si può solo affermare che i giunti appaiono superficialmente degradati.
- *Presenza di diatoni*: non sono visibili direttamente, ma non si esclude la possibilità che siano presenti, soprattutto considerando lo spessore della muratura si potrebbe supporre che i diatoni non siano totalmente passanti, ma interessino solo parte dello spessore, garantendo una migliore distribuzione dei carichi.
- *Forma degli elementi resistenti*: la forma degli elementi appare abbastanza regolare e le superfici sono tra loro parallele; questo garantisce strati regolari di malta.
- *Dimensione degli elementi resistenti*: le dimensioni dei mattoni non sono abbastanza grandi da garantire il completo attraversamento dei diatoni, ma sono ritenute sufficienti.
- *Sfalsamento dei giunti verticali*: i giunti risultano sfalsati, fatta eccezione per alcuni filari in cui i giunti sembrano allineati, ma questo non sembra compromettere l'effetto catena e quindi la resistenza a trazione della muratura.
- *Orizzontalità dei filari*: i filari appaiono orizzontali, garantendo così un vincolo di appoggio regolare.

- *Resistenza degli elementi*: non essendo state effettuate prove in laboratorio non è possibile giudicare la resistenza dei mattoni, ma dall'analisi visiva presentano una superficie piuttosto degradata.
- *Presenza di zeppe*: dal momento che la forma degli elementi è piuttosto regolare e i filari sono orizzontali, non sono necessarie zeppe di irrigidimento.

#### 4.3 RILIEVO CRITICO DELLE VULNERABILITA'

In seguito al rilievo strutturale dell'edificio e all'analisi dei diversi materiali impiegati nelle tre unità strutturali è necessario valutare il tipo e il grado di vulnerabilità presenti, per comprendere meglio quale potrebbe essere il comportamento del palazzo sottoposto a un'eventuale azione sismica, al fine di predisporre un possibile piano di indagini.

Come già detto nel Capitolo 1.2, la vulnerabilità sismica è la propensione di una struttura a subire danni di un determinato livello, in seguito a un evento sismico di una determinata intensità.<sup>1</sup>

Valutando i possibili effetti attesi è possibile intervenire per migliorare il comportamento degli elementi strutturali e non.

Complessivamente gli ambienti interni di Palazzo Sala risultano essere in buone condizioni, questo è dovuto anche alla destinazione d'uso delle sue stanze, che ha favorito un rigido controllo delle condizioni di sicurezza.

L'analisi si è concentrata quindi principalmente sugli esterni, nei quali sono state evidenziate alcune caratteristiche che possono costituire vulnerabilità rilevanti in caso di sisma:

- *Muri in comune tra unità strutturali*: le tre unità strutturali presentano muri in comune tra di loro, inoltre buona parte dell'edificio confina con i palazzi adiacenti, costruiti in epoche diverse.
- *Presenza di nicchie*: le nicchie, seppur in numero limitato e presenti solo negli ambienti di servizio al piano terra, comportano una riduzione dello spessore murario, indebolendo la muratura storica.
- *Presenza di aperture tamponate o parzialmente tamponate*: il prospetto est su patio interno, come precedentemente spiegato, è stato sottoposto a un intenso intervento di restauro, nel quale sono state tamponate numerose aperture per poi aprirne di nuove. Nella facciata nord su patio interno si nota il parziale tamponamento della finestra centrale al primo piano, intervento apparentemente temporaneo e di pessima realizzazione. Questi interventi, se non sono correttamente ammorsati alle pareti, possono innescare meccanismi del 1° modo o fuori piano, con conseguente ribaltamento e caduta del tamponamento.

---

<sup>1</sup> [www.protezionecivile.it](http://www.protezionecivile.it), consultato nel novembre 2014

- *Presenza di canne fumarie nello spessore murario*: la canna fumaria, essendo un vuoto, definisce una discontinuità nel maschio murario. Si osserva la presenza di una canna fumaria al centro del prospetto ovest su vicolo, essa corre lungo tutta l'altezza dell'edificio, invadendo parte dello spessore murario.
- *Allineamento verticale delle aperture*: la disposizione ordinata e regolare delle aperture consente ai maschi murari, presenti tra un'apertura e l'altra, di trasferire direttamente i carichi dalla copertura fino alle fondazioni. Questa situazione non è sempre presente nelle facciate di Palazzo Sala: particolarmente evidente risulta la disposizione disordinata e irregolare delle aperture nel prospetto ovest su vicolo, dove la fitta distribuzione di finestre di dimensioni diverse definisce maschi murari di diverso spessore.
- *Presenza di maschi murari*: i maschi murari sono porzioni di muratura verticale posizionate tra due fasce di aperture, la loro funzione è quella di trasferire i carichi verticali (peso proprio, peso portato) e orizzontali (vento, sisma) dalla sommità dell'edificio fino alle fondazioni. Nel prospetto principale su via S. Francesco la presenza del portico al piano terra forma un unico piano soffice, situazione che viene ulteriormente aggravata dalla posizione delle aperture che sono quasi sempre al di sopra dei pilastri, questo comporta una mancanza di maschi murari netti e definiti, non consentendo ai carichi sostenuti di essere scaricati a terra in maniera verticale. In questo prospetto si potrebbe individuare un unico maschio murario di dimensioni consistenti, posizionato all'estremità sinistra della facciata. Nel prospetto ovest su vicolo, come precedentemente detto, i maschi murari sono di dimensioni molto diverse fra loro. Nel prospetto nord su patio interno si osserva la quasi totale assenza di maschi murari, dovuta alle numerose aperture nei tre livelli e all'eccessiva vicinanza di queste ultime agli spigoli; anche in questo prospetto si osserva la presenza di un piano soffice, costituito da una continua successione di aperture al primo piano che occupa l'intera lunghezza della facciata. Nei prospetti ovest e sud su patio interno la distribuzione delle aperture è regolare, questo consente la presenza di maschi murari regolari e di buone dimensioni.
- *Fasce di piano*: sono porzioni di muratura orizzontale posizionate tra due fasce orizzontali di aperture, sono perpendicolari ai maschi murari e, se correttamente progettate, dovrebbero lesionarsi al posto dei maschi murari, poiché la loro rottura risulta essere meno pericolosa e facilmente riparabile con costi ridotti. Nei prospetti di Palazzo Sala si notano fasce di piano abbastanza regolari, fatta eccezione per il prospetto ovest su vicolo, dove la distribuzione disordinata delle aperture non consente l'uniformità delle fasce di piano.
- *Discontinuità altimetrica*: le diverse altezze dei tre blocchi che compongono l'edificio implicano comportamenti diversi in caso di fenomeno sismico, che possono provocare rotazioni tra le parti o martellamenti.

#### 4.4 RILIEVO CRITICO DEI DANNI, DEI DISSESTI E DEI DEGRADI

Il sopralluogo e il rilievo fotografico dell'edificio hanno permesso di constatare che Palazzo Sala, nel suo complesso, risulta essere in buone condizioni, soprattutto per quanto riguarda gli ambienti interni, in quanto l'utilizzo nel tempo, anche se con funzioni diverse, ha contribuito alla manutenzione e alla prevenzioni di eventuali situazioni di degrado degli elementi costruttivi.

Infatti, ad eccezione di qualche sporadica fessurazione presente negli uffici al secondo piano, gli interni risultano privi di danni o degradi degni di nota.

L'analisi si è quindi focalizzata sugli ambienti esterni, dove si possono osservare effetti del degrado piuttosto evidenti, soprattutto nella facciata principale su via S. Francesco, in quella a ovest sul vicolo e in quella a nord sul patio interno (Tavole 4.09, 4.10, 4.11).

Gli altri due prospetti, quelli esposti a sud e a ovest sul patio interno, si presentano in ottime condizioni, anche perché sono stati restaurati in epoca recente.

Si può quindi facilmente osservare che gli effetti del degrado sono presenti solo nel Blocco A, quello più antico dei tre.

La facciata esposta a sud su via S. Francesco presenta un'erosione generalizzata dei propri elementi costitutivi, riconducibile a fattori atmosferici e ambientali.

Si nota un'erosione marcata dei due elementi orizzontali di scansione della facciata, in particolar modo alle estremità della stessa e sotto l'effigie superiore sinistra.

Nei quattro balconi al primo piano è presente uno strato di patina biologica e nel primo balcone a destra c'è anche una fratturazione passante del basamento lapideo. Qui sembra che sia già stato compiuto un intervento di riempimento con miscela legante, ma in seguito la fessura si è riaperta.

Si riscontra mancanza nell'effigie di destra al secondo piano, nella mensola sinistra della prima apertura sulla sinistra nel sottoportico, nel basamento lapideo e nei mattoni del terzo pilastro da destra.

Sempre nel sottoportico si evidenzia una patina estesa a tutta la fascia inferiore dei due lati intonacati.



Figura 4.16 Facciata principale su via S. Francesco



Figura 4.17 Balcone su via S. Francesco

La facciata esposta a ovest sul vicolo di ingresso al cortile interno è poco esposta alla luce solare, a causa dell'ottenebramento dell'edificio limitrofo e, anche per questo motivo, presenta nella parte sommitale ampie zone caratterizzate da distacco del materiale superficiale con messa in luce del paramento murario sottostante e zone più limitate dislocate in vari punti della facciata.

L'opera provvisoria che si estende per tutta la larghezza della facciata è stata realizzata per intercettare i pezzi di materiale che si distaccano, evitando così che la loro caduta possa essere causa di danni a cose e persone.

Al piano terra, tra le due aperture vicino alla canna fumaria, si evidenzia una zona con esfoliazione degli strati superficiali, forse causata dall'acqua fuoriuscita dalle tubature situate in quella zona.

Sempre a questo livello ci sono ampie macchie con diverse pigmentazioni (verdi, grigie e nere) riconducibili alla presenza di sostanze organiche e all'ossidazione di elementi metallici presenti nel substrato.



Figura 4.18 Facciata ovest su vicolo

La facciata esposta a nord nel cortile interno presenta un'evidente opera provvisoria estesa a tutta la larghezza della facciata, finalizzata a impedire la caduta a terra di parti del terrazzino, che si trova in pessimo stato di conservazione e ovviamente non è agibile.

Nella fascia superiore della facciata è diffusa un'ampia alterazione cromatica di colorazione scura, che ha un'intensità maggiore al centro e in prossimità dell'edificio a est. Tale alterazione si riscontra in forma più localizzata in vari punti del basamento delle colonne.

Nella cornice del tetto, sotto la grondaia, un'alterazione cromatica di pigmentazione rosso-ocra si propaga per tutta l'estensione longitudinale della facciata.

E' visibile un'erosione diffusa a tutto il materiale costituente le colonne e le arcate ed è più intensa in alcuni elementi: la quarta, la settima e l'ottava colonna da destra.

La maggioranza delle colonne e delle arcate è costituita, molto probabilmente, da Pietra di Vicenza giallo dorato, mentre le restanti sono in Pietra di Vicenza bianco avorio (le tre colonne a destra, la terza da sinistra e alcuni elementi delle arcate).

Questo materiale è tra i più usati per la decorazione di ville e giardini nel Veneto; è una pietra costituita prevalentemente da carbonato di calcio ( $\text{CaCO}_3$  circa l'80%), è molto ben lavorabile, ma ha basse caratteristiche meccaniche (carico di rottura a compressione attorno ai  $320 \text{ Kg/cm}^2$ ).

La terza arcata da sinistra è stata interamente tamponata, mentre la quarta presenta un tamponamento solo parziale. Il paramento è costituito da mattoni e presumibilmente è stato realizzato per confinare la colonna interclusa tra le due arcate, poiché essa, essendo fortemente erosa, non è più in grado di contrastare l'azione dei carichi agenti su di essa.

Un'altra tipologia di degrado presente in questo prospetto è il distacco degli strati di intonaco con messa in mostra del manto murario sottostante, in particolar modo si riscontra sopra e sotto le due arcate centrali e nello spigolo di sinistra, dove si ha l'avanzamento del piano della facciata.

In questo stesso spigolo è stato effettuato un intervento di inserimento di materiale legante che copre e/o sostituisce parte degli elementi resistenti del paramento murario. Nel balcone già citato prima è anche visibile una presenza diffusa di vegetazione, soprattutto nella linea di intersezione tra il piano di calpestio orizzontale del balcone stesso e il piano verticale della parete.



Figura 4.19 Balcone della facciata Nord

Per una migliore comprensione dello stato di conservazione delle facciate dell'edificio, vengono di seguito riportate in dettaglio le descrizioni dei diversi effetti del degrado secondo le raccomandazioni Normal 1/88<sup>2</sup>:

- *Erosione*: asportazione di materiale dalla superficie dovuta a processi di natura diversa. Può essere distinta in erosione per abrasione, erosione per corrasione, erosione per corrosione o erosione per usura.

---

<sup>2</sup> Raccomandazioni Normal 1/88 – Alterazioni macroscopiche dei materiali lapidei :lessico

- *Fratturazione o Fessurazione*: degradazione che si manifesta con la formazione di soluzioni di continuità nel materiale e che può implicare lo spostamento reciproco delle parti.
- *Mancanza*: caduta o perdita di parti. Il termine si usa quando tale forma di degradazione non è descrivibile con altre voci del lessico.
- *Patina*: alterazione strettamente limitata a quelle modificazioni naturali della superficie dei materiali non collegabili a manifesti fenomeni di degradazione e percepibili come una variazione del colore originario del materiale. Nel caso di alterazioni indotte artificialmente si usa di preferenza il termine patina artificiale.
- *Macchia*: alterazione che si manifesta con pigmentazione accidentale e localizzata della superficie; è correlata alla presenza di materiale estraneo al substrato (ruggine, sali di rame, sostanze organiche, vernici).
- *Distacco*: soluzione di continuità tra strati superficiali del materiale, sia tra loro che rispetto al substrato: prelude in genere alla caduta degli strati stessi. Il termine si usa in particolare per gli intonaci e i mosaici.
- *Esfoliazione*: degradazione che si manifesta con distacco spesso seguito da caduta, di uno o più strati superficiali subparalleli fra loro (sfoglie).
- *Alterazione cromatica*: alterazione che si manifesta attraverso la variazione di uno o più parametri che definiscono il colore: tinta (hue), chiarezza (value), saturazione (chroma). Può manifestarsi con morfologie diverse a seconda delle condizioni e può riferirsi a zone ampie o localizzate.
- *Presenza di vegetazione*: locuzione impiegata quando vi sono licheni, muschi e piante.

#### **4.5 VALUTAZIONE DELL'IMPATTO DEGLI IMPIANTI TECNOLOGICI SUGLI ELEMENTI STRUTTURALI**

Per una completa analisi conoscitiva del palazzo è necessario esaminare l'interazione tra gli impianti tecnologici e gli elementi strutturali.

Il materiale reperito in Archivio purtroppo non ha fornito alcuna informazione a riguardo, quindi le considerazioni che verranno di seguito riportate si basano esclusivamente sull'analisi visiva effettuata durante il sopralluogo.

L'unica informazione storica reperita è fornita dalla relazione del Brunetta, che riguardo agli interventi di restauro del 1970 scrive: *“Da rifare saranno tutti gli impianti termici, idrici ed elettrici, un certo numero di serramenti esterni ed interni, mentre altri saranno da riparare: inoltre pavimenti, rivestimenti ecc. ecc.”*<sup>3</sup> (Brunetta 1970)

Sulla base dell'osservazione in situ si può affermare che le condutture elettriche e il sistema di riscaldamento sono, nella maggior parte dei casi, sistemate a vista tramite l'impiego di canaline di plastica per le prime e di termosifoni addossati alla muratura per il secondo.

Invece al primo piano la maggior parte degli impianti è celata dal controsoffitto.

Per questi motivi si può concludere che, grazie a questi espedienti, la maggior parte del sistema impiantistico non intacca la struttura muraria portante e non costituisce una vulnerabilità per l'edificio.

Per quanto riguarda l'impiantistica più pesante, cioè la centrale termica, si può affermare che neanche essa costituisce una vulnerabilità, perché, essendo posta al piano interrato del Blocco A, non grava sulle strutture sovrastanti.

Anche gli impianti di raffrescamento dell'aria, di più recente costruzione, sono a “traccia esterna” e quindi non costituiscono una problematica per la struttura dell'edificio.

In tutto il palazzo è presente un adeguato impianto antincendio, che rispetta le normative vigenti relative alla sicurezza (Tavole 4.12, 4.13, 4.14).

Sono presenti attrezzature antincendio quali: lampade d'emergenza, cassetta del pronto soccorso, valvola d'intercettazione, pannello ottico acustico di allarme antincendio, pulsante manuale di allarme antincendio, tromba elettrica, centrale di allarme antincendio, estintori e rilevatori di fumo.

---

<sup>3</sup>G. Brunetta, *Relazione del progetto di utilizzazione dei palazzi Romanin e Sala ad uso delle segreterie universitarie*, Ufficio Tecnico dell'Università degli Studi di Padova, 1970.





Figura 4.20 Centrale termica, piano interrato

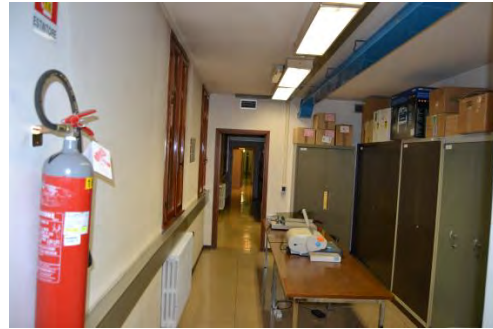


Figura 4.21 Canalizzazioni al piano terra

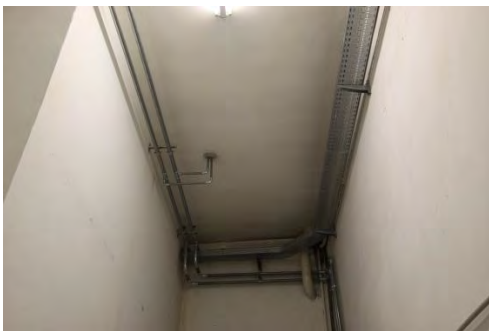


Figura 4.22 Canalizzaizioni al piano terra



Figura 4.23 Locale tecnico ascensore al terzo piano



## **CAPITOLO 5: VALUTAZIONE DELLA SICUREZZA SISMICA**

Nel seguente capitolo viene valutata la sicurezza sismica di Palazzo Sala sulla base della normativa vigente, in particolare si fa riferimento a:

- Decreto Ministeriale del 14 gennaio 2008 – Norme tecniche per le costruzioni
- Circolare n. 617 del 2 febbraio 2009 – Istruzioni per l'applicazione delle “Nuove norme tecniche per le costruzioni”
- Linee Guida per la valutazione e riduzione del rischio sismico del patrimonio culturale del febbraio 2011, con riferimento alle Norme tecniche per le costruzioni di cui al decreto del Ministero delle infrastrutture e dei trasporti

### **5.1 COMPORTAMENTO SISMICO DELLE COSTRUZIONI STORICHE IN MURATURA**

Le strutture storiche in muratura costituiscono un insieme estremamente vario e complesso per tipologie e tecniche costruttive, per cui l'analisi del loro comportamento strutturale e la valutazione della loro sicurezza sono condizionate da notevoli incertezze nella definizione delle proprietà meccaniche dei materiali e delle condizioni di vincolo tra gli elementi.

Queste costruzioni non sono state progettate utilizzando i principi della meccanica dei materiali e delle strutture, bensì con un approccio basato sull'intuizione e l'osservazione, utilizzando i principi dell'equilibrio dei corpi rigidi e sperimentando il comportamento delle costruzioni già realizzate; tutto ciò ha progressivamente portato ad affinare criteri esecutivi e di proporzionamento geometrico, configurabili come “regola dell'arte”.

Sebbene tale approccio non sia scientificamente rigoroso e risulti affidabile solo se utilizzato all'interno dei limiti di validità della regola, riconoscere in una costruzione la conformità alle regole dell'arte può costituire un primo elemento di valutazione della sicurezza.

Un ulteriore elemento di valutazione può essere il “collaudo” della storia, di cui l'esistenza stessa della costruzione ci fornisce testimonianza. Tale collaudo tuttavia risulta spesso insufficiente nei riguardi della prevenzione del rischio sismico, in quanto una costruzione potrebbe ancora non essere stata colpita da un terremoto di intensità pari a quella adottata dalle norme per valutare la sicurezza nei riguardi dello SLV (Stato Limite di salvaguardia della Vita).

Inoltre occorre considerare che la capacità della struttura può essersi modificata per un effetto di accumulo del danno, dovuto a terremoti passati di minore intensità, a causa di dissesti di altra natura e per le trasformazioni che spesso interessano le costruzioni storiche.

Bisogna ovviamente tener conto anche dal livello di pericolosità sismica dell'area geografica in cui sorge l'edificio, che condiziona le soluzioni costruttive utilizzate.

Risulta pertanto evidente che, per valutare la sicurezza di una costruzione esistente, è necessaria un'adeguata conoscenza del manufatto, ma non si può in ogni caso prescindere da un'analisi strutturale, finalizzata a tradurre in termini meccanici e quantitativi il comportamento della costruzione.<sup>1</sup>

La valutazione della sicurezza delle costruzioni esistenti in muratura richiede la verifica degli stati limite, che la costruzione può raggiungere durante la sua vita nominale.

Qualora venissero superati tali limiti, l'edificio non sarebbe più in grado di soddisfare le esigenze per cui è stato progettato.

In particolare gli SLU (Stati Limite Ultimi) sono finalizzati a salvaguardare la costruzione e l'incolumità degli occupanti nel caso di terremoti rari e di forte intensità; essi si differenziano in SLV (Stato Limite di salvaguardia della Vita) e SLC (Stato Limite di prevenzione del Collasso).

Gli SLE (Stati Limite di Esercizio) sono finalizzati a limitare i danni per i terremoti meno intensi ma più frequenti e sono differenziati in SLO (Stato limite di Operatività) e SLD (Stato limite di Danno).

Per la valutazione degli edifici esistenti, oltre all'analisi sismica globale, che si effettua con gli stessi metodi previsti per le nuove costruzioni, bisogna effettuare anche un'analisi dei meccanismi locali.

Tale analisi risulta necessaria per gli edifici esistenti di geometria complessa o nel caso di edifici privi di solai rigidi e resistenti nel piano, perché in questi casi la costruzione non manifesta un chiaro comportamento d'insieme, ma reagisce al sisma come un insieme di sottoinsiemi. In questi casi la verifica globale può essere eseguita attraverso un insieme esaustivo di verifiche locali.<sup>2</sup>

Per valutare la sicurezza delle costruzioni si devono adottare criteri probabilistici scientificamente comprovati, in particolar modo il metodo semiprobabilistico agli stati limite, con il quale si verifica la sicurezza strutturale attraverso il confronto tra la resistenza e l'effetto delle azioni combinate fra loro, così come viene definito nelle NTC 2008.

Nel capitolo 8.3 delle NTC 2008 viene specificato quali sono le strutture storiche che devono essere sottoposte alla valutazione della sicurezza sismica, si evidenzia nello specifico il punto *"cambio della destinazione d'uso della costruzione o di parti di essa, con variazione significativa dei carichi variabili e/o della classe d'uso della costruzione"*.

È proprio questo il caso in cui rientra Palazzo Sala, che da segreteria universitaria è diventato il Centro Servizi Informatici di Ateneo.

Nel paragrafo 8.4 delle NTC 2008 vengono classificate le diverse categorie di interventi che è possibile attuare sugli edifici esistenti:

- interventi di adeguamento atti a conseguire i livelli di sicurezza previsti dalle presenti norme;

---

<sup>1</sup> Linee Guida per la valutazione e riduzione del rischio sismico del patrimonio culturale allineata alle nuove Norme tecniche per le costruzioni (D.M. 14 gennaio 2008) – cap. 5.1

<sup>2</sup> Circolare n. 617/2009 – cap. 8.7.1.1

- interventi di miglioramento atti ad aumentare la sicurezza strutturale esistente, pur senza necessariamente raggiungere i livelli richiesti dalle presenti norme;
- riparazioni o interventi locali che interessino elementi isolati, e che comunque comportino un miglioramento delle condizioni di sicurezza preesistenti.

Gli interventi di adeguamento e miglioramento devono essere sottoposti a collaudo statico.

Per i beni di interesse culturale in zone dichiarate a rischio sismico, ai sensi del comma 4 dell'art. 29 del D. lgs. 22 gennaio 2004, n. 42 "Codice dei beni culturali e del paesaggio", è in ogni caso possibile limitarsi a interventi di miglioramento effettuando la relativa valutazione della sicurezza.<sup>3</sup>

Secondo le Linee Guida *"per i beni culturali tutelati è necessario attenersi a interventi di miglioramento, a riparazioni o a interventi locali"* (punto 8.4 delle NTC).

Con il termine miglioramento si intendono tutti gli interventi finalizzati ad accrescere la resistenza delle strutture esistenti alle azioni considerate.

Le riparazioni e gli interventi locali riguardano singole parti e/o elementi della struttura e interessano porzioni limitate della costruzione.

Per la progettazione degli interventi vengono introdotti diversi livelli di valutazione della sicurezza sismica:

- LV1 (analisi qualitativa e valutazione con modelli meccanici semplificati): la valutazione della sicurezza sismica può essere condotta con riferimento a metodi semplificati che siano tuttavia in grado di stimare l'indice di sicurezza sismica o la vita nominale;
- LV2 (valutazione su singoli macroelementi): la valutazione della sicurezza sismica interessa singole parti della costruzione, può essere eseguita in relazione a modelli locali riferiti a porzioni strutturalmente autonome della costruzione;
- LV3 (valutazione complessiva della risposta sismica del manufatto): la valutazione della sicurezza sismica considera la costruzione nel suo complesso, non richiede necessariamente il ricorso a un modello globale, ma è possibile procedere alla scomposizione della struttura in macroelementi, a condizione che venga valutata la ripartizione delle azioni sismiche tra i diversi sistemi strutturali, in ragione delle diverse rigidità e dei collegamenti tra le stesse.

La valutazione complessiva della risposta sismica dell'edificio può quindi essere effettuata con un'esauritiva e sistematica estensione a tutti gli elementi della costruzione dei metodi utilizzati al livello LV2, quindi con analisi cinematica lineare e non lineare.

I risultati ottenibili possono però essere eccessivamente cautelativi se non si considerano i diversi dettagli costruttivi quali ammorsature delle murature ortogonali, tessiture murarie e condizioni di vincolo degli orizzontamenti che determinano il comportamento reale.

L'analisi viene effettuata attraverso un confronto tra le accelerazioni calcolate allo stato limite ultimo con le accelerazioni limite imposte dalla normativa; viene inoltre fatto un confronto tra le accelerazioni calcolate prima e dopo l'intervento di miglioramento al

---

<sup>3</sup> NTC 2008 – cap. 8.4

fine di esprimere un giudizio sul grado di miglioramento conseguito, evidenziando l'effettiva utilità degli interventi eseguiti, se il margine di miglioramento sia considerevole rispetto all'impatto dell'intervento sulla conservazione e per evitare di fornire un'eccessiva sicurezza ad alcuni macroelementi rispetto ad altri.

Il livello di valutazione LV3 può essere utilizzato anche quando, in assenza di un progetto di intervento, sia richiesta un'accurata valutazione della sicurezza sismica del manufatto.

In accordo con quanto appena detto, al paragrafo 5.8 si procederà con l'analisi dei macroelementi individuati nel fabbricato oggetto di studio e alla successiva applicazione di meccanismi di ribaltamento parziale o totale in base al caso specifico, essendo questi ultimi i più frequenti in caso di terremoto.

## **5.2 ANALISI DEI CARICHI**

Nonostante Palazzo Sala sia stato costruito in periodi diversi, presenta una certa omogeneità nei materiali utilizzati, dato rilevato sia dai documenti rinvenuti in archivio, sia dalle informazioni raccolte durante il sopralluogo.

Grazie a queste informazioni è stato possibile individuare all'interno della normativa le caratteristiche meccaniche della muratura che compongono la struttura.

Nelle costruzioni esistenti si riscontrano situazioni molto diverse fra loro, non si possono quindi stabilire regole precise e specifiche, ma il modello per la valutazione della sicurezza deve essere definito caso per caso, sulla base del comportamento strutturale attendibile della costruzione.

Solo dopo aver effettuato un'analisi storico-critica, un rilievo geometrico-strutturale e un'analisi dei materiali e del loro degrado è possibile individuare il livello di conoscenza.

Sulla base di quest'ultimo vengono introdotti i "fattori di confidenza", il cui scopo è quello di ridurre i valori medi di resistenza dei materiali della struttura esistente, per ricavare i valori da adottare nel progetto o nella verifica.

Quindi in primo luogo si è proceduto alla definizione del Livello di Conoscenza del manufatto, così come riportato al paragrafo C8.A.1.4. della Circolare.

Livello di Conoscenza	Geometria	Dettagli costruttivi	Proprietà dei materiali	Metodi di analisi	FC
LC1	Rilievo muratura, volte, solai, scale. Individuazione carichi gravanti su ogni elemento di parete. Individuazione tipologia fondazioni. Rilievo eventuale quadro fessurativo e deformativo.	verifiche in situ limitate	Indagini in situ limitate Resistenza: valore minimo di Tabella C8A.2.1 Modulo elastico: valore medio intervallo di Tabella C8A.2.1	Tutti	1.35
LC2			Indagini in situ estese Resistenza: valore medio intervallo di Tabella C8A.2.1 Modulo elastico: media delle prove o valore medio intervallo di Tabella C8A.2.1		1.20
LC3		verifiche in situ estese ed esaustive	Indagini in situ esaustive -caso a) (disponibili 3 o più valori sperimentali di resistenza) Resistenza: media dei risultati delle prove Modulo elastico: media delle prove o valore medio intervallo di Tabella C8A.2.1 -caso b) (disponibili 2 valori sperimentali di resistenza) Resistenza: se valore medio sperimentale compreso in intervallo di Tabella C8A.2.1, valore medio dell'intervallo di Tabella C8A.2.1; se valore medio sperimentale maggiore di estremo superiore intervallo, quest'ultimo; se valore medio sperimentale inferiore al minimo dell'intervallo, valore medio sperimentale. Modulo elastico: come LC3 – caso a). -caso c) (disponibile 1 valore sperimentale di resistenza) Resistenza: se valore sperimentale compreso in intervallo di Tabella C8A.2.1, oppure superiore, valore medio dell'intervallo; se valore sperimentale inferiore al minimo dell'intervallo, valore sperimentale. Modulo elastico: come LC3 – caso a).		1.00

Tabella 5.1 Tabella C8A.1.1 - Livelli di conoscenza in funzione dell'informazione disponibile e conseguenti valori dei fattori di confidenza per edifici in muratura

E' stato fissato il livello di conoscenza LC1, cioè conoscenza limitata e i valori medi dei parametri meccanici sono riportati nella Tabella C8A.2.1 della Circolare.

Tipologia di muratura	$f_m$	$\tau_0$	E	G	w (kN/m <sup>3</sup> )
	(N/cm <sup>2</sup> )	(N/cm <sup>2</sup> )	(N/mm <sup>2</sup> )	(N/mm <sup>2</sup> )	
	Min-max	min-max	min-max	min-max	
Muratura in pietrame disordinata (ciottoli, pietre erratiche e irregolari)	100	2,0	690	230	19
	180	3,2	1050	350	
Muratura a conci sbozzati, con paramento di limitato spessore e nucleo interno	200	3,5	1020	340	20
	300	5,1	1440	480	
Muratura in pietre a spacco con buona tessitura	260	5,6	1500	500	21
	380	7,4	1980	660	
Muratura a conci di pietra tenera (tufo, calcarenite, ecc.)	140	2,8	900	300	16
	240	4,2	1260	420	
Muratura a blocchi lapidei squadriati	600	9,0	2400	780	22
	800	12,0	3200	940	
Muratura in mattoni pieni e malta di calce	240	6,0	1200	400	18
	400	9,2	1800	600	
Muratura in mattoni semipieni con malta cementizia (es.: doppio UNI foratura $\leq 40\%$ )	500	24	3500	875	15
	800	32	5600	1400	
Muratura in blocchi laterizi semipieni (perc. foratura < 45%)	400	30,0	3600	1080	12
	600	40,0	5400	1620	
Muratura in blocchi laterizi semipieni, con giunti verticali a secco (perc. foratura < 45%)	300	10,0	2700	810	11
	400	13,0	3600	1080	
Muratura in blocchi di calcestruzzo o argilla espansa (perc. foratura tra 45% e 65%)	150	9,5	1200	300	12
	200	12,5	1600	400	
Muratura in blocchi di calcestruzzo semipieni (foratura < 45%)	300	18,0	2400	600	14
	440	24,0	3520	880	

Tabella 5.2 Tabella C8A.2.1 – Valori di riferimento dei parametri meccanici (minimi e massimi) e peso specifico medio per diverse tipologie di muratura

E' stata identificata la muratura quale: Muratura in mattoni pieni e malta di calce.

Dove:

$f_m$  è la resistenza a compressione della muratura;

$\tau_0$  è la resistenza media a taglio della muratura;

$E$  è il valore medio del modulo di elasticità normale;

$G$  è il valore medio del modulo di elasticità tangenziale;

$W$  è il peso specifico medio della muratura.



### Carichi permanenti strutturali e non strutturali

Nelle NTC 2008 vengono definiti carichi permanenti strutturali i pesi propri dei materiali con funzione strutturale per unità di volume.<sup>4</sup>

Sono invece considerati carichi permanenti non strutturali i carichi non rimovibili durante il normale esercizio della costruzione: tamponature esterne, divisori interni, massetti, isolamenti, pavimenti e rivestimenti del piano di calpestio, intonaci, controsoffitti e impianti.<sup>5</sup>

In base alla Tabella 3.1.I delle NTC 2008 e ai materiali strutturali presenti nell'edificio oggetto di studio, sono stati assunti i seguenti pesi per unità di volume:

<b>Materiale</b>	<b>Peso per unità di volume [kN/m<sup>3</sup>]</b>
Laterizio (pieno)	18,0
Calcestruzzo armato	25,0
Legno	6,0
Acciaio	78,5

A differenza delle murature che sono perlopiù costituite da mattoni pieni, gli orizzontamenti sono riconducibili a tipologie diverse, essendo costituiti da materiali e quindi da pesi diversi.

Purtroppo la scarsità delle informazioni reperite non consente di analizzare tutti i solai presenti nell'edificio in maniera precisa, ma si possono fare alcune ipotesi sulla base di quelli noti.

Nel blocco C gli orizzontamenti sono costituiti da solai in latero cemento di tipo Bausta, si possono quindi ipotizzare travetti larghi 12 cm, pignatte da 38 cm e interasse 50 cm; si ipotizza inoltre, sulla base delle sezioni, che il solaio abbia pignatte alte 20 cm e soletta in c.a. da 4 cm.

La pavimentazione è costituita da piastrelle all'estradosso (2 cm) e da uno strato di intonaco all'intradosso (1,5 cm).

I pesi di ciascuna parte sono riportati nella seguente tabella:

<b>Materiale</b>	<b>Peso [kN/m<sup>2</sup>]</b>
Travetti in c.a.	1,2
Pignatte in laterizio	0,9
Soletta in c.a.	1,0
Massetto	1,0
Pavimento in piastrelle	0,4
Intonaco all'intradosso	0,3

Quindi il peso proprio del solaio in latero-cemento  $G_1$  è 3,1 kN/m<sup>2</sup>.

<sup>4</sup> NTC 2008 – cap. 3.1.2

<sup>5</sup> NTC 2008 – cap. 3.1.3

Il peso portato  $G_2$ , dovuto a massetto, pavimentazione e intonaco, è  $1,7 \text{ kN/m}^2$ .

Il peso totale del solaio è  $G=4,8 \text{ kN/m}^2$ .

Per il secondo orizzontamento del blocco C si è ipotizzata la stessa tipologia di solaio Bausta, senza la pavimentazione perché al disopra del solaio c'è un sottotetto non praticabile.

<b>Materiale</b>	<b>Peso [<math>\text{kN/m}^2</math>]</b>
Travetti in c.a.	1,2
Pignatte in laterizio	0,9
Soletta in c.a.	1,0
Intonaco all'intradosso	0,3

Il peso totale del solaio è  $G= 3,4 \text{ kN/m}^2$ .

Anche la copertura del blocco C è stata ipotizzata in latero-cemento, con strato impermeabilizzante e manto di coppi.

<b>Struttura</b>	<b>Peso [<math>\text{kN/m}^2</math>]</b>
Copertura in latero-cemento	3,1
Manto impermeabilizzante	0,1
Coppi	0,8

Il peso totale della copertura è  $G= 4 \text{ kN/m}^2$ .

Gli orizzontamenti al primo piano, nel blocco A, sono costituiti da una tipologia di solaio misto legno-cemento con travi in acciaio HEA, tavelle in cotto spesse 4 cm e 5 cm di cappa in c.a.

<b>Materiale</b>	<b>Peso [<math>\text{kN/m}^2</math>]</b>
Travi in legno 19x24 cm	0,46
Travi HE 160 A	0,52
Cappa in c.a.	1,00
Tavelle in cotto	0,30
Massetto	1,00
Pavimento in legno	0,25

Il peso del solaio è  $G= 3,53 \text{ kN/m}^2$ .

Per le altre zone del blocco A sono state ipotizzate due tipologie di solaio diverse sulla base dell'osservazione in situ.

La prima tipologia relativa ad alcuni ambienti al piano terra è quella di solaio ligneo con tavolato ligneo.

<b>Materiale</b>	<b>Peso [kN/m<sup>2</sup>]</b>
Solaio ligneo piccola orditura e tavolato ligneo	0,32
Pavimento in legno	0,25
Massetto	1,00

Il peso totale del solaio è  $G=1,57 \text{ kN/m}^2$ .

La copertura nel blocco A è costituita da travi e travetti in legno, tavelle in cotto e il manto è costituito da coppi.

Facendo una stima approssimativa, in quanto non è stato possibile verificare le dimensioni delle componenti si ipotizzano:

<b>Materiale</b>	<b>Peso [kN/m<sup>2</sup>]</b>
Copertura lignea	1,26
Coppi	0,8
Manto impermeabilizzante	0,1

Il peso totale della copertura è  $G=2,16 \text{ kN/m}^2$ .

## Carichi Variabili

I carichi variabili sono quelli direttamente legati alla destinazione d'uso dell'edificio, possono essere: carichi verticali uniformemente distribuiti  $q_k$  [kN/m<sup>2</sup>], carichi verticali concentrati  $Q_k$  [kN] e carichi orizzontali lineari  $H_k$  [kN/m].<sup>6</sup>

Cat.	Ambienti	$q_k$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$Q_k$ [kN]	$H_k$ [kN/m]
A	<b>Ambienti ad uso residenziale.</b> Sono compresi in questa categoria i locali di abitazione e relativi servizi, gli alberghi. (ad esclusione delle aree suscettibili di affollamento)	2,00	2,00	1,00
B	<b>Uffici.</b> Cat. B1 Uffici non aperti al pubblico Cat. B2 Uffici aperti al pubblico	2,00 3,00	2,00 2,00	1,00 1,00
C	<b>Ambienti suscettibili di affollamento</b> Cat. C1 Ospedali, ristoranti, caffè, banche, scuole Cat. C2 Balconi, ballatoi e scale comuni, sale convegni, cinema, teatri, chiese, tribune con posti fissi Cat. C3 Ambienti privi di ostacoli per il libero movimento delle persone, quali musei, sale per esposizioni, stazioni ferroviarie, sale da ballo, palestre, tribune libere, edifici per eventi pubblici, sale da concerto, palazzetti per lo sport e relative tribune	3,00 4,00 5,00	2,00 4,00 5,00	1,00 2,00 3,00
D	<b>Ambienti ad uso commerciale.</b> Cat. D1 Negozi Cat. D2 Centri commerciali, mercati, grandi magazzini, librerie...	4,00 5,00	4,00 5,00	2,00 2,00
E	<b>Biblioteche, archivi, magazzini e ambienti ad uso industriale.</b> Cat. E1 Biblioteche, archivi, magazzini, depositi, laboratori manifatturieri Cat. E2 Ambienti ad uso industriale, da valutarsi caso per caso	$\geq 6,00$ —	6,00 —	1,00* —
F-G	<b>Rimesse e parcheggi.</b> Cat. F Rimesse e parcheggi per il transito di automezzi di peso a pieno carico fino a 30 kN Cat. G Rimesse e parcheggi per transito di automezzi di peso a pieno carico superiore a 30 kN: da valutarsi caso per caso	2,50 —	2 x 10,00 —	1,00** —
H	<b>Coperture e sottotetti</b> Cat. H1 Coperture e sottotetti accessibili per sola manutenzione Cat. H2 Coperture praticabili Cat. H3 Coperture speciali (impianti, eliporti, altri) da valutarsi caso per caso	0,50 — —	1,20 — —	1,00 secondo categoria di appartenenza —
*	non comprende le azioni orizzontali eventualmente esercitate dai materiali immagazzinati			
**	per i soli parapetti o partizioni nelle zone pedonali. Le azioni sulle barriere esercitate dagli automezzi dovranno essere valutate caso per caso			

Tabella 5.3 Tabella 3.1.II - Valori dei carichi d'esercizio per le diverse categorie di edifici

In base alla destinazione d'uso di Palazzo Sala sono state prese in considerazione le seguenti categorie con i relativi carichi verticali uniformemente distribuiti  $q_k$  [kN/m<sup>2</sup>]:

- ambienti ad uso residenziale  $q_k = 2,00$  kN/m<sup>2</sup> (piano secondo blocco A)

<sup>6</sup> NTC 2008 – cap. 3.1.4

- uffici non aperti al pubblico  $q_k = 2,00 \text{ kN/m}^2$  (piano terra blocco C, piano primo e secondo blocchi A,B e C)
- ambienti suscettibili di affollamento Cat. C2  $q_k = 4,00 \text{ kN/m}^2$  (piano terra blocco A)
- biblioteche, archivi, magazzini, depositi Cat. E1  $q_k \geq 6,00 \text{ kN/m}^2$  (piano terra e primo piano blocco C, piano interrato blocco A)
- coperture e sottotetti Cat. H1  $q_k = 0,5 \text{ kN/m}^2$  (tutti i blocchi).

### Azione del vento

Il vento, la cui direzione si considera generalmente orizzontale, esercita sulle costruzioni azioni che variano nel tempo e nello spazio, provocando generalmente effetti dinamici.

Per le costruzioni usuali tali azioni sono ricondotte alle azioni statiche equivalenti, definite al paragrafo 3.3.3 delle NTC 2008.

La velocità di riferimento  $v_b$  è il valore caratteristico della velocità del vento a 10 m dal suolo su un terreno di categoria di esposizione II, mediata su 10 minuti e riferita a un periodo di ritorno di 50 anni.

In mancanza di specifiche e adeguate indagini statistiche  $v_b$  è data dall'espressione<sup>7</sup>:

$$v_b = v_{b,0} \quad \text{per } a_s < a_0$$

$$v_b = v_{b,0} + k_a(a_s - a_0) \quad \text{per } a_0 < a_s \leq 1500 \text{ m}$$

dove:

$v_b$ ,  $a_0$ ,  $k_a$  sono parametri forniti nella Tabella 5.4 e sono legati alla regione in cui sorge l'edificio oggetto di studio, in funzione delle zone definite nella Fig. 3.3.1 delle NTC 2008;

$a_s$  è l'altitudine sul livello del mare del sito dove sorge la costruzione ed è espressa in metri.

Zona	Descrizione	$v_{b,0}$ [m/s]	$a_0$ [m]	$k_a$ [1/s]
1	Valle d'Aosta, Piemonte, Lombardia, Trentino Alto Adige, Veneto, Friuli Venezia Giulia (con l'eccezione della provincia di Trieste)	25	1000	0,010
2	Emilia Romagna	25	750	0,015
3	Toscana, Marche, Umbria, Lazio, Abruzzo, Molise, Puglia, Campania, Basilicata, Calabria (esclusa la provincia di Reggio Calabria)	27	500	0,020
4	Sicilia e provincia di Reggio Calabria	28	500	0,020
5	Sardegna (zona a oriente della retta congiungente Capo Teulada con l'Isola di Maddalena)	28	750	0,015
6	Sardegna (zona a occidente della retta congiungente Capo Teulada con l'Isola di Maddalena)	28	500	0,020
7	Liguria	28	1000	0,015
8	Provincia di Trieste	30	1500	0,010
9	Isole (con l'eccezione di Sicilia e Sardegna) e mare aperto	31	500	0,020

Tabella 5.4 Tabella 3.3.I - Valori dei parametri  $v_{b,0}$ ,  $a_0$ ,  $k_a$

<sup>7</sup> NTC 2008 – cap 3.3.2 eq. 3.3.1

Per Palazzo Sala si ha:

$$a_s = 12 \text{ m} \leq 1000 \text{ m} = a_0$$

Quindi si applica:

$$v_b = v_{b,0} = 25 \text{ m/s}$$

La pressione del vento è data dall'espressione<sup>8</sup>:

$$p = q_b c_e c_p c_d$$

dove:

**q<sub>b</sub>** è la pressione cinetica di riferimento;

**c<sub>e</sub>** è il coefficiente di esposizione;

**c<sub>p</sub>** è il coefficiente di forma, che dipende dalla tipologia e dalla geometria della costruzione e dal suo orientamento rispetto alla direzione del vento;

**c<sub>d</sub>** è il coefficiente dinamico con cui si tiene conto degli effetti riduttivi associati alla non contemporaneità delle massime pressioni locali e degli effetti amplificativi dovuti alle vibrazioni strutturali.

La pressione cinematica di riferimento **q<sub>b</sub>** espressa in N/m<sup>2</sup> è data dall'espressione<sup>9</sup>:

$$q_b = \frac{1}{2} \rho v_b^2 = \frac{1}{2} * 1,25 * 25^2 = 390,625$$

dove:

**v<sub>b</sub>** è la velocità di riferimento del vento in m/s;

**ρ** è la densità dell'aria assunta convenzionalmente costante e pari a 1,25 kg/m<sup>3</sup>.

Il coefficiente di esposizione **c<sub>e</sub>** dipende dall'altezza **z** sul suolo del punto considerato, dalla topografia del terreno e dalla categoria di esposizione del sito dove sorge la costruzione.

In assenza di analisi specifiche che tengano conto della direzione del vento e della scabrezza e topografia del terreno circostante la costruzione, per altezze sul suolo inferiori a 200 m, esso è dato dalla formula<sup>10</sup>:

$$c_e(z) = k_r^2 c_t \ln\left(\frac{z}{z_0}\right) \left[ 7 + c_t \ln\left(\frac{z}{z_0}\right) \right] \quad \text{per } z \geq z_{min}$$

$$c_e(z) = c_e(z_{min}) \quad \text{per } z < z_{min}$$

dove:

**k<sub>r</sub>**, **z<sub>0</sub>**, **z<sub>min</sub>** sono assegnati in Tabella 5.5 in funzione della categoria di esposizione del sito dove sorge la costruzione;

**c<sub>t</sub>** è il coefficiente di topografia.

<sup>8</sup> NTC 2008 – cap.3.3.4 eq. 3.3.2

<sup>9</sup> NTC 2008 – cap. 3.3.6 eq. 3.3.4

<sup>10</sup> NTC 2008 – cap. 3.3.7 eq. 3.3.5

Categoria di esposizione del sito	$k_r$	$z_0$ [m]	$z_{min}$ [m]
I	0,17	0,01	2
II	0,19	0,05	4
III	0,20	0,10	5
IV	0,22	0,30	8
V	0,23	0,70	12

Tabella 5.5 Tabella 3.3.II - Parametri per la definizione del coefficiente di esposizione

Classe di rugosità del terreno	Descrizione
A	Aree urbane in cui almeno il 15% della superficie sia coperto da edifici la cui altezza media superi i 15m
B	Aree urbane (non di classe A), suburbane, industriali e boschive
C	Aree con ostacoli diffusi (alberi, case, muri, recinzioni,...); aree con rugosità non riconducibile alle classi A, B, D
D	Aree prive di ostacoli (aperta campagna, aeroporti, aree agricole, pascoli, zone paludose o sabbiose, superfici innestate o ghiacciate, mare, laghi,...)

L'assegnazione della classe di rugosità non dipende dalla conformazione orografica e topografica del terreno. Affinché una costruzione possa dirsi ubicata in classe A o B è necessario che la situazione che contraddistingue la classe permanga intorno alla costruzione per non meno di 1 km e comunque non meno di 20 volte l'altezza della costruzione. Laddove sussistano dubbi sulla scelta della classe di rugosità, a meno di analisi dettagliate, verrà assegnata la classe più sfavorevole.

Tabella 5.6 Tabella 3.3.III - Classi di rugosità del terreno

Essendo l'edificio ubicato in zona 1, appartiene alla categoria di esposizione del sito V e alla classe di rugosità A, quindi si ha:

$$k_r = 0,23$$

$$z_0 = 0,70 \text{ m}$$

$$z_{min} = 12 \text{ m}$$

Da qui si ricava:

$$c_e(12) = c_e(z_{min}) = 0,23^2 * 1 * \ln\left(\frac{12}{0,7}\right) * \left[7 + 1 * \ln\left(\frac{12}{0,7}\right)\right] = 1,5$$

con  $c_p = 0,8$  e  $c_d = 1$  si ha che la pressione del vento vale:

$$p(12 \text{ m}) = 390,625 * 1,5 * 0,8 * 1 = 468,75 \text{ N/m}^2$$

### Azione della neve

Il carico provocato dalla neve sulle coperture è valutato mediante l' seguente espressione<sup>11</sup>:

$$q_s = \mu_i \cdot q_{sk} \cdot C_E \cdot C_t$$

$q_s = 0,8 \text{ kN/m}^2$  carico neve sulla copertura

$\mu_i = 0,8$  coefficiente di forma della copertura

$q_{sk} = 1,0 \text{ kN/m}^2$  valore caratteristico di riferimento del carico neve al suolo

$C_E = 1$  coefficiente di esposizione

$C_t = 1$  coefficiente termico

Il valore caratteristico del carico neve al suolo dipende dalle condizioni locali di clima e di esposizione, in base alla variabilità delle precipitazioni nevose da zona a zona.

La città di Padova è inserita in Zona II, quindi si calcola<sup>12</sup>:

$$q_{sk} = 1,00 \text{ kN/m}^2 \quad a_s \leq 200 \text{ m}$$

Perché l'altitudine dell'edificio oggetto di studio è inferiore a 200 m sul livello del mare.

### Azione sismica

L'elemento di conoscenza primario per determinare le azioni sismiche è la "pericolosità sismica di base" del sito di costruzione, essa è definita in termini di accelerazione orizzontale massima attesa  $a_g$  in condizioni di campo libero su sito di riferimento rigido con superficie topografica orizzontale (categoria A) e in termini di ordinate dello spettro di risposta elastico in accelerazione  $S_e(T)$ , in riferimento a prestabilite probabilità di eccedenza  $P_{VR}$  nel periodo di riferimento  $V_R$ .

Si possono quindi comprendere le caratteristiche dell'azione sismica grazie all'accelerazione massima e allo spettro di risposta.

Le forme spettrali sono ricavate a partire dai seguenti parametri su sito di riferimento rigido orizzontale:

- $a_g$  accelerazione orizzontale massima al 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.

Nel caso dell'azione sismica gli stati limite di esercizio e gli stati limite ultimi si riferiscono alle prestazioni della costruzione nel suo complesso, includendo gli elementi strutturali, gli elementi non strutturali e gli impianti.

<sup>11</sup> NTC 2008 – cap. 3.4.1 eq. 3.3.7

<sup>12</sup> NTC 2008 – cap. 3.4.2 eq. 3.3.10



I quattro stati limite, già citati precedentemente al paragrafo 5.1, permettono di analizzare quattro diverse situazioni al crescere dell'azione sismica.

Le probabilità di superamento nel periodo di riferimento  $P_{VR}$ , a cui bisogna riferirsi per individuare l'azione sismica agente, sono riportate nella seguente tabella:

Stati Limite		$P_{VR}$ : Probabilità di superamento nel periodo di riferimento $V_R$
Stati limite di esercizio	SLO	81%
	SLD	63%
Stati limite ultimi	SLV	10%
	SLC	5%

Tabella 5.7 Tabella 3.2.I – Probabilità di superamento  $P_{VR}$  al variare dello stato limite considerato

Per definire l'azione sismica di progetto in maniera esaustiva è necessario individuare la categoria di suolo su cui si colloca la costruzione in esame. Sulla base della stratigrafia la normativa individua cinque categorie di sottosuolo:

Categoria	Descrizione
<b>A</b>	<i>Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi</i> caratterizzati da valori di $V_{s,30}$ superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie uno strato di alterazione, con spessore massimo pari a 3 m.
<b>B</b>	<i>Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti</i> con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ compresi tra 360 m/s e 800 m/s (ovvero $N_{SPT,30} > 50$ nei terreni a grana grossa e $c_{u,30} > 250$ kPa nei terreni a grana fina).
<b>C</b>	<i>Depositati di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti</i> con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero $15 < N_{SPT,30} < 50$ nei terreni a grana grossa e $70 < c_{u,30} < 250$ kPa nei terreni a grana fina).
<b>D</b>	<i>Depositati di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti</i> , con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ inferiori a 180 m/s (ovvero $N_{SPT,30} < 15$ nei terreni a grana grossa e $c_{u,30} < 70$ kPa nei terreni a grana fina).
<b>E</b>	<i>Terreni dei sottosuoli di tipo C o D per spessore non superiore a 20 m</i> , posti sul substrato di riferimento (con $V_s > 800$ m/s).

Tabella 5.8 Tabella 3.2.II - Categorie di sottosuolo

Palazzo Sala è costruito su un terreno di tipo C.

La normativa stabilisce le seguenti categorie topografiche:

Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
T1	Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$
T2	Pendii con inclinazione media $i > 15^\circ$
T3	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $15^\circ \leq i < 30^\circ$
T4	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $i > 30^\circ$

Tabella 5.9 Tabella 3.2.IV - Categorie topografiche

Categoria topografica	Ubicazione dell'opera o dell'intervento	$S_T$
T1	-	1,0
T2	In corrispondenza della sommità del pendio	1,2
T3	In corrispondenza della cresta del rilievo	1,2
T4	In corrispondenza della cresta del rilievo	1,4

Tabella 5.10 Tabella 3.2.VI Valori massimi del coefficiente di amplificazione topografica  $S_T$

Il terreno su cui sorge Palazzo Sala è pianeggiante, senza pendii e rilievi, quindi  $S_T$  è pari a 1,0.

Considerando quindi che, per opere ordinarie come Palazzo Sala, la normativa stabilisce una vita nominale  $V_N$  (numero di anni nel quale la struttura deve poter essere usata per lo scopo al quale è destinata) maggiore o uguale a 50 anni ed essendo Palazzo Sala un edificio universitario, che quindi prevede affollamenti significativi, esso appartiene alla classe d'uso III.

Moltiplicando la vita nominale  $V_N$  per il coefficiente di classe d'uso  $C_U$  (1,5 per classe d'uso III) si ottiene il periodo di riferimento  $V_R$  per l'azione sismica. In questo caso tale periodo di riferimento è di 75 anni.

Si considerino per l'edificio oggetto di studio le coordinate approssimate pari a: latitudine= 45,413 e longitudine=11,882.

Sulla base di questi dati, grazie all'allegato B alle NTC - Tabella 1, è possibile stimare i valori dei parametri  $a_g$ ,  $F_0$ ,  $T^*_c$  da utilizzare per definire l'azione sismica.

Latitudine	Longitudine	$a_0$ [g]	$F_0$	$T^*_c$ [s]
45,413	11,882	0,338	2,53	0,24

Un altro metodo per ricavare i dati sismici dell'edificio oggetto di studio è il software "Excel - Spettri NTC v. 1.03" messo a disposizione dal Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici.

Il programma fornisce gli spettri di risposta rappresentativi delle componenti orizzontali e verticale delle azioni sismiche di progetto.

La definizione degli spettri di risposta relativi a uno Stato Limite è articolata in tre fasi: nella prima viene individuata la pericolosità del sito, nella seconda si sceglie la strategia di progettazione e nella terza si determina l'azione di progetto.

Per semplificare il procedimento, se non si conoscono le coordinate esatte, è possibile inserire semplicemente il comune in cui è situato l'edificio.



Figura 5.1 Fase 1 - Individuazione della pericolosità del sito. Excel - Spettri NTC v. 103

Nel Grafico 5.1 si rappresentano gli spettri di risposta elastici per i periodi di ritorno; con linea continua si rappresentano gli spettri di Normativa, con linea tratteggiata gli spettri di progetto.

**Spettri di risposta elastici per i periodi di ritorno  $T_R$  di riferimento**

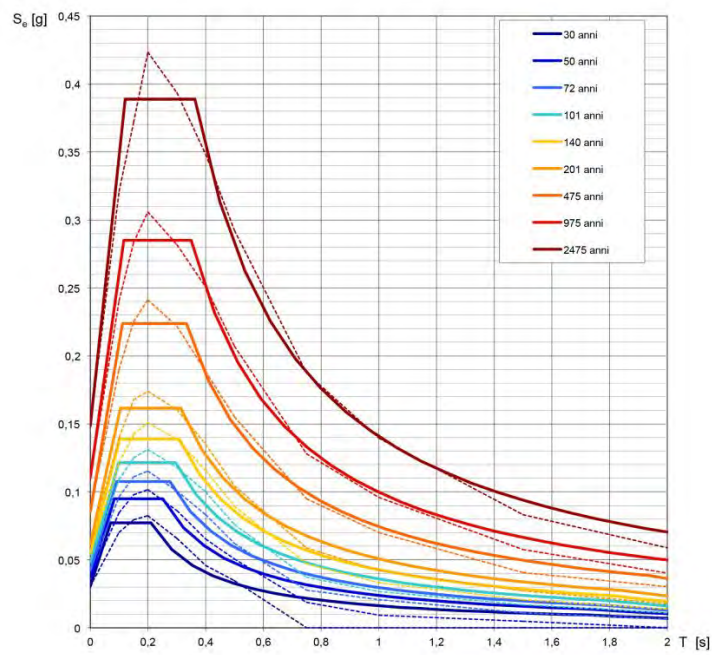


Grafico 5.1 Spettri di risposta elastici per i periodi di ritorno. Excel - Spettri NTV v. 1.03

Nei Grafici 5.2 e 5.3 vengono rappresentate le variazioni dei parametri  $a_0$ ,  $F_0$ ,  $T_c$  al variare del periodo di ritorno  $T_R$ .

**Valori dei parametri  $a_g$ ,  $F_o$ ,  $T_c^*$ : variabilità col periodo di ritorno  $T_R$**

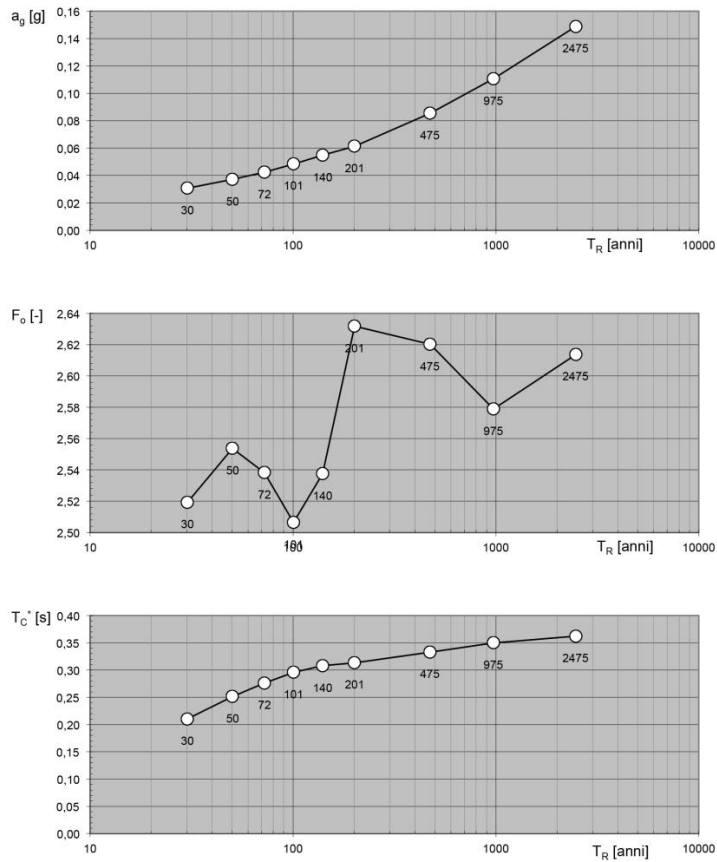


Grafico 5.2 Valori dei parametri  $a_0$ ,  $F_0$ ,  $T_c$ . Excel – Spettri NTC v. 1.03

**Valori dei parametri  $a_g$ ,  $F_o$ ,  $T_c^*$  per i periodi di ritorno  $T_R$  di riferimento**

$T_R$ [anni]	$a_g$ [g]	$F_o$ [-]	$T_c^*$ [s]
30	0,031	2,519	0,210
50	0,037	2,554	0,251
72	0,042	2,538	0,276
101	0,049	2,506	0,296
140	0,055	2,537	0,308
201	0,061	2,632	0,313
475	0,085	2,620	0,333
975	0,111	2,579	0,350
2475	0,149	2,614	0,362

Tabella 5.11 Valori dei parametri  $a_0$ ,  $F_0$ ,  $T_c$  Excel – Spettri NTC v. 1.03

Nella seconda fase si inseriscono la vita nominale e il coefficiente d'uso relativo alla classe d'uso dell'edificio e il programma calcola in maniera automatica il valore della vita di riferimento. In base a questo valore viene calcolato il periodo di ritorno per ogni stato limite considerato, al quale corrisponde una diversa probabilità di superamento.



Figura 5.2 Fase 2 - Scelta della strategia di progettazione. Excel - Spettri NTC v. 1.03

**Valori di progetto dei parametri  $a_g$ ,  $F_o$ ,  $T_C^*$  in funzione del periodo di ritorno  $T_R$**

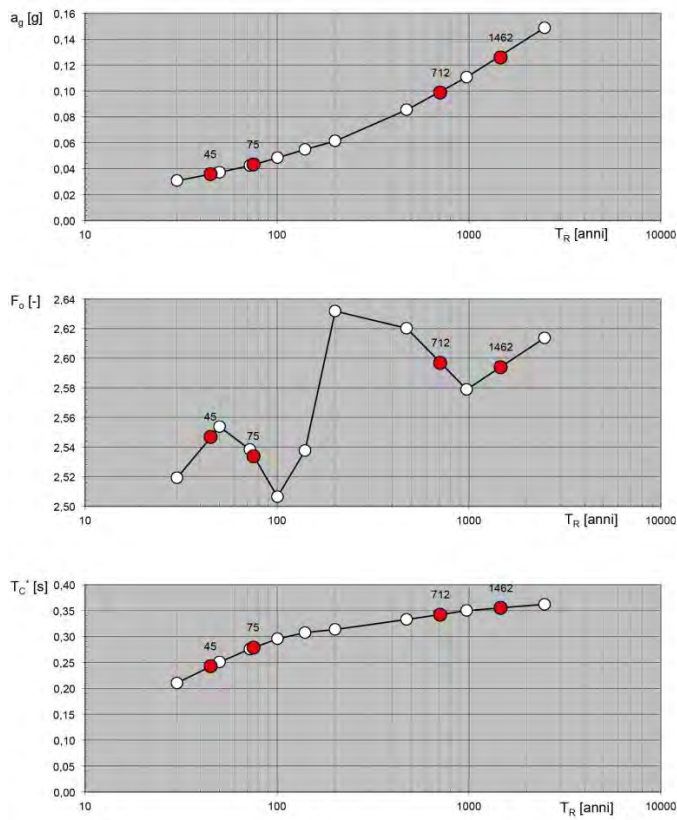


Grafico 5.3 Valori di progetto dei parametri  $a_0$ ,  $F_0$ ,  $T_C$ . Excel - Spettri NTC v. 1.03

**Valori dei parametri  $a_g$ ,  $F_o$ ,  $T_C^*$  per i periodi di ritorno  $T_R$  associati a ciascuno SL**

SLATO LIMITE	$T_R$ [anni]	$a_g$ [g]	$F_o$ [-]	$T_C^*$ [s]
SLO	45	0,036	2,547	0,242
SLD	75	0,043	2,534	0,279
SLV	712	0,099	2,597	0,342
SLC	1462	0,126	2,594	0,355

Tabella 5.12 Valori dei parametri  $a_0$ ,  $F_0$ ,  $T_C$  associati a ciascuno SL. Excel - Spettri NTC v. 1.03

Spettri di risposta elastici per i diversi Stati Limite

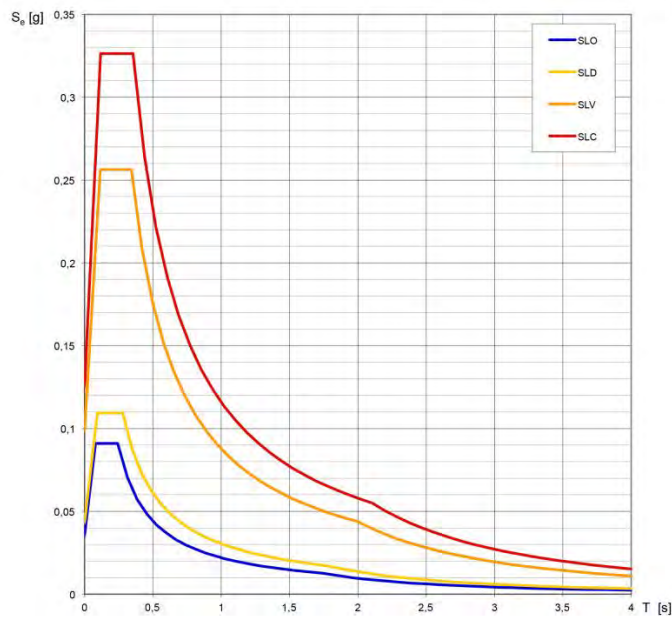


Grafico 5.4 Spettri di risposta elastici per i quattro stati limite Excel - Spettri NTC v. 1.03

Nella terza e ultima fase si inseriscono i valori relativi allo stato limite considerato, la categoria del sottosuolo, la categoria topografica e il fattore di struttura  $q$ .  
 Con riferimento allo stato limite SLV, alla categoria di sottosuolo C, alla categoria topografica T1 e a un fattore di struttura  $q$  pari a 1,5 si ottengono i seguenti parametri dipendenti e indipendenti dello spettro di risposta:

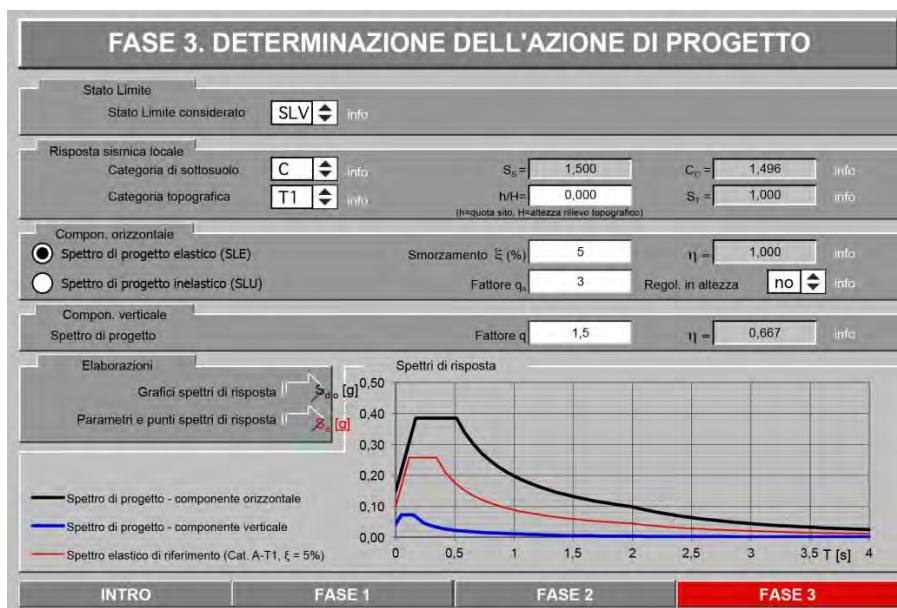


Figura 5.3 Fase 3 - Determinazione dell'azione di progetto. Excel - Spettri NTC v. 1.03



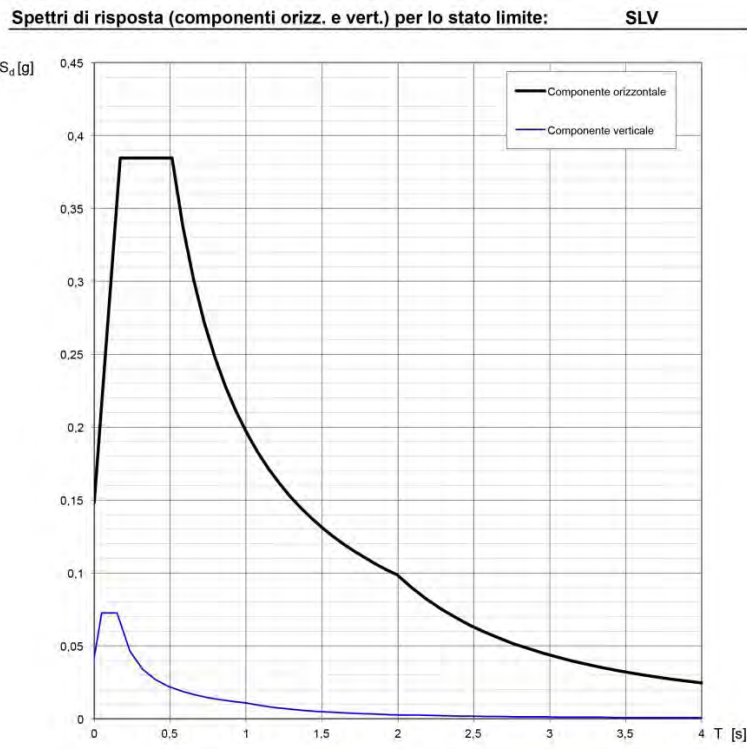


Grafico 5.5 Spettro di risposta (componente verticale e orizzontale) per lo stato limite SLV. Excel - Spettri NTC v. 1.03

**Parametri e punti dello spettro di risposta orizzontale per lo stato limite: SLV**

**Parametri indipendenti**

STATO LIMITE	SLV
$a_g$	0,099 g
$F_o$	2,597
$T_C^*$	0,342 s
$S_S$	1,500
$C_C$	1,496
$S_T$	1,000
$q$	1,000

**Parametri dipendenti**

$S$	1,500
$\eta$	1,000
$T_B$	0,171 s
$T_C$	0,512 s
$T_D$	1,995 s

**Espressioni dei parametri dipendenti**

$$S = S_S \cdot S_T \quad (\text{NTC-08 Eq. 3.2.5})$$

$$\eta = \sqrt{10/(S + \xi)} \geq 0,55; \eta = 1/q \quad (\text{NTC-08 Eq. 3.2.6; §. 3.2.3.5})$$

$$T_B = T_C / 3 \quad (\text{NTC-07 Eq. 3.2.8})$$

$$T_C = C_C \cdot T_C^* \quad (\text{NTC-07 Eq. 3.2.7})$$

$$T_D = 4,0 \cdot a_g / g + 1,6 \quad (\text{NTC-07 Eq. 3.2.9})$$

**Espressioni dello spettro di risposta** (NTC-08 Eq. 3.2.4)

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

$$T_B \leq T < T_C \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o$$

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

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

Lo spettro di progetto  $S_d(T)$  per le verifiche agli Stati Limite Ultimi è ottenuto dalle espressioni dello spettro elastico  $S_e(T)$  sostituendo  $\eta$  con  $1/q$ , dove  $q$  è il fattore di struttura. (NTC-08 § 3.2.3.5)

**Punti dello spettro di risposta**

	T [s]	Se [g]
	0,000	0,148
$T_B$ ←	0,171	0,385
$T_C$ ←	0,512	0,385
	0,583	0,338
	0,653	0,301
	0,724	0,272
	0,794	0,248
	0,865	0,228
	0,936	0,210
	1,006	0,196
	1,077	0,183
	1,147	0,172
	1,218	0,162
	1,289	0,153
	1,359	0,145
	1,430	0,138
	1,501	0,131
	1,571	0,125
	1,642	0,120
	1,712	0,115
	1,783	0,110
	1,854	0,106
	1,924	0,102
$T_D$ ←	1,995	0,099
	2,090	0,090
	2,186	0,082
	2,281	0,075
	2,377	0,070
	2,472	0,064
	2,568	0,060
	2,663	0,055
	2,759	0,052
	2,854	0,048
	2,950	0,045
	3,045	0,042
	3,141	0,040
	3,236	0,038
	3,332	0,035
	3,427	0,033
	3,523	0,032
	3,618	0,030
	3,714	0,028
	3,809	0,027
	3,905	0,026
	4,000	0,025

Tabella 5.13 Parametri e punti dello spettro di risposta orizzontale per lo stato limite SLV. Excel - Spettri NTC v. 1.03

**Parametri e punti dello spettro di risposta verticale per lo stato limite: SLV**

**Parametri indipendenti**

STATO LIMITE	SLV
$a_{qv}$	0,042 g
$S_S$	1,000
$S_T$	1,000
$q$	1,500
$T_B$	0,050 s
$T_C$	0,150 s
$T_D$	1,000 s

**Parametri dipendenti**

$F_v$	1,102
$S$	1,000
$\eta$	0,667

**Espressioni dei parametri dipendenti**

$$S = S_S \cdot S_T \quad (\text{NTC-08 Eq. 3.2.5})$$

$$\eta = 1/q \quad (\text{NTC-08 §. 3.2.3.5})$$

$$F_v = 1,35 \cdot F_0 \cdot \left(\frac{a_g}{g}\right)^{0,5} \quad (\text{NTC-08 Eq. 3.2.11})$$

**Espressioni dello spettro di risposta (NTC-08 Eq. 3.2.10)**

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

$$T_B \leq T < T_C \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_v$$

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

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

**Punti dello spettro di risposta**

	T [s]	Se [g]
	0,000	0,042
$T_B \leftarrow$	0,050	0,073
$T_C \leftarrow$	0,150	0,073
	0,235	0,046
	0,320	0,034
	0,405	0,027
	0,490	0,022
	0,575	0,019
	0,660	0,016
	0,745	0,015
	0,830	0,013
	0,915	0,012
$T_D \leftarrow$	1,000	0,011
	1,094	0,009
	1,188	0,008
	1,281	0,007
	1,375	0,006
	1,469	0,005
	1,563	0,004
	1,656	0,004
	1,750	0,004
	1,844	0,003
	1,938	0,003
	2,031	0,003
	2,125	0,002
	2,219	0,002
	2,313	0,002
	2,406	0,002
	2,500	0,002
	2,594	0,002
	2,688	0,002
	2,781	0,001
	2,875	0,001
	2,969	0,001
	3,063	0,001
	3,156	0,001
	3,250	0,001
	3,344	0,001
	3,438	0,001
	3,531	0,001
	3,625	0,001
	3,719	0,001
	3,813	0,001
	3,906	0,001
	4,000	0,001

Tabella 5.14 Parametri e punti dello spettro di risposta verticale per lo stato limite SLV. Excel - Spettri NTC v. 1.03

### Combinazione delle azioni

Nelle costruzioni civili e industriali le verifiche agli stati limite ultimi o di esercizio devono essere effettuate per la combinazione dell'azione sismica con le altre azioni:

$$G_1 + G_2 + P + E + \sum_j \psi_{2j} Q_{kj}$$

Gli effetti dell'azione sismica vengono valutati tenendo conto delle masse associate ai seguenti carichi gravitazionali:

$$G_1 + G_2 + \sum_j \psi_{2j} Q_{kj}$$

Nella seguente tabella sono riportati i valori dei coefficienti di combinazione:

Categoria/Azione variabile	$\psi_{0j}$	$\psi_{1j}$	$\psi_{2j}$
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 Rimesse e parcheggi (per autoveicoli di peso $> 30$ kN)	0,7	0,5	0,3
Categoria H Coperture	0,0	0,0	0,0
Vento	0,6	0,2	0,0
Neve (a quota $\leq 1000$ m s.l.m.)	0,5	0,2	0,0
Neve (a quota $> 1000$ m s.l.m.)	0,7	0,5	0,2
Variazioni termiche	0,6	0,5	0,0

Tabella 5.15: Tabella 2.5.I - Valori dei coefficienti di combinazione

Nel caso di Palazzo Sala, avendo come categorie A, B, C, E e H e neve a quota  $\leq 1000$  m s.l.m., bisogna adoperare i coefficienti di combinazione:  $\psi_{2j}=0,3$  (per cat. A e B),  $\psi_{2j}=0,6$  (per cat. C),  $\psi_{2j}=0,8$  (per cat. E),  $\psi_{2j}=0,0$  (per cat. H) e  $\psi_{2j}=0,0$  (per cat. neve a quota  $\leq 1000$  m s.l.m.).

### 5.3 AGGREGATI EDILIZI

Come indicato nella Circolare del 2 febbraio 2009 *“Un aggregato edilizio è costituito da un insieme di parti che sono il risultato di una genesi articolata e non unitaria, dovuta a molteplici fattori (sequenza costruttiva, cambio materiali, mutate esigenze, avvicinarsi dei proprietari, etc.)”*<sup>13</sup>.

Alla luce di questa definizione si può definire Palazzo Sala un aggregato edilizio e, come tale, occorre tener conto delle possibili interazioni derivanti dalla contiguità strutturale con gli edifici adiacenti, connessi o in aderenza con esso.

Bisogna perciò individuare l'unità strutturale (US) oggetto di studio, evidenziando le azioni derivanti dalle unità strutturali contigue che agiscono su di essa.

La porzione di aggregato che costituisce l'unità strutturale deve comprendere cellule tra loro legate in elevazione e in pianta da un comune processo costruttivo e deve considerare tutti gli elementi interessati dalla trasmissione a terra dei carichi verticali dell'edificio.

L'analisi di una unità strutturale secondo i metodi utilizzati per gli edifici isolati, senza un'adeguata modellazione, oppure con una modellazione approssimata dell'interazione con i corpi di fabbrica adiacenti assume un significato convenzionale. Per questo motivo si ammette che l'analisi della capacità sismica globale dell'US possa essere verificata attraverso metodi semplificati.

Se i solai dell'edificio sono sufficientemente rigidi, la verifica convenzionale allo SLV e allo SLE di un edificio in aggregato può essere svolta, anche per edifici con più di due piani, attraverso l'analisi statica non lineare, analizzando e verificando separatamente ogni interpiano dell'edificio e trascurando la variazione della forza assiale nei maschi murari dovuta all'effetto dell'azione sismica. Con l'esclusione di US d'angolo o di testata e di parti di edificio non vincolate o non aderenti su alcun lato ad altre US, l'analisi può anche essere svolta trascurando gli effetti torsionali, ipotizzando che i solai possano traslare solamente nella direzione dell'azione sismica.

Se invece i solai dell'edificio sono flessibili, si procede all'analisi delle singole pareti o dei sistemi di pareti complanari che costituiscono l'edificio, ciascuna analizzata come struttura indipendente, soggetta ai carichi verticali di competenza dell'azione sismica nella direzione parallela alla parete.

---

<sup>13</sup> Circolare 2 febbraio 2009, n. 617 – Istruzioni per l'applicazione delle “Nuove norme tecniche per le costruzioni” di cui al decreto ministeriale 14 gennaio 2008. Allegato C8A.3

#### 5.4 ANALISI DEI MECCANISMI DI COLLASSO IN EDIFICI ESISTENTI IN MURATURA

Negli edifici esistenti in muratura spesso avvengono collassi parziali per cause sismiche, dovuti generalmente alla perdita di equilibrio di porzioni murarie.

La verifica di questi meccanismi assume significato se è garantita una certa monoliticità della parete muraria, tale da impedire collassi puntuali per disgregazione della muratura.

I meccanismi locali si verificano nelle pareti murarie prevalentemente per azioni perpendicolari al loro piano, mentre nel caso di sistemi ad arco anche per azioni nel piano.

Le verifiche dei meccanismi locali di danno e collasso (nel piano e fuori piano) possono essere svolte 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 cinematisimo.

I meccanismi locali ritenuti significativi per la costruzione possono essere ipotizzati sulla base della conoscenza del comportamento sismico di strutture analoghe, già danneggiate dal terremoto; oppure si possono individuare considerando eventuali stati fessurativi, anche di natura non sismica. Bisogna considerare 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 di determinare l'andamento dell'azione orizzontale che la struttura è progressivamente in grado di sopportare all'evolversi del meccanismo. Tale curva è espressa attraverso il moltiplicatore  $\alpha$ , rapporto tra le forze orizzontali applicate e i corrispondenti pesi delle masse presenti, rappresentato in funzione dello spostamento  $d_k$  di un punto di riferimento del sistema. La curva deve essere determinata fino all'annullamento di ogni capacità di sopportare azioni orizzontali ( $\alpha = 0$ ). Questa curva può essere trasformata nella curva di capacità di un sistema equivalente a un grado di libertà, nella quale può essere definita la capacità di spostamento ultimo del meccanismo locale, da confrontare con la domanda di spostamento richiesta dall'azione sismica.

Per ogni possibile meccanismo locale ritenuto significativo per l'edificio, il metodo si articola nei seguenti passaggi:

- trasformazione di una parte della costruzione in un sistema labile (catena cinematica), attraverso l'individuazione di corpi rigidi, definiti da piani di frattura ipotizzabili per la scarsa resistenza a trazione della muratura, in grado di ruotare o scorrere tra loro (meccanismo di danno e collasso);
- valutazione del moltiplicatore orizzontale dei carichi  $\alpha_0$  che comporta l'attivazione del meccanismo (stato limite di danno);
- valutazione dell'evoluzione del moltiplicatore orizzontale dei carichi  $\alpha$  al crescere dello spostamento  $d_k$  di un punto di controllo della catena cinematica, usualmente scelto in prossimità del baricentro delle masse, fino all'annullamento della forza sismica orizzontale;

- trasformazione della curva così ottenuta in curva di capacità, ovvero in accelerazione  $a^*$  e spostamento  $d^*$  spettrali, con valutazione dello spostamento ultimo per collasso del meccanismo (stato limite ultimo);
- verifiche di sicurezza, attraverso il controllo della compatibilità degli spostamenti e/o delle resistenze richieste alla struttura.

Per l'applicazione del metodo di analisi si ipotizza generalmente:

- resistenza nulla a trazione della muratura;
- assenza di scorrimento tra blocchi;
- resistenza a compressione infinita della muratura.

Tuttavia per una simulazione più realistica del comportamento è opportuno considerare, in forma approssimata:

- gli scorrimenti tra blocchi, considerando la presenza dell'attrito;
- le connessioni, anche di resistenza limitata, tra le pareti murarie;
- la presenza di catene metalliche;
- la limitata resistenza a compressione della muratura, considerando le cerniere adeguatamente arretrate rispetto allo spigolo della sezione;
- la presenza di pareti a pannelli scollegati.

## 5.5 PRINCIPALI MECCANISMI LOCALI DI COLLASSO

Quando si verifica un evento sismico le principali modalità di collasso sono due:

- Meccanismi di primo modo: in pareti investite da azioni sismiche ortogonali al loro piano si ha il ribaltamento del muro fuori piano, la risposta dipende dalla presenza o meno di connessioni tra pareti ortogonali e dall'ancoraggio dei solai.
- Meccanismi di secondo modo: la rottura del muro nel piano interessa le pareti sollecitate da azioni sismiche complanari al piano del muro, che comportano la formazione di lesioni inclinate che la percorrono interamente.

I meccanismi di collasso più gravosi sono quelli del primo gruppo.

Con riferimento alle "Schede illustrative dei principali meccanismi di collasso locali negli edifici esistenti in muratura e dei relativi modelli cinematici di analisi" si presentano di seguito i principali aspetti teorici che riguardano il calcolo dei principali meccanismi di primo modo.

Per facilitare la comprensione si indicano di seguito i principali simboli utilizzati e la relativa spiegazione:

$\alpha$  è il moltiplicatore critico dei carichi agenti sui macroelementi o coefficiente di collasso del macroelemento;

$P_i$  è il peso proprio della parete al piano  $i$ -esimo o del macroelemento  $i$ -esimo;

$F_{Vi}$  è la componente verticale della spinta di archi o volte sulla parete al piano  $i$ -esimo;

$F_{Hi}$  è la componente orizzontale della spinta di archi o volte sulla parete al piano  $i$ -esimo;

$N_{Si}$  è il peso del solaio agente sulla parete al piano  $i$ -esimo;

$b_i$  è lo spessore della parete al piano  $i$ -esimo;

$h_i$  è il braccio verticale dell'azione trasmessa dal solaio oppure è l'altezza del macroelemento  $i$ -esimo;

$d_i$  è il braccio orizzontale del carico trasmesso dal solaio sulla parete al piano  $i$ -esimo e/o del peso proprio della parete;

$d_{Vi}$  è il braccio orizzontale delle azioni trasmesse da archi o volte al piano  $i$ -esimo;

$h_{Vi}$  è il braccio verticale della spinta di archi o volte al piano  $i$ -esimo;

$L_i$  è la lunghezza del macroelemento  $i$ -esimo.



**Meccanismo 1 – Ribaltamento globale di facciata**

Il meccanismo si manifesta attraverso la rotazione rigida di intere facciate o porzioni di pareti rispetto ad assi in prevalenza orizzontali alla base di esse e che percorrono la struttura muraria sollecitata da azioni fuori piano.

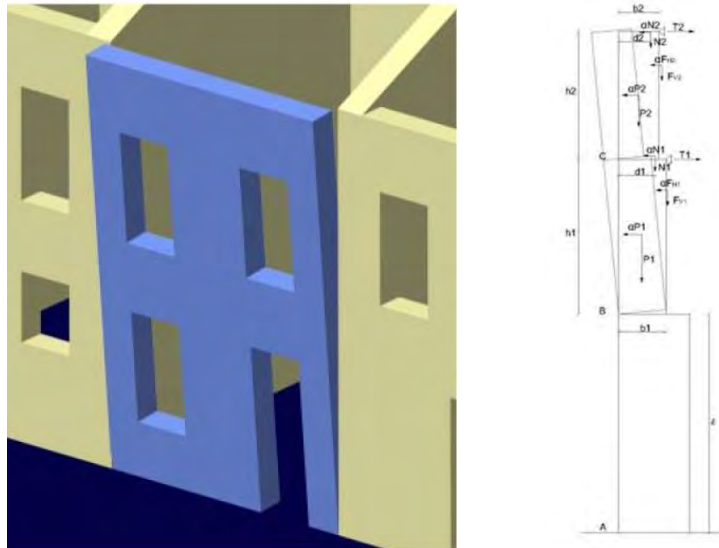


Figura 5.4 Meccanismo di ribaltamento globale di facciata e schema di calcolo

Il coefficiente di collasso che attiva il meccanismo è dato dalla relazione sottostante, nella quale si rapporta il momento stabilizzante dovuto alla somma dei pesi della muratura e dei carichi verticali su essa agenti, sottraendo però le spinte orizzontali, al momento ribaltante che invece tiene conto dell'azione sismica e quindi favorisce il ribaltamento.

$$\alpha = \frac{\sum_{i=1}^n P_i \cdot \frac{b_i}{2} + \sum_{i=1}^n F_{Vi} \cdot d_{Vi} + \sum_{i=1}^n N_i \cdot d_i \sum_{i=1}^n T_i \cdot h_i - \sum_{i=1}^n F_{Hi} \cdot h_{Vi}}{\sum_{i=1}^n P_i \cdot y_{Gi} + \sum_{i=1}^n F_{Vi} \cdot dh_{Vi} \sum_{i=1}^n N_i \cdot h_i}$$

Questo meccanismo prevede una schematizzazione del muro come corpo rigido che ruota attorno a una cerniera posta alla base e posizionata a filo dello spigolo più esterno della sezione della parete.

Questa modalità di collasso comporta una concentrazione di tensioni nei punti di contatto in cui si articola il meccanismo. Per tener conto di questo fattore nella modellazione si procede arretrando la posizione delle cerniere cilindriche al fine di considerare lo schiacciamento della muratura.

La cerniera cilindrica si forma quindi lungo una linea più interna rispetto allo spigolo precedentemente considerato. La differenza tra queste due linee parallele viene definita convenzionalmente con il simbolo "t", che denota lo spessore di muratura inaffidabile.

Le precedente relazione deve perciò considerare tale arretramento della cerniera, in particolare i bracci delle forze che creano un momento stabilizzante devono essere ridotti della quantità "t".

$$\alpha = \frac{\sum_{i=1}^n P_i \cdot \left(\frac{b_i}{2} - t\right) + \sum_{i=1}^n F_{Vi} \cdot (d_{Vi} - t) + \sum_{i=1}^n N_i \cdot (d_i - t) \sum_{i=1}^n T_i \cdot h_i - \sum_{i=1}^n F_{Hi} \cdot h_{Vi}}{\sum_{i=1}^n P_i \cdot y_{Gi} + \sum_{i=1}^n F_{Vi} \cdot dh_{Vi} \sum_{i=1}^n N_i \cdot h_i}$$

Per determinare il valore numerico dell'arretramento si considera che l'innesco del cinematismo si manifesti non appena la tensione massima al lembo compresso raggiunge il valore di resistenza caratteristica a compressione della muratura.

Il valore della tensione massima viene calcolato considerando la muratura completamente non reagente a trazione e ipotizzando una distribuzione lineare delle tensioni di compressione al contatto, ipotesi a favore della sicurezza poiché considera implicitamente per la muratura un comportamento di materiale fragile.

Ipotizzando che il polo di rotazione sia nel baricentro delle tensioni di compressione, possiamo calcolare l'effettivo valore di "t" nel seguente modo:

- In primo luogo si impone che al lembo compresso la tensione sia pari a  $\sigma_k$  (resistenza a compressione della muratura); la tensione media di compressione sarà quindi data dal rapporto dello sforzo normale agente sulla sezione diviso l'area della sezione reagente stessa (considerata per l'intera lunghezza della parete "l"):

$$\sigma_{media} = \frac{N}{3 \cdot t \cdot l}$$

- In secondo luogo si fa coincidere la tensione al lembo esterno della muratura con la massima:

$$\sigma_{max} = \sigma_k = 2 \cdot \sigma_{media} = \frac{2 \cdot N}{3 \cdot t \cdot l}$$

- Dalla formula precedente si ricava facilmente il valore dell'arretramento della cerniera:

$$t = \frac{2 \cdot N}{3 \cdot \sigma_k \cdot l}$$

**Meccanismo 2 – Ribaltamento parziale di facciata**

Il meccanismo si manifesta attraverso la rotazione rigida di porzioni sommitali di facciata rispetto ad assi in prevalenza orizzontali alla base di esse e che percorrono la struttura muraria sollecitata da azioni fuori dal piano.

É il caso particolare in cui il ribaltamento interessa soltanto l'ultimo livello dell'edificio, oppure porzioni di parete sottostanti la copertura.

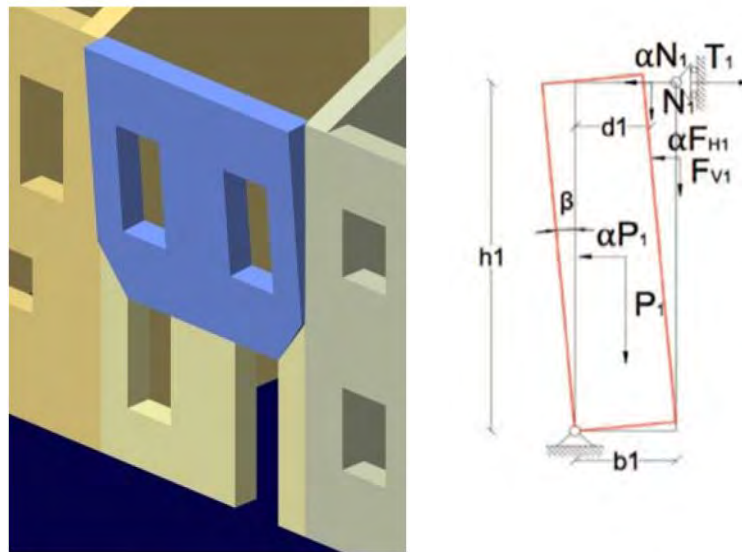


Figura 5.5 Meccanismo di ribaltamento parziale di facciata e schema di calcolo

Il coefficiente di collasso che attiva il meccanismo è dato dalla relazione sottostante, nella quale si rapporta il momento stabilizzante dovuto ai pesi della muratura e ai carichi verticali su essa agenti, sottraendo però le spinte orizzontali, al momento di ribaltamento, che invece tiene conto dell'azione sismica e quindi favorisce il ribaltamento.

$$\alpha = \frac{P \cdot \frac{b}{2} + F_V \cdot d_V + N \cdot d + T \cdot h + F_H \cdot h_V}{P \cdot y_{Gi} + F_V \cdot h_V + N \cdot h}$$

Come per il meccanismo precedente, anche in questo caso se si considera l'arretramento della cerniera cilindrica, il calcolo del coefficiente di collasso varia nel seguente modo:

$$\alpha = \frac{P \cdot (\frac{b}{2} - t) + F_V \cdot (d_V - t) + N \cdot (d - t) + T \cdot h + F_H \cdot h_V}{P \cdot y_{Gi} + F_V \cdot h_V + N \cdot h}$$

### Meccanismo 3 – Flessione verticale di parete

Il meccanismo si manifesta con formazione di una cerniera cilindrica orizzontale che divide la parete in due blocchi ed è descritto dalla rotazione reciproca degli stessi attorno a tale asse per azioni fuori dal piano.

Nel caso in cui si consideri un solo piano l'altezza di formazione della cerniera cilindrica è incognita e viene valutata mediante l'applicazione del principio dei lavori virtuali, imponendo che il coefficiente  $\alpha$  in funzione dell'altezza incognita sia il minimo.

Invece, nel caso in cui si considerino due diversi livelli della struttura, si ipotizza la formazione della cerniera cilindrica all'altezza dell'orizzontamento intermedio.

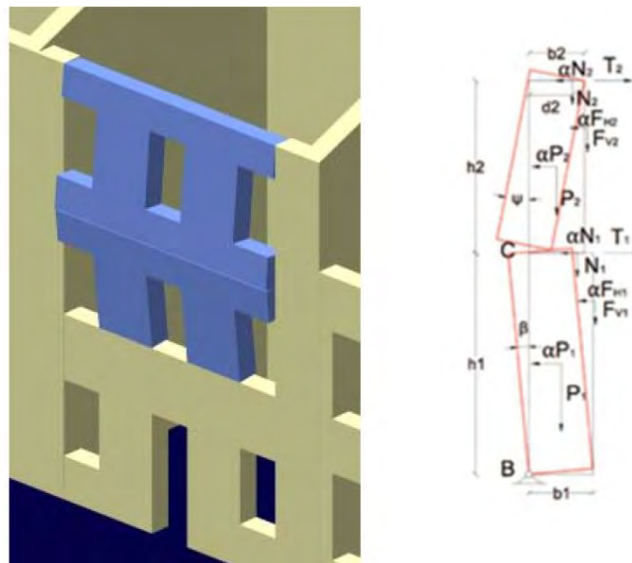


Figura 5.6 Meccanismo di flessione verticale di parete e schema di calcolo

Il coefficiente di collasso che attiva il meccanismo è dato dalla relazione sottostante, che consente di valutarne il valore applicando il principio dei lavori virtuali.

In primo luogo si impone una rotazione virtuale al corpo inferiore, mentre il corpo posizionato superiormente ruota di un angolo dato dal rapporto delle altezze dei corpi stessi e moltiplicato per il primo angolo di rotazione imposto.

In questo modo è possibile valutare gli spostamenti dei baricentri delle murature e dei punti di applicazione dei carichi.

Applicando infine il principio dei lavori virtuali, moltiplicando ciascuna forza per il relativo spostamento e imponendo l'equilibrio si ottiene il coefficiente di collasso  $\alpha$ .

$$\alpha = \frac{\frac{P_1}{2} \cdot b_1 + F_{V1} \cdot d_{V1} + (P_2 + N_2 + F_{V2}) \cdot b_2 + \frac{h_1}{h_2} \left( \frac{P_2}{2} \cdot b_2 + N_2 \cdot d_2 + F_{V2} \cdot d_{V2} - F_{H2} \cdot h_{V2} \right) + N_1 \cdot d_1 + T \cdot h_1 - F_{H1} \cdot h_{V1}}{P_1 \cdot y_{G1} + F_{V1} \cdot h_{V1} + N_1 \cdot d_1 + (P_2 \cdot y_{G2} + F_{V2} \cdot h_{V2}) \cdot \frac{h_1}{h_2}}$$

#### Meccanismo 4 – Catena cinematica nel piano

L'unico meccanismo di secondo modo considerato è la catena cinematica nel piano.

Generalmente una facciata presenta diverse aperture, queste individuano nella muratura più pannelli resistenti: le fasce di piano e i maschi murari.

Le prime sono porzioni orizzontali di muratura che corrono fra una fila di forometrie e l'altra. I secondi invece sono porzioni verticali di muratura che corrono da terra fino in copertura senza interruzioni.

In corrispondenza di un'azione sismica, ipotizzando che il bordo dei pannelli sia allineato e che al di sopra di essi esista una fascia di piano continua di muratura, si può contare sull'uguaglianza degli spostamenti verticali.

Quindi i pannelli subiscono una rotazione rigida  $\psi$  ( se hanno tutti la stessa altezza); mentre la fascia di piano trasla orizzontalmente.

Si ipotizza che i pannelli si rompano rispetto alla loro diagonale.

Il calcolo del coefficiente di attivazione viene eseguito attraverso il principio dei lavori virtuali. Una volta determinati i valori di spostamento in y dei carichi stabilizzanti e i valori di spostamento in x dei carichi ribaltanti, il coefficiente  $\alpha$  deriva dal loro rapporto.

$$\alpha = \frac{\sum_i P_i \delta_{Piy} + \sum_i N_i \delta_{Niy}}{\sum_i P_i \delta_{Pix} + \sum_i N_i \delta_{Nix}}$$

## 5.6 APPROCCIO CINEMATICO

La valutazione della sicurezza di un edificio nei confronti dei meccanismi locali di danno e collasso appena citati può essere compiuta attraverso l'analisi limite dell'equilibrio delle strutture murarie, considerate come corpi rigidi che non resistono a trazione.

Queste verifiche seguono l'approccio cinematico basato sulla scelta dei meccanismi di collasso e sulla valutazione dell'azione orizzontale che attiva il cinematismo.

### Analisi cinematica lineare

Per determinare il moltiplicatore orizzontale dei carichi  $\alpha_0$ , che porta all'attivazione del meccanismo locale di danno, si applicano ai blocchi rigidi che compongono la catena cinematica le seguenti forze:

- i pesi propri dei blocchi applicati nel loro baricentro;
- i carichi verticali portati dagli stessi (pesi propri e sovraccarichi dei solai e della copertura, altri elementi murari non considerati nel modello strutturale);
- un sistema di forze orizzontali proporzionali ai carichi verticali portati, se queste non sono efficacemente trasmesse ad altre parti dell'edificio;
- eventuali forze esterne (ad esempio quelle trasmesse da catene metalliche);
- eventuali forze interne (ad esempio le azioni legate all'ingranamento tra i conci murari).

L'analisi si sviluppa nelle seguenti fasi<sup>14</sup>:

- Si assegna una rotazione virtuale  $\theta_k$  al generico blocco  $k$ ;
- Si determinano gli spostamenti delle diverse forze applicate nella rispettiva direzione in funzione della rotazione  $\theta_k$ ;
- Si ottiene il moltiplicatore  $\alpha_0$  applicando il Principio dei Lavori Virtuali in termini di spostamenti, uguagliando il lavoro totale eseguito dalle forze esterne e interne applicate al sistema in corrispondenza dell'atto di moto virtuale:

$$\alpha_0 \left( \sum_{i=1}^n P_i \delta_{x,i} + \sum_{j=n+1}^{n+m} P_j \delta_{x,j} \right) - \sum_{i=1}^n P_i \delta_{y,i} - \sum_{h=1}^o F_h \delta_h = L_{fi}$$

dove:

$n$  è il numero di tutte le forze peso applicate ai diversi blocchi della catena cinematica;

<sup>14</sup> Circolare 2 febbraio 2009, n. 617 - Istruzioni per l'applicazione delle "Nuove norme tecniche per le costruzioni" di cui al decreto ministeriale 14 gennaio 2008. Allegato C8A.4.1

$m$  è il numero di forze peso non direttamente gravanti sui blocchi le cui masse, per effetto dell'azione sismica, generano forze orizzontali sugli elementi della catena cinematica, in quanto non efficacemente trasmesse ad altre parti dell'edificio;

$o$  è il numero di forze esterne, non associate a masse, applicate ai diversi blocchi;

$P_i$  è la generica forza applicata (peso proprio del blocco, applicato sul baricentro, o un altro peso portato);

$P_j$  è la generica forza peso, non direttamente applicata sui blocchi, la cui massa, per effetto dell'azione sismica, genera una forza orizzontale sugli elementi della catena cinematica, in quanto non efficacemente trasmessa ad altre parti dell'edificio;

$\delta_{x,i}$  è lo spostamento virtuale orizzontale del punto di applicazione dell' $i$ -esimo peso  $P_i$ , assumendo come verso positivo quello associato alla direzione secondo cui agisce l'azione sismica che attiva il meccanismo;

$\delta_{x,j}$  è lo spostamento virtuale orizzontale del punto di applicazione dell' $j$ -esimo peso  $P_j$ , assumendo come verso positivo quello associato alla direzione secondo cui agisce l'azione sismica che attiva il meccanismo;

$\delta_{y,i}$  è lo spostamento virtuale verticale del punto di applicazione dell' $i$ -esimo peso  $P_i$ , assunto positivo se verso l'alto;

$F_h$  è la generica forza esterna (in valore assoluto), applicata a un blocco;

$\delta_h$  è lo spostamento virtuale del punto dove è applicata la  $h$ -esima forza esterna, nella direzione della stessa, di segno positivo se con verso discorde;

$L_{fi}$  è il lavoro di eventuali forze interne.

### Analisi cinematica non lineare

Per valutare la capacità di spostamento della struttura fino ad arrivare al collasso attraverso il meccanismo considerato, si può valutare il moltiplicatore dei carichi  $\alpha$  non solo sulla configurazione iniziale, ma anche su configurazioni variata della catena cinematica, rappresentative dell'evoluzione del meccanismo e descritte dallo spostamento  $d_k$  di un punto di controllo del sistema.

L'analisi deve essere condotta fino al raggiungimento della configurazione cui corrisponde l'annullamento del moltiplicatore  $\alpha$ , in corrispondenza dello spostamento  $d_{k,0}$ , cioè lo spostamento ultimo che si raggiunge con il collasso.

Questa configurazione si può ottenere esprimendo la geometria in una generica configurazione variata, funzione della rotazione finita  $\theta_{k,0}$ , applicando il Principio dei Lavori Virtuali attraverso la seguente equazione:

$$\alpha = \alpha_0 \left( \frac{1 - d_k}{d_{k,0}} \right)$$

Avendo posto  $\alpha=0$  e ricavando da tale equazione l'incognita  $\theta_{k,0}$ .

Noto l'andamento del moltiplicatore orizzontale  $\alpha$  dei carichi in funzione dello spostamento  $d_k$  del punto di controllo della struttura, bisogna definire la curva di

capacità dell'oscillatore equivalente, espressa come relazione tra l'accelerazione  $a^*$  e lo spostamento  $d^*$ .

La massa partecipante al cinematismo  $M^*$  può essere valutata considerando gli spostamenti virtuali dei punti di applicazione dei diversi pesi, associati al cinematismo, come una forma modale di vibrazione:

$$M^* = \frac{(\sum_{i=1}^{n+m} P_i \delta_{x,i})^2}{g \sum_{i=1}^{n+m} P_i \delta_{x,i}^2}$$

dove:

$n+m$  è il numero delle forze peso  $P_i$  applicate le cui masse, per effetto dell'azione sismica, generano forze orizzontali sugli elementi della catena cinematica;

$\delta_{x,i}$  è lo spostamento virtuale orizzontale del punto di applicazione dell' $i$ -esimo peso  $P_i$ .

L'accelerazione sismica spettrale si ottiene moltiplicando per l'accelerazione di gravità il moltiplicatore  $\alpha$  e dividendo per la frazione di massa partecipante al cinematismo.

L'accelerazione spettrale di attivazione del meccanismo vale:

$$a_0^* = \frac{\alpha_0 \sum_{i=1}^{n+m} P_i}{M^* FC} = \frac{\alpha_0 g}{e^* FC}$$

dove:

$g$  è l'accelerazione di gravità;

$e^* = gM^* / \sum_{i=1}^{n+m} P_i$  è la frazione di massa partecipante della struttura;

$FC$  è il fattore di confidenza valutato precedentemente.

In via approssimativa, noto lo spostamento del punto di controllo  $d_k$ , è possibile definire lo spostamento spettrale equivalente con riferimento agli spostamenti virtuali sulla configurazione iniziale:

$$d^* = d_k \frac{\sum_{i=1}^{n+m} P_i \delta_{x,i}^2}{\delta_{x,k} \sum_{i=1}^{n+m} P_i \delta_{x,i}}$$

dove:

$n, m, P_i, \delta_{x,i}$  sono definiti come sopra;

$\delta_{x,k}$  è lo spostamento virtuale orizzontale del punto  $k$ , assunto come riferimento per la determinazione dello spostamento  $d_k$ .

Nel caso in cui la curva presenti un andamento lineare, fatto che si verifica quando le diverse azioni vengono mantenute costanti, la curva di capacità assume la seguente espressione:

$$a^* = a_0^* \left( \frac{1 - d^*}{d_0^*} \right)$$

dove:

$d_0^*$  è lo spostamento spettrale equivalente corrispondente allo spostamento  $d_{k,0}$ .



Nel caso in cui siano presenti forze esterne di entità variabile, la curva sarà di norma assunta lineare a tratti.

La resistenza e la capacità di spostamento relativa allo Stato limite di danno (SLD) e allo Stato limite di salvaguardia della vita (SLV) è valutata sulla curva di capacità, in corrispondenza dei seguenti punti:

- SLD: dall'accelerazione spettrale  $a_0^*$ , corrispondente all'attivazione del meccanismo di danno;
- SLV: dallo spostamento spettrale  $d_u^*$ , corrispondente al minore fra gli spostamenti così definiti:
  - a. il 40% dello spostamento per cui si annulla l'accelerazione spettrale  $a^*$ , valutata su una curva in cui si considerino solamente le azioni di cui è verificata la presenza fino al collasso;
  - b. lo spostamento corrispondente a situazioni localmente incompatibili con la stabilità degli elementi della costruzione (ad esempio sfilamento di travi), nei casi in cui questo sia valutabile.

Nel caso di meccanismi locali, lo Stato limite di danno corrisponde all'insorgere di fessurazioni che non interessano l'intera struttura, ma solo una sua parte; perciò nel caso di edifici esistenti in muratura, considerando anche le esigenze di conservazione, pur essendo auspicabile il soddisfacimento di questo limite, la sua verifica non è richiesta.

## 5.7 VERIFICHE DI SICUREZZA

### Stato limite di danno

La verifica di sicurezza nei confronti dello Stato limite di danno è soddisfatta quando l'accelerazione spettrale di attivazione del meccanismo è superiore all'accelerazione di picco della domanda sismica.

Se la verifica riguarda un elemento isolato o una porzione della costruzione appoggiata a terra, l'accelerazione di attivazione del meccanismo viene confrontata con l'accelerazione al suolo, ovvero lo spettro elastico valutato per  $T=0$ :

$$a_0^* \geq a_g(P_{VR}) \cdot S$$

dove:

$a_g$  è funzione della probabilità di superamento dello stato limite scelto e della vita di riferimento;

$S$  è il coefficiente che tiene conto della categoria del sottosuolo e delle condizioni topografiche.

Se invece il meccanismo locale interessa una parte della costruzione posta a una certa quota, bisogna tener conto che l'accelerazione assoluta alla quota interessata è in genere amplificata rispetto a quella del suolo. Quindi bisogna verificare anche che:

$$a_0^* \geq S_e(T_1) \cdot \psi(Z) \cdot \gamma$$

dove:

**$S_e(T_1)$**  è lo spettro elastico funzione della probabilità di superamento dello stato limite scelto (in questo caso 63%) e del periodo di riferimento  $V_R$ , calcolato per il periodo  $T_1$ ;

**$T_1$**  è il primo periodo di vibrazione dell'intera struttura nella direzione considerata;

**$\psi(Z)$**  è il primo modo di vibrazione nella direzione considerata, normalizzato ad uno in sommità all'edificio; in assenza di valutazioni più accurate può essere assunto  $\psi(Z)=Z/H$ , dove  $H$  è l'altezza della struttura rispetto alla fondazione;

**$Z$**  è l'altezza rispetto alla fondazione dell'edificio, del baricentro delle linee di vincolo tra i blocchi interessati dal meccanismo e il resto della struttura;

**$\gamma$**  è il corrispondente coefficiente di partecipazione modale (in assenza di valutazioni più accurate può essere assunto  $\gamma=3N/(2N+1)$ , con  $N$  numero di piani dell'edificio).

### Stato limite di salvaguardia della vita

La verifica allo Stato limite di salvaguardia della vita dei meccanismi locali può essere svolta in due modi diversi.

#### Verifica semplificata con fattore di struttura $q$ (analisi cinematica lineare)

Se la verifica riguarda un elemento isolato o una porzione della costruzione appoggiata a terra, la verifica di sicurezza nei confronti dello Stato limite di salvaguardia della vita è soddisfatta se l'accelerazione spettrale  $a_0^*$  che attiva il meccanismo soddisfa la seguente disuguaglianza:

$$a_0^* \geq \frac{a_g(P_{V_R})S}{q}$$

dove:

**$a_g$**  è funzione della probabilità di superamento dello stato limite scelto e della vita di riferimento;

**$S$**  è lo spettro elastico funzione della probabilità di superamento dello stato limite scelto e del periodo di riferimento  $V_R$ ;

**$q$**  è il fattore di struttura, che può essere assunto pari a 2,0.

Se invece il meccanismo locale interessa una porzione della costruzione posta a una certa quota, bisogna tener conto che l'accelerazione assoluta alla quota interessata è in genere amplificata rispetto a quella al suolo. Quindi bisogna verificare anche che:

$$a_0^* \geq \frac{S_e(T_1) \cdot \psi(Z) \cdot \gamma}{q}$$

dove:

$S_e(T_1)$ ,  $\psi(Z)$  e  $\gamma$  sono definite come in precedenza, tenendo conto che lo spettro di risposta è riferito alla probabilità di superamento del 10%, nel periodo di riferimento  $V_R$ .

Verifica mediante spettro di capacità (analisi cinematica non lineare)

La verifica di sicurezza dei meccanismi locali nei confronti dello Stato limite di salvaguardia della vita consiste nel confronto tra la capacità di spostamento ultimo  $d_u^*$  del meccanismo locale e la domanda di spostamento ottenuta dallo spettro di spostamento in corrispondenza del periodo secante  $T_s$ .

Definito lo spostamento  $d_s^* = 0,4d_u^*$  e individuata sulla curva di capacità l'accelerazione  $a_s^*$ , corrispondente allo spostamento  $d_s^*$ , il periodo secante è calcolato  $T_s = 2\pi \sqrt{\frac{d_s^*}{a_s^*}}$ .

La domanda di spostamento  $\Delta_d(T_s)$  si ottiene:

- se la verifica riguarda un elemento isolato o una porzione della costruzione appoggiata a terra, la verifica di sicurezza nei confronti dello Stato limite di salvaguardia della vita è soddisfatta se:

$$d_u^* \geq S_{De}(T_s)$$

dove  $S_{De}$  è lo spettro di risposta elastico in spostamento.

- Se invece la verifica riguarda una porzione della costruzione posta a una certa quota, bisogna considerare lo spettro di risposta in spostamento del moto alla quota interessata. Una approssimazione accettabile consiste nel verificare anche:

$$d_u^* \geq S_{De}(T_1) \cdot \psi(Z) \cdot \gamma \frac{\left(\frac{T_s}{T_1}\right)^2}{\sqrt{\left(1 - \frac{T_s}{T_1}\right)^2 + 0,02 \frac{T_s}{T_1}}}$$

## **5.8 VERIFICA DEI MACROELEMENTI**

All'interno di Palazzo Sala sono stati individuati quindici macroelementi, per i quali sono stati analizzati quarantotto meccanismi di collasso.

Questi macroelementi sono stati identificati in tutti e tre i blocchi dell'edificio, in modo tale da effettuare un'analisi esaustiva di tutto il complesso edilizio.

In particolare: due macroelementi appartengono al blocco C, due al blocco B e undici al blocco A.

Questa suddivisione si può osservare nella Tavola 5.01.

Per lo studio dei cinematismi è stata svolta in maniera manuale, a titolo esemplificativo, l'analisi del cinematismo 1 del macroelemento 1; mentre per tutte le altre analisi e relative verifiche è stato creato un foglio di calcolo in Excel, all'interno del quale sono state inserite tutte le formule, fornite dalla norma, necessarie per effettuare i calcoli e le verifiche.

Il foglio di calcolo Excel consente di velocizzare i calcoli per ciascun macroelemento.

Nelle tabelle del foglio di calcolo in rosso vengono riportati i dati che variano in base alle caratteristiche geometriche del macroelemento considerato e in bordeaux vengono riportati i dati che il foglio Excel calcola automaticamente in seguito all'inserimento delle specifiche formule.

### Macroelemento 1 – Cinematismo 1

Di seguito viene presentata per esteso l'analisi del meccanismo corrispondente al ribaltamento fuori piano della facciata nord del blocco C.

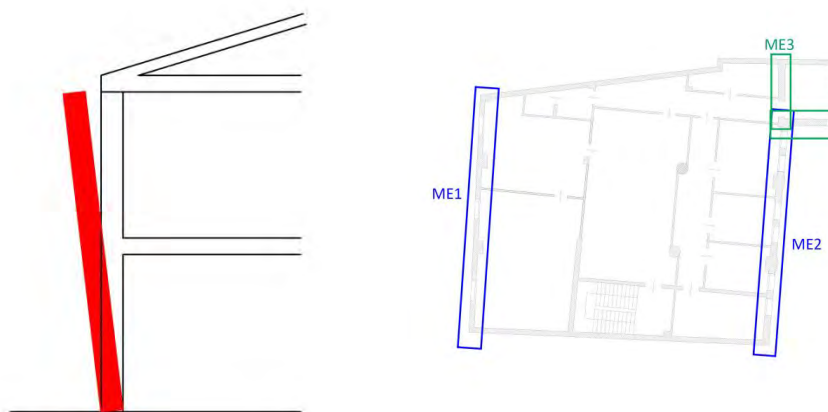


Figura 5.7 Rappresentazione del meccanismo di ribaltamento e riferimento planimetrico

Nella Tabella 5.16 vengono indicati tutti i dati necessari per il calcolo del coefficiente di attivazione del meccanismo di collasso.

DATI GEOMETRICI		DATI MATERIALE		CARICHI			
n [piani]	2,00	$\gamma$ [kN/m <sup>3</sup> ]	18,00	G1 [kN/m <sup>2</sup> ]	0,00	P1 [kN]	0,00
H [m]	5,72	f <sub>m</sub> [Mpa]	240,00	G2 [kN/m <sup>2</sup> ]	0,00	P2 [kN]	0,00
z [m]	0,00	$\tau_0$ [Mpa]	6,00	G3 [kN/m <sup>2</sup> ]	4,80	P3 [kN]	273,32
htot [m]	5,72	g [m/s <sup>2</sup> ]	9,81	G4 [kN/m <sup>2</sup> ]	3,40	P4 [kN]	242,95
h1 [m]	0,00	FC	1,35	G <sub>cop</sub> [kN/m <sup>2</sup> ]	4,00	N1 [kN]	0,00
h2 [m]	0,00	f <sub>md</sub> [Mpa]	0,89	Q1 [kN/m <sup>2</sup> ]	0,00	N2 [kN]	0,00
h3 [m]	2,86	f <sub>vd</sub> [Mpa]	0,02	Q2 [kN/m <sup>2</sup> ]	0,00	N3 [kN]	397,06
h4 [m]	2,86	ag [m/s <sup>2</sup> ]	0,99	Q3 [kN/m <sup>2</sup> ]	6,00	N4 [kN]	311,14
b1 [m]	0,00	F0	2,60	Q4 [kN/m <sup>2</sup> ]	0,50		
b2 [m]	0,00	TC* [s]	0,34	Q <sub>neve</sub> [kN/m <sup>2</sup> ]	1,00		
b3 [m]	0,45	$\eta$	1,00	$\psi_1$	0,00		
b4 [m]	0,40	S	1,50	$\psi_2$	0,00		
d1 [m]	0,00	Cc	1,50	$\psi_3$	0,80		
d2 [m]	0,00	Tc [s]	0,51	$\psi_4$	0,00		
d3 [m]	0,30	TB [s]	0,17	$\psi_{neve}$	0,00		
d4 [m]	0,30	TD [s]	2,00				
l [m]	14,19	C1	0,05				
Asolaio [m <sup>2</sup> ]	41,36	q	2,00				
A <sub>cop</sub> [m <sup>2</sup> ]	42,63	TE [s]	6,00				
A1 <sub>apert</sub> [m <sup>2</sup> ]	0,00	TF [s]	10,00				
A2 <sub>apert</sub> [m <sup>2</sup> ]	0,00						
A3 <sub>apert</sub> [m <sup>2</sup> ]	6,84						
A4 <sub>apert</sub> [m <sup>2</sup> ]	6,84						

Tabella 5.16 Parametri necessari al calcolo del coefficiente di attivazione del meccanismo di collasso

Ipotizzando una cerniera plastica alla base del paramento murario si ricava il valore del moltiplicatore critico calcolando il rapporto tra momento stabilizzante e momento ribaltante.

$$t=0,06 \text{ m}$$

$$M_s=243,40 \text{ kN}$$

$$M_R=4348,44 \text{ KN}$$

$$\alpha = \frac{P_3 \cdot \left(\frac{b_3}{2} - t\right) + N_3 \cdot (d_3 - t) + P_4 \cdot \left(\frac{b_4}{2} - t\right) + N_4 \cdot (d_4 - t)}{P_3 \cdot \left(\frac{h_3}{2}\right) + N_3 \cdot h_3 + P_4 \cdot \left(\frac{h_4}{2} + h_3\right) + N_4 \cdot (h_3 + h_4)} = 0,06$$

Una volta ottenuto  $\alpha$ , si determinano gli spostamenti virtuali delle forze in gioco.

$$\theta=0,17$$

SPOSTAMENTI VIRTUALI	
$\delta N1$	0,00
$\delta N2$	0,00
$\delta N3$	0,50
$\delta N4$	1,00
$\delta P1$	0,00
$\delta P2$	0,00
$\delta P3$	0,25
$\delta P4$	0,75

Tabella 5.17 Spostamenti virtuali delle forze in gioco

Poi si procede al calcolo della massa partecipante al meccanismo, della frazione di massa partecipante e dell'accelerazione spettrale sismica.

$$M^* = \frac{(\sum_{i=1}^{n+m} P_i \delta_{x,i})^2}{g \cdot \sum_{i=1}^{n+m} P_i \delta_{x,i}^2} = 104,43 \text{ kN}$$

$$e^* = \frac{g \cdot M^*}{\sum_{i=1}^{n+m} P_i} = 0,84$$

$$\alpha_0^* = \frac{\alpha_0 \cdot \sum_{i=1}^{n+m} P_i}{M^* \cdot F_C} = 0,49 \text{ m/s}^2$$

### Verifica dello Stato Limite di salvaguardia della Vita con analisi lineare

Affinchè il cinematiso risulti verificato è necessario controllare che l'accelerazione spettrale di attivazione del meccanismo soddisfi la seguente condizione:

$$a_0^* \geq \max\left(\frac{a_g(P_{VR})S}{q}; \frac{S_e(T_1) \cdot \psi(Z) \cdot \gamma}{q}\right)$$

$$a_0^* \geq \max(0,74; 0,00)$$

La verifica lineare risulta non soddisfatta.

Nella tabella 5.18 sono riassunti tutti i dati necessari per la verifica lineare.

VERIFICA SLV LINEARE			
T1 [s]	0,18	a1 [m/s <sup>2</sup> ]	0,74
Ψ(z)	0,00	a2 [m/s <sup>2</sup> ]	0,00
γ	1,20	a0* [m/s <sup>2</sup> ]	0,49
Se(T1) [m/s <sup>2</sup> ]	3,86	a0*>max(a1;a2)	NON VERIFICATA

Tabella 5.18 Parametri necessari per la verifica lineare

### Verifica dello Stato Limite di salvaguardia della Vita con analisi non lineare

Si deve determinare l'angolo  $\theta_{k0}$ , a cui corrisponde lo spostamento  $d_{k0}$  del punto di controllo considerato, che caratterizza la configurazione per cui si ha l'annullamento del momento stabilizzante  $M_s$ .

$\theta_{k0}$  si ottiene ponendo uguale a zero l'equazione di  $M_s$ :

$$M_s = \sum_i P_i R_i \cos(\beta_i \theta_{k0}) = 0$$

$$\theta_{k0} = 0,055915 \text{ rad}$$

Essendo:

$$\beta_{Pi} = \arctg\left(\frac{\frac{h_{Pi}}{2}}{\frac{b_i}{2}}\right)$$

$$R_{Pi} = \sqrt{\left(\frac{h_{Pi}}{2}\right)^2 + \left(\frac{b_i}{2}\right)^2}$$

Ne deriva che:

$$d_{k0} = h_{bar} \cdot \sin \theta_{k0} = 0,20 \text{ m}$$

Essendo:

$$h_{bar} = \frac{P_3 \cdot \left(\frac{h_3}{2}\right) + N_3 \cdot h_3 + P_4 \cdot \left(h_3 + \frac{h_4}{2}\right) + N_4 \cdot h_4}{P_3 + N_3 + P_4 + N_4} = 3,55 \text{ m}$$

Lo spostamento spettrale  $d_0^*$  dell'oscillatore equivalente a 1G.D.L. è dato da:

$$d_0^* = d_{k0} \cdot \frac{\sum_{i=1}^{n+m} P_i \delta_{x,i}^2}{\delta_{x,k} \sum_{i=1}^{n+m} P_i \delta_{x,i}} = 0,24 \text{ m}$$

Lo spostamento ultimo  $d_u^*$  è:

$$d_u^* = 0,4 d_0^* = 0,09 \text{ m}$$

Lo spostamento spettrale valutato in conformità con il periodo secante  $T_s$  è:

$$d_s^* = 0,4 d_u^* = 0,04 \text{ m}$$

L'accelerazione corrispondente è:

$$a_s^* = a_0^* \left( \frac{1-d_s^*}{d_0^*} \right) = 0,41 \text{ m/s}^2$$

Il periodo secante vale:

$$T_s = 2\pi \sqrt{\frac{d_s^*}{a_s^*}} = 1,92 \text{ s}$$

Nella tabella 5.19 vengono riassunti tutti i parametri necessari per la verifica non lineare.

VERIFICA SLV NON LINEARE					
RP1 [m]	0,06	$\beta$ P1 [rad]	0,00	Ms	0,00
RP2 [m]	0,06	$\beta$ P2 [rad]	0,00	$\theta$ [rad]	0,055915
RP3 [m]	1,44	$\beta$ P3 [rad]	1,46	hbar [m]	3,55
RP4 [m]	4,29	$\beta$ P4 [rad]	1,54	dk0 [m]	0,20
RN1 [m]	0,06	$\beta$ N1 [rad]	0,00	$\delta$ xhbar	0,62
RN2 [m]	0,06	$\beta$ N2 [rad]	0,00	d0* [m]	0,24
RN3 [m]	2,87	$\beta$ N3 [rad]	1,49	du* [m]	0,09
RN4 [m]	5,72	$\beta$ N4 [rad]	1,53	ds* [m]	0,04
				as* [m/s2]	0,41
				Ts* [s]	1,92
SDe1 [m/s2]	0,10			SDe(Ts) [m/s2]	0,10
SDe2 [m/s2]	0,00			SDe(T1) [m/s2]	0,00
du* [m]	0,09			Se(TS) [m/s2]	1,07
du* > max(SDe1; SDe2)		NON VERIFICATA			

Tabella 5.19 Parametri necessari per la verifica non lineare

Anche la verifica non lineare risulta non soddisfatta, si deve quindi procedere al calcolo dei tiranti.



### Calcolo dei tiranti

Con il termine tirante si indica solitamente una barra di acciaio che collega due murature fra di loro, in modo tale da garantire un movimento sincrono durante l'azione sismica, impedendo così fenomeni di ribaltamento fuori dal piano.

Le barre di acciaio si innestano nella muratura a livello dei solai e si agganciano alla parete tramite piastre di ancoraggio.

Dal punto di vista del modello di calcolo, si potrebbero schematizzare i tiranti come forze orizzontali di tipo stabilizzante.

Si ipotizza un acciaio AISI 304 con tensione di snervamento  $f_y=240$  MPa, il diametro delle barre utilizzate è di 18 mm, le piastre di ancoraggio misurano 0,30x0,30 m.

Nella tabella 5.20 vengono riassunte le caratteristiche meccaniche e geometriche che saranno valide per tutti i tiranti eventualmente necessari nei diversi macroelementi.

PREDIMENSIONAMENTO	
$f_y$ [Mpa]	240,00
$\varnothing$ [mm]	18,00
$a$ [m]	0,30
$b$ [m]	0,30
$t$ [m]	0,45

Figura 5.20 Caratteristiche meccaniche e geometriche dei tiranti

Le caratteristiche della muratura sono quelle assunte in precedenza per il calcolo dei meccanismi di collasso.

Si determina quindi la portata di un singolo tirante che è data dal minimo tra i seguenti valori di resistenza:

$$T_{singolo} < \min(T_A, T_B, T_C)$$

$T_A$  è il meccanismo di rottura relativo allo snervamento dei tiranti:

$$T_A = A_s \cdot f_y$$

$T_B$  è il meccanismo di rottura relativo al punzonamento della muratura nella zona di ancoraggio:

$$T_B = f_y \cdot [2(a + t) + 2(b + t)]$$

$T_C$  è il meccanismo di rottura relativo alla resistenza del muro nei confronti della penetrazione dell'ancoraggio, dovuto all'eccesso di pressione nel contatto:

$$T_C = \sigma_R \cdot a \cdot b$$

Essendo:

$f_y$  tensione di snervamento dei tiranti;

$A_s$  area della sezione trasversale dei tiranti;

$a$  larghezza del capochiave;

- b** larghezza del capochiave;
- t** spessore della parete su cui sono ancorati i tiranti;
- $\sigma_R$**  resistenza a compressione di calcolo della muratura;

La tensione dei tiranti viene calcolata trovando un nuovo coefficiente  $\alpha_0$  sulla base dell' $a_0^*$  massimo tra quelli ricavati dalla precedente verifica lineare.

Si ricalcola  $M_S/M_R$  inserendo nel momento stabilizzante anche la forza T del tirante, che sarà l'unica incognita dell'equazione.

$$\alpha_0 = \frac{a_0^* \cdot e^* \cdot F_C}{g} = \frac{0,74 \cdot 0,84 \cdot 1,35}{9,81} = 0,085$$

$$\alpha_0 = \frac{M_s + \left(\frac{h_4}{h_{tot}}\right) \cdot T \cdot h_4 + T \cdot h_{tot}}{M_R}$$

$T_4=17,95$  kN

$T_3=8,97$  kN

La tabella 5.21 raccoglie i parametri e i risultati del calcolo dei tiranti.

<b>TIRANTI</b>			
<b><math>a_0^*</math> [m/s<sup>2</sup>]</b>	0,74	<b>T4 [kN]</b>	17,95
<b><math>\alpha_0</math> [m/s<sup>2</sup>]</b>	0,09	<b>T3 [kN]</b>	8,97
<b>Tmin [kN]</b>	17,95	<b>T2 [kN]</b>	0,00
		<b>T1 [kN]</b>	0,00

<b>VERIFICA TIRANTI</b>	
<b>ROTTURA BARRA</b>	
<b>T' [kN]</b>	61,04

<b>PUNZONAMENTO MURATURA</b>	
<b>T'' [kN]</b>	27,00

<b>SCHIACCIAMENTO MURO</b>	
<b>T''' [kN]</b>	80,1

<b>T4</b>	VERIFICATO
<b>T3</b>	VERIFICATO
<b>T2</b>	VERIFICATO
<b>T1</b>	VERIFICATO

**Si dispone un tirante per piano**

Tabella 5.21 Tabella di calcolo dei tiranti

### Macroelemento 1 – Cinematismo 2

Di seguito viene presentato il meccanismo parziale relativo al macroelemento 1, che consiste nel ribaltamento semplice delle pareti relative al piano primo, attraverso una rotazione attorno alla cerniera cilindrica posta alla base della parete del piano primo. Il procedimento di verifica si svolge in maniera analoga al precedente, quindi vengono riportati i risultati.

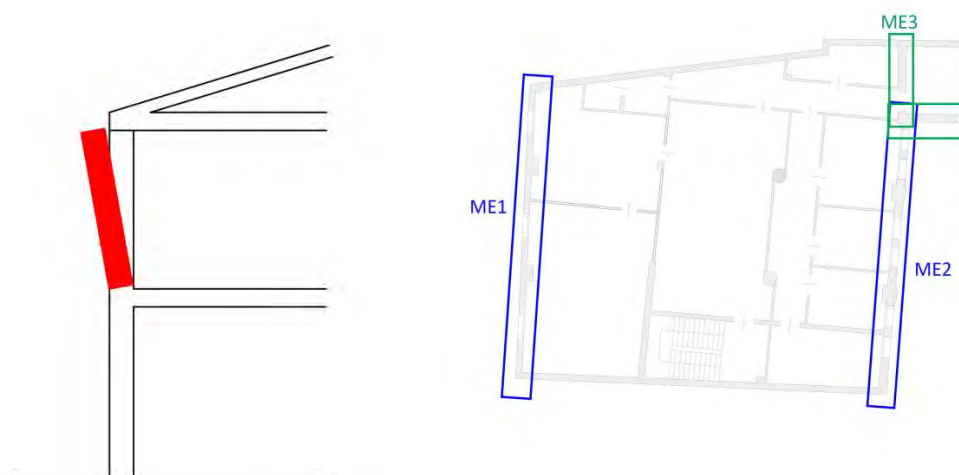


Figura 5.8 Rappresentazione del meccanismo di ribaltamento e riferimento planimetrico

Come prima si procede al calcolo degli spostamenti orizzontali  $\delta_{x,i}$ , della massa partecipante  $M^*$ , della frazione di massa partecipante  $e^*$  e dell'accelerazione sismica spettrale  $a_0^*$ .

Si svolge la verifica lineare allo SLV, ed essendo questa non soddisfatta, si procede mediante verifica non lineare allo SLV, che risulta anch'essa non soddisfatta, quindi si calcolano i tiranti.

DATI GEOMETRICI		DATI MATERIALE		CARICHI			
n [piani]	2,00	$\gamma$ [kN/m <sup>3</sup> ]	18,00	G1 [kN/m <sup>2</sup> ]	0,00	P1 [kN]	0,00
H [m]	5,72	f <sub>m</sub> [Mpa]	240,00	G2 [kN/m <sup>2</sup> ]	0,00	P2 [kN]	0,00
z [m]	2,86	t <sub>0</sub> [Mpa]	6,00	G3 [kN/m <sup>2</sup> ]	0,00	P3 [kN]	0,00
htot [m]	2,86	g [m/s <sup>2</sup> ]	9,81	G4 [kN/m <sup>2</sup> ]	3,40	P4 [kN]	242,95
h1 [m]	0,00	FC	1,35	Gcop [kN/m <sup>2</sup> ]	4,00	N1 [kN]	0,00
h2 [m]	0,00	f <sub>md</sub> [Mpa]	0,89	Q1 [kN/m <sup>2</sup> ]	0,00	N2 [kN]	0,00
h3 [m]	0,00	f <sub>vd</sub> [Mpa]	0,02	Q2 [kN/m <sup>2</sup> ]	0,00	N3 [kN]	0,00
h4 [m]	2,86	ag [m/s <sup>2</sup> ]	0,99	Q3 [kN/m <sup>2</sup> ]	0,00	N4 [kN]	311,14
b1 [m]	0,00	F0	2,60	Q4 [kN/m <sup>2</sup> ]	0,50		
b2 [m]	0,00	TC* [s]	0,34	Qneve [kN/m <sup>2</sup> ]	1,00		
b3 [m]	0,00	$\eta$	1,00	$\psi_1$	0,00	t [m]	0,03
b4 [m]	0,40	S	1,50	$\psi_2$	0,00	$\alpha$	0,10
d1 [m]	0,00	Cc	1,50	$\psi_3$	0,80	Ms [kNm]	125,73
d2 [m]	0,00	Tc [s]	0,51	$\psi_4$	0,00	MR [kNm]	1237,29
d3 [m]	0,00	TB [s]	0,17	$\psi_{neve}$	0,00	$\vartheta$	0,35
d4 [m]	0,30	TD [s]	2,00				
l [m]	14,19	C1	0,05	SPOSTAMENTI VIRTUALI		CURVA DI CAPACITÀ	
Asolaio [m <sup>2</sup> ]	41,36	q	2,00	$\delta_{N1}$	0,00	M* [kN]	51,30
Acop [m <sup>2</sup> ]	42,63	TE [s]	6,00	$\delta_{N2}$	0,00	e*	0,91
A1apert [m <sup>2</sup> ]	0,00	TF [s]	10,00	$\delta_{N3}$	0,00	a0* [m/s <sup>2</sup> ]	0,81
A2apert [m <sup>2</sup> ]	0,00			$\delta_{N4}$	1,00		
A3apert [m <sup>2</sup> ]	0,00			$\delta_{P1}$	0,00		
A4apert [m <sup>2</sup> ]	6,84			$\delta_{P2}$	0,00		
				$\delta_{P3}$	0,00		
				$\delta_{P4}$	0,50		

VERIFICA SLV LINEARE			
T1 [s]	0,18	a1 [m/s <sup>2</sup> ]	0,74
$\Psi(z)$	0,50	a2 [m/s <sup>2</sup> ]	1,16
$\gamma$	1,20	a0* [m/s <sup>2</sup> ]	0,81
Se(T1) [m/s <sup>2</sup> ]	3,86	a0* > max(a1;a2)	NON VERIFICATA

VERIFICA SLV NON LINEARE					
RP1 [m]	0,03	$\beta_{P1}$ [rad]	0,00	Ms	0,00
RP2 [m]	0,03	$\beta_{P2}$ [rad]	0,00	$\theta$ [rad]	0,10127
RP3 [m]	0,03	$\beta_{P3}$ [rad]	0,00	hbar [m]	2,23
RP4 [m]	1,44	$\beta_{P4}$ [rad]	1,45	dk0 [m]	0,23
RN1 [m]	0,03	$\beta_{N1}$ [rad]	0,00	$\delta_{xhbar}$	0,78
RN2 [m]	0,03	$\beta_{N2}$ [rad]	0,00	d0* [m]	0,25
RN3 [m]	0,03	$\beta_{N3}$ [rad]	0,00	du* [m]	0,10
RN4 [m]	2,87	$\beta_{N4}$ [rad]	1,48	ds* [m]	0,04
				as* [m/s <sup>2</sup> ]	0,68
				Ts* [s]	1,52
SDe1 [m/s <sup>2</sup> ]	0,10			SDe(Ts) [m/s <sup>2</sup> ]	0,10
SDe2 [m/s <sup>2</sup> ]	0,02			SDe(T1) [m/s <sup>2</sup> ]	0,00
du* [m]	0,10			Se(TS) [m/s <sup>2</sup> ]	1,71
du* > max(SDe1;SDe2)		NON VERIFICATA			

Tabella 5.22 Tabella di calcolo del cinematismo e relative verifiche

<b>TIRANTI</b>			
<b>a0* [m/s2]</b>	1,16	<b>T4 [kN]</b>	9,34
<b>α0 [m/s2]</b>	0,14	<b>T3 [kN]</b>	0,00
<b>Tmin [kN]</b>	9,34	<b>T2 [kN]</b>	0,00
		<b>T1 [kN]</b>	0,00

<b>VERIFICA TIRANTI</b>	
<b>ROTTURA BARRA</b>	
<b>T' [kN]</b>	61,04

<b>PUNZONAMENTO MURATURA</b>	
<b>T'' [kN]</b>	27,00

<b>SCHIACCIAMENTO MURO</b>	
<b>T''' [kN]</b>	80,1

<b>T4</b>	VERIFICATO
<b>T3</b>	VERIFICATO
<b>T2</b>	VERIFICATO
<b>T1</b>	VERIFICATO

Si dispone un tirante per piano

Tabella 5.23 Tabella di calcolo dei tiranti

**Macroelemento 1 – Cinematismo 3**

Di seguito viene presentato il meccanismo relativo al macroelemento 1, che consiste nella flessione verticale di una porzione in quota della parete, attraverso la formazione di una cerniera cilindrica orizzontale che divide la parete in due blocchi distinti.

Il procedimento di verifica si svolge in maniera analoga al precedente, quindi vengono riportati i risultati.

Le verifiche si svolgono mediante l'applicazione del principio dei lavori virtuali.

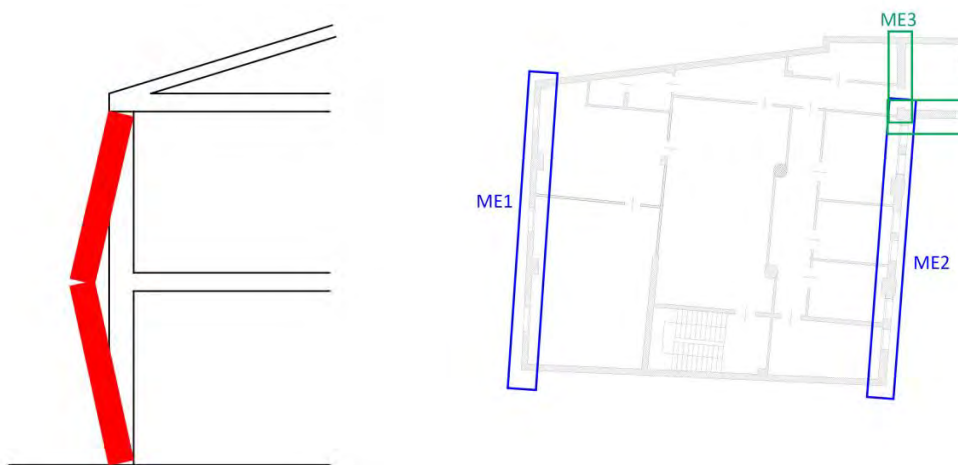


Figura 5.9 Rappresentazione del meccanismo di flessione e riferimento planimetrico

Successivamente si procede al calcolo degli spostamenti orizzontali  $\delta_{x,i}$ , della massa partecipante  $M^*$ , della frazione di massa partecipante  $e^*$  e dell'accelerazione sismica spettrale  $a_0^*$ .

Si svolge la verifica lineare allo SLV, ed essendo questa soddisfatta non è necessario procedere oltre.

DATI GEOMETRICI		DATI MATERIALE		CARICHI			
n [piani]	2	$\gamma$ [kN/m <sup>3</sup> ]	18,00	G1 [kN/m <sup>2</sup> ]	0,00	P1 [kN]	0,00
H [m]	5,72	f <sub>m</sub> [Mpa]	240,00	G2 [kN/m <sup>2</sup> ]	0,00	P2 [kN]	0,00
z [m]	0,00	$\tau_0$ [Mpa]	6,00	G3 [kN/m <sup>2</sup> ]	4,80	P3 [kN]	273,32
htot [m]	5,72	g [m/s <sup>2</sup> ]	9,81	G4 [kN/m <sup>2</sup> ]	3,40	P4 [kN]	242,95
h1 [m]	0,00	FC	1,35	G <sub>cop</sub> [kN/m <sup>2</sup> ]	4,00	N1 [kN]	0,00
h2 [m]	0,00	f <sub>md</sub> [Mpa]	0,89	Q1 [kN/m <sup>2</sup> ]	0,00	N2 [kN]	0,00
h3 [m]	2,86	f <sub>vd</sub> [Mpa]	0,02	Q2 [kN/m <sup>2</sup> ]	0,00	N3 [kN]	397,06
h4 [m]	2,86	ag [m/s <sup>2</sup> ]	0,99	Q3 [kN/m <sup>2</sup> ]	6,00	N4 [kN]	311,14
b1 [m]	0,00	F0	2,60	Q4 [kN/m <sup>2</sup> ]	0,50		
b2 [m]	0,00	TC* [s]	0,34	Q <sub>neve</sub> [kN/m]	1,00		
b3 [m]	0,45	$\eta$	1,00	$\psi_1$	0,00	t [m]	0,06
b4 [m]	0,40	S	1,50	$\psi_2$	0,00	$\alpha$	0,26
d1 [m]	0,00	Cc	1,50	$\psi_3$	0,80	$\theta$	0,17
d2 [m]	0,00	Tc [s]	0,51	$\psi_4$	0,00		
d3 [m]	0,30	TB [s]	0,17	$\psi_{neve}$	0,00		
d4 [m]	0,30	TD [s]	2,00				
l [m]	14,19	C1	0,05	SPOSTAMENTI VIRTUA		CURVA DI CAPACITÀ	
A <sub>solaio</sub> [m <sup>2</sup> ]	41,36	q	2,00	$\delta N_{1x}$	0,00	M* [kN]	83,17
A <sub>cop</sub> [m <sup>2</sup> ]	42,63	TE [s]	6,00	$\delta N_{2x}$	0,00	e*	0,67
A1 <sub>apert</sub> [m <sup>2</sup> ]	0,00	TF [s]	10,00	$\delta N_{3x}$	2,86	a0* [m/s <sup>2</sup> ]	2,88
A2 <sub>apert</sub> [m <sup>2</sup> ]	0,00			$\delta N_{4x}$	0,00	$\phi$	1,00
A3 <sub>apert</sub> [m <sup>2</sup> ]	6,84			$\delta P_{1x}$	0,00	$\Theta$	1,00
A4 <sub>apert</sub> [m <sup>2</sup> ]	6,84			$\delta P_{2x}$	0,00		
				$\delta P_{3x}$	1,43		
				$\delta P_{4x}$	1,43		
				$\delta N_{1y}$	0,00		
				$\delta N_{2y}$	0,00		
				$\delta N_{3y}$	0,30		
				$\delta N_{4y}$	0,50		
				$\delta P_{1y}$	0,00		
				$\delta P_{2y}$	0,00		
				$\delta P_{3y}$	0,23		
				$\delta P_{4y}$	0,65		

VERIFICA SLV LINEARE			
T1 [s]	0,18	a1 [m/s <sup>2</sup> ]	0,74
$\Psi(z)$	0,00	a2 [m/s <sup>2</sup> ]	0,00
$\gamma$	1,20	a0* [m/s <sup>2</sup> ]	2,88
Se(T1) [m/s <sup>2</sup> ]	3,86	a0*>max(a1;a2)	VERIFICATA

Tabella 5.24 Tabella di calcolo del cinematismo e relative verifiche

**Macroelemento 2 – Cinematismo 1**

Di seguito viene presentata l'analisi del meccanismo corrispondente al ribaltamento fuori piano della facciata sud verso il cortile interno del blocco C.

Il meccanismo consiste nel ribaltamento globale della parete con rotazione attorno alla cerniera cilindrica posta alla base della muratura.

Il procedimento di verifica si svolge analogamente ai precedenti, quindi se ne riportano solo i risultati.

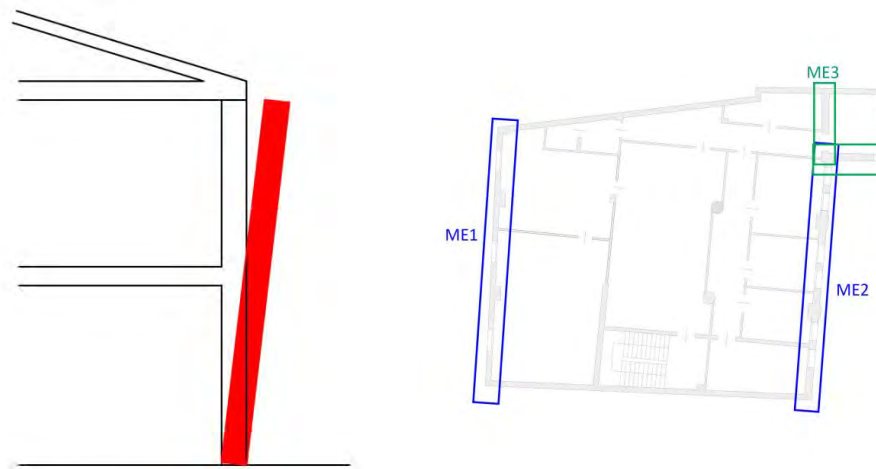


Figura 5.10 Rappresentazione del meccanismo di ribaltamento e riferimento planimetrico

Successivamente si procede al calcolo degli spostamenti orizzontali  $\delta_{x,i}$ , della massa partecipante  $M^*$ , della frazione di massa partecipante  $e^*$  e dell'accelerazione sismica spettrale  $a_0^*$ .

Si svolge la verifica lineare allo SLV, ed essendo questa non soddisfatta, si procede mediante verifica non lineare allo SLV, ed essendo questa soddisfatta non è necessario procedere oltre.



DATI GEOMETRICI		DATI MATERIALE		CARICHI			
n [piani]	2	$\gamma$ [kN/m <sup>3</sup> ]	18,00	G1 [kN/m <sup>2</sup> ]	0,00	P1 [kN]	0,00
H [m]	5,72	f <sub>m</sub> [Mpa]	240,00	G2 [kN/m <sup>2</sup> ]	0,00	P2 [kN]	0,00
z [m]	0,00	t <sub>0</sub> [Mpa]	6,00	G3 [kN/m <sup>2</sup> ]	4,80	P3 [kN]	163,47
htot [m]	5,72	g [m/s <sup>2</sup> ]	9,81	G4 [kN/m <sup>2</sup> ]	3,40	P4 [kN]	178,50
h1 [m]	0,00	FC	1,35	Gcop [kN/m <sup>2</sup> ]	4,00	N1 [kN]	0,00
h2 [m]	0,00	f <sub>md</sub> [Mpa]	0,89	Q1 [kN/m <sup>2</sup> ]	0,00	N2 [kN]	0,00
h3 [m]	2,86	f <sub>vd</sub> [Mpa]	0,02	Q2 [kN/m <sup>2</sup> ]	0,00	N3 [kN]	192,08
h4 [m]	2,86	ag [m/s <sup>2</sup> ]	0,99	Q3 [kN/m <sup>2</sup> ]	2,00	N4 [kN]	267,58
b1 [m]	0,00	F0	2,60	Q4 [kN/m <sup>2</sup> ]	0,50		
b2 [m]	0,00	TC* [s]	0,34	Qneve [kN/m <sup>2</sup> ]	1,00		
b3 [m]	0,45	$\eta$	1,00	$\psi_1$	0,00	t [m]	0,05
b4 [m]	0,40	S	1,50	$\psi_2$	0,00	$\alpha$	0,06
d1 [m]	0,00	Cc	1,50	$\psi_3$	0,30	Ms [kNm]	173,91
d2 [m]	0,00	Tc [s]	0,51	$\psi_4$	0,00	MR [kNm]	3079,43
d3 [m]	0,30	TB [s]	0,17	$\psi_{neve}$	0,00	$\vartheta$	0,17
d4 [m]	0,30	TD [s]	2,00				
l [m]	13,20	C1	0,05	SPOSTAMENTI VIRTUALI		CURVA DI CAPACITÀ	
Asolaio [m <sup>2</sup> ]	35,57	q	2,00	$\delta N1$	0,00	M* [kN]	69,32
Acop [m <sup>2</sup> ]	36,66	TE [s]	6,00	$\delta N2$	0,00	e*	0,85
A1apert [m <sup>2</sup> ]	0,00	TF [s]	10,00	$\delta N3$	0,50	a0* [m/s <sup>2</sup> ]	0,48
A2apert [m <sup>2</sup> ]	0,00			$\delta N4$	1,00		
A3apert [m <sup>2</sup> ]	17,57			$\delta P1$	0,00		
A4apert [m <sup>2</sup> ]	12,96			$\delta P2$	0,00		
				$\delta P3$	0,25		
				$\delta P4$	0,75		

VERIFICA SLV LINEARE			
T1 [s]	0,18	a1 [m/s <sup>2</sup> ]	0,74
$\Psi(z)$	0,00	a2 [m/s <sup>2</sup> ]	0,00
$\gamma$	1,20	a0* [m/s <sup>2</sup> ]	0,48
Se(T1) [m/s <sup>2</sup> ]	3,86	a0* > max(a1;a2)	NON VERIFICATA

VERIFICA SLV NON LINEARE					
RP1 [m]	0,05	$\beta P1$ [rad]	0,00	Ms	0,0000
RP2 [m]	0,05	$\beta P2$ [rad]	0,00	$\theta$ [rad]	0,056416
RP3 [m]	1,44	$\beta P3$ [rad]	1,45	hbar [m]	3,84
RP4 [m]	4,29	$\beta P4$ [rad]	1,53	dk0 [m]	0,22
RN1 [m]	0,05	$\beta N1$ [rad]	0,00	$\delta x hbar$	0,67
RN2 [m]	0,05	$\beta N2$ [rad]	0,00	d0* [m]	0,26
RN3 [m]	2,87	$\beta N3$ [rad]	1,48	du* [m]	0,10
RN4 [m]	5,73	$\beta N4$ [rad]	1,53	ds* [m]	0,04
				as* [m/s <sup>2</sup> ]	0,41
				Ts* [s]	1,99
SDe1 [m/s <sup>2</sup> ]	0,10			SDe(Ts) [m/s <sup>2</sup> ]	0,10
SDe2 [m/s <sup>2</sup> ]	0,00			SDe(T1) [m/s <sup>2</sup> ]	0,00
du* [m]	0,10			Se(TS) [m/s <sup>2</sup> ]	0,99
du* > max(SDe1;SDe2)		VERIFICATA			

Tabella 5.25 Tabella di calcolo del cinematismo e relative verifiche

## Macroelemento 2 – Cinematismo 2

Di seguito viene presentato il meccanismo parziale relativo al macroelemento 2, che consiste nel ribaltamento semplice delle pareti relative al piano primo, attraverso una rotazione attorno alla cerniera cilindrica posta alla base della parete del piano primo. Il procedimento di verifica si svolge in maniera analoga ai precedenti, quindi vengono riportati i risultati.

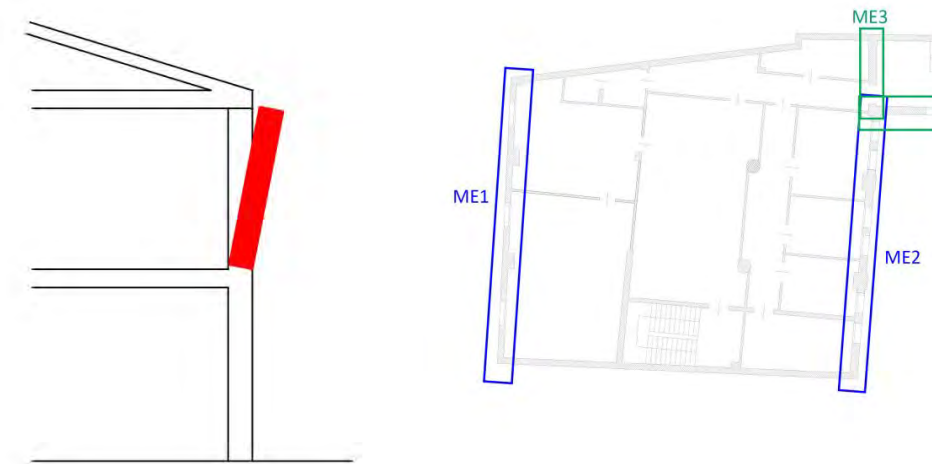


Figura 5.11 Rappresentazione del meccanismo di ribaltamento e riferimento planimetrico

Successivamente si procede al calcolo degli spostamenti orizzontali  $\delta_{x,i}$ , della massa partecipante  $M^*$ , della frazione di massa partecipante  $e^*$  e dell'accelerazione sismica spettrale  $a_0^*$ .

Si svolge la verifica lineare allo SLV, ed essendo questa non soddisfatta, si procede mediante verifica non lineare allo SLV, ed essendo questa soddisfatta non è necessario procedere oltre.

DATI GEOMETRICI		DATI MATERIALE		CARICHI			
n [piani]	2	$\gamma$ [kN/m <sup>3</sup> ]	18,00	G1 [kN/m <sup>2</sup> ]	0,00	P1 [kN]	0,00
H [m]	5,72	f <sub>m</sub> [Mpa]	240,00	G2 [kN/m <sup>2</sup> ]	0,00	P2 [kN]	0,00
z [m]	2,86	t <sub>0</sub> [Mpa]	6,00	G3 [kN/m <sup>2</sup> ]	0,00	P3 [kN]	0,00
htot [m]	2,86	g [m/s <sup>2</sup> ]	9,81	G4 [kN/m <sup>2</sup> ]	3,40	P4 [kN]	178,50
h1 [m]	0,00	FC	1,35	Gcop [kN/m <sup>2</sup> ]	4,00	N1 [kN]	0,00
h2 [m]	0,00	f <sub>md</sub> [Mpa]	0,89	Q1 [kN/m <sup>2</sup> ]	0,00	N2 [kN]	0,00
h3 [m]	0,00	f <sub>vd</sub> [Mpa]	0,02	Q2 [kN/m <sup>2</sup> ]	0,00	N3 [kN]	0,00
h4 [m]	2,86	ag [m/s <sup>2</sup> ]	0,99	Q3 [kN/m <sup>2</sup> ]	0,00	N4 [kN]	267,58
b1 [m]	0,00	F0	2,60	Q4 [kN/m <sup>2</sup> ]	0,50		
b2 [m]	0,00	TC* [s]	0,34	Qneve [kN/m <sup>2</sup> ]	1,00		
b3 [m]	0,00	$\eta$	1,00	$\psi_1$	0,00	t [m]	0,03
b4 [m]	0,40	S	1,50	$\psi_2$	0,00	$\alpha$	0,10
d1 [m]	0,00	Cc	1,50	$\psi_3$	0,00	Ms [kNm]	104,68
d2 [m]	0,00	Tc [s]	0,51	$\psi_4$	0,00	MR [kNm]	1020,53
d3 [m]	0,00	TB [s]	0,17	$\psi_{neve}$	0,00	$\vartheta$	0,35
d4 [m]	0,30	TD [s]	2,00				
l [m]	13,20	C1	0,05	SPOSTAMENTI VIRTUALI		CURVA DI CAPACITÀ	
Asolaio [m <sup>2</sup> ]	35,57	q	2,00	$\delta N1$	0,00	M* [kN]	41,57
Acop [m <sup>2</sup> ]	36,66	TE [s]	6,00	$\delta N2$	0,00	e*	0,91
A1apert [m <sup>2</sup> ]	0,00	TF [s]	10,00	$\delta N3$	0,00	a0* [m/s <sup>2</sup> ]	0,82
A2apert [m <sup>2</sup> ]	0,00			$\delta N4$	1,00		
A3apert [m <sup>2</sup> ]	0,00			$\delta P1$	0,00		
A4apert [m <sup>2</sup> ]	12,96			$\delta P2$	0,00		
				$\delta P3$	0,00		
				$\delta P4$	0,50		

VERIFICA SLV LINEARE			
T1 [s]	0,18	a1 [m/s <sup>2</sup> ]	0,74
$\Psi(z)$	0,50	a2 [m/s <sup>2</sup> ]	1,16
$\gamma$	1,20	a0* [m/s <sup>2</sup> ]	0,82
Se(T1) [m/s <sup>2</sup> ]	3,86	a0* > max(a1;a2)	NON VERIFICATA

VERIFICA SLV NON LINEARE					
RP1 [m]	0,03	$\beta P1$ [rad]	0,00	Ms	0,0000
RP2 [m]	0,03	$\beta P2$ [rad]	0,00	$\theta$ [rad]	0,102218
RP3 [m]	0,03	$\beta P3$ [rad]	0,00	hbar [m]	2,29
RP4 [m]	1,44	$\beta P4$ [rad]	1,45	dk0 [m]	0,23
RN1 [m]	0,03	$\beta N1$ [rad]	0,00	$\delta x hbar$	0,80
RN2 [m]	0,03	$\beta N2$ [rad]	0,00	d0* [m]	0,26
RN3 [m]	0,03	$\beta N3$ [rad]	0,00	du* [m]	0,10
RN4 [m]	2,87	$\beta N4$ [rad]	1,48	ds* [m]	0,04
				as* [m/s <sup>2</sup> ]	0,68
				Ts* [s]	1,53
SDe1 [m/s <sup>2</sup> ]	0,10			SDe(Ts) [m/s <sup>2</sup> ]	0,10
SDe2 [m/s <sup>2</sup> ]	0,02			SDe(T1) [m/s <sup>2</sup> ]	0,00
du* [m]	0,10			Se(TS) [m/s <sup>2</sup> ]	1,67
du* > max(SDe1;SDe2)		VERIFICATA			

Tabella 5.26 Tabella di calcolo del cinematismo e relative verifiche

**Macroelemento 2 – Cinematismo 3**

Di seguito viene presentato il meccanismo relativo al macroelemento 2, che consiste nella flessione verticale di una porzione in quota della parete, attraverso la formazione di una cerniera cilindrica orizzontale che divide la parete in due blocchi distinti.

Il procedimento di verifica si svolge in maniera analoga ai precedenti, quindi vengono riportati i risultati.

Le verifiche si svolgono mediante l'applicazione del principio dei lavori virtuali.

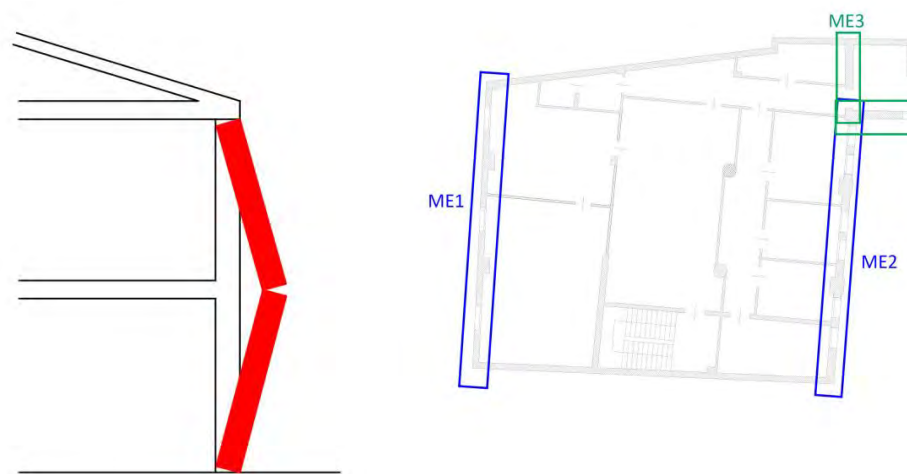


Figura 5.12 Rappresentazione del meccanismo di flessione e riferimento planimetrico

Successivamente si procede al calcolo degli spostamenti orizzontali  $\delta_{x,i}$ , della massa partecipante  $M^*$ , della frazione di massa partecipante  $e^*$  e dell'accelerazione sismica spettrale  $a_0^*$ .

Si svolge la verifica lineare allo SLV, ed essendo questa soddisfatta non è necessario procedere oltre.

DATI GEOMETRICI		DATI MATERIALE		CARICHI			
n [piani]	2	$\gamma$ [kN/m <sup>3</sup> ]	18,00	G1 [kN/m <sup>2</sup> ]	0,00	P1 [kN]	0,00
H [m]	5,72	f <sub>m</sub> [Mpa]	240,00	G2 [kN/m <sup>2</sup> ]	0,00	P2 [kN]	0,00
z [m]	0,00	$\tau_0$ [Mpa]	6,00	G3 [kN/m <sup>2</sup> ]	4,80	P3 [kN]	163,47
htot [m]	5,72	g [m/s <sup>2</sup> ]	9,81	G4 [kN/m <sup>2</sup> ]	3,40	P4 [kN]	209,61
h1 [m]	0,00	FC	1,35	G <sub>cop</sub> [kN/m <sup>2</sup> ]	4,00	N1 [kN]	0,00
h2 [m]	0,00	f <sub>md</sub> [Mpa]	0,89	Q1 [kN/m <sup>2</sup> ]	0,00	N2 [kN]	0,00
h3 [m]	2,86	f <sub>vd</sub> [Mpa]	0,02	Q2 [kN/m <sup>2</sup> ]	0,00	N3 [kN]	192,08
h4 [m]	2,86	ag [m/s <sup>2</sup> ]	0,99	Q3 [kN/m <sup>2</sup> ]	2,00	N4 [kN]	267,58
b1 [m]	0,00	F0	2,60	Q4 [kN/m <sup>2</sup> ]	0,50		
b2 [m]	0,00	TC* [s]	0,34	Q <sub>neve</sub> [kN/m]	1,00		
b3 [m]	0,45	$\eta$	1,00	$\psi_1$	0,00	t [m]	0,05
b4 [m]	0,40	S	1,50	$\psi_2$	0,00	$\alpha$	0,34
d1 [m]	0,00	Cc	1,50	$\psi_3$	0,30	$\theta$	0,17
d2 [m]	0,00	Tc [s]	0,51	$\psi_4$	0,00		
d3 [m]	0,30	TB [s]	0,17	$\psi_{neve}$	0,00		
d4 [m]	0,30	TD [s]	2,00				
l [m]	13,20	C1	0,05	SPOSTAMENTI VIRTUA		CURVA DI CAPACITÀ	
A <sub>solaio</sub> [m <sup>2</sup> ]	35,57	q	2,00	$\delta N_{1x}$	0,00	M* [kN]	51,21
A <sub>cop</sub> [m <sup>2</sup> ]	36,66	TE [s]	6,00	$\delta N_{2x}$	0,00	e*	0,60
A1 <sub>apert</sub> [m <sup>2</sup> ]	0,00	TF [s]	10,00	$\delta N_{3x}$	2,86	a0* [m/s <sup>2</sup> ]	4,05
A2 <sub>apert</sub> [m <sup>2</sup> ]	0,00			$\delta N_{4x}$	0,00	$\phi$	1,00
A3 <sub>apert</sub> [m <sup>2</sup> ]	17,57			$\delta P_{1x}$	0,00	$\Theta$	1,00
A4 <sub>apert</sub> [m <sup>2</sup> ]	8,64			$\delta P_{2x}$	0,00		
				$\delta P_{3x}$	1,43		
				$\delta P_{4x}$	1,43		
				$\delta N_{1y}$	0,00		
				$\delta N_{2y}$	0,00		
				$\delta N_{3y}$	0,30		
				$\delta N_{4y}$	0,50		
				$\delta P_{1y}$	0,00		
				$\delta P_{2y}$	0,00		
				$\delta P_{3y}$	0,23		
				$\delta P_{4y}$	0,65		

VERIFICA SLV LINEARE			
T1 [s]	0,18	a1 [m/s <sup>2</sup> ]	0,74
$\Psi(z)$	0,00	a2 [m/s <sup>2</sup> ]	0,00
$\gamma$	1,20	a0* [m/s <sup>2</sup> ]	4,05
Se(T1) [m/s <sup>2</sup> ]	3,86	a0*>max(a1;a2)	VERIFICATA

Tabella 5.27 Tabella di calcolo del cinematismo e relative verifiche

### Macroelemento 2 – Cinematismo 4

Di seguito viene analizzato il meccanismo, relativo al macroelemento 2, che consiste nella formazione di catena cinematica nel piano.

L'azione sismica provoca la rotazione rigida di una porzione triangolare dei pannelli murari, mentre la fascia superiore orizzontale trasla.

Le verifiche si svolgono mediante l'applicazione del principio dei lavori virtuali.



Figura 5.13 Rappresentazione del meccanismo di catena cinematica nel piano

Successivamente si procede al calcolo degli spostamenti orizzontali  $\delta_{x,i}$  e verticali  $\delta_{y,i}$ , della massa partecipante  $M^*$ , della frazione di massa partecipante  $e^*$  e dell'accelerazione sismica spettrale  $a_0^*$ .

Si svolge la verifica lineare allo SLV, ed essendo questa soddisfatta non è necessario procedere oltre.

DATI GEOMETRICI									
ELEM	a [m]	l [m]	h [m]	h1[m]	b [m]	profondità [m]	Asott [m2]	Acop [m2]	
1	1,25	0,65	1,80	0,45	0,40	2,72	3,40	3,50	
2	1,50	0,30	1,80	0,45	0,40	2,72	4,08	4,20	
3	2,80	1,60	1,80	0,45	0,40	2,72	7,61	7,84	
4	1,50	0,30	1,80	0,45	0,40	2,72	4,08	4,20	
5	2,80	1,60	1,80	0,45	0,40	2,72	7,61	7,84	
6	1,50	0,30	1,80	0,45	0,40	2,72	4,08	4,20	
7	0,90	0,30	1,80	0,45	0,40	2,72	2,44	2,52	

DATI MATERIALE							
$\gamma$ [kN/m3]	18,00	G4 [kN/m2]	3,40	Q4 [kN/m2]	0,50	$\psi_4$	0,00
fm [Mpa]	240,00	Gcop[kN/m2]	4,00	Qneve[kN/m2]	1,00	$\psi_{neve}$	0,00
$\tau_0$ [Mpa]	6,00						

CARICHI			SPOSTAMENTI VIRTUALI				
ELEM	P [kN]	N [kN]	ELEM	$\delta Px$	$\delta Py$	$\delta Nx$	$\delta Ny$
1	4,21	29,61	1	0,30	0,22	0,45	0,49
2	1,94	35,53	2	0,30	0,10	0,45	0,23
3	10,37	66,31	3	0,30	0,53	0,45	1,20
4	1,94	35,53	4	0,30	0,10	0,45	0,23
5	10,37	66,31	5	0,30	0,53	0,45	1,20
6	1,94	35,53	6	0,30	0,10	0,45	0,23
7	1,94	21,29	7	0,30	0,10	0,45	0,23

$\alpha$	1,53
M*	32,56
e*	0,99
a0*	11,26

C1	0,05	ag [m/s	0,99	q	2,00
H [m]	5,72	S	1,50		
z [m]	3,90	F0	2,60		
n [piani]	2	$\eta$	1,00		

VERIFICA SLV LINEARE			
T1 [s]	0,18	a1 [m/s2]	0,74
$\Psi(z)$	0,68	a2 [m/s2]	1,58
$\gamma$	1,20	a0* [m/s2]	11,26
Se(T1)	3,86	a0*>max(a1;a2)	VERIFICATA

Tabella 5.28 Tabella di calcolo del cinematismo e relative verifiche

### Macroelemento 3 – Cinematismo 1

Di seguito viene presentato il meccanismo parziale relativo al macroelemento 3, che consiste nel ribaltamento semplice delle pareti relative al piano secondo, attraverso una rotazione attorno alla cerniera cilindrica posta alla base della parete del piano secondo. Il procedimento di verifica si svolge in maniera analoga ai precedenti, quindi vengono riportati i risultati.

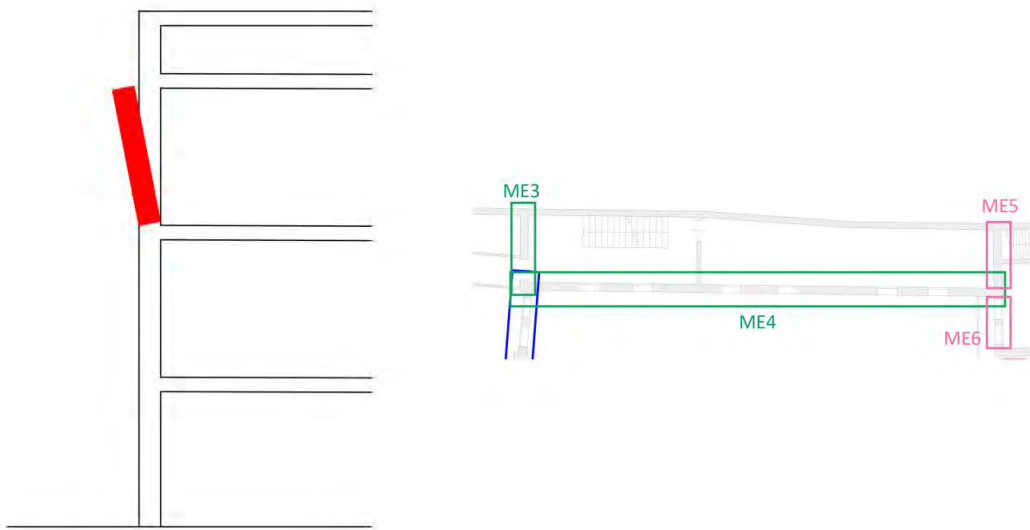


Figura 5.14 Rappresentazione del meccanismo di ribaltamento e riferimento planimetrico

Successivamente si procede al calcolo degli spostamenti orizzontali  $\delta_{x,i}$ , della massa partecipante  $M^*$ , della frazione di massa partecipante  $e^*$  e dell'accelerazione sismica spettrale  $a_0^*$ .

Si svolge la verifica lineare allo SLV, ed essendo questa non soddisfatta, si procede mediante verifica non lineare allo SLV, che risulta anch'essa non soddisfatta, quindi si calcolano i tiranti.



DATI GEOMETRICI		DATI MATERIALE		CARICHI			
n [piani]	3	$\gamma$ [kN/m <sup>3</sup> ]	18,00	G1 [kN/m <sup>2</sup> ]	0,00	P1 [kN]	0,00
H [m]	8,52	f <sub>m</sub> [Mpa]	240,00	G2 [kN/m <sup>2</sup> ]	0,00	P2 [kN]	0,00
z [m]	5,66	t <sub>0</sub> [Mpa]	6,00	G3 [kN/m <sup>2</sup> ]	0,00	P3 [kN]	0,00
htot [m]	2,86	g [m/s <sup>2</sup> ]	9,81	G4 [kN/m <sup>2</sup> ]	3,45	P4 [kN]	90,35
h1 [m]	0,00	FC	1,35	Gcop [kN/m <sup>2</sup> ]	4,00	N1 [kN]	0,00
h2 [m]	0,00	f <sub>md</sub> [Mpa]	0,89	Q1 [kN/m <sup>2</sup> ]	0,00	N2 [kN]	0,00
h3 [m]	0,00	f <sub>vd</sub> [Mpa]	0,02	Q2 [kN/m <sup>2</sup> ]	0,00	N3 [kN]	0,00
h4 [m]	2,86	ag [m/s <sup>2</sup> ]	0,99	Q3 [kN/m <sup>2</sup> ]	0,00	N4 [kN]	351,21
b1 [m]	0,00	F0	2,60	Q4 [kN/m <sup>2</sup> ]	0,50		
b2 [m]	0,00	TC* [s]	0,34	Qneve [kN/m <sup>2</sup> ]	1,00		
b3 [m]	0,00	$\eta$	1,00	$\psi_1$	0,00	t [m]	0,08
b4 [m]	0,45	S	1,50	$\psi_2$	0,00	$\alpha$	0,08
d1 [m]	0,00	Cc	1,50	$\psi_3$	0,00	Ms [kNm]	88,24
d2 [m]	0,00	Tc [s]	0,51	$\psi_4$	0,00	MR [kNm]	1133,64
d3 [m]	0,00	TB [s]	0,17	$\psi_{neve}$	0,00	$\vartheta$	0,35
d4 [m]	0,30	TD [s]	2,00				
l [m]	3,90	C1	0,05	SPOSTAMENTI VIRTUALI		CURVA DI CAPACITÀ	
Asolaio [m <sup>2</sup> ]	46,39	q	2,00	$\delta N1$	0,00	M* [kN]	42,85
Acop [m <sup>2</sup> ]	47,79	TE [s]	6,00	$\delta N2$	0,00	e*	0,95
A1apert [m <sup>2</sup> ]	0,00	TF [s]	10,00	$\delta N3$	0,00	a0* [m/s <sup>2</sup> ]	0,59
A2apert [m <sup>2</sup> ]	0,00			$\delta N4$	1,00		
A3apert [m <sup>2</sup> ]	0,00			$\delta P1$	0,00		
A4apert [m <sup>2</sup> ]	0,00			$\delta P2$	0,00		
				$\delta P3$	0,00		
				$\delta P4$	0,50		

VERIFICA SLV LINEARE			
T1 [s]	0,25	a1 [m/s <sup>2</sup> ]	0,74
$\Psi(z)$	0,66	a2 [m/s <sup>2</sup> ]	1,65
$\gamma$	1,29	a0* [m/s <sup>2</sup> ]	0,59
Se(T1) [m/s <sup>2</sup> ]	3,86	a0* > max(a1;a2)	NON VERIFICATA

VERIFICA SLV NON LINEARE					
RP1 [m]	0,08	$\beta P1$ [rad]	0,00	Ms	0,0000
RP2 [m]	0,08	$\beta P2$ [rad]	0,00	$\theta$ [rad]	0,077683
RP3 [m]	0,08	$\beta P3$ [rad]	0,00	hbar [m]	2,57
RP4 [m]	1,44	$\beta P4$ [rad]	1,47	dk0 [m]	0,20
RN1 [m]	0,08	$\beta N1$ [rad]	0,00	$\delta x hbar$	0,90
RN2 [m]	0,08	$\beta N2$ [rad]	0,00	d0* [m]	0,21
RN3 [m]	0,08	$\beta N3$ [rad]	0,00	du* [m]	0,08
RN4 [m]	2,87	$\beta N4$ [rad]	1,50	ds* [m]	0,03
				as* [m/s <sup>2</sup> ]	0,50
				Ts* [s]	1,63
SDe1 [m/s <sup>2</sup> ]	0,10			SDe(Ts) [m/s <sup>2</sup> ]	0,10
SDe2 [m/s <sup>2</sup> ]	0,04			SDe(T1) [m/s <sup>2</sup> ]	0,01
du* [m]	0,08			Se(TS) [m/s <sup>2</sup> ]	1,49
du* > max(SDe1;SDe2)		NON VERIFICATA			

Tabella 5.29 Tabella di calcolo del cinematismo e relative verifiche

<b>TIRANTI</b>			
<b>a0*</b> [m/s <sup>2</sup> ]	1,65	<b>T4</b> [kN]	27,38
<b>α0</b> [m/s <sup>2</sup> ]	0,22	<b>T3</b> [kN]	0,00
<b>Tmin</b> [kN]	27,38	<b>T2</b> [kN]	0,00
		<b>T1</b> [kN]	0,00

<b>VERIFICA TIRANTI</b>	
<b>ROTTURA BARRA</b>	
<b>T'</b> [kN]	61,04

<b>PUNZONAMENTO MURATURA</b>	
<b>T''</b> [kN]	27,00

<b>SCHIACCIAMENTO MURO</b>	
<b>T'''</b> [kN]	80,1

<b>T4</b>	NON VERIFICATO
<b>T3</b>	VERIFICATO
<b>T2</b>	VERIFICATO
<b>T1</b>	VERIFICATO

Si dispongono due tiranti per piano

Tabella 5.30 Tabella di calcolo dei tiranti

### Macroelemento 3 – Cinematismo 2

Di seguito viene presentato il meccanismo relativo al macroelemento 2, che consiste nella flessione verticale di una porzione in quota della parete, attraverso la formazione di una cerniera cilindrica orizzontale che divide la parete in due blocchi distinti.

Il procedimento di verifica si svolge in maniera analoga ai precedenti, quindi vengono riportati i risultati.

Le verifiche si svolgono mediante l'applicazione del principio dei lavori virtuali.

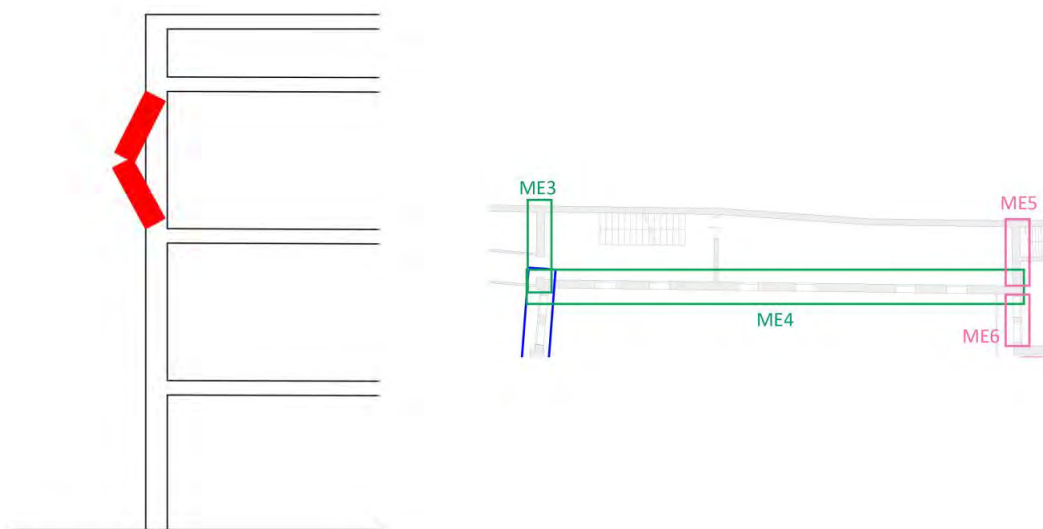


Figura 5.15 Rappresentazione del meccanismo di flessione e riferimento planimetrico

Successivamente si procede al calcolo degli spostamenti orizzontali  $\delta_{x,i}$ , della massa partecipante  $M^*$ , della frazione di massa partecipante  $e^*$  e dell'accelerazione sismica spettrale  $a_0^*$ .

Si svolge la verifica lineare allo SLV, ed essendo questa soddisfatta non è necessario procedere oltre.

DATI GEOMETRICI		PESI		PESO PROPRIO DELLE DUE PARTI	
H piano [m]	2,86	P piano consid	90,35	P1 [kN]	55,41
h2 [m]	1,11	N piano consid	351,21	P2 [kN]	34,94
h1 [m]	1,75				
x [m]	2,59				
b [m]	0,45				

<b>α</b>	165,18
----------	--------

SPOSTAMENTI VIRTUALI	
$\delta_{1y}$	0,23
$\delta_{1x}$	0,88
$\delta_{2y}$	0,81
$\delta_{2x}$	0,88
$\delta_{N1}$	0,81
$\delta_{N2}$	0,00

Tabella 5.31 Tabella di calcolo del cinematismo e relative verifiche

### Macroelemento 4 – Cinematismo 1

Di seguito viene presentata l'analisi del meccanismo corrispondente al ribaltamento fuori piano della facciata ovest verso il cortile interno del blocco B.

Il meccanismo consiste nel ribaltamento globale della parete con rotazione attorno alla cerniera cilindrica posta alla base della muratura.

Il procedimento di verifica si svolge analogamente ai precedenti, quindi se ne riportano solo i risultati.

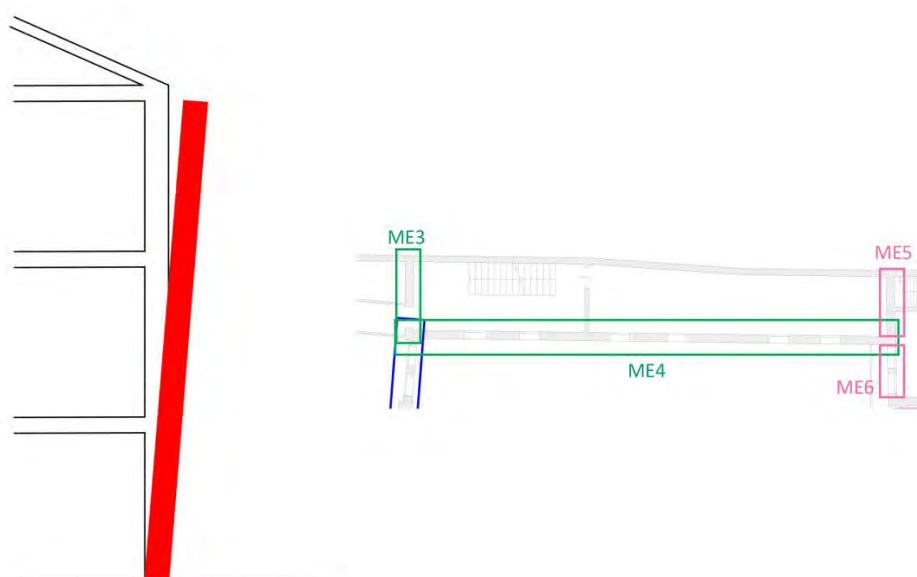


Figura 5.16 Rappresentazione del meccanismo di ribaltamento e riferimento planimetrico

Come prima si procede al calcolo degli spostamenti orizzontali  $\delta_{x,i}$ , della massa partecipante  $M^*$ , della frazione di massa partecipante  $e^*$  e dell'accelerazione sismica spettrale  $a_0^*$ .

Si svolge la verifica lineare allo SLV, ed essendo questa non soddisfatta, si procede mediante verifica non lineare allo SLV, che risulta anch'essa non soddisfatta, quindi si calcolano i tiranti.

DATI GEOMETRICI		DATI MATERIALE		CARICHI			
n [piani]	3,00	$\gamma$ [kN/m <sup>3</sup> ]	18,00	G1 [kN/m <sup>2</sup> ]	0,00	P1 [kN]	0,00
H [m]	8,52	f <sub>m</sub> [Mpa]	240,00	G2 [kN/m <sup>2</sup> ]	4,85	P2 [kN]	377,65
z [m]	0,00	$\tau_0$ [Mpa]	6,00	G3 [kN/m <sup>2</sup> ]	4,85	P3 [kN]	391,39
htot [m]	8,52	g [m/s <sup>2</sup> ]	9,81	G4 [kN/m <sup>2</sup> ]	3,45	P4 [kN]	391,39
h1 [m]	0,00	FC	1,35	G <sub>cop</sub> [kN/m <sup>2</sup> ]	4,00	N1 [kN]	0,00
h2 [m]	2,80	f <sub>md</sub> [Mpa]	0,89	Q1 [kN/m <sup>2</sup> ]	0,00	N2 [kN]	200,94
h3 [m]	2,86	f <sub>vd</sub> [Mpa]	0,02	Q2 [kN/m <sup>2</sup> ]	2,00	N3 [kN]	200,94
h4 [m]	2,86	ag [m/s <sup>2</sup> ]	0,99	Q3 [kN/m <sup>2</sup> ]	2,00	N4 [kN]	279,20
b1 [m]	0,00	F0	2,60	Q4 [kN/m <sup>2</sup> ]	0,50		
b2 [m]	0,40	TC* [s]	0,34	Q <sub>neve</sub> [kN/m <sup>2</sup> ]	1,00		
b3 [m]	0,40	$\eta$	1,00	$\psi_1$	0,00	t [m]	0,06
b4 [m]	0,40	S	1,50	$\psi_2$	0,30	$\alpha$	0,04
d1 [m]	0,00	Cc	1,50	$\psi_3$	0,30	Ms [kNm]	329,64
d2 [m]	0,30	Tc [s]	0,51	$\psi_4$	0,00	MR [kNm]	9037,99
d3 [m]	0,30	TB [s]	0,17	$\psi_{neve}$	0,00	$\delta$	0,12
d4 [m]	0,30	TD [s]	2,00				
l [m]	23,79	C1	0,05	SPOSTAMENTI VIRTUALI		CURVA DI CAPACITÀ	
A <sub>solai</sub> [m <sup>2</sup> ]	36,87	q	2,00	$\delta N_1$	0,00	M* [kN]	149,50
A <sub>cop</sub> [m <sup>2</sup> ]	38,00	TE [s]	6,00	$\delta N_2$	0,33	e*	0,80
A <sub>1apert</sub> [m <sup>2</sup> ]	0,00	TF [s]	10,00	$\delta N_3$	0,66	a0* [m/s <sup>2</sup> ]	0,33
A <sub>2apert</sub> [m <sup>2</sup> ]	14,16			$\delta N_4$	1,00		
A <sub>3apert</sub> [m <sup>2</sup> ]	13,68			$\delta P_1$	0,00		
A <sub>4apert</sub> [m <sup>2</sup> ]	13,68			$\delta P_2$	0,16		
				$\delta P_3$	0,50		
				$\delta P_4$	0,83		

VERIFICA SLV LINEARE			
T1 [s]	0,25	a1 [m/s <sup>2</sup> ]	0,74
$\Psi(z)$	0,00	a2 [m/s <sup>2</sup> ]	0,00
$\gamma$	1,29	a0* [m/s <sup>2</sup> ]	0,33
Se(T1) [m/s <sup>2</sup> ]	3,86	a0* > max(a1;a2)	NON VERIFICATA

VERIFICA SLV NON LINEARE					
RP1 [m]	0,06	$\beta P_1$ [rad]	0,00	Ms	0,00
RP2 [m]	1,41	$\beta P_2$ [rad]	1,47	$\theta$ [rad]	0,03646
RP3 [m]	4,23	$\beta P_3$ [rad]	1,54	h <sub>bar</sub> [m]	4,91
RP4 [m]	7,09	$\beta P_4$ [rad]	1,55	dk0 [m]	0,18
RN1 [m]	0,06	$\beta N_1$ [rad]	0,00	$\delta x_{hbar}$	0,58
RN2 [m]	2,81	$\beta N_2$ [rad]	1,48	d0* [m]	0,22
RN3 [m]	5,67	$\beta N_3$ [rad]	1,53	du* [m]	0,09
RN4 [m]	8,52	$\beta N_4$ [rad]	1,54	ds* [m]	0,04
				as* [m/s <sup>2</sup> ]	0,28
				Ts* [s]	2,25
SDe1 [m/s <sup>2</sup> ]	0,10			SDe(Ts) [m/s <sup>2</sup> ]	0,10
SDe2 [m/s <sup>2</sup> ]	0,00			SDe(T1) [m/s <sup>2</sup> ]	0,01
du* [m]	0,09			Se(TS) [m/s <sup>2</sup> ]	0,78
du* > max(SDe1;SDe2)					

Tabella 5.32 Tabella di calcolo del cinematico e relative verifiche

<b>TIRANTI</b>			
<b>a0*</b> [m/s <sup>2</sup> ]	0,74	<b>T4</b> [kN]	42,81
<b>α0</b> [m/s <sup>2</sup> ]	0,08	<b>T3</b> [kN]	14,37
<b>Tmin</b> [kN]	42,81	<b>T2</b> [kN]	14,07
		<b>T1</b> [kN]	0,00

<b>VERIFICA TIRANTI</b>	
<b>ROTTURA BARRA</b>	
<b>T'</b> [kN]	61,04

<b>PUNZONAMENTO MURATURA</b>	
<b>T''</b> [kN]	27,00

<b>SCHIACCIAMENTO MURO</b>	
<b>T'''</b> [kN]	80,1

<b>T4</b>	NON VERIFICATO
<b>T3</b>	VERIFICATO
<b>T2</b>	VERIFICATO
<b>T1</b>	VERIFICATO

Si dispongono due tiranti per piano

Tabella 5.33 Tabella di calcolo dei tiranti

**Macroelemento 4 – Cinematismo 2**

Di seguito viene presentato il meccanismo parziale relativo al macroelemento 4, che consiste nel ribaltamento semplice delle pareti relative al piano primo e secondo, attraverso una rotazione attorno alla cerniera cilindrica posta alla base della parete del piano primo.

Il procedimento di verifica si svolge in maniera analoga ai precedenti, quindi vengono riportati i risultati.

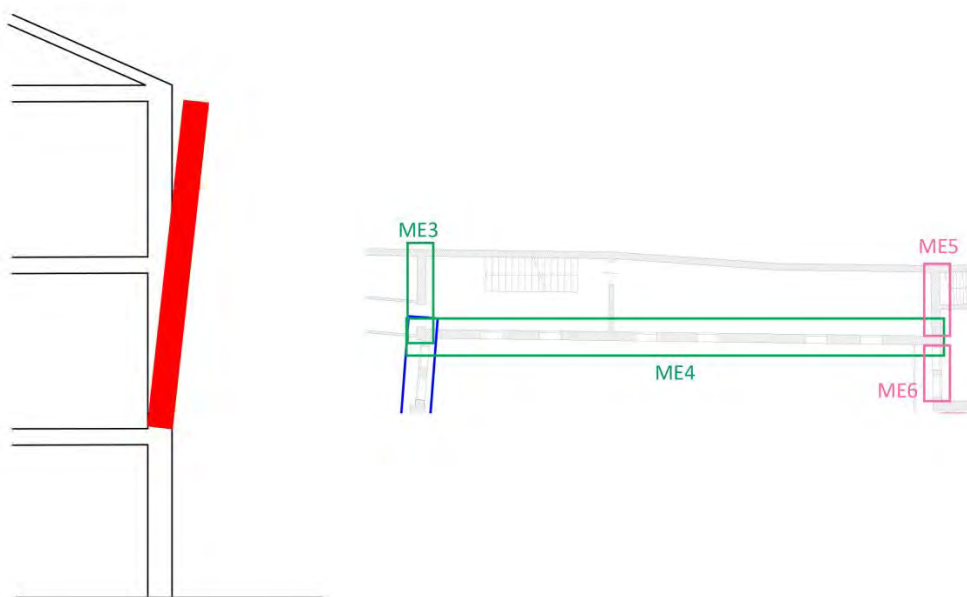


Figura 5.17 Rappresentazione del meccanismo di ribaltamento e riferimento planimetrico

Come prima si procede al calcolo degli spostamenti orizzontali  $\delta_{x,i}$ , della massa partecipante  $M^*$ , della frazione di massa partecipante  $e^*$  e dell'accelerazione sismica spettrale  $a_0^*$ .

Si svolge la verifica lineare allo SLV, ed essendo questa non soddisfatta, si procede mediante verifica non lineare allo SLV, che risulta anch'essa non soddisfatta, quindi si calcolano i tiranti.



DATI GEOMETRICI		DATI MATERIALE		CARICHI			
n [piani]	3,00	$\gamma$ [kN/m <sup>3</sup> ]	18,00	G1 [kN/m <sup>2</sup> ]	0,00	P1 [kN]	0,00
H [m]	8,52	f <sub>m</sub> [Mpa]	240,00	G2 [kN/m <sup>2</sup> ]	0,00	P2 [kN]	0,00
z [m]	2,80	$\tau_0$ [Mpa]	6,00	G3 [kN/m <sup>2</sup> ]	4,85	P3 [kN]	391,39
htot [m]	5,72	g [m/s <sup>2</sup> ]	9,81	G4 [kN/m <sup>2</sup> ]	3,45	P4 [kN]	391,39
h1 [m]	0,00	FC	1,35	Gcop [kN/m <sup>2</sup> ]	4,00	N1 [kN]	0,00
h2 [m]	0,00	f <sub>md</sub> [Mpa]	0,89	Q1 [kN/m <sup>2</sup> ]	0,00	N2 [kN]	0,00
h3 [m]	2,86	f <sub>vd</sub> [Mpa]	0,02	Q2 [kN/m <sup>2</sup> ]	0,00	N3 [kN]	200,94
h4 [m]	2,86	ag [m/s <sup>2</sup> ]	0,99	Q3 [kN/m <sup>2</sup> ]	2,00	N4 [kN]	279,20
b1 [m]	0,00	F0	2,60	Q4 [kN/m <sup>2</sup> ]	0,50		
b2 [m]	0,00	TC* [s]	0,34	Qneve [kN/m <sup>2</sup> ]	1,00		
b3 [m]	0,40	$\eta$	1,00	$\psi_1$	0,00	t [m]	0,04
b4 [m]	0,40	S	1,50	$\psi_2$	0,00	$\alpha$	0,06
d1 [m]	0,00	Cc	1,50	$\psi_3$	0,30	Ms [kNm]	250,38
d2 [m]	0,00	Tc [s]	0,51	$\psi_4$	0,00	MR [kNm]	4410,46
d3 [m]	0,30	TB [s]	0,17	$\psi_{neve}$	0,00	$\vartheta$	0,17
d4 [m]	0,30	TD [s]	2,00				
l [m]	23,79	C1	0,05	SPOSTAMENTI VIRTUALI		CURVA DI CAPACITÀ	
Asolaio [m <sup>2</sup> ]	36,87	q	2,00	$\delta N1$	0,00	M* [kN]	105,57
Acop [m <sup>2</sup> ]	38,00	TE [s]	6,00	$\delta N2$	0,00	e*	0,82
A1apert [m <sup>2</sup> ]	0,00	TF [s]	10,00	$\delta N3$	0,50	a0* [m/s <sup>2</sup> ]	0,50
A2apert [m <sup>2</sup> ]	0,00			$\delta N4$	1,00		
A3apert [m <sup>2</sup> ]	13,68			$\delta P1$	0,00		
A4apert [m <sup>2</sup> ]	13,68			$\delta P2$	0,00		
				$\delta P3$	0,25		
				$\delta P4$	0,75		

VERIFICA SLV LINEARE			
T1 [s]	0,25	a1 [m/s <sup>2</sup> ]	0,74
$\Psi(z)$	0,33	a2 [m/s <sup>2</sup> ]	0,82
$\gamma$	1,29	a0* [m/s <sup>2</sup> ]	0,50
Se(T1) [m/s <sup>2</sup> ]	3,86	a0* > max(a1;a2)	NON VERIFICATA

VERIFICA SLV NON LINEARE					
RP1 [m]	0,04	$\beta P1$ [rad]	0,00	Ms	0,00
RP2 [m]	0,04	$\beta P2$ [rad]	0,00	$\theta$ [rad]	0,056708
RP3 [m]	1,44	$\beta P3$ [rad]	1,46	hbar [m]	3,49
RP4 [m]	4,29	$\beta P4$ [rad]	1,53	dk0 [m]	0,20
RN1 [m]	0,04	$\beta N1$ [rad]	0,00	$\delta x hbar$	0,61
RN2 [m]	0,04	$\beta N2$ [rad]	0,00	d0* [m]	0,24
RN3 [m]	2,87	$\beta N3$ [rad]	1,48	du* [m]	0,10
RN4 [m]	5,73	$\beta N4$ [rad]	1,53	ds* [m]	0,04
				as* [m/s <sup>2</sup> ]	0,42
				Ts* [s]	1,90
SDe1 [m/s <sup>2</sup> ]	0,10			SDe(Ts) [m/s <sup>2</sup> ]	0,10
SDe2 [m/s <sup>2</sup> ]	0,02			SDe(T1) [m/s <sup>2</sup> ]	0,01
du* [m]	0,10			Se(TS) [m/s <sup>2</sup> ]	1,09
du* > max(SDe1;SDe2)		NON VERIFICATA			

Tabella 5.34 Tabella di calcolo del cinematismo e relative verifiche

<b>TIRANTI</b>			
<b>a0*</b> [m/s <sup>2</sup> ]	0,82	<b>T4</b> [kN]	21,77
<b>α0</b> [m/s <sup>2</sup> ]	0,09	<b>T3</b> [kN]	10,88
<b>Tmin</b> [kN]	21,77	<b>T2</b> [kN]	0,00
		<b>T1</b> [kN]	0,00

<b>VERIFICA TIRANTI</b>	
<b>ROTTURA BARRA</b>	
<b>T'</b> [kN]	61,04

<b>PUNZONAMENTO MURATURA</b>	
<b>T''</b> [kN]	27,00

<b>SCHIACCIAMENTO MURO</b>	
<b>T'''</b> [kN]	80,1

<b>T4</b>	VERIFICATO
<b>T3</b>	VERIFICATO
<b>T2</b>	VERIFICATO
<b>T1</b>	VERIFICATO

Si dispone un tirante per piano

Tabella 5.35 Tabella di calcolo dei tiranti

### Macroelemento 4 – Cinematismo 3

Di seguito viene presentato il meccanismo parziale relativo al macroelemento 4, che consiste nel ribaltamento semplice delle pareti relative al piano secondo, attraverso una rotazione attorno alla cerniera cilindrica posta alla base della parete del piano secondo. Il procedimento di verifica si svolge in maniera analoga ai precedenti, quindi vengono riportati i risultati.

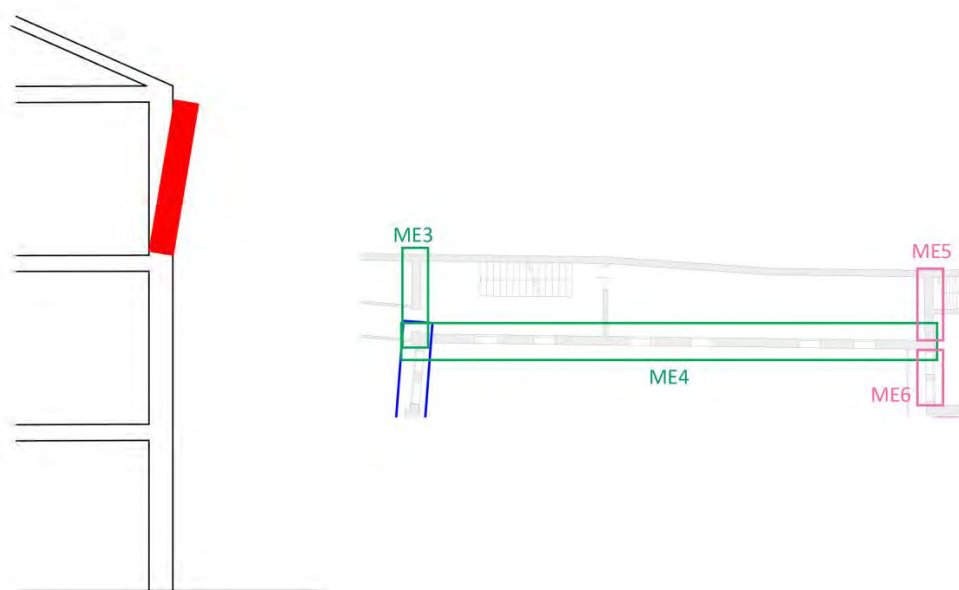


Figura 5.18 Rappresentazione del meccanismo di ribaltamento e riferimento planimetrico

Come prima si procede al calcolo degli spostamenti orizzontali  $\delta_{x,i}$ , della massa partecipante  $M^*$ , della frazione di massa partecipante  $e^*$  e dell'accelerazione sismica spettrale  $a_0^*$ .

Si svolge la verifica lineare allo SLV, ed essendo questa non soddisfatta, si procede mediante verifica non lineare allo SLV, che risulta anch'essa non soddisfatta, quindi si calcolano i tiranti.

DATI GEOMETRICI		DATI MATERIALE		CARICHI			
n [piani]	3,00	$\gamma$ [kN/m <sup>3</sup> ]	18,00	G1 [kN/m <sup>2</sup> ]	0,00	P1 [kN]	0,00
H [m]	8,52	f <sub>m</sub> [Mpa]	240,00	G2 [kN/m <sup>2</sup> ]	0,00	P2 [kN]	0,00
z [m]	5,66	t <sub>0</sub> [Mpa]	6,00	G3 [kN/m <sup>2</sup> ]	0,00	P3 [kN]	0,00
htot [m]	2,86	g [m/s <sup>2</sup> ]	9,81	G4 [kN/m <sup>2</sup> ]	3,45	P4 [kN]	391,39
h1 [m]	0,00	FC	1,35	Gcop [kN/m <sup>2</sup> ]	4,00	N1 [kN]	0,00
h2 [m]	0,00	f <sub>md</sub> [Mpa]	0,89	Q1 [kN/m <sup>2</sup> ]	0,00	N2 [kN]	0,00
h3 [m]	0,00	f <sub>vd</sub> [Mpa]	0,02	Q2 [kN/m <sup>2</sup> ]	0,00	N3 [kN]	0,00
h4 [m]	2,86	ag [m/s <sup>2</sup> ]	0,99	Q3 [kN/m <sup>2</sup> ]	0,00	N4 [kN]	279,20
b1 [m]	0,00	F0	2,60	Q4 [kN/m <sup>2</sup> ]	0,50		
b2 [m]	0,00	TC* [s]	0,34	Qneve [kN/m <sup>2</sup> ]	1,00		
b3 [m]	0,00	$\eta$	1,00	$\psi_1$	0,00	t [m]	0,02
b4 [m]	0,40	S	1,50	$\psi_2$	0,00	$\alpha$	0,11
d1 [m]	0,00	Cc	1,50	$\psi_3$	0,00	Ms [kNm]	147,88
d2 [m]	0,00	Tc [s]	0,51	$\psi_4$	0,00	MR [kNm]	1358,20
d3 [m]	0,00	TB [s]	0,17	$\psi_{neve}$	0,00	$\vartheta$	0,35
d4 [m]	0,30	TD [s]	2,00				
l [m]	23,79	C1	0,05	SPOSTAMENTI VIRTUALI		CURVA DI CAPACITÀ	
Asolaio [m <sup>2</sup> ]	36,87	q	2,00	$\delta_{N1}$	0,00	M* [kN]	60,97
Acop [m <sup>2</sup> ]	38,00	TE [s]	6,00	$\delta_{N2}$	0,00	e*	0,89
A1apert [m <sup>2</sup> ]	0,00	TF [s]	10,00	$\delta_{N3}$	0,00	a0* [m/s <sup>2</sup> ]	0,89
A2apert [m <sup>2</sup> ]	0,00			$\delta_{N4}$	1,00		
A3apert [m <sup>2</sup> ]	0,00			$\delta_{P1}$	0,00		
A4apert [m <sup>2</sup> ]	13,68			$\delta_{P2}$	0,00		
				$\delta_{P3}$	0,00		
				$\delta_{P4}$	0,50		

VERIFICA SLV LINEARE			
T1 [s]	0,25	a1 [m/s <sup>2</sup> ]	0,74
$\Psi(z)$	0,66	a2 [m/s <sup>2</sup> ]	1,65
$\gamma$	1,29	a0* [m/s <sup>2</sup> ]	0,89
Se(T1) [m/s <sup>2</sup> ]	3,86	a0* > max(a1;a2)	NON VERIFICATA

VERIFICA SLV NON LINEARE					
RP1 [m]	0,02	$\beta_{P1}$ [rad]	0,00	Ms	0,00
RP2 [m]	0,02	$\beta_{P2}$ [rad]	0,00	$\theta$ [rad]	0,10845
RP3 [m]	0,02	$\beta_{P3}$ [rad]	0,00	hbar [m]	2,03
RP4 [m]	1,44	$\beta_{P4}$ [rad]	1,45	dk0 [m]	0,22
RN1 [m]	0,02	$\beta_{N1}$ [rad]	0,00	$\delta_{xhbar}$	0,71
RN2 [m]	0,02	$\beta_{N2}$ [rad]	0,00	d0* [m]	0,25
RN3 [m]	0,02	$\beta_{N3}$ [rad]	0,00	du* [m]	0,10
RN4 [m]	2,87	$\beta_{N4}$ [rad]	1,47	ds* [m]	0,04
				as* [m/s <sup>2</sup> ]	0,75
				Ts* [s]	1,44
SDe1 [m/s <sup>2</sup> ]	0,10			SDe(Ts) [m/s <sup>2</sup> ]	0,10
SDe2 [m/s <sup>2</sup> ]	0,04			SDe(T1) [m/s <sup>2</sup> ]	0,01
du* [m]	0,10			Se(TS) [m/s <sup>2</sup> ]	1,89
du* > max(SDe1;SDe2)		NON VERIFICATA			

Tabella 5.36 Tabella di calcolo del cinematismo e relative verifiche

<b>TIRANTI</b>			
<b>a0*</b> [m/s <sup>2</sup> ]	1,65	<b>T4</b> [kN]	22,21
<b>α0</b> [m/s <sup>2</sup> ]	0,20	<b>T3</b> [kN]	0,00
<b>Tmin</b> [kN]	22,21	<b>T2</b> [kN]	0,00
		<b>T1</b> [kN]	0,00

<b>VERIFICA TIRANTI</b>	
<b>ROTTURA BARRA</b>	
<b>T'</b> [kN]	61,04

<b>PUNZONAMENTO MURATURA</b>	
<b>T''</b> [kN]	27,00

<b>SCHIACCIAMENTO MURO</b>	
<b>T'''</b> [kN]	80,1

<b>T4</b>	VERIFICATO
<b>T3</b>	VERIFICATO
<b>T2</b>	VERIFICATO
<b>T1</b>	VERIFICATO

Si dispone un tirante per piano

Tabella 5.37 Tabella di calcolo dei tiranti

**Macroelemento 4 – Cinematismo 4**

Di seguito viene presentato il meccanismo relativo al macroelemento 4, che consiste nella flessione verticale di una porzione in quota della parete, attraverso la formazione di una cerniera cilindrica orizzontale che divide la parete in due blocchi distinti. Il procedimento di verifica si svolge in maniera analoga ai precedenti, quindi vengono riportati i risultati.

Le verifiche si svolgono mediante l'applicazione del principio dei lavori virtuali.

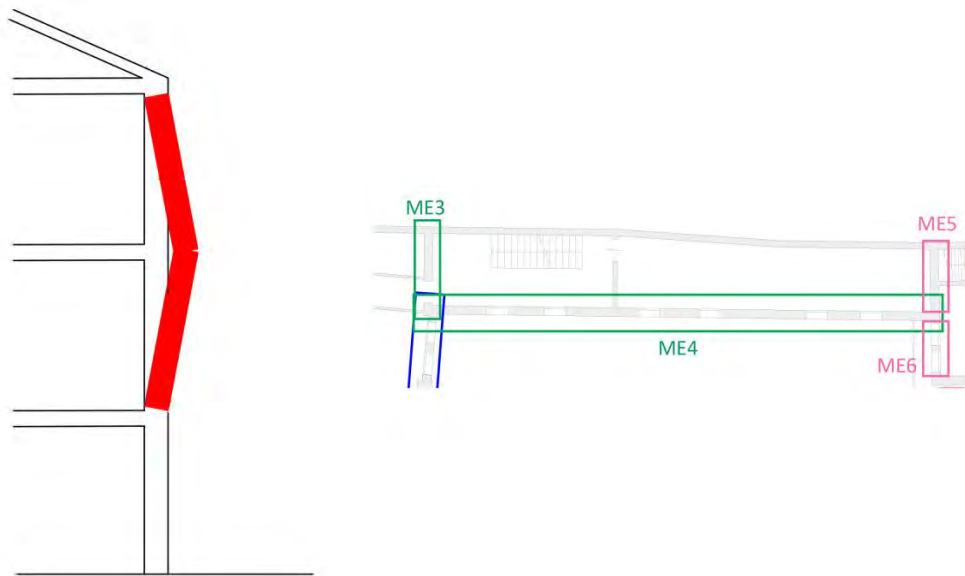


Figura 5.19 Rappresentazione del meccanismo di ribaltamento e riferimento planimetrico

Successivamente si procede al calcolo degli spostamenti orizzontali  $\delta_{x,i}$ , della massa partecipante  $M^*$ , della frazione di massa partecipante  $e^*$  e dell'accelerazione sismica spettrale  $a_0^*$ .

Si svolge la verifica lineare allo SLV, ed essendo questa soddisfatta non è necessario procedere oltre.

DATI GEOMETRICI		DATI MATERIALE		CARICHI			
n [piani]	3	$\gamma$ [kN/m <sup>3</sup> ]	18,00	G1 [kN/m <sup>2</sup> ]	0,00	P1 [kN]	0,00
H [m]	8,30	f <sub>m</sub> [Mpa]	240,00	G2 [kN/m <sup>2</sup> ]	0,00	P2 [kN]	0,00
z [m]	2,80	$\tau_0$ [Mpa]	6,00	G3 [kN/m <sup>2</sup> ]	4,85	P3 [kN]	391,32
htot [m]	5,72	g [m/s <sup>2</sup> ]	9,81	G4 [kN/m <sup>2</sup> ]	3,45	P4 [kN]	391,32
h1 [m]	0,00	FC	1,35	Gcop [kN/m <sup>2</sup> ]	4,00	N1 [kN]	0,00
h2 [m]	0,00	f <sub>md</sub> [Mpa]	0,89	Q1 [kN/m <sup>2</sup> ]	0,00	N2 [kN]	0,00
h3 [m]	2,86	f <sub>vd</sub> [Mpa]	0,02	Q2 [kN/m <sup>2</sup> ]	0,00	N3 [kN]	200,94
h4 [m]	2,86	ag [m/s <sup>2</sup> ]	0,99	Q3 [kN/m <sup>2</sup> ]	2,00	N4 [kN]	279,20
b1 [m]	0,00	F0	2,60	Q4 [kN/m <sup>2</sup> ]	0,50		
b2 [m]	0,00	TC* [s]	0,34	Qneve [kN/m]	1,00		
b3 [m]	0,40	$\eta$	1,00	$\psi_1$	0,00	t [m]	0,04
b4 [m]	0,40	S	1,50	$\psi_2$	0,00	$\alpha$	0,30
d1 [m]	0,00	Cc	1,50	$\psi_3$	0,30	$\theta$	0,17
d2 [m]	0,00	Tc [s]	0,51	$\psi_4$	0,00		
d3 [m]	0,30	TB [s]	0,17	$\psi_{neve}$	0,00		
d4 [m]	0,30	TD [s]	2,00				
l [m]	23,79	C1	0,05	SPOSTAMENTI VIRTUA		CURVA DI CAPACITÀ	
A <sub>solaio</sub> [m <sup>2</sup> ]	36,87	q	2,00	$\delta N_{1x}$	0,00	M* [kN]	90,16
A <sub>cop</sub> [m <sup>2</sup> ]	38,00	TE [s]	6,00	$\delta N_{2x}$	0,00	e*	0,70
A <sub>1apert</sub> [m <sup>2</sup> ]	0,00	TF [s]	10,00	$\delta N_{3x}$	2,86	a0* [m/s <sup>2</sup> ]	3,14
A <sub>2apert</sub> [m <sup>2</sup> ]	0,00			$\delta N_{4x}$	0,00	$\phi$	1,00
A <sub>3apert</sub> [m <sup>2</sup> ]	13,69			$\delta P_{1x}$	0,00	$\Theta$	1,00
A <sub>4apert</sub> [m <sup>2</sup> ]	13,69			$\delta P_{2x}$	0,00		
				$\delta P_{3x}$	1,43		
				$\delta P_{4x}$	1,43		
				$\delta N_{1y}$	0,00		
				$\delta N_{2y}$	0,00		
				$\delta N_{3y}$	0,30		
				$\delta N_{4y}$	0,50		
				$\delta P_{1y}$	0,00		
				$\delta P_{2y}$	0,00		
				$\delta P_{3y}$	0,20		
				$\delta P_{4y}$	0,60		

VERIFICA SLV LINEARE			
T1 [s]	0,24	a1 [m/s <sup>2</sup> ]	0,74
$\Psi(z)$	0,34	a2 [m/s <sup>2</sup> ]	0,84
$\gamma$	1,29	a0* [m/s <sup>2</sup> ]	3,14
Se(T1) [m/s <sup>2</sup> ]	3,86	a0*>max(a1;a2)	VERIFICATA

Tabella 5.38 Tabella di calcolo del cinematismo e relative verifiche

### Macroelemento 4 – Cinematismo 5

Di seguito viene analizzato il meccanismo, relativo al macroelemento 4, che consiste nella formazione di catena cinematica nel piano.

L'azione sismica provoca la rotazione rigida di una porzione triangolare dei pannelli murari, mentre la fascia superiore orizzontale trasla.

Le verifiche si svolgono mediante l'applicazione del principio dei lavori virtuali.

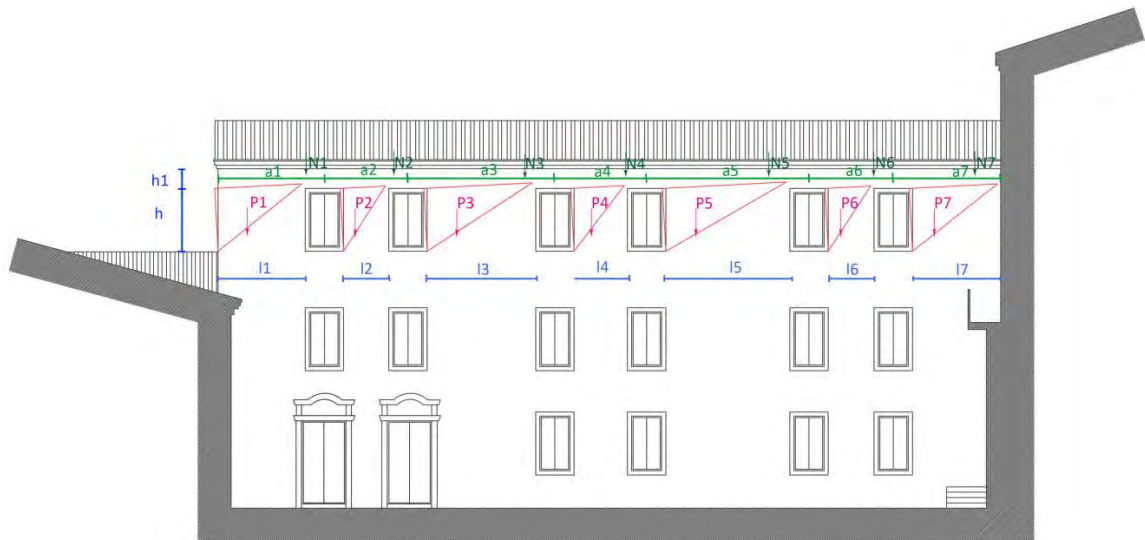


Figura 5.20 Rappresentazione del meccanismo di catena cinematica nel piano

Successivamente si procede al calcolo degli spostamenti orizzontali  $\delta_{x,i}$  e verticali  $\delta_{y,i}$ , della massa partecipante  $M^*$ , della frazione di massa partecipante  $e^*$  e dell'accelerazione sismica spettrale  $a_0^*$ .

Si svolge la verifica lineare allo SLV, ed essendo questa soddisfatta non è necessario procedere oltre.



DATI GEOMETRICI								
ELEM	a [m]	l [m]	h [m]	h1[m]	b [m]	profondità [m]	Asott [m2]	Acop [m2]
1	3,20	2,60	1,90	0,60	0,40	1,33	4,25	4,38
2	2,60	1,40	1,90	0,60	0,40	1,33	3,45	3,56
3	4,50	3,30	1,90	0,60	0,40	1,33	5,98	6,16
4	2,80	1,60	1,90	0,60	0,40	1,33	3,72	3,83
5	4,90	3,70	1,90	0,60	0,40	1,33	6,51	6,71
6	2,60	1,40	1,90	0,60	0,40	1,33	3,45	3,56
7	3,20	2,60	1,90	0,60	0,40	1,33	4,25	4,38

DATI MATERIALE							
$\gamma$ [kN/m3]	18,00	G4 [kN/m2]	3,45	Q4 [kN/m2]	0,50	$\psi_4$	0,00
fm [Mpa]	240,00	Gcop[kN/m2]	4,00	Qneve[kN/m2]	1,00	$\psi_{neve}$	0,00
$\tau_0$ [Mpa]	6,00						

CARICHI			SPOSTAMENTI VIRTUALI				
ELEM	P [kN]	N [kN]	ELEM	$\delta Px$	$\delta Py$	$\delta Nx$	$\delta Ny$
1	17,78	46,01	1	0,40	0,87	0,60	1,95
2	9,58	37,37	2	0,40	0,47	0,60	1,05
3	22,57	64,71	3	0,40	1,10	0,60	2,48
4	10,94	40,25	4	0,40	0,53	0,60	1,20
5	25,31	70,47	5	0,40	1,23	0,60	2,78
6	9,58	37,37	6	0,40	0,47	0,60	1,05
7	17,78	46,01	7	0,40	0,87	0,60	1,95

$\alpha$	3,05
M*	45,34
e*	0,98
a0*	22,68

C1	0,05	ag [m/s	0,99	q	2,00
H [m]	8,52	S	1,50		
z [m]	5,66	F0	2,60		
n [piani]	3	$\eta$	1,00		

VERIFICA SLV LINEARE			
T1 [s]	0,25	a1 [m/s2]	0,74
$\Psi(z)$	0,66	a2 [m/s2]	1,65
$\gamma$	1,29	a0* [m/s2]	22,68
Se(T1)	3,86	a0*>max(a1;a2)	VERIFICATA

Tabella 5.39 Tabella di calcolo del cinematismo e relative verifiche

### Macroelemento 5 – Cinematismo 1

Di seguito viene presentato il meccanismo parziale relativo al macroelemento 5, che consiste nel ribaltamento semplice delle pareti relative al piano secondo, attraverso una rotazione attorno alla cerniera cilindrica posta alla base della parete del piano secondo. Il procedimento di verifica si svolge in maniera analoga ai precedenti, quindi vengono riportati i risultati.

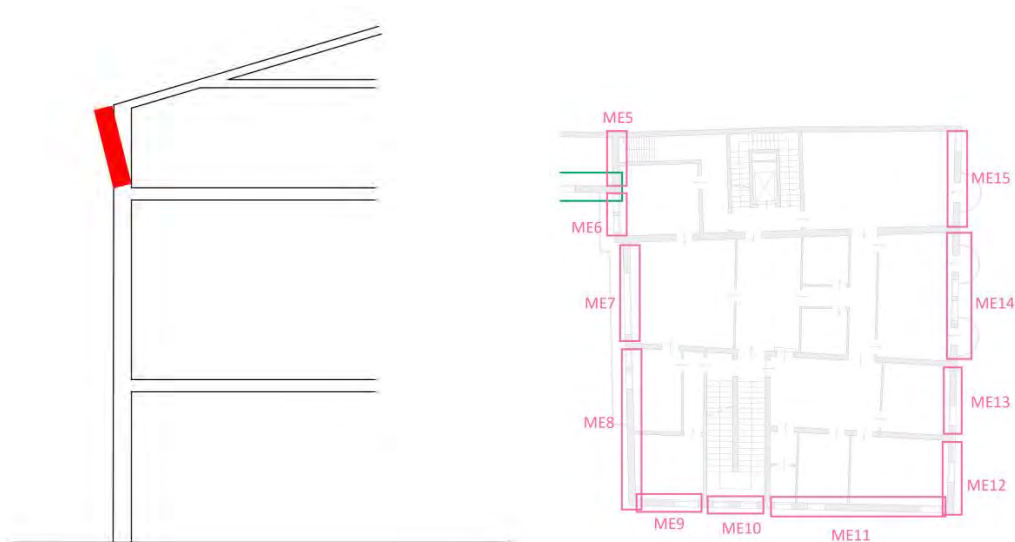


Figura 5.21 Rappresentazione del meccanismo di ribaltamento e riferimento planimetrico

Successivamente si procede al calcolo degli spostamenti orizzontali  $\delta_{x,i}$ , della massa partecipante  $M^*$ , della frazione di massa partecipante  $e^*$  e dell'accelerazione sismica spettrale  $a_0^*$ .

Si svolge la verifica lineare allo SLV, ed essendo questa non soddisfatta, si procede mediante verifica non lineare allo SLV, ed essendo questa soddisfatta non è necessario procedere oltre.

DATI GEOMETRICI		DATI MATERIALE		CARICHI			
n [piani]	3,00	$\gamma$ [kN/m <sup>3</sup> ]	18,00	G1 [kN/m <sup>2</sup> ]	0,00	P1 [kN]	0,00
H [m]	9,74	f <sub>m</sub> [Mpa]	240,00	G2 [kN/m <sup>2</sup> ]	0,00	P2 [kN]	0,00
z [m]	8,14	t <sub>0</sub> [Mpa]	6,00	G3 [kN/m <sup>2</sup> ]	0,00	P3 [kN]	0,00
htot [m]	1,60	g [m/s <sup>2</sup> ]	9,81	G4 [kN/m <sup>2</sup> ]	3,40	P4 [kN]	50,54
h1 [m]	0,00	FC	1,35	Gcop [kN/m <sup>2</sup> ]	4,00	N1 [kN]	0,00
h2 [m]	0,00	f <sub>md</sub> [Mpa]	0,89	Q1 [kN/m <sup>2</sup> ]	0,00	N2 [kN]	0,00
h3 [m]	0,00	f <sub>vd</sub> [Mpa]	0,02	Q2 [kN/m <sup>2</sup> ]	0,00	N3 [kN]	0,00
h4 [m]	1,60	ag [m/s <sup>2</sup> ]	0,99	Q3 [kN/m <sup>2</sup> ]	0,00	N4 [kN]	93,87
b1 [m]	0,00	F0	2,60	Q4 [kN/m <sup>2</sup> ]	0,50		
b2 [m]	0,00	TC* [s]	0,34	Qneve [kN/m <sup>2</sup> ]	1,00		
b3 [m]	0,00	$\eta$	1,00	$\psi_1$	0,00	t [m]	0,03
b4 [m]	0,45	S	1,50	$\psi_2$	0,00	$\alpha$	0,19
d1 [m]	0,00	Cc	1,50	$\psi_3$	0,00	Ms [kNm]	35,53
d2 [m]	0,00	Tc [s]	0,51	$\psi_4$	0,00	MR [kNm]	190,63
d3 [m]	0,00	TB [s]	0,17	$\psi_{neve}$	0,00	$\vartheta$	0,63
d4 [m]	0,30	TD [s]	2,00				
l [m]	3,90	C1	0,05	SPOSTAMENTI VIRTUALI		CURVA DI CAPACITÀ	
Asolaio [m <sup>2</sup> ]	12,48	q	2,00	$\delta N1$	0,00	M* [kN]	13,59
Acop [m <sup>2</sup> ]	12,86	TE [s]	6,00	$\delta N2$	0,00	e*	0,92
A1apert [m <sup>2</sup> ]	0,00	TF [s]	10,00	$\delta N3$	0,00	a0* [m/s <sup>2</sup> ]	1,47
A2apert [m <sup>2</sup> ]	0,00			$\delta N4$	1,00		
A3apert [m <sup>2</sup> ]	0,00			$\delta P1$	0,00		
A4apert [m <sup>2</sup> ]	0,00			$\delta P2$	0,00		
				$\delta P3$	0,00		
				$\delta P4$	0,50		

VERIFICA SLV LINEARE			
T1 [s]	0,28	a1 [m/s <sup>2</sup> ]	0,74
$\Psi(z)$	0,84	a2 [m/s <sup>2</sup> ]	2,07
$\gamma$	1,29	a0* [m/s <sup>2</sup> ]	1,47
Se(T1) [m/s <sup>2</sup> ]	3,86	a0* > max(a1;a2)	NON VERIFICATA

VERIFICA SLV NON LINEARE					
RP1 [m]	0,03	$\beta P1$ [rad]	0,00	Ms	0,00
RP2 [m]	0,03	$\beta P2$ [rad]	0,00	$\theta$ [rad]	0,18424
RP3 [m]	0,03	$\beta P3$ [rad]	0,00	hbar [m]	1,32
RP4 [m]	0,82	$\beta P4$ [rad]	1,33	dk0 [m]	0,24
RN1 [m]	0,03	$\beta N1$ [rad]	0,00	$\delta x hbar$	0,83
RN2 [m]	0,03	$\beta N2$ [rad]	0,00	d0* [m]	0,26
RN3 [m]	0,03	$\beta N3$ [rad]	0,00	du* [m]	0,10
RN4 [m]	1,62	$\beta N4$ [rad]	1,40	ds* [m]	0,04
				as* [m/s <sup>2</sup> ]	1,23
				Ts* [s]	1,16
SDe1 [m/s <sup>2</sup> ]	0,10			SDe(Ts) [m/s <sup>2</sup> ]	0,10
SDe2 [m/s <sup>2</sup> ]	0,04			SDe(T1) [m/s <sup>2</sup> ]	0,01
du* [m]	0,10			Se(TS) [m/s <sup>2</sup> ]	2,93
du* > max(SDe1;SDe2)		VERIFICATA			

Tabella 5.40 Tabella di calcolo del cinematismo e relative verifiche

**Macroelemento 5 – Cinematismo 2**

Di seguito viene presentato il meccanismo relativo al macroelemento 5, che consiste nella flessione verticale di una porzione in quota della parete, attraverso la formazione di una cerniera cilindrica orizzontale che divide la parete in due blocchi distinti.

Il procedimento di verifica si svolge in maniera analoga ai precedenti, quindi vengono riportati i risultati.

Le verifiche si svolgono mediante l'applicazione del principio dei lavori virtuali.

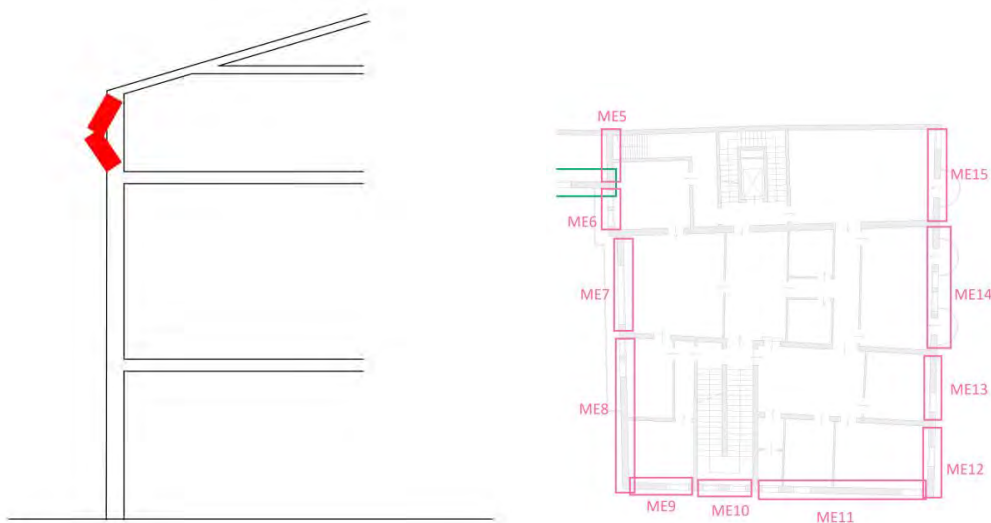


Figura 5.22 Rappresentazione del meccanismo di ribaltamento e riferimento planimetrico

Successivamente si procede al calcolo degli spostamenti orizzontali  $\delta_{x,i}$ , della massa partecipante  $M^*$ , della frazione di massa partecipante  $e^*$  e dell'accelerazione sismica spettrale  $a_0^*$ .

Si svolge la verifica lineare allo SLV, ed essendo questa soddisfatta non è necessario procedere oltre.

DATI GEOMETRICI		PESI		PESO PROPRIO DELLE DUE PARTI	
<b>H piano [m]</b>	1,60	<b>P piano consid</b>	50,54	<b>P1 [kN]</b>	32,19
<b>h2 [m]</b>	0,58	<b>N piano consid</b>	93,87	<b>P2 [kN]</b>	18,35
<b>h1 [m]</b>	1,02				
<b>x [m]</b>	2,75				
<b>b [m]</b>	0,45				

<b>a</b>	50,09
----------	-------

SPOSTAMENTI VIRTUALI	
<b><math>\delta_{1y}</math></b>	0,23
<b><math>\delta_{1x}</math></b>	0,51
<b><math>\delta_{2y}</math></b>	0,84
<b><math>\delta_{2x}</math></b>	0,51
<b><math>\delta_{N1}</math></b>	0,84
<b><math>\delta_{N2}</math></b>	0,00

Tabella 5.41 Tabella di calcolo del cinematismo e relative verifiche

### Macroelemento 6 – Cinematismo 1

Di seguito viene presentata l'analisi del meccanismo corrispondente al ribaltamento fuori piano del macroelemento 6, appartenente al blocco A.

Il meccanismo consiste nel ribaltamento globale della parete con rotazione attorno alla cerniera cilindrica posta alla base della muratura.

Il procedimento di verifica si svolge analogamente ai precedenti, quindi se ne riportano solo i risultati.

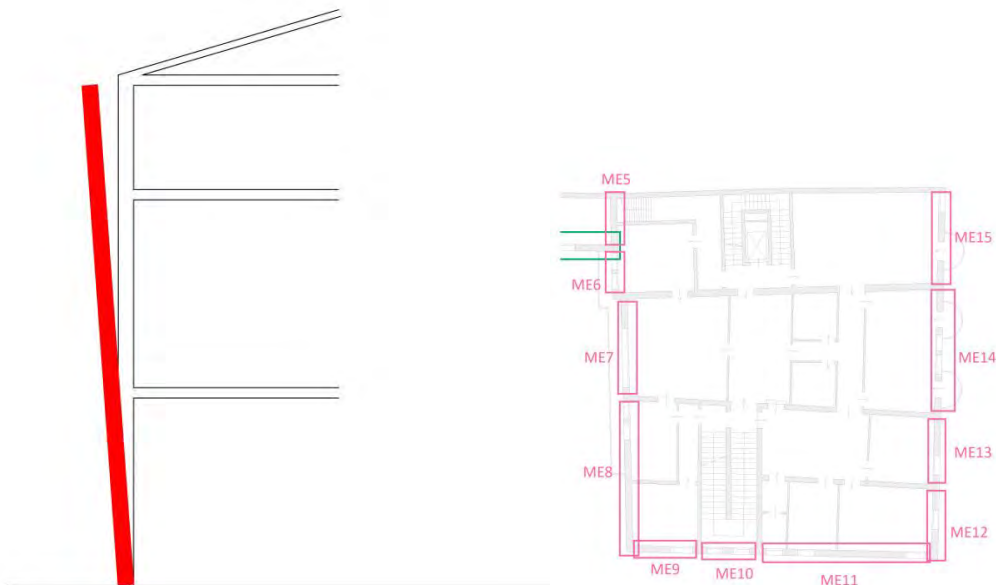


Figura 5.23 Rappresentazione del meccanismo di ribaltamento e riferimento planimetrico

Come prima si procede al calcolo degli spostamenti orizzontali  $\delta_{x,i}$ , della massa partecipante  $M^*$ , della frazione di massa partecipante  $e^*$  e dell'accelerazione sismica spettrale  $a_0^*$ .

Si svolge la verifica lineare allo SLV, ed essendo questa non soddisfatta, si procede mediante verifica non lineare allo SLV, che risulta anch'essa non soddisfatta, quindi si calcolano i tiranti.

DATI GEOMETRICI		DATI MATERIALE		CARICHI			
n [piani]	3,00	$\gamma$ [kN/m <sup>3</sup> ]	18,00	G1 [kN/m <sup>2</sup> ]	0,00	P1 [kN]	0,00
H [m]	14,05	f <sub>m</sub> [Mpa]	240,00	G2 [kN/m <sup>2</sup> ]	4,80	P2 [kN]	126,95
z [m]	0,00	t <sub>0</sub> [Mpa]	6,00	G3 [kN/m <sup>2</sup> ]	3,53	P3 [kN]	66,38
htot [m]	14,05	g [m/s <sup>2</sup> ]	9,81	G4 [kN/m <sup>2</sup> ]	3,40	P4 [kN]	52,95
h1 [m]	0,00	FC	1,35	Gcop [kN/m <sup>2</sup> ]	2,16	N1 [kN]	0,00
h2 [m]	5,50	f <sub>md</sub> [Mpa]	0,89	Q1 [kN/m <sup>2</sup> ]	0,00	N2 [kN]	50,60
h3 [m]	5,50	f <sub>vd</sub> [Mpa]	0,02	Q2 [kN/m <sup>2</sup> ]	2,00	N3 [kN]	38,70
h4 [m]	3,05	ag [m/s <sup>2</sup> ]	0,99	Q3 [kN/m <sup>2</sup> ]	2,00	N4 [kN]	52,72
b1 [m]	0,00	F0	2,60	Q4 [kN/m <sup>2</sup> ]	0,50		
b2 [m]	0,60	TC* [s]	0,34	Qneve [kN/m <sup>2</sup> ]	1,00		
b3 [m]	0,45	$\eta$	1,00	$\psi_1$	0,00	t [m]	0,10
b4 [m]	0,45	S	1,50	$\psi_2$	0,30	$\alpha$	0,02
d1 [m]	0,00	Cc	1,50	$\psi_3$	0,30	Ms [kNm]	68,99
d2 [m]	0,30	Tc [s]	0,51	$\psi_4$	0,00	MR [kNm]	3004,63
d3 [m]	0,30	TB [s]	0,17	$\psi_{neve}$	0,00	$\vartheta$	0,07
d4 [m]	0,30	TD [s]	2,00				
l [m]	2,93	C1	0,05	SPOSTAMENTI VIRTUALI		CURVA DI CAPACITÀ	
Asolaio [m <sup>2</sup> ]	9,37	q	2,00	$\delta_{N1}$	0,00	M* [kN]	30,27
Acop [m <sup>2</sup> ]	9,66	TE [s]	6,00	$\delta_{N2}$	0,39	e*	0,76
A1apert [m <sup>2</sup> ]	0,00	TF [s]	10,00	$\delta_{N3}$	0,78	a0* [m/s <sup>2</sup> ]	0,22
A2apert [m <sup>2</sup> ]	4,36			$\delta_{N4}$	1,00		
A3apert [m <sup>2</sup> ]	7,92			$\delta_{P1}$	0,00		
A4apert [m <sup>2</sup> ]	2,40			$\delta_{P2}$	0,20		
				$\delta_{P3}$	0,59		
				$\delta_{P4}$	0,89		

VERIFICA SLV LINEARE			
T1 [s]	0,36	a1 [m/s <sup>2</sup> ]	0,74
$\Psi(z)$	0,00	a2 [m/s <sup>2</sup> ]	0,00
$\gamma$	1,29	a0* [m/s <sup>2</sup> ]	0,22
Se(T1) [m/s <sup>2</sup> ]	3,86	a0* > max(a1;a2)	NON VERIFICATA

VERIFICA SLV NON LINEARE					
RP1 [m]	0,10	$\beta_{P1}$ [rad]	0,00	Ms	0,00
RP2 [m]	2,76	$\beta_{P2}$ [rad]	1,50	$\theta$ [rad]	0,02296
RP3 [m]	8,25	$\beta_{P3}$ [rad]	1,56	hbar [m]	7,74
RP4 [m]	12,53	$\beta_{P4}$ [rad]	1,56	dk0 [m]	0,18
RN1 [m]	0,10	$\beta_{N1}$ [rad]	0,00	$\delta_{xhbar}$	0,55
RN2 [m]	5,50	$\beta_{N2}$ [rad]	1,53	d0* [m]	0,23
RN3 [m]	11,00	$\beta_{N3}$ [rad]	1,55	du* [m]	0,09
RN4 [m]	14,05	$\beta_{N4}$ [rad]	1,56	ds* [m]	0,04
				as* [m/s <sup>2</sup> ]	0,18
				Ts* [s]	2,83
SDe1 [m/s <sup>2</sup> ]	0,10			SDe(Ts) [m/s <sup>2</sup> ]	0,10
SDe2 [m/s <sup>2</sup> ]	0,00			SDe(T1) [m/s <sup>2</sup> ]	0,01
du* [m]	0,09			Se(TS) [m/s <sup>2</sup> ]	0,49
du* > max(SDe1;SDe2)		NON VERIFICATA			

Tabella 5.42 Tabella di calcolo del cinematismo e relative verifiche

<b>TIRANTI</b>			
<b>a0*</b> [m/s <sup>2</sup> ]	0,74	<b>T4</b> [kN]	11,27
<b>α0</b> [m/s <sup>2</sup> ]	0,08	<b>T3</b> [kN]	4,41
<b>Tmin</b> [kN]	11,27	<b>T2</b> [kN]	4,41
		<b>T1</b> [kN]	0,00

<b>VERIFICA TIRANTI</b>	
<b>ROTTURA BARRA</b>	
<b>T'</b> [kN]	61,04

<b>PUNZONAMENTO MURATURA</b>	
<b>T''</b> [kN]	27,00

<b>SCHIACCIAMENTO MURO</b>	
<b>T'''</b> [kN]	80,1

<b>T4</b>	VERIFICATO
<b>T3</b>	VERIFICATO
<b>T2</b>	VERIFICATO
<b>T1</b>	VERIFICATO

Si dispone un tirante per piano

Tabella 5.43 Tabella di calcolo dei tiranti



### Macroelemento 6 – Cinematismo 2

Di seguito viene presentato il meccanismo parziale relativo al macroelemento 6, che consiste nel ribaltamento semplice delle pareti relative ai piani primo e secondo, attraverso una rotazione attorno alla cerniera cilindrica posta alla base della parete del piano primo.

Il procedimento di verifica si svolge in maniera analoga ai precedenti, quindi vengono riportati i risultati.

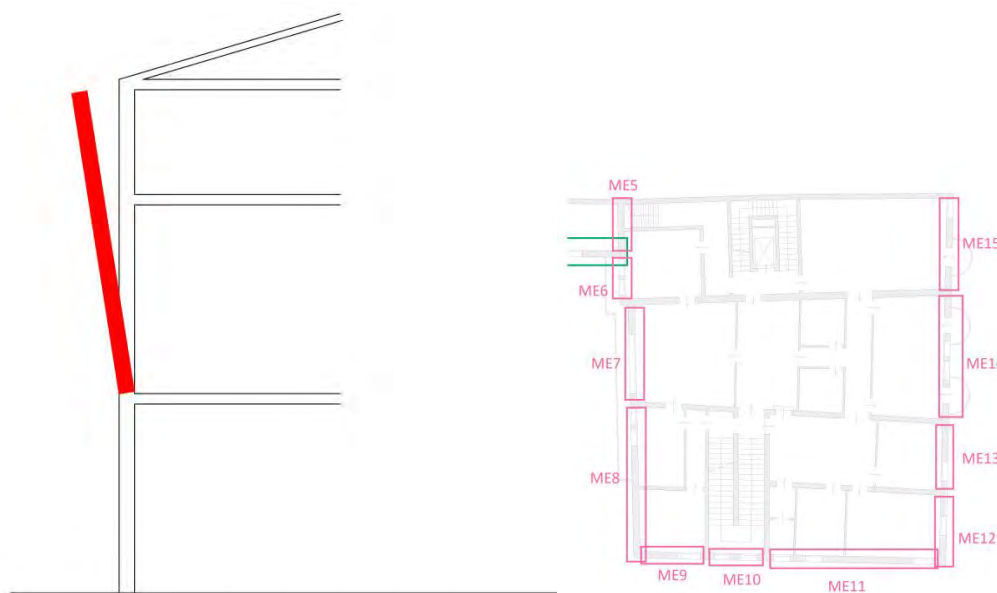


Figura 5.24 Rappresentazione del meccanismo di ribaltamento e riferimento planimetrico

Come prima si procede al calcolo degli spostamenti orizzontali  $\delta_{x,i}$ , della massa partecipante  $M^*$ , della frazione di massa partecipante  $e^*$  e dell'accelerazione sismica spettrale  $a_0^*$ .

Si svolge la verifica lineare allo SLV, ed essendo questa non soddisfatta, si procede mediante verifica non lineare allo SLV, che risulta anch'essa non soddisfatta, quindi si calcolano i tiranti.

DATI GEOMETRICI		DATI MATERIALE		CARICHI			
n [piani]	3,00	$\gamma$ [kN/m <sup>3</sup> ]	18,00	G1 [kN/m <sup>2</sup> ]	0,00	P1 [kN]	0,00
H [m]	14,05	f <sub>m</sub> [Mpa]	240,00	G2 [kN/m <sup>2</sup> ]	0,00	P2 [kN]	0,00
z [m]	5,50	t <sub>0</sub> [Mpa]	6,00	G3 [kN/m <sup>2</sup> ]	3,53	P3 [kN]	66,38
htot [m]	8,55	g [m/s <sup>2</sup> ]	9,81	G4 [kN/m <sup>2</sup> ]	3,40	P4 [kN]	52,95
h1 [m]	0,00	FC	1,35	G <sub>cop</sub> [kN/m <sup>2</sup> ]	2,16	N1 [kN]	0,00
h2 [m]	0,00	f <sub>md</sub> [Mpa]	0,89	Q1 [kN/m <sup>2</sup> ]	0,00	N2 [kN]	0,00
h3 [m]	5,50	f <sub>vd</sub> [Mpa]	0,02	Q2 [kN/m <sup>2</sup> ]	0,00	N3 [kN]	38,70
h4 [m]	3,05	ag [m/s <sup>2</sup> ]	0,99	Q3 [kN/m <sup>2</sup> ]	2,00	N4 [kN]	52,72
b1 [m]	0,00	F0	2,60	Q4 [kN/m <sup>2</sup> ]	0,50		
b2 [m]	0,00	TC* [s]	0,34	Q <sub>neve</sub> [kN/m <sup>2</sup> ]	1,00		
b3 [m]	0,45	$\eta$	1,00	$\psi_1$	0,00	t [m]	0,05
b4 [m]	0,45	S	1,50	$\psi_2$	0,00	$\alpha$	0,04
d1 [m]	0,00	Cc	1,50	$\psi_3$	0,30	Ms [kNm]	42,92
d2 [m]	0,00	Tc [s]	0,51	$\psi_4$	0,00	MR [kNm]	1218,11
d3 [m]	0,30	TB [s]	0,17	$\psi_{neve}$	0,00	$\vartheta$	0,12
d4 [m]	0,30	TD [s]	2,00				
l [m]	2,93	C1	0,05	SPOSTAMENTI VIRTUALI		CURVA DI CAPACITÀ	
A <sub>solai</sub> [m <sup>2</sup> ]	9,37	q	2,00	$\delta_{N1}$	0,00	M* [kN]	18,58
A <sub>cop</sub> [m <sup>2</sup> ]	9,66	TE [s]	6,00	$\delta_{N2}$	0,00	e*	0,86
A1 <sub>apert</sub> [m <sup>2</sup> ]	0,00	TF [s]	10,00	$\delta_{N3}$	0,64	a0* [m/s <sup>2</sup> ]	0,30
A2 <sub>apert</sub> [m <sup>2</sup> ]	0,00			$\delta_{N4}$	1,00		
A3 <sub>apert</sub> [m <sup>2</sup> ]	7,92			$\delta_{P1}$	0,00		
A4 <sub>apert</sub> [m <sup>2</sup> ]	2,40			$\delta_{P2}$	0,00		
				$\delta_{P3}$	0,32		
				$\delta_{P4}$	0,82		

VERIFICA SLV LINEARE			
T1 [s]	0,36	a1 [m/s <sup>2</sup> ]	0,74
$\Psi(z)$	0,39	a2 [m/s <sup>2</sup> ]	0,97
$\gamma$	1,29	a0* [m/s <sup>2</sup> ]	0,30
Se(T1) [m/s <sup>2</sup> ]	3,86	a0* > max(a1;a2)	NON VERIFICATA

VERIFICA SLV NON LINEARE					
RP1 [m]	0,05	$\beta_{P1}$ [rad]	0,00	Ms	0,00
RP2 [m]	0,05	$\beta_{P2}$ [rad]	0,00	$\theta$ [rad]	0,03522
RP3 [m]	2,76	$\beta_{P3}$ [rad]	1,51	h <sub>bar</sub> [m]	5,78
RP4 [m]	7,03	$\beta_{P4}$ [rad]	1,55	dk0 [m]	0,20
RN1 [m]	0,05	$\beta_{N1}$ [rad]	0,00	$\delta_{xhbar}$	0,68
RN2 [m]	0,05	$\beta_{N2}$ [rad]	0,00	d0* [m]	0,24
RN3 [m]	5,51	$\beta_{N3}$ [rad]	1,53	du* [m]	0,09
RN4 [m]	8,55	$\beta_{N4}$ [rad]	1,54	ds* [m]	0,04
				as* [m/s <sup>2</sup> ]	0,25
				Ts* [s]	2,44
SDe1 [m/s <sup>2</sup> ]	0,10			SDe(Ts) [m/s <sup>2</sup> ]	0,10
SDe2 [m/s <sup>2</sup> ]	0,05			SDe(T1) [m/s <sup>2</sup> ]	0,01
du* [m]	0,09			Se(TS) [m/s <sup>2</sup> ]	0,66
du* > max(SDe1;SDe2)		NON VERIFICATA			

Tabella 5.44 Tabella di calcolo del cinematismo e relative verifiche

<b>TIRANTI</b>			
<b>a0*</b> [m/s <sup>2</sup> ]	0,97	<b>T4</b> [kN]	10,16
<b>α0</b> [m/s <sup>2</sup> ]	0,12	<b>T3</b> [kN]	6,54
<b>Tmin</b> [kN]	10,16	<b>T2</b> [kN]	0,00
		<b>T1</b> [kN]	0,00

<b>VERIFICA TIRANTI</b>	
<b>ROTTURA BARRA</b>	
<b>T'</b> [kN]	61,04

<b>PUNZONAMENTO MURATURA</b>	
<b>T''</b> [kN]	27,00

<b>SCHIACCIAMENTO MURO</b>	
<b>T'''</b> [kN]	80,1

<b>T4</b>	VERIFICATO
<b>T3</b>	VERIFICATO
<b>T2</b>	VERIFICATO
<b>T1</b>	VERIFICATO

Si dispone un tirante per piano

Tabella 5.45 Tabella di calcolo dei tiranti

**Macroelemento 6 – Cinematismo 3**

Di seguito viene presentato il meccanismo parziale relativo al macroelemento 6, che consiste nel ribaltamento semplice delle pareti relative al piano secondo, attraverso una rotazione attorno alla cerniera cilindrica posta alla base della parete del piano secondo. Il procedimento di verifica si svolge in maniera analoga ai precedenti, quindi vengono riportati i risultati.

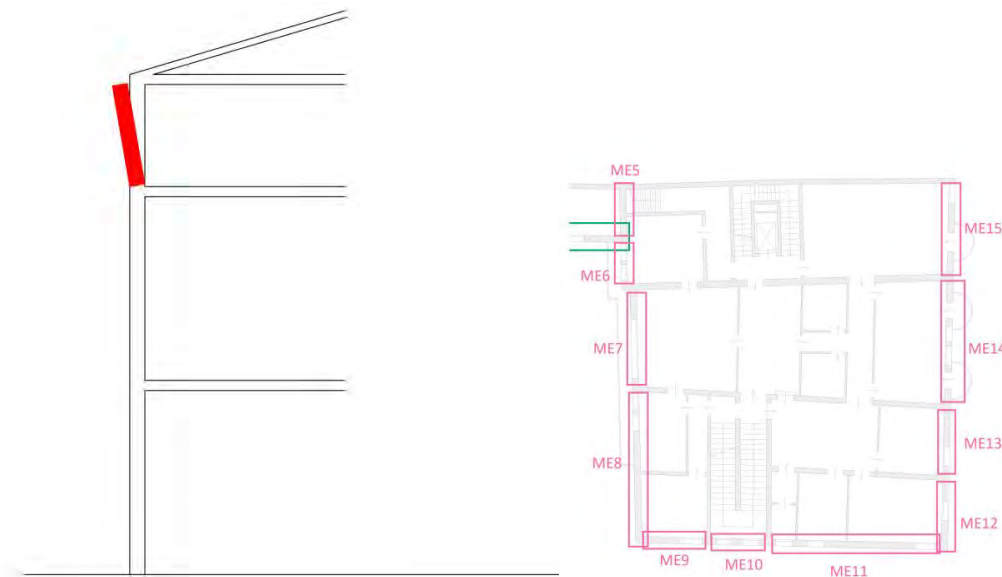


Figura 5.25 Rappresentazione del meccanismo di ribaltamento e riferimento planimetrico

Successivamente si procede al calcolo degli spostamenti orizzontali  $\delta_{x,i}$ , della massa partecipante  $M^*$ , della frazione di massa partecipante  $e^*$  e dell'accelerazione sismica spettrale  $a_0^*$ .

Si svolge la verifica lineare allo SLV, ed essendo questa non soddisfatta, si procede mediante verifica non lineare allo SLV, ed essendo questa soddisfatta non è necessario procedere oltre.

DATI GEOMETRICI		DATI MATERIALE		CARICHI			
n [piani]	3,00	$\gamma$ [kN/m <sup>3</sup> ]	18,00	G1 [kN/m <sup>2</sup> ]	0,00	P1 [kN]	0,00
H [m]	14,05	f <sub>m</sub> [Mpa]	240,00	G2 [kN/m <sup>2</sup> ]	0,00	P2 [kN]	0,00
z [m]	11,00	$\tau_0$ [Mpa]	6,00	G3 [kN/m <sup>2</sup> ]	0,00	P3 [kN]	0,00
htot [m]	3,05	g [m/s <sup>2</sup> ]	9,81	G4 [kN/m <sup>2</sup> ]	3,40	P4 [kN]	52,95
h1 [m]	0,00	FC	1,35	Gcop [kN/m <sup>2</sup> ]	2,16	N1 [kN]	0,00
h2 [m]	0,00	f <sub>md</sub> [Mpa]	0,89	Q1 [kN/m <sup>2</sup> ]	0,00	N2 [kN]	0,00
h3 [m]	0,00	f <sub>vd</sub> [Mpa]	0,02	Q2 [kN/m <sup>2</sup> ]	0,00	N3 [kN]	0,00
h4 [m]	3,05	ag [m/s <sup>2</sup> ]	0,99	Q3 [kN/m <sup>2</sup> ]	0,00	N4 [kN]	52,72
b1 [m]	0,00	F0	2,60	Q4 [kN/m <sup>2</sup> ]	0,50		
b2 [m]	0,00	TC* [s]	0,34	Qneve [kN/m <sup>2</sup> ]	1,00		
b3 [m]	0,00	$\eta$	1,00	$\psi_1$	0,00	t [m]	0,03
b4 [m]	0,45	S	1,50	$\psi_2$	0,00	$\alpha$	0,10
d1 [m]	0,00	Cc	1,50	$\psi_3$	0,00	Ms [kNm]	24,88
d2 [m]	0,00	Tc [s]	0,51	$\psi_4$	0,00	MR [kNm]	241,55
d3 [m]	0,00	TB [s]	0,17	$\psi_{neve}$	0,00	$\vartheta$	0,33
d4 [m]	0,30	TD [s]	2,00				
l [m]	2,93	C1	0,05	SPOSTAMENTI VIRTUALI		CURVA DI CAPACITÀ	
Asolaio [m <sup>2</sup> ]	9,37	q	2,00	$\delta N1$	0,00	M* [kN]	9,69
Acop [m <sup>2</sup> ]	9,66	TE [s]	6,00	$\delta N2$	0,00	e*	0,90
A1apert [m <sup>2</sup> ]	0,00	TF [s]	10,00	$\delta N3$	0,00	a0* [m/s <sup>2</sup> ]	0,83
A2apert [m <sup>2</sup> ]	0,00			$\delta N4$	1,00		
A3apert [m <sup>2</sup> ]	0,00			$\delta P1$	0,00		
A4apert [m <sup>2</sup> ]	2,40			$\delta P2$	0,00		
				$\delta P3$	0,00		
				$\delta P4$	0,50		

VERIFICA SLV LINEARE			
T1 [s]	0,36	a1 [m/s <sup>2</sup> ]	0,74
$\Psi(z)$	0,78	a2 [m/s <sup>2</sup> ]	1,94
$\gamma$	1,29	a0* [m/s <sup>2</sup> ]	0,83
Se(T1) [m/s <sup>2</sup> ]	3,86	a0* > max(a1;a2)	NON VERIFICATA

VERIFICA SLV NON LINEARE					
RP1 [m]	0,03	$\beta P1$ [rad]	0,00	Ms	0,00
RP2 [m]	0,03	$\beta P2$ [rad]	0,00	$\theta$ [rad]	0,1026
RP3 [m]	0,03	$\beta P3$ [rad]	0,00	hbar [m]	2,29
RP4 [m]	1,54	$\beta P4$ [rad]	1,44	dk0 [m]	0,23
RN1 [m]	0,03	$\beta N1$ [rad]	0,00	$\delta x hbar$	0,75
RN2 [m]	0,03	$\beta N2$ [rad]	0,00	d0* [m]	0,26
RN3 [m]	0,03	$\beta N3$ [rad]	0,00	du* [m]	0,10
RN4 [m]	3,06	$\beta N4$ [rad]	1,48	ds* [m]	0,04
				as* [m/s <sup>2</sup> ]	0,70
				Ts* [s]	1,53
SDe1 [m/s <sup>2</sup> ]	0,10			SDe(Ts) [m/s <sup>2</sup> ]	0,10
SDe2 [m/s <sup>2</sup> ]	0,07			SDe(T1) [m/s <sup>2</sup> ]	0,01
du* [m]	0,10			Se(TS) [m/s <sup>2</sup> ]	1,67
du* > max(SDe1;SDe2)		VERIFICATA			

Tabella 5.46 Tabella di calcolo del cinematismo e relative verifiche

**Macroelemento 6 – Cinematismo 4**

Di seguito viene presentato il meccanismo relativo al macroelemento 6, che consiste nella flessione verticale di una porzione in quota della parete, attraverso la formazione di una cerniera cilindrica orizzontale che divide la parete in due blocchi distinti.

Il procedimento di verifica si svolge in maniera analoga ai precedenti, quindi vengono riportati i risultati.

Le verifiche si svolgono mediante l'applicazione del principio dei lavori virtuali.

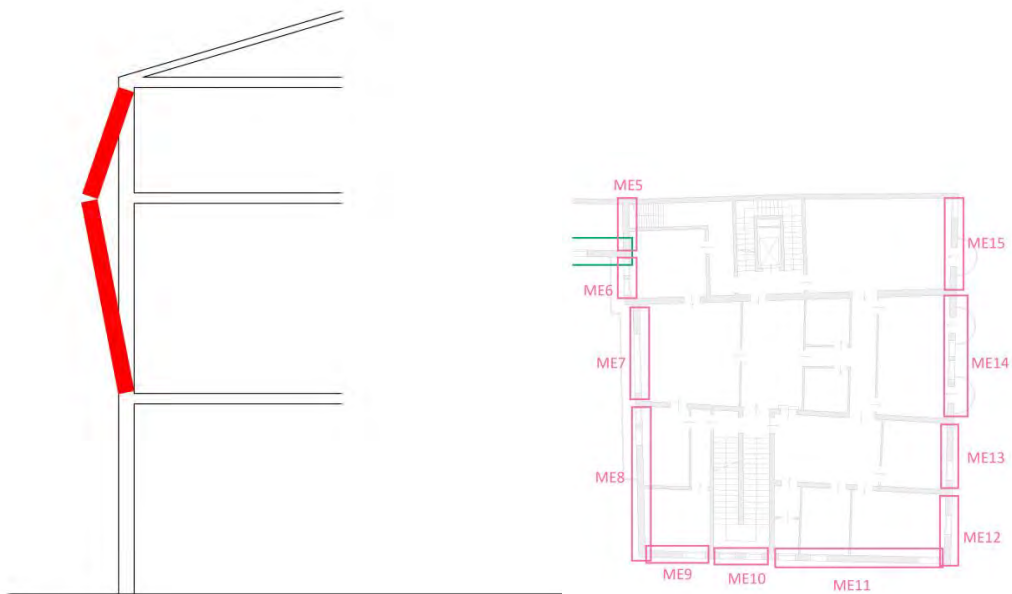


Figura 5.26 Rappresentazione del meccanismo di ribaltamento e riferimento planimetrico

Successivamente si procede al calcolo degli spostamenti orizzontali  $\delta_{x,i}$ , della massa partecipante  $M^*$ , della frazione di massa partecipante  $e^*$  e dell'accelerazione sismica spettrale  $a_0^*$ .

Si svolge la verifica lineare allo SLV, ed essendo questa soddisfatta non è necessario procedere oltre.

DATI GEOMETRICI		DATI MATERIALE		CARICHI			
n [piani]	3	$\gamma$ [kN/m <sup>3</sup> ]	18,00	G1 [kN/m <sup>2</sup> ]	0,00	P1 [kN]	0,00
H [m]	14,05	f <sub>m</sub> [Mpa]	240,00	G2 [kN/m <sup>2</sup> ]	0,00	P2 [kN]	0,00
z [m]	5,50	$\tau_0$ [Mpa]	6,00	G3 [kN/m <sup>2</sup> ]	3,53	P3 [kN]	66,38
htot [m]	8,55	g [m/s <sup>2</sup> ]	9,81	G4 [kN/m <sup>2</sup> ]	3,40	P4 [kN]	52,95
h1 [m]	0,00	FC	1,35	Gcop [kN/m <sup>2</sup> ]	2,16	N1 [kN]	0,00
h2 [m]	0,00	f <sub>md</sub> [Mpa]	0,89	Q1 [kN/m <sup>2</sup> ]	0,00	N2 [kN]	0,00
h3 [m]	5,50	f <sub>vd</sub> [Mpa]	0,02	Q2 [kN/m <sup>2</sup> ]	0,00	N3 [kN]	38,70
h4 [m]	3,05	ag [m/s <sup>2</sup> ]	0,99	Q3 [kN/m <sup>2</sup> ]	2,00	N4 [kN]	52,72
b1 [m]	0,00	F0	2,60	Q4 [kN/m <sup>2</sup> ]	0,50		
b2 [m]	0,00	TC* [s]	0,34	Qneve [kN/m]	1,00		
b3 [m]	0,45	$\eta$	1,00	$\psi_1$	0,00	t [m]	0,05
b4 [m]	0,45	S	1,50	$\psi_2$	0,00	$\alpha$	0,23
d1 [m]	0,00	Cc	1,50	$\psi_3$	0,30	$\theta$	0,12
d2 [m]	0,00	Tc [s]	0,51	$\psi_4$	0,00		
d3 [m]	0,30	TB [s]	0,17	$\psi_{neve}$	0,00		
d4 [m]	0,30	TD [s]	2,00				
l [m]	2,93	C1	0,05	SPOSTAMENTI VIRTUA		CURVA DI CAPACITÀ	
A <sub>solaio</sub> [m <sup>2</sup> ]	9,37	q	2,00	$\delta N_{1x}$	0,00	M* [kN]	12,87
A <sub>cop</sub> [m <sup>2</sup> ]	9,66	TE [s]	6,00	$\delta N_{2x}$	0,00	e*	0,60
A <sub>1apert</sub> [m <sup>2</sup> ]	0,00	TF [s]	10,00	$\delta N_{3x}$	5,50	a0* [m/s <sup>2</sup> ]	2,80
A <sub>2apert</sub> [m <sup>2</sup> ]	0,00			$\delta N_{4x}$	0,00	$\phi$	1,80
A <sub>3apert</sub> [m <sup>2</sup> ]	7,92			$\delta P_{1x}$	0,00	$\Theta$	1,00
A <sub>4apert</sub> [m <sup>2</sup> ]	2,40			$\delta P_{2x}$	0,00		
				$\delta P_{3x}$	2,75		
				$\delta P_{4x}$	1,53		
				$\delta N_{1y}$	0,00		
				$\delta N_{2y}$	0,00		
				$\delta N_{3y}$	0,30		
				$\delta N_{4y}$	0,72		
				$\delta P_{1y}$	0,00		
				$\delta P_{2y}$	0,00		
				$\delta P_{3y}$	0,23		
				$\delta P_{4y}$	0,86		

VERIFICA SLV LINEARE			
T1 [s]	0,36	a1 [m/s <sup>2</sup> ]	0,74
$\Psi(z)$	0,39	a2 [m/s <sup>2</sup> ]	0,97
$\gamma$	1,29	a0* [m/s <sup>2</sup> ]	2,80
Se(T1) [m/s <sup>2</sup> ]	3,86	a0*>max(a1;a2)	VERIFICATA

Tabella 5.47 Tabella di calcolo del cinematismo e relative verifiche

### Macroelemento 7 – Cinematismo 1

Di seguito viene presentata l'analisi del meccanismo corrispondente al ribaltamento fuori piano del macroelemento 7, appartenente al blocco A.

Il meccanismo consiste nel ribaltamento globale della parete con rotazione attorno alla cerniera cilindrica posta alla base della muratura.

Il procedimento di verifica si svolge analogamente ai precedenti, quindi se ne riportano solo i risultati.

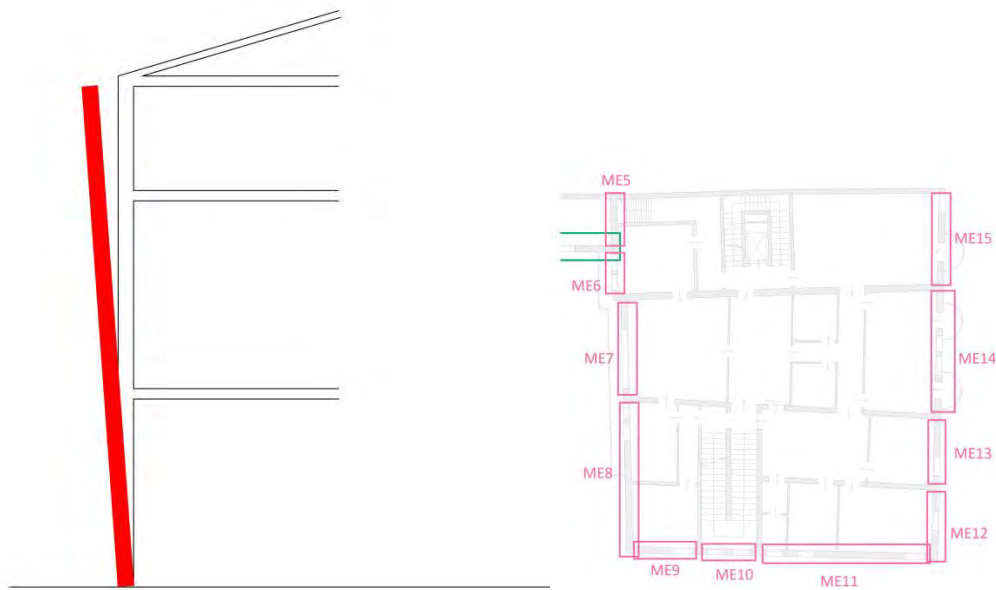


Figura 5.27 Rappresentazione del meccanismo di ribaltamento e riferimento planimetrico

Come prima si procede al calcolo degli spostamenti orizzontali  $\delta_{x,i}$ , della massa partecipante  $M^*$ , della frazione di massa partecipante  $e^*$  e dell'accelerazione sismica spettrale  $a_0^*$ .

Si svolge la verifica lineare allo SLV, ed essendo questa non soddisfatta, si procede mediante verifica non lineare allo SLV, che risulta anch'essa non soddisfatta, quindi si calcolano i tiranti.



DATI GEOMETRICI		DATI MATERIALE		CARICHI			
n [piani]	3,00	$\gamma$ [kN/m <sup>3</sup> ]	18,00	G1 [kN/m <sup>2</sup> ]	0,00	P1 [kN]	0,00
H [m]	14,05	f <sub>m</sub> [Mpa]	240,00	G2 [kN/m <sup>2</sup> ]	1,57	P2 [kN]	304,56
z [m]	0,00	t <sub>0</sub> [Mpa]	6,00	G3 [kN/m <sup>2</sup> ]	3,53	P3 [kN]	180,31
htot [m]	14,05	g [m/s <sup>2</sup> ]	9,81	G4 [kN/m <sup>2</sup> ]	3,40	P4 [kN]	128,79
h1 [m]	0,00	FC	1,35	Gcop [kN/m <sup>2</sup> ]	2,16	N1 [kN]	0,00
h2 [m]	5,50	f <sub>md</sub> [Mpa]	0,89	Q1 [kN/m <sup>2</sup> ]	0,00	N2 [kN]	41,66
h3 [m]	5,50	f <sub>vd</sub> [Mpa]	0,02	Q2 [kN/m <sup>2</sup> ]	2,00	N3 [kN]	79,30
h4 [m]	3,05	ag [m/s <sup>2</sup> ]	0,99	Q3 [kN/m <sup>2</sup> ]	2,00	N4 [kN]	108,00
b1 [m]	0,00	F0	2,60	Q4 [kN/m <sup>2</sup> ]	0,50		
b2 [m]	0,60	TC* [s]	0,34	Qneve [kN/m <sup>2</sup> ]	1,00		
b3 [m]	0,45	$\eta$	1,00	$\psi_1$	0,00	t [m]	0,11
b4 [m]	0,45	S	1,50	$\psi_2$	0,30	$\alpha$	0,02
d1 [m]	0,00	Cc	1,50	$\psi_3$	0,30	Ms [kNm]	140,96
d2 [m]	0,30	Tc [s]	0,51	$\psi_4$	0,00	MR [kNm]	6557,03
d3 [m]	0,30	TB [s]	0,17	$\psi_{neve}$	0,00	$\vartheta$	0,07
d4 [m]	0,30	TD [s]	2,00				
l [m]	6,00	C1	0,05	SPOSTAMENTI VIRTUALI		CURVA DI CAPACITÀ	
Asolaio [m <sup>2</sup> ]	19,20	q	2,00	$\delta_{N1}$	0,00	M* [kN]	65,46
Acop [m <sup>2</sup> ]	19,78	TE [s]	6,00	$\delta_{N2}$	0,39	e*	0,76
A1apert [m <sup>2</sup> ]	0,00	TF [s]	10,00	$\delta_{N3}$	0,78	a0* [m/s <sup>2</sup> ]	0,20
A2apert [m <sup>2</sup> ]	4,80			$\delta_{N4}$	1,00		
A3apert [m <sup>2</sup> ]	10,74			$\delta_{P1}$	0,00		
A4apert [m <sup>2</sup> ]	2,40			$\delta_{P2}$	0,20		
				$\delta_{P3}$	0,59		
				$\delta_{P4}$	0,89		

VERIFICA SLV LINEARE			
T1 [s]	0,36	a1 [m/s <sup>2</sup> ]	0,74
$\Psi(z)$	0,00	a2 [m/s <sup>2</sup> ]	0,00
$\gamma$	1,29	a0* [m/s <sup>2</sup> ]	0,20
Se(T1) [m/s <sup>2</sup> ]	3,86	a0* > max(a1;a2)	NON VERIFICATA

VERIFICA SLV NON LINEARE					
RP1 [m]	0,11	$\beta_{P1}$ [rad]	0,00	Ms	0,00
RP2 [m]	2,76	$\beta_{P2}$ [rad]	1,50	$\theta$ [rad]	0,021495
RP3 [m]	8,25	$\beta_{P3}$ [rad]	1,56	hbar [m]	7,78
RP4 [m]	12,53	$\beta_{P4}$ [rad]	1,56	dk0 [m]	0,17
RN1 [m]	0,11	$\beta_{N1}$ [rad]	0,00	$\delta_{xhbar}$	0,55
RN2 [m]	5,50	$\beta_{N2}$ [rad]	1,54	d0* [m]	0,22
RN3 [m]	11,00	$\beta_{N3}$ [rad]	1,55	du* [m]	0,09
RN4 [m]	14,05	$\beta_{N4}$ [rad]	1,56	ds* [m]	0,04
				as* [m/s <sup>2</sup> ]	0,17
				Ts* [s]	2,84
SDe1 [m/s <sup>2</sup> ]	0,10			SDe(Ts) [m/s <sup>2</sup> ]	0,10
SDe2 [m/s <sup>2</sup> ]	0,00			SDe(T1) [m/s <sup>2</sup> ]	0,01
du* [m]	0,09			Se(TS) [m/s <sup>2</sup> ]	0,49
du* > max(SDe1;SDe2)		NON VERIFICATA			

Tabella 5.48 Tabella di calcolo del cinematismo e relative verifiche

<b>TIRANTI</b>			
<b>a0*</b> [m/s <sup>2</sup> ]	0,74	<b>T4</b> [kN]	25,12
<b>α0</b> [m/s <sup>2</sup> ]	0,08	<b>T3</b> [kN]	9,83
<b>Tmin</b> [kN]	25,12	<b>T2</b> [kN]	9,83
		<b>T1</b> [kN]	0,00

<b>VERIFICA TIRANTI</b>	
<b>ROTTURA BARRA</b>	
<b>T'</b> [kN]	61,04

<b>PUNZONAMENTO MURATURA</b>	
<b>T''</b> [kN]	27,00

<b>SCHIACCIAMENTO MURO</b>	
<b>T'''</b> [kN]	80,1

<b>T4</b>	VERIFICATO
<b>T3</b>	VERIFICATO
<b>T2</b>	VERIFICATO
<b>T1</b>	VERIFICATO

Si dispone un tirante per piano

Tabella 5.49 Tabella di calcolo dei tiranti

### Macroelemento 7 – Cinematismo 2

Di seguito viene presentato il meccanismo parziale relativo al macroelemento 7, che consiste nel ribaltamento semplice delle pareti relative ai piani primo e secondo, attraverso una rotazione attorno alla cerniera cilindrica posta alla base della parete del piano primo.

Il procedimento di verifica si svolge in maniera analoga ai precedenti, quindi vengono riportati i risultati.

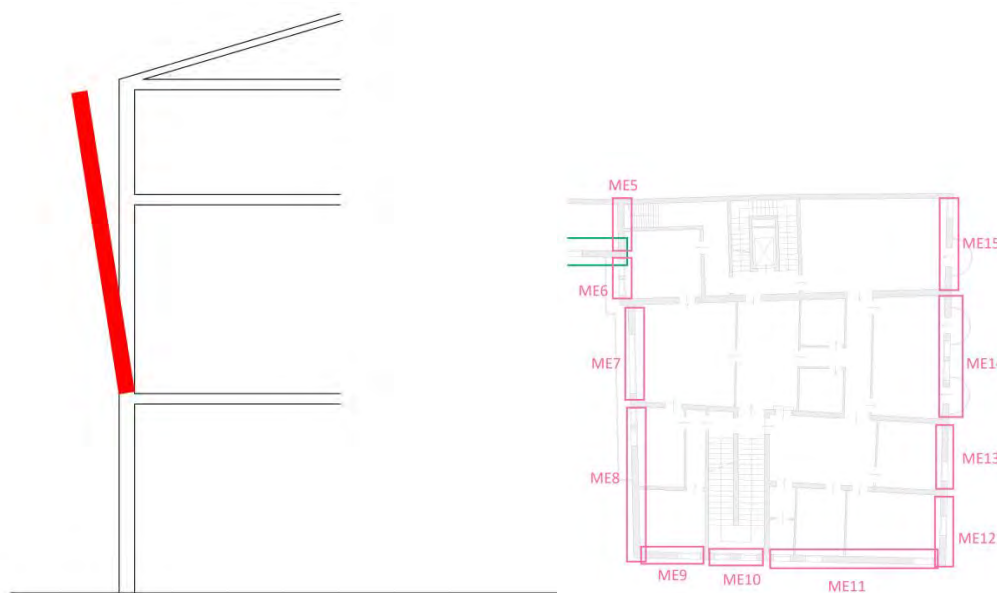


Figura 5.28 Rappresentazione del meccanismo di ribaltamento e riferimento planimetrico

Come prima si procede al calcolo degli spostamenti orizzontali  $\delta_{x,i}$ , della massa partecipante  $M^*$ , della frazione di massa partecipante  $e^*$  e dell'accelerazione sismica spettrale  $a_0^*$ .

Si svolge la verifica lineare allo SLV, ed essendo questa non soddisfatta, si procede mediante verifica non lineare allo SLV, che risulta anch'essa non soddisfatta, quindi si calcolano i tiranti.

DATI GEOMETRICI		DATI MATERIALE		CARICHI			
n [piani]	3,00	$\gamma$ [kN/m <sup>3</sup> ]	18,00	G1 [kN/m <sup>2</sup> ]	0,00	P1 [kN]	0,00
H [m]	14,05	f <sub>m</sub> [Mpa]	240,00	G2 [kN/m <sup>2</sup> ]	0,00	P2 [kN]	0,00
z [m]	5,50	t <sub>0</sub> [Mpa]	6,00	G3 [kN/m <sup>2</sup> ]	3,53	P3 [kN]	180,31
htot [m]	8,55	g [m/s <sup>2</sup> ]	9,81	G4 [kN/m <sup>2</sup> ]	3,40	P4 [kN]	128,79
h1 [m]	0,00	FC	1,35	Gcop [kN/m <sup>2</sup> ]	2,16	N1 [kN]	0,00
h2 [m]	0,00	f <sub>md</sub> [Mpa]	0,89	Q1 [kN/m <sup>2</sup> ]	0,00	N2 [kN]	0,00
h3 [m]	5,50	f <sub>vd</sub> [Mpa]	0,02	Q2 [kN/m <sup>2</sup> ]	0,00	N3 [kN]	79,30
h4 [m]	3,05	ag [m/s <sup>2</sup> ]	0,99	Q3 [kN/m <sup>2</sup> ]	2,00	N4 [kN]	108,00
b1 [m]	0,00	F0	2,60	Q4 [kN/m <sup>2</sup> ]	0,50		
b2 [m]	0,00	TC* [s]	0,34	Qneve [kN/m <sup>2</sup> ]	1,00		
b3 [m]	0,45	$\eta$	1,00	$\psi_1$	0,00	t [m]	0,06
b4 [m]	0,45	S	1,50	$\psi_2$	0,00	$\alpha$	0,03
d1 [m]	0,00	Cc	1,50	$\psi_3$	0,30	Ms [kNm]	94,97
d2 [m]	0,00	Tc [s]	0,51	$\psi_4$	0,00	MR [kNm]	2760,16
d3 [m]	0,30	TB [s]	0,17	$\psi_{neve}$	0,00	$\hat{\sigma}$	0,12
d4 [m]	0,30	TD [s]	2,00				
l [m]	6,00	C1	0,05	SPOSTAMENTI VIRTUALI		CURVA DI CAPACITÀ	
Asolaio [m <sup>2</sup> ]	19,20	q	2,00	$\delta_{N1}$	0,00	M* [kN]	43,11
Acop [m <sup>2</sup> ]	19,78	TE [s]	6,00	$\delta_{N2}$	0,00	e*	0,85
A1apert [m <sup>2</sup> ]	0,00	TF [s]	10,00	$\delta_{N3}$	0,64	a0* [m/s <sup>2</sup> ]	0,29
A2apert [m <sup>2</sup> ]	0,00			$\delta_{N4}$	1,00		
A3apert [m <sup>2</sup> ]	10,74			$\delta_{P1}$	0,00		
A4apert [m <sup>2</sup> ]	2,40			$\delta_{P2}$	0,00		
				$\delta_{P3}$	0,32		
				$\delta_{P4}$	0,82		

VERIFICA SLV LINEARE			
T1 [s]	0,36	a1 [m/s <sup>2</sup> ]	0,74
$\Psi(z)$	0,39	a2 [m/s <sup>2</sup> ]	0,97
$\gamma$	1,29	a0* [m/s <sup>2</sup> ]	0,29
Se(T1) [m/s <sup>2</sup> ]	3,86	a0* > max(a1;a2)	NON VERIFICATA

VERIFICA SLV NON LINEARE					
RP1 [m]	0,06	$\beta_{P1}$ [rad]	0,00	Ms	0,00
RP2 [m]	0,06	$\beta_{P2}$ [rad]	0,00	$\theta$ [rad]	0,034397
RP3 [m]	2,75	$\beta_{P3}$ [rad]	1,51	hbar [m]	5,56
RP4 [m]	7,03	$\beta_{P4}$ [rad]	1,55	dk0 [m]	0,19
RN1 [m]	0,06	$\beta_{N1}$ [rad]	0,00	$\delta_{xhbar}$	0,65
RN2 [m]	0,06	$\beta_{N2}$ [rad]	0,00	d0* [m]	0,22
RN3 [m]	5,51	$\beta_{N3}$ [rad]	1,53	du* [m]	0,09
RN4 [m]	8,55	$\beta_{N4}$ [rad]	1,54	ds* [m]	0,04
				as* [m/s <sup>2</sup> ]	0,25
				Ts* [s]	2,40
SDe1 [m/s <sup>2</sup> ]	0,10			SDe(Ts) [m/s <sup>2</sup> ]	0,10
SDe2 [m/s <sup>2</sup> ]	0,05			SDe(T1) [m/s <sup>2</sup> ]	0,01
du* [m]	0,09			Se(TS) [m/s <sup>2</sup> ]	0,68
du* > max(SDe1;SDe2)		NON VERIFICATA			

Tabella 5.50 Tabella di calcolo del cinematismo e relative verifiche

<b>TIRANTI</b>			
<b>a0*</b> [m/s <sup>2</sup> ]	0,97	<b>T4</b> [kN]	22,77
<b>α0</b> [m/s <sup>2</sup> ]	0,11	<b>T3</b> [kN]	14,65
<b>Tmin</b> [kN]	22,77	<b>T2</b> [kN]	0,00
		<b>T1</b> [kN]	0,00

<b>VERIFICA TIRANTI</b>	
<b>ROTTURA BARRA</b>	
<b>T'</b> [kN]	61,04

<b>PUNZONAMENTO MURATURA</b>	
<b>T''</b> [kN]	27,00

<b>SCHIACCIAMENTO MURO</b>	
<b>T'''</b> [kN]	80,1

<b>T4</b>	VERIFICATO
<b>T3</b>	VERIFICATO
<b>T2</b>	VERIFICATO
<b>T1</b>	VERIFICATO

Si dispone un tirante per piano

Tabella 5.51 Tabella di calcolo dei tiranti

**Macroelemento 7 – Cinematismo 3**

Di seguito viene presentato il meccanismo parziale relativo al macroelemento 7, che consiste nel ribaltamento semplice delle pareti relative al piano secondo, attraverso una rotazione attorno alla cerniera cilindrica posta alla base della parete del piano secondo. Il procedimento di verifica si svolge in maniera analoga ai precedenti, quindi vengono riportati i risultati.

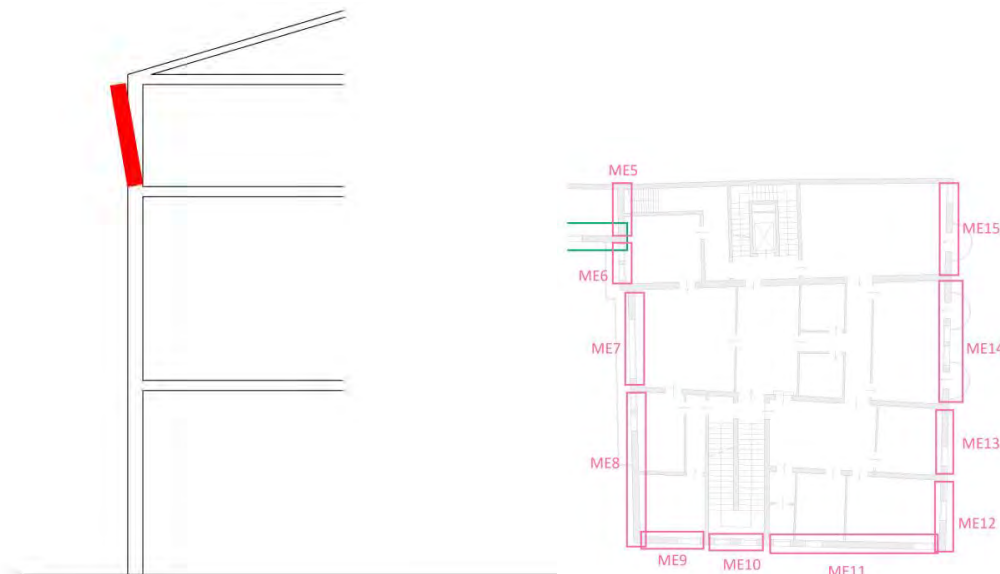


Figura 5.29 Rappresentazione del meccanismo di ribaltamento e riferimento planimetrico

Successivamente si procede al calcolo degli spostamenti orizzontali  $\delta_{x,i}$ , della massa partecipante  $M^*$ , della frazione di massa partecipante  $e^*$  e dell'accelerazione sismica spettrale  $a_0^*$ .

Si svolge la verifica lineare allo SLV, ed essendo questa non soddisfatta, si procede mediante verifica non lineare allo SLV, ed essendo questa soddisfatta non è necessario procedere oltre.

DATI GEOMETRICI		DATI MATERIALE		CARICHI			
n [piani]	3,00	$\gamma$ [kN/m <sup>3</sup> ]	18,00	G1 [kN/m <sup>2</sup> ]	0,00	P1 [kN]	0,00
H [m]	14,05	f <sub>m</sub> [Mpa]	240,00	G2 [kN/m <sup>2</sup> ]	0,00	P2 [kN]	0,00
z [m]	11,00	$\tau_0$ [Mpa]	6,00	G3 [kN/m <sup>2</sup> ]	0,00	P3 [kN]	0,00
htot [m]	3,05	g [m/s <sup>2</sup> ]	9,81	G4 [kN/m <sup>2</sup> ]	3,40	P4 [kN]	128,79
h1 [m]	0,00	FC	1,35	Gcop [kN/m <sup>2</sup> ]	2,16	N1 [kN]	0,00
h2 [m]	0,00	f <sub>md</sub> [Mpa]	0,89	Q1 [kN/m <sup>2</sup> ]	0,00	N2 [kN]	0,00
h3 [m]	0,00	f <sub>vd</sub> [Mpa]	0,02	Q2 [kN/m <sup>2</sup> ]	0,00	N3 [kN]	0,00
h4 [m]	3,05	ag [m/s <sup>2</sup> ]	0,99	Q3 [kN/m <sup>2</sup> ]	0,00	N4 [kN]	108,00
b1 [m]	0,00	F0	2,60	Q4 [kN/m <sup>2</sup> ]	0,50		
b2 [m]	0,00	TC* [s]	0,34	Qneve [kN/m <sup>2</sup> ]	1,00		
b3 [m]	0,00	$\eta$	1,00	$\psi_1$	0,00	t [m]	0,03
b4 [m]	0,45	S	1,50	$\psi_2$	0,00	$\alpha$	0,10
d1 [m]	0,00	Cc	1,50	$\psi_3$	0,00	Ms [kNm]	54,38
d2 [m]	0,00	Tc [s]	0,51	$\psi_4$	0,00	MR [kNm]	525,82
d3 [m]	0,00	TB [s]	0,17	$\psi_{neve}$	0,00	$\vartheta$	0,33
d4 [m]	0,30	TD [s]	2,00				
l [m]	6,00	C1	0,05	SPOSTAMENTI VIRTUALI		CURVA DI CAPACITÀ	
Asolaio [m <sup>2</sup> ]	19,20	q	2,00	$\delta N1$	0,00	M* [kN]	21,61
Acop [m <sup>2</sup> ]	19,78	TE [s]	6,00	$\delta N2$	0,00	e*	0,90
A1apert [m <sup>2</sup> ]	0,00	TF [s]	10,00	$\delta N3$	0,00	a0* [m/s <sup>2</sup> ]	0,84
A2apert [m <sup>2</sup> ]	0,00			$\delta N4$	1,00		
A3apert [m <sup>2</sup> ]	0,00			$\delta P1$	0,00		
A4apert [m <sup>2</sup> ]	2,40			$\delta P2$	0,00		
				$\delta P3$	0,00		
				$\delta P4$	0,50		

VERIFICA SLV LINEARE			
T1 [s]	0,36	a1 [m/s <sup>2</sup> ]	0,74
$\Psi(z)$	0,78	a2 [m/s <sup>2</sup> ]	1,94
$\gamma$	1,29	a0* [m/s <sup>2</sup> ]	0,84
Se(T1) [m/s <sup>2</sup> ]	3,86	a0* > max(a1;a2)	NON VERIFICATA

VERIFICA SLV NON LINEARE					
RP1 [m]	0,03	$\beta P1$ [rad]	0,00	Ms	0,00
RP2 [m]	0,03	$\beta P2$ [rad]	0,00	$\theta$ [rad]	0,10305
RP3 [m]	0,03	$\beta P3$ [rad]	0,00	hbar [m]	2,22
RP4 [m]	1,54	$\beta P4$ [rad]	1,44	dk0 [m]	0,23
RN1 [m]	0,03	$\beta N1$ [rad]	0,00	$\delta x hbar$	0,73
RN2 [m]	0,03	$\beta N2$ [rad]	0,00	d0* [m]	0,26
RN3 [m]	0,03	$\beta N3$ [rad]	0,00	du* [m]	0,10
RN4 [m]	3,06	$\beta N4$ [rad]	1,48	ds* [m]	0,04
				as* [m/s <sup>2</sup> ]	0,71
				Ts* [s]	1,51
SDe1 [m/s <sup>2</sup> ]	0,10			SDe(Ts) [m/s <sup>2</sup> ]	0,10
SDe2 [m/s <sup>2</sup> ]	0,07			SDe(T1) [m/s <sup>2</sup> ]	0,01
du* [m]	0,10			Se(TS) [m/s <sup>2</sup> ]	1,72
du* > max(SDe1;SDe2)		VERIFICATA			

Tabella 5.52 Tabella di calcolo del cinematismo e relative verifiche

**Macroelemento 7 – Cinematismo 4**

Di seguito viene presentato il meccanismo relativo al macroelemento 7, che consiste nella flessione verticale di una porzione in quota della parete, attraverso la formazione di una cerniera cilindrica orizzontale che divide la parete in due blocchi distinti. Il procedimento di verifica si svolge in maniera analoga ai precedenti, quindi vengono riportati i risultati.

Le verifiche si svolgono mediante l'applicazione del principio dei lavori virtuali.

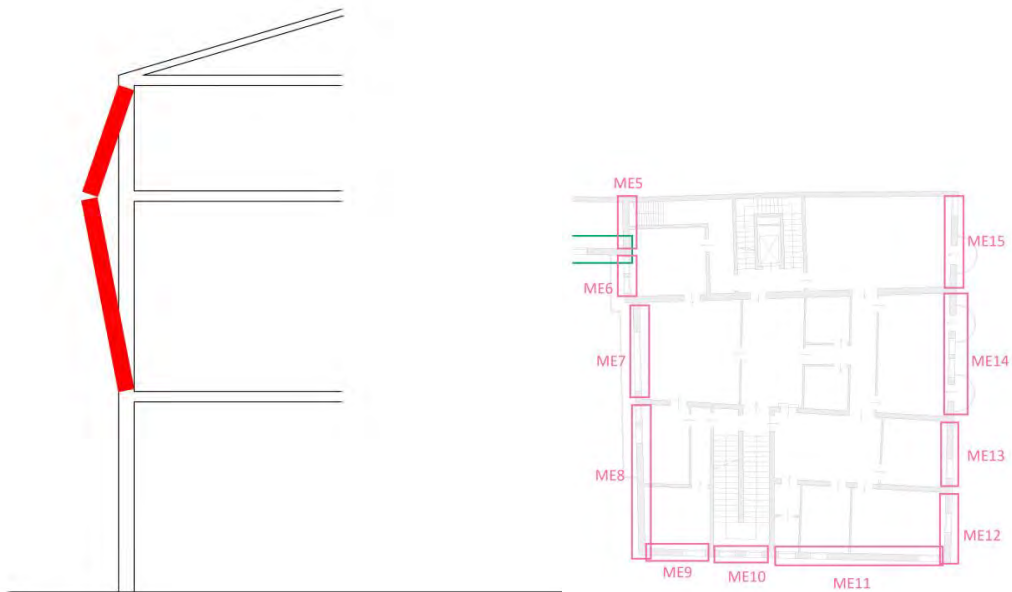


Figura 5.30 Rappresentazione del meccanismo di ribaltamento e riferimento planimetrico

Successivamente si procede al calcolo degli spostamenti orizzontali  $\delta_{x,i}$ , della massa partecipante  $M^*$ , della frazione di massa partecipante  $e^*$  e dell'accelerazione sismica spettrale  $a_0^*$ .

Si svolge la verifica lineare allo SLV, ed essendo questa soddisfatta non è necessario procedere oltre.



DATI GEOMETRICI		DATI MATERIALE		CARICHI			
n [piani]	3	$\gamma$ [kN/m <sup>3</sup> ]	18,00	G1 [kN/m <sup>2</sup> ]	0,00	P1 [kN]	0,00
H [m]	14,05	f <sub>m</sub> [Mpa]	240,00	G2 [kN/m <sup>2</sup> ]	0,00	P2 [kN]	0,00
z [m]	5,50	$\tau_0$ [Mpa]	6,00	G3 [kN/m <sup>2</sup> ]	3,53	P3 [kN]	180,31
htot [m]	8,55	g [m/s <sup>2</sup> ]	9,81	G4 [kN/m <sup>2</sup> ]	3,40	P4 [kN]	128,79
h1 [m]	0,00	FC	1,35	G <sub>cop</sub> [kN/m <sup>2</sup> ]	2,16	N1 [kN]	0,00
h2 [m]	0,00	f <sub>md</sub> [Mpa]	0,89	Q1 [kN/m <sup>2</sup> ]	0,00	N2 [kN]	0,00
h3 [m]	5,50	f <sub>vd</sub> [Mpa]	0,02	Q2 [kN/m <sup>2</sup> ]	0,00	N3 [kN]	79,30
h4 [m]	3,05	ag [m/s <sup>2</sup> ]	0,99	Q3 [kN/m <sup>2</sup> ]	2,00	N4 [kN]	108,00
b1 [m]	0,00	F0	2,60	Q4 [kN/m <sup>2</sup> ]	0,50		
b2 [m]	0,00	TC* [s]	0,34	Q <sub>neve</sub> [kN/m]	1,00		
b3 [m]	0,45	$\eta$	1,00	$\psi_1$	0,00	t [m]	0,06
b4 [m]	0,45	S	1,50	$\psi_2$	0,00	$\alpha$	0,22
d1 [m]	0,00	Cc	1,50	$\psi_3$	0,30	$\theta$	0,12
d2 [m]	0,00	Tc [s]	0,51	$\psi_4$	0,00		
d3 [m]	0,30	TB [s]	0,17	$\psi_{neve}$	0,00		
d4 [m]	0,30	TD [s]	2,00				
l [m]	6,00	C1	0,05	SPOSTAMENTI VIRTUA		CURVA DI CAPACITÀ	
A <sub>solaio</sub> [m <sup>2</sup> ]	19,20	q	2,00	$\delta N_{1x}$	0,00	M* [kN]	31,95
A <sub>cop</sub> [m <sup>2</sup> ]	19,78	TE [s]	6,00	$\delta N_{2x}$	0,00	e*	0,63
A1 <sub>apert</sub> [m <sup>2</sup> ]	0,00	TF [s]	10,00	$\delta N_{3x}$	5,50	a0* [m/s <sup>2</sup> ]	2,57
A2 <sub>apert</sub> [m <sup>2</sup> ]	0,00			$\delta N_{4x}$	0,00	$\phi$	1,80
A3 <sub>apert</sub> [m <sup>2</sup> ]	10,74			$\delta P_{1x}$	0,00	$\Theta$	1,00
A4 <sub>apert</sub> [m <sup>2</sup> ]	2,40			$\delta P_{2x}$	0,00		
				$\delta P_{3x}$	2,75		
				$\delta P_{4x}$	1,53		
				$\delta N_{1y}$	0,00		
				$\delta N_{2y}$	0,00		
				$\delta N_{3y}$	0,30		
				$\delta N_{4y}$	0,72		
				$\delta P_{1y}$	0,00		
				$\delta P_{2y}$	0,00		
				$\delta P_{3y}$	0,23		
				$\delta P_{4y}$	0,86		

VERIFICA SLV LINEARE			
T1 [s]	0,36	a1 [m/s <sup>2</sup> ]	0,74
$\Psi(z)$	0,39	a2 [m/s <sup>2</sup> ]	0,97
$\gamma$	1,29	a0* [m/s <sup>2</sup> ]	2,57
Se(T1) [m/s <sup>2</sup> ]	3,86	a0* > max(a1;a2)	VERIFICATA

Tabella 5.53 Tabella di calcolo del cinematismo e relative verifiche

### Macroelemento 8 – Cinematismo 1

Di seguito viene presentato il meccanismo parziale relativo al macroelemento 8, che consiste nel ribaltamento semplice delle pareti relative ai piani primo e secondo, attraverso una rotazione attorno alla cerniera cilindrica posta alla base della parete del piano primo.

Il procedimento di verifica si svolge in maniera analoga ai precedenti, quindi vengono riportati i risultati.

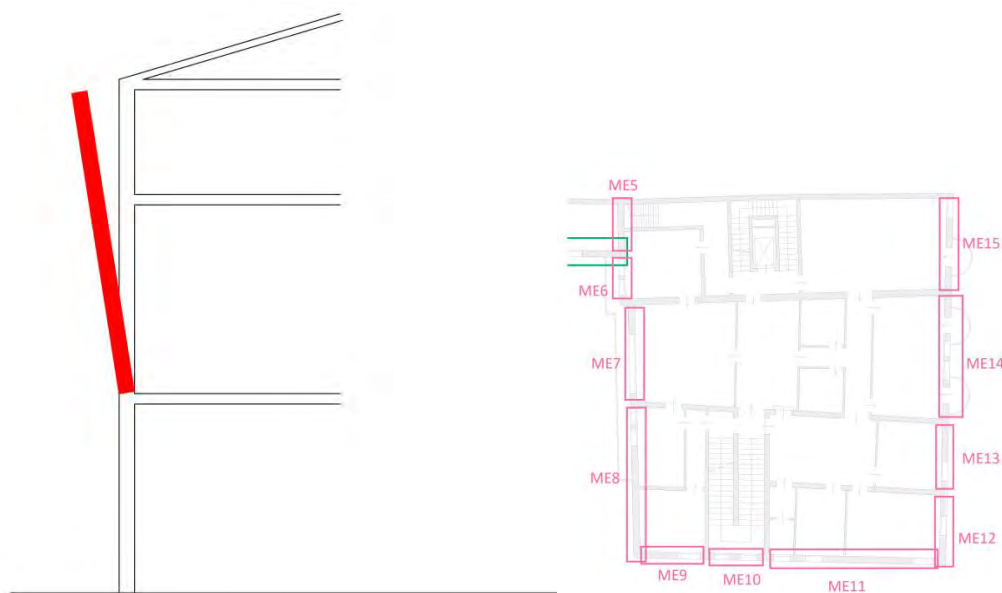


Figura 5.31 Rappresentazione del meccanismo di ribaltamento e riferimento planimetrico

Come prima si procede al calcolo degli spostamenti orizzontali  $\delta_{x,i}$ , della massa partecipante  $M^*$ , della frazione di massa partecipante  $e^*$  e dell'accelerazione sismica spettrale  $a_0^*$ .

Si svolge la verifica lineare allo SLV, ed essendo questa non soddisfatta, si procede mediante verifica non lineare allo SLV, che risulta anch'essa non soddisfatta, quindi si calcolano i tiranti.

DATI GEOMETRICI		DATI MATERIALE		CARICHI			
n [piani]	3,00	$\gamma$ [kN/m <sup>3</sup> ]	18,00	G1 [kN/m <sup>2</sup> ]	0,00	P1 [kN]	0,00
H [m]	14,05	f <sub>m</sub> [Mpa]	240,00	G2 [kN/m <sup>2</sup> ]	0,00	P2 [kN]	0,00
z [m]	5,50	$\tau_0$ [Mpa]	6,00	G3 [kN/m <sup>2</sup> ]	3,53	P3 [kN]	327,32
htot [m]	8,55	g [m/s <sup>2</sup> ]	9,81	G4 [kN/m <sup>2</sup> ]	3,40	P4 [kN]	210,32
h1 [m]	0,00	FC	1,35	Gcop [kN/m <sup>2</sup> ]	2,16	N1 [kN]	0,00
h2 [m]	0,00	f <sub>md</sub> [Mpa]	0,89	Q1 [kN/m <sup>2</sup> ]	0,00	N2 [kN]	0,00
h3 [m]	5,50	f <sub>vd</sub> [Mpa]	0,02	Q2 [kN/m <sup>2</sup> ]	0,00	N3 [kN]	76,82
h4 [m]	3,05	ag [m/s <sup>2</sup> ]	0,99	Q3 [kN/m <sup>2</sup> ]	2,00	N4 [kN]	104,65
b1 [m]	0,00	F0	2,60	Q4 [kN/m <sup>2</sup> ]	0,50		
b2 [m]	0,00	TC* [s]	0,34	Qneve [kN/m <sup>2</sup> ]	1,00		
b3 [m]	0,45	$\eta$	1,00	$\psi_1$	0,00	t [m]	0,06
b4 [m]	0,45	S	1,50	$\psi_2$	0,00	$\alpha$	0,04
d1 [m]	0,00	Cc	1,50	$\psi_3$	0,30	Ms [kNm]	133,76
d2 [m]	0,00	Tc [s]	0,51	$\psi_4$	0,00	MR [kNm]	3694,84
d3 [m]	0,30	TB [s]	0,17	$\psi_{neve}$	0,00	$\hat{\sigma}$	0,12
d4 [m]	0,30	TD [s]	2,00				
l [m]	9,30	C1	0,05	SPOSTAMENTI VIRTUALI		CURVA DI CAPACITÀ	
Asolaio [m <sup>2</sup> ]	18,60	q	2,00	$\delta N1$	0,00	M* [kN]	60,96
Acop [m <sup>2</sup> ]	19,17	TE [s]	6,00	$\delta N2$	0,00	e*	0,83
A1apert [m <sup>2</sup> ]	0,00	TF [s]	10,00	$\delta N3$	0,64	a0* [m/s <sup>2</sup> ]	0,32
A2apert [m <sup>2</sup> ]	0,00			$\delta N4$	1,00		
A3apert [m <sup>2</sup> ]	10,74			$\delta P1$	0,00		
A4apert [m <sup>2</sup> ]	2,40			$\delta P2$	0,00		
				$\delta P3$	0,32		
				$\delta P4$	0,82		

VERIFICA SLV LINEARE			
T1 [s]	0,36	a1 [m/s <sup>2</sup> ]	0,74
$\Psi(z)$	0,39	a2 [m/s <sup>2</sup> ]	0,97
$\gamma$	1,29	a0* [m/s <sup>2</sup> ]	0,32
Se(T1) [m/s <sup>2</sup> ]	3,86	a0* > max(a1;a2)	NON VERIFICATA

VERIFICA SLV NON LINEARE					
RP1 [m]	0,06	$\beta P1$ [rad]	0,00	Ms	0,00
RP2 [m]	0,06	$\beta P2$ [rad]	0,00	$\theta$ [rad]	0,036186
RP3 [m]	2,76	$\beta P3$ [rad]	1,51	hbar [m]	5,14
RP4 [m]	7,03	$\beta P4$ [rad]	1,55	dk0 [m]	0,19
RN1 [m]	0,06	$\beta N1$ [rad]	0,00	$\delta x_{hbar}$	0,60
RN2 [m]	0,06	$\beta N2$ [rad]	0,00	d0* [m]	0,22
RN3 [m]	5,51	$\beta N3$ [rad]	1,53	du* [m]	0,09
RN4 [m]	8,55	$\beta N4$ [rad]	1,54	ds* [m]	0,04
				as* [m/s <sup>2</sup> ]	0,27
				Ts* [s]	2,31
SDe1 [m/s <sup>2</sup> ]	0,10			SDe(Ts) [m/s <sup>2</sup> ]	0,10
SDe2 [m/s <sup>2</sup> ]	0,05			SDe(T1) [m/s <sup>2</sup> ]	0,01
du* [m]	0,09			Se(TS) [m/s <sup>2</sup> ]	0,74
du* > max(SDe1;SDe2)		NON VERIFICATA			

Tabella 5.54 Tabella di calcolo del cinematismo e relative verifiche

<b>TIRANTI</b>			
<b>a0*</b> [m/s <sup>2</sup> ]	0,97	<b>T4</b> [kN]	28,75
<b>α0</b> [m/s <sup>2</sup> ]	0,11	<b>T3</b> [kN]	18,49
<b>Tmin</b> [kN]	28,75	<b>T2</b> [kN]	0,00
		<b>T1</b> [kN]	0,00

<b>VERIFICA TIRANTI</b>	
<b>ROTTURA BARRA</b>	
<b>T'</b> [kN]	61,04

<b>PUNZONAMENTO MURATURA</b>	
<b>T''</b> [kN]	27,00

<b>SCHIACCIAMENTO MURO</b>	
<b>T'''</b> [kN]	80,1

<b>T4</b>	NON VERIFICATO
<b>T3</b>	VERIFICATO
<b>T2</b>	VERIFICATO
<b>T1</b>	VERIFICATO

Si dispongono due tiranti per piano

Tabella 5.55 Tabella di calcolo dei tiranti

### Macroelemento 8 – Cinematismo 2

Di seguito viene presentato il meccanismo parziale relativo al macroelemento 8, che consiste nel ribaltamento semplice delle pareti relative al piano secondo, attraverso una rotazione attorno alla cerniera cilindrica posta alla base della parete del piano secondo. Il procedimento di verifica si svolge in maniera analoga ai precedenti, quindi vengono riportati i risultati.

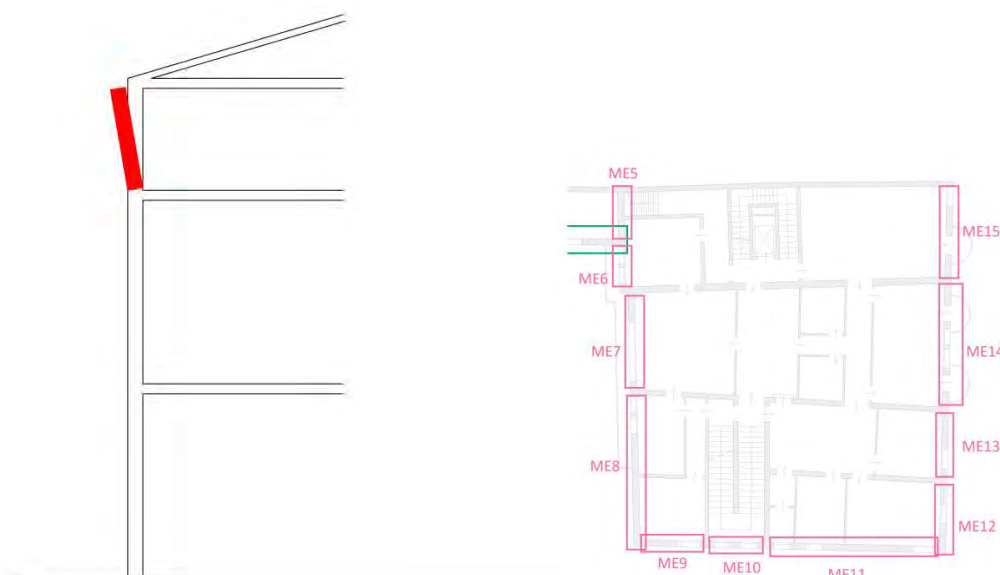


Figura 5.32 Rappresentazione del meccanismo di ribaltamento e riferimento planimetrico

Successivamente si procede al calcolo degli spostamenti orizzontali  $\delta_{x,i}$ , della massa partecipante  $M^*$ , della frazione di massa partecipante  $e^*$  e dell'accelerazione sismica spettrale  $a_0^*$ .

Si svolge la verifica lineare allo SLV, ed essendo questa non soddisfatta, si procede mediante verifica non lineare allo SLV, ed essendo questa soddisfatta non è necessario procedere oltre.

DATI GEOMETRICI		DATI MATERIALE		CARICHI			
n [piani]	3,00	$\gamma$ [kN/m <sup>3</sup> ]	18,00	G1 [kN/m <sup>2</sup> ]	0,00	P1 [kN]	0,00
H [m]	14,05	f <sub>m</sub> [Mpa]	240,00	G2 [kN/m <sup>2</sup> ]	0,00	P2 [kN]	0,00
z [m]	11,00	t <sub>0</sub> [Mpa]	6,00	G3 [kN/m <sup>2</sup> ]	0,00	P3 [kN]	0,00
htot [m]	3,05	g [m/s <sup>2</sup> ]	9,81	G4 [kN/m <sup>2</sup> ]	3,40	P4 [kN]	210,32
h1 [m]	0,00	FC	1,35	Gcop [kN/m <sup>2</sup> ]	2,16	N1 [kN]	0,00
h2 [m]	0,00	f <sub>md</sub> [Mpa]	0,89	Q1 [kN/m <sup>2</sup> ]	0,00	N2 [kN]	0,00
h3 [m]	0,00	f <sub>vd</sub> [Mpa]	0,02	Q2 [kN/m <sup>2</sup> ]	0,00	N3 [kN]	0,00
h4 [m]	3,05	ag [m/s <sup>2</sup> ]	0,99	Q3 [kN/m <sup>2</sup> ]	0,00	N4 [kN]	104,65
b1 [m]	0,00	F0	2,60	Q4 [kN/m <sup>2</sup> ]	0,50		
b2 [m]	0,00	TC* [s]	0,34	Qneve [kN/m <sup>2</sup> ]	1,00		
b3 [m]	0,00	$\eta$	1,00	$\psi_1$	0,00	t [m]	0,03
b4 [m]	0,45	S	1,50	$\psi_2$	0,00	$\alpha$	0,11
d1 [m]	0,00	Cc	1,50	$\psi_3$	0,00	Ms [kNm]	70,73
d2 [m]	0,00	Tc [s]	0,51	$\psi_4$	0,00	MR [kNm]	639,91
d3 [m]	0,00	TB [s]	0,17	$\psi_{neve}$	0,00	$\vartheta$	0,33
d4 [m]	0,30	TD [s]	2,00				
l [m]	9,30	C1	0,05	SPOSTAMENTI VIRTUALI		CURVA DI CAPACITÀ	
Asolaio [m <sup>2</sup> ]	18,60	q	2,00	$\delta_{N1}$	0,00	M* [kN]	28,54
Acop [m <sup>2</sup> ]	19,17	TE [s]	6,00	$\delta_{N2}$	0,00	e*	0,89
A1apert [m <sup>2</sup> ]	0,00	TF [s]	10,00	$\delta_{N3}$	0,00	a0* [m/s <sup>2</sup> ]	0,90
A2apert [m <sup>2</sup> ]	0,00			$\delta_{N4}$	1,00		
A3apert [m <sup>2</sup> ]	0,00			$\delta_{P1}$	0,00		
A4apert [m <sup>2</sup> ]	2,40			$\delta_{P2}$	0,00		
				$\delta_{P3}$	0,00		
				$\delta_{P4}$	0,50		

VERIFICA SLV LINEARE			
T1 [s]	0,36	a1 [m/s <sup>2</sup> ]	0,74
$\Psi(z)$	0,78	a2 [m/s <sup>2</sup> ]	1,94
$\gamma$	1,29	a0* [m/s <sup>2</sup> ]	0,90
Se(T1) [m/s <sup>2</sup> ]	3,86	a0* > max(a1;a2)	NON VERIFICATA

VERIFICA SLV NON LINEARE					
RP1 [m]	0,03	$\beta_{P1}$ [rad]	0,00	Ms	0,00
RP2 [m]	0,03	$\beta_{P2}$ [rad]	0,00	$\theta$ [rad]	0,11008
RP3 [m]	0,03	$\beta_{P3}$ [rad]	0,00	hbar [m]	2,03
RP4 [m]	1,54	$\beta_{P4}$ [rad]	1,44	dk0 [m]	0,22
RN1 [m]	0,03	$\beta_{N1}$ [rad]	0,00	$\delta_{xhbar}$	0,67
RN2 [m]	0,03	$\beta_{N2}$ [rad]	0,00	d0* [m]	0,25
RN3 [m]	0,03	$\beta_{N3}$ [rad]	0,00	du* [m]	0,10
RN4 [m]	3,06	$\beta_{N4}$ [rad]	1,48	ds* [m]	0,04
				as* [m/s <sup>2</sup> ]	0,76
				Ts* [s]	1,45
SDe1 [m/s <sup>2</sup> ]	0,10			SDe(Ts) [m/s <sup>2</sup> ]	0,10
SDe2 [m/s <sup>2</sup> ]	0,07			SDe(T1) [m/s <sup>2</sup> ]	0,01
du* [m]	0,10			Se(TS) [m/s <sup>2</sup> ]	1,88
du* > max(SDe1;SDe2)		VERIFICATA			

Tabella 5.56 Tabella di calcolo del cinematismo e relative verifiche

### Macroelemento 8 – Cinematismo 3

Di seguito viene presentato il meccanismo relativo al macroelemento 8, che consiste nella flessione verticale di una porzione in quota della parete, attraverso la formazione di una cerniera cilindrica orizzontale che divide la parete in due blocchi distinti.

Il procedimento di verifica si svolge in maniera analoga ai precedenti, quindi vengono riportati i risultati.

Le verifiche si svolgono mediante l'applicazione del principio dei lavori virtuali.

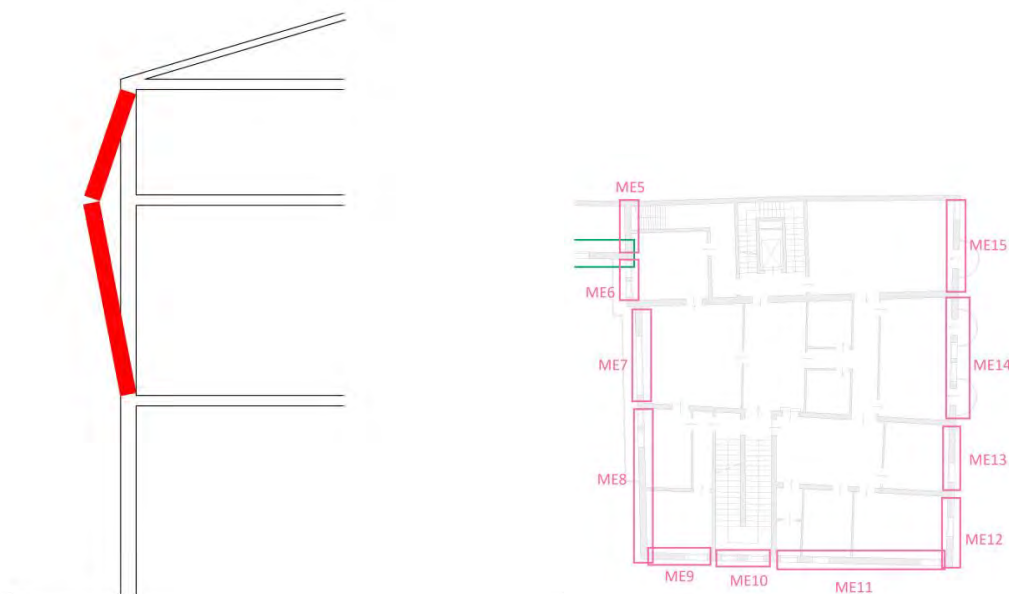


Figura 5.33 Rappresentazione del meccanismo di ribaltamento e riferimento planimetrico

Successivamente si procede al calcolo degli spostamenti orizzontali  $\delta_{x,i}$ , della massa partecipante  $M^*$ , della frazione di massa partecipante  $e^*$  e dell'accelerazione sismica spettrale  $a_0^*$ .

Si svolge la verifica lineare allo SLV, ed essendo questa soddisfatta non è necessario procedere oltre.

DATI GEOMETRICI		DATI MATERIALE		CARICHI			
n [piani]	3	$\gamma$ [kN/m <sup>3</sup> ]	18,00	G1 [kN/m <sup>2</sup> ]	0,00	P1 [kN]	0,00
H [m]	14,05	f <sub>m</sub> [Mpa]	240,00	G2 [kN/m <sup>2</sup> ]	0,00	P2 [kN]	0,00
z [m]	5,50	$\tau_0$ [Mpa]	6,00	G3 [kN/m <sup>2</sup> ]	3,53	P3 [kN]	327,32
htot [m]	8,55	g [m/s <sup>2</sup> ]	9,81	G4 [kN/m <sup>2</sup> ]	3,40	P4 [kN]	210,32
h1 [m]	0,00	FC	1,35	Gcop [kN/m <sup>2</sup> ]	2,16	N1 [kN]	0,00
h2 [m]	0,00	f <sub>md</sub> [Mpa]	0,89	Q1 [kN/m <sup>2</sup> ]	0,00	N2 [kN]	0,00
h3 [m]	5,50	f <sub>vd</sub> [Mpa]	0,02	Q2 [kN/m <sup>2</sup> ]	0,00	N3 [kN]	76,82
h4 [m]	3,05	ag [m/s <sup>2</sup> ]	0,99	Q3 [kN/m <sup>2</sup> ]	2,00	N4 [kN]	104,65
b1 [m]	0,00	F0	2,60	Q4 [kN/m <sup>2</sup> ]	0,50		
b2 [m]	0,00	TC* [s]	0,34	Qneve [kN/m]	1,00		
b3 [m]	0,45	$\eta$	1,00	$\psi_1$	0,00	t [m]	0,06
b4 [m]	0,45	S	1,50	$\psi_2$	0,00	$\alpha$	0,21
d1 [m]	0,00	Cc	1,50	$\psi_3$	0,30	$\theta$	0,12
d2 [m]	0,00	Tc [s]	0,51	$\psi_4$	0,00		
d3 [m]	0,30	TB [s]	0,17	$\psi_{neve}$	0,00		
d4 [m]	0,30	TD [s]	2,00				
l [m]	9,30	C1	0,05	SPOSTAMENTI VIRTUA		CURVA DI CAPACITÀ	
A <sub>solaio</sub> [m <sup>2</sup> ]	18,60	q	2,00	$\delta N_{1x}$	0,00	M* [kN]	52,06
A <sub>cop</sub> [m <sup>2</sup> ]	19,17	TE [s]	6,00	$\delta N_{2x}$	0,00	e*	0,71
A <sub>1apert</sub> [m <sup>2</sup> ]	0,00	TF [s]	10,00	$\delta N_{3x}$	5,50	a0* [m/s <sup>2</sup> ]	2,19
A <sub>2apert</sub> [m <sup>2</sup> ]	0,00			$\delta N_{4x}$	0,00	$\phi$	1,80
A <sub>3apert</sub> [m <sup>2</sup> ]	10,74			$\delta P_{1x}$	0,00	$\Theta$	1,00
A <sub>4apert</sub> [m <sup>2</sup> ]	2,40			$\delta P_{2x}$	0,00		
				$\delta P_{3x}$	2,75		
				$\delta P_{4x}$	1,53		
				$\delta N_{1y}$	0,00		
				$\delta N_{2y}$	0,00		
				$\delta N_{3y}$	0,30		
				$\delta N_{4y}$	0,72		
				$\delta P_{1y}$	0,00		
				$\delta P_{2y}$	0,00		
				$\delta P_{3y}$	0,23		
				$\delta P_{4y}$	0,86		

VERIFICA SLV LINEARE			
T1 [s]	0,36	a1 [m/s <sup>2</sup> ]	0,74
$\Psi(z)$	0,39	a2 [m/s <sup>2</sup> ]	0,97
$\gamma$	1,29	a0* [m/s <sup>2</sup> ]	2,19
Se(T1) [m/s <sup>2</sup> ]	3,86	a0* > max(a1;a2)	VERIFICATA

Tabella 5.57 Tabella di calcolo del cinematismo e relative verifiche



### Macroelemento 9 – Cinematismo 1

Di seguito viene presentato il meccanismo parziale relativo al macroelemento 9, che consiste nel ribaltamento semplice delle pareti relative ai piani primo e secondo, attraverso una rotazione attorno alla cerniera cilindrica posta alla base della parete del piano primo.

Il procedimento di verifica si svolge in maniera analoga ai precedenti, quindi vengono riportati i risultati.

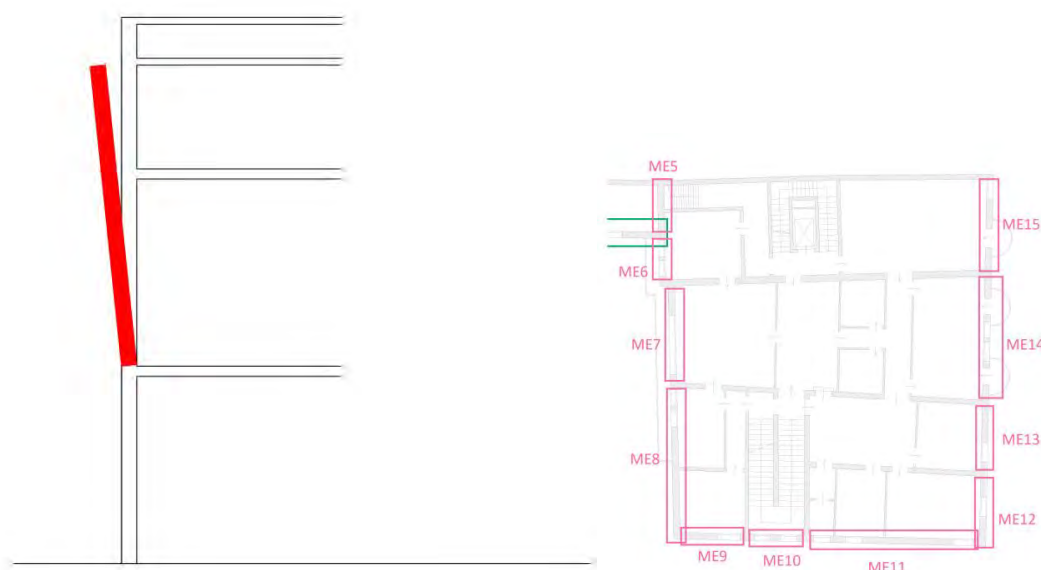


Figura 5.34 Rappresentazione del meccanismo di ribaltamento e riferimento planimetrico

Come prima si procede al calcolo degli spostamenti orizzontali  $\delta_{x,i}$ , della massa partecipante  $M^*$ , della frazione di massa partecipante  $e^*$  e dell'accelerazione sismica spettrale  $a_0^*$ .

Si svolge la verifica lineare allo SLV, ed essendo questa non soddisfatta, si procede mediante verifica non lineare allo SLV, che risulta anch'essa non soddisfatta, quindi si calcolano i tiranti.

DATI GEOMETRICI		DATI MATERIALE		CARICHI			
n [piani]	3,00	$\gamma$ [kN/m <sup>3</sup> ]	18,00	G1 [kN/m <sup>2</sup> ]	0,00	P1 [kN]	0,00
H [m]	14,05	f <sub>m</sub> [Mpa]	240,00	G2 [kN/m <sup>2</sup> ]	0,00	P2 [kN]	0,00
z [m]	5,50	t <sub>0</sub> [Mpa]	6,00	G3 [kN/m <sup>2</sup> ]	3,53	P3 [kN]	138,82
htot [m]	8,55	g [m/s <sup>2</sup> ]	9,81	G4 [kN/m <sup>2</sup> ]	3,40	P4 [kN]	78,12
h1 [m]	0,00	FC	1,35	Gcop [kN/m <sup>2</sup> ]	2,16	N1 [kN]	0,00
h2 [m]	0,00	f <sub>md</sub> [Mpa]	0,89	Q1 [kN/m <sup>2</sup> ]	0,00	N2 [kN]	0,00
h3 [m]	5,50	f <sub>vd</sub> [Mpa]	0,02	Q2 [kN/m <sup>2</sup> ]	0,00	N3 [kN]	67,73
h4 [m]	3,05	ag [m/s <sup>2</sup> ]	0,99	Q3 [kN/m <sup>2</sup> ]	2,00	N4 [kN]	92,26
b1 [m]	0,00	F0	2,60	Q4 [kN/m <sup>2</sup> ]	0,50		
b2 [m]	0,00	TC* [s]	0,34	Qneve [kN/m <sup>2</sup> ]	1,00		
b3 [m]	0,40	$\eta$	1,00	$\psi_1$	0,00	t [m]	0,07
b4 [m]	0,40	S	1,50	$\psi_2$	0,00	$\alpha$	0,03
d1 [m]	0,00	Cc	1,50	$\psi_3$	0,30	Ms [kNm]	64,78
d2 [m]	0,00	Tc [s]	0,51	$\psi_4$	0,00	MR [kNm]	2091,92
d3 [m]	0,30	TB [s]	0,17	$\psi_{neve}$	0,00	$\vartheta$	0,12
d4 [m]	0,30	TD [s]	2,00				
l [m]	4,00	C1	0,05	SPOSTAMENTI VIRTUALI		CURVA DI CAPACITÀ	
Asolaio [m <sup>2</sup> ]	16,40	q	2,00	$\delta N1$	0,00	M* [kN]	32,56
Acop [m <sup>2</sup> ]	16,90	TE [s]	6,00	$\delta N2$	0,00	e*	0,85
A1apert [m <sup>2</sup> ]	0,00	TF [s]	10,00	$\delta N3$	0,64	a0* [m/s <sup>2</sup> ]	0,27
A2apert [m <sup>2</sup> ]	0,00			$\delta N4$	1,00		
A3apert [m <sup>2</sup> ]	2,72			$\delta P1$	0,00		
A4apert [m <sup>2</sup> ]	1,35			$\delta P2$	0,00		
				$\delta P3$	0,32		
				$\delta P4$	0,82		

VERIFICA SLV LINEARE			
T1 [s]	0,36	a1 [m/s <sup>2</sup> ]	0,74
$\Psi(z)$	0,39	a2 [m/s <sup>2</sup> ]	0,97
$\gamma$	1,29	a0* [m/s <sup>2</sup> ]	0,27
Se(T1) [m/s <sup>2</sup> ]	3,86	a0* > max(a1;a2)	NON VERIFICATA

VERIFICA SLV NON LINEARE					
RP1 [m]	0,07	$\beta P1$ [rad]	0,00	Ms	0,00
RP2 [m]	0,07	$\beta P2$ [rad]	0,00	$\theta$ [rad]	0,030955
RP3 [m]	2,75	$\beta P3$ [rad]	1,52	hbar [m]	5,55
RP4 [m]	7,03	$\beta P4$ [rad]	1,55	dk0 [m]	0,17
RN1 [m]	0,07	$\beta N1$ [rad]	0,00	$\delta x_{hbar}$	0,65
RN2 [m]	0,07	$\beta N2$ [rad]	0,00	d0* [m]	0,20
RN3 [m]	5,50	$\beta N3$ [rad]	1,53	du* [m]	0,08
RN4 [m]	8,55	$\beta N4$ [rad]	1,54	ds* [m]	0,03
				as* [m/s <sup>2</sup> ]	0,22
				Ts* [s]	2,40
SDe1 [m/s <sup>2</sup> ]	0,10			SDe(Ts) [m/s <sup>2</sup> ]	0,10
SDe2 [m/s <sup>2</sup> ]	0,05			SDe(T1) [m/s <sup>2</sup> ]	0,01
du* [m]	0,08			Se(TS) [m/s <sup>2</sup> ]	0,69
du* > max(SDe1;SDe2)		NON VERIFICATA			

Tabella 5.58 Tabella di calcolo del cinematismo e relative verifiche

<b>TIRANTI</b>			
<b>a0*</b> [m/s <sup>2</sup> ]	0,97	<b>T4</b> [kN]	17,88
<b>α0</b> [m/s <sup>2</sup> ]	0,11	<b>T3</b> [kN]	11,50
<b>Tmin</b> [kN]	17,88	<b>T2</b> [kN]	0,00
		<b>T1</b> [kN]	0,00

<b>VERIFICA TIRANTI</b>	
<b>ROTTURA BARRA</b>	
<b>T'</b> [kN]	61,04

<b>PUNZONAMENTO MURATURA</b>	
<b>T''</b> [kN]	27,00

<b>SCHIACCIAMENTO MURO</b>	
<b>T'''</b> [kN]	80,1

<b>T4</b>	VERIFICATO
<b>T3</b>	VERIFICATO
<b>T2</b>	VERIFICATO
<b>T1</b>	VERIFICATO

Si dispone un tirante per piano

Tabella 5.59 Tabella di calcolo dei tiranti

**Macroelemento 9 – Cinematismo 2**

Di seguito viene presentato il meccanismo parziale relativo al macroelemento 9, che consiste nel ribaltamento semplice delle pareti relative al piano secondo, attraverso una rotazione attorno alla cerniera cilindrica posta alla base della parete del piano secondo. Il procedimento di verifica si svolge in maniera analoga ai precedenti, quindi vengono riportati i risultati.

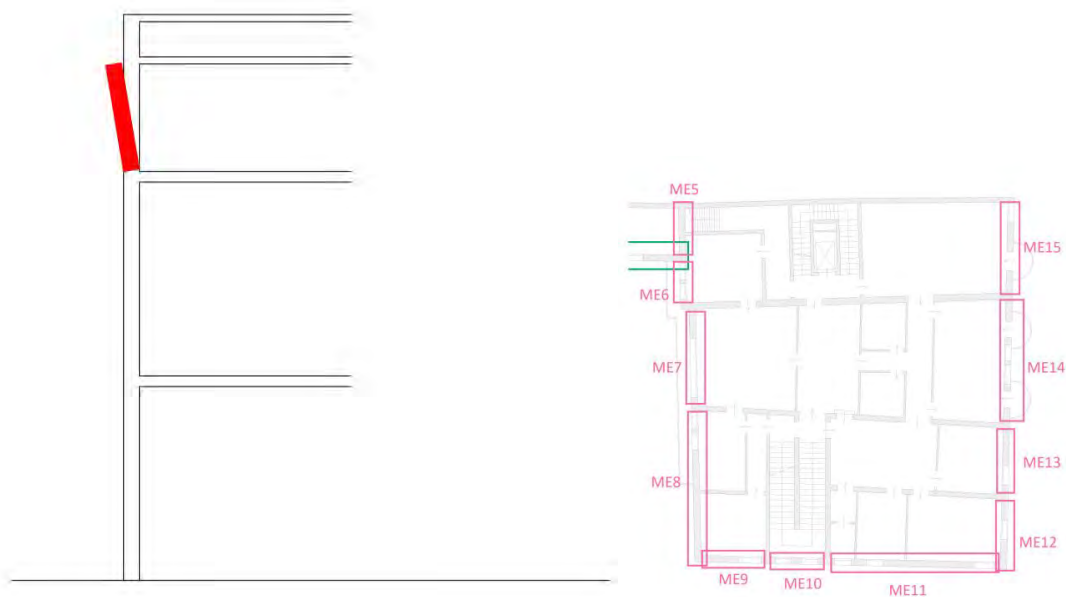


Figura 5.35 Rappresentazione del meccanismo di ribaltamento e riferimento planimetrico

Successivamente si procede al calcolo degli spostamenti orizzontali  $\delta_{x,i}$ , della massa partecipante  $M^*$ , della frazione di massa partecipante  $e^*$  e dell'accelerazione sismica spettrale  $a_0^*$ .

Si svolge la verifica lineare allo SLV, ed essendo questa non soddisfatta, si procede mediante verifica non lineare allo SLV, che risulta anch'essa non soddisfatta, quindi si calcolano i tiranti.

DATI GEOMETRICI		DATI MATERIALE		CARICHI			
n [piani]	3,00	$\gamma$ [kN/m <sup>3</sup> ]	18,00	G1 [kN/m <sup>2</sup> ]	0,00	P1 [kN]	0,00
H [m]	14,05	f <sub>m</sub> [Mpa]	240,00	G2 [kN/m <sup>2</sup> ]	0,00	P2 [kN]	0,00
z [m]	11,00	$\tau_0$ [Mpa]	6,00	G3 [kN/m <sup>2</sup> ]	0,00	P3 [kN]	0,00
htot [m]	3,05	g [m/s <sup>2</sup> ]	9,81	G4 [kN/m <sup>2</sup> ]	3,40	P4 [kN]	78,12
h1 [m]	0,00	FC	1,35	Gcop [kN/m <sup>2</sup> ]	2,16	N1 [kN]	0,00
h2 [m]	0,00	f <sub>md</sub> [Mpa]	0,89	Q1 [kN/m <sup>2</sup> ]	0,00	N2 [kN]	0,00
h3 [m]	0,00	f <sub>vd</sub> [Mpa]	0,02	Q2 [kN/m <sup>2</sup> ]	0,00	N3 [kN]	0,00
h4 [m]	3,05	ag [m/s <sup>2</sup> ]	0,99	Q3 [kN/m <sup>2</sup> ]	0,00	N4 [kN]	92,26
b1 [m]	0,00	F0	2,60	Q4 [kN/m <sup>2</sup> ]	0,50		
b2 [m]	0,00	TC* [s]	0,34	Qneve [kN/m <sup>2</sup> ]	1,00		
b3 [m]	0,00	$\eta$	1,00	$\psi_1$	0,00	t [m]	0,03
b4 [m]	0,40	S	1,50	$\psi_2$	0,00	$\alpha$	0,09
d1 [m]	0,00	Cc	1,50	$\psi_3$	0,00	Ms [kNm]	37,87
d2 [m]	0,00	Tc [s]	0,51	$\psi_4$	0,00	MR [kNm]	400,54
d3 [m]	0,00	TB [s]	0,17	$\psi_{neve}$	0,00	$\vartheta$	0,33
d4 [m]	0,30	TD [s]	2,00				
l [m]	4,00	C1	0,05	SPOSTAMENTI VIRTUALI		CURVA DI CAPACITÀ	
Asolaio [m <sup>2</sup> ]	16,40	q	2,00	$\delta N1$	0,00	M* [kN]	15,73
Acop [m <sup>2</sup> ]	16,90	TE [s]	6,00	$\delta N2$	0,00	e*	0,91
A1apert [m <sup>2</sup> ]	0,00	TF [s]	10,00	$\delta N3$	0,00	a0* [m/s <sup>2</sup> ]	0,76
A2apert [m <sup>2</sup> ]	0,00			$\delta N4$	1,00		
A3apert [m <sup>2</sup> ]	0,00			$\delta P1$	0,00		
A4apert [m <sup>2</sup> ]	1,35			$\delta P2$	0,00		
				$\delta P3$	0,00		
				$\delta P4$	0,50		

VERIFICA SLV LINEARE			
T1 [s]	0,36	a1 [m/s <sup>2</sup> ]	0,74
$\Psi(z)$	0,78	a2 [m/s <sup>2</sup> ]	1,94
$\gamma$	1,29	a0* [m/s <sup>2</sup> ]	0,76
Se(T1) [m/s <sup>2</sup> ]	3,86	a0* > max(a1;a2)	NON VERIFICATA

VERIFICA SLV NON LINEARE					
RP1 [m]	0,03	$\beta P1$ [rad]	0,00	Ms	0,00
RP2 [m]	0,03	$\beta P2$ [rad]	0,00	$\theta$ [rad]	0,09425
RP3 [m]	0,03	$\beta P3$ [rad]	0,00	hbar [m]	2,35
RP4 [m]	1,53	$\beta P4$ [rad]	1,46	dk0 [m]	0,22
RN1 [m]	0,03	$\beta N1$ [rad]	0,00	$\delta x hbar$	0,77
RN2 [m]	0,03	$\beta N2$ [rad]	0,00	d0* [m]	0,24
RN3 [m]	0,03	$\beta N3$ [rad]	0,00	du* [m]	0,10
RN4 [m]	3,06	$\beta N4$ [rad]	1,48	ds* [m]	0,04
				as* [m/s <sup>2</sup> ]	0,64
				Ts* [s]	1,56
SDe1 [m/s <sup>2</sup> ]	0,10			SDe(Ts) [m/s <sup>2</sup> ]	0,10
SDe2 [m/s <sup>2</sup> ]	0,07			SDe(T1) [m/s <sup>2</sup> ]	0,01
du* [m]	0,10			Se(TS) [m/s <sup>2</sup> ]	1,63
du* > max(SDe1;SDe2)		NON VERIFICATA			

Tabella 5.60 Tabella di calcolo del cinematismo e relative verifiche

<b>TIRANTI</b>			
<b>a0*</b> [m/s <sup>2</sup> ]	1,94	<b>T4</b> [kN]	9,69
<b>α0</b> [m/s <sup>2</sup> ]	0,24	<b>T3</b> [kN]	0,00
<b>Tmin</b> [kN]	9,69	<b>T2</b> [kN]	0,00
		<b>T1</b> [kN]	0,00

<b>VERIFICA TIRANTI</b>	
<b>ROTTURA BARRA</b>	
<b>T'</b> [kN]	61,04

<b>PUNZONAMENTO MURATURA</b>	
<b>T''</b> [kN]	27,00

<b>SCHIACCIAMENTO MURO</b>	
<b>T'''</b> [kN]	80,1

<b>T4</b>	VERIFICATO
<b>T3</b>	VERIFICATO
<b>T2</b>	VERIFICATO
<b>T1</b>	VERIFICATO

Si dispone un tirante per piano

Tabella 5.61 Tabella di calcolo dei tiranti

### Macroelemento 9 – Cinematismo 3

Di seguito viene presentato il meccanismo relativo al macroelemento 9, che consiste nella flessione verticale di una porzione in quota della parete, attraverso la formazione di una cerniera cilindrica orizzontale che divide la parete in due blocchi distinti.

Il procedimento di verifica si svolge in maniera analoga ai precedenti, quindi vengono riportati i risultati.

Le verifiche si svolgono mediante l'applicazione del principio dei lavori virtuali.

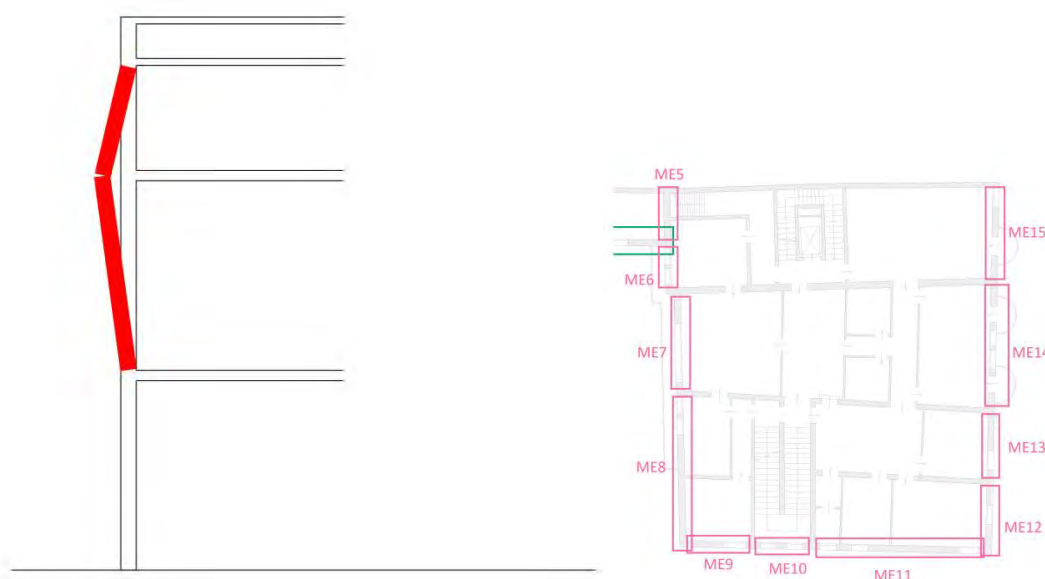


Figura 5.36 Rappresentazione del meccanismo di ribaltamento e riferimento planimetrico

Successivamente si procede al calcolo degli spostamenti orizzontali  $\delta_{x,i}$ , della massa partecipante  $M^*$ , della frazione di massa partecipante  $e^*$  e dell'accelerazione sismica spettrale  $a_0^*$ .

Si svolge la verifica lineare allo SLV, ed essendo questa soddisfatta non è necessario procedere oltre.

DATI GEOMETRICI		DATI MATERIALE		CARICHI			
n [piani]	3	$\gamma$ [kN/m <sup>3</sup> ]	18,00	G1 [kN/m <sup>2</sup> ]	0,00	P1 [kN]	0,00
H [m]	14,05	f <sub>m</sub> [Mpa]	240,00	G2 [kN/m <sup>2</sup> ]	0,00	P2 [kN]	0,00
z [m]	5,50	$\tau_0$ [Mpa]	6,00	G3 [kN/m <sup>2</sup> ]	3,53	P3 [kN]	138,82
htot [m]	8,55	g [m/s <sup>2</sup> ]	9,81	G4 [kN/m <sup>2</sup> ]	3,40	P4 [kN]	78,12
h1 [m]	0,00	FC	1,35	Gcop [kN/m <sup>2</sup> ]	2,16	N1 [kN]	0,00
h2 [m]	0,00	f <sub>md</sub> [Mpa]	0,89	Q1 [kN/m <sup>2</sup> ]	0,00	N2 [kN]	0,00
h3 [m]	5,50	f <sub>vd</sub> [Mpa]	0,02	Q2 [kN/m <sup>2</sup> ]	0,00	N3 [kN]	67,73
h4 [m]	3,05	ag [m/s <sup>2</sup> ]	0,99	Q3 [kN/m <sup>2</sup> ]	2,00	N4 [kN]	92,26
b1 [m]	0,00	F0	2,60	Q4 [kN/m <sup>2</sup> ]	0,50		
b2 [m]	0,00	TC* [s]	0,34	Qneve [kN/m]	1,00		
b3 [m]	0,40	$\eta$	1,00	$\psi_1$	0,00	t [m]	0,07
b4 [m]	0,40	S	1,50	$\psi_2$	0,00	$\alpha$	0,18
d1 [m]	0,00	Cc	1,50	$\psi_3$	0,30	$\theta$	0,12
d2 [m]	0,00	Tc [s]	0,51	$\psi_4$	0,00		
d3 [m]	0,30	TB [s]	0,17	$\psi_{neve}$	0,00		
d4 [m]	0,30	TD [s]	2,00				
l [m]	4,00	C1	0,05	SPOSTAMENTI VIRTUA		CURVA DI CAPACITÀ	
A <sub>solaio</sub> [m <sup>2</sup> ]	16,40	q	2,00	$\delta N_{1x}$	0,00	M* [kN]	23,70
A <sub>cop</sub> [m <sup>2</sup> ]	16,90	TE [s]	6,00	$\delta N_{2x}$	0,00	e*	0,62
A1 <sub>apert</sub> [m <sup>2</sup> ]	0,00	TF [s]	10,00	$\delta N_{3x}$	5,50	a0* [m/s <sup>2</sup> ]	2,17
A2 <sub>apert</sub> [m <sup>2</sup> ]	0,00			$\delta N_{4x}$	0,00	$\phi$	1,80
A3 <sub>apert</sub> [m <sup>2</sup> ]	2,72			$\delta P_{1x}$	0,00	$\Theta$	1,00
A4 <sub>apert</sub> [m <sup>2</sup> ]	1,35			$\delta P_{2x}$	0,00		
				$\delta P_{3x}$	2,75		
				$\delta P_{4x}$	1,53		
				$\delta N_{1y}$	0,00		
				$\delta N_{2y}$	0,00		
				$\delta N_{3y}$	0,30		
				$\delta N_{4y}$	0,58		
				$\delta P_{1y}$	0,00		
				$\delta P_{2y}$	0,00		
				$\delta P_{3y}$	0,20		
				$\delta P_{4y}$	0,76		

VERIFICA SLV LINEARE			
T1 [s]	0,36	a1 [m/s <sup>2</sup> ]	0,74
$\Psi(z)$	0,39	a2 [m/s <sup>2</sup> ]	0,97
$\gamma$	1,29	a0* [m/s <sup>2</sup> ]	2,17
Se(T1) [m/s <sup>2</sup> ]	3,86	a0* > max(a1;a2)	VERIFICATA

Tabella 5.62 Tabella di calcolo del cinematismo e relative verifiche



### Macroelemento 10 – Cinematismo 1

Di seguito viene presentata l'analisi del meccanismo corrispondente al ribaltamento fuori piano del macroelemento 10, appartenente al blocco A.

Il meccanismo consiste nel ribaltamento globale della parete con rotazione attorno alla cerniera cilindrica posta alla base della muratura.

Il procedimento di verifica si svolge analogamente ai precedenti, quindi se ne riportano solo i risultati.

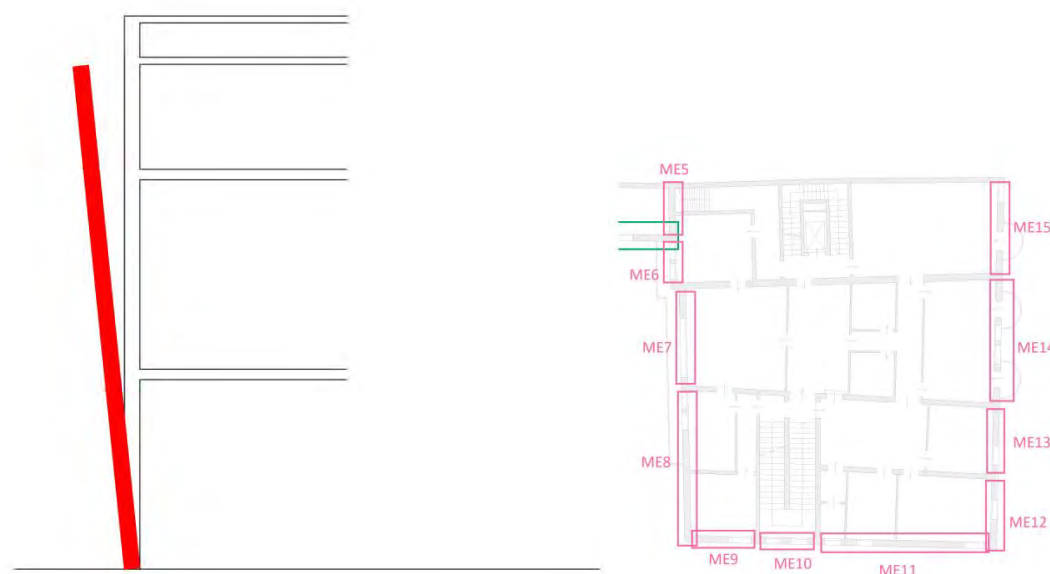


Figura 5.37 Rappresentazione del meccanismo di ribaltamento e riferimento planimetrico

Come prima si procede al calcolo degli spostamenti orizzontali  $\delta_{x,i}$ , della massa partecipante  $M^*$ , della frazione di massa partecipante  $e^*$  e dell'accelerazione sismica spettrale  $a_0^*$ .

Si svolge la verifica lineare allo SLV, ed essendo questa non soddisfatta, si procede mediante verifica non lineare allo SLV, che risulta anch'essa non soddisfatta, quindi si calcolano i tiranti.

DATI GEOMETRICI		DATI MATERIALE		CARICHI			
n [piani]	3,00	$\gamma$ [kN/m <sup>3</sup> ]	18,00	G1 [kN/m <sup>2</sup> ]	0,00	P1 [kN]	0,00
H [m]	14,05	f <sub>m</sub> [Mpa]	240,00	G2 [kN/m <sup>2</sup> ]	4,80	P2 [kN]	118,58
z [m]	0,00	t <sub>0</sub> [Mpa]	6,00	G3 [kN/m <sup>2</sup> ]	4,80	P3 [kN]	101,17
htot [m]	14,05	g [m/s <sup>2</sup> ]	9,81	G4 [kN/m <sup>2</sup> ]	3,40	P4 [kN]	62,25
h1 [m]	0,00	FC	1,35	Gcop [kN/m <sup>2</sup> ]	2,16	N1 [kN]	0,00
h2 [m]	5,50	f <sub>md</sub> [Mpa]	0,89	Q1 [kN/m <sup>2</sup> ]	0,00	N2 [kN]	93,74
h3 [m]	5,50	f <sub>vd</sub> [Mpa]	0,02	Q2 [kN/m <sup>2</sup> ]	4,00	N3 [kN]	93,74
h4 [m]	3,05	ag [m/s <sup>2</sup> ]	0,99	Q3 [kN/m <sup>2</sup> ]	4,00	N4 [kN]	73,26
b1 [m]	0,00	F0	2,60	Q4 [kN/m <sup>2</sup> ]	0,50		
b2 [m]	0,60	TC* [s]	0,34	Qneve [kN/m <sup>2</sup> ]	1,00		
b3 [m]	0,45	$\eta$	1,00	$\psi_1$	0,00	t [m]	0,13
b4 [m]	0,45	S	1,50	$\psi_2$	0,60	$\alpha$	0,02
d1 [m]	0,00	Cc	1,50	$\psi_3$	0,60	Ms [kNm]	79,39
d2 [m]	0,30	Tc [s]	0,51	$\psi_4$	0,00	MR [kNm]	4516,42
d3 [m]	0,30	TB [s]	0,17	$\psi_{neve}$	0,00	$\vartheta$	0,07
d4 [m]	0,30	TD [s]	2,00				
l [m]	3,10	C1	0,05	SPOSTAMENTI VIRTUALI		CURVA DI CAPACITÀ	
Asolaio [m <sup>2</sup> ]	13,02	q	2,00	$\delta N1$	0,00	M* [kN]	45,02
Acop [m <sup>2</sup> ]	13,42	TE [s]	6,00	$\delta N2$	0,39	e*	0,81
A1apert [m <sup>2</sup> ]	0,00	TF [s]	10,00	$\delta N3$	0,78	a0* [m/s <sup>2</sup> ]	0,16
A2apert [m <sup>2</sup> ]	6,07			$\delta N4$	1,00		
A3apert [m <sup>2</sup> ]	4,56			$\delta P1$	0,00		
A4apert [m <sup>2</sup> ]	1,77			$\delta P2$	0,20		
				$\delta P3$	0,59		
				$\delta P4$	0,89		

VERIFICA SLV LINEARE			
T1 [s]	0,36	a1 [m/s <sup>2</sup> ]	0,74
$\Psi(z)$	0,00	a2 [m/s <sup>2</sup> ]	0,00
$\gamma$	1,29	a0* [m/s <sup>2</sup> ]	0,16
Se(T1) [m/s <sup>2</sup> ]	3,86	a0* > max(a1;a2)	NON VERIFICATA

VERIFICA SLV NON LINEARE					
RP1 [m]	0,13	$\beta P1$ [rad]	0,00	Ms	0,00
RP2 [m]	2,76	$\beta P2$ [rad]	1,51	$\theta$ [rad]	0,017577
RP3 [m]	8,25	$\beta P3$ [rad]	1,56	hbar [m]	8,32
RP4 [m]	12,53	$\beta P4$ [rad]	1,56	dk0 [m]	0,15
RN1 [m]	0,13	$\beta N1$ [rad]	0,00	$\delta x_{hbar}$	0,59
RN2 [m]	5,50	$\beta N2$ [rad]	1,54	d0* [m]	0,18
RN3 [m]	11,00	$\beta N3$ [rad]	1,56	du* [m]	0,07
RN4 [m]	14,05	$\beta N4$ [rad]	1,56	ds* [m]	0,03
				as* [m/s <sup>2</sup> ]	0,13
				Ts* [s]	2,93
SDe1 [m/s <sup>2</sup> ]	0,10			SDe(Ts) [m/s <sup>2</sup> ]	0,10
SDe2 [m/s <sup>2</sup> ]	0,00			SDe(T1) [m/s <sup>2</sup> ]	0,01
du* [m]	0,07			Se(TS) [m/s <sup>2</sup> ]	0,46
du* > max(SDe1;SDe2)		NON VERIFICATA			

Tabella 5.63 Tabella di calcolo del cinematismo e relative verifiche

<b>TIRANTI</b>			
<b>a0*</b> [m/s <sup>2</sup> ]	0,74	<b>T4</b> [kN]	20,13
<b>α0</b> [m/s <sup>2</sup> ]	0,08	<b>T3</b> [kN]	7,88
<b>Tmin</b> [kN]	20,13	<b>T2</b> [kN]	7,88
		<b>T1</b> [kN]	0,00

<b>VERIFICA TIRANTI</b>	
<b>ROTTURA BARRA</b>	
<b>T'</b> [kN]	61,04

<b>PUNZONAMENTO MURATURA</b>	
<b>T''</b> [kN]	27,00

<b>SCHIACCIAMENTO MURO</b>	
<b>T'''</b> [kN]	80,1

<b>T4</b>	VERIFICATO
<b>T3</b>	VERIFICATO
<b>T2</b>	VERIFICATO
<b>T1</b>	VERIFICATO

Si dispone un tirante per piano

Tabella 5.64 Tabella di calcolo dei tiranti

### Macroelemento 10 – Cinematismo 2

Di seguito viene presentato il meccanismo parziale relativo al macroelemento 10, che consiste nel ribaltamento semplice delle pareti relative ai piani primo e secondo, attraverso una rotazione attorno alla cerniera cilindrica posta alla base della parete del piano primo.

Il procedimento di verifica si svolge in maniera analoga ai precedenti, quindi vengono riportati i risultati.

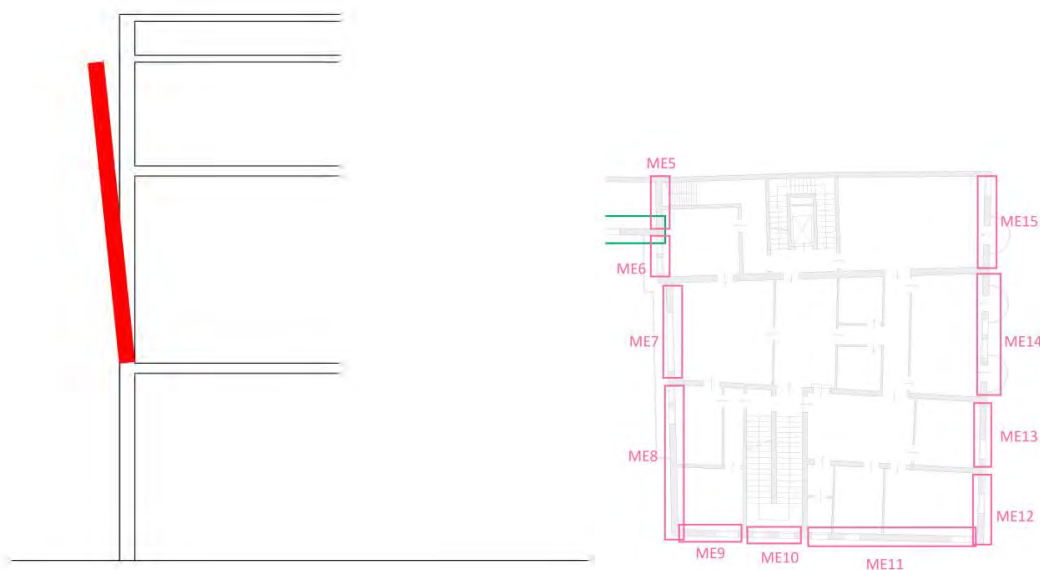


Figura 5.38 Rappresentazione del meccanismo di ribaltamento e riferimento planimetrico

Come prima si procede al calcolo degli spostamenti orizzontali  $\delta_{x,i}$ , della massa partecipante  $M^*$ , della frazione di massa partecipante  $e^*$  e dell'accelerazione sismica spettrale  $a_0^*$ .

Si svolge la verifica lineare allo SLV, ed essendo questa non soddisfatta, si procede mediante verifica non lineare allo SLV, che risulta anch'essa non soddisfatta, quindi si calcolano i tiranti.

DATI GEOMETRICI		DATI MATERIALE		CARICHI			
n [piani]	3,00	$\gamma$ [kN/m <sup>3</sup> ]	18,00	G1 [kN/m <sup>2</sup> ]	0,00	P1 [kN]	0,00
H [m]	14,05	f <sub>m</sub> [Mpa]	240,00	G2 [kN/m <sup>2</sup> ]	0,00	P2 [kN]	0,00
z [m]	5,50	$\tau_0$ [Mpa]	6,00	G3 [kN/m <sup>2</sup> ]	4,80	P3 [kN]	101,17
htot [m]	8,55	g [m/s <sup>2</sup> ]	9,81	G4 [kN/m <sup>2</sup> ]	3,40	P4 [kN]	62,25
h1 [m]	0,00	FC	1,35	Gcop [kN/m <sup>2</sup> ]	2,16	N1 [kN]	0,00
h2 [m]	0,00	f <sub>md</sub> [Mpa]	0,89	Q1 [kN/m <sup>2</sup> ]	0,00	N2 [kN]	0,00
h3 [m]	5,50	f <sub>vd</sub> [Mpa]	0,02	Q2 [kN/m <sup>2</sup> ]	0,00	N3 [kN]	93,74
h4 [m]	3,05	ag [m/s <sup>2</sup> ]	0,99	Q3 [kN/m <sup>2</sup> ]	4,00	N4 [kN]	73,26
b1 [m]	0,00	F0	2,60	Q4 [kN/m <sup>2</sup> ]	0,50		
b2 [m]	0,00	TC* [s]	0,34	Qneve [kN/m <sup>2</sup> ]	1,00		
b3 [m]	0,45	$\eta$	1,00	$\psi_1$	0,00	t [m]	0,08
b4 [m]	0,45	S	1,50	$\psi_2$	0,00	$\alpha$	0,03
d1 [m]	0,00	Cc	1,50	$\psi_3$	0,60	Ms [kNm]	60,49
d2 [m]	0,00	Tc [s]	0,51	$\psi_4$	0,00	MR [kNm]	1857,43
d3 [m]	0,30	TB [s]	0,17	$\psi_{neve}$	0,00	$\hat{\sigma}$	0,12
d4 [m]	0,30	TD [s]	2,00				
l [m]	3,10	C1	0,05	SPOSTAMENTI VIRTUALI		CURVA DI CAPACITÀ	
Asolaio [m <sup>2</sup> ]	13,02	q	2,00	$\delta N1$	0,00	M* [kN]	29,24
Acop [m <sup>2</sup> ]	13,42	TE [s]	6,00	$\delta N2$	0,00	e*	0,87
A1apert [m <sup>2</sup> ]	0,00	TF [s]	10,00	$\delta N3$	0,64	a0* [m/s <sup>2</sup> ]	0,27
A2apert [m <sup>2</sup> ]	0,00			$\delta N4$	1,00		
A3apert [m <sup>2</sup> ]	4,56			$\delta P1$	0,00		
A4apert [m <sup>2</sup> ]	1,77			$\delta P2$	0,00		
				$\delta P3$	0,32		
				$\delta P4$	0,82		

VERIFICA SLV LINEARE			
T1 [s]	0,36	a1 [m/s <sup>2</sup> ]	0,74
$\Psi(z)$	0,39	a2 [m/s <sup>2</sup> ]	0,97
$\gamma$	1,29	a0* [m/s <sup>2</sup> ]	0,27
Se(T1) [m/s <sup>2</sup> ]	3,86	a0* > max(a1;a2)	NON VERIFICATA

VERIFICA SLV NON LINEARE					
RP1 [m]	0,08	$\beta P1$ [rad]	0,00	Ms	0,00
RP2 [m]	0,08	$\beta P2$ [rad]	0,00	$\theta$ [rad]	0,032555
RP3 [m]	2,75	$\beta P3$ [rad]	1,52	hbar [m]	5,62
RP4 [m]	7,03	$\beta P4$ [rad]	1,55	dk0 [m]	0,18
RN1 [m]	0,08	$\beta N1$ [rad]	0,00	$\delta x_{hbar}$	0,66
RN2 [m]	0,08	$\beta N2$ [rad]	0,00	d0* [m]	0,21
RN3 [m]	5,50	$\beta N3$ [rad]	1,53	du* [m]	0,08
RN4 [m]	8,55	$\beta N4$ [rad]	1,55	ds* [m]	0,03
				as* [m/s <sup>2</sup> ]	0,23
				Ts* [s]	2,41
SDe1 [m/s <sup>2</sup> ]	0,10			SDe(Ts) [m/s <sup>2</sup> ]	0,10
SDe2 [m/s <sup>2</sup> ]	0,05			SDe(T1) [m/s <sup>2</sup> ]	0,01
du* [m]	0,08			Se(TS) [m/s <sup>2</sup> ]	0,68
du* > max(SDe1;SDe2)		NON VERIFICATA			

Tabella 5.65 Tabella di calcolo del cinematismo e relative verifiche

<b>TIRANTI</b>			
<b>a0* [m/s2]</b>	0,97	<b>T4 [kN]</b>	16,09
<b>α0 [m/s2]</b>	0,12	<b>T3 [kN]</b>	10,35
<b>Tmin [kN]</b>	16,09	<b>T2 [kN]</b>	0,00
		<b>T1 [kN]</b>	0,00

<b>VERIFICA TIRANTI</b>	
<b>ROTTURA BARRA</b>	
<b>T' [kN]</b>	61,04

<b>PUNZONAMENTO MURATURA</b>	
<b>T'' [kN]</b>	27,00

<b>SCHIACCIAMENTO MURO</b>	
<b>T''' [kN]</b>	80,1

<b>T4</b>	VERIFICATO
<b>T3</b>	VERIFICATO
<b>T2</b>	VERIFICATO
<b>T1</b>	VERIFICATO

Si dispone un tirante per piano

Tabella 5.66 Tabella di calcolo dei tiranti

### Macroelemento 10 – Cinematismo 3

Di seguito viene presentato il meccanismo parziale relativo al macroelemento 10, che consiste nel ribaltamento semplice delle pareti relative al piano secondo, attraverso una rotazione attorno alla cerniera cilindrica posta alla base della parete del piano secondo. Il procedimento di verifica si svolge in maniera analoga ai precedenti, quindi vengono riportati i risultati.

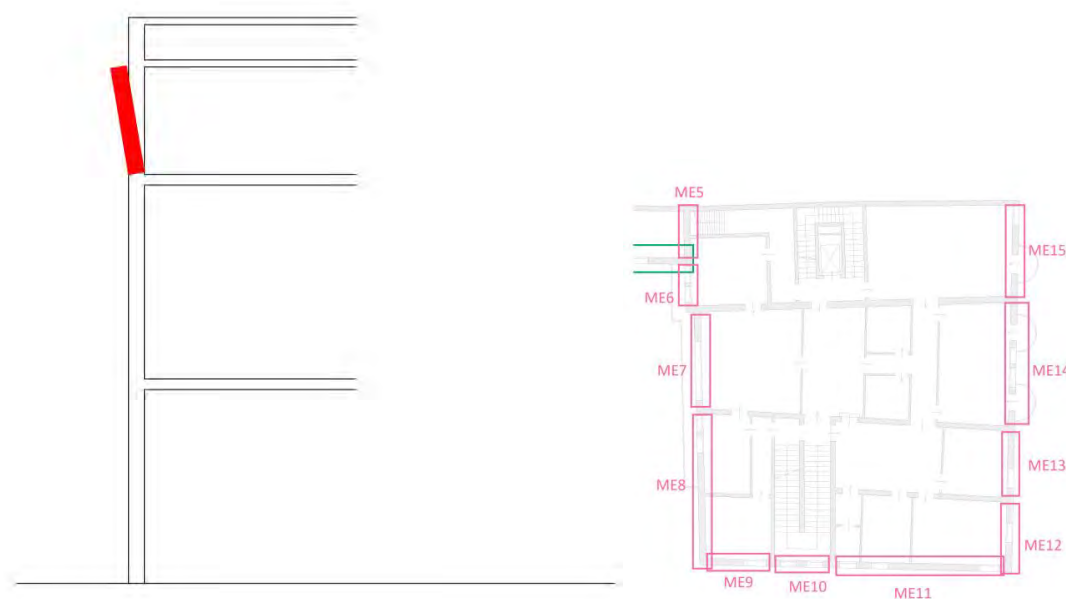


Figura 5.39 Rappresentazione del meccanismo di ribaltamento e riferimento planimetrico

Successivamente si procede al calcolo degli spostamenti orizzontali  $\delta_{x,i}$ , della massa partecipante  $M^*$ , della frazione di massa partecipante  $e^*$  e dell'accelerazione sismica spettrale  $a_0^*$ .

Si svolge la verifica lineare allo SLV, ed essendo questa non soddisfatta, si procede mediante verifica non lineare allo SLV, ed essendo questa soddisfatta non è necessario procedere oltre.

DATI GEOMETRICI		DATI MATERIALE		CARICHI			
n [piani]	3,00	$\gamma$ [kN/m <sup>3</sup> ]	18,00	G1 [kN/m <sup>2</sup> ]	0,00	P1 [kN]	0,00
H [m]	14,05	f <sub>m</sub> [Mpa]	240,00	G2 [kN/m <sup>2</sup> ]	0,00	P2 [kN]	0,00
z [m]	11,00	t <sub>0</sub> [Mpa]	6,00	G3 [kN/m <sup>2</sup> ]	0,00	P3 [kN]	0,00
htot [m]	3,05	g [m/s <sup>2</sup> ]	9,81	G4 [kN/m <sup>2</sup> ]	3,40	P4 [kN]	62,25
h1 [m]	0,00	FC	1,35	Gcop [kN/m <sup>2</sup> ]	2,16	N1 [kN]	0,00
h2 [m]	0,00	f <sub>md</sub> [Mpa]	0,89	Q1 [kN/m <sup>2</sup> ]	0,00	N2 [kN]	0,00
h3 [m]	0,00	f <sub>vd</sub> [Mpa]	0,02	Q2 [kN/m <sup>2</sup> ]	0,00	N3 [kN]	0,00
h4 [m]	3,05	ag [m/s <sup>2</sup> ]	0,99	Q3 [kN/m <sup>2</sup> ]	0,00	N4 [kN]	73,26
b1 [m]	0,00	F0	2,60	Q4 [kN/m <sup>2</sup> ]	0,50		
b2 [m]	0,00	TC* [s]	0,34	Qneve [kN/m <sup>2</sup> ]	1,00		
b3 [m]	0,00	$\eta$	1,00	$\psi_1$	0,00	t [m]	0,03
b4 [m]	0,45	S	1,50	$\psi_2$	0,00	$\alpha$	0,10
d1 [m]	0,00	Cc	1,50	$\psi_3$	0,00	Ms [kNm]	31,55
d2 [m]	0,00	Tc [s]	0,51	$\psi_4$	0,00	MR [kNm]	318,36
d3 [m]	0,00	TB [s]	0,17	$\psi_{neve}$	0,00	$\vartheta$	0,33
d4 [m]	0,30	TD [s]	2,00				
l [m]	3,10	C1	0,05	SPOSTAMENTI VIRTUALI		CURVA DI CAPACITÀ	
Asolaio [m <sup>2</sup> ]	13,02	q	2,00	$\delta_{N1}$	0,00	M* [kN]	12,50
Acop [m <sup>2</sup> ]	13,42	TE [s]	6,00	$\delta_{N2}$	0,00	e*	0,91
A1apert [m <sup>2</sup> ]	0,00	TF [s]	10,00	$\delta_{N3}$	0,00	a0* [m/s <sup>2</sup> ]	0,80
A2apert [m <sup>2</sup> ]	0,00			$\delta_{N4}$	1,00		
A3apert [m <sup>2</sup> ]	0,00			$\delta_{P1}$	0,00		
A4apert [m <sup>2</sup> ]	1,77			$\delta_{P2}$	0,00		
				$\delta_{P3}$	0,00		
				$\delta_{P4}$	0,50		

VERIFICA SLV LINEARE			
T1 [s]	0,36	a1 [m/s <sup>2</sup> ]	0,74
$\Psi(z)$	0,78	a2 [m/s <sup>2</sup> ]	1,94
$\gamma$	1,29	a0* [m/s <sup>2</sup> ]	0,80
Se(T1) [m/s <sup>2</sup> ]	3,86	a0* > max(a1;a2)	NON VERIFICATA

VERIFICA SLV NON LINEARE					
RP1 [m]	0,03	$\beta_{P1}$ [rad]	0,00	Ms	0,00
RP2 [m]	0,03	$\beta_{P2}$ [rad]	0,00	$\theta$ [rad]	0,09877
RP3 [m]	0,03	$\beta_{P3}$ [rad]	0,00	hbar [m]	2,35
RP4 [m]	1,54	$\beta_{P4}$ [rad]	1,45	dk0 [m]	0,23
RN1 [m]	0,03	$\beta_{N1}$ [rad]	0,00	$\delta_{xhbar}$	0,77
RN2 [m]	0,03	$\beta_{N2}$ [rad]	0,00	d0* [m]	0,26
RN3 [m]	0,03	$\beta_{N3}$ [rad]	0,00	du* [m]	0,10
RN4 [m]	3,06	$\beta_{N4}$ [rad]	1,48	ds* [m]	0,04
				as* [m/s <sup>2</sup> ]	0,67
				Ts* [s]	1,56
SDe1 [m/s <sup>2</sup> ]	0,10			SDe(Ts) [m/s <sup>2</sup> ]	0,10
SDe2 [m/s <sup>2</sup> ]	0,07			SDe(T1) [m/s <sup>2</sup> ]	0,01
du* [m]	0,10			Se(TS) [m/s <sup>2</sup> ]	1,63
du* > max(SDe1;SDe2)		VERIFICATA			

Tabella 5.67 Tabella di calcolo del cinematismo e relative verifiche



### Macroelemento 11 – Cinematismo 1

Di seguito viene presentato il meccanismo parziale relativo al macroelemento 11, che consiste nel ribaltamento semplice delle pareti relative ai piani primo e secondo, attraverso una rotazione attorno alla cerniera cilindrica posta alla base della parete del piano primo.

Il procedimento di verifica si svolge in maniera analoga ai precedenti, quindi vengono riportati i risultati.

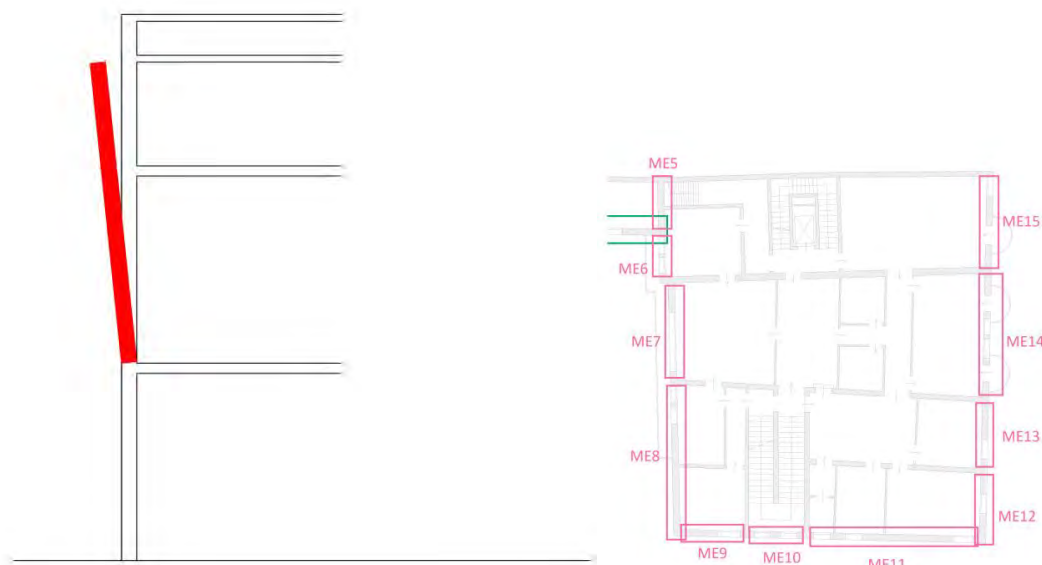


Figura 5.40 Rappresentazione del meccanismo di ribaltamento e riferimento planimetrico

Come prima si procede al calcolo degli spostamenti orizzontali  $\delta_{x,i}$ , della massa partecipante  $M^*$ , della frazione di massa partecipante  $e^*$  e dell'accelerazione sismica spettrale  $a_0^*$ .

Si svolge la verifica lineare allo SLV, ed essendo questa non soddisfatta, si procede mediante verifica non lineare allo SLV, che risulta anch'essa non soddisfatta, quindi si calcolano i tiranti.

DATI GEOMETRICI		DATI MATERIALE		CARICHI			
n [piani]	3,00	$\gamma$ [kN/m <sup>3</sup> ]	18,00	G1 [kN/m <sup>2</sup> ]	0,00	P1 [kN]	0,00
H [m]	14,05	f <sub>m</sub> [Mpa]	240,00	G2 [kN/m <sup>2</sup> ]	0,00	P2 [kN]	0,00
z [m]	5,50	t <sub>0</sub> [Mpa]	6,00	G3 [kN/m <sup>2</sup> ]	3,53	P3 [kN]	383,05
htot [m]	8,55	g [m/s <sup>2</sup> ]	9,81	G4 [kN/m <sup>2</sup> ]	3,40	P4 [kN]	233,73
h1 [m]	0,00	FC	1,35	G <sub>cop</sub> [kN/m <sup>2</sup> ]	2,16	N1 [kN]	0,00
h2 [m]	0,00	f <sub>md</sub> [Mpa]	0,89	Q1 [kN/m <sup>2</sup> ]	0,00	N2 [kN]	0,00
h3 [m]	5,50	f <sub>vd</sub> [Mpa]	0,02	Q2 [kN/m <sup>2</sup> ]	0,00	N3 [kN]	83,88
h4 [m]	3,05	ag [m/s <sup>2</sup> ]	0,99	Q3 [kN/m <sup>2</sup> ]	2,00	N4 [kN]	113,31
b1 [m]	0,00	F0	2,60	Q4 [kN/m <sup>2</sup> ]	0,50		
b2 [m]	0,00	TC* [s]	0,34	Q <sub>neve</sub> [kN/m <sup>2</sup> ]	1,00		
b3 [m]	0,45	$\eta$	1,00	$\psi_1$	0,00	t [m]	0,06
b4 [m]	0,45	S	1,50	$\psi_2$	0,00	$\alpha$	0,04
d1 [m]	0,00	Cc	1,50	$\psi_3$	0,30	Ms [kNm]	150,67
d2 [m]	0,00	Tc [s]	0,51	$\psi_4$	0,00	MR [kNm]	4125,47
d3 [m]	0,30	TB [s]	0,17	$\psi_{neve}$	0,00	$\vartheta$	0,12
d4 [m]	0,30	TD [s]	2,00				
l [m]	10,50	C1	0,05	SPOSTAMENTI VIRTUALI		CURVA DI CAPACITÀ	
A <sub>solaio</sub> [m <sup>2</sup> ]	20,31	q	2,00	$\delta_{N1}$	0,00	M* [kN]	68,70
A <sub>cop</sub> [m <sup>2</sup> ]	20,49	TE [s]	6,00	$\delta_{N2}$	0,00	e*	0,83
A <sub>1apert</sub> [m <sup>2</sup> ]	0,00	TF [s]	10,00	$\delta_{N3}$	0,64	a0* [m/s <sup>2</sup> ]	0,32
A <sub>2apert</sub> [m <sup>2</sup> ]	0,00			$\delta_{N4}$	1,00		
A <sub>3apert</sub> [m <sup>2</sup> ]	10,46			$\delta_{P1}$	0,00		
A <sub>4apert</sub> [m <sup>2</sup> ]	3,17			$\delta_{P2}$	0,00		
				$\delta_{P3}$	0,32		
				$\delta_{P4}$	0,82		

VERIFICA SLV LINEARE			
T1 [s]	0,36	a1 [m/s <sup>2</sup> ]	0,74
$\Psi(z)$	0,39	a2 [m/s <sup>2</sup> ]	0,97
$\gamma$	1,29	a0* [m/s <sup>2</sup> ]	0,32
Se(T1) [m/s <sup>2</sup> ]	3,86	a0* > max(a1;a2)	NON VERIFICATA

VERIFICA SLV NON LINEARE					
RP1 [m]	0,06	$\beta_{P1}$ [rad]	0,00	Ms	0,00
RP2 [m]	0,06	$\beta_{P2}$ [rad]	0,00	$\theta$ [rad]	0,036505
RP3 [m]	2,76	$\beta_{P3}$ [rad]	1,51	h <sub>bar</sub> [m]	5,07
RP4 [m]	7,03	$\beta_{P4}$ [rad]	1,55	dk0 [m]	0,18
RN1 [m]	0,06	$\beta_{N1}$ [rad]	0,00	$\delta_{xhbar}$	0,59
RN2 [m]	0,06	$\beta_{N2}$ [rad]	0,00	d0* [m]	0,22
RN3 [m]	5,51	$\beta_{N3}$ [rad]	1,53	du* [m]	0,09
RN4 [m]	8,55	$\beta_{N4}$ [rad]	1,54	ds* [m]	0,04
				as* [m/s <sup>2</sup> ]	0,27
				Ts* [s]	2,29
SDe1 [m/s <sup>2</sup> ]	0,10			SDe(Ts) [m/s <sup>2</sup> ]	0,10
SDe2 [m/s <sup>2</sup> ]	0,05			SDe(T1) [m/s <sup>2</sup> ]	0,01
du* [m]	0,09			Se(TS) [m/s <sup>2</sup> ]	0,75
du* > max(SDe1;SDe2)		NON VERIFICATA			

Tabella 5.68 Tabella di calcolo del cinematismo e relative verifiche

<b>TIRANTI</b>			
<b>a0*</b> [m/s <sup>2</sup> ]	0,97	<b>T4</b> [kN]	31,84
<b>α0</b> [m/s <sup>2</sup> ]	0,11	<b>T3</b> [kN]	20,48
<b>Tmin</b> [kN]	31,84	<b>T2</b> [kN]	0,00
		<b>T1</b> [kN]	0,00

<b>VERIFICA TIRANTI</b>	
<b>ROTTURA BARRA</b>	
<b>T'</b> [kN]	61,04

<b>PUNZONAMENTO MURATURA</b>	
<b>T''</b> [kN]	27,00

<b>SCHIACCIAMENTO MURO</b>	
<b>T'''</b> [kN]	80,1

<b>T4</b>	NON VERIFICATO
<b>T3</b>	VERIFICATO
<b>T2</b>	VERIFICATO
<b>T1</b>	VERIFICATO

Si dispongono due tiranti per piano

Tabella 5.69 Tabella di calcolo dei tiranti

**Macroelemento 11 – Cinematismo 2**

Di seguito viene presentato il meccanismo parziale relativo al macroelemento 11, che consiste nel ribaltamento semplice delle pareti relative al piano secondo, attraverso una rotazione attorno alla cerniera cilindrica posta alla base della parete del piano secondo. Il procedimento di verifica si svolge in maniera analoga ai precedenti, quindi vengono riportati i risultati.

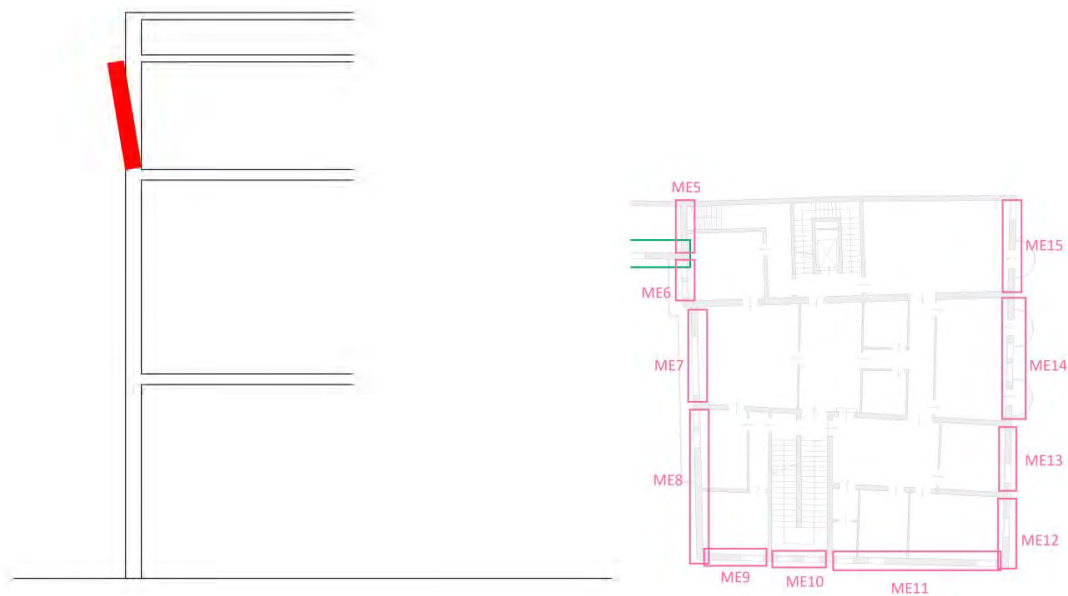


Figura 5.41 Rappresentazione del meccanismo di ribaltamento e riferimento planimetrico

Successivamente si procede al calcolo degli spostamenti orizzontali  $\delta_{x,i}$ , della massa partecipante  $M^*$ , della frazione di massa partecipante  $e^*$  e dell'accelerazione sismica spettrale  $a_0^*$ .

Si svolge la verifica lineare allo SLV, ed essendo questa non soddisfatta, si procede mediante verifica non lineare allo SLV, ed essendo questa soddisfatta non è necessario procedere oltre.

DATI GEOMETRICI		DATI MATERIALE		CARICHI			
n [piani]	3,00	$\gamma$ [kN/m <sup>3</sup> ]	18,00	G1 [kN/m <sup>2</sup> ]	0,00	P1 [kN]	0,00
H [m]	14,05	f <sub>m</sub> [Mpa]	240,00	G2 [kN/m <sup>2</sup> ]	0,00	P2 [kN]	0,00
z [m]	11,00	$\tau_0$ [Mpa]	6,00	G3 [kN/m <sup>2</sup> ]	0,00	P3 [kN]	0,00
htot [m]	3,05	g [m/s <sup>2</sup> ]	9,81	G4 [kN/m <sup>2</sup> ]	3,40	P4 [kN]	233,73
h1 [m]	0,00	FC	1,35	Gcop [kN/m <sup>2</sup> ]	2,16	N1 [kN]	0,00
h2 [m]	0,00	f <sub>md</sub> [Mpa]	0,89	Q1 [kN/m <sup>2</sup> ]	0,00	N2 [kN]	0,00
h3 [m]	0,00	f <sub>vd</sub> [Mpa]	0,02	Q2 [kN/m <sup>2</sup> ]	0,00	N3 [kN]	0,00
h4 [m]	3,05	ag [m/s <sup>2</sup> ]	0,99	Q3 [kN/m <sup>2</sup> ]	0,00	N4 [kN]	113,31
b1 [m]	0,00	F0	2,60	Q4 [kN/m <sup>2</sup> ]	0,50		
b2 [m]	0,00	TC* [s]	0,34	Qneve [kN/m <sup>2</sup> ]	1,00		
b3 [m]	0,00	$\eta$	1,00	$\psi_1$	0,00	t [m]	0,02
b4 [m]	0,45	S	1,50	$\psi_2$	0,00	$\alpha$	0,11
d1 [m]	0,00	Cc	1,50	$\psi_3$	0,00	Ms [kNm]	77,99
d2 [m]	0,00	Tc [s]	0,51	$\psi_4$	0,00	MR [kNm]	702,03
d3 [m]	0,00	TB [s]	0,17	$\psi_{neve}$	0,00	$\vartheta$	0,33
d4 [m]	0,30	TD [s]	2,00				
l [m]	10,50	C1	0,05	SPOSTAMENTI VIRTUALI		CURVA DI CAPACITÀ	
Asolaio [m <sup>2</sup> ]	20,31	q	2,00	$\delta N1$	0,00	M* [kN]	31,45
Acop [m <sup>2</sup> ]	20,49	TE [s]	6,00	$\delta N2$	0,00	e*	0,89
A1apert [m <sup>2</sup> ]	0,00	TF [s]	10,00	$\delta N3$	0,00	a0* [m/s <sup>2</sup> ]	0,91
A2apert [m <sup>2</sup> ]	0,00			$\delta N4$	1,00		
A3apert [m <sup>2</sup> ]	0,00			$\delta P1$	0,00		
A4apert [m <sup>2</sup> ]	3,17			$\delta P2$	0,00		
				$\delta P3$	0,00		
				$\delta P4$	0,50		

VERIFICA SLV LINEARE			
T1 [s]	0,36	a1 [m/s <sup>2</sup> ]	0,74
$\Psi(z)$	0,78	a2 [m/s <sup>2</sup> ]	1,94
$\gamma$	1,29	a0* [m/s <sup>2</sup> ]	0,91
Se(T1) [m/s <sup>2</sup> ]	3,86	a0* > max(a1;a2)	NON VERIFICATA

VERIFICA SLV NON LINEARE					
RP1 [m]	0,02	$\beta P1$ [rad]	0,00	Ms	0,0000
RP2 [m]	0,02	$\beta P2$ [rad]	0,00	$\theta$ [rad]	0,110638
RP3 [m]	0,02	$\beta P3$ [rad]	0,00	hbar [m]	2,02
RP4 [m]	1,54	$\beta P4$ [rad]	1,44	dk0 [m]	0,22
RN1 [m]	0,02	$\beta N1$ [rad]	0,00	$\delta x hbar$	0,66
RN2 [m]	0,02	$\beta N2$ [rad]	0,00	d0* [m]	0,25
RN3 [m]	0,02	$\beta N3$ [rad]	0,00	du* [m]	0,10
RN4 [m]	3,06	$\beta N4$ [rad]	1,48	ds* [m]	0,04
				as* [m/s <sup>2</sup> ]	0,76
				Ts* [s]	1,44
SDe1 [m/s <sup>2</sup> ]	0,10			SDe(Ts) [m/s <sup>2</sup> ]	0,10
SDe2 [m/s <sup>2</sup> ]	0,07			SDe(T1) [m/s <sup>2</sup> ]	0,01
du* [m]	0,10			Se(TS) [m/s <sup>2</sup> ]	1,89
du* > max(SDe1;SDe2)		VERIFICATA			

Tabella 5.70 Tabella di calcolo del cinematico e relative verifiche

**Macroelemento 11 – Cinematismo 3**

Di seguito viene presentato il meccanismo relativo al macroelemento 11, che consiste nella flessione verticale di una porzione in quota della parete, attraverso la formazione di una cerniera cilindrica orizzontale che divide la parete in due blocchi distinti.

Il procedimento di verifica si svolge in maniera analoga ai precedenti, quindi vengono riportati i risultati.

Le verifiche si svolgono mediante l'applicazione del principio dei lavori virtuali.

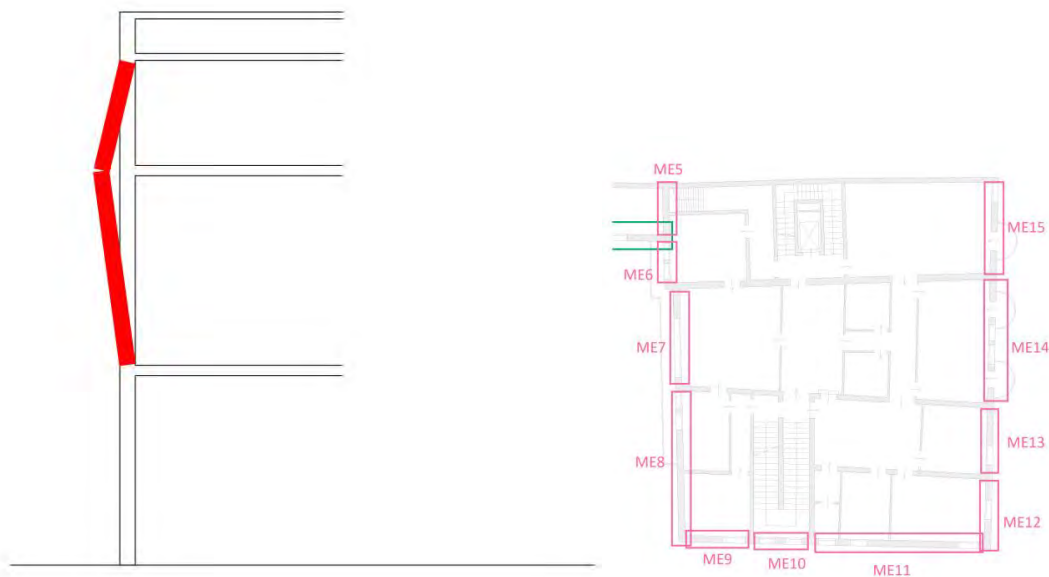


Figura 5.42 Rappresentazione del meccanismo di ribaltamento e riferimento planimetrico

Successivamente si procede al calcolo degli spostamenti orizzontali  $\delta_{x,i}$ , della massa partecipante  $M^*$ , della frazione di massa partecipante  $e^*$  e dell'accelerazione sismica spettrale  $a_0^*$ .

Si svolge la verifica lineare allo SLV, ed essendo questa soddisfatta non è necessario procedere oltre.

DATI GEOMETRICI		DATI MATERIALE		CARICHI			
n [piani]	3	$\gamma$ [kN/m <sup>3</sup> ]	18,00	G1 [kN/m <sup>2</sup> ]	0,00	P1 [kN]	0,00
H [m]	14,05	f <sub>m</sub> [Mpa]	240,00	G2 [kN/m <sup>2</sup> ]	0,00	P2 [kN]	0,00
z [m]	5,50	$\tau_0$ [Mpa]	6,00	G3 [kN/m <sup>2</sup> ]	3,53	P3 [kN]	383,05
htot [m]	8,55	g [m/s <sup>2</sup> ]	9,81	G4 [kN/m <sup>2</sup> ]	3,40	P4 [kN]	233,73
h1 [m]	0,00	FC	1,35	G <sub>cop</sub> [kN/m <sup>2</sup> ]	2,16	N1 [kN]	0,00
h2 [m]	0,00	f <sub>md</sub> [Mpa]	0,89	Q1 [kN/m <sup>2</sup> ]	0,00	N2 [kN]	0,00
h3 [m]	5,50	f <sub>vd</sub> [Mpa]	0,02	Q2 [kN/m <sup>2</sup> ]	0,00	N3 [kN]	83,88
h4 [m]	3,05	ag [m/s <sup>2</sup> ]	0,99	Q3 [kN/m <sup>2</sup> ]	2,00	N4 [kN]	114,28
b1 [m]	0,00	F0	2,60	Q4 [kN/m <sup>2</sup> ]	0,50		
b2 [m]	0,00	TC* [s]	0,34	Q <sub>neve</sub> [kN/m]	1,00		
b3 [m]	0,45	$\eta$	1,00	$\psi_1$	0,00	t [m]	0,06
b4 [m]	0,45	S	1,50	$\psi_2$	0,00	$\alpha$	0,21
d1 [m]	0,00	Cc	1,50	$\psi_3$	0,30	$\theta$	0,12
d2 [m]	0,00	Tc [s]	0,51	$\psi_4$	0,00		
d3 [m]	0,30	TB [s]	0,17	$\psi_{neve}$	0,00		
d4 [m]	0,30	TD [s]	2,00				
l [m]	10,50	C1	0,05	SPOSTAMENTI VIRTUA		CURVA DI CAPACITÀ	
A <sub>solaio</sub> [m <sup>2</sup> ]	20,31	q	2,00	$\delta N_{1x}$	0,00	M* [kN]	59,71
A <sub>cop</sub> [m <sup>2</sup> ]	20,94	TE [s]	6,00	$\delta N_{2x}$	0,00	e*	0,72
A1 <sub>apert</sub> [m <sup>2</sup> ]	0,00	TF [s]	10,00	$\delta N_{3x}$	5,50	a0* [m/s <sup>2</sup> ]	2,13
A2 <sub>apert</sub> [m <sup>2</sup> ]	0,00			$\delta N_{4x}$	0,00	$\phi$	1,80
A3 <sub>apert</sub> [m <sup>2</sup> ]	10,46			$\delta P_{1x}$	0,00	$\Theta$	1,00
A4 <sub>apert</sub> [m <sup>2</sup> ]	3,17			$\delta P_{2x}$	0,00		
				$\delta P_{3x}$	2,75		
				$\delta P_{4x}$	1,53		
				$\delta N_{1y}$	0,00		
				$\delta N_{2y}$	0,00		
				$\delta N_{3y}$	0,30		
				$\delta N_{4y}$	0,72		
				$\delta P_{1y}$	0,00		
				$\delta P_{2y}$	0,00		
				$\delta P_{3y}$	0,23		
				$\delta P_{4y}$	0,86		

VERIFICA SLV LINEARE			
T1 [s]	0,36	a1 [m/s <sup>2</sup> ]	0,74
$\Psi(z)$	0,39	a2 [m/s <sup>2</sup> ]	0,97
$\gamma$	1,29	a0* [m/s <sup>2</sup> ]	2,13
Se(T1) [m/s <sup>2</sup> ]	3,86	a0* > max(a1;a2)	VERIFICATA

Tabella 5.71 Tabella di calcolo del cinematismo e relative verifiche

**Macroelemento 12 – Cinematismo 1**

Di seguito viene presentato il meccanismo parziale relativo al macroelemento 12, che consiste nel ribaltamento semplice delle pareti relative ai piani primo e secondo, attraverso una rotazione attorno alla cerniera cilindrica posta alla base della parete del piano primo.

Il procedimento di verifica si svolge in maniera analoga ai precedenti, quindi vengono riportati i risultati.

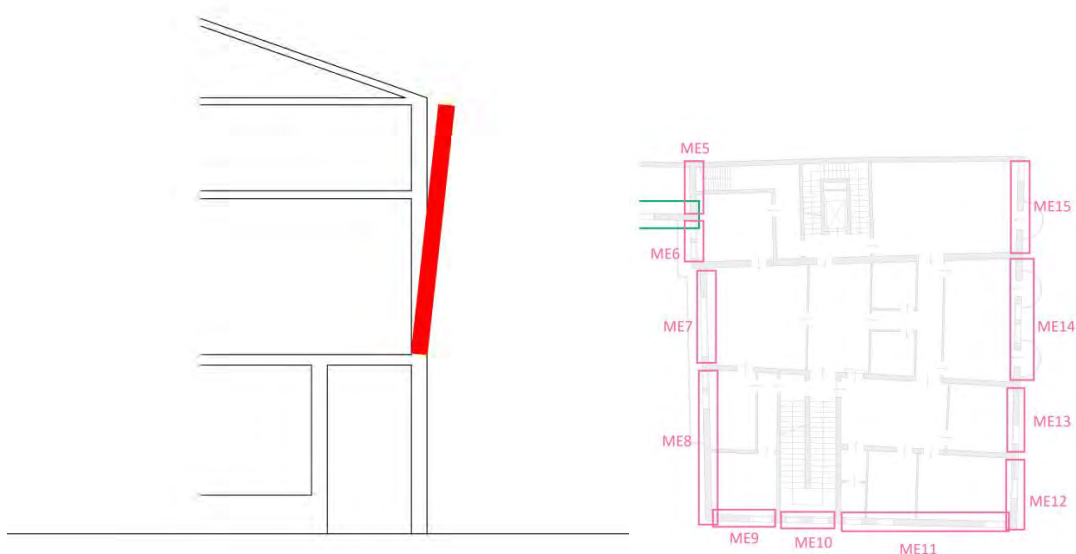


Figura 5.43 Rappresentazione del meccanismo di ribaltamento e riferimento planimetrico

Come prima si procede al calcolo degli spostamenti orizzontali  $\delta_{x,i}$ , della massa partecipante  $M^*$ , della frazione di massa partecipante  $e^*$  e dell'accelerazione sismica spettrale  $a_0^*$ .

Si svolge la verifica lineare allo SLV, ed essendo questa non soddisfatta, si procede mediante verifica non lineare allo SLV, che risulta anch'essa non soddisfatta, quindi si calcolano i tiranti.



DATI GEOMETRICI		DATI MATERIALE		CARICHI			
n [piani]	3,00	$\gamma$ [kN/m <sup>3</sup> ]	18,00	G1 [kN/m <sup>2</sup> ]	0,00	P1 [kN]	0,00
H [m]	14,35	f <sub>m</sub> [Mpa]	240,00	G2 [kN/m <sup>2</sup> ]	0,00	P2 [kN]	0,00
z [m]	5,80	$\tau_0$ [Mpa]	6,00	G3 [kN/m <sup>2</sup> ]	3,88	P3 [kN]	138,39
htot [m]	8,55	g [m/s <sup>2</sup> ]	9,81	G4 [kN/m <sup>2</sup> ]	3,40	P4 [kN]	84,27
h1 [m]	0,00	FC	1,35	Gcop [kN/m <sup>2</sup> ]	2,16	N1 [kN]	0,00
h2 [m]	0,00	f <sub>md</sub> [Mpa]	0,89	Q1 [kN/m <sup>2</sup> ]	0,00	N2 [kN]	0,00
h3 [m]	5,50	f <sub>vd</sub> [Mpa]	0,02	Q2 [kN/m <sup>2</sup> ]	0,00	N3 [kN]	91,03
h4 [m]	3,05	ag [m/s <sup>2</sup> ]	0,99	Q3 [kN/m <sup>2</sup> ]	2,00	N4 [kN]	114,32
b1 [m]	0,00	F0	2,60	Q4 [kN/m <sup>2</sup> ]	0,50		
b2 [m]	0,00	TC* [s]	0,34	Qneve [kN/m <sup>2</sup> ]	1,00		
b3 [m]	0,45	$\eta$	1,00	$\psi_1$	0,00	t [m]	0,08
b4 [m]	0,45	S	1,50	$\psi_2$	0,00	$\alpha$	0,03
d1 [m]	0,00	Cc	1,50	$\psi_3$	0,30	Ms [kNm]	76,25
d2 [m]	0,00	Tc [s]	0,51	$\psi_4$	0,00	MR [kNm]	2450,66
d3 [m]	0,30	TB [s]	0,17	$\psi_{neve}$	0,00	$\vartheta$	0,12
d4 [m]	0,30	TD [s]	2,00				
l [m]	3,87	C1	0,05	SPOSTAMENTI VIRTUALI		CURVA DI CAPACITÀ	
Asolaio [m <sup>2</sup> ]	20,32	q	2,00	$\delta N1$	0,00	M* [kN]	37,52
Acop [m <sup>2</sup> ]	20,94	TE [s]	6,00	$\delta N2$	0,00	e*	0,86
A1apert [m <sup>2</sup> ]	0,00	TF [s]	10,00	$\delta N3$	0,64	a0* [m/s <sup>2</sup> ]	0,26
A2apert [m <sup>2</sup> ]	0,00			$\delta N4$	1,00		
A3apert [m <sup>2</sup> ]	4,20			$\delta P1$	0,00		
A4apert [m <sup>2</sup> ]	1,40			$\delta P2$	0,00		
				$\delta P3$	0,32		
				$\delta P4$	0,82		

VERIFICA SLV LINEARE			
T1 [s]	0,37	a1 [m/s <sup>2</sup> ]	0,74
$\Psi(z)$	0,40	a2 [m/s <sup>2</sup> ]	1,00
$\gamma$	1,29	a0* [m/s <sup>2</sup> ]	0,26
Se(T1) [m/s <sup>2</sup> ]	3,86	a0* > max(a1;a2)	NON VERIFICATA

VERIFICA SLV NON LINEARE					
RP1 [m]	0,08	$\beta P1$ [rad]	0,00	Ms	0,0000
RP2 [m]	0,08	$\beta P2$ [rad]	0,00	$\theta$ [rad]	0,031102
RP3 [m]	2,75	$\beta P3$ [rad]	1,52	hbar [m]	5,73
RP4 [m]	7,03	$\beta P4$ [rad]	1,55	dk0 [m]	0,18
RN1 [m]	0,08	$\beta N1$ [rad]	0,00	$\delta x_{hbar}$	0,67
RN2 [m]	0,08	$\beta N2$ [rad]	0,00	d0* [m]	0,21
RN3 [m]	5,50	$\beta N3$ [rad]	1,53	du* [m]	0,08
RN4 [m]	8,55	$\beta N4$ [rad]	1,55	ds* [m]	0,03
				as* [m/s <sup>2</sup> ]	0,22
				Ts* [s]	2,43
SDe1 [m/s <sup>2</sup> ]	0,10			SDe(Ts) [m/s <sup>2</sup> ]	0,10
SDe2 [m/s <sup>2</sup> ]	0,05			SDe(T1) [m/s <sup>2</sup> ]	0,01
du* [m]	0,08			Se(TS) [m/s <sup>2</sup> ]	0,66
du* > max(SDe1;SDe2)		NON VERIFICATA			

Tabella 5.72 Tabella di calcolo del cinematismo e relative verifiche

<b>TIRANTI</b>			
<b>a0*</b> [m/s <sup>2</sup> ]	1,00	<b>T4</b> [kN]	22,28
<b>α0</b> [m/s <sup>2</sup> ]	0,12	<b>T3</b> [kN]	14,33
<b>Tmin</b> [kN]	22,28	<b>T2</b> [kN]	0,00
		<b>T1</b> [kN]	0,00

<b>VERIFICA TIRANTI</b>	
<b>ROTTURA BARRA</b>	
<b>T'</b> [kN]	61,04

<b>PUNZONAMENTO MURATURA</b>	
<b>T''</b> [kN]	27,00

<b>SCHIACCIAMENTO MURO</b>	
<b>T'''</b> [kN]	80,1

<b>T4</b>	VERIFICATO
<b>T3</b>	VERIFICATO
<b>T2</b>	VERIFICATO
<b>T1</b>	VERIFICATO

Si dispone un tirante per piano

Tabella 5.73 Tabella di calcolo dei tiranti

### Macroelemento 12 – Cinematismo 2

Di seguito viene presentato il meccanismo parziale relativo al macroelemento 12, che consiste nel ribaltamento semplice delle pareti relative al piano secondo, attraverso una rotazione attorno alla cerniera cilindrica posta alla base della parete del piano secondo. Il procedimento di verifica si svolge in maniera analoga ai precedenti, quindi vengono riportati i risultati.

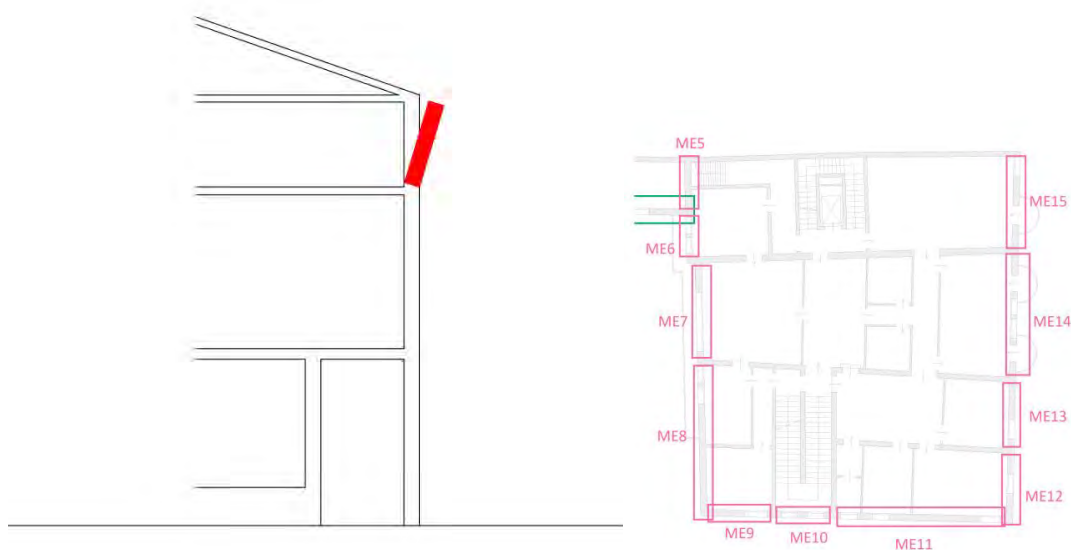


Figura 5.44 Rappresentazione del meccanismo di ribaltamento e riferimento planimetrico

Successivamente si procede al calcolo degli spostamenti orizzontali  $\delta_{x,i}$ , della massa partecipante  $M^*$ , della frazione di massa partecipante  $e^*$  e dell'accelerazione sismica spettrale  $a_0^*$ .

Si svolge la verifica lineare allo SLV, ed essendo questa non soddisfatta, si procede mediante verifica non lineare allo SLV, ed essendo questa soddisfatta non è necessario procedere oltre.

DATI GEOMETRICI		DATI MATERIALE		CARICHI			
n [piani]	3,00	$\gamma$ [kN/m <sup>3</sup> ]	18,00	G1 [kN/m <sup>2</sup> ]	0,00	P1 [kN]	0,00
H [m]	14,35	f <sub>m</sub> [Mpa]	240,00	G2 [kN/m <sup>2</sup> ]	0,00	P2 [kN]	0,00
z [m]	11,30	t <sub>0</sub> [Mpa]	6,00	G3 [kN/m <sup>2</sup> ]	0,00	P3 [kN]	0,00
htot [m]	3,05	g [m/s <sup>2</sup> ]	9,81	G4 [kN/m <sup>2</sup> ]	3,40	P4 [kN]	84,27
h1 [m]	0,00	FC	1,35	Gcop [kN/m <sup>2</sup> ]	2,16	N1 [kN]	0,00
h2 [m]	0,00	f <sub>md</sub> [Mpa]	0,89	Q1 [kN/m <sup>2</sup> ]	0,00	N2 [kN]	0,00
h3 [m]	0,00	f <sub>vd</sub> [Mpa]	0,02	Q2 [kN/m <sup>2</sup> ]	0,00	N3 [kN]	0,00
h4 [m]	3,05	ag [m/s <sup>2</sup> ]	0,99	Q3 [kN/m <sup>2</sup> ]	0,00	N4 [kN]	114,32
b1 [m]	0,00	F0	2,60	Q4 [kN/m <sup>2</sup> ]	0,50		
b2 [m]	0,00	TC* [s]	0,34	Qneve [kN/m <sup>2</sup> ]	1,00		
b3 [m]	0,00	$\eta$	1,00	$\psi_1$	0,00	t [m]	0,04
b4 [m]	0,45	S	1,50	$\psi_2$	0,00	$\alpha$	0,10
d1 [m]	0,00	Cc	1,50	$\psi_3$	0,00	Ms [kNm]	45,62
d2 [m]	0,00	Tc [s]	0,51	$\psi_4$	0,00	MR [kNm]	477,18
d3 [m]	0,00	TB [s]	0,17	$\psi_{neve}$	0,00	$\vartheta$	0,33
d4 [m]	0,30	TD [s]	2,00				
l [m]	3,87	C1	0,05	SPOSTAMENTI VIRTUALI		CURVA DI CAPACITÀ	
Asolaio [m <sup>2</sup> ]	20,32	q	2,00	$\delta N1$	0,00	M* [kN]	18,43
Acop [m <sup>2</sup> ]	20,94	TE [s]	6,00	$\delta N2$	0,00	e*	0,91
A1apert [m <sup>2</sup> ]	0,00	TF [s]	10,00	$\delta N3$	0,00	a0* [m/s <sup>2</sup> ]	0,76
A2apert [m <sup>2</sup> ]	0,00			$\delta N4$	1,00		
A3apert [m <sup>2</sup> ]	0,00			$\delta P1$	0,00		
A4apert [m <sup>2</sup> ]	1,40			$\delta P2$	0,00		
				$\delta P3$	0,00		
				$\delta P4$	0,50		

VERIFICA SLV LINEARE			
T1 [s]	0,37	a1 [m/s <sup>2</sup> ]	0,74
$\Psi(z)$	0,79	a2 [m/s <sup>2</sup> ]	1,95
$\gamma$	1,29	a0* [m/s <sup>2</sup> ]	0,76
Se(T1) [m/s <sup>2</sup> ]	3,86	a0* > max(a1;a2)	NON VERIFICATA

VERIFICA SLV NON LINEARE					
RP1 [m]	0,04	$\beta P1$ [rad]	0,00	Ms	0,0000
RP2 [m]	0,04	$\beta P2$ [rad]	0,00	$\theta$ [rad]	0,095319
RP3 [m]	0,04	$\beta P3$ [rad]	0,00	hbar [m]	2,40
RP4 [m]	1,54	$\beta P4$ [rad]	1,45	dk0 [m]	0,23
RN1 [m]	0,04	$\beta N1$ [rad]	0,00	$\delta x hbar$	0,79
RN2 [m]	0,04	$\beta N2$ [rad]	0,00	d0* [m]	0,25
RN3 [m]	0,04	$\beta N3$ [rad]	0,00	du* [m]	0,10
RN4 [m]	3,06	$\beta N4$ [rad]	1,49	ds* [m]	0,04
				as* [m/s <sup>2</sup> ]	0,64
				Ts* [s]	1,57
SDe1 [m/s <sup>2</sup> ]	0,10			SDe(Ts) [m/s <sup>2</sup> ]	0,10
SDe2 [m/s <sup>2</sup> ]	0,07			SDe(T1) [m/s <sup>2</sup> ]	0,01
du* [m]	0,10			Se(TS) [m/s <sup>2</sup> ]	1,59
du* > max(SDe1;SDe2)		VERIFICATA			

Tabella 5.74 Tabella di calcolo del cinematismo e relative verifiche

### Macroelemento 12 – Cinematismo 3

Di seguito viene presentato il meccanismo relativo al macroelemento 12, che consiste nella flessione verticale di una porzione in quota della parete, attraverso la formazione di una cerniera cilindrica orizzontale che divide la parete in due blocchi distinti.

Il procedimento di verifica si svolge in maniera analoga ai precedenti, quindi vengono riportati i risultati.

Le verifiche si svolgono mediante l'applicazione del principio dei lavori virtuali.

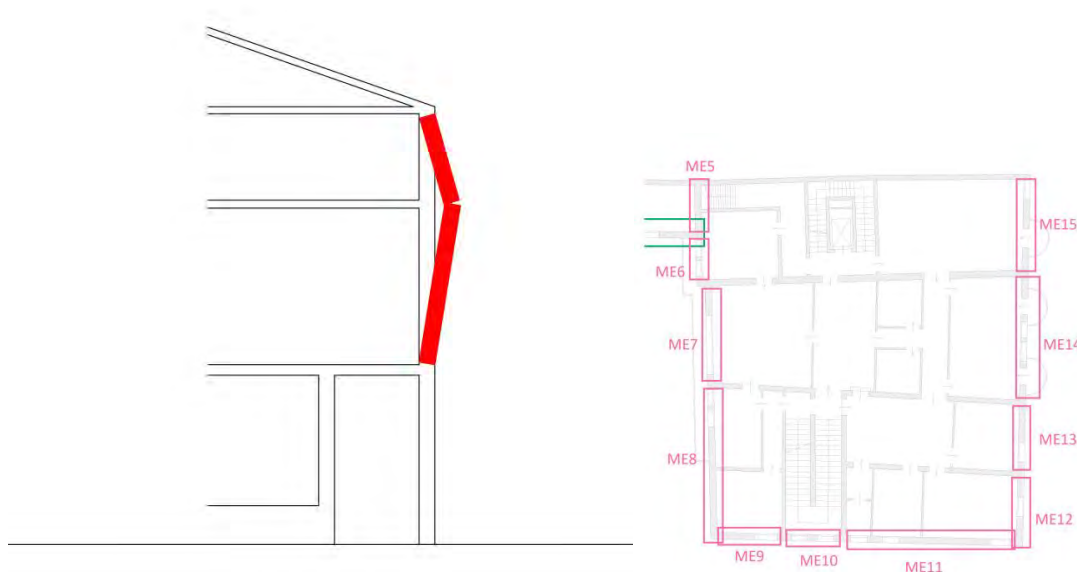


Figura 5.45 Rappresentazione del meccanismo di ribaltamento e riferimento planimetrico

Successivamente si procede al calcolo degli spostamenti orizzontali  $\delta_{x,i}$ , della massa partecipante  $M^*$ , della frazione di massa partecipante  $e^*$  e dell'accelerazione sismica spettrale  $a_0^*$ .

Si svolge la verifica lineare allo SLV, ed essendo questa soddisfatta non è necessario procedere oltre.

DATI GEOMETRICI		DATI MATERIALE				CARICHI	
n [piani]	3	$\gamma$ [kN/m <sup>3</sup> ]	18,00	G1 [kN/m <sup>2</sup> ]	0,00	P1 [kN]	0,00
H [m]	14,35	f <sub>m</sub> [Mpa]	240,00	G2 [kN/m <sup>2</sup> ]	0,00	P2 [kN]	0,00
z [m]	5,80	$\tau_0$ [Mpa]	6,00	G3 [kN/m <sup>2</sup> ]	3,88	P3 [kN]	138,39
htot [m]	8,55	g [m/s <sup>2</sup> ]	9,81	G4 [kN/m <sup>2</sup> ]	3,40	P4 [kN]	84,27
h1 [m]	0,00	FC	1,35	Gcop [kN/m <sup>2</sup> ]	2,16	N1 [kN]	0,00
h2 [m]	0,00	f <sub>md</sub> [Mpa]	0,89	Q1 [kN/m <sup>2</sup> ]	0,00	N2 [kN]	0,00
h3 [m]	5,50	f <sub>vd</sub> [Mpa]	0,02	Q2 [kN/m <sup>2</sup> ]	0,00	N3 [kN]	91,03
h4 [m]	3,05	ag [m/s <sup>2</sup> ]	0,99	Q3 [kN/m <sup>2</sup> ]	2,00	N4 [kN]	114,32
b1 [m]	0,00	F0	2,60	Q4 [kN/m <sup>2</sup> ]	0,50		
b2 [m]	0,00	TC* [s]	0,34	Qneve [kN/m]	1,00		
b3 [m]	0,45	$\eta$	1,00	$\psi_1$	0,00	t [m]	0,08
b4 [m]	0,45	S	1,50	$\psi_2$	0,00	$\alpha$	0,21
d1 [m]	0,00	Cc	1,50	$\psi_3$	0,30	$\vartheta$	0,12
d2 [m]	0,00	Tc [s]	0,51	$\psi_4$	0,00		
d3 [m]	0,30	TB [s]	0,17	$\psi_{neve}$	0,00		
d4 [m]	0,30	TD [s]	2,00				
l [m]	3,87	C1	0,05	SPOSTAMENTI VIRTUA		CURVA DI CAPACITÀ	
A <sub>so</sub> [m <sup>2</sup> ]	20,32	q	2,00	$\delta N1x$	0,00	M* [kN]	26,01
A <sub>cop</sub> [m <sup>2</sup> ]	20,94	TE [s]	6,00	$\delta N2x$	0,00	e*	0,60
A1 <sub>apert</sub> [m <sup>2</sup> ]	0,00	TF [s]	10,00	$\delta N3x$	5,50	a0* [m/s <sup>2</sup> ]	2,57
A2 <sub>apert</sub> [m <sup>2</sup> ]	0,00			$\delta N4x$	0,00	$\phi$	1,80
A3 <sub>apert</sub> [m <sup>2</sup> ]	4,20			$\delta P1x$	0,00	$\Theta$	1,00
A4 <sub>apert</sub> [m <sup>2</sup> ]	1,40			$\delta P2x$	0,00		
				$\delta P3x$	2,75		
				$\delta P4x$	1,53		
				$\delta N1y$	0,00		
				$\delta N2y$	0,00		
				$\delta N3y$	0,30		
				$\delta N4y$	0,72		
				$\delta P1y$	0,00		
				$\delta P2y$	0,00		
				$\delta P3y$	0,23		
				$\delta P4y$	0,86		

VERIFICA SLV LINEARE			
T1 [s]	0,37	a1 [m/s <sup>2</sup> ]	0,74
$\Psi(z)$	0,40	a2 [m/s <sup>2</sup> ]	1,00
$\gamma$	1,29	a0* [m/s <sup>2</sup> ]	2,57
Se(T1) [m/s <sup>2</sup> ]	3,86	a0* > max(a1;a2)	VERIFICATA

Tabella 5.75 Tabella di calcolo del cinematismo e relative verifiche

### Macroelemento 13 - Cinematismo 1

Di seguito viene presentato il meccanismo parziale relativo al macroelemento 13, che consiste nel ribaltamento semplice delle pareti relative ai piani primo e secondo, attraverso una rotazione attorno alla cerniera cilindrica posta alla base della parete del piano primo.

Il procedimento di verifica si svolge in maniera analoga ai precedenti, quindi vengono riportati i risultati.

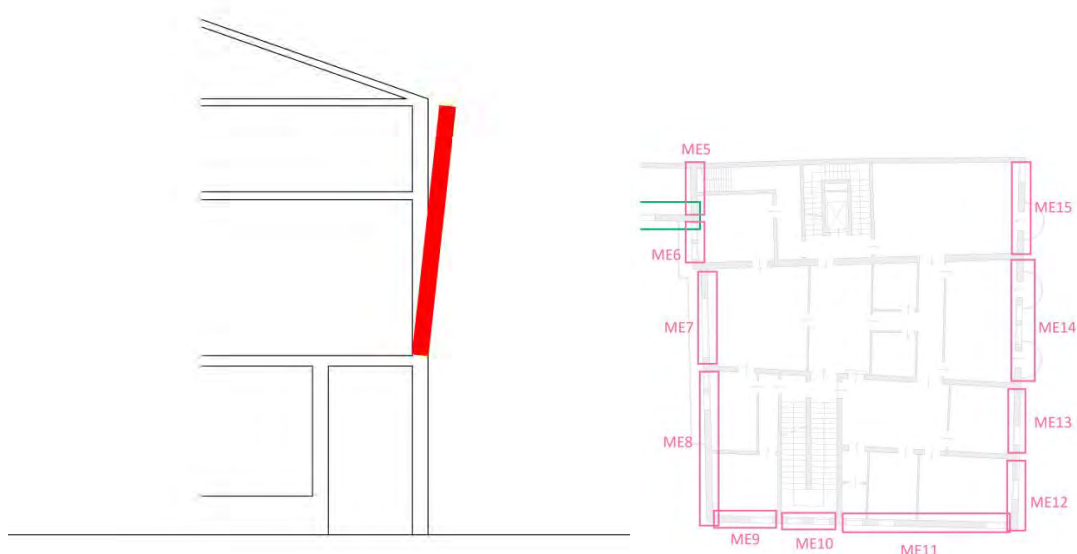


Figura 5.46 Rappresentazione del meccanismo di ribaltamento e riferimento planimetrico

Come prima si procede al calcolo degli spostamenti orizzontali  $\delta_{x,i}$ , della massa partecipante  $M^*$ , della frazione di massa partecipante  $e^*$  e dell'accelerazione sismica spettrale  $a_0^*$ .

Si svolge la verifica lineare allo SLV, ed essendo questa non soddisfatta, si procede mediante verifica non lineare allo SLV, che risulta anch'essa non soddisfatta, quindi si calcolano i tiranti.

DATI GEOMETRICI		DATI MATERIALE		CARICHI			
n [piani]	3,00	$\gamma$ [kN/m <sup>3</sup> ]	18,00	G1 [kN/m <sup>2</sup> ]	0,00	P1 [kN]	0,00
H [m]	14,35	f <sub>m</sub> [Mpa]	240,00	G2 [kN/m <sup>2</sup> ]	0,00	P2 [kN]	0,00
z [m]	5,80	t <sub>0</sub> [Mpa]	6,00	G3 [kN/m <sup>2</sup> ]	3,88	P3 [kN]	138,02
htot [m]	8,55	g [m/s <sup>2</sup> ]	9,81	G4 [kN/m <sup>2</sup> ]	3,40	P4 [kN]	89,46
h1 [m]	0,00	FC	1,35	Gcop [kN/m <sup>2</sup> ]	2,16	N1 [kN]	0,00
h2 [m]	0,00	f <sub>md</sub> [Mpa]	0,89	Q1 [kN/m <sup>2</sup> ]	0,00	N2 [kN]	0,00
h3 [m]	5,50	f <sub>vd</sub> [Mpa]	0,02	Q2 [kN/m <sup>2</sup> ]	0,00	N3 [kN]	95,96
h4 [m]	3,05	ag [m/s <sup>2</sup> ]	0,99	Q3 [kN/m <sup>2</sup> ]	2,00	N4 [kN]	120,50
b1 [m]	0,00	F0	2,60	Q4 [kN/m <sup>2</sup> ]	0,50		
b2 [m]	0,00	TC* [s]	0,34	Qneve [kN/m <sup>2</sup> ]	1,00		
b3 [m]	0,45	$\eta$	1,00	$\psi_1$	0,00	t [m]	0,08
b4 [m]	0,45	S	1,50	$\psi_2$	0,00	$\alpha$	0,03
d1 [m]	0,00	Cc	1,50	$\psi_3$	0,30	Ms [kNm]	79,94
d2 [m]	0,00	Tc [s]	0,51	$\psi_4$	0,00	MR [kNm]	2566,05
d3 [m]	0,30	TB [s]	0,17	$\psi_{neve}$	0,00	$\vartheta$	0,12
d4 [m]	0,30	TD [s]	2,00				
l [m]	4,08	C1	0,05	SPOSTAMENTI VIRTUALI		CURVA DI CAPACITÀ	
Asolaio [m <sup>2</sup> ]	21,42	q	2,00	$\delta_{N1}$	0,00	M* [kN]	39,09
Acop [m <sup>2</sup> ]	22,07	TE [s]	6,00	$\delta_{N2}$	0,00	e*	0,86
A1apert [m <sup>2</sup> ]	0,00	TF [s]	10,00	$\delta_{N3}$	0,64	a0* [m/s <sup>2</sup> ]	0,26
A2apert [m <sup>2</sup> ]	0,00			$\delta_{N4}$	1,00		
A3apert [m <sup>2</sup> ]	5,40			$\delta_{P1}$	0,00		
A4apert [m <sup>2</sup> ]	1,40			$\delta_{P2}$	0,00		
				$\delta_{P3}$	0,32		
				$\delta_{P4}$	0,82		

VERIFICA SLV LINEARE			
T1 [s]	0,37	a1 [m/s <sup>2</sup> ]	0,74
$\Psi(z)$	0,40	a2 [m/s <sup>2</sup> ]	1,00
$\gamma$	1,29	a0* [m/s <sup>2</sup> ]	0,26
Se(T1) [m/s <sup>2</sup> ]	3,86	a0* > max(a1;a2)	NON VERIFICATA

VERIFICA SLV NON LINEARE					
RP1 [m]	0,08	$\beta_{P1}$ [rad]	0,00	Ms	0,0000
RP2 [m]	0,08	$\beta_{P2}$ [rad]	0,00	$\theta$ [rad]	0,031142
RP3 [m]	2,75	$\beta_{P3}$ [rad]	1,52	hbar [m]	5,78
RP4 [m]	7,03	$\beta_{P4}$ [rad]	1,55	dk0 [m]	0,18
RN1 [m]	0,08	$\beta_{N1}$ [rad]	0,00	$\delta_{xhbar}$	0,68
RN2 [m]	0,08	$\beta_{N2}$ [rad]	0,00	d0* [m]	0,21
RN3 [m]	5,50	$\beta_{N3}$ [rad]	1,53	du* [m]	0,08
RN4 [m]	8,55	$\beta_{N4}$ [rad]	1,55	ds* [m]	0,03
				as* [m/s <sup>2</sup> ]	0,22
				Ts* [s]	2,45
SDe1 [m/s <sup>2</sup> ]	0,10			SDe(Ts) [m/s <sup>2</sup> ]	0,10
SDe2 [m/s <sup>2</sup> ]	0,05			SDe(T1) [m/s <sup>2</sup> ]	0,01
du* [m]	0,08			Se(TS) [m/s <sup>2</sup> ]	0,66
du* > max(SDe1;SDe2)		NON VERIFICATA			

Tabella 5.76 Tabella di calcolo del cinematismo e relative verifiche



<b>TIRANTI</b>			
<b>a0*</b> [m/s <sup>2</sup> ]	1,00	<b>T4</b> [kN]	24,78
<b>α0</b> [m/s <sup>2</sup> ]	0,12	<b>T3</b> [kN]	15,94
<b>Tmin</b> [kN]	24,78	<b>T2</b> [kN]	0,00
		<b>T1</b> [kN]	0,00

<b>VERIFICA TIRANTI</b>	
<b>ROTTURA BARRA</b>	
<b>T'</b> [kN]	61,04

<b>PUNZONAMENTO MURATURA</b>	
<b>T''</b> [kN]	27,00

<b>SCHIACCIAMENTO MURO</b>	
<b>T'''</b> [kN]	80,1

<b>T4</b>	VERIFICATO
<b>T3</b>	VERIFICATO
<b>T2</b>	VERIFICATO
<b>T1</b>	VERIFICATO

Si dispone un tirante per piano

Tabella 5.77 Tabella di calcolo dei tiranti

**Macroelemento 13 – Cinematismo 2**

Di seguito viene presentato il meccanismo parziale relativo al macroelemento 13, che consiste nel ribaltamento semplice delle pareti relative al piano secondo, attraverso una rotazione attorno alla cerniera cilindrica posta alla base della parete del piano secondo. Il procedimento di verifica si svolge in maniera analoga ai precedenti, quindi vengono riportati i risultati.

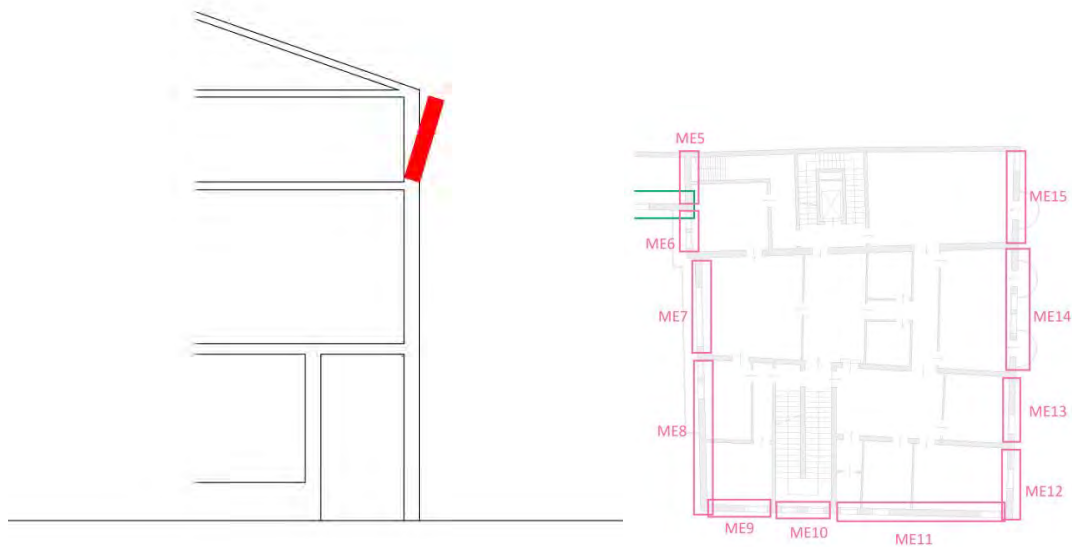


Figura 5.47 Rappresentazione del meccanismo di ribaltamento e riferimento planimetrico

Successivamente si procede al calcolo degli spostamenti orizzontali  $\delta_{x,i}$ , della massa partecipante  $M^*$ , della frazione di massa partecipante  $e^*$  e dell'accelerazione sismica spettrale  $a_0^*$ .

Si svolge la verifica lineare allo SLV, ed essendo questa non soddisfatta, si procede mediante verifica non lineare allo SLV, ed essendo questa soddisfatta non è necessario procedere oltre.

DATI GEOMETRICI		DATI MATERIALE		CARICHI			
n [piani]	3,00	$\gamma$ [kN/m <sup>3</sup> ]	18,00	G1 [kN/m <sup>2</sup> ]	0,00	P1 [kN]	0,00
H [m]	14,35	f <sub>m</sub> [Mpa]	240,00	G2 [kN/m <sup>2</sup> ]	0,00	P2 [kN]	0,00
z [m]	11,30	$\tau_0$ [Mpa]	6,00	G3 [kN/m <sup>2</sup> ]	0,00	P3 [kN]	0,00
htot [m]	3,05	g [m/s <sup>2</sup> ]	9,81	G4 [kN/m <sup>2</sup> ]	3,40	P4 [kN]	89,46
h1 [m]	0,00	FC	1,35	Gcop [kN/m <sup>2</sup> ]	2,16	N1 [kN]	0,00
h2 [m]	0,00	f <sub>md</sub> [Mpa]	0,89	Q1 [kN/m <sup>2</sup> ]	0,00	N2 [kN]	0,00
h3 [m]	0,00	f <sub>vd</sub> [Mpa]	0,02	Q2 [kN/m <sup>2</sup> ]	0,00	N3 [kN]	0,00
h4 [m]	3,05	ag [m/s <sup>2</sup> ]	0,99	Q3 [kN/m <sup>2</sup> ]	0,00	N4 [kN]	120,50
b1 [m]	0,00	F0	2,60	Q4 [kN/m <sup>2</sup> ]	0,50		
b2 [m]	0,00	TC* [s]	0,34	Qneve [kN/m <sup>2</sup> ]	1,00		
b3 [m]	0,00	$\eta$	1,00	$\psi_1$	0,00	t [m]	0,04
b4 [m]	0,45	S	1,50	$\psi_2$	0,00	$\alpha$	0,10
d1 [m]	0,00	Cc	1,50	$\psi_3$	0,00	Ms [kNm]	48,18
d2 [m]	0,00	Tc [s]	0,51	$\psi_4$	0,00	MR [kNm]	503,94
d3 [m]	0,00	TB [s]	0,17	$\psi_{neve}$	0,00	$\vartheta$	0,33
d4 [m]	0,30	TD [s]	2,00				
l [m]	4,08	C1	0,05	SPOSTAMENTI VIRTUALI		CURVA DI CAPACITÀ	
Asolaio [m <sup>2</sup> ]	21,42	q	2,00	$\delta N1$	0,00	M* [kN]	19,48
Acop [m <sup>2</sup> ]	22,07	TE [s]	6,00	$\delta N2$	0,00	e*	0,91
A1apert [m <sup>2</sup> ]	0,00	TF [s]	10,00	$\delta N3$	0,00	a0* [m/s <sup>2</sup> ]	0,76
A2apert [m <sup>2</sup> ]	0,00			$\delta N4$	1,00		
A3apert [m <sup>2</sup> ]	0,00			$\delta P1$	0,00		
A4apert [m <sup>2</sup> ]	1,40			$\delta P2$	0,00		
				$\delta P3$	0,00		
				$\delta P4$	0,50		

VERIFICA SLV LINEARE			
T1 [s]	0,37	a1 [m/s <sup>2</sup> ]	0,74
$\Psi(z)$	0,79	a2 [m/s <sup>2</sup> ]	1,95
$\gamma$	1,29	a0* [m/s <sup>2</sup> ]	0,76
Se(T1) [m/s <sup>2</sup> ]	3,86	a0* > max(a1;a2)	NON VERIFICATA

VERIFICA SLV NON LINEARE					
RP1 [m]	0,04	$\beta P1$ [rad]	0,00	Ms	0,0000
RP2 [m]	0,04	$\beta P2$ [rad]	0,00	$\theta$ [rad]	0,095325
RP3 [m]	0,04	$\beta P3$ [rad]	0,00	hbar [m]	2,40
RP4 [m]	1,54	$\beta P4$ [rad]	1,45	dk0 [m]	0,23
RN1 [m]	0,04	$\beta N1$ [rad]	0,00	$\delta x hbar$	0,79
RN2 [m]	0,04	$\beta N2$ [rad]	0,00	d0* [m]	0,25
RN3 [m]	0,04	$\beta N3$ [rad]	0,00	du* [m]	0,10
RN4 [m]	3,06	$\beta N4$ [rad]	1,49	ds* [m]	0,04
				as* [m/s <sup>2</sup> ]	0,64
				Ts* [s]	1,57
SDe1 [m/s <sup>2</sup> ]	0,10			SDe(Ts) [m/s <sup>2</sup> ]	0,10
SDe2 [m/s <sup>2</sup> ]	0,07			SDe(T1) [m/s <sup>2</sup> ]	0,01
du* [m]	0,10			Se(TS) [m/s <sup>2</sup> ]	1,59
du* > max(SDe1;SDe2)		VERIFICATA			

Tabella 5.78 Tabella di calcolo del cinematismo e relative verifiche

**Macroelemento 13 – Cinematismo 3**

Di seguito viene presentato il meccanismo relativo al macroelemento 13, che consiste nella flessione verticale di una porzione in quota della parete, attraverso la formazione di una cerniera cilindrica orizzontale che divide la parete in due blocchi distinti.

Il procedimento di verifica si svolge in maniera analoga ai precedenti, quindi vengono riportati i risultati.

Le verifiche si svolgono mediante l'applicazione del principio dei lavori virtuali.

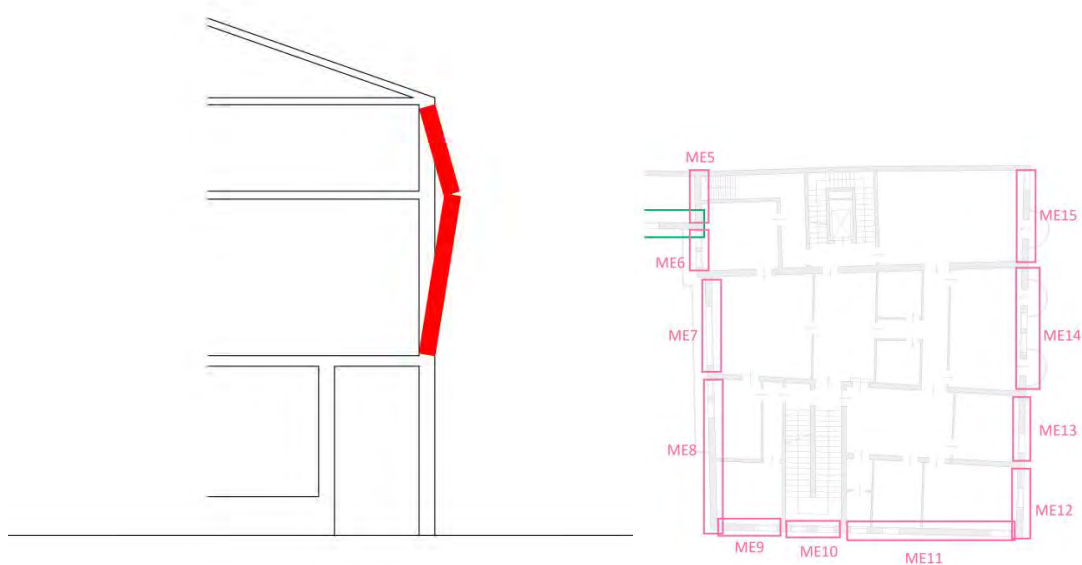


Figura 5.48 Rappresentazione del meccanismo di ribaltamento e riferimento planimetrico

Successivamente si procede al calcolo degli spostamenti orizzontali  $\delta_{x,i}$ , della massa partecipante  $M^*$ , della frazione di massa partecipante  $e^*$  e dell'accelerazione sismica spettrale  $a_0^*$ .

Si svolge la verifica lineare allo SLV, ed essendo questa soddisfatta non è necessario procedere oltre.

DATI GEOMETRICI		DATI MATERIALE				CARICHI	
n [piani]	3	$\gamma$ [kN/m <sup>3</sup> ]	18,00	G1 [kN/m <sup>2</sup> ]	0,00	P1 [kN]	0,00
H [m]	14,35	f <sub>m</sub> [Mpa]	240,00	G2 [kN/m <sup>2</sup> ]	0,00	P2 [kN]	0,00
z [m]	5,80	$\tau_0$ [Mpa]	6,00	G3 [kN/m <sup>2</sup> ]	3,88	P3 [kN]	138,02
htot [m]	8,55	g [m/s <sup>2</sup> ]	9,81	G4 [kN/m <sup>2</sup> ]	3,40	P4 [kN]	89,46
h1 [m]	0,00	FC	1,35	Gcop [kN/m <sup>2</sup> ]	2,16	N1 [kN]	0,00
h2 [m]	0,00	f <sub>md</sub> [Mpa]	0,89	Q1 [kN/m <sup>2</sup> ]	0,00	N2 [kN]	0,00
h3 [m]	5,50	f <sub>vd</sub> [Mpa]	0,02	Q2 [kN/m <sup>2</sup> ]	0,00	N3 [kN]	95,96
h4 [m]	3,05	ag [m/s <sup>2</sup> ]	0,99	Q3 [kN/m <sup>2</sup> ]	2,00	N4 [kN]	120,50
b1 [m]	0,00	F0	2,60	Q4 [kN/m <sup>2</sup> ]	0,50		
b2 [m]	0,00	TC* [s]	0,34	Qneve [kN/m]	1,00		
b3 [m]	0,45	$\eta$	1,00	$\psi_1$	0,00	t [m]	0,08
b4 [m]	0,45	S	1,50	$\psi_2$	0,00	$\alpha$	0,21
d1 [m]	0,00	Cc	1,50	$\psi_3$	0,30	$\theta$	0,12
d2 [m]	0,00	Tc [s]	0,51	$\psi_4$	0,00		
d3 [m]	0,30	TB [s]	0,17	$\psi_{neve}$	0,00		
d4 [m]	0,30	TD [s]	2,00				
l [m]	4,08	C1	0,05	SPOSTAMENTI VIRTUA		CURVA DI CAPACITÀ	
Asoalio [m <sup>2</sup> ]	21,42	q	2,00	$\delta N1x$	0,00	M* [kN]	26,73
Acop [m <sup>2</sup> ]	22,07	TE [s]	6,00	$\delta N2x$	0,00	e*	0,59
A1apert [m <sup>2</sup> ]	0,00	TF [s]	10,00	$\delta N3x$	5,50	a0* [m/s <sup>2</sup> ]	2,63
A2apert [m <sup>2</sup> ]	0,00			$\delta N4x$	0,00	$\phi$	1,80
A3apert [m <sup>2</sup> ]	5,40			$\delta P1x$	0,00	$\Theta$	1,00
A4apert [m <sup>2</sup> ]	1,40			$\delta P2x$	0,00		
				$\delta P3x$	2,75		
				$\delta P4x$	1,53		
				$\delta N1y$	0,00		
				$\delta N2y$	0,00		
				$\delta N3y$	0,30		
				$\delta N4y$	0,72		
				$\delta P1y$	0,00		
				$\delta P2y$	0,00		
				$\delta P3y$	0,23		
				$\delta P4y$	0,86		

VERIFICA SLV LINEARE			
T1 [s]	0,37	a1 [m/s <sup>2</sup> ]	0,74
$\Psi(z)$	0,40	a2 [m/s <sup>2</sup> ]	1,00
$\gamma$	1,29	a0* [m/s <sup>2</sup> ]	2,63
Se(T1) [m/s <sup>2</sup> ]	3,86	a0*>max(a1;a2)	VERIFICATA

Tabella 5.79 Tabella di calcolo del cinematismo e relative verifiche

**Macroelemento 14 – Cinematismo 1**

Di seguito viene presentato il meccanismo parziale relativo al macroelemento 14, che consiste nel ribaltamento semplice delle pareti relative ai piani primo e secondo, attraverso una rotazione attorno alla cerniera cilindrica posta alla base della parete del piano primo.

Il procedimento di verifica si svolge in maniera analoga ai precedenti, quindi vengono riportati i risultati.

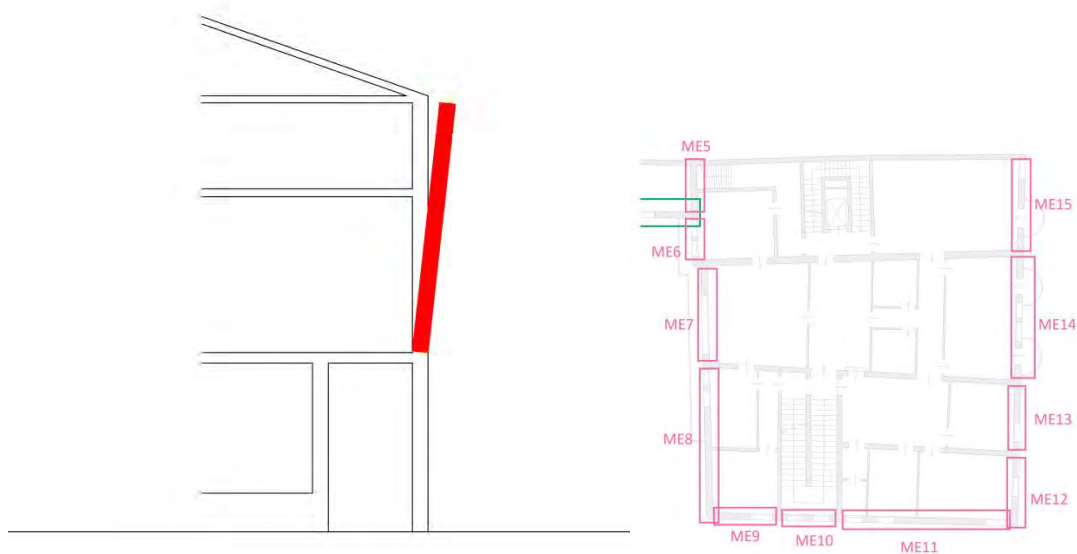


Figura 5.49 Rappresentazione del meccanismo di ribaltamento e riferimento planimetrico

Come prima si procede al calcolo degli spostamenti orizzontali  $\delta_{x,i}$ , della massa partecipante  $M^*$ , della frazione di massa partecipante  $e^*$  e dell'accelerazione sismica spettrale  $a_0^*$ .

Si svolge la verifica lineare allo SLV, ed essendo questa non soddisfatta, si procede mediante verifica non lineare allo SLV, che risulta anch'essa non soddisfatta, quindi si calcolano i tiranti.

DATI GEOMETRICI		DATI MATERIALE		CARICHI			
n [piani]	3,00	$\gamma$ [kN/m <sup>3</sup> ]	18,00	G1 [kN/m <sup>2</sup> ]	0,00	P1 [kN]	0,00
H [m]	14,35	f <sub>m</sub> [Mpa]	240,00	G2 [kN/m <sup>2</sup> ]	0,00	P2 [kN]	0,00
z [m]	5,80	$\tau_0$ [Mpa]	6,00	G3 [kN/m <sup>2</sup> ]	3,88	P3 [kN]	183,06
htot [m]	8,55	g [m/s <sup>2</sup> ]	9,81	G4 [kN/m <sup>2</sup> ]	3,40	P4 [kN]	142,40
h1 [m]	0,00	FC	1,35	Gcop [kN/m <sup>2</sup> ]	2,16	N1 [kN]	0,00
h2 [m]	0,00	f <sub>md</sub> [Mpa]	0,89	Q1 [kN/m <sup>2</sup> ]	0,00	N2 [kN]	0,00
h3 [m]	5,50	f <sub>vd</sub> [Mpa]	0,02	Q2 [kN/m <sup>2</sup> ]	0,00	N3 [kN]	138,59
h4 [m]	3,05	ag [m/s <sup>2</sup> ]	0,99	Q3 [kN/m <sup>2</sup> ]	0,00	N4 [kN]	200,96
b1 [m]	0,00	F0	2,60	Q4 [kN/m <sup>2</sup> ]	0,50		
b2 [m]	0,00	TC* [s]	0,34	Qneve [kN/m <sup>2</sup> ]	1,00		
b3 [m]	0,45	$\eta$	1,00	$\psi_1$	0,00	t [m]	0,07
b4 [m]	0,45	S	1,50	$\psi_2$	0,00	$\alpha$	0,03
d1 [m]	0,00	Cc	1,50	$\psi_3$	0,30	Ms [kNm]	131,51
d2 [m]	0,00	Tc [s]	0,51	$\psi_4$	0,00	MR [kNm]	3984,21
d3 [m]	0,30	TB [s]	0,17	$\psi_{neve}$	0,00	$\vartheta$	0,12
d4 [m]	0,30	TD [s]	2,00				
l [m]	7,60	C1	0,05	SPOSTAMENTI VIRTUALI		CURVA DI CAPACITÀ	
Asolaio [m <sup>2</sup> ]	35,72	q	2,00	$\delta_{N1}$	0,00	M* [kN]	59,28
Acop [m <sup>2</sup> ]	36,81	TE [s]	6,00	$\delta_{N2}$	0,00	e*	0,87
A1apert [m <sup>2</sup> ]	0,00	TF [s]	10,00	$\delta_{N3}$	0,64	a0* [m/s <sup>2</sup> ]	0,27
A2apert [m <sup>2</sup> ]	0,00			$\delta_{N4}$	1,00		
A3apert [m <sup>2</sup> ]	19,20			$\delta_{P1}$	0,00		
A4apert [m <sup>2</sup> ]	5,60			$\delta_{P2}$	0,00		
				$\delta_{P3}$	0,32		
				$\delta_{P4}$	0,82		

VERIFICA SLV LINEARE			
T1 [s]	0,37	a1 [m/s <sup>2</sup> ]	0,74
$\Psi(z)$	0,40	a2 [m/s <sup>2</sup> ]	1,00
$\gamma$	1,29	a0* [m/s <sup>2</sup> ]	0,27
Se(T1) [m/s <sup>2</sup> ]	3,86	a0* > max(a1;a2)	NON VERIFICATA

VERIFICA SLV NON LINEARE					
RP1 [m]	0,07	$\beta_{P1}$ [rad]	0,00	Ms	0,0000
RP2 [m]	0,07	$\beta_{P2}$ [rad]	0,00	$\theta$ [rad]	0,032995
RP3 [m]	2,75	$\beta_{P3}$ [rad]	1,51	hbar [m]	5,99
RP4 [m]	7,03	$\beta_{P4}$ [rad]	1,55	dk0 [m]	0,20
RN1 [m]	0,07	$\beta_{N1}$ [rad]	0,00	$\delta_{xhbar}$	0,70
RN2 [m]	0,07	$\beta_{N2}$ [rad]	0,00	d0* [m]	0,23
RN3 [m]	5,50	$\beta_{N3}$ [rad]	1,53	du* [m]	0,09
RN4 [m]	8,55	$\beta_{N4}$ [rad]	1,54	ds* [m]	0,04
				as* [m/s <sup>2</sup> ]	0,23
				Ts* [s]	2,49
SDe1 [m/s <sup>2</sup> ]	0,10			SDe(Ts) [m/s <sup>2</sup> ]	0,10
SDe2 [m/s <sup>2</sup> ]	0,05			SDe(T1) [m/s <sup>2</sup> ]	0,01
du* [m]	0,09			Se(TS) [m/s <sup>2</sup> ]	0,64
du* > max(SDe1;SDe2)		NON VERIFICATA			

Tabella 5.80 Tabella di calcolo del cinematismo e relative verifiche

<b>TIRANTI</b>			
<b>a0*</b> [m/s <sup>2</sup> ]	1,00	<b>T4</b> [kN]	37,53
<b>α0</b> [m/s <sup>2</sup> ]	0,12	<b>T3</b> [kN]	24,14
<b>Tmin</b> [kN]	37,53	<b>T2</b> [kN]	0,00
		<b>T1</b> [kN]	0,00

<b>VERIFICA TIRANTI</b>	
<b>ROTTURA BARRA</b>	
<b>T'</b> [kN]	61,04

<b>PUNZONAMENTO MURATURA</b>	
<b>T''</b> [kN]	27,00

<b>SCHIACCIAMENTO MURO</b>	
<b>T'''</b> [kN]	80,1

<b>T4</b>	NON VERIFICATO
<b>T3</b>	VERIFICATO
<b>T2</b>	VERIFICATO
<b>T1</b>	VERIFICATO

Si dispongono due tiranti per piano

Tabella 5.81 Tabella di calcolo dei tiranti



### Macroelemento 14 – Cinematismo 2

Di seguito viene presentato il meccanismo parziale relativo al macroelemento 14, che consiste nel ribaltamento semplice delle pareti relative al piano secondo, attraverso una rotazione attorno alla cerniera cilindrica posta alla base della parete del piano secondo. Il procedimento di verifica si svolge in maniera analoga ai precedenti, quindi vengono riportati i risultati.

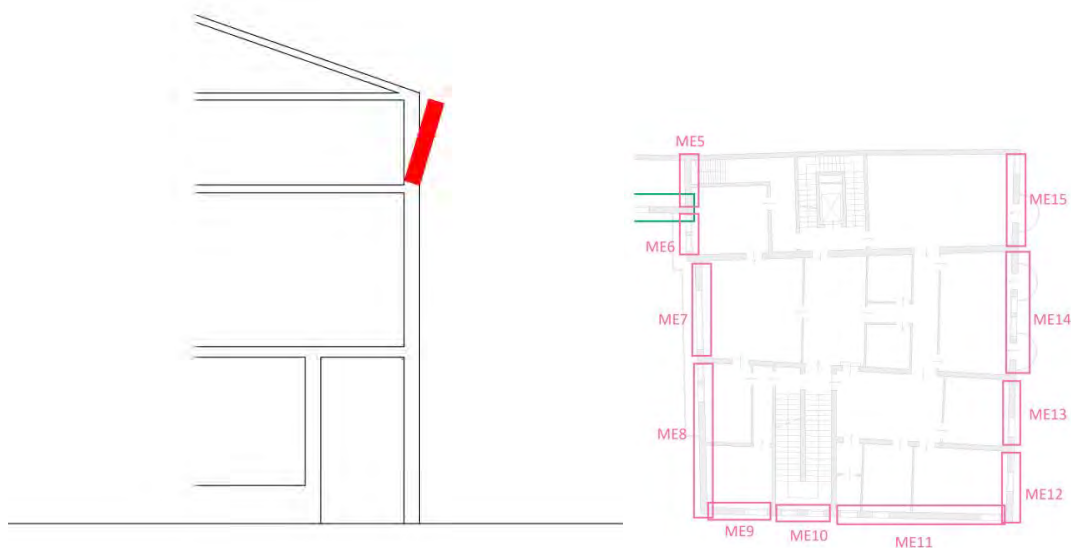


Figura 5.50 Rappresentazione del meccanismo di ribaltamento e riferimento planimetrico

Successivamente si procede al calcolo degli spostamenti orizzontali  $\delta_{x,i}$ , della massa partecipante  $M^*$ , della frazione di massa partecipante  $e^*$  e dell'accelerazione sismica spettrale  $a_0^*$ .

Si svolge la verifica lineare allo SLV, ed essendo questa non soddisfatta, si procede mediante verifica non lineare allo SLV, ed essendo questa soddisfatta non è necessario procedere oltre.

DATI GEOMETRICI		DATI MATERIALE		CARICHI			
n [piani]	3,00	$\gamma$ [kN/m <sup>3</sup> ]	18,00	G1 [kN/m <sup>2</sup> ]	0,00	P1 [kN]	0,00
H [m]	14,35	f <sub>m</sub> [Mpa]	240,00	G2 [kN/m <sup>2</sup> ]	0,00	P2 [kN]	0,00
z [m]	11,30	$\tau_0$ [Mpa]	6,00	G3 [kN/m <sup>2</sup> ]	0,00	P3 [kN]	0,00
htot [m]	3,05	g [m/s <sup>2</sup> ]	9,81	G4 [kN/m <sup>2</sup> ]	3,40	P4 [kN]	142,40
h1 [m]	0,00	FC	1,35	Gcop [kN/m <sup>2</sup> ]	2,16	N1 [kN]	0,00
h2 [m]	0,00	f <sub>md</sub> [Mpa]	0,89	Q1 [kN/m <sup>2</sup> ]	0,00	N2 [kN]	0,00
h3 [m]	0,00	f <sub>vd</sub> [Mpa]	0,02	Q2 [kN/m <sup>2</sup> ]	0,00	N3 [kN]	0,00
h4 [m]	3,05	ag [m/s <sup>2</sup> ]	0,99	Q3 [kN/m <sup>2</sup> ]	0,00	N4 [kN]	200,96
b1 [m]	0,00	F0	2,60	Q4 [kN/m <sup>2</sup> ]	0,50		
b2 [m]	0,00	TC* [s]	0,34	Qneve [kN/m <sup>2</sup> ]	1,00		
b3 [m]	0,00	$\eta$	1,00	$\psi_1$	0,00	t [m]	0,03
b4 [m]	0,45	S	1,50	$\psi_2$	0,00	$\alpha$	0,10
d1 [m]	0,00	Cc	1,50	$\psi_3$	0,00	Ms [kNm]	80,71
d2 [m]	0,00	Tc [s]	0,51	$\psi_4$	0,00	MR [kNm]	830,08
d3 [m]	0,00	TB [s]	0,17	$\psi_{neve}$	0,00	$\hat{\sigma}$	0,33
d4 [m]	0,30	TD [s]	2,00				
l [m]	7,60	C1	0,05	SPOSTAMENTI VIRTUALI		CURVA DI CAPACITÀ	
Asolaio [m <sup>2</sup> ]	35,72	q	2,00	$\delta N1$	0,00	M* [kN]	31,92
Acop [m <sup>2</sup> ]	36,81	TE [s]	6,00	$\delta N2$	0,00	e*	0,91
A1apert [m <sup>2</sup> ]	0,00	TF [s]	10,00	$\delta N3$	0,00	a0* [m/s <sup>2</sup> ]	0,77
A2apert [m <sup>2</sup> ]	0,00			$\delta N4$	1,00		
A3apert [m <sup>2</sup> ]	0,00			$\delta P1$	0,00		
A4apert [m <sup>2</sup> ]	5,60			$\delta P2$	0,00		
				$\delta P3$	0,00		
				$\delta P4$	0,50		

VERIFICA SLV LINEARE			
T1 [s]	0,37	a1 [m/s <sup>2</sup> ]	0,74
$\Psi(z)$	0,79	a2 [m/s <sup>2</sup> ]	1,95
$\gamma$	1,29	a0* [m/s <sup>2</sup> ]	0,77
Se(T1) [m/s <sup>2</sup> ]	3,86	a0* > max(a1;a2)	NON VERIFICATA

VERIFICA SLV NON LINEARE					
RP1 [m]	0,03	$\beta P1$ [rad]	0,00	Ms	0,0000
RP2 [m]	0,03	$\beta P2$ [rad]	0,00	$\theta$ [rad]	0,096924
RP3 [m]	0,03	$\beta P3$ [rad]	0,00	hbar [m]	2,42
RP4 [m]	1,54	$\beta P4$ [rad]	1,45	dk0 [m]	0,23
RN1 [m]	0,03	$\beta N1$ [rad]	0,00	$\delta x hbar$	0,79
RN2 [m]	0,03	$\beta N2$ [rad]	0,00	d0* [m]	0,26
RN3 [m]	0,03	$\beta N3$ [rad]	0,00	du* [m]	0,10
RN4 [m]	3,06	$\beta N4$ [rad]	1,48	ds* [m]	0,04
				as* [m/s <sup>2</sup> ]	0,65
				Ts* [s]	1,58
SDe1 [m/s <sup>2</sup> ]	0,10			SDe(Ts) [m/s <sup>2</sup> ]	0,10
SDe2 [m/s <sup>2</sup> ]	0,07			SDe(T1) [m/s <sup>2</sup> ]	0,01
du* [m]	0,10			Se(TS) [m/s <sup>2</sup> ]	1,58
du* > max(SDe1;SDe2)		VERIFICATA			

Tabella 5.82 Tabella di calcolo del cinematismo e relative verifiche

### Macroelemento 14 – Cinematismo 3

Di seguito viene presentato il meccanismo relativo al macroelemento 14, che consiste nella flessione verticale di una porzione in quota della parete, attraverso la formazione di una cerniera cilindrica orizzontale che divide la parete in due blocchi distinti.

Il procedimento di verifica si svolge in maniera analoga ai precedenti, quindi vengono riportati i risultati.

Le verifiche si svolgono mediante l'applicazione del principio dei lavori virtuali.

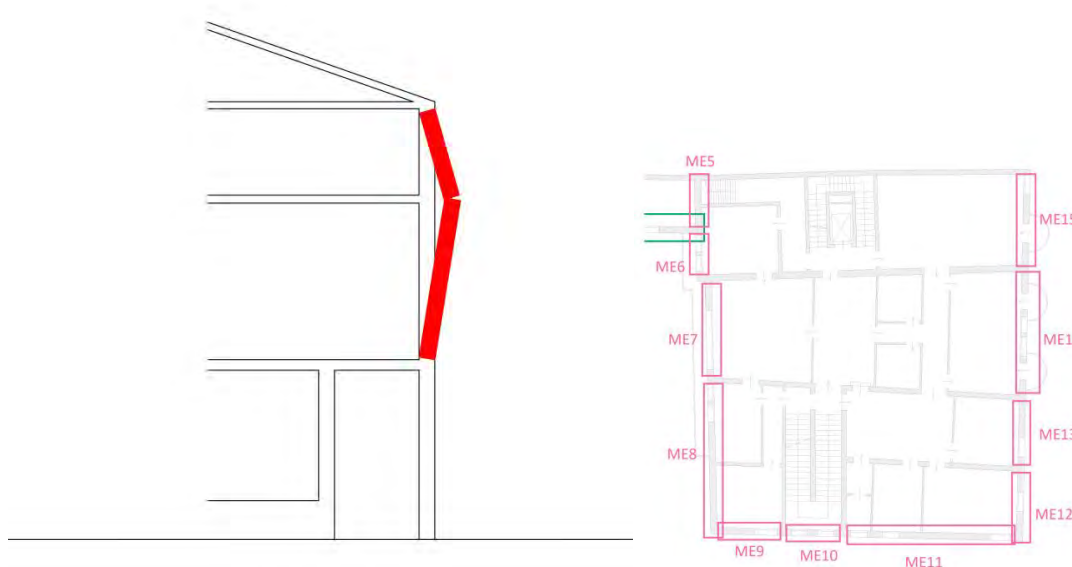


Figura 5.51 Rappresentazione del meccanismo di ribaltamento e riferimento planimetrico

Successivamente si procede al calcolo degli spostamenti orizzontali  $\delta_{x,i}$ , della massa partecipante  $M^*$ , della frazione di massa partecipante  $e^*$  e dell'accelerazione sismica spettrale  $a_0^*$ .

Si svolge la verifica lineare allo SLV, ed essendo questa soddisfatta non è necessario procedere oltre.

DATI GEOMETRICI		DATI MATERIALE				CARICHI	
n [piani]	3	$\gamma$ [kN/m <sup>3</sup> ]	18,00	G1 [kN/m <sup>2</sup> ]	0,00	P1 [kN]	0,00
H [m]	14,35	f <sub>m</sub> [Mpa]	240,00	G2 [kN/m <sup>2</sup> ]	0,00	P2 [kN]	0,00
z [m]	5,80	$\tau_0$ [Mpa]	6,00	G3 [kN/m <sup>2</sup> ]	3,88	P3 [kN]	183,06
htot [m]	8,55	g [m/s <sup>2</sup> ]	9,81	G4 [kN/m <sup>2</sup> ]	3,40	P4 [kN]	142,40
h1 [m]	0,00	FC	1,35	Gcop [kN/m <sup>2</sup> ]	2,16	N1 [kN]	0,00
h2 [m]	0,00	f <sub>md</sub> [Mpa]	0,89	Q1 [kN/m <sup>2</sup> ]	0,00	N2 [kN]	0,00
h3 [m]	5,50	f <sub>vd</sub> [Mpa]	0,02	Q2 [kN/m <sup>2</sup> ]	0,00	N3 [kN]	160,03
h4 [m]	3,05	ag [m/s <sup>2</sup> ]	0,99	Q3 [kN/m <sup>2</sup> ]	2,00	N4 [kN]	200,96
b1 [m]	0,00	F0	2,60	Q4 [kN/m <sup>2</sup> ]	0,50		
b2 [m]	0,00	TC* [s]	0,34	Qneve [kN/m]	1,00		
b3 [m]	0,45	$\eta$	1,00	$\psi_1$	0,00	t [m]	0,07
b4 [m]	0,45	S	1,50	$\psi_2$	0,00	$\alpha$	0,22
d1 [m]	0,00	Cc	1,50	$\psi_3$	0,30	$\vartheta$	0,12
d2 [m]	0,00	Tc [s]	0,51	$\psi_4$	0,00		
d3 [m]	0,30	TB [s]	0,17	$\psi_{neve}$	0,00		
d4 [m]	0,30	TD [s]	2,00				
l [m]	7,60	C1	0,05	SPOSTAMENTI VIRTUA		CURVA DI CAPACITÀ	
Aso laio [m <sup>2</sup> ]	35,72	q	2,00	$\delta N1x$	0,00	M* [kN]	39,84
Acop [m <sup>2</sup> ]	36,81	TE [s]	6,00	$\delta N2x$	0,00	e*	0,57
A1apert [m <sup>2</sup> ]	0,00	TF [s]	10,00	$\delta N3x$	5,50	a0* [m/s <sup>2</sup> ]	2,84
A2apert [m <sup>2</sup> ]	0,00			$\delta N4x$	0,00	$\phi$	1,80
A3apert [m <sup>2</sup> ]	19,20			$\delta P1x$	0,00	$\Theta$	1,00
A4apert [m <sup>2</sup> ]	5,60			$\delta P2x$	0,00		
				$\delta P3x$	2,75		
				$\delta P4x$	1,53		
				$\delta N1y$	0,00		
				$\delta N2y$	0,00		
				$\delta N3y$	0,30		
				$\delta N4y$	0,72		
				$\delta P1y$	0,00		
				$\delta P2y$	0,00		
				$\delta P3y$	0,23		
				$\delta P4y$	0,86		

VERIFICA SLV LINEARE			
T1 [s]	0,37	a1 [m/s <sup>2</sup> ]	0,74
$\Psi(z)$	0,40	a2 [m/s <sup>2</sup> ]	1,00
$\gamma$	1,29	a0* [m/s <sup>2</sup> ]	2,84
Se(T1) [m/s <sup>2</sup> ]	3,86	a0*>max(a1;a2)	VERIFICATA

Tabella 5.83 Tabella di calcolo del cinematismo e relative verifiche

### Macroelemento 15 - Cinematismo 1

Di seguito viene presentato il meccanismo parziale relativo al macroelemento 15, che consiste nel ribaltamento semplice delle pareti relative ai piani primo e secondo, attraverso una rotazione attorno alla cerniera cilindrica posta alla base della parete del piano primo.

Il procedimento di verifica si svolge in maniera analoga ai precedenti, quindi vengono riportati i risultati.

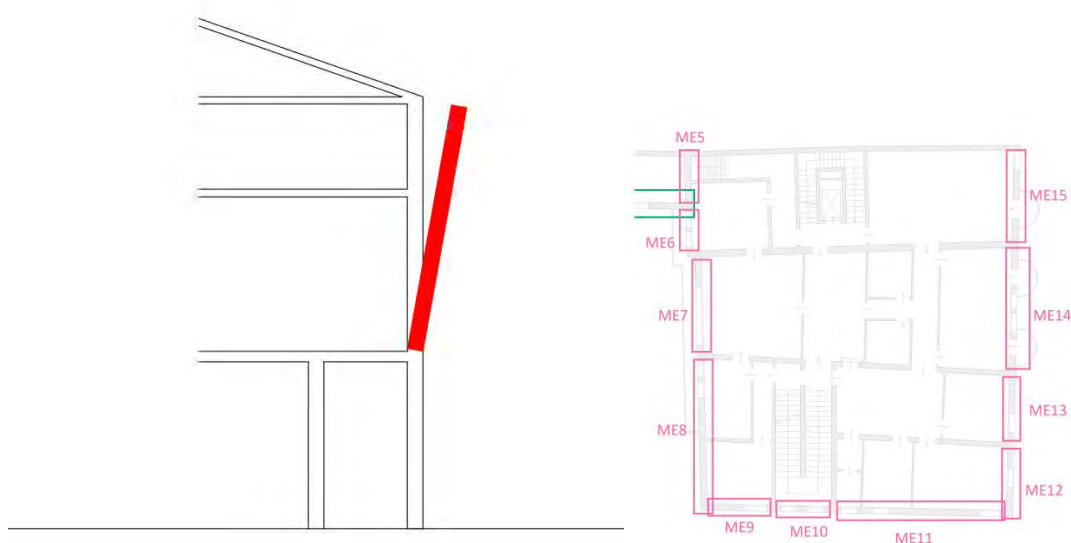


Figura 5.52 Rappresentazione del meccanismo di ribaltamento e riferimento planimetrico

Come prima si procede al calcolo degli spostamenti orizzontali  $\delta_{x,i}$ , della massa partecipante  $M^*$ , della frazione di massa partecipante  $e^*$  e dell'accelerazione sismica spettrale  $a_0^*$ .

Si svolge la verifica lineare allo SLV, ed essendo questa non soddisfatta, si procede mediante verifica non lineare allo SLV, che risulta anch'essa non soddisfatta, quindi si calcolano i tiranti.

DATI GEOMETRICI		DATI MATERIALE		CARICHI			
n [piani]	3	$\gamma$ [kN/m <sup>3</sup> ]	18,00	G1 [kN/m <sup>2</sup> ]	0,00	P1 [kN]	0,00
H [m]	11,69	f <sub>m</sub> [Mpa]	240,00	G2 [kN/m <sup>2</sup> ]	0,00	P2 [kN]	0,00
z [m]	4,80	t <sub>0</sub> [Mpa]	6,00	G3 [kN/m <sup>2</sup> ]	3,53	P3 [kN]	123,64
htot [m]	6,89	g [m/s <sup>2</sup> ]	9,81	G4 [kN/m <sup>2</sup> ]	3,40	P4 [kN]	88,45
h1 [m]	0,00	FC	1,35	Gcop [kN/m <sup>2</sup> ]	2,16	N1 [kN]	0,00
h2 [m]	0,00	f <sub>md</sub> [Mpa]	0,89	Q1 [kN/m <sup>2</sup> ]	0,00	N2 [kN]	0,00
h3 [m]	4,44	f <sub>vd</sub> [Mpa]	0,02	Q2 [kN/m <sup>2</sup> ]	0,00	N3 [kN]	104,16
h4 [m]	2,45	ag [m/s <sup>2</sup> ]	0,99	Q3 [kN/m <sup>2</sup> ]	2,00	N4 [kN]	141,91
b1 [m]	0,00	F0	2,60	Q4 [kN/m <sup>2</sup> ]	0,50		
b2 [m]	0,00	TC* [s]	0,34	Qneve [kN/m <sup>2</sup> ]	1,00		
b3 [m]	0,45	$\eta$	1,00	$\psi_1$	0,00	t [m]	0,06
b4 [m]	0,45	S	1,50	$\psi_2$	0,00	$\alpha$	0,04
d1 [m]	0,00	Cc	1,50	$\psi_3$	0,30	Ms [kNm]	93,46
d2 [m]	0,00	Tc [s]	0,51	$\psi_4$	0,00	MR [kNm]	2215,77
d3 [m]	0,30	TB [s]	0,17	$\psi_{neve}$	0,00	$\vartheta$	0,15
d4 [m]	0,30	TD [s]	2,00				
l [m]	5,60	C1	0,05	SPOSTAMENTI VIRTUALI		CURVA DI CAPACITÀ	
Asolaio [m <sup>2</sup> ]	25,22	q	2,00	$\delta N1$	0,00	M* [kN]	40,89
Acop [m <sup>2</sup> ]	26,00	TE [s]	6,00	$\delta N2$	0,00	e*	0,88
A1apert [m <sup>2</sup> ]	0,00	TF [s]	10,00	$\delta N3$	0,64	a0* [m/s <sup>2</sup> ]	0,35
A2apert [m <sup>2</sup> ]	0,00			$\delta N4$	1,00		
A3apert [m <sup>2</sup> ]	9,60			$\delta P1$	0,00		
A4apert [m <sup>2</sup> ]	2,80			$\delta P2$	0,00		
				$\delta P3$	0,32		
				$\delta P4$	0,82		

VERIFICA SLV LINEARE			
T1 [s]	0,32	a1 [m/s <sup>2</sup> ]	0,74
$\Psi(z)$	0,41	a2 [m/s <sup>2</sup> ]	1,02
$\gamma$	1,29	a0* [m/s <sup>2</sup> ]	0,35
Se(T1) [m/s <sup>2</sup> ]	3,86	a0* > max(a1;a2)	NON VERIFICATA

VERIFICA SLV NON LINEARE					
RP1 [m]	0,06	$\beta P1$ [rad]	0,00	Ms	0,0000
RP2 [m]	0,06	$\beta P2$ [rad]	0,00	$\theta$ [rad]	0,042156
RP3 [m]	2,23	$\beta P3$ [rad]	1,50	hbar [m]	4,84
RP4 [m]	5,67	$\beta P4$ [rad]	1,54	dk0 [m]	0,20
RN1 [m]	0,06	$\beta N1$ [rad]	0,00	$\delta x hbar$	0,70
RN2 [m]	0,06	$\beta N2$ [rad]	0,00	d0* [m]	0,23
RN3 [m]	4,45	$\beta N3$ [rad]	1,52	du* [m]	0,09
RN4 [m]	6,89	$\beta N4$ [rad]	1,54	ds* [m]	0,04
				as* [m/s <sup>2</sup> ]	0,29
				Ts* [s]	2,24
SDe1 [m/s <sup>2</sup> ]	0,10			SDe(Ts) [m/s <sup>2</sup> ]	0,10
SDe2 [m/s <sup>2</sup> ]	0,04			SDe(T1) [m/s <sup>2</sup> ]	0,01
du* [m]	0,09			Se(TS) [m/s <sup>2</sup> ]	0,79
du* > max(SDe1;SDe2)		NON VERIFICATA			

Tabella 5.84 Tabella di calcolo del cinematismo e relative verifiche

<b>TIRANTI</b>			
<b>a0*</b> [m/s <sup>2</sup> ]	1,02	<b>T4</b> [kN]	23,02
<b>α0</b> [m/s <sup>2</sup> ]	0,12	<b>T3</b> [kN]	14,83
<b>Tmin</b> [kN]	23,02	<b>T2</b> [kN]	0,00
		<b>T1</b> [kN]	0,00

<b>VERIFICA TIRANTI</b>	
<b>ROTTURA BARRA</b>	
<b>T'</b> [kN]	61,04

<b>PUNZONAMENTO MURATURA</b>	
<b>T''</b> [kN]	27,00

<b>SCHIACCIAMENTO MURO</b>	
<b>T'''</b> [kN]	80,1

<b>T4</b>	VERIFICATO
<b>T3</b>	VERIFICATO
<b>T2</b>	VERIFICATO
<b>T1</b>	VERIFICATO

Si dispongono due tiranti per piano

Tabella 5.85 Tabella di calcolo dei tiranti

**Macroelemento 15 – Cinematismo 2**

Di seguito viene presentato il meccanismo parziale relativo al macroelemento 15, che consiste nel ribaltamento semplice delle pareti relative al piano secondo, attraverso una rotazione attorno alla cerniera cilindrica posta alla base della parete del piano secondo. Il procedimento di verifica si svolge in maniera analoga ai precedenti, quindi vengono riportati i risultati.

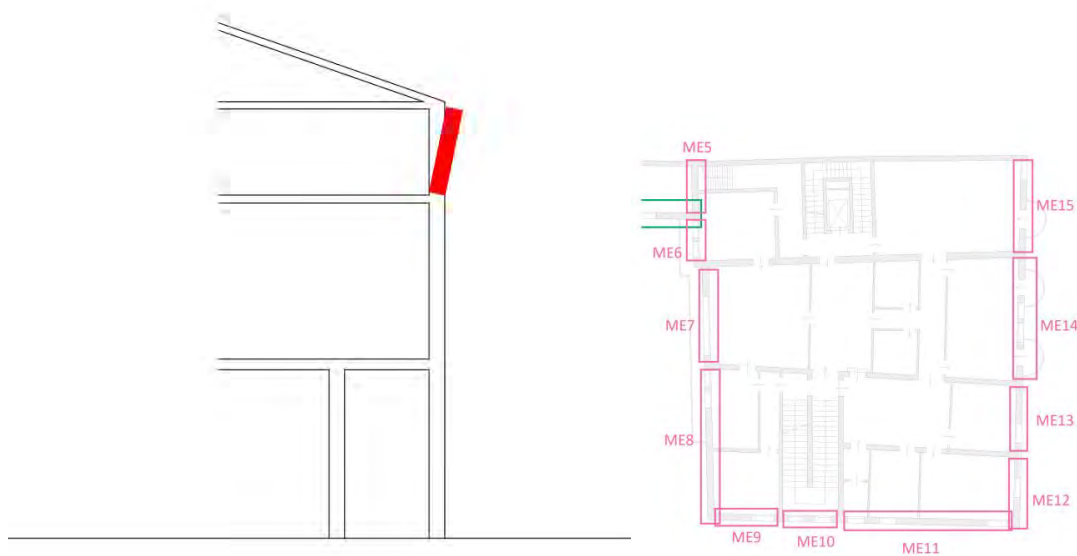


Figura 5.53 Rappresentazione del meccanismo di ribaltamento e riferimento planimetrico

Successivamente si procede al calcolo degli spostamenti orizzontali  $\delta_{x,i}$ , della massa partecipante  $M^*$ , della frazione di massa partecipante  $e^*$  e dell'accelerazione sismica spettrale  $a_0^*$ .

Si svolge la verifica lineare allo SLV, ed essendo questa non soddisfatta, si procede mediante verifica non lineare allo SLV, ed essendo questa soddisfatta non è necessario procedere oltre.



DATI GEOMETRICI		DATI MATERIALE		CARICHI			
n [piani]	3	$\gamma$ [kN/m <sup>3</sup> ]	18,00	G1 [kN/m <sup>2</sup> ]	0,00	P1 [kN]	0,00
H [m]	11,69	f <sub>m</sub> [Mpa]	240,00	G2 [kN/m <sup>2</sup> ]	0,00	P2 [kN]	0,00
z [m]	9,24	t <sub>0</sub> [Mpa]	6,00	G3 [kN/m <sup>2</sup> ]	0,00	P3 [kN]	0,00
htot [m]	2,45	g [m/s <sup>2</sup> ]	9,81	G4 [kN/m <sup>2</sup> ]	3,40	P4 [kN]	88,45
h1 [m]	0,00	FC	1,35	Gcop [kN/m <sup>2</sup> ]	2,16	N1 [kN]	0,00
h2 [m]	0,00	f <sub>md</sub> [Mpa]	0,89	Q1 [kN/m <sup>2</sup> ]	0,00	N2 [kN]	0,00
h3 [m]	0,00	f <sub>vd</sub> [Mpa]	0,02	Q2 [kN/m <sup>2</sup> ]	0,00	N3 [kN]	0,00
h4 [m]	2,45	ag [m/s <sup>2</sup> ]	0,99	Q3 [kN/m <sup>2</sup> ]	0,00	N4 [kN]	141,91
b1 [m]	0,00	F0	2,60	Q4 [kN/m <sup>2</sup> ]	0,50		
b2 [m]	0,00	TC* [s]	0,34	Qneve [kN/m <sup>2</sup> ]	1,00		
b3 [m]	0,00	$\eta$	1,00	$\psi_1$	0,00	t [m]	0,03
b4 [m]	0,45	S	1,50	$\psi_2$	0,00	$\alpha$	0,12
d1 [m]	0,00	Cc	1,50	$\psi_3$	0,00	Ms [kNm]	55,38
d2 [m]	0,00	Tc [s]	0,51	$\psi_4$	0,00	MR [kNm]	456,03
d3 [m]	0,00	TB [s]	0,17	$\psi_{neve}$	0,00	$\vartheta$	0,41
d4 [m]	0,30	TD [s]	2,00				
l [m]	5,60	C1	0,05	SPOSTAMENTI VIRTUALI		CURVA DI CAPACITÀ	
Asolaio [m <sup>2</sup> ]	25,22	q	2,00	$\delta_{N1}$	0,00	M* [kN]	21,53
Acop [m <sup>2</sup> ]	26,00	TE [s]	6,00	$\delta_{N2}$	0,00	e*	0,92
A1apert [m <sup>2</sup> ]	0,00	TF [s]	10,00	$\delta_{N3}$	0,00	a0* [m/s <sup>2</sup> ]	0,96
A2apert [m <sup>2</sup> ]	0,00			$\delta_{N4}$	1,00		
A3apert [m <sup>2</sup> ]	0,00			$\delta_{P1}$	0,00		
A4apert [m <sup>2</sup> ]	2,80			$\delta_{P2}$	0,00		
				$\delta_{P3}$	0,00		
				$\delta_{P4}$	0,50		

VERIFICA SLV LINEARE			
T1 [s]	0,32	a1 [m/s <sup>2</sup> ]	0,74
$\Psi(z)$	0,79	a2 [m/s <sup>2</sup> ]	1,96
$\gamma$	1,29	a0* [m/s <sup>2</sup> ]	0,96
Se(T1) [m/s <sup>2</sup> ]	3,86	a0* > max(a1;a2)	NON VERIFICATA

VERIFICA SLV NON LINEARE					
RP1 [m]	0,03	$\beta_{P1}$ [rad]	0,00	Ms	0,0000
RP2 [m]	0,03	$\beta_{P2}$ [rad]	0,00	$\theta$ [rad]	0,120839
RP3 [m]	0,03	$\beta_{P3}$ [rad]	0,00	hbar [m]	1,98
RP4 [m]	1,24	$\beta_{P4}$ [rad]	1,41	dk0 [m]	0,24
RN1 [m]	0,03	$\beta_{N1}$ [rad]	0,00	$\delta_{xhbar}$	0,81
RN2 [m]	0,03	$\beta_{N2}$ [rad]	0,00	d0* [m]	0,26
RN3 [m]	0,03	$\beta_{N3}$ [rad]	0,00	du* [m]	0,10
RN4 [m]	2,46	$\beta_{N4}$ [rad]	1,46	ds* [m]	0,04
				as* [m/s <sup>2</sup> ]	0,81
				Ts* [s]	1,43
SDe1 [m/s <sup>2</sup> ]	0,10			SDe(Ts) [m/s <sup>2</sup> ]	0,10
SDe2 [m/s <sup>2</sup> ]	0,06			SDe(T1) [m/s <sup>2</sup> ]	0,01
du* [m]	0,10			Se(TS) [m/s <sup>2</sup> ]	1,94
du* > max(SDe1;SDe2)		VERIFICATA			

Tabella 5.86 Tabella di calcolo del cinematismo e relative verifiche

**Macroelemento 15 – Cinematismo 3**

Di seguito viene presentato il meccanismo relativo al macroelemento 15, che consiste nella flessione verticale di una porzione in quota della parete, attraverso la formazione di una cerniera cilindrica orizzontale che divide la parete in due blocchi distinti.

Il procedimento di verifica si svolge in maniera analoga ai precedenti, quindi vengono riportati i risultati.

Le verifiche si svolgono mediante l'applicazione del principio dei lavori virtuali.

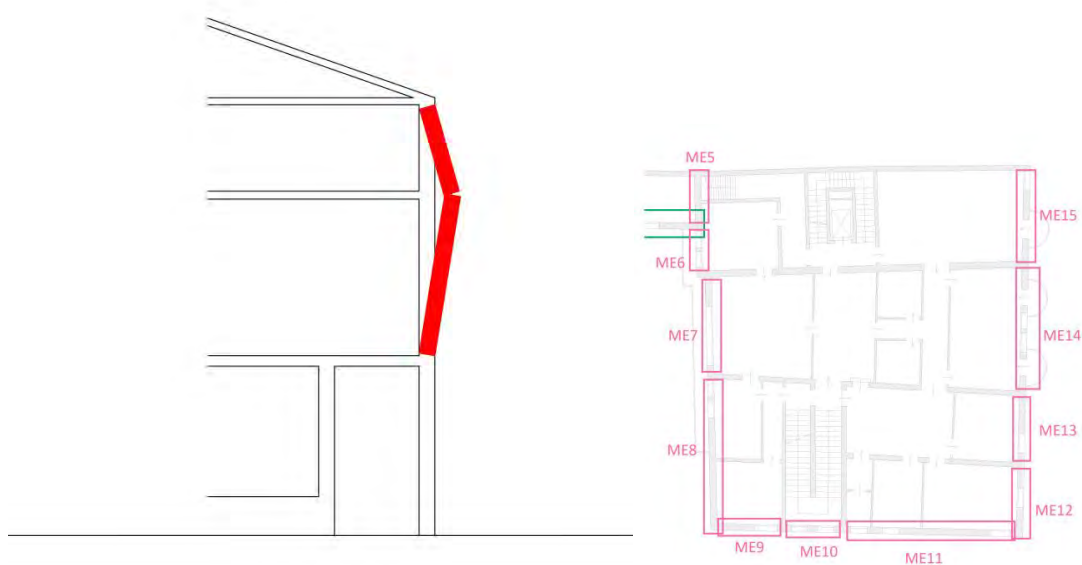


Figura 5.54 Rappresentazione del meccanismo di ribaltamento e riferimento planimetrico

Successivamente si procede al calcolo degli spostamenti orizzontali  $\delta_{x,i}$ , della massa partecipante  $M^*$ , della frazione di massa partecipante  $e^*$  e dell'accelerazione sismica spettrale  $a_0^*$ .

Si svolge la verifica lineare allo SLV, ed essendo questa soddisfatta non è necessario procedere oltre.

DATI GEOMETRICI		DATI MATERIALE				CARICHI	
n [piani]	3	$\gamma$ [kN/m <sup>3</sup> ]	18,00	G1 [kN/m <sup>2</sup> ]	0,00	P1 [kN]	0,00
H [m]	11,69	f <sub>m</sub> [Mpa]	240,00	G2 [kN/m <sup>2</sup> ]	0,00	P2 [kN]	0,00
z [m]	4,80	$\tau_0$ [Mpa]	6,00	G3 [kN/m <sup>2</sup> ]	3,53	P3 [kN]	123,64
htot [m]	6,89	g [m/s <sup>2</sup> ]	9,81	G4 [kN/m <sup>2</sup> ]	3,40	P4 [kN]	88,45
h1 [m]	0,00	FC	1,35	G <sub>cop</sub> [kN/m <sup>2</sup> ]	2,16	N1 [kN]	0,00
h2 [m]	0,00	f <sub>md</sub> [Mpa]	0,89	Q1 [kN/m <sup>2</sup> ]	0,00	N2 [kN]	0,00
h3 [m]	4,44	f <sub>vd</sub> [Mpa]	0,02	Q2 [kN/m <sup>2</sup> ]	0,00	N3 [kN]	104,16
h4 [m]	2,45	ag [m/s <sup>2</sup> ]	0,99	Q3 [kN/m <sup>2</sup> ]	2,00	N4 [kN]	141,91
b1 [m]	0,00	F0	2,60	Q4 [kN/m <sup>2</sup> ]	0,50		
b2 [m]	0,00	TC* [s]	0,34	Q <sub>neve</sub> [kN/m]	1,00		
b3 [m]	0,45	$\eta$	1,00	$\psi_1$	0,00	t [m]	0,06
b4 [m]	0,45	S	1,50	$\psi_2$	0,00	$\alpha$	0,28
d1 [m]	0,00	Cc	1,50	$\psi_3$	0,30	$\vartheta$	0,15
d2 [m]	0,00	Tc [s]	0,51	$\psi_4$	0,00		
d3 [m]	0,30	TB [s]	0,17	$\psi_{neve}$	0,00		
d4 [m]	0,30	TD [s]	2,00				
l [m]	5,60	C1	0,05	SPOSTAMENTI VIRTUA		CURVA DI CAPACITÀ	
A <sub>so</sub> [m <sup>2</sup> ]	25,22	q	2,00	$\delta N1x$	0,00	M* [kN]	26,06
A <sub>cop</sub> [m <sup>2</sup> ]	26,00	TE [s]	6,00	$\delta N2x$	0,00	e*	0,56
A1 <sub>apert</sub> [m <sup>2</sup> ]	0,00	TF [s]	10,00	$\delta N3x$	4,44	a0* [m/s <sup>2</sup> ]	3,66
A2 <sub>apert</sub> [m <sup>2</sup> ]	0,00			$\delta N4x$	0,00	$\phi$	1,81
A3 <sub>apert</sub> [m <sup>2</sup> ]	9,60			$\delta P1x$	0,00	$\Theta$	1,00
A4 <sub>apert</sub> [m <sup>2</sup> ]	2,80			$\delta P2x$	0,00		
				$\delta P3x$	2,22		
				$\delta P4x$	1,23		
				$\delta N1y$	0,00		
				$\delta N2y$	0,00		
				$\delta N3y$	0,30		
				$\delta N4y$	0,72		
				$\delta P1y$	0,00		
				$\delta P2y$	0,00		
				$\delta P3y$	0,23		
				$\delta P4y$	0,86		

VERIFICA SLV LINEARE			
T1 [s]	0,32	a1 [m/s <sup>2</sup> ]	0,74
$\Psi(z)$	0,41	a2 [m/s <sup>2</sup> ]	1,02
$\gamma$	1,29	a0* [m/s <sup>2</sup> ]	3,66
Se(T1) [m/s <sup>2</sup> ]	3,86	a0* > max(a1;a2)	VERIFICATA

Tabella 5.87 Tabella di calcolo del cinematiso e relative verifiche

**Tabella riassuntiva**

La Tab 5.88 raccoglie tutti i risultati delle verifiche effettuate sui quindici macroelementi e relativi cinematismi.

Si può osservare che le verifiche relative ai meccanismi di flessione verticale di parete sono sempre verificati, così come i due meccanismi di catena cinematica nel piano.

Invece i meccanismi di ribaltamento risultano spesso non verificati.

ME	CIN	TIPO DI MECCANISMO	$\alpha_0$	SLV LINEARE	SLV NON LINEARE
1	1	Ribaltamento fuori piano facciata	0,06	NON VERIFICATA 66%	NON VERIFICATA 90%
	2	Ribaltamento fuori piano P1	0,10	NON VERIFICATA 69%	NON VERIFICATA 99%
	3	Flessione verticale di parete PT-P1	0,26	VERIFICATA	
2	1	Ribaltamento fuori piano facciata	0,06	NON VERIFICATA	VERIFICATA
	2	Ribaltamento fuori piano P1	0,10	NON VERIFICATA	VERIFICATA
	3	Flessione verticale di parete PT-P1	0,34	VERIFICATA	
	4	Catena cinematica in P1	1,53	VERIFICATA	
3	1	Ribaltamento fuori piano P2	0,08	NON VERIFICATA 35%	NON VERIFICATA 80%
	2	Flessione verticale di parete P2	165,18	VERIFICATA	
4	1	Ribaltamento fuori piano facciata	0,04	NON VERIFICATA 44%	NON VERIFICATA 90%
	2	Ribaltamento fuori piano P1-P2	0,06	NON VERIFICATA 60%	NON VERIFICATA 99%
	3	Ribaltamento fuori piano P2	0,11	NON VERIFICATA 53%	NON VERIFICATA 99%
	4	Flessione verticale di parete P1-P2	0,30	VERIFICATA	
	5	Catena cinematica P2	3,05	VERIFICATA	
5	1	Ribaltamento fuori piano P2	0,19	NON VERIFICATA 71%	VERIFICATA
	2	Flessione verticale di parete P2	50,09	VERIFICATA	
6	1	Ribaltamento fuori piano facciata	0,02	NON VERIFICATA 29%	NON VERIFICATA 90%
	2	Ribaltamento fuori piano P1-P2	0,04	NON VERIFICATA 30%	NON VERIFICATA 90%
	3	Ribaltamento fuori piano P2	0,10	NON VERIFICATA 42%	VERIFICATA
	4	Flessione verticale di parete P1-P2	0,23	VERIFICATA	
7	1	Ribaltamento fuori piano facciata	0,02	NON VERIFICATA 27%	NON VERIFICATA 90%
	2	Ribaltamento fuori piano P1-P2	0,03	NON VERIFICATA 29%	NON VERIFICATA 90%
	3	Ribaltamento fuori piano P2	0,10	NON VERIFICATA 43%	VERIFICATA
	4	Flessione verticale di parete P1-P2	0,22	VERIFICATA	
8	1	Ribaltamento fuori piano P1-P2	0,04	NON VERIFICATA 32%	NON VERIFICATA 90%
	2	Ribaltamento fuori piano P2	0,11	NON VERIFICATA 46%	VERIFICATA
	3	Flessione verticale di parete	0,21	VERIFICATA	

		P1-P2			
<b>9</b>	1	Ribaltamento fuori piano P1-P2	0,03	NON VERIFICATA 27%	NON VERIFICATA 80%
	2	Ribaltamento fuori piano P2	0,09	NON VERIFICATA 39%	NON VERIFICATA 99%
	3	Flessione verticale di parete P1-P2	0,18	VERIFICATA	
<b>10</b>	1	Ribaltamento fuori piano facciata	0,02	NON VERIFICATA 21%	NON VERIFICATA 70%
	2	Ribaltamento fuori piano P1-P2	0,03	NON VERIFICATA 27%	NON VERIFICATA 80%
	3	Ribaltamento fuori piano P2	0,10	NON VERIFICATA 41%	VERIFICATA
<b>11</b>	1	Ribaltamento fuori piano P1-P2	0,04	NON VERIFICATA 32%	NON VERIFICATA 90%
	2	Ribaltamento fuori piano P2	0,11	NON VERIFICATA 46%	VERIFICATA
	3	Flessione verticale di parete P1-P2	0,21	VERIFICATA	
<b>12</b>	1	Ribaltamento fuori piano P1-P2	0,03	NON VERIFICATA 26%	NON VERIFICATA 80%
	2	Ribaltamento fuori piano P2	0,10	NON VERIFICATA 38%	VERIFICATA
	3	Flessione verticale di parete P1-P2	0,21	VERIFICATA	
<b>13</b>	1	Ribaltamento fuori piano P1-P2	0,03	NON VERIFICATA 26%	NON VERIFICATA 80%
	2	Ribaltamento fuori piano P2	0,10	NON VERIFICATA 38%	VERIFICATA
	3	Flessione verticale di parete P1-P2	0,21	VERIFICATA	
<b>14</b>	1	Ribaltamento fuori piano P1-P2	0,03	NON VERIFICATA 27%	NON VERIFICATA 90%
	2	Ribaltamento fuori piano P2	0,10	NON VERIFICATA 39%	VERIFICATA
	3	Flessione verticale di parete P1-P2	0,22	VERIFICATA	
<b>15</b>	1	Ribaltamento fuori piano P1-P2	0,04	NON VERIFICATA 34%	NON VERIFICATA 90%
	2	Ribaltamento fuori piano P2	0,12	NON VERIFICATA 48%	VERIFICATA
	3	Flessione verticale di parete P1-P2	0,28	VERIFICATA	

### 5.9 VERIFICA DEI MACROELEMENTI IN LC2

Si è ritenuto opportuno ripetere il calcolo per tutti i macroelementi non verificati, supponendo di avere una conoscenza maggiore dell'edificio, cioè usando indici riferiti a un LC2.

Il procedimento seguito è del tutto analogo al precedente.

Di seguito vengono riportate le tabelle relative ai calcoli per ogni macroelemento.

**Macroelemento 1 – Cinematismo 1**

DATI GEOMETRICI		DATI MATERIALE		CARICHI			
n [piani]	2	$\gamma$ [kN/m <sup>3</sup> ]	18,00	G1 [kN/m <sup>2</sup> ]	0,00	P1 [kN]	0,00
H [m]	5,72	f <sub>m</sub> [Mpa]	240,00	G2 [kN/m <sup>2</sup> ]	0,00	P2 [kN]	0,00
z [m]	0,00	$\tau_0$ [Mpa]	6,00	G3 [kN/m <sup>2</sup> ]	4,80	P3 [kN]	273,32
h <sub>tot</sub> [m]	5,72	g [m/s <sup>2</sup> ]	9,81	G4 [kN/m <sup>2</sup> ]	3,40	P4 [kN]	242,95
h1 [m]	0,00	FC	1,20	G <sub>cop</sub> [kN/m <sup>2</sup> ]	4,00	N1 [kN]	0,00
h2 [m]	0,00	f <sub>md</sub> [Mpa]	100,00	Q1 [kN/m <sup>2</sup> ]	0,00	N2 [kN]	0,00
h3 [m]	2,86	f <sub>vd</sub> [Mpa]	2,50	Q2 [kN/m <sup>2</sup> ]	0,00	N3 [kN]	397,06
h4 [m]	2,86	ag [m/s <sup>2</sup> ]	0,99	Q3 [kN/m <sup>2</sup> ]	6,00	N4 [kN]	311,14
b1 [m]	0,00	F0	2,60	Q4 [kN/m <sup>2</sup> ]	0,50		
b2 [m]	0,00	TC* [s]	0,34	Q <sub>neve</sub> [kN/m <sup>2</sup> ]	1,00		
b3 [m]	0,45	$\eta$	1,00	$\psi_1$	0,00	t [m]	0,00
b4 [m]	0,40	S	1,50	$\psi_2$	0,00	$\alpha$	0,07
d1 [m]	0,00	Cc	1,50	$\psi_3$	0,80	Ms [kNm]	321,84
d2 [m]	0,00	Tc [s]	0,51	$\psi_4$	0,00	MR [kNm]	4348,44
d3 [m]	0,30	TB [s]	0,17	$\psi_{neve}$	0,00	$\theta$	0,17
d4 [m]	0,30	TD [s]	2,00				
l [m]	14,19	C1	0,05	SPOSTAMENTI VIRTUALI		CURVA DI CAPACITÀ	
A <sub>solai</sub> [m <sup>2</sup> ]	41,36	q	2,00	$\delta N1$	0,00	M* [kN]	104,43
A <sub>cop</sub> [m <sup>2</sup> ]	42,63	TE [s]	6,00	$\delta N2$	0,00	e*	0,84
A <sub>1apert</sub> [m <sup>2</sup> ]	0,00	TF [s]	10,00	$\delta N3$	0,50	a0* [m/s <sup>2</sup> ]	0,72
A <sub>2apert</sub> [m <sup>2</sup> ]	0,00			$\delta N4$	1,00		
A <sub>3apert</sub> [m <sup>2</sup> ]	6,84			$\delta P1$	0,00		
A <sub>4apert</sub> [m <sup>2</sup> ]	6,84			$\delta P2$	0,00		
				$\delta P3$	0,25		
				$\delta P4$	0,75		

VERIFICA SLV LINEARE			
T1 [s]	0,18	a1 [m/s <sup>2</sup> ]	0,74
$\Psi(z)$	0,00	a2 [m/s <sup>2</sup> ]	0,00
$\gamma$	1,20	a0* [m/s <sup>2</sup> ]	0,72
Se(T1) [m/s <sup>2</sup> ]	3,86	a0*>max(a1;a2)	NON VERIFICATA

VERIFICA SLV NON LINEARE					
RP1 [m]	0,00	$\beta P1$ [rad]	0,00	Ms	0,0000
RP2 [m]	0,00	$\beta P2$ [rad]	0,00	$\theta$ [rad]	0,073879
RP3 [m]	1,45	$\beta P3$ [rad]	1,42	h <sub>bar</sub> [m]	3,55
RP4 [m]	4,29	$\beta P4$ [rad]	1,52	dk0 [m]	0,26
RN1 [m]	0,00	$\beta N1$ [rad]	0,00	$\delta x h_{bar}$	0,62
RN2 [m]	0,00	$\beta N2$ [rad]	0,00	d0* [m]	0,31
RN3 [m]	2,88	$\beta N3$ [rad]	1,47	du* [m]	0,13
RN4 [m]	5,73	$\beta N4$ [rad]	1,52	ds* [m]	0,05
				as* [m/s <sup>2</sup> ]	0,61
				Ts* [s]	1,80
SDe1 [m/s <sup>2</sup> ]	0,10			SDe(Ts) [m/s <sup>2</sup> ]	0,10
SDe2 [m/s <sup>2</sup> ]	0,00			SDe(T1) [m/s <sup>2</sup> ]	0,00
du* [m]	0,13			Se(TS) [m/s <sup>2</sup> ]	1,21
du*>max(SDe1;SDe2)		VERIFICATA			

Tabella 5.88 Tabella di calcolo del cinematismo in LC2 e relative verifiche

Macroelemento 1 – Cinematismo 2

DATI GEOMETRICI		DATI MATERIALE		CARICHI			
n [piani]	2	$\gamma$ [kN/m <sup>3</sup> ]	18,00	G1 [kN/m <sup>2</sup> ]	0,00	P1 [kN]	0,00
H [m]	5,72	f <sub>m</sub> [Mpa]	240,00	G2 [kN/m <sup>2</sup> ]	0,00	P2 [kN]	0,00
z [m]	2,86	$\tau_0$ [Mpa]	6,00	G3 [kN/m <sup>2</sup> ]	0,00	P3 [kN]	0,00
htot [m]	2,86	g [m/s <sup>2</sup> ]	9,81	G4 [kN/m <sup>2</sup> ]	3,40	P4 [kN]	242,95
h1 [m]	0,00	FC	1,20	Gcop [kN/m <sup>2</sup> ]	4,00	N1 [kN]	0,00
h2 [m]	0,00	f <sub>md</sub> [Mpa]	100,00	Q1 [kN/m <sup>2</sup> ]	0,00	N2 [kN]	0,00
h3 [m]	0,00	f <sub>vd</sub> [Mpa]	2,50	Q2 [kN/m <sup>2</sup> ]	0,00	N3 [kN]	0,00
h4 [m]	2,86	ag [m/s <sup>2</sup> ]	0,99	Q3 [kN/m <sup>2</sup> ]	0,00	N4 [kN]	311,14
b1 [m]	0,00	F0	2,60	Q4 [kN/m <sup>2</sup> ]	0,50		
b2 [m]	0,00	TC* [s]	0,34	Qneve [kN/m <sup>2</sup> ]	1,00		
b3 [m]	0,00	$\eta$	1,00	$\psi_1$	0,00	t [m]	0,00
b4 [m]	0,40	S	1,50	$\psi_2$	0,00	$\alpha$	0,11
d1 [m]	0,00	Cc	1,50	$\psi_3$	0,80	Ms [kNm]	141,79
d2 [m]	0,00	Tc [s]	0,51	$\psi_4$	0,00	MR [kNm]	1237,29
d3 [m]	0,00	TB [s]	0,17	$\psi_{neve}$	0,00	$\delta$	0,35
d4 [m]	0,30	TD [s]	2,00				
l [m]	14,19	C1	0,05	SPOSTAMENTI VIRTUALI		CURVA DI CAPACITÀ	
Asoalio [m <sup>2</sup> ]	41,36	q	2,00	$\delta N1$	0,00	M* [kN]	51,30
Acop [m <sup>2</sup> ]	42,63	TE [s]	6,00	$\delta N2$	0,00	e*	0,91
A1apert [m <sup>2</sup> ]	0,00	TF [s]	10,00	$\delta N3$	0,00	a0* [m/s <sup>2</sup> ]	1,03
A2apert [m <sup>2</sup> ]	0,00			$\delta N4$	1,00		
A3apert [m <sup>2</sup> ]	0,00			$\delta P1$	0,00		
A4apert [m <sup>2</sup> ]	6,84			$\delta P2$	0,00		
				$\delta P3$	0,00		
				$\delta P4$	0,50		

VERIFICA SLV LINEARE			
T1 [s]	0,18	a1 [m/s <sup>2</sup> ]	0,74
$\Psi(z)$	0,50	a2 [m/s <sup>2</sup> ]	1,16
$\gamma$	1,20	a0* [m/s <sup>2</sup> ]	1,03
Se(T1) [m/s <sup>2</sup> ]	3,86	a0*>max(a1;a2)	NON VERIFICATA

VERIFICA SLV NON LINEARE					
RP1 [m]	0,00	$\beta P1$ [rad]	0,00	Ms	0,0000
RP2 [m]	0,00	$\beta P2$ [rad]	0,00	$\theta$ [rad]	0,114099
RP3 [m]	0,00	$\beta P3$ [rad]	0,00	hbar [m]	2,23
RP4 [m]	1,44	$\beta P4$ [rad]	1,43	dk0 [m]	0,25
RN1 [m]	0,00	$\beta N1$ [rad]	0,00	$\delta x hbar$	0,78
RN2 [m]	0,00	$\beta N2$ [rad]	0,00	d0* [m]	0,28
RN3 [m]	0,00	$\beta N3$ [rad]	0,00	du* [m]	0,11
RN4 [m]	2,88	$\beta N4$ [rad]	1,47	ds* [m]	0,04
				as* [m/s <sup>2</sup> ]	0,87
				Ts* [s]	1,43
SDe1 [m/s <sup>2</sup> ]	0,10			SDe(Ts) [m/s <sup>2</sup> ]	0,10
SDe2 [m/s <sup>2</sup> ]	0,02			SDe(T1) [m/s <sup>2</sup> ]	0,00
du* [m]	0,11			Se(TS) [m/s <sup>2</sup> ]	1,93
du*>max(SDe1;SDe2)		VERIFICATA			

Tabella 5.89 Tabella di calcolo del cinematismo in LC2 e relative verifiche

**Macroelemento 3 – Cinematismo 1**

DATI GEOMETRICI		DATI MATERIALE				CARICHI	
n [piani]	3	$\gamma$ [kN/m <sup>3</sup> ]	18,00	G1 [kN/m <sup>2</sup> ]	0,00	P1 [kN]	0,00
H [m]	8,52	f <sub>m</sub> [Mpa]	240,00	G2 [kN/m <sup>2</sup> ]	0,00	P2 [kN]	0,00
z [m]	5,66	t <sub>0</sub> [Mpa]	6,00	G3 [kN/m <sup>2</sup> ]	0,00	P3 [kN]	0,00
h <sub>tot</sub> [m]	2,86	g [m/s <sup>2</sup> ]	9,81	G4 [kN/m <sup>2</sup> ]	3,45	P4 [kN]	90,35
h1 [m]	0,00	FC	1,20	G <sub>cop</sub> [kN/m <sup>2</sup> ]	4,00	N1 [kN]	0,00
h2 [m]	0,00	f <sub>md</sub> [Mpa]	100,00	Q1 [kN/m <sup>2</sup> ]	0,00	N2 [kN]	0,00
h3 [m]	0,00	f <sub>vd</sub> [Mpa]	2,50	Q2 [kN/m <sup>2</sup> ]	0,00	N3 [kN]	0,00
h4 [m]	2,86	ag [m/s <sup>2</sup> ]	0,99	Q3 [kN/m <sup>2</sup> ]	0,00	N4 [kN]	351,21
b1 [m]	0,00	F0	2,60	Q4 [kN/m <sup>2</sup> ]	0,50		
b2 [m]	0,00	TC* [s]	0,34	Q <sub>neve</sub> [kN/m <sup>2</sup> ]	1,00		
b3 [m]	0,00	$\eta$	1,00	$\psi_1$	0,00	t [m]	0,00
b4 [m]	0,45	S	1,50	$\psi_2$	0,00	$\alpha$	0,11
d1 [m]	0,00	Cc	1,50	$\psi_3$	0,00	Ms [kNm]	125,36
d2 [m]	0,00	Tc [s]	0,51	$\psi_4$	0,00	MR [kNm]	1133,64
d3 [m]	0,00	TB [s]	0,17	$\psi_{neve}$	0,00	$\vartheta$	0,35
d4 [m]	0,30	TD [s]	2,00				
l [m]	3,90	C1	0,05	SPOSTAMENTI VIRTUALI		CURVA DI CAPACITÀ	
A <sub>solai</sub> [m <sup>2</sup> ]	46,39	q	2,00	$\delta N1$	0,00	M* [kN]	42,85
A <sub>cop</sub> [m <sup>2</sup> ]	47,79	TE [s]	6,00	$\delta N2$	0,00	e*	0,95
A1 <sub>apert</sub> [m <sup>2</sup> ]	0,00	TF [s]	10,00	$\delta N3$	0,00	a0* [m/s <sup>2</sup> ]	0,95
A2 <sub>apert</sub> [m <sup>2</sup> ]	0,00			$\delta N4$	1,00		
A3 <sub>apert</sub> [m <sup>2</sup> ]	0,00			$\delta P1$	0,00		
A4 <sub>apert</sub> [m <sup>2</sup> ]	0,00			$\delta P2$	0,00		
				$\delta P3$	0,00		
				$\delta P4$	0,50		

VERIFICA SLV LINEARE			
T1 [s]	0,25	a1 [m/s <sup>2</sup> ]	0,74
$\Psi(z)$	0,66	a2 [m/s <sup>2</sup> ]	1,65
$\gamma$	1,29	a0* [m/s <sup>2</sup> ]	0,95
Se(T1) [m/s <sup>2</sup> ]	3,86	a0*>max(a1;a2)	NON VERIFICATA

VERIFICA SLV NON LINEARE					
RP1 [m]	0,00	$\beta P1$ [rad]	0,00	Ms	0,0000
RP2 [m]	0,00	$\beta P2$ [rad]	0,00	$\theta$ [rad]	0,110131
RP3 [m]	0,00	$\beta P3$ [rad]	0,00	h <sub>bar</sub> [m]	2,57
RP4 [m]	1,45	$\beta P4$ [rad]	1,42	dk0 [m]	0,28
RN1 [m]	0,00	$\beta N1$ [rad]	0,00	$\delta x_{hbar}$	0,90
RN2 [m]	0,00	$\beta N2$ [rad]	0,00	d0* [m]	0,30
RN3 [m]	0,00	$\beta N3$ [rad]	0,00	du* [m]	0,12
RN4 [m]	2,88	$\beta N4$ [rad]	1,47	ds* [m]	0,05
				as* [m/s <sup>2</sup> ]	0,80
				Ts* [s]	1,53
SDe1 [m/s <sup>2</sup> ]	0,10			SDe(Ts) [m/s <sup>2</sup> ]	0,10
SDe2 [m/s <sup>2</sup> ]	0,04			SDe(T1) [m/s <sup>2</sup> ]	0,01
du* [m]	0,12			Se(TS) [m/s <sup>2</sup> ]	1,68
du*>max(SDe1;SDe2)		VERIFICATA			

Tabella 5.90 Tabella di calcolo del cinematismo in LC2 e relative verifiche



**Macroelemento 4 - Cinematismo 1**

DATI GEOMETRICI		DATI MATERIALE		CARICHI			
n [piani]	3	$\gamma$ [kN/m <sup>3</sup> ]	18,00	G1 [kN/m <sup>2</sup> ]	0,00	P1 [kN]	0,00
H [m]	8,52	f <sub>m</sub> [Mpa]	240,00	G2 [kN/m <sup>2</sup> ]	4,85	P2 [kN]	377,65
z [m]	0,00	t <sub>0</sub> [Mpa]	6,00	G3 [kN/m <sup>2</sup> ]	4,85	P3 [kN]	391,39
htot [m]	8,52	g [m/s <sup>2</sup> ]	9,81	G4 [kN/m <sup>2</sup> ]	3,45	P4 [kN]	391,39
h1 [m]	0,00	FC	1,20	Gcop [kN/m <sup>2</sup> ]	4,00	N1 [kN]	0,00
h2 [m]	2,80	f <sub>md</sub> [Mpa]	100,00	Q1 [kN/m <sup>2</sup> ]	0,00	N2 [kN]	200,94
h3 [m]	2,86	f <sub>vd</sub> [Mpa]	2,50	Q2 [kN/m <sup>2</sup> ]	2,00	N3 [kN]	200,94
h4 [m]	2,86	ag [m/s <sup>2</sup> ]	0,99	Q3 [kN/m <sup>2</sup> ]	2,00	N4 [kN]	279,20
b1 [m]	0,00	F0	2,60	Q4 [kN/m <sup>2</sup> ]	0,50		
b2 [m]	0,40	TC* [s]	0,34	Qneve [kN/m <sup>2</sup> ]	1,00		
b3 [m]	0,40	$\eta$	1,00	$\psi_1$	0,00	t [m]	0,00
b4 [m]	0,40	S	1,50	$\psi_2$	0,30	$\alpha$	0,05
d1 [m]	0,00	Cc	1,50	$\psi_3$	0,30	Ms [kNm]	435,46
d2 [m]	0,30	Tc [s]	0,51	$\psi_4$	0,00	MR [kNm]	9037,99
d3 [m]	0,30	TB [s]	0,17	$\psi_{neve}$	0,00	$\vartheta$	0,12
d4 [m]	0,30	TD [s]	2,00				
l [m]	23,79	C1	0,05	SPOSTAMENTI VIRTUALI		CURVA DI CAPACITÀ	
Asoiaio [m <sup>2</sup> ]	36,87	q	2,00	$\delta N1$	0,00	M* [kN]	149,50
Acop [m <sup>2</sup> ]	38,00	TE [s]	6,00	$\delta N2$	0,33	e*	0,80
A1apert [m <sup>2</sup> ]	0,00	TF [s]	10,00	$\delta N3$	0,66	a0* [m/s <sup>2</sup> ]	0,49
A2apert [m <sup>2</sup> ]	14,16			$\delta N4$	1,00		
A3apert [m <sup>2</sup> ]	13,68			$\delta P1$	0,00		
A4apert [m <sup>2</sup> ]	13,68			$\delta P2$	0,16		
				$\delta P3$	0,50		
				$\delta P4$	0,83		

VERIFICA SLV LINEARE			
T1 [s]	0,25	a1 [m/s <sup>2</sup> ]	0,74
$\Psi(z)$	0,00	a2 [m/s <sup>2</sup> ]	0,00
$\gamma$	1,29	a0* [m/s <sup>2</sup> ]	0,49
Se(T1) [m/s <sup>2</sup> ]	3,86	a0*>max(a1;a2)	NON VERIFICATA

VERIFICA SLV NON LINEARE					
RP1 [m]	0,00	$\beta P1$ [rad]	0,00	Ms	0,0000
RP2 [m]	1,41	$\beta P2$ [rad]	1,43	$\theta$ [rad]	0,048144
RP3 [m]	4,23	$\beta P3$ [rad]	1,52	hbar [m]	4,91
RP4 [m]	7,09	$\beta P4$ [rad]	1,54	dk0 [m]	0,24
RN1 [m]	0,00	$\beta N1$ [rad]	0,00	$\delta x hbar$	0,58
RN2 [m]	2,82	$\beta N2$ [rad]	1,46	d0* [m]	0,30
RN3 [m]	5,67	$\beta N3$ [rad]	1,52	du* [m]	0,12
RN4 [m]	8,53	$\beta N4$ [rad]	1,54	ds* [m]	0,05
				as* [m/s <sup>2</sup> ]	0,42
				Ts* [s]	2,12
SDe1 [m/s <sup>2</sup> ]	0,10			SDe(Ts) [m/s <sup>2</sup> ]	0,10
SDe2 [m/s <sup>2</sup> ]	0,00			SDe(T1) [m/s <sup>2</sup> ]	0,01
du* [m]	0,12			Se(TS) [m/s <sup>2</sup> ]	0,87
du*>max(SDe1;SDe2)		VERIFICATA			

Tabella 5.91 Tabella di calcolo del cinematismo in LC2 e relative verifiche

**Macroelemento 4 – Cinematismo 2**

DATI GEOMETRICI		DATI MATERIALE		CARICHI			
n [piani]	3	$\gamma$ [kN/m <sup>3</sup> ]	18,00	G1 [kN/m <sup>2</sup> ]	0,00	P1 [kN]	0,00
H [m]	8,52	$f_m$ [Mpa]	240,00	G2 [kN/m <sup>2</sup> ]	0,00	P2 [kN]	0,00
z [m]	2,80	$t_0$ [Mpa]	6,00	G3 [kN/m <sup>2</sup> ]	4,85	P3 [kN]	391,39
htot [m]	5,72	g [m/s <sup>2</sup> ]	9,81	G4 [kN/m <sup>2</sup> ]	3,45	P4 [kN]	391,39
h1 [m]	0,00	FC	1,20	Gcop [kN/m <sup>2</sup> ]	4,00	N1 [kN]	0,00
h2 [m]	0,00	fmd [Mpa]	100,00	Q1 [kN/m <sup>2</sup> ]	0,00	N2 [kN]	0,00
h3 [m]	2,86	fvd [Mpa]	2,50	Q2 [kN/m <sup>2</sup> ]	0,00	N3 [kN]	200,94
h4 [m]	2,86	ag [m/s <sup>2</sup> ]	0,99	Q3 [kN/m <sup>2</sup> ]	2,00	N4 [kN]	279,20
b1 [m]	0,00	F0	2,60	Q4 [kN/m <sup>2</sup> ]	0,50		
b2 [m]	0,00	TC* [s]	0,34	Qneve [kN/m <sup>2</sup> ]	1,00		
b3 [m]	0,40	$\eta$	1,00	$\psi_1$	0,00	t [m]	0,00
b4 [m]	0,40	S	1,50	$\psi_2$	0,30	$\alpha$	0,07
d1 [m]	0,00	Cc	1,50	$\psi_3$	0,30	Ms [kNm]	300,15
d2 [m]	0,00	Tc [s]	0,51	$\psi_4$	0,00	MR [kNm]	4410,46
d3 [m]	0,30	TB [s]	0,17	$\psi_{neve}$	0,00	$\vartheta$	0,17
d4 [m]	0,30	TD [s]	2,00				
l [m]	23,79	C1	0,05	SPOSTAMENTI VIRTUALI		CURVA DI CAPACITÀ	
Asolaio [m <sup>2</sup> ]	36,87	q	2,00	$\delta N1$	0,00	M* [kN]	105,57
Acop [m <sup>2</sup> ]	38,00	TE [s]	6,00	$\delta N2$	0,00	e*	0,82
A1apert [m <sup>2</sup> ]	0,00	TF [s]	10,00	$\delta N3$	0,50	a0* [m/s <sup>2</sup> ]	0,68
A2apert [m <sup>2</sup> ]	0,00			$\delta N4$	1,00		
A3apert [m <sup>2</sup> ]	13,68			$\delta P1$	0,00		
A4apert [m <sup>2</sup> ]	13,68			$\delta P2$	0,00		
				$\delta P3$	0,25		
				$\delta P4$	0,75		

VERIFICA SLV LINEARE			
T1 [s]	0,25	a1 [m/s <sup>2</sup> ]	0,74
$\Psi(z)$	0,33	a2 [m/s <sup>2</sup> ]	0,82
$\gamma$	1,29	a0* [m/s <sup>2</sup> ]	0,68
Se(T1) [m/s <sup>2</sup> ]	3,86	a0*>max(a1;a2)	NON VERIFICATA

VERIFICA SLV NON LINEARE					
RP1 [m]	0,00	$\beta P1$ [rad]	0,00	Ms	0,0000
RP2 [m]	0,00	$\beta P2$ [rad]	0,00	$\theta$ [rad]	0,06795
RP3 [m]	1,44	$\beta P3$ [rad]	1,43	hbar [m]	3,49
RP4 [m]	4,29	$\beta P4$ [rad]	1,52	dk0 [m]	0,24
RN1 [m]	0,00	$\beta N1$ [rad]	0,00	$\delta x_{hbar}$	0,61
RN2 [m]	0,00	$\beta N2$ [rad]	0,00	d0* [m]	0,29
RN3 [m]	2,88	$\beta N3$ [rad]	1,47	du* [m]	0,12
RN4 [m]	5,73	$\beta N4$ [rad]	1,52	ds* [m]	0,05
				as* [m/s <sup>2</sup> ]	0,57
				Ts* [s]	1,79
SDe1 [m/s <sup>2</sup> ]	0,10			SDe(Ts) [m/s <sup>2</sup> ]	0,10
SDe2 [m/s <sup>2</sup> ]	0,02			SDe(T1) [m/s <sup>2</sup> ]	0,01
du* [m]	0,12			Se(TS) [m/s <sup>2</sup> ]	1,23
du*>max(SDe1;SDe2)					VERIFICATA

Tabella 5.92 Tabella di calcolo del cinematismo in LC2 e relative verifiche

Macroelemento 4 – Cinematismo 3

DATI GEOMETRICI		DATI MATERIALE		CARICHI			
n [piani]	3	$\gamma$ [kN/m <sup>3</sup> ]	18,00	G1 [kN/m <sup>2</sup> ]	0,00	P1 [kN]	0,00
H [m]	8,52	f <sub>m</sub> [Mpa]	240,00	G2 [kN/m <sup>2</sup> ]	0,00	P2 [kN]	0,00
z [m]	5,66	$\tau_0$ [Mpa]	6,00	G3 [kN/m <sup>2</sup> ]	0,00	P3 [kN]	0,00
htot [m]	2,86	g [m/s <sup>2</sup> ]	9,81	G4 [kN/m <sup>2</sup> ]	3,45	P4 [kN]	391,39
h1 [m]	0,00	FC	1,20	Gcop [kN/m <sup>2</sup> ]	4,00	N1 [kN]	0,00
h2 [m]	0,00	f <sub>md</sub> [Mpa]	100,00	Q1 [kN/m <sup>2</sup> ]	0,00	N2 [kN]	0,00
h3 [m]	0,00	f <sub>vd</sub> [Mpa]	2,50	Q2 [kN/m <sup>2</sup> ]	0,00	N3 [kN]	0,00
h4 [m]	2,86	ag [m/s <sup>2</sup> ]	0,99	Q3 [kN/m <sup>2</sup> ]	0,00	N4 [kN]	279,20
b1 [m]	0,00	F0	2,60	Q4 [kN/m <sup>2</sup> ]	0,50		
b2 [m]	0,00	TC* [s]	0,34	Qneve [kN/m <sup>2</sup> ]	1,00		
b3 [m]	0,00	$\eta$	1,00	$\psi_1$	0,00	t [m]	0,00
b4 [m]	0,40	S	1,50	$\psi_2$	0,00	$\alpha$	0,12
d1 [m]	0,00	Cc	1,50	$\psi_3$	0,00	Ms [kNm]	161,91
d2 [m]	0,00	Tc [s]	0,51	$\psi_4$	0,00	MR [kNm]	1358,20
d3 [m]	0,00	TB [s]	0,17	$\psi_{neve}$	0,00	$\vartheta$	0,35
d4 [m]	0,30	TD [s]	2,00				
l [m]	23,79	C1	0,05	SPOSTAMENTI VIRTUALI		CURVA DI CAPACITÀ	
Asolaio [m2]	36,87	q	2,00	$\delta N1$	0,00	M* [kN]	60,97
Acop [m2]	38,00	TE [s]	6,00	$\delta N2$	0,00	e*	0,89
A1apert [m2]	0,00	TF [s]	10,00	$\delta N3$	0,00	a0* [m/s <sup>2</sup> ]	1,09
A2apert [m2]	0,00			$\delta N4$	1,00		
A3apert [m2]	0,00			$\delta P1$	0,00		
A4apert [m2]	13,68			$\delta P2$	0,00		
				$\delta P3$	0,00		
				$\delta P4$	0,50		

VERIFICA SLV LINEARE			
T1 [s]	0,25	a1 [m/s <sup>2</sup> ]	0,74
$\Psi(z)$	0,66	a2 [m/s <sup>2</sup> ]	1,65
$\gamma$	1,29	a0* [m/s <sup>2</sup> ]	1,09
Se(T1) [m/s <sup>2</sup> ]	3,86	a0*>max(a1;a2)	NON VERIFICATA

VERIFICA SLV NON LINEARE					
RP1 [m]	0,00	$\beta P1$ [rad]	0,00	Ms	0,0000
RP2 [m]	0,00	$\beta P2$ [rad]	0,00	$\theta$ [rad]	0,118651
RP3 [m]	0,00	$\beta P3$ [rad]	0,00	hbar [m]	2,03
RP4 [m]	1,44	$\beta P4$ [rad]	1,43	dk0 [m]	0,24
RN1 [m]	0,00	$\beta N1$ [rad]	0,00	$\delta x_{hbar}$	0,71
RN2 [m]	0,00	$\beta N2$ [rad]	0,00	d0* [m]	0,27
RN3 [m]	0,00	$\beta N3$ [rad]	0,00	du* [m]	0,11
RN4 [m]	2,88	$\beta N4$ [rad]	1,47	ds* [m]	0,04
				as* [m/s <sup>2</sup> ]	0,92
				Ts* [s]	1,36
SDe1 [m/s <sup>2</sup> ]	0,10			SDe(Ts) [m/s <sup>2</sup> ]	0,10
SDe2 [m/s <sup>2</sup> ]	0,03			SDe(T1) [m/s <sup>2</sup> ]	0,01
du* [m]	0,11			Se(TS) [m/s <sup>2</sup> ]	2,13
du*>max(SDe1;SDe2)		VERIFICATA			

Tabella 5.93 Tabella di calcolo del cinematismo in LC2 e relative verifiche

**Macroelemento 6 – Cinematismo 1**

DATI GEOMETRICI		DATI MATERIALE				CARICHI	
n [piani]	3	$\gamma$ [kN/m <sup>3</sup> ]	18,00	G1 [kN/m <sup>2</sup> ]	0,00	P1 [kN]	0,00
H [m]	14,05	f <sub>m</sub> [Mpa]	240,00	G2 [kN/m <sup>2</sup> ]	4,80	P2 [kN]	126,95
z [m]	0,00	t <sub>0</sub> [Mpa]	6,00	G3 [kN/m <sup>2</sup> ]	3,53	P3 [kN]	66,38
h <sub>tot</sub> [m]	14,05	g [m/s <sup>2</sup> ]	9,81	G4 [kN/m <sup>2</sup> ]	3,40	P4 [kN]	52,95
h1 [m]	0,00	FC	1,20	G <sub>cop</sub> [kN/m <sup>2</sup> ]	2,16	N1 [kN]	0,00
h2 [m]	5,50	f <sub>md</sub> [Mpa]	100,00	Q1 [kN/m <sup>2</sup> ]	0,00	N2 [kN]	50,60
h3 [m]	5,50	f <sub>vd</sub> [Mpa]	2,50	Q2 [kN/m <sup>2</sup> ]	2,00	N3 [kN]	38,70
h4 [m]	3,05	ag [m/s <sup>2</sup> ]	0,99	Q3 [kN/m <sup>2</sup> ]	2,00	N4 [kN]	52,72
b1 [m]	0,00	F0	2,60	Q4 [kN/m <sup>2</sup> ]	0,50		
b2 [m]	0,60	TC* [s]	0,34	Q <sub>neve</sub> [kN/m <sup>2</sup> ]	1,00		
b3 [m]	0,45	$\eta$	1,00	$\psi_1$	0,00	t [m]	0,00
b4 [m]	0,45	S	1,50	$\psi_2$	0,30	$\alpha$	0,04
d1 [m]	0,00	Cc	1,50	$\psi_3$	0,30	Ms [kNm]	107,20
d2 [m]	0,30	Tc [s]	0,51	$\psi_4$	0,00	MR [kNm]	3004,63
d3 [m]	0,30	TB [s]	0,17	$\psi_{neve}$	0,00	$\vartheta$	0,07
d4 [m]	0,30	TD [s]	2,00				
l [m]	2,93	C1	0,05	SPOSTAMENTI VIRTUALI		CURVA DI CAPACITÀ	
A <sub>solai</sub> [m <sup>2</sup> ]	9,37	q	2,00	$\delta N1$	0,00	M* [kN]	30,27
A <sub>cop</sub> [m <sup>2</sup> ]	9,66	TE [s]	6,00	$\delta N2$	0,39	e*	0,76
A1 <sub>apert</sub> [m <sup>2</sup> ]	0,00	TF [s]	10,00	$\delta N3$	0,78	a0* [m/s <sup>2</sup> ]	0,38
A2 <sub>apert</sub> [m <sup>2</sup> ]	4,36			$\delta N4$	1,00		
A3 <sub>apert</sub> [m <sup>2</sup> ]	7,92			$\delta P1$	0,00		
A4 <sub>apert</sub> [m <sup>2</sup> ]	2,40			$\delta P2$	0,20		
				$\delta P3$	0,59		
				$\delta P4$	0,89		

VERIFICA SLV LINEARE			
T1 [s]	0,36	a1 [m/s <sup>2</sup> ]	0,74
$\Psi(z)$	0,00	a2 [m/s <sup>2</sup> ]	0,00
$\gamma$	1,29	a0* [m/s <sup>2</sup> ]	0,38
Se(T1) [m/s <sup>2</sup> ]	3,86	a0*>max(a1;a2)	NON VERIFICATA

VERIFICA SLV NON LINEARE					
RP1 [m]	0,00	$\beta P1$ [rad]	0,00	Ms	0,0000
RP2 [m]	2,77	$\beta P2$ [rad]	1,46	$\theta$ [rad]	0,035662
RP3 [m]	8,25	$\beta P3$ [rad]	1,54	h <sub>bar</sub> [m]	7,74
RP4 [m]	12,53	$\beta P4$ [rad]	1,55	dk0 [m]	0,28
RN1 [m]	0,00	$\beta N1$ [rad]	0,00	$\delta x_{hbar}$	0,55
RN2 [m]	5,51	$\beta N2$ [rad]	1,52	d0* [m]	0,36
RN3 [m]	11,00	$\beta N3$ [rad]	1,54	du* [m]	0,14
RN4 [m]	14,05	$\beta N4$ [rad]	1,55	ds* [m]	0,06
				as* [m/s <sup>2</sup> ]	0,32
				Ts* [s]	2,67
SDe1 [m/s <sup>2</sup> ]	0,10			SDe(Ts) [m/s <sup>2</sup> ]	0,10
SDe2 [m/s <sup>2</sup> ]	0,00			SDe(T1) [m/s <sup>2</sup> ]	0,01
du* [m]	0,14			Se(TS) [m/s <sup>2</sup> ]	0,55
du*>max(SDe1;SDe2)		VERIFICATA			

Tabella 5.94 Tabella di calcolo del cinematismo in LC2 e relative verifiche

**Macroelemento 6 – Cinematismo 2**

DATI GEOMETRICI		DATI MATERIALE		CARICHI			
n [piani]	3	$\gamma$ [kN/m <sup>3</sup> ]	18,00	G1 [kN/m <sup>2</sup> ]	0,00	P1 [kN]	0,00
H [m]	14,05	$f_m$ [Mpa]	240,00	G2 [kN/m <sup>2</sup> ]	0,00	P2 [kN]	0,00
z [m]	5,50	$\tau_0$ [Mpa]	6,00	G3 [kN/m <sup>2</sup> ]	3,53	P3 [kN]	66,38
htot [m]	8,55	g [m/s <sup>2</sup> ]	9,81	G4 [kN/m <sup>2</sup> ]	3,40	P4 [kN]	52,95
h1 [m]	0,00	FC	1,20	Gcop [kN/m <sup>2</sup> ]	2,16	N1 [kN]	0,00
h2 [m]	0,00	fmd [Mpa]	100,00	Q1 [kN/m <sup>2</sup> ]	0,00	N2 [kN]	0,00
h3 [m]	5,50	fvd [Mpa]	2,50	Q2 [kN/m <sup>2</sup> ]	0,00	N3 [kN]	38,70
h4 [m]	3,05	ag [m/s <sup>2</sup> ]	0,99	Q3 [kN/m <sup>2</sup> ]	2,00	N4 [kN]	52,72
b1 [m]	0,00	F0	2,60	Q4 [kN/m <sup>2</sup> ]	0,50		
b2 [m]	0,00	TC* [s]	0,34	Qneve [kN/m <sup>2</sup> ]	1,00		
b3 [m]	0,45	$\eta$	1,00	$\psi_1$	0,00	t [m]	0,00
b4 [m]	0,45	S	1,50	$\psi_2$	0,00	$\alpha$	0,04
d1 [m]	0,00	Cc	1,50	$\psi_3$	0,30	Ms [kNm]	54,17
d2 [m]	0,00	Tc [s]	0,51	$\psi_4$	0,00	MR [kNm]	1218,11
d3 [m]	0,30	TB [s]	0,17	$\psi_{neve}$	0,00	$\vartheta$	0,12
d4 [m]	0,30	TD [s]	2,00				
I [m]	2,93	C1	0,05	SPOSTAMENTI VIRTUALI		CURVA DI CAPACITÀ	
Asolaio [m <sup>2</sup> ]	9,37	q	2,00	$\delta N1$	0,00	M* [kN]	18,58
Acop [m <sup>2</sup> ]	9,66	TE [s]	6,00	$\delta N2$	0,00	e*	0,86
A1apert [m <sup>2</sup> ]	0,00	TF [s]	10,00	$\delta N3$	0,64	a0* [m/s <sup>2</sup> ]	0,42
A2apert [m <sup>2</sup> ]	0,00			$\delta N4$	1,00		
A3apert [m <sup>2</sup> ]	7,92			$\delta P1$	0,00		
A4apert [m <sup>2</sup> ]	2,40			$\delta P2$	0,00		
				$\delta P3$	0,32		
				$\delta P4$	0,82		

VERIFICA SLV LINEARE			
T1 [s]	0,36	a1 [m/s <sup>2</sup> ]	0,74
$\Psi(z)$	0,39	a2 [m/s <sup>2</sup> ]	0,97
$\gamma$	1,29	a0* [m/s <sup>2</sup> ]	0,42
Se(T1) [m/s <sup>2</sup> ]	3,86	a0*>max(a1;a2)	NON VERIFICATA

VERIFICA SLV NON LINEARE					
RP1 [m]	0,00	$\beta P1$ [rad]	0,00	Ms	0,0000
RP2 [m]	0,00	$\beta P2$ [rad]	0,00	$\theta$ [rad]	0,044444
RP3 [m]	2,76	$\beta P3$ [rad]	1,49	hbar [m]	5,78
RP4 [m]	7,03	$\beta P4$ [rad]	1,54	dk0 [m]	0,26
RN1 [m]	0,00	$\beta N1$ [rad]	0,00	$\delta x_{hbar}$	0,68
RN2 [m]	0,00	$\beta N2$ [rad]	0,00	d0* [m]	0,30
RN3 [m]	5,51	$\beta N3$ [rad]	1,52	du* [m]	0,12
RN4 [m]	8,56	$\beta N4$ [rad]	1,54	ds* [m]	0,05
				as* [m/s <sup>2</sup> ]	0,35
				Ts* [s]	2,30
SDe1 [m/s <sup>2</sup> ]	0,10			SDe(Ts) [m/s <sup>2</sup> ]	0,10
SDe2 [m/s <sup>2</sup> ]	0,05			SDe(T1) [m/s <sup>2</sup> ]	0,01
du* [m]	0,12			Se(TS) [m/s <sup>2</sup> ]	0,74
du*>max(SDe1;SDe2)		VERIFICATA			

Tabella 5.95 Tabella di calcolo del cinematismo in LC2 e relative verifiche

**Macroelemento 7 – Cinematismo 1**

DATI GEOMETRICI		DATI MATERIALE		CARICHI			
n [piani]	3	$\gamma$ [kN/m <sup>3</sup> ]	18,00	G1 [kN/m <sup>2</sup> ]	0,00	P1 [kN]	0,00
H [m]	14,05	f <sub>m</sub> [Mpa]	240,00	G2 [kN/m <sup>2</sup> ]	1,57	P2 [kN]	304,56
z [m]	0,00	t <sub>0</sub> [Mpa]	6,00	G3 [kN/m <sup>2</sup> ]	3,53	P3 [kN]	180,31
h <sub>tot</sub> [m]	14,05	g [m/s <sup>2</sup> ]	9,81	G4 [kN/m <sup>2</sup> ]	3,40	P4 [kN]	128,79
h1 [m]	0,00	FC	1,20	G <sub>cop</sub> [kN/m <sup>2</sup> ]	2,16	N1 [kN]	0,00
h2 [m]	5,50	f <sub>md</sub> [Mpa]	100,00	Q1 [kN/m <sup>2</sup> ]	0,00	N2 [kN]	41,66
h3 [m]	5,50	f <sub>vd</sub> [Mpa]	2,50	Q2 [kN/m <sup>2</sup> ]	2,00	N3 [kN]	79,30
h4 [m]	3,05	ag [m/s <sup>2</sup> ]	0,99	Q3 [kN/m <sup>2</sup> ]	2,00	N4 [kN]	108,00
b1 [m]	0,00	F0	2,60	Q4 [kN/m <sup>2</sup> ]	0,50		
b2 [m]	0,60	TC* [s]	0,34	Q <sub>neve</sub> [kN/m <sup>2</sup> ]	1,00		
b3 [m]	0,45	$\eta$	1,00	$\psi_1$	0,00	t [m]	0,00
b4 [m]	0,45	S	1,50	$\psi_2$	0,30	$\alpha$	0,03
d1 [m]	0,00	Cc	1,50	$\psi_3$	0,30	Ms [kNm]	216,32
d2 [m]	0,00	Tc [s]	0,51	$\psi_4$	0,00	MR [kNm]	6557,03
d3 [m]	0,30	TB [s]	0,17	$\psi_{neve}$	0,00	$\theta$	0,07
d4 [m]	0,30	TD [s]	2,00				
l [m]	6,00	C1	0,05	SPOSTAMENTI VIRTUALI		CURVA DI CAPACITÀ	
Asolaio [m <sup>2</sup> ]	19,20	q	2,00	$\delta N1$	0,00	M* [kN]	65,46
A <sub>cop</sub> [m <sup>2</sup> ]	19,78	TE [s]	6,00	$\delta N2$	0,39	e*	0,76
A1 <sub>apert</sub> [m <sup>2</sup> ]	0,00	TF [s]	10,00	$\delta N3$	0,78	a0* [m/s <sup>2</sup> ]	0,35
A2 <sub>apert</sub> [m <sup>2</sup> ]	4,80			$\delta N4$	1,00		
A3 <sub>apert</sub> [m <sup>2</sup> ]	10,74			$\delta P1$	0,00		
A4 <sub>apert</sub> [m <sup>2</sup> ]	2,40			$\delta P2$	0,20		
				$\delta P3$	0,59		
				$\delta P4$	0,89		

VERIFICA SLV LINEARE			
T1 [s]	0,36	a1 [m/s <sup>2</sup> ]	0,74
$\Psi(z)$	0,00	a2 [m/s <sup>2</sup> ]	0,00
$\gamma$	1,29	a0* [m/s <sup>2</sup> ]	0,35
Se(T1) [m/s <sup>2</sup> ]	3,86	a0*>max(a1;a2)	NON VERIFICATA

VERIFICA SLV NON LINEARE					
RP1 [m]	0,00	$\beta P1$ [rad]	0,00	Ms	0,0000
RP2 [m]	2,77	$\beta P2$ [rad]	1,46	$\theta$ [rad]	0,035467
RP3 [m]	8,25	$\beta P3$ [rad]	1,54	h <sub>bar</sub> [m]	7,78
RP4 [m]	12,53	$\beta P4$ [rad]	1,55	dk0 [m]	0,28
RN1 [m]	0,00	$\beta N1$ [rad]	0,00	$\delta x_{hbar}$	0,55
RN2 [m]	5,50	$\beta N2$ [rad]	-1,57	d0* [m]	0,36
RN3 [m]	11,00	$\beta N3$ [rad]	1,54	du* [m]	0,14
RN4 [m]	14,05	$\beta N4$ [rad]	1,55	ds* [m]	0,06
				as* [m/s <sup>2</sup> ]	0,30
				Ts* [s]	2,77
SDe1 [m/s <sup>2</sup> ]	0,10			SDe(Ts) [m/s <sup>2</sup> ]	0,10
SDe2 [m/s <sup>2</sup> ]	0,00			SDe(T1) [m/s <sup>2</sup> ]	0,01
du* [m]	0,14			Se(TS) [m/s <sup>2</sup> ]	0,51
du*>max(SDe1;SDe2)		VERIFICATA			

Tabella 5.96 Tabella di calcolo del cinematismo in LC2 e relative verifiche

Macroelemento 7 – Cinematismo 2

DATI GEOMETRICI		DATI MATERIALE		CARICHI			
n [piani]	3	$\gamma$ [kN/m <sup>3</sup> ]	18,00	G1 [kN/m <sup>2</sup> ]	0,00	P1 [kN]	0,00
H [m]	14,05	$f_m$ [Mpa]	240,00	G2 [kN/m <sup>2</sup> ]	0,00	P2 [kN]	0,00
z [m]	5,50	$\tau_0$ [Mpa]	6,00	G3 [kN/m <sup>2</sup> ]	3,53	P3 [kN]	180,31
htot [m]	8,55	g [m/s <sup>2</sup> ]	9,81	G4 [kN/m <sup>2</sup> ]	3,40	P4 [kN]	128,79
h1 [m]	0,00	FC	1,20	Gcop [kN/m <sup>2</sup> ]	2,16	N1 [kN]	0,00
h2 [m]	0,00	fmd [Mpa]	100,00	Q1 [kN/m <sup>2</sup> ]	0,00	N2 [kN]	0,00
h3 [m]	5,50	fvd [Mpa]	2,50	Q2 [kN/m <sup>2</sup> ]	0,00	N3 [kN]	79,30
h4 [m]	3,05	ag [m/s <sup>2</sup> ]	0,99	Q3 [kN/m <sup>2</sup> ]	2,00	N4 [kN]	108,00
b1 [m]	0,00	F0	2,60	Q4 [kN/m <sup>2</sup> ]	0,50		
b2 [m]	0,00	TC* [s]	0,34	Qneve [kN/m <sup>2</sup> ]	1,00		
b3 [m]	0,45	$\eta$	1,00	$\psi_1$	0,00	t [m]	0,00
b4 [m]	0,45	S	1,50	$\psi_2$	0,00	$\alpha$	0,05
d1 [m]	0,00	Cc	1,50	$\psi_3$	0,30	Ms [kNm]	125,46
d2 [m]	0,00	Tc [s]	0,51	$\psi_4$	0,00	MR [kNm]	2760,16
d3 [m]	0,30	TB [s]	0,17	$\psi_{neve}$	0,00	$\theta$	0,12
d4 [m]	0,30	TD [s]	2,00				
l [m]	6,00	C1	0,05	SPOSTAMENTI VIRTUALI		CURVA DI CAPACITÀ	
Asolaio [m <sup>2</sup> ]	19,20	q	2,00	$\delta N1$	0,00	M* [kN]	43,11
Acop [m <sup>2</sup> ]	19,78	TE [s]	6,00	$\delta N2$	0,00	e*	0,85
A1apert [m <sup>2</sup> ]	0,00	TF [s]	10,00	$\delta N3$	0,64	a0* [m/s <sup>2</sup> ]	0,44
A2apert [m <sup>2</sup> ]	0,00			$\delta N4$	1,00		
A3apert [m <sup>2</sup> ]	10,74			$\delta P1$	0,00		
A4apert [m <sup>2</sup> ]	2,40			$\delta P2$	0,00		
				$\delta P3$	0,32		
				$\delta P4$	0,82		

VERIFICA SLV LINEARE			
T1 [s]	0,36	a1 [m/s <sup>2</sup> ]	0,74
$\Psi(z)$	0,39	a2 [m/s <sup>2</sup> ]	0,97
$\gamma$	1,29	a0* [m/s <sup>2</sup> ]	0,44
Se(T1) [m/s <sup>2</sup> ]	3,86	a0*>max(a1;a2)	NON VERIFICATA

VERIFICA SLV NON LINEARE					
RP1 [m]	0,00	$\beta P1$ [rad]	0,00	Ms	0,0000
RP2 [m]	0,00	$\beta P2$ [rad]	0,00	$\theta$ [rad]	0,045424
RP3 [m]	2,76	$\beta P3$ [rad]	1,49	hbar [m]	5,56
RP4 [m]	7,03	$\beta P4$ [rad]	1,54	dk0 [m]	0,25
RN1 [m]	0,00	$\beta N1$ [rad]	0,00	$\delta x hbar$	0,65
RN2 [m]	0,00	$\beta N2$ [rad]	0,00	d0* [m]	0,30
RN3 [m]	5,51	$\beta N3$ [rad]	1,52	du* [m]	0,12
RN4 [m]	8,56	$\beta N4$ [rad]	1,54	ds* [m]	0,05
				as* [m/s <sup>2</sup> ]	0,37
				Ts* [s]	2,26
SDe1 [m/s <sup>2</sup> ]	0,10			SDe(Ts) [m/s <sup>2</sup> ]	0,10
SDe2 [m/s <sup>2</sup> ]	0,05			SDe(T1) [m/s <sup>2</sup> ]	0,01
du* [m]	0,12			Se(TS) [m/s <sup>2</sup> ]	0,77
du*>max(SDe1;SDe2)		VERIFICATA			

Tabella 5.97 Tabella di calcolo del cinematismo in LC2 e relative verifiche

**Macroelemento 8 – Cinematismo 1**

DATI GEOMETRICI		DATI MATERIALE		CARICHI			
n [piani]	3	$\gamma$ [kN/m <sup>3</sup> ]	18,00	G1 [kN/m <sup>2</sup> ]	0,00	P1 [kN]	0,00
H [m]	14,05	f <sub>m</sub> [Mpa]	240,00	G2 [kN/m <sup>2</sup> ]	0,00	P2 [kN]	0,00
z [m]	5,50	$\tau_0$ [Mpa]	6,00	G3 [kN/m <sup>2</sup> ]	3,53	P3 [kN]	327,32
h <sub>tot</sub> [m]	8,55	g [m/s <sup>2</sup> ]	9,81	G4 [kN/m <sup>2</sup> ]	3,40	P4 [kN]	210,32
h1 [m]	0,00	FC	1,20	G <sub>cop</sub> [kN/m <sup>2</sup> ]	2,16	N1 [kN]	0,00
h2 [m]	0,00	f <sub>md</sub> [Mpa]	100,00	Q1 [kN/m <sup>2</sup> ]	0,00	N2 [kN]	0,00
h3 [m]	5,50	f <sub>vd</sub> [Mpa]	2,50	Q2 [kN/m <sup>2</sup> ]	0,00	N3 [kN]	76,82
h4 [m]	3,05	ag [m/s <sup>2</sup> ]	0,99	Q3 [kN/m <sup>2</sup> ]	2,00	N4 [kN]	104,65
b1 [m]	0,00	F0	2,60	Q4 [kN/m <sup>2</sup> ]	0,50		
b2 [m]	0,00	TC* [s]	0,34	Q <sub>neve</sub> [kN/m <sup>2</sup> ]	1,00		
b3 [m]	0,45	$\eta$	1,00	$\psi_1$	0,00	t [m]	0,00
b4 [m]	0,45	S	1,50	$\psi_2$	0,00	$\alpha$	0,05
d1 [m]	0,00	Cc	1,50	$\psi_3$	0,30	Ms [kNm]	175,04
d2 [m]	0,00	Tc [s]	0,51	$\psi_4$	0,00	MR [kNm]	3694,84
d3 [m]	0,30	TB [s]	0,17	$\psi_{neve}$	0,00	$\vartheta$	0,12
d4 [m]	0,30	TD [s]	2,00				
I [m]	9,30	C1	0,05	SPOSTAMENTI VIRTUALI		CURVA DI CAPACITÀ	
Asolaio [m <sup>2</sup> ]	18,60	q	2,00	$\delta N1$	0,00	M* [kN]	60,96
A <sub>cop</sub> [m <sup>2</sup> ]	19,17	TE [s]	6,00	$\delta N2$	0,00	e*	0,83
A1 <sub>apert</sub> [m <sup>2</sup> ]	0,00	TF [s]	10,00	$\delta N3$	0,64	a0* [m/s <sup>2</sup> ]	0,47
A2 <sub>apert</sub> [m <sup>2</sup> ]	0,00			$\delta N4$	1,00		
A3 <sub>apert</sub> [m <sup>2</sup> ]	10,74			$\delta P1$	0,00		
A4 <sub>apert</sub> [m <sup>2</sup> ]	2,40			$\delta P2$	0,00		
				$\delta P3$	0,32		
				$\delta P4$	0,82		

VERIFICA SLV LINEARE			
T1 [s]	0,36	a1 [m/s <sup>2</sup> ]	0,74
$\Psi(z)$	0,39	a2 [m/s <sup>2</sup> ]	0,97
$\gamma$	1,29	a0* [m/s <sup>2</sup> ]	0,47
Se(T1) [m/s <sup>2</sup> ]	3,86	a0*>max(a1;a2)	NON VERIFICATA

VERIFICA SLV NON LINEARE					
RP1 [m]	0,00	$\beta P1$ [rad]	0,00	Ms	0,0000
RP2 [m]	0,00	$\beta P2$ [rad]	0,00	$\theta$ [rad]	0,047338
RP3 [m]	2,76	$\beta P3$ [rad]	1,49	h <sub>bar</sub> [m]	5,14
RP4 [m]	7,03	$\beta P4$ [rad]	1,54	dk0 [m]	0,24
RN1 [m]	0,00	$\beta N1$ [rad]	0,00	$\delta x_{hbar}$	0,60
RN2 [m]	0,00	$\beta N2$ [rad]	0,00	d0* [m]	0,29
RN3 [m]	5,51	$\beta N3$ [rad]	1,52	du* [m]	0,12
RN4 [m]	8,56	$\beta N4$ [rad]	1,54	ds* [m]	0,05
				as* [m/s <sup>2</sup> ]	0,39
				Ts* [s]	2,17
SDe1 [m/s <sup>2</sup> ]	0,10			SDe(Ts) [m/s <sup>2</sup> ]	0,10
SDe2 [m/s <sup>2</sup> ]	0,05			SDe(T1) [m/s <sup>2</sup> ]	0,01
du* [m]	0,12			Se(TS) [m/s <sup>2</sup> ]	0,83
du*>max(SDe1;SDe2)		VERIFICATA			

Tabella 5.98 Tabella di calcolo del cinematismo in LC2 e relative verifiche



**Macroelemento 9 – Cinematismo 1**

DATI GEOMETRICI		DATI MATERIALE		CARICHI			
n [piani]	3	$\gamma$ [kN/m <sup>3</sup> ]	18,00	G1 [kN/m <sup>2</sup> ]	0,00	P1 [kN]	0,00
H [m]	14,05	f <sub>m</sub> [Mpa]	240,00	G2 [kN/m <sup>2</sup> ]	0,00	P2 [kN]	0,00
z [m]	5,50	$\tau_0$ [Mpa]	6,00	G3 [kN/m <sup>2</sup> ]	3,53	P3 [kN]	138,82
htot [m]	8,55	g [m/s <sup>2</sup> ]	9,81	G4 [kN/m <sup>2</sup> ]	3,40	P4 [kN]	78,12
h1 [m]	0,00	FC	1,20	Gcop [kN/m <sup>2</sup> ]	2,16	N1 [kN]	0,00
h2 [m]	0,00	f <sub>md</sub> [Mpa]	100,00	Q1 [kN/m <sup>2</sup> ]	0,00	N2 [kN]	0,00
h3 [m]	5,50	f <sub>vd</sub> [Mpa]	2,50	Q2 [kN/m <sup>2</sup> ]	0,00	N3 [kN]	67,73
h4 [m]	3,05	ag [m/s <sup>2</sup> ]	0,99	Q3 [kN/m <sup>2</sup> ]	2,00	N4 [kN]	92,26
b1 [m]	0,00	F0	2,60	Q4 [kN/m <sup>2</sup> ]	0,50		
b2 [m]	0,00	TC* [s]	0,34	Qneve [kN/m <sup>2</sup> ]	1,00		
b3 [m]	0,40	$\eta$	1,00	$\psi_1$	0,00	t [m]	0,00
b4 [m]	0,40	S	1,50	$\psi_2$	0,00	$\alpha$	0,04
d1 [m]	0,00	Cc	1,50	$\psi_3$	0,30	Ms [kNm]	91,15
d2 [m]	0,00	Tc [s]	0,51	$\psi_4$	0,00	MR [kNm]	2091,92
d3 [m]	0,30	TB [s]	0,17	$\psi_{neve}$	0,00	$\theta$	0,12
d4 [m]	0,30	TD [s]	2,00				
l [m]	4,00	C1	0,05	SPOSTAMENTI VIRTUALI		CURVA DI CAPACITÀ	
Asolaio [m2]	16,40	q	2,00	$\delta N1$	0,00	M* [kN]	32,56
Acop [m2]	16,90	TE [s]	6,00	$\delta N2$	0,00	e*	0,85
A1apert [m2]	0,00	TF [s]	10,00	$\delta N3$	0,64	a0* [m/s <sup>2</sup> ]	0,42
A2apert [m2]	0,00			$\delta N4$	1,00		
A3apert [m2]	2,72			$\delta P1$	0,00		
A4apert [m2]	1,35			$\delta P2$	0,00		
				$\delta P3$	0,32		
				$\delta P4$	0,82		

VERIFICA SLV LINEARE			
T1 [s]	0,36	a1 [m/s <sup>2</sup> ]	0,74
$\Psi(z)$	0,39	a2 [m/s <sup>2</sup> ]	0,97
$\gamma$	1,29	a0* [m/s <sup>2</sup> ]	0,42
Se(T1) [m/s <sup>2</sup> ]	3,86	a0*>max(a1;a2)	NON VERIFICATA

VERIFICA SLV NON LINEARE					
RP1 [m]	0,00	$\beta P1$ [rad]	0,00	Ms	0,0000
RP2 [m]	0,00	$\beta P2$ [rad]	0,00	$\theta$ [rad]	0,043545
RP3 [m]	2,76	$\beta P3$ [rad]	1,50	hbar [m]	5,55
RP4 [m]	7,03	$\beta P4$ [rad]	1,54	dk0 [m]	0,24
RN1 [m]	0,00	$\beta N1$ [rad]	0,00	$\delta x hbar$	0,65
RN2 [m]	0,00	$\beta N2$ [rad]	0,00	d0* [m]	0,29
RN3 [m]	5,51	$\beta N3$ [rad]	1,52	du* [m]	0,11
RN4 [m]	8,56	$\beta N4$ [rad]	1,54	ds* [m]	0,05
				as* [m/s <sup>2</sup> ]	0,35
				Ts* [s]	2,26
SDe1 [m/s <sup>2</sup> ]	0,10			SDe(Ts) [m/s <sup>2</sup> ]	0,10
SDe2 [m/s <sup>2</sup> ]	0,05			SDe(T1) [m/s <sup>2</sup> ]	0,01
du* [m]	0,11			Se(TS) [m/s <sup>2</sup> ]	0,77
du*>max(SDe1;SDe2)		VERIFICATA			

Tabella 5.99 Tabella di calcolo del cinematismo in LC2 e relative verifiche

**Macroelemento 9 – Cinematismo 2**

DATI GEOMETRICI		DATI MATERIALE		CARICHI			
n [piani]	3	$\gamma$ [kN/m <sup>3</sup> ]	18,00	G1 [kN/m <sup>2</sup> ]	0,00	P1 [kN]	0,00
H [m]	14,05	f <sub>m</sub> [Mpa]	240,00	G2 [kN/m <sup>2</sup> ]	0,00	P2 [kN]	0,00
z [m]	11,00	$\tau_0$ [Mpa]	6,00	G3 [kN/m <sup>2</sup> ]	0,00	P3 [kN]	0,00
h <sub>tot</sub> [m]	3,05	g [m/s <sup>2</sup> ]	9,81	G4 [kN/m <sup>2</sup> ]	3,40	P4 [kN]	78,12
h1 [m]	0,00	FC	1,20	G <sub>cop</sub> [kN/m <sup>2</sup> ]	2,16	N1 [kN]	0,00
h2 [m]	0,00	f <sub>md</sub> [Mpa]	100,00	Q1 [kN/m <sup>2</sup> ]	0,00	N2 [kN]	0,00
h3 [m]	0,00	f <sub>vd</sub> [Mpa]	2,50	Q2 [kN/m <sup>2</sup> ]	0,00	N3 [kN]	0,00
h4 [m]	3,05	ag [m/s <sup>2</sup> ]	0,99	Q3 [kN/m <sup>2</sup> ]	0,00	N4 [kN]	92,26
b1 [m]	0,00	F0	2,60	Q4 [kN/m <sup>2</sup> ]	0,50		
b2 [m]	0,00	TC* [s]	0,34	Q <sub>neve</sub> [kN/m <sup>2</sup> ]	1,00		
b3 [m]	0,00	$\eta$	1,00	$\psi_1$	0,00	t [m]	0,00
b4 [m]	0,40	S	1,50	$\psi_2$	0,00	$\alpha$	0,11
d1 [m]	0,00	Cc	1,50	$\psi_3$	0,00	Ms [kNm]	43,25
d2 [m]	0,00	Tc [s]	0,51	$\psi_4$	0,00	MR [kNm]	400,54
d3 [m]	0,00	TB [s]	0,17	$\psi_{neve}$	0,00	$\theta$	0,33
d4 [m]	0,30	TD [s]	2,00				
l [m]	4,00	C1	0,05	SPOSTAMENTI VIRTUALI		CURVA DI CAPACITÀ	
Asolaio [m <sup>2</sup> ]	16,40	q	2,00	$\delta N1$	0,00	M* [kN]	15,73
Acop [m <sup>2</sup> ]	16,90	TE [s]	6,00	$\delta N2$	0,00	e*	0,91
A1apert [m <sup>2</sup> ]	0,00	TF [s]	10,00	$\delta N3$	0,00	a0* [m/s <sup>2</sup> ]	0,98
A2apert [m <sup>2</sup> ]	0,00			$\delta N4$	1,00		
A3apert [m <sup>2</sup> ]	0,00			$\delta P1$	0,00		
A4apert [m <sup>2</sup> ]	1,35			$\delta P2$	0,00		
				$\delta P3$	0,00		
				$\delta P4$	0,50		

VERIFICA SLV LINEARE			
T1 [s]	0,36	a1 [m/s <sup>2</sup> ]	0,74
$\Psi(z)$	0,78	a2 [m/s <sup>2</sup> ]	1,94
$\gamma$	1,29	a0* [m/s <sup>2</sup> ]	0,98
Se(T1) [m/s <sup>2</sup> ]	3,86	a0*>max(a1;a2)	NON VERIFICATA

VERIFICA SLV NON LINEARE					
RP1 [m]	0,00	$\beta P1$ [rad]	0,00	Ms	0,0000
RP2 [m]	0,00	$\beta P2$ [rad]	0,00	$\theta$ [rad]	0,107575
RP3 [m]	0,00	$\beta P3$ [rad]	0,00	h <sub>bar</sub> [m]	2,35
RP4 [m]	1,54	$\beta P4$ [rad]	1,44	dk0 [m]	0,25
RN1 [m]	0,00	$\beta N1$ [rad]	0,00	$\delta x_{hbar}$	0,77
RN2 [m]	0,00	$\beta N2$ [rad]	0,00	d0* [m]	0,28
RN3 [m]	0,00	$\beta N3$ [rad]	0,00	du* [m]	0,11
RN4 [m]	3,06	$\beta N4$ [rad]	1,47	ds* [m]	0,04
				as* [m/s <sup>2</sup> ]	0,82
				Ts* [s]	1,47
SDe1 [m/s <sup>2</sup> ]	0,10			SDe(Ts) [m/s <sup>2</sup> ]	0,10
SDe2 [m/s <sup>2</sup> ]	0,07			SDe(T1) [m/s <sup>2</sup> ]	0,01
du* [m]	0,11			Se(TS) [m/s <sup>2</sup> ]	1,83
du*>max(SDe1;SDe2)		VERIFICATA			

Tabella 5.100 Tabella di calcolo del cinematismo in LC2 e relative verifiche

Macroelemento 10 – Cinematismo 1

DATI GEOMETRICI		DATI MATERIALE		CARICHI			
n [piani]	3	$\gamma$ [kN/m <sup>3</sup> ]	18,00	G1 [kN/m <sup>2</sup> ]	0,00	P1 [kN]	0,00
H [m]	14,05	f <sub>m</sub> [Mpa]	240,00	G2 [kN/m <sup>2</sup> ]	4,80	P2 [kN]	118,58
z [m]	0,00	$\tau_0$ [Mpa]	6,00	G3 [kN/m <sup>2</sup> ]	4,80	P3 [kN]	101,17
htot [m]	14,05	g [m/s <sup>2</sup> ]	9,81	G4 [kN/m <sup>2</sup> ]	3,40	P4 [kN]	62,25
h1 [m]	0,00	FC	1,20	Gcop [kN/m <sup>2</sup> ]	2,16	N1 [kN]	0,00
h2 [m]	5,50	f <sub>md</sub> [Mpa]	100,00	Q1 [kN/m <sup>2</sup> ]	0,00	N2 [kN]	93,74
h3 [m]	5,50	f <sub>vd</sub> [Mpa]	2,50	Q2 [kN/m <sup>2</sup> ]	4,00	N3 [kN]	93,74
h4 [m]	3,05	ag [m/s <sup>2</sup> ]	0,99	Q3 [kN/m <sup>2</sup> ]	4,00	N4 [kN]	73,26
b1 [m]	0,00	F0	2,60	Q4 [kN/m <sup>2</sup> ]	0,50		
b2 [m]	0,60	TC* [s]	0,34	Qneve [kN/m <sup>2</sup> ]	1,00		
b3 [m]	0,45	$\eta$	1,00	$\psi_1$	0,00	t [m]	0,00
b4 [m]	0,45	S	1,50	$\psi_2$	0,60	$\alpha$	0,03
d1 [m]	0,00	Cc	1,50	$\psi_3$	0,60	Ms [kNm]	149,93
d2 [m]	0,30	Tc [s]	0,51	$\psi_4$	0,00	MR [kNm]	4516,42
d3 [m]	0,30	TB [s]	0,17	$\psi_{neve}$	0,00	$\theta$	0,07
d4 [m]	0,30	TD [s]	2,00				
l [m]	3,10	C1	0,05	SPOSTAMENTI VIRTUALI		CURVA DI CAPACITÀ	
Asolaio [m <sup>2</sup> ]	13,02	q	2,00	$\delta N1$	0,00	M* [kN]	45,02
Acop [m <sup>2</sup> ]	13,42	TE [s]	6,00	$\delta N2$	0,39	e*	0,81
A1apert [m <sup>2</sup> ]	0,00	TF [s]	10,00	$\delta N3$	0,78	a0* [m/s <sup>2</sup> ]	0,33
A2apert [m <sup>2</sup> ]	6,07			$\delta N4$	1,00		
A3apert [m <sup>2</sup> ]	4,56			$\delta P1$	0,00		
A4apert [m <sup>2</sup> ]	1,77			$\delta P2$	0,20		
				$\delta P3$	0,59		
				$\delta P4$	0,89		

VERIFICA SLV LINEARE			
T1 [s]	0,36	a1 [m/s <sup>2</sup> ]	0,74
$\Psi(z)$	0,00	a2 [m/s <sup>2</sup> ]	0,00
$\gamma$	1,29	a0* [m/s <sup>2</sup> ]	0,33
Se(T1) [m/s <sup>2</sup> ]	3,86	a0*>max(a1;a2)	NON VERIFICATA

VERIFICA SLV NON LINEARE					
RP1 [m]	0,00	$\beta P1$ [rad]	0,00	Ms	0,0000
RP2 [m]	2,77	$\beta P2$ [rad]	1,46	$\theta$ [rad]	0,033185
RP3 [m]	8,25	$\beta P3$ [rad]	1,54	hbar [m]	8,32
RP4 [m]	12,53	$\beta P4$ [rad]	1,55	dk0 [m]	0,28
RN1 [m]	0,00	$\beta N1$ [rad]	0,00	$\delta x hbar$	0,59
RN2 [m]	5,51	$\beta N2$ [rad]	1,52	d0* [m]	0,34
RN3 [m]	11,00	$\beta N3$ [rad]	1,54	du* [m]	0,14
RN4 [m]	14,05	$\beta N4$ [rad]	1,55	ds* [m]	0,05
				as* [m/s <sup>2</sup> ]	0,28
				Ts* [s]	2,77
SDe1 [m/s <sup>2</sup> ]	0,10			SDe(Ts) [m/s <sup>2</sup> ]	0,10
SDe2 [m/s <sup>2</sup> ]	0,00			SDe(T1) [m/s <sup>2</sup> ]	0,01
du* [m]	0,14			Se(TS) [m/s <sup>2</sup> ]	0,51
du*>max(SDe1;SDe2)		VERIFICATA			

Tabella 5.101 Tabella di calcolo del cinematismo in LC2 e relative verifiche

**Macroelemento 10 – Cinematismo 2**

DATI GEOMETRICI		DATI MATERIALE		CARICHI			
n [piani]	3	$\gamma$ [kN/m <sup>3</sup> ]	18,00	G1 [kN/m <sup>2</sup> ]	0,00	P1 [kN]	0,00
H [m]	14,05	f <sub>m</sub> [Mpa]	240,00	G2 [kN/m <sup>2</sup> ]	0,00	P2 [kN]	0,00
z [m]	5,50	t <sub>0</sub> [Mpa]	6,00	G3 [kN/m <sup>2</sup> ]	4,80	P3 [kN]	101,17
htot [m]	8,55	g [m/s <sup>2</sup> ]	9,81	G4 [kN/m <sup>2</sup> ]	3,40	P4 [kN]	62,25
h1 [m]	0,00	FC	1,20	Gcop [kN/m <sup>2</sup> ]	2,16	N1 [kN]	0,00
h2 [m]	0,00	f <sub>md</sub> [Mpa]	100,00	Q1 [kN/m <sup>2</sup> ]	0,00	N2 [kN]	0,00
h3 [m]	5,50	f <sub>vd</sub> [Mpa]	2,50	Q2 [kN/m <sup>2</sup> ]	0,00	N3 [kN]	93,74
h4 [m]	3,05	ag [m/s <sup>2</sup> ]	0,99	Q3 [kN/m <sup>2</sup> ]	4,00	N4 [kN]	73,26
b1 [m]	0,00	F0	2,60	Q4 [kN/m <sup>2</sup> ]	0,50		
b2 [m]	0,00	TC* [s]	0,34	Qneve [kN/m <sup>2</sup> ]	1,00		
b3 [m]	0,45	$\eta$	1,00	$\psi$ 1	0,00	t [m]	0,00
b4 [m]	0,45	S	1,50	$\psi$ 2	0,00	$\alpha$	0,05
d1 [m]	0,00	Cc	1,50	$\psi$ 3	0,60	Ms [kNm]	86,63
d2 [m]	0,00	Tc [s]	0,51	$\psi$ 4	0,00	MR [kNm]	1857,43
d3 [m]	0,30	TB [s]	0,17	$\psi$ neve	0,00	$\vartheta$	0,12
d4 [m]	0,30	TD [s]	2,00				
l [m]	3,10	C1	0,05	SPOSTAMENTI VIRTUALI		CURVA DI CAPACITÀ	
A <sub>solaio</sub> [m <sup>2</sup> ]	13,02	q	2,00	$\delta$ N1	0,00	M* [kN]	29,24
A <sub>cop</sub> [m <sup>2</sup> ]	13,42	TE [s]	6,00	$\delta$ N2	0,00	e*	0,87
A <sub>1apert</sub> [m <sup>2</sup> ]	0,00	TF [s]	10,00	$\delta$ N3	0,64	a0* [m/s <sup>2</sup> ]	0,44
A <sub>2apert</sub> [m <sup>2</sup> ]	0,00			$\delta$ N4	1,00		
A <sub>3apert</sub> [m <sup>2</sup> ]	4,56			$\delta$ P1	0,00		
A <sub>4apert</sub> [m <sup>2</sup> ]	1,77			$\delta$ P2	0,00		
				$\delta$ P3	0,32		
				$\delta$ P4	0,82		

VERIFICA SLV LINEARE			
T1 [s]	0,36	a1 [m/s <sup>2</sup> ]	0,74
$\Psi(z)$	0,39	a2 [m/s <sup>2</sup> ]	0,97
$\gamma$	1,29	a0* [m/s <sup>2</sup> ]	0,44
Se(T1) [m/s <sup>2</sup> ]	3,86	a0*>max(a1;a2)	NON VERIFICATA

VERIFICA SLV NON LINEARE					
RP1 [m]	0,00	$\beta$ P1 [rad]	0,00	Ms	0,0000
RP2 [m]	0,00	$\beta$ P2 [rad]	0,00	$\theta$ [rad]	0,046608
RP3 [m]	2,76	$\beta$ P3 [rad]	1,49	h <sub>bar</sub> [m]	5,62
RP4 [m]	7,03	$\beta$ P4 [rad]	1,54	dk0 [m]	0,26
RN1 [m]	0,00	$\beta$ N1 [rad]	0,00	$\delta$ xh <sub>bar</sub>	0,66
RN2 [m]	0,00	$\beta$ N2 [rad]	0,00	d0* [m]	0,30
RN3 [m]	5,51	$\beta$ N3 [rad]	1,52	du* [m]	0,12
RN4 [m]	8,56	$\beta$ N4 [rad]	1,54	ds* [m]	0,05
				as* [m/s <sup>2</sup> ]	0,37
				Ts* [s]	2,27
SDe1 [m/s <sup>2</sup> ]	0,10			SDe(Ts) [m/s <sup>2</sup> ]	0,10
SDe2 [m/s <sup>2</sup> ]	0,05			SDe(T1) [m/s <sup>2</sup> ]	0,01
du* [m]	0,12			Se(TS) [m/s <sup>2</sup> ]	0,76
du*>max(SDe1;SDe2)					VERIFICATA

Tabella 5.102 Tabella di calcolo del cinematismo in LC2 e relative verifiche

**Macroelemento 11 – Cinematismo 1**

DATI GEOMETRICI		DATI MATERIALE		CARICHI			
n [piani]	3	$\gamma$ [kN/m <sup>3</sup> ]	18,00	G1 [kN/m <sup>2</sup> ]	0,00	P1 [kN]	0,00
H [m]	14,05	f <sub>m</sub> [Mpa]	240,00	G2 [kN/m <sup>2</sup> ]	0,00	P2 [kN]	0,00
z [m]	5,50	t <sub>0</sub> [Mpa]	6,00	G3 [kN/m <sup>2</sup> ]	3,53	P3 [kN]	383,05
htot [m]	8,55	g [m/s <sup>2</sup> ]	9,81	G4 [kN/m <sup>2</sup> ]	3,40	P4 [kN]	233,73
h1 [m]	0,00	FC	1,20	Gcop [kN/m <sup>2</sup> ]	2,16	N1 [kN]	0,00
h2 [m]	0,00	f <sub>md</sub> [Mpa]	100,00	Q1 [kN/m <sup>2</sup> ]	0,00	N2 [kN]	0,00
h3 [m]	5,50	f <sub>vd</sub> [Mpa]	2,50	Q2 [kN/m <sup>2</sup> ]	0,00	N3 [kN]	83,88
h4 [m]	3,05	ag [m/s <sup>2</sup> ]	0,99	Q3 [kN/m <sup>2</sup> ]	2,00	N4 [kN]	113,31
b1 [m]	0,00	F0	2,60	Q4 [kN/m <sup>2</sup> ]	0,50		
b2 [m]	0,00	TC* [s]	0,34	Qneve [kN/m <sup>2</sup> ]	1,00		
b3 [m]	0,45	$\eta$	1,00	$\psi$ 1	0,00	t [m]	0,00
b4 [m]	0,45	S	1,50	$\psi$ 2	0,00	$\alpha$	0,05
d1 [m]	0,00	Cc	1,50	$\psi$ 3	0,30	Ms [kNm]	197,51
d2 [m]	0,00	Tc [s]	0,51	$\psi$ 4	0,00	MR [kNm]	4125,47
d3 [m]	0,30	TB [s]	0,17	$\psi$ neve	0,00	$\theta$	0,12
d4 [m]	0,30	TD [s]	2,00				
l [m]	10,50	C1	0,05	SPOSTAMENTI VIRTUALI		CURVA DI CAPACITÀ	
Asolaio [m <sup>2</sup> ]	20,31	q	2,00	$\delta$ N1	0,00	M* [kN]	68,70
Acop [m <sup>2</sup> ]	20,49	TE [s]	6,00	$\delta$ N2	0,00	e*	0,83
A1apert [m <sup>2</sup> ]	0,00	TF [s]	10,00	$\delta$ N3	0,64	a0* [m/s <sup>2</sup> ]	0,47
A2apert [m <sup>2</sup> ]	0,00			$\delta$ N4	1,00		
A3apert [m <sup>2</sup> ]	10,46			$\delta$ P1	0,00		
A4apert [m <sup>2</sup> ]	3,17			$\delta$ P2	0,00		
				$\delta$ P3	0,32		
				$\delta$ P4	0,82		

VERIFICA SLV LINEARE			
T1 [s]	0,36	a1 [m/s <sup>2</sup> ]	0,74
$\Psi(z)$	0,39	a2 [m/s <sup>2</sup> ]	0,97
$\gamma$	1,29	a0* [m/s <sup>2</sup> ]	0,47
Se(T1) [m/s <sup>2</sup> ]	3,86	a0*>max(a1;a2)	NON VERIFICATA

VERIFICA SLV NON LINEARE					
RP1 [m]	0,00	$\beta$ P1 [rad]	0,00	Ms	0,0000
RP2 [m]	0,00	$\beta$ P2 [rad]	0,00	$\theta$ [rad]	0,04784
RP3 [m]	2,76	$\beta$ P3 [rad]	1,49	hbar [m]	5,07
RP4 [m]	7,03	$\beta$ P4 [rad]	1,54	dk0 [m]	0,24
RN1 [m]	0,00	$\beta$ N1 [rad]	0,00	$\delta$ xhbar	0,59
RN2 [m]	0,00	$\beta$ N2 [rad]	0,00	d0* [m]	0,29
RN3 [m]	5,51	$\beta$ N3 [rad]	1,52	du* [m]	0,12
RN4 [m]	8,56	$\beta$ N4 [rad]	1,54	ds* [m]	0,05
				as* [m/s <sup>2</sup> ]	0,40
				Ts* [s]	2,16
SDe1 [m/s <sup>2</sup> ]	0,10			SDe(Ts) [m/s <sup>2</sup> ]	0,10
SDe2 [m/s <sup>2</sup> ]	0,05			SDe(T1) [m/s <sup>2</sup> ]	0,01
du* [m]	0,12			Se(TS) [m/s <sup>2</sup> ]	0,85
du*>max(SDe1;SDe2)					VERIFICATA

Tabella 5.103 Tabella di calcolo del cinematismo in LC2 e relative verifiche

**Macroelemento 12 – Cinematismo 1**

DATI GEOMETRICI		DATI MATERIALE		CARICHI			
n [piani]	3	$\gamma$ [kN/m <sup>3</sup> ]	18,00	G1 [kN/m <sup>2</sup> ]	0,00	P1 [kN]	0,00
H [m]	14,35	f <sub>m</sub> [Mpa]	240,00	G2 [kN/m <sup>2</sup> ]	0,00	P2 [kN]	0,00
z [m]	5,80	t <sub>0</sub> [Mpa]	6,00	G3 [kN/m <sup>2</sup> ]	3,88	P3 [kN]	138,39
h <sub>tot</sub> [m]	8,55	g [m/s <sup>2</sup> ]	9,81	G4 [kN/m <sup>2</sup> ]	3,40	P4 [kN]	84,27
h1 [m]	0,00	FC	1,20	G <sub>cop</sub> [kN/m <sup>2</sup> ]	2,16	N1 [kN]	0,00
h2 [m]	0,00	f <sub>md</sub> [Mpa]	100,00	Q1 [kN/m <sup>2</sup> ]	0,00	N2 [kN]	0,00
h3 [m]	5,50	f <sub>vd</sub> [Mpa]	2,50	Q2 [kN/m <sup>2</sup> ]	0,00	N3 [kN]	91,08
h4 [m]	3,05	ag [m/s <sup>2</sup> ]	0,99	Q3 [kN/m <sup>2</sup> ]	2,00	N4 [kN]	114,35
b1 [m]	0,00	F0	2,60	Q4 [kN/m <sup>2</sup> ]	0,50		
b2 [m]	0,00	TC* [s]	0,34	Q <sub>neve</sub> [kN/m <sup>2</sup> ]	1,00		
b3 [m]	0,45	$\eta$	1,00	$\psi$ 1	0,00	t [m]	0,00
b4 [m]	0,45	S	1,50	$\psi$ 2	0,00	Q	0,05
d1 [m]	0,00	Cc	1,50	$\psi$ 3	0,30	Ms [kNm]	111,41
d2 [m]	0,00	Tc [s]	0,51	$\psi$ 4	0,00	MR [kNm]	2451,20
d3 [m]	0,30	TB [s]	0,17	$\psi$ <sub>neve</sub>	0,00	$\vartheta$	0,12
d4 [m]	0,30	TD [s]	2,00				
l [m]	3,87	C1	0,05	SPOSTAMENTI VIRTUALI		CURVA DI CAPACITÀ	
A <sub>sol</sub> [m <sup>2</sup> ]	20,33	q	2,00	$\delta$ N1	0,00	M* [kN]	37,53
A <sub>cop</sub> [m <sup>2</sup> ]	20,94	TE [s]	6,00	$\delta$ N2	0,00	e*	0,86
A1 <sub>apert</sub> [m <sup>2</sup> ]	0,00	TF [s]	10,00	$\delta$ N3	0,64	a0* [m/s <sup>2</sup> ]	0,43
A2 <sub>apert</sub> [m <sup>2</sup> ]	0,00			$\delta$ N4	1,00		
A3 <sub>apert</sub> [m <sup>2</sup> ]	4,20			$\delta$ P1	0,00		
A4 <sub>apert</sub> [m <sup>2</sup> ]	1,40			$\delta$ P2	0,00		
				$\delta$ P3	0,32		
				$\delta$ P4	0,82		

VERIFICA SLV LINEARE			
T1 [s]	0,37	a1 [m/s <sup>2</sup> ]	0,74
$\Psi(z)$	0,40	a2 [m/s <sup>2</sup> ]	1,00
$\gamma$	1,29	a0* [m/s <sup>2</sup> ]	0,43
Se(T1) [m/s <sup>2</sup> ]	3,86	a0*>max(a1;a2)	NON VERIFICATA

VERIFICA SLV NON LINEARE					
RP1 [m]	0,00	$\beta$ P1 [rad]	0,00	Ms	0,0000
RP2 [m]	0,00	$\beta$ P2 [rad]	0,00	$\theta$ [rad]	0,045421
RP3 [m]	2,76	$\beta$ P3 [rad]	1,49	h <sub>bar</sub> [m]	5,73
RP4 [m]	7,03	$\beta$ P4 [rad]	1,54	dk0 [m]	0,26
RN1 [m]	0,00	$\beta$ N1 [rad]	0,00	$\delta$ x <sub>hbar</sub>	0,67
RN2 [m]	0,00	$\beta$ N2 [rad]	0,00	d0* [m]	0,30
RN3 [m]	5,51	$\beta$ N3 [rad]	1,52	du* [m]	0,12
RN4 [m]	8,56	$\beta$ N4 [rad]	1,54	ds* [m]	0,05
				as* [m/s <sup>2</sup> ]	0,36
				Ts* [s]	2,29
SDe1 [m/s <sup>2</sup> ]	0,10			SDe(Ts) [m/s <sup>2</sup> ]	0,10
SDe2 [m/s <sup>2</sup> ]	0,05			SDe(T1) [m/s <sup>2</sup> ]	0,01
du* [m]	0,12			Se(TS) [m/s <sup>2</sup> ]	0,75
du*>max(SDe1;SDe2)		VERIFICATA			

Tabella 5.104 Tabella di calcolo del cinematismo in LC2 e relative verifiche

Macroelemento 13 – Cinematismo 1

DATI GEOMETRICI		DATI MATERIALE		CARICHI			
n [piani]	3	$\gamma$ [kN/m <sup>3</sup> ]	18,00	G1 [kN/m <sup>2</sup> ]	0,00	P1 [kN]	0,00
H [m]	14,35	f <sub>m</sub> [Mpa]	240,00	G2 [kN/m <sup>2</sup> ]	0,00	P2 [kN]	0,00
z [m]	5,80	t <sub>0</sub> [Mpa]	6,00	G3 [kN/m <sup>2</sup> ]	3,88	P3 [kN]	138,02
htot [m]	8,55	g [m/s <sup>2</sup> ]	9,81	G4 [kN/m <sup>2</sup> ]	3,40	P4 [kN]	89,46
h1 [m]	0,00	FC	1,20	Gcop [kN/m <sup>2</sup> ]	2,16	N1 [kN]	0,00
h2 [m]	0,00	f <sub>md</sub> [Mpa]	100,00	Q1 [kN/m <sup>2</sup> ]	0,00	N2 [kN]	0,00
h3 [m]	5,50	f <sub>vd</sub> [Mpa]	2,50	Q2 [kN/m <sup>2</sup> ]	0,00	N3 [kN]	95,96
h4 [m]	3,05	a <sub>g</sub> [m/s <sup>2</sup> ]	0,99	Q3 [kN/m <sup>2</sup> ]	2,00	N4 [kN]	120,50
b1 [m]	0,00	F0	2,60	Q4 [kN/m <sup>2</sup> ]	0,50		
b2 [m]	0,00	TC* [s]	0,34	Qneve [kN/m <sup>2</sup> ]	1,00		
b3 [m]	0,45	$\eta$	1,00	$\psi$ 1	0,00	t [m]	0,00
b4 [m]	0,45	S	1,50	$\psi$ 2	0,00	$\alpha$	0,05
d1 [m]	0,00	Cc	1,50	$\psi$ 3	0,30	Ms [kNm]	115,80
d2 [m]	0,00	Tc [s]	0,51	$\psi$ 4	0,00	M <sub>R</sub> [kNm]	2566,05
d3 [m]	0,30	TB [s]	0,17	$\psi$ neve	0,00	$\delta$	0,12
d4 [m]	0,30	TD [s]	2,00				
l [m]	4,08	C1	0,05	SPOSTAMENTI VIRTUALI		CURVA DI CAPACITÀ	
Asolaio [m <sup>2</sup> ]	21,42	q	2,00	$\delta$ N1	0,00	M* [kN]	39,09
A <sub>cop</sub> [m <sup>2</sup> ]	22,07	TE [s]	6,00	$\delta$ N2	0,00	e*	0,86
A1 <sub>apert</sub> [m <sup>2</sup> ]	0,00	TF [s]	10,00	$\delta$ N3	0,64	a0* [m/s <sup>2</sup> ]	0,43
A2 <sub>apert</sub> [m <sup>2</sup> ]	0,00			$\delta$ N4	1,00		
A3 <sub>apert</sub> [m <sup>2</sup> ]	5,40			$\delta$ P1	0,00		
A4 <sub>apert</sub> [m <sup>2</sup> ]	1,40			$\delta$ P2	0,00		
				$\delta$ P3	0,32		
				$\delta$ P4	0,82		

VERIFICA SLV LINEARE			
T1 [s]	0,37	a1 [m/s <sup>2</sup> ]	0,74
$\Psi(z)$	0,40	a2 [m/s <sup>2</sup> ]	1,00
$\gamma$	1,29	a0* [m/s <sup>2</sup> ]	0,43
Se(T1) [m/s <sup>2</sup> ]	3,86	a0*>max(a1;a2)	NON VERIFICATA

VERIFICA SLV NON LINEARE					
RP1 [m]	0,00	$\beta$ P1 [rad]	0,00	Ms	0,0000
RP2 [m]	0,00	$\beta$ P2 [rad]	0,00	$\theta$ [rad]	0,045097
RP3 [m]	2,76	$\beta$ P3 [rad]	1,49	h <sub>bar</sub> [m]	5,78
RP4 [m]	7,03	$\beta$ P4 [rad]	1,54	dk0 [m]	0,26
RN1 [m]	0,00	$\beta$ N1 [rad]	0,00	$\delta$ xh <sub>bar</sub>	0,68
RN2 [m]	0,00	$\beta$ N2 [rad]	0,00	d0* [m]	0,30
RN3 [m]	5,51	$\beta$ N3 [rad]	1,52	du* [m]	0,12
RN4 [m]	8,56	$\beta$ N4 [rad]	1,54	ds* [m]	0,05
				as* [m/s <sup>2</sup> ]	0,36
				Ts* [s]	2,30
SDe1 [m/s <sup>2</sup> ]	0,10			SDe(Ts) [m/s <sup>2</sup> ]	0,10
SDe2 [m/s <sup>2</sup> ]	0,05			SDe(T1) [m/s <sup>2</sup> ]	0,01
du* [m]	0,12			Se(TS) [m/s <sup>2</sup> ]	0,74
du*>max(SDe1;SDe2)		VERIFICATA			

Tabella 5.105 Tabella di calcolo del cinematismo in LC2 e relative verifiche

**Macroelemento 14 – Cinematismo 1**

DATI GEOMETRICI		DATI MATERIALE		CARICHI			
n [piani]	3	$\gamma$ [kN/m <sup>3</sup> ]	18,00	G1 [kN/m <sup>2</sup> ]	0,00	P1 [kN]	0,00
H [m]	14,35	f <sub>m</sub> [Mpa]	240,00	G2 [kN/m <sup>2</sup> ]	0,00	P2 [kN]	0,00
z [m]	5,80	t <sub>0</sub> [Mpa]	6,00	G3 [kN/m <sup>2</sup> ]	3,88	P3 [kN]	183,06
htot [m]	8,55	g [m/s <sup>2</sup> ]	9,81	G4 [kN/m <sup>2</sup> ]	3,40	P4 [kN]	142,40
h1 [m]	0,00	FC	1,20	Gcop [kN/m <sup>2</sup> ]	2,16	N1 [kN]	0,00
h2 [m]	0,00	f <sub>md</sub> [Mpa]	100,00	Q1 [kN/m <sup>2</sup> ]	0,00	N2 [kN]	0,00
h3 [m]	5,50	f <sub>vd</sub> [Mpa]	2,50	Q2 [kN/m <sup>2</sup> ]	0,00	N3 [kN]	160,03
h4 [m]	3,05	ag [m/s <sup>2</sup> ]	0,99	Q3 [kN/m <sup>2</sup> ]	2,00	N4 [kN]	200,96
b1 [m]	0,00	F0	2,60	Q4 [kN/m <sup>2</sup> ]	0,50		
b2 [m]	0,00	TC* [s]	0,34	Qneve [kN/m <sup>2</sup> ]	1,00		
b3 [m]	0,45	$\eta$	1,00	$\psi$ 1	0,00	t [m]	0,00
b4 [m]	0,45	S	1,50	$\psi$ 2	0,00	Q	0,04
d1 [m]	0,00	Cc	1,50	$\psi$ 3	0,30	Ms [kNm]	181,11
d2 [m]	0,00	Tc [s]	0,51	$\psi$ 4	0,00	MR [kNm]	4102,09
d3 [m]	0,30	TB [s]	0,17	$\psi$ neve	0,00	$\vartheta$	0,12
d4 [m]	0,30	TD [s]	2,00				
l [m]	7,60	C1	0,05	SPOSTAMENTI VIRTUALI		CURVA DI CAPACITÀ	
Aso1aio [m2]	35,72	q	2,00	$\delta$ N1	0,00	M* [kN]	61,39
Acop [m2]	36,81	TE [s]	6,00	$\delta$ N2	0,00	e*	0,88
A1apert [m2]	0,00	TF [s]	10,00	$\delta$ N3	0,64	a0* [m/s <sup>2</sup> ]	0,41
A2apert [m2]	0,00			$\delta$ N4	1,00		
A3apert [m2]	19,20			$\delta$ P1	0,00		
A4apert [m2]	5,60			$\delta$ P2	0,00		
				$\delta$ P3	0,32		
				$\delta$ P4	0,82		

VERIFICA SLV LINEARE			
T1 [s]	0,37	a1 [m/s <sup>2</sup> ]	0,74
$\Psi(z)$	0,40	a2 [m/s <sup>2</sup> ]	1,00
$\gamma$	1,29	a0* [m/s <sup>2</sup> ]	0,41
Se(T1) [m/s <sup>2</sup> ]	3,86	a0*>max(a1;a2)	NON VERIFICATA

VERIFICA SLV NON LINEARE					
RP1 [m]	0,00	$\beta$ P1 [rad]	0,00	Ms	0,0000
RP2 [m]	0,00	$\beta$ P2 [rad]	0,00	$\theta$ [rad]	0,044122
RP3 [m]	2,76	$\beta$ P3 [rad]	1,49	hbar [m]	5,98
RP4 [m]	7,03	$\beta$ P4 [rad]	1,54	dk0 [m]	0,26
RN1 [m]	0,00	$\beta$ N1 [rad]	0,00	$\delta$ xhbar	0,70
RN2 [m]	0,00	$\beta$ N2 [rad]	0,00	d0* [m]	0,30
RN3 [m]	5,51	$\beta$ N3 [rad]	1,52	du* [m]	0,12
RN4 [m]	8,56	$\beta$ N4 [rad]	1,54	ds* [m]	0,05
				as* [m/s <sup>2</sup> ]	0,35
				Ts* [s]	2,34
SDe1 [m/s <sup>2</sup> ]	0,10			SDe(Ts) [m/s <sup>2</sup> ]	0,10
SDe2 [m/s <sup>2</sup> ]	0,05			SDe(T1) [m/s <sup>2</sup> ]	0,01
du* [m]	0,12			Se(TS) [m/s <sup>2</sup> ]	0,72
du*>max(SDe1;SDe2)		VERIFICATA			

Tabella 5.106 Tabella di calcolo del cinematismo in LC2 e relative verifiche



Macroelemento 15 - Cinematismo 1

DATI GEOMETRICI		DATI MATERIALE		CARICHI			
n [piani]	3	$\gamma$ [kN/m <sup>3</sup> ]	18,00	G1 [kN/m <sup>2</sup> ]	0,00	P1 [kN]	0,00
H [m]	11,69	f <sub>m</sub> [Mpa]	240,00	G2 [kN/m <sup>2</sup> ]	0,00	P2 [kN]	0,00
z [m]	4,80	t <sub>0</sub> [Mpa]	6,00	G3 [kN/m <sup>2</sup> ]	3,53	P3 [kN]	123,64
htot [m]	6,89	g [m/s <sup>2</sup> ]	9,81	G4 [kN/m <sup>2</sup> ]	3,40	P4 [kN]	88,45
h1 [m]	0,00	FC	1,20	G <sub>cop</sub> [kN/m <sup>2</sup> ]	2,16	N1 [kN]	0,00
h2 [m]	0,00	f <sub>md</sub> [Mpa]	100,00	Q1 [kN/m <sup>2</sup> ]	0,00	N2 [kN]	0,00
h3 [m]	4,44	f <sub>vd</sub> [Mpa]	2,50	Q2 [kN/m <sup>2</sup> ]	0,00	N3 [kN]	104,16
h4 [m]	2,45	ag [m/s <sup>2</sup> ]	0,99	Q3 [kN/m <sup>2</sup> ]	2,00	N4 [kN]	141,91
b1 [m]	0,00	F0	2,60	Q4 [kN/m <sup>2</sup> ]	0,50		
b2 [m]	0,00	TC* [s]	0,34	Q <sub>neve</sub> [kN/m <sup>2</sup> ]	1,00		
b3 [m]	0,45	$\eta$	1,00	$\psi$ 1	0,00	t [m]	0,00
b4 [m]	0,45	S	1,50	$\psi$ 2	0,00	$\alpha$	0,05
d1 [m]	0,00	Cc	1,50	$\psi$ 3	0,30	Ms [kNm]	121,29
d2 [m]	0,00	Tc [s]	0,51	$\psi$ 4	0,00	MR [kNm]	2215,77
d3 [m]	0,30	TB [s]	0,17	$\psi$ neve	0,00	$\theta$	0,15
d4 [m]	0,30	TD [s]	2,00				
l [m]	5,60	C1	0,05	SPOSTAMENTI VIRTUALI		CURVA DI CAPACITÀ	
A <sub>solai</sub> [m <sup>2</sup> ]	25,22	q	2,00	$\delta$ N1	0,00	M* [kN]	40,89
A <sub>cop</sub> [m <sup>2</sup> ]	26,00	TE [s]	6,00	$\delta$ N2	0,00	e*	0,88
A1 <sub>apert</sub> [m <sup>2</sup> ]	0,00	TF [s]	10,00	$\delta$ N3	0,64	a0* [m/s <sup>2</sup> ]	0,51
A2 <sub>apert</sub> [m <sup>2</sup> ]	0,00			$\delta$ N4	1,00		
A3 <sub>apert</sub> [m <sup>2</sup> ]	9,60			$\delta$ P1	0,00		
A4 <sub>apert</sub> [m <sup>2</sup> ]	2,80			$\delta$ P2	0,00		
				$\delta$ P3	0,32		
				$\delta$ P4	0,82		

VERIFICA SLV LINEARE			
T1 [s]	0,32	a1 [m/s <sup>2</sup> ]	0,74
$\Psi(z)$	0,41	a2 [m/s <sup>2</sup> ]	1,02
$\gamma$	1,29	a0* [m/s <sup>2</sup> ]	0,51
Se(T1) [m/s <sup>2</sup> ]	3,86	a0*>max(a1;a2)	NON VERIFICATA

VERIFICA SLV NON LINEARE					
RP1 [m]	0,00	$\beta$ P1 [rad]	0,00	Ms	0,0000
RP2 [m]	0,00	$\beta$ P2 [rad]	0,00	$\theta$ [rad]	0,054685
RP3 [m]	2,23	$\beta$ P3 [rad]	1,47	h <sub>bar</sub> [m]	4,84
RP4 [m]	5,67	$\beta$ P4 [rad]	1,53	dk0 [m]	0,26
RN1 [m]	0,00	$\beta$ N1 [rad]	0,00	$\delta$ xh <sub>bar</sub>	0,70
RN2 [m]	0,00	$\beta$ N2 [rad]	0,00	d0* [m]	0,30
RN3 [m]	4,45	$\beta$ N3 [rad]	1,50	du* [m]	0,12
RN4 [m]	6,90	$\beta$ N4 [rad]	1,53	ds* [m]	0,05
				as* [m/s <sup>2</sup> ]	0,43
				Ts* [s]	2,11
SDe1 [m/s <sup>2</sup> ]	0,10			SDe(Ts) [m/s <sup>2</sup> ]	0,10
SDe2 [m/s <sup>2</sup> ]	0,04			SDe(T1) [m/s <sup>2</sup> ]	0,01
du* [m]	0,12			Se(TS) [m/s <sup>2</sup> ]	0,89
du*>max(SDe1;SDe2)				VERIFICATA	

Tabella 5.107 Tabella di calcolo del cinematismo in LC2 e relative verifiche

Il confronto dell'analisi in LC1 e in LC2 è utile per comprendere i vantaggi che può portare una maggiore conoscenza dell'edificio nel suo complesso.

In LC2 tutte le verifiche non lineari sono soddisfatte.

Si sottolinea però che nella presente tesi il livello di conoscenza LC2 è stato solamente simulato.

## CAPITOLO 6: MODELLAZIONE GLOBALE: APPLICAZIONE DELLA METODOLOGIA VULNUS

### 6.1 LA METODOLOGIA VULNUS

Per studiare in maniera esaustiva un aggregato storico come quello oggetto di studio è necessario considerare gli edifici che lo compongono nella loro globalità, tenendo conto anche dell'interazione tra i corpi contigui che hanno caratteristiche diverse.

I diversi elementi dell'isolato sono tra loro collegati e interagiscono gli uni con gli altri, formando un nucleo complesso, all'interno del quale il comportamento strutturale di un corpo non può prescindere da quello delle unità adiacenti.

Per rispondere a questo problema, nella metà degli anni Ottanta, all'interno del Dipartimento di Costruzioni e Trasporti dell'Università di Padova, è stata sviluppata una metodologia per la valutazione della vulnerabilità sismica di edifici in muratura isolati o collegati in nuclei complessi interagenti, tale metodologia è chiamata Vulnus.<sup>1</sup>

La versione degli anni Ottanta è stata poi rielaborata e aggiornata da M.R. Valluzzi, G. Benincà, E. Barbetta e M. Munari.

Vulnus non solo valuta l'affidabilità delle strutture esistenti, ma consente anche di studiare l'effetto di eventuali opere di rinforzo.

La metodologia si basa su valutazioni del livello critico di accelerazione orizzontale media applicata alle masse dell'edificio, corrispondente all'attivazione di meccanismi di collasso fuori piano delle singole pareti e nel piano dei due sistemi di pareti parallele, o quasi parallele, accoppiate rigidamente dai solai.

Il programma richiede che l'utente inserisca dei parametri, fino ad arrivare alla definizione di tre indici:

- L'indice I1 definisce il rapporto tra la somma delle resistenze a taglio nel piano medio delle pareti fra di loro parallele nella direzione più debole tra le due principali dell'edificio e il peso totale dell'edificio, cioè tra accelerazione critica media delle masse (A) e accelerazione di gravità (g). Questo indice deve essere valutato per ciascuna direzione principale dell'edificio, arrivando quindi a definire l'indice di resistenza nel piano per pareti parallele all'azione sismica. Il calcolo esige una stima della resistenza media al taglio per trazione diagonale, che può essere ottenuta da dati sperimentali di laboratorio su tipologie analoghe.
- L'indice I2 definisce il rapporto adimensionale fra l'accelerazione media di attivazione di meccanismi fuori piano nelle condizioni più critiche e accelerazione di gravità. Tramite l'analisi limite di diversi modelli cinematici elementari alternativi vengono valutate separatamente le resistenze dei pannelli verticali di muratura delle pareti esterne dell'edificio, vincolati ai solai da forze di confinamento, e di pannelli orizzontali, vincolati ai muri trasversali nelle zone nodali. È richiesta una valutazione della resistenza a trazione e compressione della muratura e delle forze di contenimento che si possono sviluppare a livello

---

<sup>1</sup> Bernardini e Modena, 1986; Bernardini e altri, 1988.

dei solai. Si considerano solo le pareti esterne, in quanto le osservazioni empiriche successive ad eventi sismici hanno dimostrato che in setti esterni, oppure perimetrali a contatto con altri edifici di altezza maggiore, non si attivano meccanismi di collasso fuori dal piano per strisce verticali di muratura.

- L'indice I3 è la somma pesata dei punteggi dei fattori parziali di vulnerabilità considerati nella scheda GNDT<sup>2</sup> di II livello. Questo valore viene normalizzato fra 0 (edificio a regola d'arte o costruito in accordo con normative antisismiche) e 1. È un parametro empirico che tiene conto di fattori qualitativi non considerati dai parametri di calcolo, scartando quelli implicitamente valutati tramite i due precedenti indici.

Gli indici I1, I2, I3, opportunamente combinati fra loro, sono la base di partenza per la formulazione di un giudizio complessivo di vulnerabilità sismica, che tiene conto della qualità delle informazioni assunte alla base del calcolo.

Dopo aver inserito i valori di accelerazione forniti dalla norma, il programma restituisce una serie di risultati che permettono un'analisi della vulnerabilità sismica dell'edificio.

In una fase successiva si calcolano i valori attesi di danno grave attraverso la costruzione delle curve di fragilità e viene fatto un confronto tra i risultati ottenuti con quelli previsti dalla scheda di intensità macrosismica EMS98.<sup>3</sup>

La scala europea EMS98 prevede l'utilizzo di sei classi (da A a F) potenzialmente in grado di misurare sia gli edifici esistenti non progettati per il sisma, sia quelli esistenti o di nuova costruzione con diversi livelli di danno fisico apparente.

A ciascuna classe sono associate previsioni statistiche del livello di danno fisico apparente in popolazioni di edifici: si tratta di una misura convenzionale che soddisfa i requisiti di verificabilità.<sup>4</sup>

Per l'individuazione degli indici I1 e I2 bisogna innanzitutto compilare la scheda di rilievo, nella quale si inseriscono: i dati catastali dell'edificio oggetto di studio; un disegno schematico della pianta più rappresentativa dell'edificio, nella quale vengono individuati le pareti, i setti e i nodi; il materiale delle pareti; lo stato di conservazione; il numero dei piani; la tipologia dei solai; la regolarità in pianta; l'altezza dell'edificio; la superficie in pianta dell'edificio; l'orditura dei solai; la regolarità degli impalcati e il contenimento delle pareti.

In un'altra sezione si inseriscono le caratteristiche delle pareti.

---

<sup>2</sup> L. Binda, A. Borri, G. Cardani, F. Doglioni, *Scheda qualità muraria: relazione finale e linee guida per la compilazione della scheda di valutazione della qualità muraria*.

<sup>3</sup> Scala Macrosismica Europea (EMS, la versione aggiornata del 98 è EMS98), rileva la forza degli effetti di un terremoto in una zona specifica, si compone di 12 suddivisioni.

<sup>4</sup> A. Bernardini, M.R. Valluzzi, C. Modena, *Classificazioni di vulnerabilità sismica di edifici in muratura dal calcolo limite per macroelementi*.

### Calcolo dell'indice I1

Per i meccanismi di rottura nel piano, Vulnus considera tre ipotesi di base:

- la distribuzione delle masse è uniforme lungo l'altezza;
- la distribuzione dell'accelerazione è proporzionale all'altezza;
- le pareti parallele alla direzione del sisma sono soggette all'intera azione orizzontale, che viene trasferita a esse attraverso i meccanismi di resistenza flessionale delle pareti ortogonali collegate attraverso i solai.

Per le due direzioni principali dell'edificio, il programma valuta il rapporto fra il valore critico dell'accelerazione orizzontale media sulle masse dell'edificio e l'accelerazione di gravità come il rapporto tra il taglio alla base e il peso totale dell'edificio.

Questa grandezza viene valutata con la formula:

$$\frac{V}{W} = \frac{\left( \frac{f_t}{1,5} \sqrt{1 + \frac{\sigma_0}{f_t}} \cdot F_t \cdot \frac{k_1}{k_2} \right)}{W}$$

dove:

$f_t$  è la resistenza media a trazione della muratura;

$F_t$  è la superficie totale della muratura in pianta, depurata dai fori, in corrispondenza al piano terra;

$k_1$  è il rapporto tra la superficie dei muri paralleli alla direzione del sisma e la superficie totale  $F_t$ ;

$k_2$  è il coefficiente di amplificazione della sollecitazione tangenziale dipendente dagli effetti di eccentricità delle masse rispetto alla distribuzione in pianta dei muri;

$\sigma_0$  è la tensione media verticale sui muri paralleli alla direzione del sisma:

$$\sigma_0 = \frac{W}{F_t} = \gamma_s \cdot h \cdot n \cdot \left( \frac{F_t''}{F_t} + \frac{q}{\gamma_s \cdot h \cdot f_i} \right)$$

$n$  è il numero dei piani;

$q$  è il carico per unità di superficie del solaio nella situazione sismica;

$f_i$  è il rapporto tra la superficie dei muri  $F_t$  e la superficie utile coperta in pianta dall'edificio;

$\gamma_s$  è il peso specifico della muratura;

$h$  è il valore medio dell'altezza del piano;

$F_t''$  è il valore medio della superficie totale delle murature, depurate dai fori.

L'errore, dovuto alla semplificazione che considera il carico verticale uniformemente distribuito su tutti i muri, è abbastanza piccolo in quanto la tensione verticale  $\sigma_0$  sui muri dipende in modo prevalente dal peso proprio della muratura, anche considerando l'orditura dei solai unidirezionale e trascurando la capacità di trasmissione di sforzi tangenziali tra murature a diverso livello di tensione verticale.

Il parametro I1 è il minore dei due valori  $V/W$  calcolati con Vulnus per le due sezioni principali dell'edificio:

$$I1 = \min\left(I1_x = \frac{V_x}{W}; I1_y = \frac{V_y}{W}\right)$$

## Calcolo dell'indice I2

Per il calcolo dei meccanismi di rottura fuori dal piano, sono stati individuati dei cinematismi relativi a strisce verticali e orizzontali di muratura e per ognuno di questi si è calcolato il rapporto tra l'accelerazione media orizzontale che attiva il meccanismo e l'accelerazione di gravità.

Una parete si può pensare formata da un certo numero di strisce verticali o, allo stesso modo, da un certo numero di strisce orizzontali, per questo si sommano i due contributi di resistenza:

- I2' considera la resistenza di strisce verticali di muratura larghe 1m semplicemente appoggiate sulla fondazione e sui muri trasversali o vincolate ai solai;
- I2'' considera la resistenza ad arco o a trave di strisce orizzontali di muratura vincolate alle pareti trasversali (parallele alla direzione del sisma).

L'indice I2 corrisponde al valore minore delle somme I2'+I2'' calcolate per le varie pareti.

Nel calcolo dei due contributi si assume che:

- la distribuzione delle masse, comprese quelle dei solai, sia uniforme sull'altezza e sia corrispondente a un peso specifico equivalente:  $\gamma_e = \gamma_s \cdot (1 - p_f) + \frac{q}{h \cdot f_i}$  dove  $p_f$  è la percentuale di foratura delle pareti;
- le accelerazioni siano proporzionali alla quota rispetto al piano campagna.

Le verifiche a rottura per ogni parete dipendono dai parametri adimensionali.

$$c_1 = \frac{f_t}{\gamma_e \cdot h} ; c_2 = \frac{f_c}{\gamma_e \cdot h}$$

dove  $f_t$  e  $f_c$  sono i valori medi della resistenza a trazione e a compressione della muratura, eventualmente ottenibili mediante prove sperimentali.

Dopo aver definito i cinematismi elementari fuori piano, Vulnus calcola i valori degli indici I2' e I2'' di ogni cinematismo considerato per tutti i setti.

Per la valutazione dell'indice I2 però non vengono considerati tutti i valori calcolati, ma alcuni meccanismi vengono considerati dalla procedura non attivabili.

Nel calcolo di I2' vengono considerate solo le pareti esterne non in comune con altri edifici. Invece per calcolare I2'' è necessario individuare il tipo di nodo presente a ognuna delle estremità del setto in esame, in modo da capire quali sono i cinematismi di strisce orizzontali di muratura che possono attivarsi tra quelli considerati dalla procedura.

### Calcolo dell'indice I3

L'indice I3 viene introdotto per tener conto dei fattori positivi e negativi non considerati nei precedenti meccanismi resistenti. Questi fattori vengono individuati attraverso la compilazione della scheda di vulnerabilità di II livello per edifici in muratura, realizzata dal G.N.D.T..

Inizialmente questa scheda era stata predisposta per il calcolo dell'indice G.N.D.T. Normalizzato (tra 0 e 1), che determinava la vulnerabilità di un singolo edificio in funzione degli undici parametri ritenuti rappresentativi della propensione del manufatto a subire danni in funzione di un evento sismico.

Per il calcolo dell'indice I3, Vulnus considera solo sette degli undici parametri, perché vengono scartati quelli che sono implicitamente valutati tramite I1 e I2.

Il calcolo di I3 è espresso dalla formula:

$$I3 = \sum_{i=1}^{11} \left( \frac{w_i \cdot s_i}{3,15 \cdot 45} \right)$$

dove:

$w_i$  è il peso relativo all'i-esimo parametro;

$s_i$  è il valore correlato all'i-esimo parametro.

L'indice I3 fornisce quindi la misura, variabile da 0 a 1, delle carenze strutturali del fabbricato in esame; I3=0 corrisponde al rispetto delle norme antisismiche e a un buono stato di conservazione dell'edificio.

Il calcolo di I3 non si differenzia nel caso in cui si abbiano edifici isolati o nuclei di edifici.

Dopo aver calcolato questo indice si è in grado di valutare la vulnerabilità sia dei singoli edifici, sia dei gruppi di edifici in funzione dei valori prefissati dall'intensità sismica e dei valori già calcolati di I1 e I2.

### Procedura di calcolo della vulnerabilità

Dopo aver ottenuto i tre indici si può procedere con l'analisi di vulnerabilità.

I parametri precedentemente calcolati vengono trasformati in sottoinsiemi sfuocati del loro intervallo di definizione. In questo modo si tiene conto dell'incertezza legata alla stima di alcune grandezze non misurabili direttamente (ad esempio la profondità delle fondazioni), della variabilità dei parametri fisici caratterizzanti i materiali di cui sono costituiti gli edifici in esame (ad esempio la resistenza a compressione) e di eventuali imprecisioni ed errori nel processo di rilevazione.

Vengono quindi introdotte particolari misure o variabili fuzzy, distinte in quattro tipi: fuzzy number (FUZZYN), fuzzy set (FUZZYS), fuzzy variabile (FUZZYV) e fuzzy relation.

La teoria degli insiemi sfuocati permette di trattare concetti privi di confini precisi, dove il passaggio tra un elemento che appartiene all'insieme e uno che non vi appartiene è graduale e non netto.

La vulnerabilità viene calcolata mediante un modello deterministico, applicato a grandezze sfuocate. Il modello utilizzato calcola la probabilità di sopravvivenza  $f_s$ , ovvero la complementare probabilità di collasso  $V_u$  con una funzione iperbolica.

## 6.2 APPLICAZIONE DELLA METODOLOGIA VULNUS ALL'EDIFICIO OGGETTO DI STUDIO

Anche in questo caso, come per le analisi precedenti, l'edificio oggetto di studio è stato suddiviso in tre blocchi, che si differenziano per epoca costruttiva, materiali e caratteristiche geometriche.

Per ogni blocco sono state inserite le seguenti informazioni:

Codice edificio	BLOCCO A	BLOCCO B	BLOCCO C
<b>Materiale pareti</b>	Mattoni	Mattoni	Mattoni
<b>Stato di conservazione</b>	Mediocre	Buona	Buona
<b>N° piani dell'edificio</b>	3	3	2
<b>Tipologia solai</b>	Medio (4,5 kN/mq)	Medio (4,5 kN/mq)	Medio (4,5 kN/mq)
<b>Regolarità pianta edificio</b>	Regolare	Regolare	Regolare
<b>Altezza edificio in cm</b>	1435	852	572
<b>Superficie pianta edificio in mq</b>	424,08	82,8	278,15
<b>Orditura solai</b>	Direzione prevalente y	Direzione prevalente y	Direzione prevalente x
<b>Regolarità impalcati</b>	Regolare	Regolare	Regolare
<b>Piano con irregolarità</b>	0	0	0
<b>N° incatenamenti su prospetto // asse x</b>	0	0	0
<b>Lunghezza in cm prospetto // asse x</b>	1860	2300	1798
<b>N° incatenamenti su prospetto // asse y</b>	0	0	0
<b>Lunghezza in cm prospetto // asse y</b>	2280	360	1720
<b>Coeff. d'attrito solai-pareti // x in kN/m</b>	0	0	0
<b>Coeff. d'attrito solai-pareti // y in kN/m</b>	0	0	0
<b>N° cordoli perimetrali</b>	0	0	0
<b>Coeff. di compenetrazione cordoli</b>	1	1	1

Tabella 6.1 Dati di archiviazione



Per il materiale “mattoni” sono stati utilizzati i seguenti valori: resistenza a compressione 4MPa; resistenza a trazione 0,22 MPa; densità specifica 1800 kg/mc.

Sono state identificate le diverse pareti che compongono l’edificio e sono stati poi identificati anche i setti che le compongono, come si può vedere nelle Tav. 6.01, 6.02, 6.03.

Per le pareti e i setti sono stati inseriti i seguenti dati:

BLOCCO A										
Indice parete	Direzione in gradi	N° setto	Nodo iniziale	Nodo finale	Spessore setto piano terra in cm	Lunghezza setto in cm	Lunghezza totale fori setto in cm	Caratteristiche spalle esterne	Spessore setto piano ultimo in cm	N° piani edifici o contiguo
1	90	1	1	2	60	600	240	Spalle non regolamentari	45	0
		2	2	3	60	800	480	Spalle regolamentari	45	0
		3	3	4	60	550	120	Spalle regolamentari	45	0
		4	4	5	60	440	120	Spalle regolamentari	45	0
2	360	5	5	6	45	1100	320	Spalle non regolamentari	45	0
		6	6	7	45	360	180	Spalle non regolamentari	45	0
		7	7	8	45	440	140	Spalla iniziale non regol.	45	0
3	90	8	8	9	60	960	240	Spalla finale non regol.	45	0
		9	9	10	60	630	480	Spalle non regolamentari	45	0
4	90	10	10	11	45	660	0	Spalle regolamentari	45	0
5	360	11	11	12	45	640	0	Spalle regolamentari	45	0
		12	12	13	45	430	0	Spalle regolamentari	45	0

		13	13	1	45	860	0	Spalle regolamentari	45	0
6	90	14	12	14	30	580	100	Spalla finale non regol.	30	0
7	90	15	13	15	30	580	100	Spalla finale non regol.	30	0
8	5	16	10	14	45	680	100	Spalla finale non regol.	45	0
		17	14	15	45	600	95	Spalle regolamentari	45	0
		18	15	2	45	900	160	Spalle regolamentari	45	0
9	355	19	9	16	30	420	100	Spalle regolamentari	30	0
		20	16	17	30	350	160	Spalla finale non regol.	30	0
		21	17	3	30	1060	255	Spalla iniziale non regol.	30	0
10	90	22	16	7	30	870	95	Spalla iniziale non regol.	30	0
11	90	23	17	18	30	430	95	Spalla iniziale non regol.	30	0
		24	18	6	30	430	0	Spalle regolamentari	30	0
12	355	25	18	4	30	1050	300	Spalla iniziale non regol.	30	0

Tabella 6.2 Scheda di rilievo della vulnerabilità sismica degli edifici in muratura, Blocco A

BLOCCO B										
Indice parete	Direzione in gradi	N° settor	Nodo iniziale	Nodo finale	Spessore settopiano terra in cm	Lunghezza setto in cm	Lunghezza totale fori setto in cm	Caratteristiche spalle esterne	Spessore settopiano ultimo in cm	N° piani edifici o contiguo
1	90	1	1	0	45	360	0	Spalle regolamentari	45	+1
2	360	2	2	3	40	2300	600	Spalle regolamentari	40	0

								tari		
3	90	3	3	4	40	360	95	Spalla finale non regol.	40	-1
4	360	4	4	1	40	2300	0	Spalle regolamentari	40	0

Tabella 6.3 Scheda di rilievo della vulnerabilità sismica degli edifici in muratura, Blocco B

BLOCCO C										
Indice parete	Direzione in gradi	N° setto	Nodo iniziale	Nodo finale	Spessore sotto piano terra in cm	Lunghezza sotto in cm	Lunghezza totale fuori in cm	Caratteristiche spalle esterne	Spessore sotto piano ultimo in cm	N° piani edifici o contiguo
1	90	1	1	2	40	360	95	Spalla finale non regol.	40	+1
2	87	2	2	3	45	1040	600	Spalle non regolamentari	40	0
		3	3	4	45	320	120	Spalla iniziale non regol.	40	0
3	360	4	4	5	30	1200	0	Spalle regolamentari	30	1
		5	5	6	30	598	0	Spalle regolamentari	30	+1
4	88	6	6	7	45	1427	360	Spalle regolamentari	40	0
5	15	7	7	8	40	700	0	Spalle regolamentari	40	1
		8	8	9	40	270	0	Spalle regolamentari	40	1
6	360	9	9	10	30	360	0	Spalla iniziale non regol.	30	+1
7	87	10	8	10	30	1150	140	Spalla iniziale non regol.	30	0
		11	10	5	30	310	0	Spalle regolamentari	30	0
8	350	12	10	3	25	1135	200	Spalle regolamentari	20	0

Tabella 6.4 Scheda di rilievo della vulnerabilità sismica degli edifici in muratura, Blocco C

In seguito sono stati considerati tre valori di  $a/g$ :

- 0,193 (NTC 2008)
- 0,057 (terremoto del 1695)
- 0,105 (terremoto del 1117)

Il primo valore è stato ricavato dalle NTC 2008; il secondo si riferisce al sisma del 25 febbraio 1695, di intensità 7 gradi della scala MCS; il terzo si riferisce al sisma storico del 3 gennaio 1117, di intensità 8 gradi della scala MCS.

L'intensità macrosismica dei due eventi sopracitati è stata trasformata in accelerazione orizzontale tramite la formula<sup>5</sup>:

$$\ln\left(\frac{a}{g}\right) = 0,602I_s - 7,073$$

### Analisi statistica

Una volta calcolati gli indici I1 e I2, Vulnus consente di svolgere un'analisi statistica dei due indici su tutto l'edificio.

Il programma permette di ricavare per tutti gli edifici il valore minimo, il valore medio, lo scarto quadratico medio e il coefficiente di variazione per entrambi gli indici.

Vulnus traccia anche gli istogrammi della loro distribuzione statistica.

Edificio	I1	I2	I1/I2	Densità specifica Eq. (kg/mc)	Volume (mc)	Peso
Blocco A	0,822	0,254	3,238	2504	6086	2293
Blocco B	0,44	0,268	1,642	2418	705	509
Blocco C	1,351	0,143	9,389	3909	1591	550

Tabella 6.5 Parametri dell'analisi statistica

Si può osservare che l'indice I1 è sempre più grande dell'indice I2, ciò significa che l'edificio ha una maggiore resistenza nel piano.

Dall'analisi statistica si ricavano anche i seguenti dati relativi agli indici I1 e I2:

	I1	I2
<b>Valore max</b>	1,352	0,268
<b>Nell'edificio</b>	Blocco C	Blocco B
<b>Valore min</b>	0,441	0,144
<b>Nell'edificio</b>	Blocco B	Blocco C
<b>Valore medio</b>	0,872	0,222
<b>Valore medio pesato (rif. Vol.)</b>	0,891	0,234
<b>s.q.m.</b>	0,373	0,056
<b>Coeff. Di variazione (%)</b>	42,839	25,028

Tabella 6.6 Parametri dell'analisi statistica

<sup>5</sup> Guagenti, Petrini 1989.

È anche possibile stabilire percentuali di stima approssimativa delle probabilità di sopravvivenza dell'edificio a seconda del diverso valore di  $a/g$ .

Probabilità di	Sopravvivenza	Crollo per I1	Crollo per I2	Crollo per I1,I2
0,193	66,66%	0%	33,33%	0,01%
0,057	100%	0%	0%	0,01%
0,105	100%	0%	0%	0,01%

Tabella 6.7 Probabilità di sopravvivenza o crollo

Si può notare che per l'accelerazione da normativa la probabilità di sopravvivenza è ridotta e che il crollo avviene più probabilmente per I2; mentre per le accelerazioni relative ai terremoti già avvenuti la sopravvivenza è del 100%, come prevedibile.

### Analisi di vulnerabilità

Per procedere alla fase successiva dell'analisi è necessario compilare la scheda GNDT di secondo livello, di cui si riportano i dati finali, come sono stati inseriti nel programma.

BLOCCO A		
	Classe	Qualità info.
<b>Tipo e organizzazione del sistema resistente</b>	C	M
<b>Qualità del sistema resistente</b>	A	M
<b>Resistenza convenzionale</b>	B	E
<b>Posizione edificio e fondazione</b>	A	E
<b>Orizzontamenti</b>	D	B
<b>Configurazione planimetrica</b>	A	E
<b>Configurazione in elevazione</b>	A	E
<b>D max murature</b>	B	M
<b>Copertura</b>	B	M
<b>Elementi non strutturali</b>	C	B
<b>Stato di fatto</b>	B	M

Tabella 6.8 Risultati della scheda GNDT di secondo livello, Blocco A

BLOCCO B		
	Classe	Qualità info.
<b>Tipo e organizzazione del sistema resistente</b>	C	M
<b>Qualità del sistema resistente</b>	A	M
<b>Resistenza convenzionale</b>	D	E
<b>Posizione edificio e fondazione</b>	A	E
<b>Orizzontamenti</b>	D	B
<b>Configurazione planimetrica</b>	D	E
<b>Configurazione in elevazione</b>	A	E
<b>D max murature</b>	D	M
<b>Copertura</b>	B	M
<b>Elementi non strutturali</b>	A	B
<b>Stato di fatto</b>	B	M

Tabella 6.9 Risultati della scheda GNDT di secondo livello, Blocco B

<b>BLOCCO C</b>		
	<b>Classe</b>	<b>Qualità info.</b>
<b>Tipo e organizzazione del sistema resistente</b>	C	M
<b>Qualità del sistema resistente</b>	A	M
<b>Resistenza convenzionale</b>	A	E
<b>Posizione edificio e fondazione</b>	A	E
<b>Orizzontamenti</b>	D	B
<b>Configurazione planimetrica</b>	B	E
<b>Configurazione in elevazione</b>	A	E
<b>D max murature</b>	D	M
<b>Copertura</b>	B	M
<b>Elementi non strutturali</b>	A	B
<b>Stato di fatto</b>	A	M

Tabella 6.10 Risultati della scheda GNDT di secondo livello, Blocco C

Questi dati sono necessari per l'individuazione dell'indice I3

<b>Edificio</b>	<b>I3</b>	<b>I GNDT</b>	<b>I GNDT Norm</b>
Blocco A	0,32	138,75	0,363
Blocco B	0,27	206,25	0,539
Blocco C	0,22	108,75	0,285

Tabella 6.11 Calcolo indice I3

Sulla base dei valori calcolati per ogni edificio dell'indice I3, il programma esegue l'analisi di vulnerabilità rispetto ai valori dell'accelerazione presi in esame.

Vengono così forniti cinque giudizi di vulnerabilità formulati sulla base del danno atteso. Tali giudizi sono:

- MOLTO GRANDE (crolli)
- GRANDE (attivazione dei meccanismi fuori piano)
- MEDIA (lesioni diffuse)
- PICCOLA (lesioni isolate)
- MOLTO PICCOLA (lesioni irrilevanti)

<b>Edificio</b>	<b>a/g= 0,193</b>	<b>a/g= 0,057</b>	<b>a/g= 0,105</b>
Blocco A	PICCOLA	MOLTO PICCOLA	MOLTO PICCOLA
Blocco B	MEDIA	MOLTO PICCOLA	MOLTO PICCOLA
Blocco C	MEDIA	MOLTO PICCOLA	MOLTO PICCOLA

Tabella 6.12 Giudizio di vulnerabilità al variare di a/g per i diversi blocchi dell'edificio

Per terremoti di intensità sismica 7 e 8 della scala MCS la vulnerabilità è molto piccola per tutti e tre i blocchi; invece, per quanto riguarda il valore fornito dalla norma, la vulnerabilità risulta piccola per il blocco A e media per gli altri due, quindi con lesioni diffuse. Si potrebbe affermare che i tre blocchi hanno un comportamento simile, nonostante le diversità strutturali.

Oltre alla vulnerabilità dei singoli edifici, Vulnus permette di calcolare anche la vulnerabilità di gruppo, riferita all'intero complesso.

La vulnerabilità di gruppo è espressa da una funzione di appartenenza  $V_g$ , valutata per valori discreti su scala che va da 0 a 100, con passo 10%. In questo modo viene calcolata la probabilità del gruppo di appartenere a un certo valore sulla scala di vulnerabilità.

L'analisi può essere svolta rispetto agli edifici oppure rispetto ai volumi, nel secondo caso è molto importante tener conto del volume dei singoli edifici qualora essi abbiano grandi differenze di dimensioni, come nel caso di Palazzo Sala.

Grado appartenenza alla vulnerabilità riferita agli edifici												
a/g	V <sub>g</sub>											Classe
	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	
0,193	1	1	0,625	0	0	0	0	0	0	0	0	PICCOLA
0,105	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	MOLTO PICCOLA
0,057	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	MOLTO PICCOLA

Tabella 6.13 Grado di appartenenza alla vulnerabilità riferita agli edifici al variare di a/g

Grado appartenenza alla vulnerabilità riferita ai volumi												
a/g	V <sub>g</sub>											Classe
	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	
0,193	1	1	0,625	0	0	0	0	0	0	0	0	PICCOLA
0,105	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	MOLTO PICCOLA
0,057	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	MOLTO PICCOLA

Tabella 6.14 Grado di appartenenza alla vulnerabilità riferita ai volumi al variare di a/g

### Frequenze attese di danno

Vulnus permette anche di valutare la vulnerabilità degli edifici calcolando i valori attesi di danno grave  $E[V_g^*]$  in funzione del rapporto  $PGA/g$ , cioè del rapporto tra accelerazione di picco e accelerazione di gravità.

Il programma fornisce dei diagrammi (curve di fragilità), composti da tre curve che rappresentano i limiti superiore, inferiore e i valori centrali, grazie ai quali è possibile stimare il valore atteso di frequenza di danno grave per ogni valore di  $PGA/g$  e l'incertezza relativa a tale valore: la zona compresa tra le curve dei limiti inferiore e superiore rappresenta infatti l'intervallo dei più probabili valori di frequenza attesa di danno grave.

In riferimento ai valori di  $E[V_g]$  relativi ai diversi rapporti  $PGA/g$ , vengono elaborati dei grafici costituiti dalle tre curve di fragilità e dai valori di a/g relativi ai sismi considerati. Nel grafico 6.1 è possibile vedere le tre curve calcolate per l'intero edificio; vengono evidenziati attraverso linee tratteggiate anche i tre valori di accelerazione analizzati.

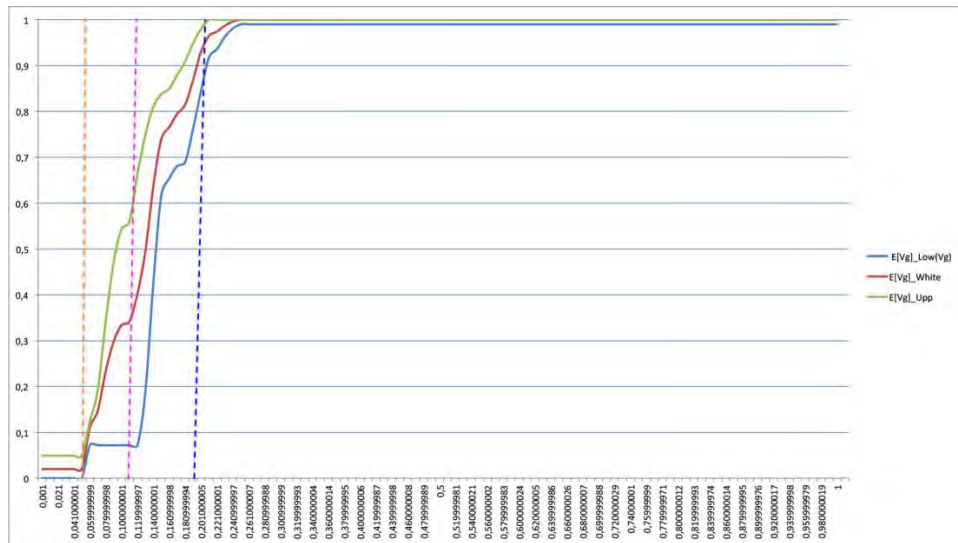


Grafico 6.1 Curve di fragilità per l'intero edificio

Dal grafico si può osservare che per valori più alti di accelerazione l'edificio risulta più vulnerabile rispetto a valori più bassi di accelerazione; questo conferma quanto già detto in precedenza.

Si possono individuare tre diverse fasi:

- prima fase, con valori di PGA/g compresi tra 0,001 e 0,041, con valori costanti di vulnerabilità bassa, corrispondenti a danni strutturali lievi;
- seconda fase, crescita con pendenze diverse ed elevate del limite superiore e medio, mentre il limite inferiore presenta una breve fase di crescita iniziale, poi si stabilizza con valori costanti fino a PGA/g pari a 0,199, e poi riprende la crescita con pendenza elevata;
- terza fase, raggiunta dal limite superiore per PGA/g pari a 0,221 e dagli altri due limiti per valori non superiori a 0,261, in cui viene raggiunto il massimo valore, corrispondente a danni strutturali gravissimi, con conseguente crollo della struttura.

Come già visto precedentemente, si può qui osservare che per i valori di PGA/g pari a 0,105 e 0,057 si ottengono risultati simili, appartenenti alla classe di vulnerabilità molto piccola.



### Attribuzione della classe di vulnerabilità macrosismica

Sulla base del giudizio di vulnerabilità ottenuto attraverso il programma si può assegnare la classe macrosismica all'edificio.

La classificazione si basa sul confronto tra la curva di fragilità ottenuta con Vulnus e quella definita nella EMS 98.

A tale scopo Vulnus fornisce grafici preliminari che consentono di confrontare la vulnerabilità cumulativa bianca con gli andamenti definiti dalla scala di intensità EMS 98 per le classi macrosismiche A, B e C, per matrici di probabilità di danno >D2 (danno moderato) e >D3 (danno grave).

Nel caso oggetto di studio è stata individuata la classe di vulnerabilità A, in funzione della matrice di probabilità di danno >D2, sulla base dei confronti con le curve EMS98.

In seguito, attraverso il programma, è stato possibile elaborare curve attraverso le quali è possibile ricavare la percentuale di parti di edificio che subiscono un danno di una certa entità in funzione dell'intensità macrosismica del terremoto.

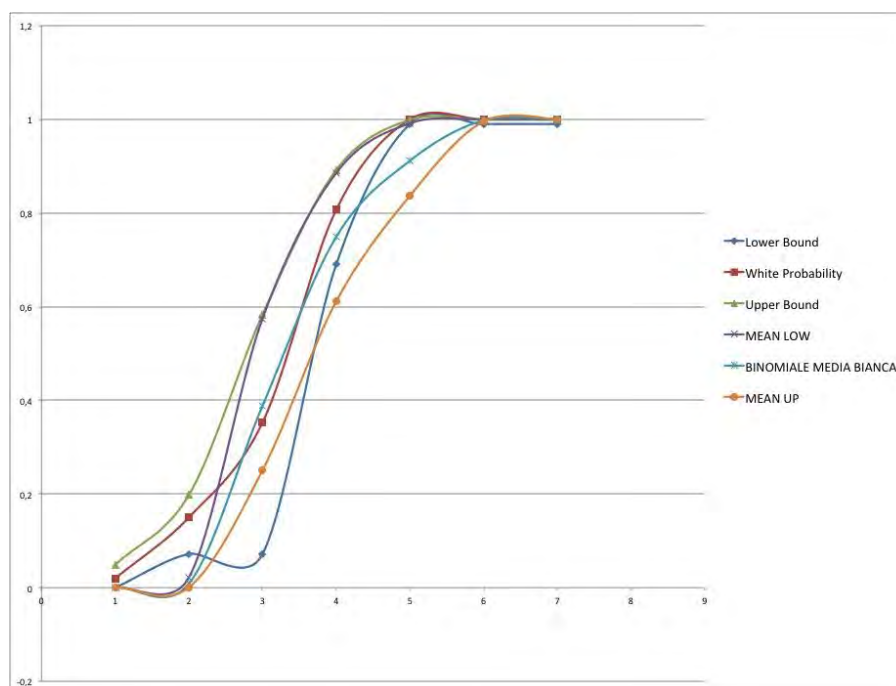


Grafico 6.2 Confronto tra curve di fragilità e curve calcolate mediante classificazione EMS 98

Nel grafico 6.2 si può osservare che la sovrapposizione tra la curva dei valori elaborati da Vulnus (white probability) e la binominale media bianca non è molto soddisfacente, pertanto le previsioni fornite da Vulnus e quelle ottenute tramite il calcolo della binominale media bianca potrebbero non risultare simili tra loro.



## **CAPITOLO 7: VERIFICA DEI MECCANISMI D'INSIEME MEDIANTE ANALISI NUMERICA**

Alla luce dello studio condotto finora, considerando la prevalenza, all'interno dell'edificio, di murature e orizzontamenti approssimabili come infinitamente rigidi, in conformità alle NTC 2008, è stata svolta un'analisi statica di tipo non lineare, definita push-over.

Questa analisi, pur essendo più semplificata rispetto a un'analisi dinamica, consente di ottenere stime più realistiche di un'analisi statica lineare.

L'analisi non lineare per l'edificio oggetto di studio è stata eseguita mediante il programma 3Muri della STA Data.

### **7.1 VERIFICA DEI MECCANISMI D'INSIEME MEDIANTE IL SOFTWARE 3MURI**

3Muri è un programma per il calcolo sismico delle strutture in muratura secondo le NTC 2008.

Questo software esamina strutture di varie dimensioni in muratura e miste, cioè con elementi in c.a., acciaio e legno.

3Muri utilizza un metodo di calcolo innovativo (FME – Frame by Macro Elements) che schematizza la struttura attraverso un telaio equivalente, costituito da macroelementi.

Il macroelemento consente di studiare meglio il comportamento sismico delle strutture in muratura e fornire tutte le informazioni necessarie al progettista per un esame accurato della struttura stessa.

Esaminando in questo modo il comportamento della struttura è possibile prevedere interventi di adeguamento sismico mediante il rinforzo delle murature esistenti, l'inserimento di nuovi elementi in muratura, muratura armata, FRP o elementi lineari in c.a., acciaio e legno.

Per formulare un modello teorico in grado di cogliere tutti gli aspetti del comportamento strutturale dell'edificio oggetto di studio, 3Muri considera:

- un legame che descrive in modo corretto il comportamento dei materiali sottoposti ad azioni sismiche e che tiene conto delle specifiche modalità di rottura;
- un modello che schematizza l'intera struttura cogliendone le caratteristiche globali e l'interazione dei vari elementi;
- le richieste imposte dalla Normativa.

Le normative sismiche vigenti sottolineano l'importanza della duttilità per la valutazione della capacità delle strutture di resistere alle azioni sismiche.

La duttilità non è altro che la capacità della struttura di deformarsi a carico quasi costante, superando la fase elastica e dissipando l'energia trasmessa dalle onde sismiche per attrito attraverso fenomeni di isteresi.

La duttilità è quindi il rapporto tra il massimo spostamento della struttura prima del collasso e lo spostamento al limite elastico ( $du/de$ ).

Il calcolo attraverso analisi elastica è difficilmente applicabile alle strutture in muratura, per questo la ricerca teorica e sperimentale ha elaborato analisi che consentono di valutare l'effettivo comportamento delle strutture al superamento della fase elastica.

La duttilità diventa quindi parametro di giudizio.

Il software di calcolo deve considerare tutte le caratteristiche della struttura al fine di realizzare un modello verosimile.

Una delle principali caratteristiche degli edifici in muratura è il comportamento scatolare.

Le pareti in muratura manifestano un buon comportamento nel piano, mentre è trascurabile il comportamento fuori dal loro piano. Per ottenere una buona resistenza globale sono necessari dei collegamenti tra pareti e tra pareti e solai; in questo modo si realizza il comportamento scatolare, in grado di offrire una resistenza maggiore della somma dei singoli elementi.

3Muri crea la struttura attraverso la definizione delle pareti riprese dalle piante; in questa prima fase è necessario individuare gli elementi che sono efficaci al fine della resistenza globale della struttura. Il modello che si ottiene è tridimensionale.

L'osservazione delle pareti in seguito a eventi sismici ha permesso di classificare diversi comportamenti che si ripetono costantemente. Si possono individuare tre tipologie di rottura che variano in funzione della geometria, delle caratteristiche dei materiali e dei vincoli:

- rottura per taglio;
- rottura per flessione e schiacciamento negli spigoli;
- rottura per scorrimento.

Inoltre si può notare che le rotture avvengono in zone ben definite, cioè su porzioni di muratura delimitate dalle aperture.

Sulla base di questa osservazione si può rappresentare il comportamento delle pareti tramite macroelementi, cioè porzioni di muratura.

In particolare si individuano elementi "maschio" disposti a fianco delle aperture, elementi "fascia" disposti sopra e sotto le aperture, "elementi rigidi" per identificare la muratura restante che non confina con aperture e che risulta contenuta.

Collegando questi elementi si ottiene lo schema a telaio, detto appunto "telaio equivalente".

Questo schema consente di rappresentare bene il comportamento delle strutture in muratura, inoltre semplifica l'analisi, perché riduce i gradi di libertà rispetto ad altri schemi e velocizza i calcoli.

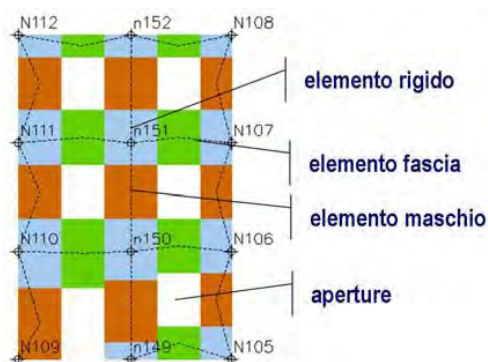


Figura 7.1 Mesh che rappresenta la suddivisione in macroelementi

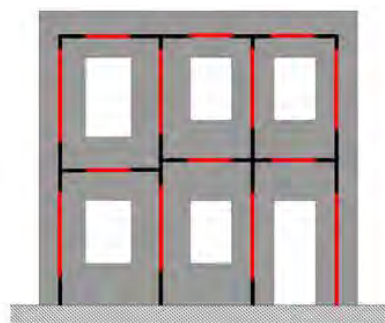


Figura 7.2 Individuazione del telaio equivalente

La modellazione dell'edificio viene realizzata mediante l'inserimento di pareti che vengono discretizzate in macroelementi, 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.

I nodi del modello sono nodi tridimensionali a 5 gradi di libertà (le tre componenti di spostamento nel sistema di riferimento globale e le rotazioni intorno agli assi X e Y) o nodi bidimensionali a 3 gradi di libertà (due traslazioni e la rotazione nel piano della parete)

Quelli tridimensionali vengono usati per permettere il trasferimento delle azioni, da un primo muro a un secondo dispositivo trasversalmente rispetto al primo.

I nodi di tipo bidimensionale hanno gradi di libertà nel solo piano della parete, permettendo il trasferimento degli stati di sollecitazione tra i vari punti della parete.

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 rigidità assiale, ma nessuna rigidità flessionale, in quanto il comportamento meccanico principale che si intende sondare è quello sotto carico orizzontale dovuto al sisma.

3Muri crea automaticamente la "mesh", cioè la divisione in maschi, fasce ed elementi rigidi, ed esegue l'analisi non lineare per determinare il massimo spostamento.

La risposta strutturale è descritta in termini di spostamenti piuttosto che di forze, tenuto conto della maggior sensibilità del danneggiamento agli spostamenti imposti.

L'analisi statica non lineare (push-over) caratterizza il sistema sismico resistente tramite curve di capacità.

L'analisi è statica in quanto la forza esterna è applicata staticamente alla struttura ed è non lineare a causa del modello comportamentale assunto per gli elementi resistenti della struttura che passano dalla fase elastica alla fase plastica e infine alla rottura.

Questo tipo di analisi consente di analizzare la struttura in tutte le fasi comprese tra la fase iniziale di applicazione del carico sismico fino al completo collasso della struttura.

Dopo aver inserito le caratteristiche della struttura con i relativi carichi, 3Muri calcola le azioni sismiche sulla struttura tramite l'applicazione di forze sui nodi del telaio equivalente.

Il calcolo delle forze sismiche è determinato automaticamente utilizzando i parametri della normativa scelta; per quanto riguarda le NTC 2008 i parametri sismici vengono calcolati in base alla zona in cui si trova l'edificio.

L'analisi effettuata dal software 3Muri si può quindi dividere in tre fasi principali: input, analisi e verifica.

## 7.2 DEFINIZIONE DEL MODELLO

L'edificio oggetto di studio è stato suddiviso in tre parti (Blocco A, Blocco B e Blocco C) per facilitare la modellazione, dal momento che i tre blocchi hanno caratteristiche geometriche molto diverse fra loro.

La creazione del modello si può suddividere in due fasi: la prima in cui viene importata la geometria della struttura rilucidando un file .dwg, attraverso questa tecnica si creano aste e nodi di riferimento per la definizione della struttura vera e propria; nella seconda fase si attribuiscono le proprietà meccaniche ai segmenti tracciati, si introducono le forometrie e gli orizzontamenti.

Per la muratura sono state scelte le caratteristiche già definite nell'analisi cinematica locale, sulla base delle indicazioni fornite dalla normativa italiana: è stata adottata la tipologia "mattoni pieni e malta di calce", scegliendo un livello di conoscenza LC1.

Tipologia	E [N/mm <sup>2</sup> ]	G [N/mm <sup>2</sup> ]	Peso specifico [kN/m <sup>3</sup> ]	f <sub>m</sub> [N/cm <sup>2</sup> ]	Resistenza a taglio [N/cm <sup>2</sup> ]
Muratura in mattoni pieni e malta di calce	1500,00	500,00	18	177,78	4,44

Per gli elementi in c.a. è stato ipotizzato un calcestruzzo C25/30 e armature in acciaio B450.

Tipologia	E [N/mm <sup>2</sup> ]	G [N/mm <sup>2</sup> ]	Peso specifico [kN/m <sup>3</sup> ]	f <sub>m</sub> [N/cm <sup>2</sup> ]	Resistenza a taglio [N/cm <sup>2</sup> ]
Cls C25/30	31476,00	13115,00	25	33,00	25,00

Tipologia	E [N/mm <sup>2</sup> ]	G [N/mm <sup>2</sup> ]	Peso specifico [kN/m <sup>3</sup> ]	f <sub>m</sub> [N/cm <sup>2</sup> ]	Resistenza a taglio [N/cm <sup>2</sup> ]
Acciaio B450	206000,00	79231,00	79	484,00	450,00

Per gli orizzontamenti sono state adottate le seguenti tipologie: solai in latero-cemento e solai in legno con travetti affiancati.

Per ogni solaio sono state definite le caratteristiche geometriche e meccaniche degli elementi resistenti quali dimensioni delle travi (base e altezza), valori di interasse, modulo di elasticità e taglio.

Le verifiche allo stato limite ultimo (SLV) e allo stato limite di esercizio (SLD, SLO) devono essere effettuate per la seguente combinazione<sup>1</sup> dell'azione sismica con le altre azioni:

$$E + G_1 + G_2 + \sum_i \Psi_{2i} Q_{ki}$$

Dove:

E è l'azione sismica per lo stato limite in esame;

G<sub>1</sub> è il peso proprio di tutti gli elementi strutturali;

G<sub>2</sub> è il peso proprio di tutti gli elementi non strutturali;

ψ<sub>2i</sub> è il coefficiente di combinazione;

Q<sub>ki</sub> è il valore caratteristico dell'azione variabile.

Gli effetti dell'azione sismica sono valutati tenendo conto delle masse associate ai seguenti carichi gravitazionali:

$$G_1 + G_2 + \sum_i \psi_{2i} Q_{ki}$$

I valori dei vari coefficienti sono scelti in base alla destinazione d'uso dei vari solai secondo quanto indicato nella norma.<sup>2</sup>

Si assume G<sub>k</sub>=G<sub>1</sub>+G<sub>2</sub>.

I valori dei carichi permanenti strutturali e portati sono stati ricavati dall'analisi dei carichi svolta precedentemente, mentre i valori dei carichi accidentali sono stati attribuiti secondo le normative vigenti.

Nel caso dei sottotetti del Blocco A al valore di carico del solaio è stato aggiunto il carico permanente della copertura, che non è stata modellata con il programma.

Di seguito vengono riportate le caratteristiche dei solai del Blocco A.

Blocco A				
Orizzontamento	Tipologia solaio 3Muri	G <sub>k</sub> [kN/m <sup>2</sup> ]	G <sub>k,agg</sub> [kN/m <sup>2</sup> ]	Q [kN/m <sup>2</sup> ]
Primo-uffici	Latero-cemento	3,10	1,70	2,00
Primo-uffici	Legno con travetti affiancati e tavolato semplice	0,32	1,25	2,00
Primo-scale	Latero-cemento	3,10	1,70	4,00

+

<sup>2</sup> NTC 2008 Tabella 2.5.1

Secondo-uffici	Legno con travetti affiancati e tavolato semplice	2,28	1,25	2,00
Secondo-abitazione	Legno con travetti affiancati e tavolato semplice	2,28	1,25	2,00
Secondo-scale	Latero-cemento	3,10	1,70	4,00
Terzo	Latero-cemento + copertura	3,40	2,16	1,20

Nei Blocchi B e C invece sono state modellate anche le coperture in laterocemento. I solai di questi due blocchi sono tutti in laterocemento.

Blocco B				
Orizzontamento	Tipologia solaio 3Muri	$G_k$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$G_{k,agg}$ [kN/m <sup>2</sup> ]	Q [kN/m <sup>2</sup> ]
Primo-uffici	Latero-cemento	3,10	1,70	2,00
Secondo-uffici	Latero-cemento	3,10	1,70	2,00
Terzo-sottotetto	Latero-cemento	3,10	0,30	1,20
Copertura	Latero-cemento	3,10	0,90	1,20

Blocco C				
Orizzontamento	Tipologia solaio 3Muri	$G_k$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$G_{k,agg}$ [kN/m <sup>2</sup> ]	Q [kN/m <sup>2</sup> ]
Primo-archivio	Latero-cemento	3,10	1,70	6,00
Secondo-sottotetto	Latero-cemento	3,10	0,30	1,20
Copertura	Latero-cemento	3,10	0,90	1,20

Siccome Palazzo Sala è un edificio in aggregato e presenta una geometria abbastanza articolata, sono state fatte delle semplificazioni durante la fase di modellazione.

Le semplificazioni effettuate per il Blocco A sono:

- il portico ad archi al piano terra che si affaccia su via S. Francesco è stato costruito come una parete piena con aperture rettangolari, sormontata da un cordolo in c.a.;
- sono state disposte tre travi in c.a. nel solaio del portico, sulle quali si appoggiano le pareti portanti del livello superiore;
- le aperture ravvicinate sono state considerate come un'apertura unica;
- nella facciata nord al primo e secondo livello sono stati inseriti cordoli in c.a.



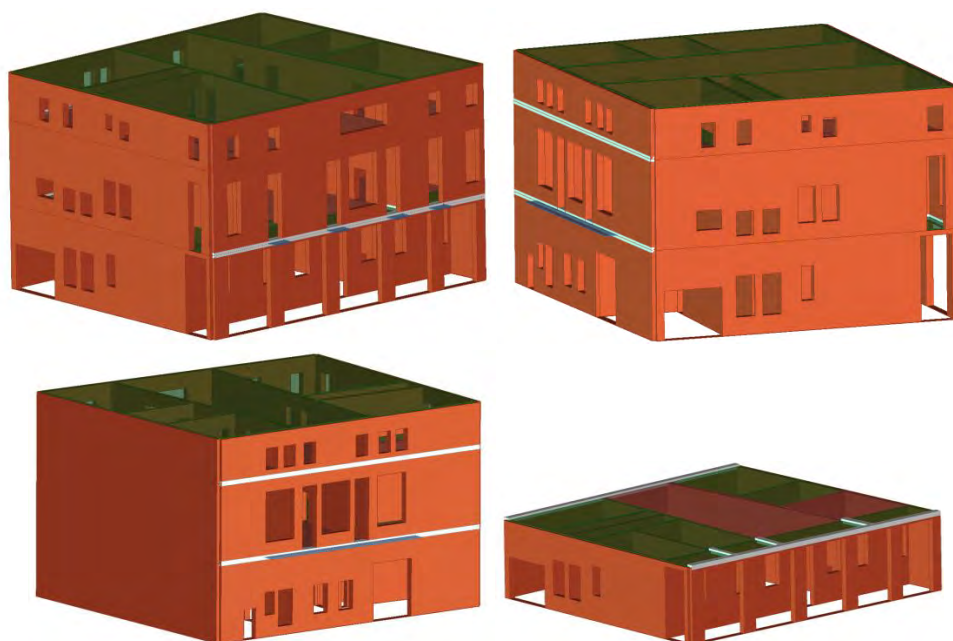


Figura 7.3 Viste assonometriche del modello a telaio equivalente del Blocco A. Partendo dalla prima a sinistra si ha: vista sud-ovest, vista nord-ovest, vista nord est, vista sud-ovest del primo livello.

Nel Blocco B non sono state fatte semplificazioni rilevanti, in quanto questa parte di edificio è costituita solamente da quattro pareti portanti e non presenta particolarità geometrico-strutturali.

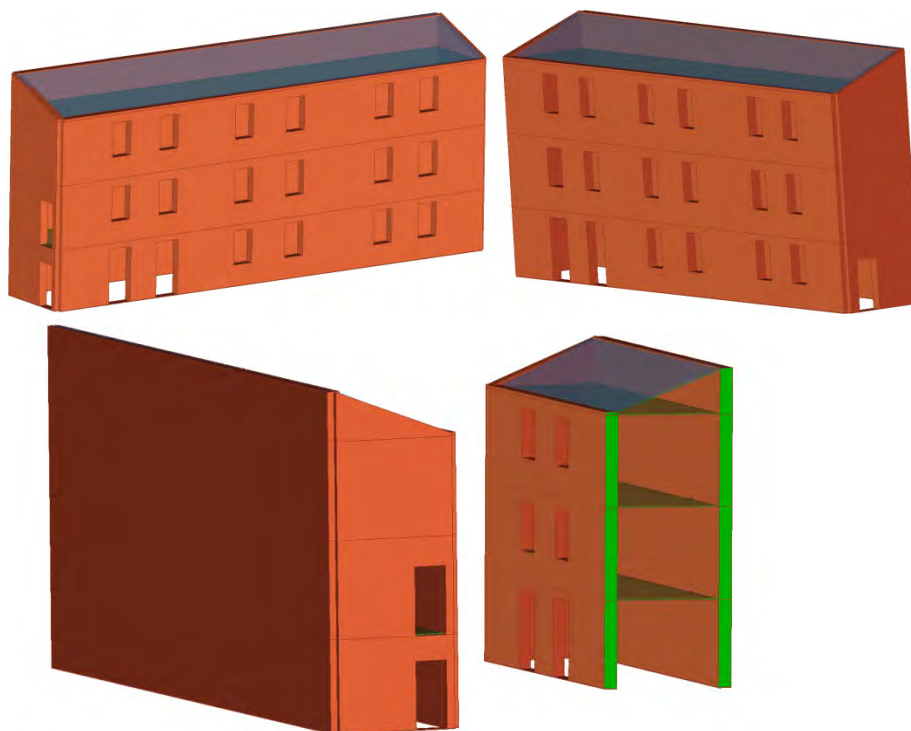


Figura 7.4 Viste assonometriche del modello a telaio equivalente del Blocco B. Partendo dalla prima a sinistra si ha: vista nord-ovest, vista sud-ovest, vista nord-est, sezione dell'edificio

Nel blocco C invece sono state effettuate alcune semplificazioni:

- lo spessore delle pareti nord e sud è stato uniformato a 45 cm, in quanto in pianta presenta parti spesse 40 cm e piccole parti spesse 60 cm;
- la parete nord è stata considerata come un pannello murario sormontato da una trave HEA220 con S235;
- nella parete sud è stato inserito un cordolo in c.a. 25x24 cm;

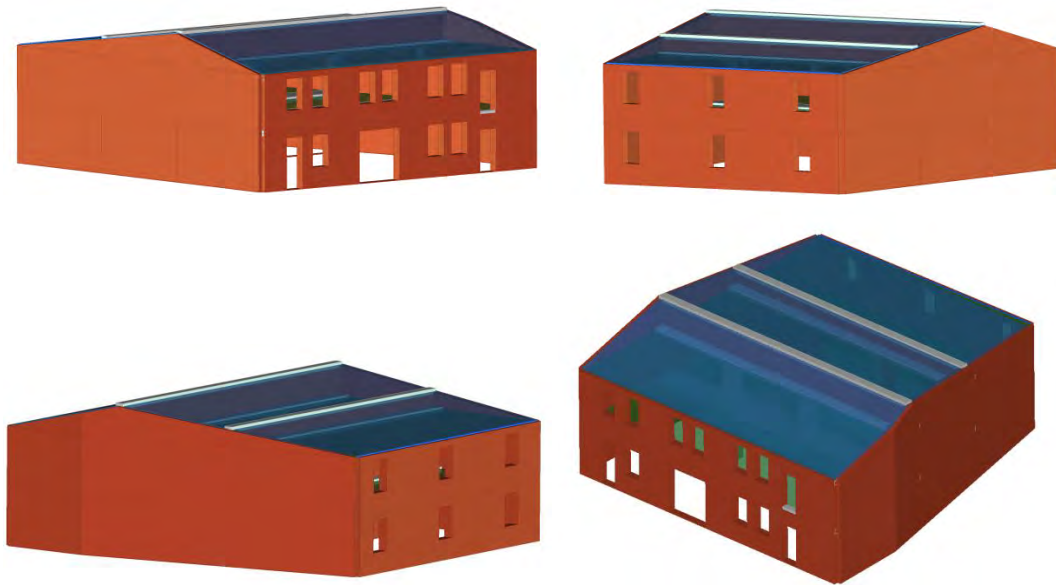


Figura 7.5 Viste assonometriche del modello a telaio equivalente del Blocco C. Partendo dalla prima a sinistra si ha: vista sud-ovest, vista nord-ovest, vista nord-est, vista sud-est.

Segue la fase di creazione della meshatura, che, come descritto precedentemente, crea i macroelementi di piano sulle diverse facce del modello.

I maschi e le fasce simulano il comportamento degli elementi murari e permettono di riconoscere il meccanismo di danno, a taglio nella sua parte centrale o a pressoflessione sui bordi dell'elemento, in questo modo è possibile cogliere la dinamica del danneggiamento in maniera verosimile.

Sia i nodi che le mesh possono essere modificati in base alle esigenze di calcolo.

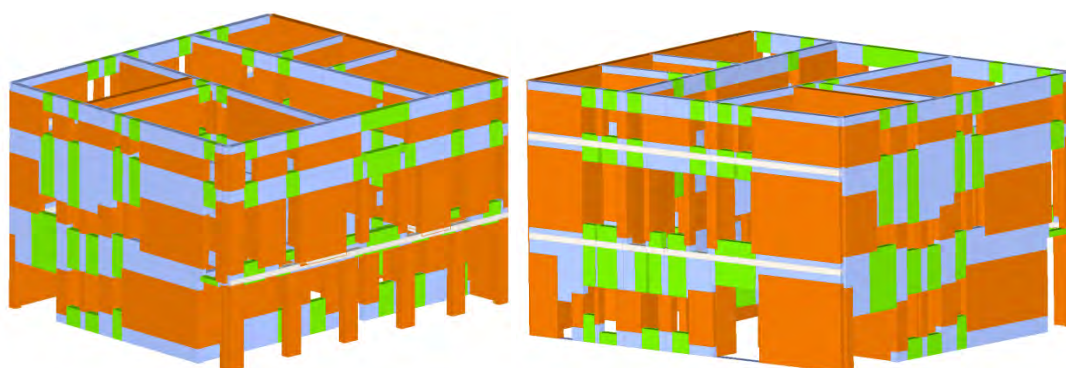


Figura 7.6 Viste 3D della mesh del Blocco A. Rispettivamente: vista sud-ovest e vista nord-ovest.

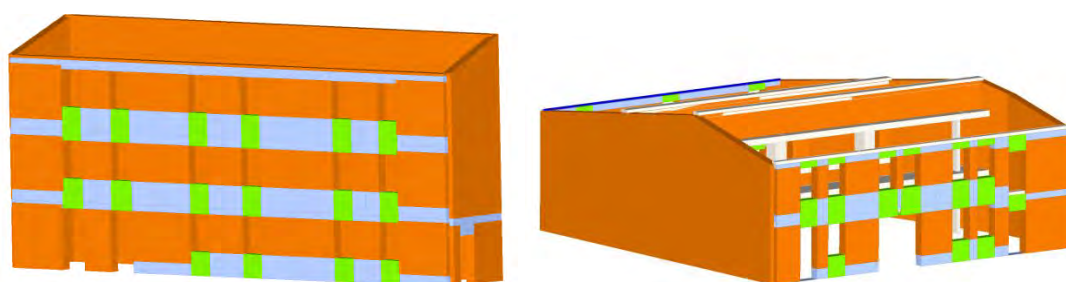


Figura 7.7 Viste 3D della mesh. Rispettivamente: vista sud-ovest del Blocco B e vista sud-ovest del Blocco C.

Gli spettri di risposta sono definiti in funzione del reticolo di riferimento definito nella Tabella 1 (parametri spettrali) in allegato alle Norme Tecniche 14 gennaio 2008. Tale tabella fornisce in funzione delle coordinate geografiche (latitudine e longitudine) i parametri necessari a tracciare lo spettro.

I parametri forniti dal reticolo di riferimento sono:

- $a_g$  accelerazione orizzontale massima del terreno;
- $F_0$  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.

Questi valori sono definiti per un periodo di ritorno assegnato ( $T_R$ ), definito in base alla probabilità di superamento di ciascuno degli stati limite.

Questi valori sono definiti per ciascuno degli stati limite.

Lo spettro sismico dipende anche dalla classe del suolo e dalla categoria topografica.

Per la città di Padova, assumendo una classe di suolo di tipo C, una categoria topografica T1 con  $S_T$  pari a 1, si assumono i seguenti valori:

	<b>SLV</b>	<b>SLD</b>	<b>SLO</b>
<b><math>a_g</math></b>	0,94	0,42	0,35
<b><math>F_0</math></b>	2,62	2,53	2,54
<b><math>T_c^*</math></b>	0,35	0,28	0,24
<b><math>T_R</math></b>	712	75	45

<b>S<sub>s</sub></b>	1,50	1,50	1,50
<b>T<sub>b</sub></b>	0,17	0,15	0,13
<b>T<sub>c</sub></b>	0,52	0,45	0,40
<b>T<sub>d</sub></b>	1,98	1,77	1,74

L'analisi push-over procede in modo automatico dopo aver definito l'azione del sisma ( $\pm X, \pm Y$ ), la distribuzione delle forze sismiche e la scelta del nodo di controllo.

Tale scelta è obbligatoria, anche se non esiste una regola precisa per la decisione del nodo. Si è deciso di valutare la curva di capacità con riferimento a un punto situato al livello più alto di ciascuno dei tre blocchi, rispettivamente nodo 46 per il blocco A, nodo 16 per il blocco B e nodo 36 per il blocco C.

Un altro parametro da tenere in considerazione è l'eccentricità accidentale del centro di massa rispetto al centro delle rigidità, calcolata in modo automatico secondo le prescrizioni normative e pari per ciascun piano a  $\pm 5\%$  della dimensione massima dell'edificio misurata perpendicolarmente alla direzione di applicazione dell'azione sismica.

Le verifiche richieste si concretizzano nel confronto tra la curva di capacità per le diverse condizioni previste e la domanda di spostamento prevista dalla normativa.

La curva di capacità è individuata mediante un diagramma di spostamento-taglio massimo alla base.

Secondo le prescrizioni da normativa<sup>3</sup> le condizioni di carico che devono essere esaminate sono di due tipi:

- distribuzione di forze proporzionale alle masse  $F_i = \frac{m_i}{\sum_i m_i}$
- distribuzione di forze proporzionali al prodotto delle masse per la deformata corrispondente al primo modo di vibrare.

L'analisi, eseguita in controllo di spostamento, procede al calcolo della distribuzione di forze che genera il valore dello spostamento richiesto.

L'analisi viene fatta continuare finché non si verifica il decadimento del taglio del 20% del suo valore di picco. Si calcola così il valore dello spostamento massimo alla base dell'edificio, generato da quella distribuzione di forze. Questo valore di spostamento costituisce il valore ultimo dell'edificio.

Lo spostamento preso in esame per il tracciamento della curva di capacità è quello del nodo di controllo.

La normativa richiede il tracciamento di una curva bilineare di un sistema equivalente (SDOF). 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.

<sup>3</sup> D.M. 14 gennaio 2008 p. 7.3.4.1.

La determinazione della curva relativa al sistema equivalente permette di determinare il periodo con cui ricavare lo spostamento massimo richiesto dal sisma, secondo gli spettri riportati sulla normativa.

Come già detto la normativa definisce un'eccentricità accidentale del centro delle masse pari al 5% della massima dimensione dell'edificio.

In base alla tipologia dell'edificio e alle scelte progettuali che si ritengono più idonee si può decidere la condizione di carico sismico da prendere in esame.

Il carico sismico individua quale delle due tipologie di distribuzione prendere in esame: proporzionale alle masse o al primo modo.

La direzione è quella lungo cui viene caricata la struttura dal carico sismico: X o Y del sistema globale.

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

Secondo le indicazioni della normativa il software esegue le seguenti verifiche:

- **Stato Limite Ultimo (SLV):**  $D_{\max} \leq D_u$  dove  $D_{\max}$  è lo spostamento massimo richiesto dalla normativa individuato dallo spettro elastico e  $D_u$  è lo spostamento massimo offerto dalla struttura, corrispondente con il decadimento della curva Push-over di un valore pari al 20% di quello massimo, con la condizione che  $q^* < 3$ , dove  $q^*$  rappresenta il rapporto tra la forza di risposta elastica e la forza di snervamento del sistema equivalente.
- **Stato Limite di Danno (SLD):**  $D_{\max}^{SLD} \leq D_d$  dove  $D_{\max}^{SLD}$  è lo spostamento massimo richiesto dalla normativa, calcolato in base allo spettro sismico definito per lo stato limite di danno e  $D_d$  è lo spostamento massimo corrispondente al valore che causa il superamento del valore massimo di drift di piano (0.003).
- **Stato Limite di Operatività (SLO):**  $D_{\max}^{SLO} \leq D_o$  dove  $D_{\max}^{SLO}$  è lo spostamento massimo richiesto dalla normativa, calcolato in base allo spettro sismico definito per lo stato limite di operatività e  $D_o$  è lo spostamento massimo corrispondente al valore che causa il superamento del valore massimo di drift di piano (0.002).

La normativa O.P.C.M. 3362 dell'8 luglio 2004 prescrive il calcolo degli indicatori di rischio.

Il parametro  $\alpha_u$  è considerato un indicatore del rischio di collasso, il parametro  $\alpha_e$  invece un indicatore del rischio di inagibilità dell'opera.

Questi parametri vengono calcolati così:

$$\alpha_u = \frac{PGA_{DS}}{PGA}$$

$$\alpha_e = \frac{PGA_{DL}}{PGA}$$

dove:

$PGA_{DS}$  è l'accelerazione stimata di danno severo;

$PGA_{DL}$  è l'accelerazione stimata di danno lieve.

### 7.3 EFFETTI DELL'AGGREGAZIONE SUL COMPORTAMENTO GLOBALE

Palazzo Sala, come già detto in precedenza, presenta delle peculiarità relative sia ai diversi materiali e alle tecniche costruttive utilizzate, sia alla distribuzione dell'impianto planimetrico e al comportamento strutturale che esso potrebbe assumere in caso di sisma a causa dell'aggregazione tra le diverse unità strutturali che lo compongono.

L'interazione avviene non solo tra i tre blocchi da cui è composto, ma anche dagli edifici adiacenti che definiscono l'isolato su cui sorge.

Il modello di calcolo deve tenere in considerazione questi aspetti, che risultano rilevanti per lo studio del reale comportamento che assume l'edificio in occasione di un evento sismico.

Con il software 3Muri è facile schematizzare la struttura e i relativi materiali che la compongono, risulta invece più complesso rappresentare il comportamento di un edificio facente parte di un aggregato edilizio.

I vari corpi che interagiscono fra loro durante l'azione sismica hanno comportamenti diversi da quelli che avrebbero se fossero corpi isolati.

Queste assunzioni devono essere applicate al caso oggetto di studio.

Il software consente di assegnare ai nodi che costituiscono la mesh dei valori di rigidità elastica, modellando così dei vincoli.

Il valore della rigidità si ricava schematizzando la parete come una mensola incastrata alla base, su cui agisce in sommità una forza orizzontale. I parametri meccanici considerati sono quelli del materiale che compone i setti (muratura in mattoni pieni e malta di calce) sulla base delle indicazioni fornite dalla norma.

Tale valore assume la seguente formulazione:

$$K = \frac{1}{\frac{h^3}{3EJ} + 1,2 \frac{h}{GA}}$$

Essendo:

**J** momento d'inerzia della sezione del setto, che varia a seconda delle dimensioni del setto;

**E** modulo di elasticità normale dei setti, che varia a seconda del materiale (per la muratura in mattoni pieni e malta di calce è pari a 1500 N/mm<sup>2</sup>);

**G** modulo di elasticità tangenziale dei setti, che varia a seconda del materiale (per la muratura in mattoni pieni e malta di calce è pari a 500 N/mm<sup>2</sup>);

**A** area della sezione del setto espressa in metri;

**h** altezza del setto espressa in metri.

Le scelte compiute per il numero e la collocazione dei vincoli sono il frutto delle analisi compiute finora e dell'osservazione della disposizione delle coperture degli edifici adiacenti, che hanno portato a individuare le connessioni e le relazioni dei vari corpi considerati con quelli adiacenti.

Per l'edificio oggetto di studio i vincoli hanno riguardato la connessione del Blocco A con il Blocco B, del Blocco A con Palazzo Romanin-Jacur, del Blocco A con il palazzo al

numero civico 17, del Blocco B con il Blocco C, del Blocco B con l'edificio in via Zabarella 19, del Blocco C con l'edificio in via Zabarella 25 e del Blocco C con Palazzo Romanin-Jacur.

Di seguito sono riportati i valori delle rigidzze calcolati per i diversi blocchi che compongono l'aggregato e per i diversi livelli in cui si pongono i vincoli, dal momento che K varia con l'altezza a cui essi sono posizionati.

La numerazione delle pareti e dei nodi deriva da quelle assegnate al modello dal software 3Muri.

Si riportano inoltre le dimensioni del setto considerato, necessarie per l'attribuzione del valore di rigidzza, e la direzione in cui il vincolo agisce.

Si deve precisare, per una maggior comprensione, che la direzione X è quella corrispondente all'asse nord-sud, la direzione Y è quella perpendicolare ad esso, quindi parallela alla facciata principale su via San Francesco.

Blocco	Parete	Nodo	L [m]	S [m]	h [m]	J [m <sup>4</sup> ]	A [m <sup>2</sup> ]	K [N/m]	Direzione vincolo
A	P1	N6	20,50	0,40	5,50	287,17	8,20	575,20	Uy
A	P1	N74	20,50	0,40	5,50	287,17	8,20	575,20	Uy
A	P1	N2	20,50	0,40	5,50	287,17	8,20	575,20	Uy
A	P4	N2	21,96	0,45	5,50	397,13	9,88	699,73	Ux
A	P4	N14	21,96	0,45	5,50	397,13	9,88	699,73	Ux
A	P1	N7	20,50	0,40	11,00	287,17	8,20	235,32	Uy
A	P1	N75	20,50	0,40	11,00	287,17	8,20	235,32	Uy
A	P1	N3	20,50	0,40	11,00	287,17	8,20	235,32	Uy
A	P4	N3	21,96	0,45	11,00	397,13	9,88	292,67	Ux
A	P4	N15	21,96	0,45	11,00	397,13	9,88	292,67	Ux
A	P1	N8	20,50	0,40	14,05	287,17	8,20	159,78	Uy
A	P1	N76	20,50	0,40	14,05	287,17	8,20	159,78	Uy
A	P1	N4	20,50	0,40	14,05	287,17	8,20	159,78	Uy
B	P1	N6	23,75	0,40	2,86	446,54	9,50	1362,08	Uy
B	P1	N2	23,75	0,40	2,86	446,54	9,50	1362,08	Uy
B	P2	N6	3,91	0,40	2,86	1,99	1,56	142,60	Ux
B	P2	N10	3,91	0,40	2,86	1,99	1,56	142,60	Ux
B	P4	N2	4,11	0,40	2,86	2,31	1,64	155,38	Ux
B	P4	N14	4,11	0,40	2,86	2,31	1,64	155,38	Ux
B	P1	N7	23,75	0,40	5,72	446,54	9,50	650,12	Uy
B	P1	N3	23,75	0,40	5,72	446,54	9,50	650,12	Uy
B	P2	N7	3,91	0,40	5,72	1,99	1,56	33,67	Ux
B	P2	N11	3,91	0,40	5,72	1,99	1,56	33,67	Ux
B	P4	N3	4,11	0,40	5,72	2,31	1,64	37,91	Ux
B	P4	N15	4,11	0,40	8,58	2,31	1,64	13,64	Ux
B	P1	N8	23,75	0,40	8,58	446,54	9,50	460,44	Uy
B	P1	N4	23,75	0,40	8,58	446,54	9,50	460,44	Uy
B	P2	N8	3,91	0,40	8,58	1,99	1,56	11,94	Ux

B	P2	N12	3,91	0,40	8,58	1,99	1,56	11,94	Ux
C	P1	N23	14,28	0,40	2,86	97,06	5,71	796,39	Uy
C	P2	N5	4,20	0,40	2,86	2,47	1,68	161,54	Uy
C	P2	N8	4,20	0,40	2,86	2,47	1,68	161,54	Uy
C	P3	N8	17,05	0,45	2,86	185,86	7,67	1083,55	Ux
C	P4	N11	17,72	0,40	2,86	185,47	7,09	1003,86	Uy
C	P4	N26	17,72	0,40	2,86	185,47	7,09	1003,86	Uy
C	P1	N24	14,28	0,40	5,72	97,06	5,71	353,02	Uy
C	P2	N6	4,20	0,40	5,72	2,47	1,68	39,98	Uy
C	P2	N9	4,20	0,40	5,72	2,47	1,68	39,98	Uy
C	P3	N9	17,05	0,45	5,72	185,86	7,67	496,62	Ux
C	P4	N12	17,72	0,40	5,72	185,47	7,09	462,85	Uy
C	P4	N27	17,72	0,40	5,72	185,47	7,09	462,85	Uy

La modellazione compiuta non è stata condotta con i valori di K riportati in tabella, ma, sulla base dei risultati già ottenuti in precedenti lavori di tesi<sup>4</sup>, sono stati utilizzati valori di rigidezza ridotti di un ordine di grandezza, rispetto a quelli indicati. È stata eseguita questa operazione perché è stato dimostrato che il modello che schematizza meglio il comportamento in aggregato è quello che ha vincoli con rigidezza pari a quella che rappresenta il muro come mensola incastrata alla base, ridotta di un ordine di grandezza.

Lo scopo principale è quello di ottenere la miglior schematizzazione strutturale possibile del complesso, al fine di capire l'influenza dell'aggregazione. Per questo motivo sono stati studiati due modelli differenti:

- Modello 1: edifici isolati, schematizza l'edificio come elemento idealmente isolato, dove gli unici vincoli sono quelli che schematizzano l'attacco a terra.
- Modello 2: edifici in aggregato, schematizza l'edificio come elemento in aggregato; tale aggregazione viene semplificata mediante vincoli cedevoli elasticamente.

Questi due modelli hanno lo scopo di collocare il comportamento strutturale dell'edificio, dal punto di vista globale, all'interno di uno specifico range di valori.

Il Modello 1 infatti rappresenta il caso estremo, che ha lo scopo di indicare il minimo valore del coefficiente critico; mentre il Modello 2 è più aderente alla realtà.

<sup>4</sup> M. Pengo, Analisi di vulnerabilità sismica finalizzata agli interventi di miglioramento di Palazzo Cà Borin, tesi di laurea, relatore prof. C. Modena, Anno Accademico 2012-2013



## 7.4 MODELLO 1: EDIFICI ISOLATI

Il primo modello preso in considerazione considera la struttura come isolata, gli unici vincoli presenti sono quelli che simulano la presenza di un sistema di fondazione e perciò sono posizionati a terra.

Questa schematizzazione è un'idealizzazione estrema, che mal rappresenta il reale comportamento dell'edificio oggetto di studio.

Di seguito si riportano per ciascuno dei tre blocchi i risultati ottenuti dall'analisi push-over.

### Blocco A

Per il Blocco A l'analisi è stata condotta con riferimento agli spostamenti del nodo N46. Nella Tabella 7.1 sono riportati i risultati delle 24 analisi push-over: sono indicati gli spostamenti massimi e ultimi per lo Stato Limite di salvaguardia della Vita, per lo Stato Limite di Danno e per lo Stato Limite di Operatività; l'indicatore del rischio di collasso  $\alpha_u$  e del rischio di inagibilità dell'opera  $\alpha_e$ .

Si nota che per lo Stato Limite di Danno e per lo Stato Limite di Operatività le analisi sono tutte verificate, mentre per lo Stato Limite di salvaguardia della Vita le analisi sono tutte verificate tranne una, la numero 14 in direzione -X.

In giallo sono indicate le analisi più gravose rispettivamente in direzione X e Y, in quanto presentano il coefficiente di attivazione  $\alpha_u$  più piccolo.

N.	Dir. sisma	Car. sismi co prop.	Ecc. [cm]	SLV				SLD			SLO			Alfa u	Alfa e
				DMa x [cm]	Du [cm]	q*	Ver.	DMa x [cm]	Dd [cm]	Ver.	DMa x [cm]	Do [cm]	Ver.		
1	+X	Masse	0,0	1,91	2,54	2,14	Si	0,68	2,50	Si	0,57	2,50	Si	1,29	3,24
2	+X	1° modo	0,0	2,17	2,69	2,44	Si	0,80	2,04	Si	0,66	2,04	Si	1,22	2,40
3	-X	Masse	0,0	1,84	1,99	1,88	Si	0,67	1,99	Si	0,56	1,99	Si	1,07	2,68
4	-X	1° modo	0,0	2,09	2,48	2,22	Si	0,77	2,13	Si	0,64	2,13	Si	1,17	2,57
5	+Y	Masse	0,0	3,29	4,04	2,43	Si	1,23	2,51	Si	0,91	2,51	Si	1,23	2,04
6	+Y	1° modo	0,0	3,71	5,87	2,49	Si	1,38	3,19	Si	1,02	3,07	Si	1,20	2,30
7	-Y	Masse	0,0	3,39	4,28	1,99	Si	1,26	3,39	Si	0,93	2,73	Si	1,26	2,69
8	-Y	1° modo	0,0	3,79	5,24	1,95	Si	1,41	3,64	Si	1,05	2,42	Si	1,38	2,58
9	+X	Masse	113,6	1,83	2,58	1,94	Si	0,65	2,48	Si	0,54	2,48	Si	1,35	3,31
10	+X	Masse	-113,6	1,97	2,51	2,37	Si	0,70	2,02	Si	0,58	2,02	Si	1,24	2,59
11	+X	1° modo	113,6	2,09	2,78	2,22	Si	0,77	2,43	Si	0,64	2,43	Si	1,29	2,91
12	+X	1°	-	2,36	2,76	2,64	Si	0,90	2,32	Si	0,70	2,32	Si	1,14	2,51

		modo	113,6												
13	-X	Masse	113,6	1,78	2,13	1,71	Si	0,65	1,98	Si	0,54	1,98	Si	1,17	2,72
14	-X	Masse	-113,6	1,94	1,91	2,03	No	0,70	1,91	Si	0,59	1,91	Si	0,99	2,47
15	-X	1° modo	113,6	2,02	2,61	2,02	Si	0,75	1,92	Si	0,62	1,92	Si	1,26	2,38
16	-X	1° modo	-113,6	2,16	2,82	2,31	Si	0,80	1,90	Si	0,66	1,90	Si	1,28	2,24
17	+Y	Masse	99,7	3,50	4,00	2,31	Si	1,30	2,14	Si	0,97	2,14	Si	1,14	1,64
18	+Y	Masse	-99,7	3,39	4,01	2,32	Si	1,26	2,61	Si	0,93	2,61	Si	1,18	2,07
19	+Y	1° modo	99,7	3,74	5,18	2,42	Si	1,40	2,65	Si	1,03	2,65	Si	1,24	1,90
20	+Y	1° modo	-99,7	3,57	4,93	2,48	Si	1,33	2,80	Si	0,99	2,80	Si	1,21	2,10
21	-Y	Masse	99,7	3,42	4,32	1,99	Si	1,28	3,54	Si	0,94	2,75	Si	1,26	2,77
22	-Y	Masse	-99,7	3,35	4,26	2,00	Si	1,25	3,19	Si	0,93	2,77	Si	1,27	2,55
23	-Y	1° modo	99,7	3,78	5,23	1,99	Si	1,41	3,61	Si	1,04	2,38	Si	1,38	2,56
24	-Y	1° modo	-99,7	3,57	5,26	2,13	Si	1,33	3,62	Si	0,99	2,35	Si	1,41	2,72

Tabella 7.1 Risultati dell'analisi push-over Blocco A

L'analisi più gravosa è la numero 14, in cui il sisma avviene in direzione -X, il carico sismico è proporzionale alle masse e l'eccentricità è di -113,6 cm.

Essa ha un valore di  $\alpha_u$  pari a 0,99, quindi la struttura è in grado di sopportare una percentuale del 99% del sisma di progetto relativo allo Stato Limite Ultimo per un tempo di ritorno di 712 anni; in altre parole l'azione sismica sopportabile dalla struttura prima del collasso SLV è pari al 99% di quella che incide realmente nella direzione considerata.

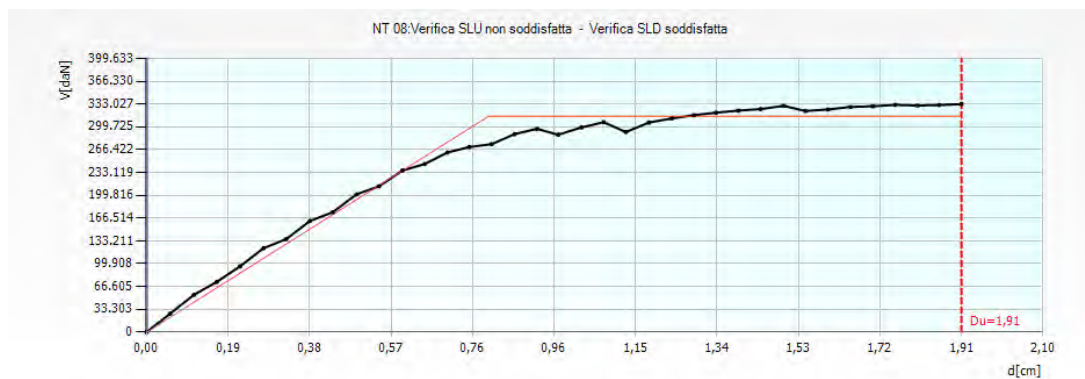


Figura 7.8 Curva di capacità riferita all'analisi 14

Nella Tabella 7.2 si riportano i valori dei parametri ottenuti dall'analisi 14.

						TR <sub>c</sub>			TR=cost	
	TR <sub>c</sub>	TR <sub>D</sub>	α <sub>TR</sub>	PGA <sub>D</sub> [m/s <sup>2</sup> ]	PGA <sub>C</sub> (TR) [m/s <sup>2</sup> ]	F <sub>0</sub> (TR)	T* <sub>c</sub> (TR)	α <sub>PGA</sub> (TR)	PGA <sub>C</sub> [m/s <sup>2</sup> ]	α <sub>PGA</sub>
<b>SLV</b>	767	712	1,077	0,94	0,91	2,66	0,35	0,974	0,92	0,989
<b>SLD</b>	767	75	10,227	0,42	0,91	2,66	0,35	2,183	1,03	2,475
<b>SLO</b>	767	45	17,044	0,35	0,91	2,66	0,35	2,631	1,10	3,171

Tabella 7.2 Vulnerabilità sismica Blocco A

I parametri dell'analisi sono:

- periodo del sistema equivalente  $T^* = 0,380$  s
- massa del sistema equivalente  $m^* = 1434866,44$  kg
- massa totale  $w = 2213828,18$  kg
- fattore di partecipazione modale  $\Gamma = 1,22$
- forza di plasticizzazione del sistema equivalente  $F_y^* = 259290$  daN
- spostamento di plasticizzazione del sistema equivalente  $d_{y^*} = 0,66$  cm
- spostamento ultimo del sistema equivalente  $d_u^* = 1,57$  cm

Di seguito sono riportate le configurazioni di rottura dei setti esterni che compongono il Blocco A e la legenda per interpretare le immagini.



Figura 7.9 Legenda

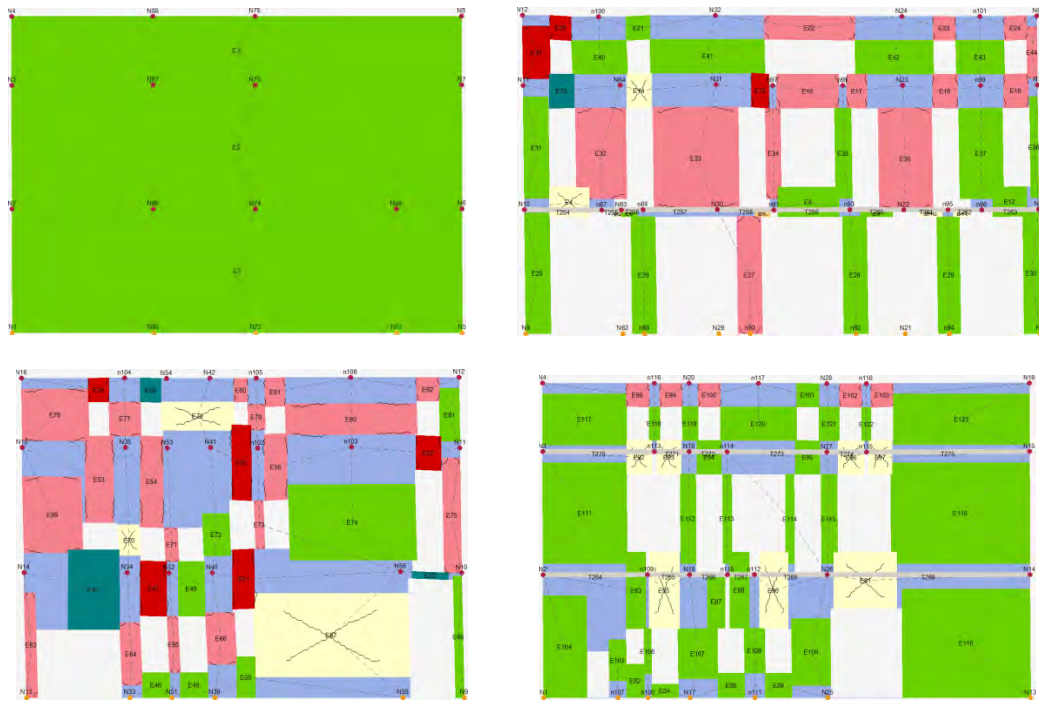


Figura 7.10 Rappresentazione delle pareti, rispettivamente da in alto a sinistra: parete 1, parete 2, parete 3 e parete 4.

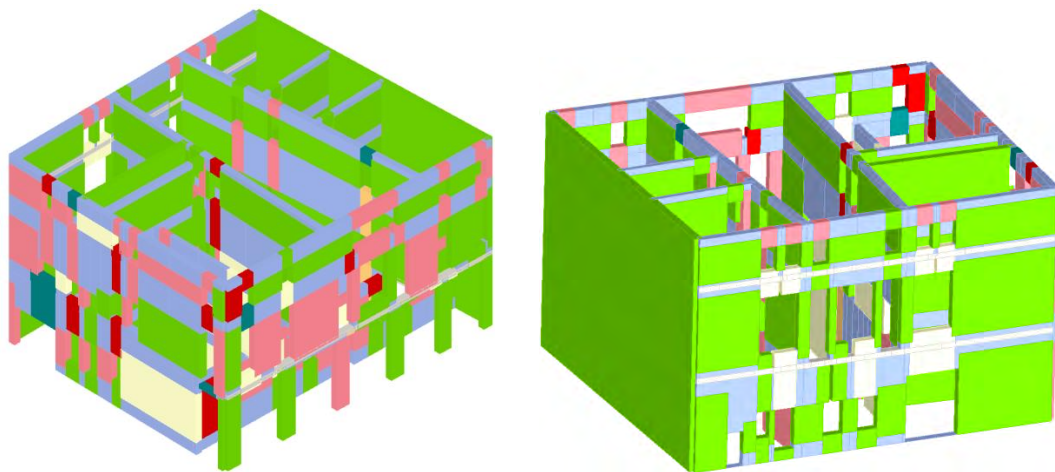


Figura 7.11 Viste assometriche Blocco A allo SLV

**Blocco B**

Per il Blocco B l'analisi è stata condotta con riferimento agli spostamenti del nodo N16.

Nella Tabella 7.3 sono riportati i risultati delle 24 analisi push-over.

Si nota che per lo Stato Limite di Operatività le analisi sono tutte verificate, per lo Stato Limite di Danno sono tutte verificate tranne le analisi numero 5, 18, 20, mentre per lo Stato Limite di salvaguardia della Vita le analisi non verificate sono le numero 5, 6, 7, 8, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23 e 24.

In giallo sono indicate le analisi più gravose rispettivamente in direzione X e Y, in quanto presentano il coefficiente di attivazione  $\alpha_u$  più piccolo.

N.	Dir. sisma	Car. sismico prop.	Ecc. [cm]	SLV				SLD			SLO			Alfa u	Alfa e
				DMa x [cm]	Du [cm]	q* SLU	Ver.	DMa x [cm]	Dd [cm]	Ver.	DMa x [cm]	Do [cm]	Ver.		
1	+X	Masse	0,0	0,30	1,20	0,57	Si	0,13	1,04	Si	0,11	1,04	Si	2,50	5,74
2	+X	1° modo	0,0	0,38	1,48	0,68	Si	0,16	0,72	Si	0,13	0,72	Si	2,39	3,89
3	-X	Masse	0,0	0,29	0,86	0,59	Si	0,13	0,77	Si	0,10	0,77	Si	2,11	4,88
4	-X	1° modo	0,0	0,37	1,21	0,65	Si	0,16	0,95	Si	0,13	0,95	Si	2,20	4,73
5	+Y	Masse	0,0	2,82	1,14	5,27	No	0,97	0,96	No	0,72	0,96	Si	0,40	0,98
6	+Y	1° modo	0,0	3,05	1,28	4,91	No	1,05	1,11	Si	0,78	1,11	Si	0,42	1,06
7	-Y	Masse	0,0	2,89	1,26	4,87	No	1,00	1,26	Si	0,74	1,26	Si	0,43	1,26
8	-Y	1° modo	0,0	3,09	2,01	4,75	No	1,07	1,55	Si	0,79	1,20	Si	0,63	1,46
9	+X	Masse	20,6	0,30	1,31	0,57	Si	0,13	1,18	Si	0,11	1,18	Si	2,63	6,19
10	+X	Masse	-20,6	0,30	1,12	0,58	Si	0,13	1,07	Si	0,11	1,07	Si	2,40	5,79
11	+X	1° modo	20,6	0,38	1,44	0,65	Si	0,16	0,89	Si	0,13	0,89	Si	2,41	4,50
12	+X	1° modo	-20,6	0,39	1,30	0,67	Si	0,17	0,81	Si	0,14	0,81	Si	2,21	4,15
13	-X	Masse	20,6	0,29	1,04	0,58	Si	0,12	1,02	Si	0,10	1,02	Si	2,35	5,73
14	-X	Masse	-20,6	0,29	0,73	0,61	Si	0,13	0,62	Si	0,10	0,62	Si	1,92	4,27
15	-X	1° modo	20,6	0,37	1,78	0,66	Si	0,16	0,83	Si	0,13	0,83	Si	2,77	4,35
16	-X	1° modo	-20,6	0,37	0,97	0,66	Si	0,16	0,80	Si	0,13	0,80	Si	1,93	4,25
17	+Y	Masse	116,9	2,82	1,01	5,42	No	0,97	1,01	Si	0,72	1,01	Si	0,36	1,04
18	+Y	Masse	-116,9	2,82	1,31	5,25	No	0,97	0,84	No	0,72	0,84	Si	0,46	0,86
19	+Y	1° modo	116,9	3,04	1,18	5,02	No	1,05	1,18	Si	0,78	1,18	Si	0,39	1,12
20	+Y	1° modo	-116,9	3,05	1,37	4,90	No	1,05	0,97	No	0,78	0,97	Si	0,45	0,93
21	-Y	Masse	116,9	2,89	1,04	5,35	No	1,00	1,04	Si	0,74	1,04	Si	0,36	1,04
22	-Y	Masse	-116,9	2,86	1,51	4,71	No	0,99	1,51	Si	0,73	1,17	Si	0,53	1,53

			116,9												
23	-Y	1° modo	116,9	3,11	1,33	5,07	No	1,07	1,33	Sì	0,79	1,33	Sì	0,43	1,24
24	-Y	1° modo	116,9	3,07	7,91	5,49	No	1,06	1,32	Sì	0,78	1,03	Sì	0,55	1,24

Tabella 7.3 Risultati dell'analisi push-over Blocco B

L'analisi più gravosa è la numero 21, in cui il sisma avviene in direzione -Y, il carico sismico è proporzionale alle masse e l'eccentricità è di 116,9 cm.

Essa ha un valore di  $\alpha_u$  pari a 0,36, quindi la struttura è in grado di sopportare una percentuale del 36% del sisma di progetto relativo allo Stato Limite Ultimo per un tempo di ritorno di 475 anni; in altre parole l'azione sismica sopportabile dalla struttura prima del collasso SLV è pari al 36% di quella che incide realmente nella direzione considerata.

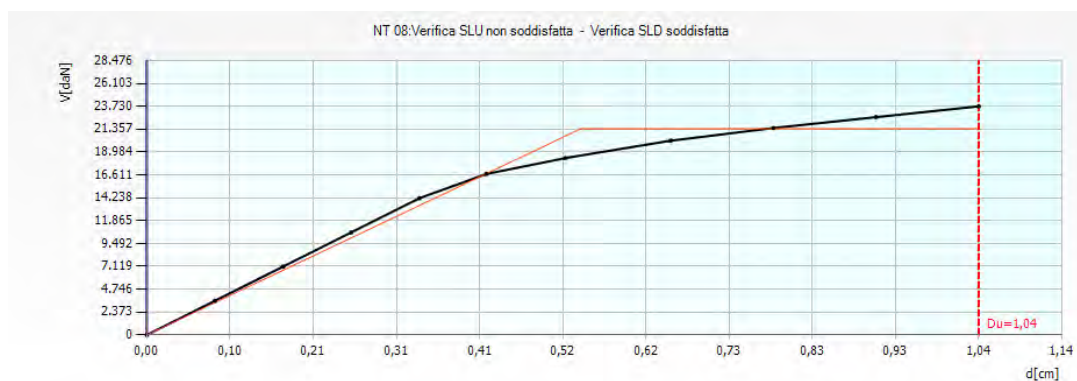


Figura 7.12 Curva di capacità riferita all'analisi 21

Nella Tabella 7.4 si riportano i valori dei parametri ottenuti dall'analisi 21.

						TR <sub>c</sub>			TR=cost	
	TR <sub>c</sub>	TR <sub>D</sub>	$\alpha_{TR}$	PGA <sub>D</sub> [m/s <sup>2</sup> ]	PGA <sub>C</sub> (TR) [m/s <sup>2</sup> ]	F <sub>0</sub> (TR)	T* <sub>C</sub> (TR)	$\alpha_{PGA}$ (TR)	PGA <sub>C</sub> [m/s <sup>2</sup> ]	$\alpha_{PGA}$
SLV	55	475	0,116	0,81	0,37	2,54	0,26	0,453	0,29	0,358
SLD	55	50	1,100	0,36	0,37	2,54	0,26	1,019	0,37	1,038
SLO	55	50	1,833	0,30	0,37	2,54	0,26	1,231	0,42	1,406

Tabella 7.4 Vulnerabilità sismica Blocco B

I parametri dell'analisi sono:

- periodo del sistema equivalente  $T^* = 0,574$  s
- massa del sistema equivalente  $m^* = 329854,86$  kg
- massa totale  $w = 496860,85$  kg
- fattore di partecipazione modale  $\Gamma = 1,22$
- forza di plasticizzazione del sistema equivalente  $F_y^* = 17522$  daN

- spostamento di plasticizzazione del sistema equivalente  $d_y^* = 0,44$  cm
- spostamento ultimo del sistema equivalente  $d_u^* = 0,85$  cm

Di seguito sono riportate le configurazioni di rottura dei setti che compongono il Blocco B.

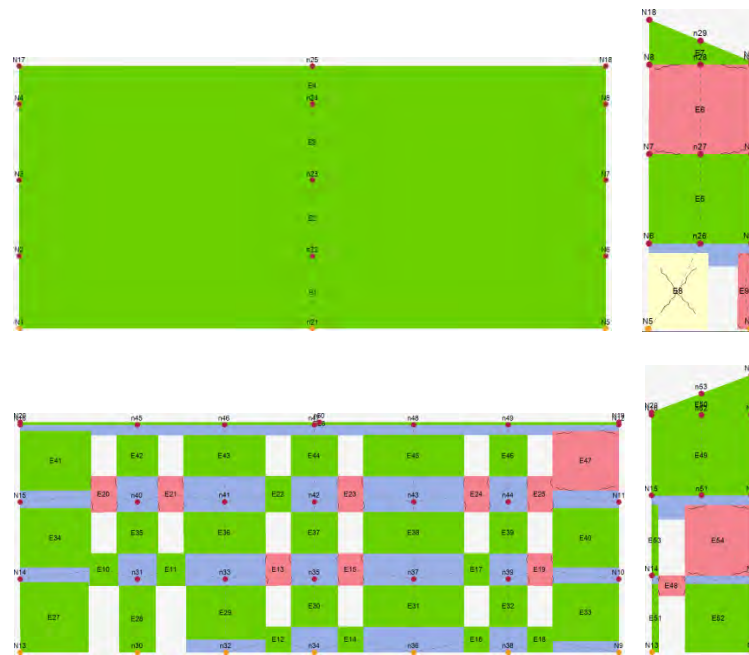


Figura 7.13 Rappresentazione delle pareti, rispettivamente da in alto a sinistra: parete 1, parete 2, parete 3 e parete 4.

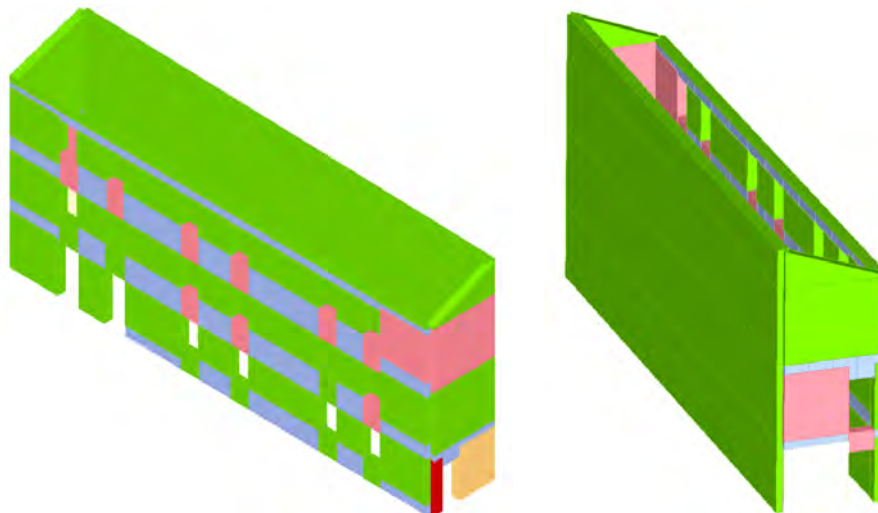


Figura 7.14 Viste assometriche Blocco B allo SLV

**Blocco C**

Per il Blocco C l'analisi è stata condotta con riferimento agli spostamenti del nodo N36.

Nella Tabella 7.5 sono riportati i risultati delle 24 analisi push-over.

Si nota che sia per lo Stato Limite di Salvaguardia della Vita, sia per lo Stato Limite di Danno, sia per lo Stato Limite di Operatività le analisi sono tutte verificate.

In giallo sono indicate le analisi più gravose rispettivamente in direzione X e Y, in quanto presentano il coefficiente di attivazione  $\alpha_u$  più piccolo.

N.	Dir. sisma	Car. sismico prop.	Ecc. [cm]	SLV				SLD			SLO			Alfa u	Alfa e
				DMax [cm]	Du [cm]	q* SLU	Ver.	DMax [cm]	Dd [cm]	Ver.	DMax [cm]	Do [cm]	Ver.		
1	+X	Masse	0,0	0,36	1,25	1,06	Si	0,14	1,01	Si	0,12	0,71	Si	1,96	4,40
2	+X	1° modo	0,0	0,45	2,14	1,15	Si	0,16	1,36	Si	0,13	1,18	Si	2,62	5,10
3	-X	Masse	0,0	0,38	1,25	1,10	Si	0,14	0,89	Si	0,11	0,71	Si	1,95	4,01
4	-X	1° modo	0,0	0,46	2,24	1,18	Si	0,16	1,31	Si	0,13	1,13	Si	2,55	4,91
5	+Y	Masse	0,0	0,51	1,48	1,15	Si	0,18	1,18	Si	0,15	1,06	Si	1,94	4,30
6	+Y	1° modo	0,0	0,67	2,17	1,34	Si	0,22	1,31	Si	0,18	1,25	Si	2,23	4,13
7	-Y	Masse	0,0	0,59	1,47	1,26	Si	0,20	1,18	Si	0,16	1,00	Si	1,82	4,04
8	-Y	1° modo	0,0	0,73	1,62	1,37	Si	0,24	0,81	Si	0,20	0,81	Si	1,76	2,70
9	+X	Masse	85,0	0,38	1,17	1,09	Si	0,14	0,58	Si	0,12	0,58	Si	1,86	3,00
10	+X	Masse	-85,0	0,36	1,26	1,05	Si	0,14	1,08	Si	0,12	0,78	Si	1,98	4,63
11	+X	1° modo	85,0	0,46	2,07	1,16	Si	0,16	1,77	Si	0,13	1,11	Si	2,59	6,04
12	+X	1° modo	-85,0	0,45	2,22	1,14	Si	0,16	1,86	Si	0,13	1,26	Si	2,63	6,13
13	-X	Masse	85,0	0,38	1,18	1,10	Si	0,14	0,88	Si	0,11	0,70	Si	1,87	3,96
14	-X	Masse	-85,0	0,38	1,20	1,10	Si	0,14	0,90	Si	0,11	0,78	Si	1,90	4,04
15	-X	1° modo	85,0	0,47	2,13	1,18	Si	0,16	1,65	Si	0,13	1,05	Si	2,54	5,91
16	-X	1° modo	-85,0	0,46	2,22	1,17	Si	0,16	1,27	Si	0,13	1,27	Si	2,56	4,79
17	+Y	Masse	95,5	0,52	1,46	1,16	Si	0,19	1,14	Si	0,15	1,01	Si	1,89	4,10
18	+Y	Masse	-95,5	0,50	1,52	1,17	Si	0,18	1,29	Si	0,14	1,04	Si	2,01	4,68
19	+Y	1° modo	95,5	0,67	1,52	1,29	Si	0,23	1,02	Si	0,18	1,02	Si	1,74	3,34
20	+Y	1° modo	-95,5	0,64	2,02	1,31	Si	0,21	1,48	Si	0,17	1,23	Si	2,25	4,68
21	-Y	Masse	95,5	0,60	1,42	1,24	Si	0,21	1,32	Si	0,17	0,95	Si	1,75	4,35
22	-Y	Masse	-95,5	0,59	1,58	1,29	Si	0,20	1,17	Si	0,16	1,04	Si	1,93	4,01
23	-Y	1° modo	95,5	0,75	1,92	1,41	Si	0,24	0,83	Si	0,20	0,83	Si	1,99	2,69
24	-Y	1°	-95,5	0,70	1,48	1,38	Si	0,23	1,11	Si	0,19	1,11	Si	1,67	3,50



		modo																		
--	--	------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

Tabella 7.5 Risultati dell'analisi push-over Blocco C

L'analisi più gravosa è la numero 24, in cui il sisma avviene in direzione -Y, il carico sismico è proporzionale al primo modo e l'eccentricità è di -95,5 cm.

Essa ha un valore di  $\alpha_u$  pari a 1,67, quindi la struttura è in grado di sopportare una percentuale del 167% del sisma di progetto relativo allo Stato Limite Ultimo per un tempo di ritorno di 475 anni; in altre parole l'azione sismica sopportabile dalla struttura prima del collasso SLV è pari al 167% di quella che incide realmente nella direzione considerata.

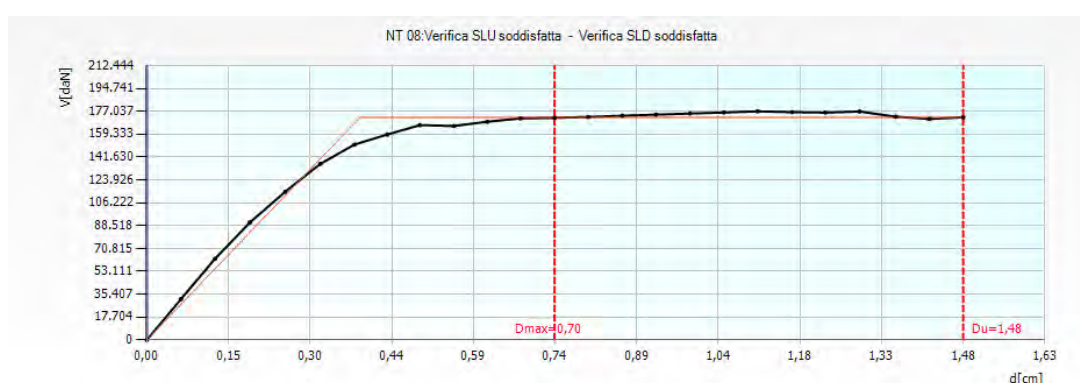


Figura 7.15 Curva di capacità riferita all'analisi 24

Nella Tabella 7.6 si riportano i valori dei parametri ottenuti dall'analisi 24.

						TR <sub>c</sub>			TR=cost	
	TR <sub>c</sub>	TR <sub>D</sub>	$\alpha_{TR}$	PGA <sub>D</sub> [m/s <sup>2</sup> ]	PGA <sub>C</sub> (TR) [m/s <sup>2</sup> ]	F <sub>0</sub> (TR)	T* <sub>C</sub> (TR)	$\alpha_{PGA}$ (TR)	PGA <sub>C</sub> [m/s <sup>2</sup> ]	$\alpha_{PGA}$
<b>SLV</b>	2357	475	4,962	0,81	1,33	2,61	0,37	1,646	1,35	1,671
<b>SLD</b>	1218	50	24,360	0,36	1,07	2,65	0,36	2,962	1,26	3,498
<b>SLO</b>	1218	30	40,600	0,30	1,07	2,65	0,36	3,578	1,35	4,515

Tabella 7.6 Vulnerabilità sismica Blocco C

I parametri dell'analisi sono:

- periodo del sistema equivalente  $T^* = 0,234$  s
- massa del sistema equivalente  $m^* = 624927,50$  kg
- massa totale  $w = 902849,41$  kg
- fattore di partecipazione modale  $\Gamma = 1,19$
- forza di plasticizzazione del sistema equivalente  $F_y^* = 144711$  daN
- spostamento di plasticizzazione del sistema equivalente  $d_y^* = 0,32$  cm
- spostamento ultimo del sistema equivalente  $d_u^* = 1,24$  cm

Di seguito sono riportate le configurazioni di rottura dei setti esterni che compongono il Blocco C.

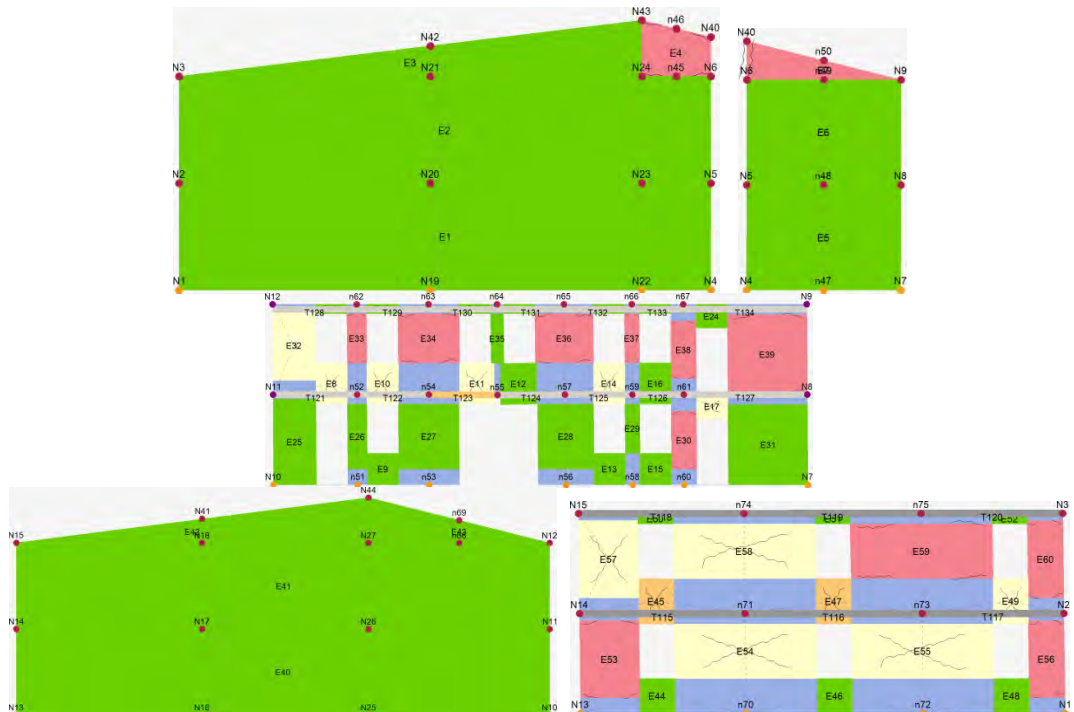


Figura 7.16 Rappresentazione delle pareti, rispettivamente da in alto a sinistra: parete 1, parete 2, parete 3, parete 4 e parete 5.

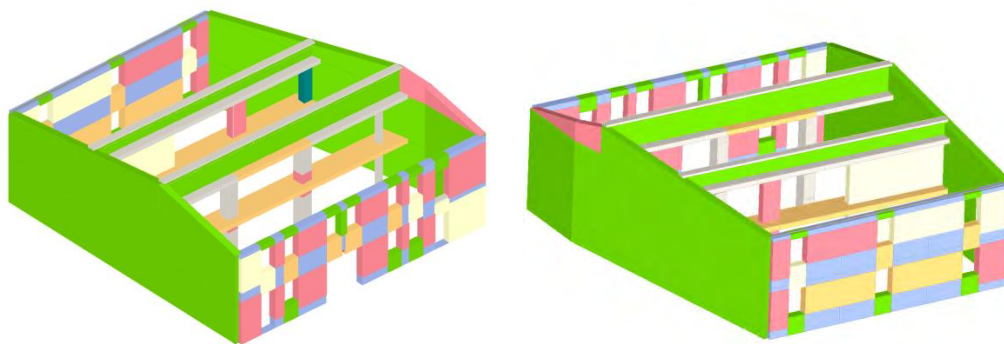


Figura 7.17 Viste assometriche Blocco C allo SLV

## 7.5 MODELLO 2: EDIFICI IN AGGREGATO

Il modello presenta le stesse caratteristiche del modello 1, con l'aggiunta dei vincoli che schematizzano la presenza degli edifici adiacenti. In particolare sono stati aggiunti i vincoli ai nodi indicati al paragrafo 7.3.

Di seguito si riportano per ciascuno dei tre blocchi i risultati ottenuti dall'analisi push-over.

### Blocco A

Come nel modello precedente, per il Blocco A l'analisi è stata condotta con riferimento agli spostamenti del nodo N46.

Nella Tabella 7.7 sono riportati i risultati delle 24 analisi push-over: sono indicati gli spostamenti massimi e ultimi per lo Stato Limite di salvaguardia della Vita, per lo Stato Limite di Danno e per lo Stato Limite di Operatività; l'indicatore del rischio di collasso  $\alpha_u$  e del rischio di inagibilità dell'opera  $\alpha_e$ .

Si nota che, in questo caso, le analisi sono tutte verificate.

In giallo sono indicate le analisi più gravose rispettivamente in direzione X e Y, in quanto presentano il coefficiente di attivazione  $\alpha_u$  più piccolo.

N.	Dir. sisma	Car. sismico prop.	Ecc. [cm]	SLV				SLD			SLO			Alfa u	Alfa e
				DMa x [cm]	Du [cm]	q* SLU	Ver.	DMa x [cm]	Dd [cm]	Ver.	DMa x [cm]	Do [cm]	Ver.		
1	+X	Masse	0,0	1,92	2,60	2,12	Si	0,69	2,41	Si	0,57	2,41	Si	1,30	3,10
2	+X	1° modo	0,0	2,20	2,76	2,40	Si	0,82	2,51	Si	0,67	2,51	Si	1,23	2,88
3	-X	Masse	0,0	1,86	2,65	1,88	Si	0,68	1,95	Si	0,56	1,95	Si	1,36	2,59
4	-X	1° modo	0,0	2,08	2,53	2,23	Si	0,76	1,78	Si	0,64	1,78	Si	1,19	2,18
5	+Y	Masse	0,0	3,31	4,04	2,43	Si	1,23	2,57	Si	0,91	2,57	Si	1,22	2,08
6	+Y	1° modo	0,0	3,72	5,20	2,41	Si	1,39	3,07	Si	1,03	3,01	Si	1,24	2,21
7	-Y	Masse	0,0	3,35	4,29	2,04	Si	1,25	3,39	Si	0,92	2,73	Si	1,28	2,72
8	-Y	1° modo	0,0	3,85	5,24	1,92	Si	1,44	3,59	Si	1,06	2,36	Si	1,36	2,50
9	+X	Masse	113,6	1,85	2,64	1,95	Si	0,66	2,54	Si	0,55	2,54	Si	1,36	3,35
10	+X	Masse	-113,6	1,99	2,56	2,40	Si	0,71	2,12	Si	0,59	2,12	Si	1,25	2,69
11	+X	1° modo	113,6	2,12	2,80	2,21	Si	0,79	2,49	Si	0,65	2,49	Si	1,29	2,94
12	+X	1° modo	-113,6	2,39	2,81	2,60	Si	0,92	2,32	Si	0,70	2,32	Si	1,15	2,47
13	-X	Masse	113,6	1,78	2,77	1,71	Si	0,65	1,93	Si	0,55	1,93	Si	1,46	2,65
14	-X	Masse	-113,6	1,95	2,57	2,04	Si	0,71	2,13	Si	0,59	2,13	Si	1,28	2,72

15	-X	1° modo	113,6	2,01	2,56	2,03	Si	0,74	2,27	Si	0,61	2,27	Si	1,24	2,82
16	-X	1° modo	113,6	2,15	2,92	2,30	Si	0,80	2,27	Si	0,66	2,27	Si	1,30	2,66
17	+Y	Masse	99,7	3,33	4,07	2,51	Si	1,24	2,59	Si	0,92	2,59	Si	1,20	2,08
18	+Y	Masse	-99,7	3,44	3,96	2,28	Si	1,28	2,61	Si	0,95	2,61	Si	1,15	2,04
19	+Y	1° modo	99,7	3,75	5,24	2,43	Si	1,40	3,21	Si	1,04	2,97	Si	1,23	2,30
20	+Y	1° modo	-99,7	3,57	4,99	2,48	Si	1,33	2,80	Si	0,99	2,80	Si	1,21	2,10
21	-Y	Masse	99,7	3,38	4,40	2,03	Si	1,26	3,73	Si	0,93	2,75	Si	1,30	2,96
22	-Y	Masse	-99,7	3,29	4,26	2,08	Si	1,23	3,25	Si	0,91	2,70	Si	1,29	2,65
23	-Y	1° modo	99,7	3,91	5,36	1,89	Si	1,46	3,55	Si	1,08	2,38	Si	1,37	2,44
24	-Y	1° modo	-99,7	3,57	5,26	2,13	Si	1,33	3,62	Si	0,99	2,34	Si	1,41	2,72

Tabella 7.7 Risultati dell'analisi push-over Blocco A

L'analisi più gravosa è la numero 18, in cui il sisma avviene in direzione +Y, il carico sismico è proporzionale alle masse e l'eccentricità è di -99,7 cm.

Essa ha un valore di  $\alpha_u$  pari a 1,15, quindi la struttura è in grado di sopportare una percentuale del 115% del sisma di progetto relativo allo Stato Limite Ultimo per un tempo di ritorno di 712 anni; in altre parole l'azione sismica sopportabile dalla struttura prima del collasso SLV è pari al 115% di quella che incide realmente nella direzione considerata.

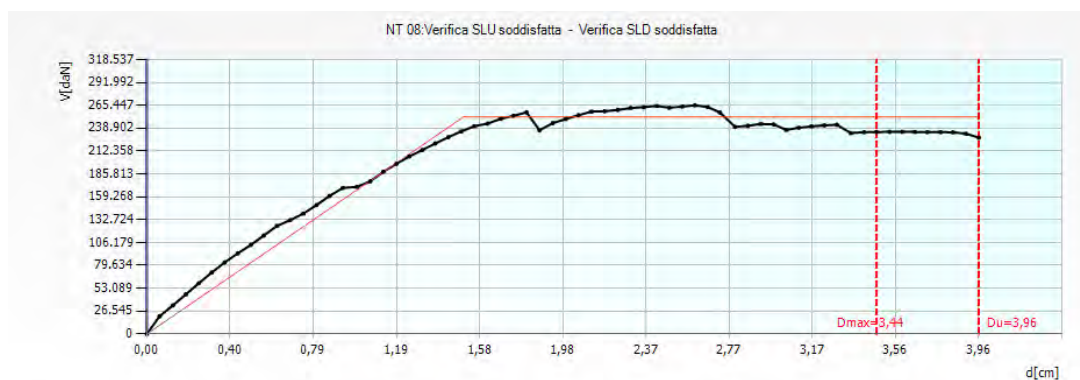


Figura 7.18 Curva di capacità riferita all'analisi 18

Nella Tabella 7.8 si riportano i valori dei parametri ottenuti dall'analisi 18.

						TR <sub>C</sub>			TR=cost	
	TR <sub>C</sub>	TR <sub>D</sub>	$\alpha_{TR}$	PGA <sub>D</sub> [m/s <sup>2</sup> ]	PGA <sub>C</sub> (TR) [m/s <sup>2</sup> ]	F <sub>0</sub> (TR)	T <sup>*</sup> <sub>C</sub> (TR)	$\alpha_{PGA}$ (TR)	PGA <sub>C</sub> [m/s <sup>2</sup> ]	$\alpha_{PGA}$
<b>SLV</b>	1149	712	1,614	0,94	1,04	2,65	0,36	1,117	1,08	1,151
<b>SLD</b>	385	75	5,133	0,42	0,72	2,64	0,34	1,724	0,85	2,035
<b>SLO</b>	385	45	8,556	0,35	0,72	2,64	0,34	2,078	0,95	2,749

Tabella 7.8 Vulnerabilità sismica Blocco A

I parametri dell'analisi sono:

- periodo del sistema equivalente  $T^* = 0,569$  s
- massa del sistema equivalente  $m^* = 1373158,67$  kg
- massa totale  $w = 2213803,70$  kg
- fattore di partecipazione modale  $\Gamma = 1,25$
- forza di plasticizzazione del sistema equivalente  $F_y^* = 202080$  daN
- spostamento di plasticizzazione del sistema equivalente  $d_y^* = 1,21$  cm
- spostamento ultimo del sistema equivalente  $d_u^* = 3,17$  cm

Di seguito sono riportate le configurazioni di rottura dei setti esterni che compongono il Blocco A

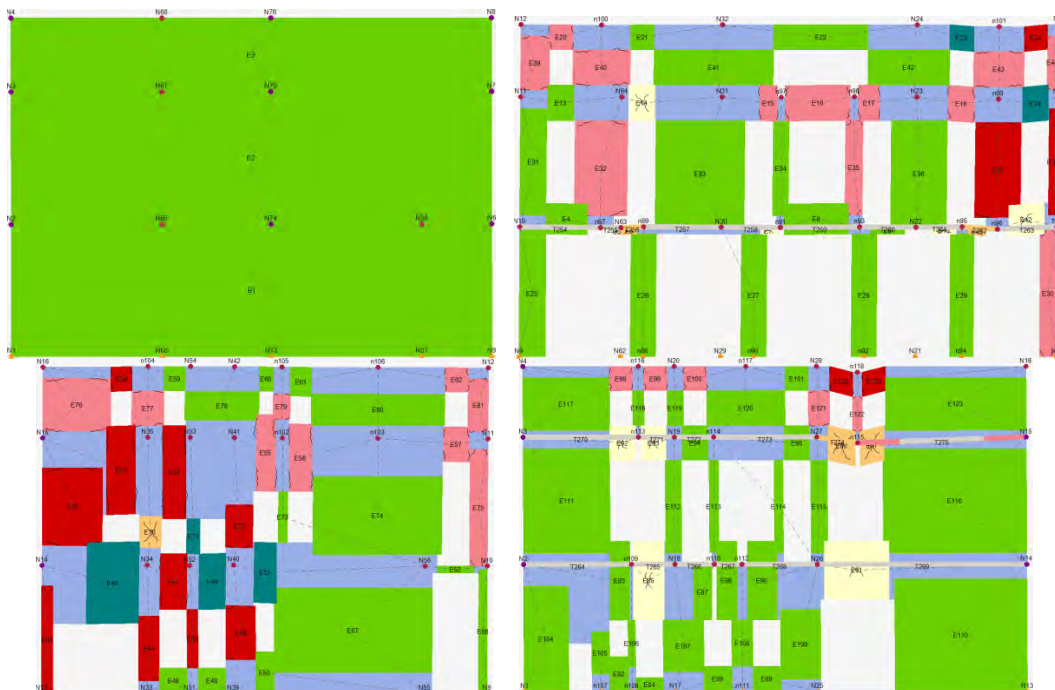


Figura 7.19 Rappresentazione delle pareti, rispettivamente da in alto a sinistra: parete 1, parete 2, parete 3 e parete 4.

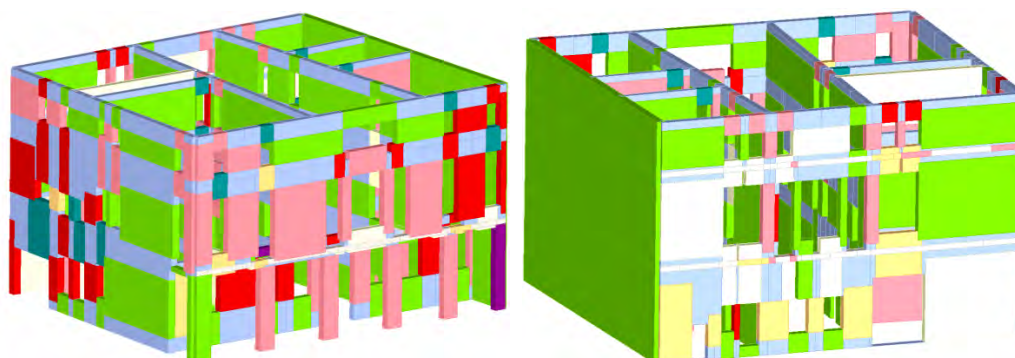


Figura 7.20 Viste assometriche Blocco A allo SLV

### Blocco B

Per il Blocco B, come nel modello precedente, l'analisi è stata condotta con riferimento agli spostamenti del nodo N16.

Nella Tabella 7.9 sono riportati i risultati delle 24 analisi push-over.

Si nota che per lo Stato Limite di Operatività le analisi sono tutte verificate, per lo Stato Limite di Danno sono tutte verificate tranne le analisi numero 17, 18 e 20, mentre per lo Stato Limite di salvaguardia della Vita le analisi non verificate sono le numero 5, 6, 7, 8, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23 e 24.

In giallo sono indicate le analisi più gravose rispettivamente in direzione X e Y, in quanto presentano il coefficiente di attivazione  $\alpha_u$  più piccolo.

N.	Dir. sisma	Car. sismico prop.	Ecc. [cm]	SLV				SLD			SLO			Alfa u	Alfa e
				DMax [cm]	Du [cm]	q* SLU	Ver.	DMax [cm]	Dd [cm]	Ver.	DMax [cm]	Do [cm]	Ver.		
1	+X	Masse	0,0	0,30	1,56	0,60	Si	0,13	1,14	Si	0,11	1,14	Si	2,86	5,96
2	+X	1° modo	0,0	0,38	1,36	0,68	Si	0,16	0,83	Si	0,13	0,83	Si	2,28	4,23
3	-X	Masse	0,0	0,30	1,23	0,57	Si	0,13	1,23	Si	0,11	1,23	Si	2,53	6,35
4	-X	1° modo	0,0	0,37	1,82	0,69	Si	0,16	1,12	Si	0,13	1,12	Si	2,77	5,12
5	+Y	Masse	0,0	2,88	1,23	5,18	No	0,99	1,06	Si	0,73	1,06	Si	0,43	1,06
6	+Y	1° modo	0,0	3,10	1,36	4,84	No	1,07	1,19	Si	0,79	1,19	Si	0,44	1,11
7	-Y	Masse	0,0	2,95	1,26	4,92	No	1,02	1,26	Si	0,75	1,26	Si	0,43	1,24
8	-Y	1° modo	0,0	3,17	2,06	4,73	No	1,09	2,06	Si	0,81	2,06	Si	0,63	1,84
9	+X	Masse	20,6	0,31	2,00	0,62	Si	0,13	1,01	Si	0,11	1,01	Si	3,30	5,44
10	+X	Masse	-20,6	0,30	1,21	0,60	Si	0,13	1,06	Si	0,11	1,06	Si	2,48	5,72
11	+X	1° modo	20,6	0,38	1,74	0,68	Si	0,16	1,00	Si	0,13	1,00	Si	2,67	4,73
12	+X	1°	-20,6	0,38	1,13	0,68	Si	0,16	1,14	Si	0,13	1,14	Si	2,04	5,12

		modo													
13	-X	Masse	20,6	0,30	0,95	0,58	Si	0,13	0,95	Si	0,11	0,95	Si	2,21	5,43
14	-X	Masse	-20,6	0,30	1,10	0,58	Si	0,13	0,74	Si	0,11	0,74	Si	2,39	4,75
15	-X	1° modo	20,6	0,37	2,05	0,67	Si	0,16	1,25	Si	0,13	1,25	Si	3,03	5,56
16	-X	1° modo	-20,6	0,37	1,34	0,67	Si	0,16	1,13	Si	0,13	1,13	Si	2,29	5,17
17	+Y	Masse	116,9	2,88	0,97	5,49	No	0,99	0,97	No	0,73	0,97	Si	0,34	0,97
18	+Y	Masse	-116,9	2,89	1,42	5,17	No	1,00	0,87	No	0,74	0,87	Si	0,49	0,88
19	+Y	1° modo	116,9	3,10	1,12	5,04	No	1,07	1,12	Si	0,79	1,12	Si	0,36	1,05
20	+Y	1° modo	-116,9	3,11	1,46	4,85	No	1,07	1,00	No	0,79	1,00	Si	0,47	0,94
21	-Y	Masse	116,9	3,00	1,10	5,23	No	1,03	1,10	Si	0,76	1,10	Si	0,37	1,07
22	-Y	Masse	-116,9	2,94	1,77	4,59	No	1,02	1,77	Si	0,75	1,77	Si	0,60	1,74
23	-Y	1° modo	116,9	3,17	3,30	5,62	No	1,09	1,30	Si	0,81	1,30	Si	0,53	1,19
24	-Y	1° modo	-116,9	3,18	4,68	5,74	No	1,10	1,95	Si	0,81	1,95	Si	0,52	1,51

Tabella 7.9 Risultati dell'analisi push-over Blocco B

L'analisi più gravosa è la numero 17, in cui il sisma avviene in direzione +Y, il carico sismico è proporzionale alle masse e l'eccentricità è di 116,9 cm.

Essa ha un valore di  $\alpha_u$  pari a 0,34, quindi la struttura è in grado di sopportare una percentuale del 34% del sisma di progetto relativo allo Stato Limite Ultimo per un tempo di ritorno di 475 anni; in altre parole l'azione sismica sopportabile dalla struttura prima del collasso SLV è pari al 34% di quella che incide realmente nella direzione considerata.

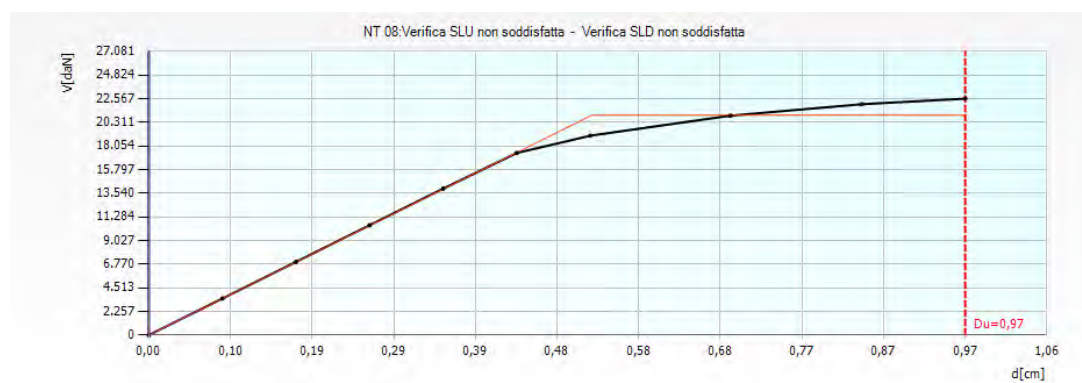


Figura 7.21 Curva di capacità riferita all'analisi 17

Nella Tabella 7.10 si riportano i valori dei parametri ottenuti dall'analisi 17.

						TR <sub>c</sub>			TR=cost	
	TR <sub>c</sub>	TR <sub>D</sub>	α <sub>TR</sub>	PGA <sub>D</sub> [m/s <sup>2</sup> ]	PGA <sub>C</sub> (TR) [m/s <sup>2</sup> ]	F <sub>0</sub> (TR)	T* <sub>C</sub> (TR)	α <sub>PGA</sub> (TR)	PGA <sub>C</sub> [m/s <sup>2</sup> ]	α <sub>PGA</sub>
<b>SLV</b>	49	475	0,103	0,81	0,35	2,53	0,25	0,435	0,27	0,336
<b>SLD</b>	49	50	0,980	0,36	0,35	2,53	0,25	0,978	0,35	0,973
<b>SLO</b>	49	50	1,633	0,30	0,35	2,53	0,25	1,182	0,39	1,318

Tabella 7.10 Vulnerabilità sismica Blocco B

I parametri dell'analisi sono:

- periodo del sistema equivalente  $T^* = 0,570$  s
- massa del sistema equivalente  $m^* = 329569,99$  kg
- massa totale  $w = 496407,68$  kg
- fattore di partecipazione modale  $\Gamma = 1,22$
- forza di plasticizzazione del sistema equivalente  $F_y^* = 17173$  daN
- spostamento di plasticizzazione del sistema equivalente  $d_y^* = 0,43$  cm
- spostamento ultimo del sistema equivalente  $d_u^* = 0,79$  cm

Di seguito sono riportate le configurazioni di rottura dei setti che compongono il Blocco B.

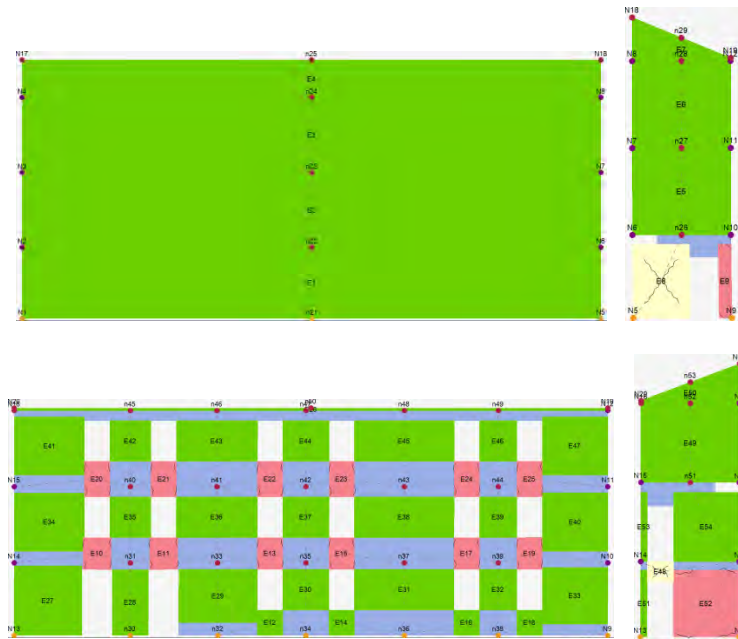


Figura 7.22 Rappresentazione delle pareti, rispettivamente da in alto a sinistra: parete 1, parete 2, parete 3 e parete 4.



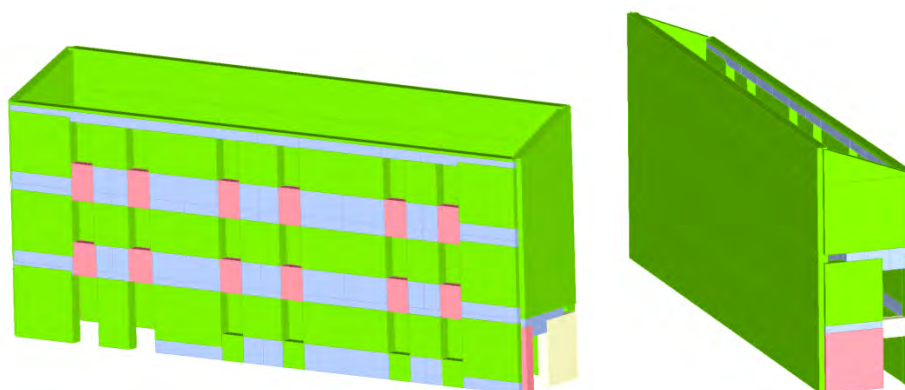


Figura 7.23 Viste assonometriche Blocco B allo SLV

### Blocco C

Per il Blocco C, come nel modello precedente, l'analisi è stata condotta con riferimento agli spostamenti del nodo N36.

Nella Tabella 7.11 sono riportati i risultati delle 24 analisi push-over.

Si nota che sia per lo Stato Limite di Salvaguardia della Vita, sia per lo Stato Limite di Danno, sia per lo Stato Limite di Operatività le analisi sono tutte verificate.

In giallo sono indicate le analisi più gravose rispettivamente in direzione X e Y, in quanto presentano il coefficiente di attivazione  $\alpha_u$  più piccolo.

N.	Dir. sisma	Car. sismico prop.	Ecc. [cm]	SLV				SLD			SLO			Alfa u	Alfa e
				DMax [cm]	Du [cm]	q* SLU	Ver.	DMax [cm]	Dd [cm]	Ver.	DMax [cm]	Do [cm]	Ver.		
1	+X	Masse	0,0	0,35	1,56	1,03	Si	0,14	1,32	Si	0,12	0,84	Si	2,31	5,40
2	+X	1° modo	0,0	0,45	2,22	1,14	Si	0,16	1,86	Si	0,13	1,26	Si	2,64	6,14
3	-X	Masse	0,0	0,37	1,20	1,09	Si	0,14	0,90	Si	0,11	0,78	Si	1,91	4,05
4	-X	1° modo	0,0	0,46	2,22	1,17	Si	0,16	1,74	Si	0,13	1,20	Si	2,56	5,96
5	+Y	Masse	0,0	0,52	1,52	1,17	Si	0,19	1,30	Si	0,15	1,11	Si	1,97	4,58
6	+Y	1° modo	0,0	0,65	1,43	1,29	Si	0,22	1,11	Si	0,18	1,11	Si	1,69	3,64
7	-Y	Masse	0,0	0,60	1,59	1,30	Si	0,20	1,17	Si	0,16	1,05	Si	1,91	3,98
8	-Y	1° modo	0,0	0,74	1,90	1,43	Si	0,24	1,11	Si	0,19	1,11	Si	1,99	3,43
9	+X	Masse	85,0	0,36	1,24	1,06	Si	0,14	1,01	Si	0,12	0,71	Si	1,96	4,39
10	+X	Masse	-85,0	0,35	1,45	1,04	Si	0,14	1,39	Si	0,12	0,91	Si	2,20	5,63
11	+X	1° modo	85,0	0,46	2,14	1,15	Si	0,16	1,78	Si	0,13	1,18	Si	2,60	6,06
12	+X	1°	-85,0	0,44	2,17	1,13	Si	0,16	1,93	Si	0,13	1,33	Si	2,65	6,17

13	-X	Masse	85,0	0,37	1,25	1,09	Si	0,14	0,89	Si	0,11	0,71	Si	1,96	4,02
14	-X	Masse	-85,0	0,38	1,15	1,11	Si	0,14	0,91	Si	0,11	0,79	Si	1,85	4,08
15	-X	1° modo	85,0	0,46	2,14	1,17	Si	0,16	1,72	Si	0,13	1,13	Si	2,56	5,95
16	-X	1° modo	-85,0	0,47	2,17	1,18	Si	0,16	1,69	Si	0,13	1,27	Si	2,54	5,93
17	+Y	Masse	95,5	0,54	1,54	1,17	Si	0,19	1,12	Si	0,16	1,06	Si	1,95	4,02
18	+Y	Masse	-95,5	0,52	1,58	1,20	Si	0,18	1,22	Si	0,15	1,10	Si	2,03	4,39
19	+Y	1° modo	95,5	0,70	1,73	1,36	Si	0,23	1,07	Si	0,19	1,07	Si	1,90	3,41
20	+Y	1° modo	-95,5	0,66	2,27	1,36	Si	0,21	1,35	Si	0,17	1,28	Si	2,21	4,27
21	-Y	Masse	95,5	0,59	1,41	1,24	Si	0,20	1,31	Si	0,17	1,00	Si	1,75	4,33
22	-Y	Masse	-95,5	0,61	1,57	1,31	Si	0,20	1,09	Si	0,16	1,03	Si	1,90	3,79
23	-Y	1° modo	95,5	0,76	1,91	1,43	Si	0,25	1,25	Si	0,20	1,19	Si	1,97	3,69
24	-Y	1° modo	-95,5	0,71	1,47	1,39	Si	0,23	1,16	Si	0,19	1,16	Si	1,66	3,63

Tabella 7.11 Risultati dell'analisi push-over Blocco C

L'analisi più gravosa è la numero 24, in cui il sisma avviene in direzione -Y, il carico sismico è proporzionale al primo modo e l'eccentricità è di -95,5 cm.

Essa ha un valore di  $\alpha_u$  pari a 1,66, quindi la struttura è in grado di sopportare una percentuale del 166% del sisma di progetto relativo allo Stato Limite Ultimo per un tempo di ritorno di 475 anni; in altre parole l'azione sismica sopportabile dalla struttura prima del collasso SLV è pari al 166% di quella che incide realmente nella direzione considerata.

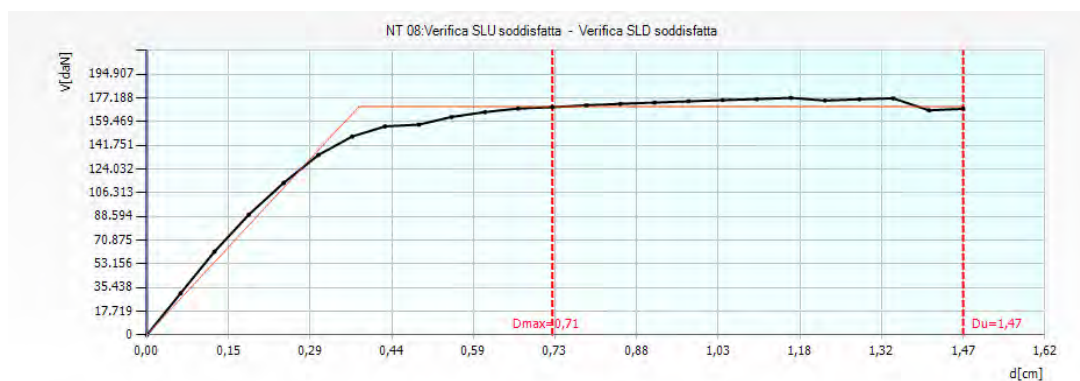


Figura 7.24 Curva di capacità riferita all'analisi 24

Nella Tabella 7.12 si riportano i valori dei parametri ottenuti dall'analisi 24.

						TR <sub>c</sub>			TR=cost	
	TR <sub>c</sub>	TR <sub>D</sub>	α <sub>TR</sub>	PGA <sub>D</sub> [m/s <sup>2</sup> ]	PGA <sub>C</sub> (TR) [m/s <sup>2</sup> ]	F <sub>0</sub> (TR)	T* <sub>c</sub> (TR)	α <sub>PGA</sub> (TR)	PGA <sub>C</sub> [m/s <sup>2</sup> ]	α <sub>PGA</sub>
<b>SLV</b>	2313	475	4,869	0,81	1,33	2,61	0,37	1,636	1,35	1,662
<b>SLD</b>	1351	50	27,020	0,36	1,10	2,64	0,36	3,066	1,31	3,629
<b>SLO</b>	1351	30	45,033	0,30	1,10	2,64	0,36	3,703	1,40	4,694

Tabella 7.12 Vulnerabilità sismica Blocco C

I parametri dell'analisi sono:

- periodo del sistema equivalente  $T^* = 0,235$  s
- massa del sistema equivalente  $m^* = 625662,54$  kg
- massa totale  $w = 902839,00$  kg
- fattore di partecipazione modale  $\Gamma = 1,19$
- forza di plasticizzazione del sistema equivalente  $F_y^* = 143641$  daN
- spostamento di plasticizzazione del sistema equivalente  $d_y^* = 0,32$  cm
- spostamento ultimo del sistema equivalente  $d_u^* = 1,24$  cm

Di seguito sono riportate le configurazioni di rottura dei setti esterni che compongono il Blocco C.

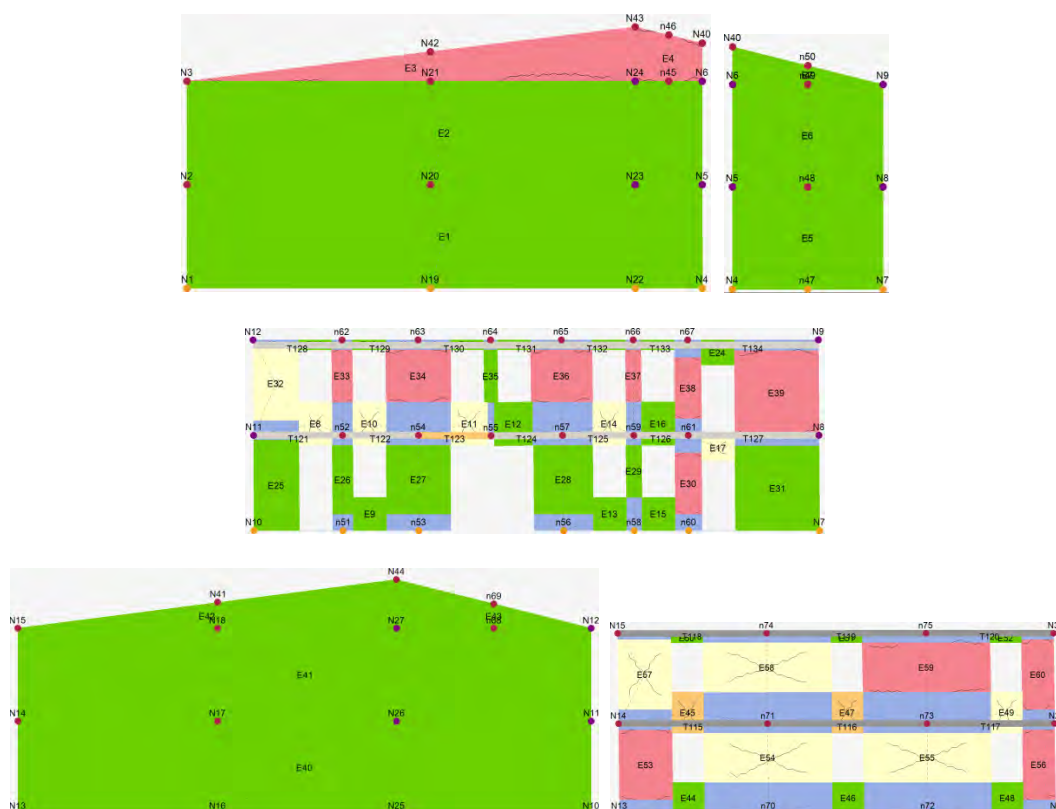


Figura 7.25 Rappresentazione delle pareti, rispettivamente da in alto a sinistra: parete 1, parete 2, parete 3, parete 4 e parete 5.

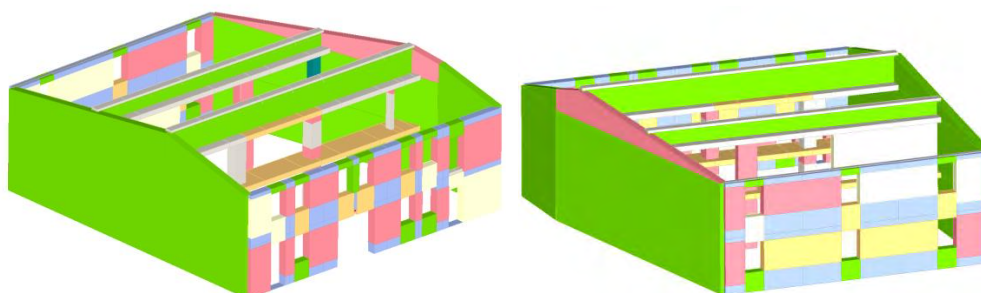


Figura 7.26 Viste assonometriche Blocco C allo SLV

## 7.6 CONCLUSIONI

Nel presente paragrafo si vuole concedere ulteriore spazio ai risultati appena ottenuti. Come si può notare dai due modelli, le pareti che mettono in crisi l'edificio sono le pareti 2, 3 e 4 del Blocco A e le pareti 3, 5, 6 del Blocco C; queste sono le pareti che presentano il maggior numero di aperture, spesso ravvicinate fra loro e presentano rotture per compressione, pressoflessione e rotture in fase elastica.

Per quanto riguarda il Blocco A nel secondo modello le analisi risultano tutte verificate e i valori del coefficiente di attivazione  $\alpha_u$  aumentano sia in direzione X che in direzione Y. Nel Blocco B aumentano gli  $\alpha_u$  in direzione X, ma diminuiscono in direzione Y; non si riscontrano cambiamenti significativi nel comportamento strutturale.

Nel Blocco C i coefficienti  $\alpha_u$  diminuiscono leggermente sia in direzione X che in direzione Y, ma anche qui non ci sono cambiamenti significativi nel comportamento strutturale.

Si procede ora al confronto dei valori di vita nominale  $V_N$ , ottenuti mediante la seguente formula:

$$V_N = -\left(\frac{T_{SLV}}{C_U}\right) \cdot \ln(1 - P_{VR})$$

Dove:

$T_{SLV}$  è il periodo di ritorno dell'azione sismica che porta al raggiungimento dello Stato Limite di salvaguardia della Vita valutato prima e dopo l'intervento;

$P_{VR}$  è la probabilità di superamento relativa allo stato limite considerato (10% per SLV)

$C_U$  è il coefficiente d'uso relativo alla classe d'uso ( $C_U=1,5$  per Classe d'Uso III e  $C_U=1,0$  per Classe d'Uso II).

Per ogni modello vengono prese in considerazione le analisi più gravose.

	<b>T<sub>SLV</sub> Modello1</b>	<b>T<sub>SLV</sub> Modello2</b>	<b>V<sub>N</sub> Modello1</b>	<b>V<sub>N</sub> Modello2</b>
<b>Blocco A</b>	767	1149	54	81
<b>Blocco B</b>	55	49	6	6
<b>Blocco C</b>	2357	2313	249	244

Per una maggiore comprensione dei risultati ottenuti si procede alla valutazione delle PGA reali a cui i modelli sono in grado di rispondere.

Per ogni modello, in corrispondenza dell'analisi più gravosa, il software presenta dei valori di  $PGA_D$  (Pick Ground Acceleration di domanda) e di  $PGA_C$  (Pick Ground Acceleration di capacità reale) entrambi espressi in  $m/s^2$ .

Dividendo il valore di  $PGA_C$  per il valore di  $PGA_D$  si ottiene la percentuale di scarto, cioè la percentuale di energia sismica dissipata dalla struttura.

<b>Blocco A</b>		
	<b>Modello 1</b>	<b>Modello 2</b>
<b>PGA<sub>D</sub> [m/s<sup>2</sup>]</b>	0,94	0,94
<b>PGA<sub>C</sub> [m/s<sup>2</sup>]</b>	0,91	1,04
<b>Scarto [%]</b>	96,80%	110,64%

<b>Blocco B</b>		
	<b>Modello 1</b>	<b>Modello 2</b>
<b>PGA<sub>D</sub> [m/s<sup>2</sup>]</b>	0,81	0,81
<b>PGA<sub>C</sub> [m/s<sup>2</sup>]</b>	0,37	0,35
<b>Scarto [%]</b>	45,68%	43,21%

<b>Blocco C</b>		
	<b>Modello 1</b>	<b>Modello 2</b>
<b>PGA<sub>D</sub> [m/s<sup>2</sup>]</b>	0,81	0,81
<b>PGA<sub>C</sub> [m/s<sup>2</sup>]</b>	1,33	1,33
<b>Scarto [%]</b>	164,19%	164,19%

Come detto in precedenza, non ci sono grandi differenze tra il Modello 1 e 2 dei blocchi B e C; le maggiori differenze a livello di comportamento strutturale si riscontrano nel Blocco A.

Il modello vincolato del Blocco A presenta un  $PGA_C$  che rientra nella zona sismica 2 e riesce a dissipare un'energia pari al 110,64% del sisma di progetto.

Per quanto riguarda il Blocco B, si può notare che la vita nominale è molto ridotta, 6 anni in entrambi i modelli, questi valori non soddisfano i requisiti suggeriti dalla normativa. Per poter ottenere dei valori di vita nominale accettabili potrebbero essere necessari degli interventi volti a migliorare il comportamento strutturale dell'edificio.

Gli interventi dovrebbero essere mirati all'ottenimento di una maggior stabilità strutturale soprattutto in direzione Y, nella quale tutti e tre i blocchi sono più carenti.



## CAPITOLO 8: PROPOSTE DI INTERVENTO PER LA RIDUZIONE DELLA VULNERABILITÀ SISMICA

Partendo dall'osservazione degli effetti del degrado è emerso che gli ambienti interni sono in buone condizioni, così come l'intero blocco B e l'intero blocco C.

Le principali vulnerabilità, su cui la presente tesi si vuole soffermare, sono state riscontrate nelle facciate del corpo storico.

In particolare:

PROSPETTO OVEST sul vicolo:

- Disposizione disordinata e irregolare delle aperture, che definisce maschi murari di diverso spessore e fasce di piano non uniformi.
- Distacco dell'intonaco nella parte sommitale della facciata, per questo motivo è stata posta un'opera provvisoria lungo tutta la larghezza della facciata.

PROSPETTO NORD sul cortile interno:

- Erosione diffusa delle colonne e delle arcate al primo piano, costituite da Pietra di Vicenza, materiale molto usato per la decorazione di ville venete, ma con scarse caratteristiche meccaniche.
- Distacco dell'intonaco che mette in mostra i giunti di malta superficialmente degradati.
- Presenza di una tamponatura con mattoni forati della terza e quarta arcata da sinistra.

Questa indagine preliminare è stata confrontata con le tre diverse metodologie di analisi della vulnerabilità sismica.

Valutando i possibili effetti attesi e confrontandoli con lo stato di fatto analizzato durante i sopralluoghi e le indagini visive è possibile proporre degli interventi per migliorare il comportamento degli elementi strutturali.

La comparazione dei modelli analitici e numerici per la valutazione della vulnerabilità sismica ha permesso di avere una visione globale del possibile comportamento strutturale dell'edificio e di valutare la sua vulnerabilità.

Dalla prima analisi, quella dei meccanismi locali di collasso, è emerso che tutte le analisi relative ai meccanismi di flessione verticale di parete e ai meccanismi di catena cinematica nel piano sono sempre verificate.

Invece i meccanismi di ribaltamento risultano spesso non verificati, ma mai con valori inferiori al 70% ( $\alpha_0/\max(a1;a2)$ ).

Dalla seconda analisi effettuata con Vulnus è stato attribuito un giudizio di vulnerabilità molto piccola per i valori di  $a/g$  relativi ai sismi storici e un giudizio di vulnerabilità piccola o media per il valore dato dalla norma.

Per valori di vulnerabilità molto piccoli le lesioni sono irrilevanti; per una vulnerabilità piccola le lesioni sono isolate; mentre per una vulnerabilità media le lesioni sono diffuse.

Si potrebbe affermare che per quanto riguarda i sismi storici di intensità 7 e 8 della scala MCS i risultati ottenuti rispecchiano la realtà dei fatti.

Nel caso oggetto di studio è stata individuata la classe di vulnerabilità A, in funzione della matrice di probabilità di danno >D2 (danno moderato), sulla base dei confronti con le curve EMS98.

Nella terza analisi, effettuata con 3Muri, è emerso che l'edificio ha maggiore vulnerabilità in direzione Y (l'asse Y è parallelo a via S. Francesco) e i danni maggiori si riscontrano nel blocco A.

Come era prevedibile si ha rottura per compressione, pressoflessione e rottura in fase elastica nelle pareti con più aperture, quindi nelle tre facciate del blocco A.

Il Blocco B è quello che presenta il maggior numero di analisi non verificate e la  $V_N$  non soddisfa i requisiti minimi suggeriti dalla norma. L'analisi più gravosa avviene in direzione +Y e presenta un  $\alpha_u=0,34$ , cioè l'edificio è in grado di sopportare il 34% dell'azione sismica di progetto.

Sulla base quindi dei risultati ottenuti con le analisi e sulla base delle considerazioni fatte nei capitoli precedenti sugli effetti del degrado, si possono proporre alcuni interventi di miglioramento.

Gli interventi sulle strutture sono da valutarsi nel quadro generale della costruzione.

I risultati elaborati nella fase di valutazione della sicurezza sismica sono stati ottenuti considerando diverse ipotesi, quindi è necessario avvalersi di dati più certi per poter definire con sicurezza la situazione in cui si trova l'edificio e per poterne progettare degli interventi in modo preciso e puntuale.

Di seguito viene fornita un'idea della tipologia di interventi che potrebbero essere applicati al caso oggetto di studio, che potranno essere definiti con maggior precisione solo in seguito a una conoscenza maggiore dell'edificio.

La normativa<sup>1</sup> indica che, nel caso di un bene tutelato, non è necessario conseguire un livello di sicurezza quale l'adeguamento (100%), ma è sufficiente ottenere un miglioramento sismico (80%).

La valutazione del miglioramento sismico, ottenuto in seguito all'intervento, viene effettuata con riferimento alla  $V_N$ , valutando e confrontando tale parametro prima e dopo l'intervento.

La normativa consiglia anche di privilegiare interventi in grado di trasformare l'edificio in modo non permanente: *"Gli interventi di consolidamento vanno applicati, per quanto possibile, in modo regolare e uniforme alle strutture. L'esecuzione di interventi su porzioni limitate dell'edificio va opportunamente valutata e giustificata calcolando l'effetto in termini di variazione nella distribuzione delle rigidezze. Nel caso si decida di intervenire su singole parti della struttura, va valutato l'effetto in termini di variazione nella distribuzione delle rigidezze. Particolare attenzione deve essere posta anche alla fase esecutiva degli interventi, onde assicurare l'efficacia degli stessi, in quanto l'eventuale*

---

<sup>1</sup> Linee guida, §2.2, Criteri per la valutazione della sicurezza sismica e dell'efficacia dell'intervento.



*cattiva esecuzione può comportare il peggioramento delle caratteristiche della muratura o del comportamento globale dell'edificio.”<sup>2</sup>*

La scelta dell'intervento verrà valutata anche in base a considerazioni di tipo economico, riguardo l'entità del beneficio effettivamente prodotto e la reale necessità dell'intervento.

Gli interventi proposti in seguito rientrano nelle seguenti categorie:

- Interventi volti a ridurre le carenze dei collegamenti;
- Interventi volti a incrementare la resistenza nei maschi murari;
- Interventi su pilastri e colonne.

Nel momento in cui si ritiene opportuno attuare degli interventi finalizzati al miglioramento del comportamento strutturale dell'edificio, è necessario prevedere un piano di monitoraggio per valutare l'efficacia degli interventi realizzati.

Secondo la normativa è necessario effettuare controlli periodici della costruzione, per attuare una conservazione consapevole, potendo così programmare opere di manutenzione nel tempo. La definizione di un programma di monitoraggio è fondamentale per garantire alla costruzione la vita nominale prevista.

## **8.1 PROPOSTA DI UN PIANO DI INDAGINI**

L'intervento di conservazione di un edificio storico è tanto più appropriato, quanto più profonda è la conoscenza della fabbrica, della sua evoluzione, dei materiali che la compongono, delle tecniche costruttive e della struttura portante.

Le esperienze maturate negli ultimi decenni nel campo della conservazione e del recupero dell'edilizia storica evidenziano la necessità di disporre di adeguate tecniche di valutazione delle caratteristiche costruttive e dell'effettivo stato di danno della struttura, prima di adottare qualsiasi tecnica d'intervento.

La fase diagnostica è importante sia per la scelta della soluzione più appropriata, sia per la definizione dei tempi e dei costi d'intervento.

Le indagini devono innanzitutto essere in grado di fornire una risposta a ipotesi già formulate dal progettista, fornire parametri fisici e meccanici da utilizzare nel calcolo strutturale.

I controlli, oltre che essere preliminari all'intervento, dovrebbero essere utilizzati anche per verificare l'efficacia delle tecniche d'intervento e quindi essere eseguite prima, durante e dopo l'intervento.

Le indagini eseguite in situ devono essere il più possibile non distruttive. Occorre ricordare che le tecniche non distruttive richiedono spesso costi elevati.

La fase diagnostica può essere prevista a diversi livelli di approfondimento, in base al tipo di edificio e alle motivazioni e finalità dell'indagine.

In generale, se si opera in assenza di un rischio immediato, l'indagine può interessare diversi aspetti del problema diagnostico. Ad esempio può trattarsi di un'indagine

---

<sup>2</sup> Circolare, § C8.A.5., Criteri per il consolidamento di edifici in muratura.

dettagliata dei materiali, della struttura e dello stato di degrado e può essere prolungata nel tempo; oppure può trattarsi di un'indagine finalizzata alla calibrazione di modelli meccanici rappresentativi dell'edificio, per simulare numericamente la risposta ai carichi di esercizio, a fenomeni di fatica o a eventi particolari come i terremoti.

La fase diagnostica è importante non solo per il controllo dei singoli interventi, ma anche per il comportamento globale dell'edificio e soprattutto è importante che venga effettuata all'interno di un programma di manutenzione a lungo termine dell'edificio riparato.

Le indagini sperimentali possono essere eseguite in sito o in laboratorio.

Le prime possono essere indagini di tipo qualitativo, come le prove soniche, radar, termografia, etc.; oppure di tipo quantitativo, come le prove con i martinetti piatti o doppi etc. Da questi dati qualitativi e quantitativi si ottengono parametri geometrici e meccanici.

Le prove in laboratorio si effettuano su campioni prelevati in sito; possono essere analisi chimiche, prove fisiche oppure prove meccaniche che consentono di ottenere parametri di input per i modelli di calcolo necessari per determinare la capacità portante della struttura.

Le prove possono essere distruttive, debolmente distruttive o non distruttive.

Di seguito vengono proposte alcune indagini mirate nei punti critici di Palazzo Sala sui quali poi si proporranno interventi di miglioramento.

### **Prove di laboratorio sulle colonne in pietra**

Le prove sui materiali vengono solitamente eseguite in laboratorio, su campioni prelevati in situ e hanno lo scopo di caratterizzare i materiali dal punto di vista chimico, fisico e meccanico. Servono a definire la composizione chimica della pietra e le sue proprietà fisiche e meccaniche.

Sono utili in fase diagnostica per verificare l'entità del danno e per predire la durabilità del materiale.

Il materiale è solitamente portato a rottura e non è più recuperabile, per questo tali prove sono considerate distruttive.

La fase di prelievo del materiale per le prove di laboratorio deve essere svolta in modo tale da bilanciare le esigenze di significatività dei risultati e l'esigenza di non distruttività del campionamento.

Il campione prelevato deve essere il più possibile non disturbato per essere effettivamente rappresentativo della situazione in situ.

Le finalità di queste prove sono molteplici, possono interessare:

- la caratterizzazione dei materiali dal punto di vista chimico, fisico o meccanico;
- l'individuazione dell'origine del materiale;
- la misura del degrado e della durabilità di nuovi materiali da impiegare nel restauro.

La metodologia di campionamento dipende dalle caratteristiche del materiale. In generale i principi guida del prelievo di materiale sono:

- il prelievo deve essere condotto nel rispetto dell'integrità dell'edificio;
- la quantità di materiale prelevato deve essere compatibile con lo scopo della prova;
- se lo scopo della prova è la caratterizzazione e la verifica dell'estensione del danno, il prelievo deve essere effettuato su diverse parti dell'edificio, in modo da individuare l'eventuale presenza di vari tipi di degrado;
- il campionamento deve riguardare porzioni di edificio non soggette all'azione della pioggia o a precedenti riparazioni, specialmente se il fine dell'indagine è la caratterizzazione dei leganti e degli aggregati delle malte;
- il numero di campioni deve essere sufficientemente alto, perché il risultato sia statisticamente significativo e rappresentativo della condizione della muratura.

In alcuni casi, se il degrado è limitato a pochi elementi, può essere necessaria la sostituzione degli elementi stessi. In tali condizioni le prove di laboratorio possono fornire utili indicazioni per la scelta dei nuovi materiali da impiegare.

Quando l'operazione di sostituzione non è possibile, per esempio data l'estensione del degrado, può essere indicata l'applicazione di appositi trattamenti superficiali. Le prove in laboratorio, in questi casi, forniscono indicazioni sulla scelta del prodotto da utilizzare.

In laboratorio si possono effettuare i seguenti esami:

PROVE MECCANICHE: sono prove di compressione e di trazione indiretta, durezza superficiale in diversi punti della superficie esterna e della sezione; con quest'ultima modalità si può valutare la profondità del degrado.

PROVE FISICHE: misura del peso specifico, dell'assorbimento d'acqua per immersione totale o per risalita capillare; questi sono parametri importanti per valutare la durabilità del materiale e degli effetti dei trattamenti superficiali; l'assorbimento iniziale di pietre e mattoni è essenziale per la scelta di miscele da iniezione per operazioni di riparazione; la diffrattometria a raggi X può invece individuare il tipo di sale presente all'interno o sulla superficie della muratura degradata; la porosimetria a mercurio serve invece per valutare indirettamente la trattabilità o la presenza di trattamenti superficiali; i coefficienti di espansione termica e in acqua devono essere misurati, nel caso di sostituzione, sui nuovi elementi.

PROVE CHIMICHE: servono per individuare i solfati alcalini; i materiali devono essere prelevati a diverse profondità, per definirne la presenza e la quantità.

ANALISI OTTICHE E MINERALOGICHE: servono per definire il degrado presente, le sue cause e la presenza di sali; le osservazioni petrografiche su sezione sottile esaminano la dimensione e la distribuzione dei pori, la dimensione e la distribuzione degli aggregati, l'origine geografica di argille e pietre, la temperatura di cottura dei mattoni.

PROVE DI DURABILITÀ: le prove di gelo e disgelo e di cristallizzazione salina evidenziano le prestazioni attese e il tempo di vita utile di nuovi materiali soggetti ad agenti aggressivi.

### **Prove in situ leggermente distruttive: carotaggi ed endoscopia**

Queste prove provocano una distruzione del materiale molto limitata, essendo localizzate.

L'ispezione diretta è la tecnica più indicata per l'analisi della morfologia muraria.

A volte può essere effettuata attraverso un semplice scasso, rimuovendo cioè alcuni mattoni o blocchi di pietra e rivelando e fotografando la sezione del muro, che viene poi restituita mediante scansione dell'immagine.

In alcuni casi è possibile effettuare carotaggi nei punti più rappresentativi della muratura. Lo scopo del carotaggio non è solo l'osservazione diretta, ma è quello di ricostruire la stratigrafia della muratura.

Il carotaggio dovrebbe essere effettuato con un carotatore dotato di una testa rotante diamantata.

All'interno delle perforazioni possono inoltre essere introdotti degli endoscopi, per una visione diretta della sezione. L'endoscopio può essere collegato a un'apparecchiatura fotografica o a una videocamera e registrare le immagini per ricostruire la sezione.

Il carotaggio è una tecnica molto utilizzata nelle indagini; il suo limite di applicabilità è legato all'impossibilità di ottenere campioni integri. La carota prelevata infatti risulta spesso decoesione dalle vibrazioni indotte dall'operazione di prelievo e la malta appare dilavata dall'acqua utilizzata per il carotaggio.

Questo impedisce di valutare l'effettiva qualità e consistenza del materiale originario.

Le informazioni raccolte sono significative nel caso di cavità consistenti o per una ricostruzione globale della sezione. In altri casi l'interpretazione delle immagini risulta poco chiara.

Si possono ottenere risultati migliori introducendo, invece dell'endoscopio, una telecamera con risoluzione delle immagini molto alta.

Bisogna però sottolineare che l'endoscopia e il prelievo di carote sono tecniche di indagine locale che forniscono una stratigrafia generale della sezione muraria.

Il grado di distruttività di questa tecnica dipende dal diametro del foro, che in caso di murature disomogenee non può essere inferiore a 5-8 cm, e dal numero di carotaggi eseguito per m<sup>2</sup>.



Figura 8.1 Carotaggio, esempio applicativo

La strumentazione è costituita da carotatori a basso numero di giri. L'operazione risulta sufficientemente veloce e poco costosa nel caso di materiali teneri, ma può essere molto lunga o quasi impossibile nel caso di materiali molto resistenti o di murature molto disomogenee.

## 8.2 INTERVENTI VOLTI A RIDURRE LE CARENZE DEI COLLEGAMENTI

Questi interventi sono finalizzati ad assicurare alla costruzione un buon comportamento d'insieme, mediante la realizzazione di un buon ammorsamento tra le pareti e di efficaci collegamenti dei solai alle pareti.

### Inserimento di tiranti metallici

Per migliorare il collegamento dei pannelli murari che non soddisfano le verifiche di stabilità fuori piano si possono realizzare delle catene metalliche; questa tecnica prevede l'inserimento a vista o sottotraccia di elementi resistenti a trazione (tiranti) ed elementi posti alle loro estremità con la funzione di contrastare gli sforzi a trazione (capochiave).

L'inserimento di tiranti metallici presenta molti vantaggi sia in relazione alla limitata invasività, sia all'economicità. I principali vantaggi sono:

- conferimento di un elevato grado di connessione tra le murature ortogonali;
- contrasto dell'azione di ribaltamento di pareti fuori piano;
- trasformazione non permanente dell'edificio, con possibilità di rimozione o modifiche nel tempo;
- miglioramento del comportamento nel piano di pareti forate per la formazione di meccanismo tirante-puntone nelle fasce murarie sopra porta e sotto finestre;
- riduzione di spinte non contrastate di coperture, archi e volte;
- conferimento all'edificio di un comportamento scatolare.

Vengono brevemente riportate le principali fasi di esecuzione per una corretta posa in opera di questo sistema<sup>3</sup>:

- Preparazione delle pareti: al fine di creare un'area di appoggio del paletto di ancoraggio adeguata a contrastare le sollecitazioni agenti dopo la messa in tensione della catena è opportuno intervenire sulla muratura con la scrostatura dell'intonaco, se necessario, e con eventuali opere di consolidamento mediante iniezioni nelle zone interessate dagli ancoraggi.
- Dimensionamento delle catene e tracciamento dei livelli e degli assi dei tiranti: le catene vanno inserite a livello degli orizzontamenti ed è bene mantenere eventuali simmetrie in pianta, in modo da evitare l'insorgere di effetti torsionali della struttura.
- Foratura delle pareti e inserimento dei tiranti: nel processo di foratura devono essere utilizzate perforatrici che non producano scuotimenti e vibrazioni sulla muratura che potrebbero comportare l'instaurarsi di fenomeni fessurativi sulle zone di ancoraggio. Le catene devono poi essere protette dall'azione degli agenti atmosferici con opportuni trattamenti o con guaine protettive. In genere sono da preferirsi catene inguainate, che permettono di poter effettuare operazioni di ritesaggio per compensare eventuali allentamenti.
- Messa in tensione dei tiranti: il tiro della catena deve essere calcolato in modo che sia in grado di assorbire la forza sismica orizzontale dovuta alla massa delle murature comprese tra i punti medi degli interassi di catene contigue, sia in orizzontale che in verticale, attraverso l'equazione di equilibrio tra momenti stabilizzante e ribaltante.
- Allungamento a caldo: una volta assicurata la perfetta ripresa del letto di malta cementizia ad elevate proprietà anti ritiro, interposto tra la muratura e la piastra di ancoraggio, si procede con il tiraggio delle catene. Dopo aver posto in opera la catena, se ne riscalda il tratto centrale fino all'allentamento dei capochiave. Successivamente, bloccando gli ancoraggi attraverso manicotto o attraverso i dadi di testa, la catena svilupperà il suo tiraggio raffreddandosi.
- Allungamento a freddo: è possibile solo se le catene hanno almeno a un estremo una filettatura e il capochiave è forato per permetterne il passaggio. Il tiraggio avviene avvitando il dado sull'estremo filettato della catena, fino a raggiungere l'allungamento calcolato. Invece del dado di testa, che contrasta sul capochiave, il tiraggio può avvenire per mezzo di un manicotto intermedio con filettatura destra-sinistra.

È bene ribadire ancora una volta la necessità di approfondire la conoscenza dell'edificio attraverso indagini dettagliate da svolgere in situ, per capire l'effettivo stato di

---

<sup>3</sup> C. Modena, F. Pineschi, M. R. Valluzzi (a cura di), Valutazione della vulnerabilità sismica di alcune classi di strutture esistenti – Sviluppo e valutazione di metodi di rinforzo.

conservazione dei materiali, l'attuale grado di collegamento tra le murature e tra murature e solai.

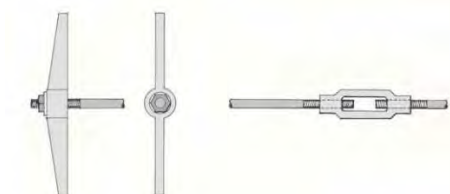


Figura 8.2 Dettaglio tirantatura

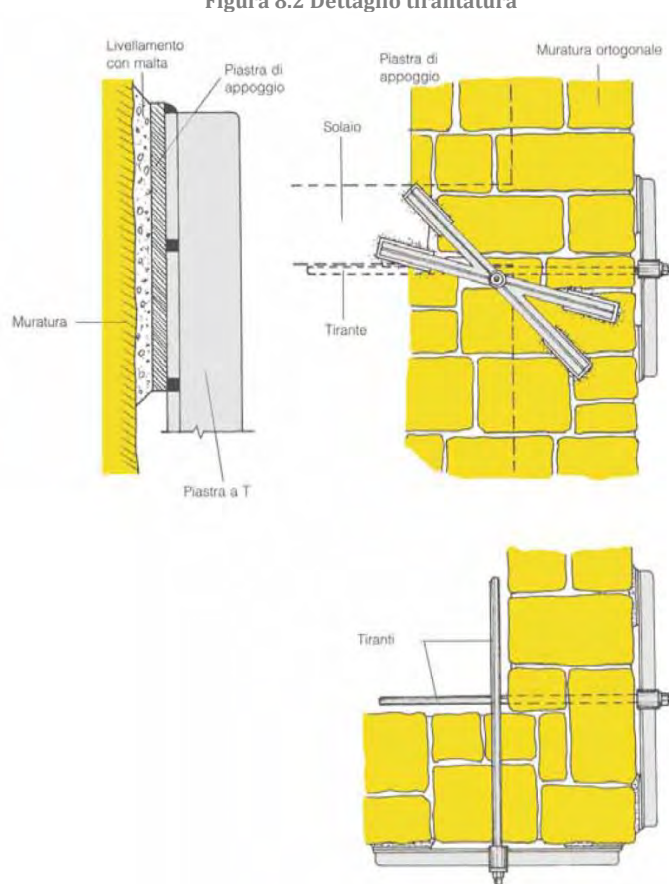


Figura 8.3 Dettaglio ancoraggio tiranti

I capochiave a paletto non vengono mai posti in opera in posizione verticale o orizzontale. L'orientamento dei capochiave deve essere scelto in funzione delle reazioni che possono fornire le strutture poste a immediato contatto locale.

Nel caso tipico di catena posta in aderenza al muro trasversale e sotto il pavimento, essa potrà ricevere l'ottimale contrasto da queste parti strutturali. A tal fine il paletto della

catena trova la sua ideale collocazione con orientamento a circa 45° sulla verticale e con il braccio superiore rivolto contro il muro trasversale.

Questa posizione impedisce di far scaricare l'azione della spinta (tiro) integralmente sul solaio oppure direttamente sulla parete di alloggiamento del capochiave.

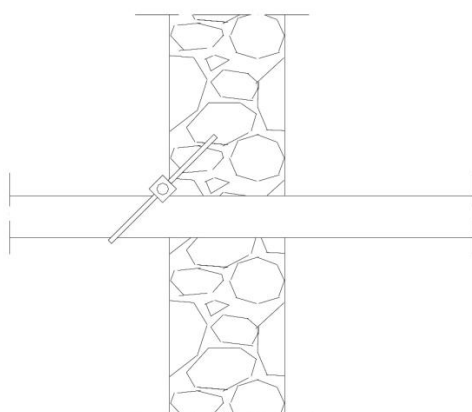


Figura 8.4 Posizione corretta del capochiave a paletto

Nel caso in cui la catena superi la lunghezza di 10 metri, essa dovrà essere costituita da più pezzi opportunamente collegati tra loro. Le unioni possono essere realizzate tramite elementi tenditori in grado di mettere in tiro la catena.

Le catene e gli organi di bloccaggio metallici inclusi nella muratura sono soggetti alla corrosione per effetto dell'umidità in essa contenuta, possono quindi andare incontro a diminuzione della sezione resistente. La riduzione della sezione causa l'indebolimento dei tiranti e, conseguentemente, la perdita delle loro funzioni statiche.

In tali casi l'intervento di consolidamento può prevedere la sostituzione delle catene degradate.

La corrosione delle catene può inoltre provocare ingenti danni nelle murature, poiché il conseguente aumento del loro volume può determinare tensioni che superano la resistenza dei manufatti in cui sono inseriti e determinare lesioni, rotture e spaccature.



### Cordolo metallico

Per evitare fenomeni di ribaltamento della parete si può inibire il meccanismo inserendo cordoli metallici; essi sono particolarmente indicati in quelle pareti dove non ci sono murature di spina che fungono da elemento di contrasto per l'inserimento di tiranti metallici.

Il cordolo in acciaio viene inserito lungo il perimetro interno dell'edificio, al livello del solaio, ed è connesso tramite connettori sia al solaio stesso che alla muratura.

Il cordolo metallico serve non solo per impedire i fenomeni di ribaltamento fuori piano della parete, ma anche per evitare lo spanciamiento della stessa nei casi in cui non ci siano elementi ortogonali intermedi.

Questo sistema di intervento risulta poco invasivo nei confronti delle murature. L'eliminazione degli scassi da eseguire sui muri non altera lo stato tensionale preesistente sulle murature stesse.

Devono essere prese particolari precauzioni in fase di realizzazione sulle murature a sacco, in quanto i fori devono essere realizzati in modo da interessare una zona della muratura tale da raggiungere il paramento esterno.

Per le altre tipologie murarie la perforazione dovrà essere di almeno 2/3 dello spessore murario.

Se necessario bisognerà provvedere a sagomare il profilato e a livellare l'area di appoggio.

Il cordolo metallico è solitamente costituito da tre elementi:

- un profilo in acciaio angolare a L;
- i connettori a barre filettate;
- la resina di ancoraggio.

Gli incroci d'angolo delle cordolature metalliche devono essere dotati di elementi di rinforzo per l'irrigidimento dei nodi e, in tali zone, dovranno essere infittiti i fori di collegamento alle murature.

La realizzazione di cordoli metallici deve necessariamente essere preceduta da una preliminare verifica della compatibilità del progetto alle caratteristiche della muratura, che deve essere di buona qualità e dotata di un minimo di spessore.

Il profilo metallico deve essere collocato lungo la muratura, creando continuità attraverso la realizzazione di un numero adeguato di fori di collegamento tra il profilo e la muratura esistente e tra il profilo e l'orditura principale del solaio.

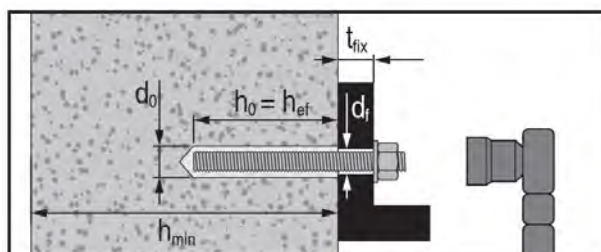


Figura 8.5 Esecuzione di un generico cordolo metallico

### **Fasciature con materiali compositi**

La tecnica consiste nell'incollare alla struttura, mediante resine epossidiche, delle fasce ad alta resistenza, composte da tessuti di fibre di materiale composito (carbonio, vetroresine) immerso in una matrice polimerica.

Questa tecnica è efficacemente utilizzata da alcuni anni per la conservazione e il recupero delle strutture di interesse storico-artistico in muratura.

Le caratteristiche principali del sistema sono la resistenza meccanica e chimica, il peso e lo spessore limitati, la facilità e la duttilità di applicazione nei riguardi dell'adattamento a forme complesse e non perfettamente piane.

I materiali compositi, a parità di peso, forniscono prestazioni migliori dell'acciaio, adesione perfetta alle superfici e spessori ridotti che fanno sì che l'impatto visivo sia trascurabile.

L'intervento è completamente reversibile in quanto le fasce sono semplicemente incollate alla superficie e possono essere rimosse in qualsiasi momento mediante un adeguato trattamento termico.

I campi di applicazione di questa tecnica nei riguardi delle strutture in muratura comprendono:

- il confinamento degli elementi verticali compressi;
- il cerchiaggio di pareti murarie per evitarne il ribaltamento fuori dal piano;
- il rinforzo di volte.

L'intervento di cerchiaggio con le fibre di materiale composito, pur non aumentando sensibilmente la rigidità fuori dal piano delle murature, ha lo scopo di collegare efficacemente le murature ortogonali, "chiudendo" la scatola muraria.

La tecnica consente di migliorare la risposta globale dell'edificio, conferendo inoltre una maggiore duttilità al sistema.

Le principali fasi di applicazione della tecnica sono:

- Preparazione delle superfici, previa indagine preliminare e tracciature delle aree da trattare. Nella zona di incollatura le asperità rilevanti devono essere regolarizzate, così come devono essere stuccate tutte le cavità e fessurazioni. Nei casi in cui è presente l'intonaco, esso deve essere rimosso fino al raggiungimento della superficie muraria.
- Applicazione del primer a rullo o a pennello.
- Applicazione del primo strato di adesivo epossidico, in maniera uniforme mediante un rullo o un pennello.
- Applicazione dello strato di rinforzo vero e proprio costituito dalle fibre di carbonio. I tessuti e i nastri sono ricoperti su di un lato da una pellicola protettiva. Essi vanno applicati dal lato della fibra scoperta sullo strato di resina, mentre sul lato della pellicola si esercita una leggera pressione in modo da far aderire le fibre alla struttura. Dopo tale operazione si toglie la carta protettiva e

si fa scorrere un rullo lungo la direzione delle fibre per favorire l'impregnazione della resina, evitando la formazione di bolle d'aria.

- Dopo aver atteso il tempo necessario di presa (generalmente 1 ora), si procede all'applicazione del secondo strato di resina secondo le stesse modalità. Nel caso di superfici esposte direttamente ai raggi U.V. le fibre devono essere protette da un'adeguata pellicola.
- Se è prevista l'esecuzione di un intonaco di finitura, prima che il secondo strato di resina sia del tutto asciutto, si provvede allo spolvero con sabbia di quarzo per garantire l'aggrappaggio del rinzafo dell'intonaco o della malta.

Nell'esecuzione di questa tecnica, la raccomandazione principale riguarda la preparazione del supporto e lo smusso degli spigoli per evitare concentrazioni di tensioni sulle fibre e taglio sulle stesse. Tali accorgimenti richiedono personale specializzato.

In genere vanno valutate attentamente le condizioni ambientali d'intervento, in particolare nel corso della stagione invernale in presenza di forte umidità.

Dal punto di vista dell'invasività l'intervento è in ogni caso reversibile, in quanto le fasce sono semplicemente incollate alla superficie e possono essere rimosse in qualsiasi momento mediante un adeguato trattamento termico.

Questo rende compatibile l'intervento con le esigenze di recupero conservativo.

Un limite è costituito dalla necessità di dover smussare gli angoli in presenza di spigoli vivi.

### Speroni o ringrossi murari

I fenomeni di ribaltamento delle pareti possono essere contrastati dalla costruzione di adeguati speroni o ringrossi murari.

Con il termine sperone, altrimenti detto contrafforte o barbacane, si intende un elemento in muratura di larghezza limitata, addossato a una parete a contrasto della stessa.

Il ringrosso murario invece è un intervento esteso all'intera parete soggetta a dissesto, di spessore più limitato, tale da compensare il fuori piombo e, se necessario fornire una piccola scarpa.

I principi funzionali di base sono analoghi a quelli delle puntellazioni: questi elementi sono in grado di contrastare le azioni di spinta che agiscono sulle strutture instabili cui sono connessi, grazie alla loro forma, al loro peso e alla loro posizione rispetto al cinematico che intendono contrastare.

Lo sperone o il ringrosso murario è realizzato per integrarsi con la struttura originaria e forma quindi, un nuovo elemento murario stabile dal punto di vista geometrico e nei riguardi delle azioni esercitate.

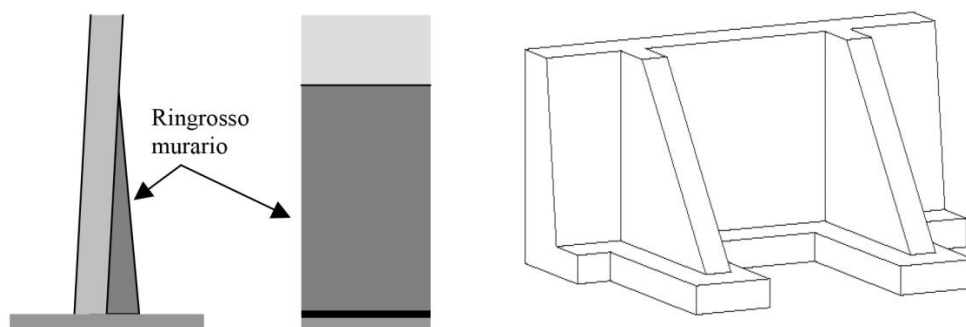


Figura 8.6 Schematizzazione di speroni e ringrossi murari

Questa tecnica si applica nel caso in cui una parete muraria si trovi in precarie condizioni di stabilità, in quanto fortemente fuori piombo o soggetta a spinte orizzontali significative, in assenza di idonei elementi di connessione.

Gli speroni o i ringrossi murari sono spesso impiegati in quelle situazioni in cui l'intervento si pone come definitivo o nelle quali si prevede che esso rimarrà in opera per lungo tempo. Tuttavia è un intervento reversibile e quindi, in linea di principio, adottabile anche come opera non definitiva.

La realizzazione degli speroni e dei ringrossi murari consiste nella costruzione di masse murare o in calcestruzzo di varia geometria e dimensioni, addossate e opportunamente ammortate alle murature originarie.

L'utilizzo del calcestruzzo è però sconsigliato per problemi d'incompatibilità chimico-fisica e strutturale con la struttura esistente.

La costruzione dello sperone segue le fasi e il metodo costruttivo proprio di una qualsiasi struttura muraria e può eventualmente essere associata ad altri sistemi e dispositivi di contenimento delle spinte, quali tiranti, catene o cerchiature.

La fase di realizzazione delle fondazioni deve tener conto delle inevitabili interferenze che i relativi scavi avranno con le strutture di fondazione dell'edificio esistente e quindi si dovrà porre particolare attenzione per evitare di indurre danni indesiderati o di peggiorare la situazione di equilibrio in cui si trova l'edificio.

Un limite implicito nella tecnica è costituito dalla realizzazione stessa dello sperone, che richiede l'esistenza di spazi liberi limitrofi, la cui entità è proporzionale all'altezza dello sperone stesso. Per questo non sempre è possibile ricorrere a questa tecnica, soprattutto nel caso di strutture comprese entro un tessuto urbano denso.

Gli speroni, a differenza dei puntelli, non possono essere messi in forza, quindi rappresentano solo un presidio eventuale, che diventa efficace solo a prezzo di una progressione del dissesto o in occasione di un evento sismico.

La costruzione di uno sperone inoltre muta radicalmente la configurazione e l'aspetto di un edificio e può avere un notevole impatto sul suo intorno e sull'ambiente in generale.

### 8.3 INTERVENTI VOLTI A INCREMENTARE LA RESISTENZA NEI MASCHI MURARI

Questi interventi sono finalizzati al risanamento e riparazione di murature deteriorate e danneggiate e al miglioramento delle proprietà meccaniche della muratura.

Il tipo di intervento da applicare deve essere valutato anche in base alla tipologia e alla qualità della muratura. Gli interventi vanno fatti con materiali dotati di caratteristiche fisico-chimiche e meccaniche analoghe e il più possibili compatibili con quelle dei materiali in opera.

#### Ristilatura dei giunti

L'intervento di ristilatura dei giunti può migliorare le caratteristiche meccaniche della muratura, in particolare per murature di spessore non elevato, come nel caso di Palazzo Sala, dove le murature esterne sono spesse 45 cm.

Particolare cura dovrà essere rivolta alla scelta della malta da utilizzare.

L'eventuale inserimento nei giunti ristilati di piccole barre o piattine metalliche o in altri materiali resistenti a trazione può ulteriormente migliorare l'efficacia dell'intervento.

Questa tecnica fornisce un efficace confinamento senza compromettere l'aspetto estetico del manufatto.

I principali vantaggi di questo intervento sono:

- elevate resistenze meccaniche;
- elevata resistenza alla corrosione e compatibilità con malte a base di calce;
- reversibilità e bassa invasività.

Questo intervento risulta durabile ed efficace nel tempo, migliorando il comportamento meccanico in maniera diffusa e omogenea su tutta la facciata; inoltre permette alla muratura di traspirare.

L'intervento è di facile applicazione e non eccessivamente oneroso per quanto riguarda i costi complessivi.

La tecnica prevede l'applicazione sulla facciata degradata di un trefolo metallico in acciaio inox AISI 316 a 49 fili, da annegare nella malta di ristilatura, seguendo i corsi precedentemente individuati e predisposti già debitamente scarificati e ripuliti.

Il rinforzo è applicato su una sola faccia e i trefoli sono disposti secondo traiettorie sub-verticali e sub-orizzontali a formare maglie approssimativamente quadrate, le cui dimensioni, normalmente comprese tra 300 e 500 mm, dipendono dalla grandezza degli elementi che costituiscono la muratura.

Il collegamento dei trefoli alla muratura è realizzato attraverso connettori trasversali in acciaio inox disposti secondo uno schema a quinconce irregolari. Il rabbocco finale di malta ricopre completamente sia i trefoli che i connettori.

Di seguito sono indicati i principali passaggi per la posa in opera:

- Studio della tessitura muraria della facciata da rinforzare e determinazione dell'andamento dei trefoli in acciaio per garantire un'armatura regolare.

- Scarnitura dei giunti di malta per una profondità di circa 6 cm e successivo lavaggio, effettuando l'operazione alcune ore prima dell'applicazione della malta.
- Realizzazione, mediante trapano a rotazione, delle perforazioni trasversali, iniezione dei perfori con malta a ritiro compensato o resina a inserimento delle barre in acciaio inox.
- Esecuzione di un primo rabbocco di malta nei giunti scarniti e successiva disposizione dei trefoli in acciaio inox.
- Pretensionamento dei trefoli.
- Realizzazione della ristilatura finale dei giunti, ricoprendo sia le funi che le teste delle barre trasversali.

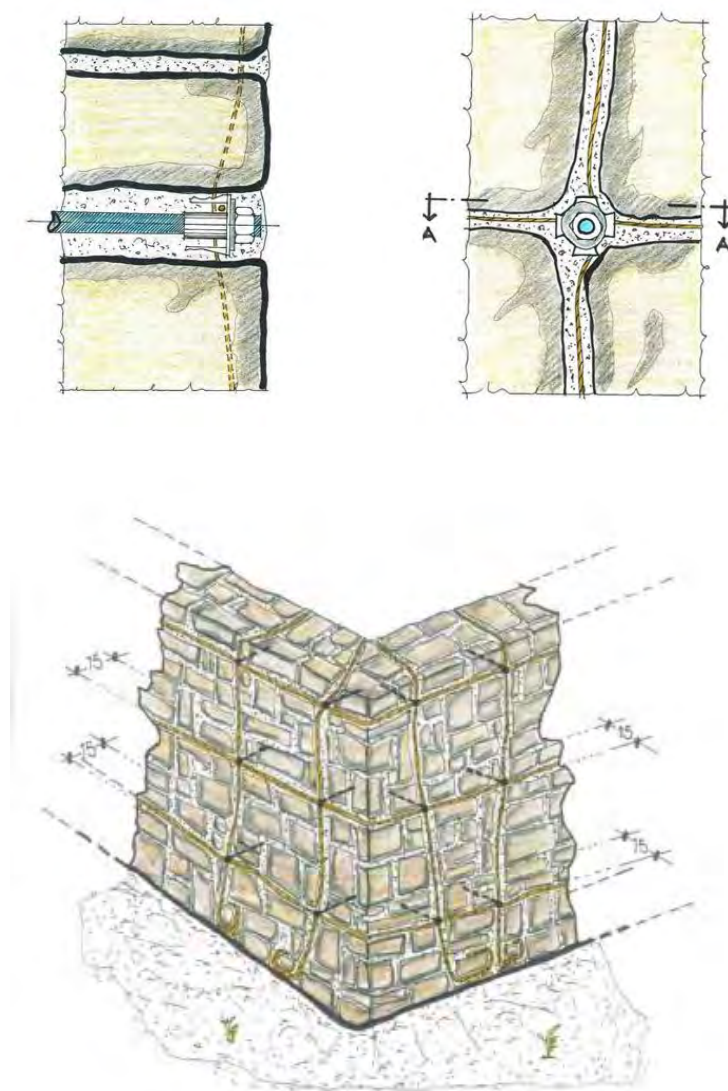


Figura 8.7 Esecuzione della tecnica di ristilatura armata

### **Iniezioni di miscele leganti**

Il consolidamento di strutture in muratura tramite iniezioni di miscele di varia natura è una delle tecniche d'intervento più utilizzate.

Il metodo consiste nell'iniettare una miscela di legante, in pressione o per colatura, nei vuoti presenti della parete che si vuole consolidare, in modo da ripristinare la continuità e migliorare le caratteristiche meccaniche della muratura.

Le miscele sono costituite da acqua e leganti inorganici (calci, cementi) o da miscele organiche (resine) che hanno un diverso grado di compatibilità con il supporto originario, soprattutto in relazione alla qualità delle malte esistenti, e conferiscono un diverso comportamento in termini di rigidità e resistenza alla muratura consolidata.

La parete deve presentare una tessitura con una sufficiente continuità di vuoti e la miscela deve essere progettata in modo da garantire una sufficiente penetrabilità, ossia un'adeguata fluidità.

Questa tecnica è utile nel caso di pareti fortemente decoese, per la riparazione di stati fessurativi diffusi o nel caso in cui sia necessario aumentare la resistenza meccanica della parete.

Essendo una tecnica poco invasiva, le iniezioni di malta sono ammissibili nel restauro; tuttavia si potrebbero avanzare critiche nei riguardi della reversibilità dell'intervento, in quanto il nuovo materiale apportato si confonde totalmente e irreversibilmente con quello originale.

I principali passaggi per l'applicazione della tecnica sono:

- Preparazione della parete: rimozione dell'intonaco e risarcimento delle parti ammalorate attraverso la stuccatura delle lesioni, per evitare la fuoriuscita della miscela.
- Esecuzione dei fori di iniezione: i fori si realizzano con sonde a rotazione (mai a percussione) adottando diametri, interassi, lunghezze e spessore della muratura da consolidare. In genere si effettuano 2 o 3 fori al m<sup>2</sup>, i diametri sono compresi tra i 20 e i 40 mm, l'interasse tra i 30 e i 100 cm e sono disposti su file parallele a formare un reticolo regolare.
- Introduzione di ugelli e bloccaggi, lunghi almeno 10 cm e sigillati con malta di cemento.
- Scarnitura profonda dei giunti murari.
- Lavaggio del muro: attraverso gli ugelli viene messa acqua all'interno della muratura in leggera pressione procedendo dall'alto verso il basso e controllando l'eventuale presenza di vie di fuga che vanno sigillate. L'acqua introdotta elimina i detriti e porta a saturazione la muratura, ponendo le premesse per una buona maturazione della miscela iniettata, lasciandola fluida e attenuandone il ritiro.
- Stilatura dei giunti con malta di cemento e sabbia a grana grossa (o comunque con malta porosa).
- Inserimento dei tubetti di iniezione filettati e loro fissaggio.



- Bagnatura, a più riprese, fino a saturazione.
- Iniezione: la miscela legante viene iniettata a bassa pressione (in genere  $\leq 1,5-2$  atm). Le iniezioni sono effettuate su tratti simmetrici dai lati esterni verso il centro, procedendo dal basso verso l'alto e realizzando sovrapposizioni delle zone trattate. Se nel corso dell'iniezione si verifica fuoriuscita non voluta di malta, si sigilla con polvere di cemento.
- Rimozione degli ugelli d'iniezione ed eliminazione di eventuali sbavature.

La scelta del tipo di malta da iniettare si effettua in seguito ad analisi chimiche dei materiali esistenti, in modo da utilizzare malte compatibili.

È d'obbligo quindi effettuare una campagna di indagini accurata sia da un punto di vista meccanico che chimico.

Tale intervento è sconsigliato su murature a sacco ed è inutile su quelle costituite da blocchi squadrati con assenza di vuoti.

Se associato all'intervento di betoncino armato può contribuire a un miglioramento delle caratteristiche meccaniche del paramento.

Il consolidamento ideale dovrebbe essere eseguito su tutta la struttura, aumentando la resistenza dell'intera compagine muraria ed evitando zone non consolidate, che diventano punti di debolezza per la struttura stessa.

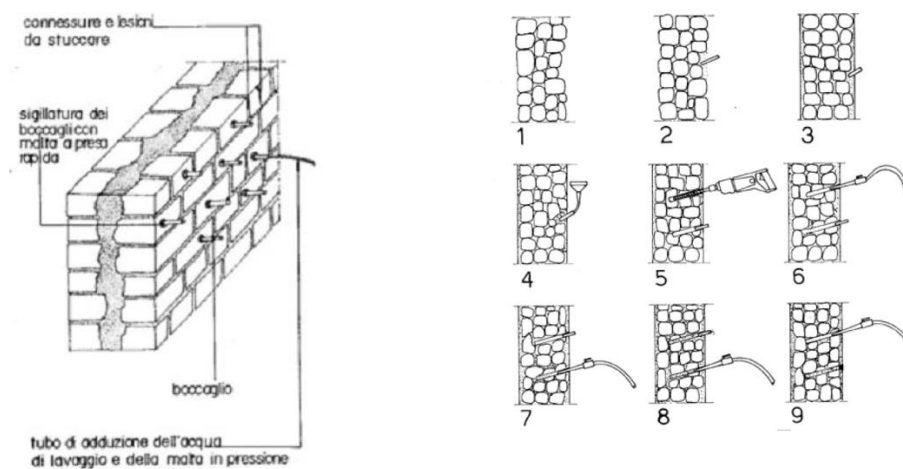


Figura 8.8 Esecuzione della tecnica di iniezione di miscela leganti

### **Intonaco armato con FRP**

La tecnica di consolidamento mediante intonaci armati consiste nel realizzare, in aderenza alla superficie del paramento murario, una parete di materiale a base cementizia, armata con rete di FRP e resa solidale alla stessa con barre ancorate nella muratura per almeno 2/3 dello spessore murario.

Una volta questa tecnica veniva effettuata con rete metallica, ma oggi è considerata una tecnica troppo invasiva e soggetta agli agenti atmosferici, per questo si preferisce usare materiali fibro-rinforzati. Le modalità di posa in opera sono analoghe a quelle della tecnica con rete metallica.

La lastra fornisce un confinamento parziale alla dilatazione trasversale dei paramenti. Questo metodo permette di aumentare la rigidità e la resistenza grazie all'apporto di un'ulteriore sezione resistente in c.a..

Tale tecnica è molto utilizzata in virtù della facilità di esecuzione, ma l'intervento risulta incompatibile con i principi della conservazione per i seguenti motivi:

- Irreversibilità: è praticamente impossibile rimuovere la paretina in c.a. senza danneggiare completamente la muratura.
- Invasività: occulta i paramenti murari, modificando le forme e le dimensioni della costruzione.
- Incompatibilità: altera le proprietà fisiche (traspirabilità, permeabilità al vapore e isolamento termico) e le caratteristiche di deformabilità della parete.

Inoltre l'intervento è vulnerabile nei confronti degli agenti ambientali, per la possibilità di corrosione dei connettori trasversali se non vengono utilizzate barre in acciaio inox.

Il suo impiego nell'edilizia storica dovrebbe essere evitato. I possibili campi di applicazione sono il consolidamento di maschi murari fortemente danneggiati.

Le principali fasi operative della tecnica sono:

- Preparazione della parete: è necessario asportare l'intonaco e lavare la muratura con getto d'acqua o aria a bassa pressione; è necessario poi stuccare con malta cementizia a presa rapida le fessure e i vuoti macroscopici. Nell'operazione di lavaggio la parete va portata a saturazione.
- Perforazioni: la perforazione della muratura va effettuata con trapani o sonde a rotazione. I fori devono essere distribuiti in modo uniforme sulla parete per creare una maglia regolare e devono essere leggermente inclinati in modo da favorire il loro successivo riempimento con malta cementizia.
- Allargare le fessure maggiori asportando anche le parti di parete già smosse.
- Pulire con getto le fessure.
- Inserimento di barre: generalmente vengono utilizzati tondini per c.a. ad aderenza migliorata con diametro da 4 a 8 mm; essi vengono posizionati per

battitura attraverso i giunti di malta, sfruttando eventualmente le lesioni presenti.

- Posizionamento delle armature: in genere si usano reti elettrosaldate con barre di diametro di 3-6 mm, con maglia 10x10 oppure 15x15. La rete viene distanziata di almeno 1 cm dalla parete. Bisognerebbe risvoltare di almeno 50 cm in corrispondenza delle intersezioni con murature ortogonali e prevedere delle zone di sovrapposizione delle reti elettrosaldate di almeno 20 cm. Posizionata la rete si piegano i tiranti ad uncino di 90°.
- Esecuzione delle lastre: la posa in opera della miscela di legante è realizzata con procedure diverse in funzione dello spessore della lastra che si vuole applicare. Per spessori modesti (3-5 cm) la paretina è realizzata spruzzando meccanicamente la malta cementizia ad alto contenuto di cemento sulla rete in uno o più passaggi.

La corrosione dell'armatura e l'ancoraggio modesto alla muratura sono indicatori di elevata vulnerabilità per questo tipo di intervento.

È possibile che si verifichi il meccanismo di rottura dei connettori con conseguente ribaltamento della lastra esterna. A causa della mancanza di aderenza tra la lastra e la muratura e della corrosione dei collegamenti durante l'azione sismica, la lastra esterna, distaccata dalla parete, è più libera di deformarsi e si comporta in modo autonomo con elevata possibilità di ribaltamento per la modesta rigidità flessionale.

Conviene sempre effettuare l'intervento su entrambe le facciate della parete, poiché in tal modo i ferri passanti di collegamento attraversano l'intero spessore murario, conferendo un comportamento unitario anche a murature costituite da due paramenti.

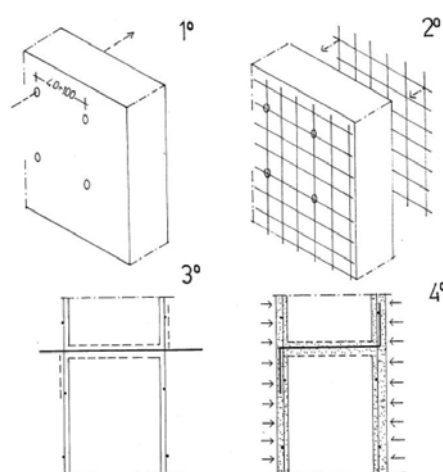


Figura 8.9 Schema rappresentativo della tecnica di applicazione dell'intonaco armato

#### 8.4 INTERVENTI SU PILASTRI E COLONNE

Per quanto riguarda le colonne in pietra del prospetto nord sul patio interno, essendo destinate a sopportare carichi verticali con modesta eccentricità, gli interventi devono essere configurati in modo tale da:

- ricostituire la resistenza iniziale a sforzo normale, mediante provvedimenti quali cerchiature e tassellature, in alcuni casi può essere accettabile il ricorso ad incollaggi con resine;
- eliminare o contenere le spinte orizzontali mediante l'inserimento di catene in presenza di archi;
- ricostruire o realizzare collegamenti di idonea rigidità, al fine di trasferire le azioni orizzontali a elementi murari di maggiore rigidità.

Sono da evitare, fatta eccezione per particolari casi dimostrati con dettagliata specifica tecnica, gli interventi non reversibili volti a conferire a colonne e pilastri resistenza a flessione e taglio, che modificano il comportamento di insieme della struttura.

La proposta di interventi sulle colonne viene fatta in merito alle colonne e alle arcate al primo piano del prospetto nord sul patio interno; esse infatti si presentano particolarmente erose.

Sono costituite da Pietra di Vicenza, materiale molto usato per la decorazione di ville venete, ma con scarse caratteristiche meccaniche, probabilmente per questo motivo la terza e la quarta arcata da sinistra sono state tamponate, ma l'intervento, che doveva essere temporaneo, è stato fatto con mattoni forati.

La Pietra di Vicenza è composta da carbonato di calcio ( $\text{CaCO}_3$ ) intorno al 90-95% e da percentuali non trascurabili di ossido di alluminio e ossido di ferro.

In superficie la roccia subisce un indurimento progressivo dovuto alla parziale cementazione dei pori.

Si riportano in Tabella 8.1 le principali caratteristiche fisiche e meccaniche.

<b>Peso di volume [g/cm<sup>3</sup>]</b>	2,01
<b>Coefficiente di imbibizione</b>	11,41
<b>Resistenza a compressione [DaN/cm<sup>2</sup>]</b>	233,00
<b>Resistenza a taglio [DaN/cm<sup>2</sup>]</b>	24,15
<b>Resistenza a flessione [DaN/cm<sup>2</sup>]</b>	51,90
<b>Resistenza all'abrasione [indice di Taber]</b>	361,50
<b>Porosità totale [%]</b>	28

Tabella 8.1 Caratteristiche fisiche e meccaniche della Pietra di Vicenza

### Puntelli in acciaio

I puntelli sono elementi di presidio formati da aste che lavorano esclusivamente o prevalentemente a compressione. I puntelli di sostegno provvedono a sorreggere il carico sovrastante.

L'utilizzo di puntelli in acciaio offre notevoli vantaggi per rapidità e facilità di installazione, quando le altezze non superano i 4-5 m.

I puntelli di sostegno vengono spesso utilizzati negli edifici in muratura operando in parallelo a colonne o pareti che manifestano perdite della loro capacità portante, esplicando quindi azioni concentrate sulla massa presidiata.

La messa in opera è agevole, rapida ed effettuabile su larga scala; non richiedono manodopera specializzata e i materiali utilizzati sono facilmente reperibili.

È possibile optare per diverse geometrie dei sistemi con la possibilità di conservare la transitabilità dei vani.

I puntelli sono di massa contenuta rispetto ai tamponamenti.

Se vengono realizzati in ambienti esterni presentano una ridotta duttilità per l'esposizione agli agenti atmosferici e necessitano di controlli periodici per valutarne il mantenimento in efficienza.



Figura 8.10 Esempio applicativo puntelli in acciaio, Via Vescovado 71 Padova

## Muratura armata

Questa tecnica consiste nell'applicare apporti resistenti a trazione, detti rinforzi (o armature), alla muratura.

In passato la muratura armata veniva realizzata con rinforzi d'acciaio; da circa una decina di anni invece i rinforzi sono di materiale composito: nastri in FRP incollati al contorno murario.

Una variante di questa tecnica è la pretrazione dei rinforzi: armature attive.

La pretrazione delle armature imprime uno stato coattivo di precompressione nelle murature, essendo la coazione una sollecitazione indipendente dai carichi.

Le modalità di pretrazione sono due:

- Le barre vengono inserite all'interno della muratura. Dopo la tesatura, le barre vengono solidarizzate alla muratura con un'iniezione. Il materiale delle barre solitamente è l'acciaio armonico, ma talvolta si preferisce il materiale composito perché è immune alla corrosione e perché ha un minore modulo elastico, che attenua le cadute di tiro.
- Le lamine vengono incollate, dopo la tesatura, all'esterno della muratura. Le lamine solitamente sono in materiale composito.

Solitamente la precompressione della muratura consente di evitare, o quantomeno ridurre, la parzializzazione del meccanismo deformato, incrementando la rigidità strutturale.

Solo alcune tipologie di murature possono però avvalersi della precompressione: le colonne snelle, le volte ribassate, le piattabande.

In campo sismico la precompressione può essere adottata per limitare il danneggiamento, avvalendosi dell'aumento di rigidità. I rinforzi vengono tesati in modo da generare la precompressione atta a rispettare lo stato limite di danno.

L'utilizzo dei compositi si è rivelato una tecnica innovativa e avanzata, più funzionale della precedente con l'acciaio e, negli ultimi anni, si sta sviluppando enormemente.

Bisogna però dire che le applicazioni pratiche hanno preceduto le conoscenze teoriche.

Non essendoci una letteratura specifica a cui fare riferimento si possono citare alcuni interventi per capire meglio il funzionamento di tale tecnica.

Un intervento ritenuto particolarmente significativo è quello attuato dall'Ingegnere Paolo Foraboschi in una chiesa di Cles (Trento).

Qui i paramenti murari portati dai pilastri sono stati dotati della capacità di sostenere se stessi e il coperto senza bisogno delle colonne.

L'obiettivo è stato raggiunto realizzando un sistema reticolare in materiale FRP.

Le aste compresse sono ideali: bielle di muratura (rappresentate in Figura 8.11 con linee verdi); le aste tese sono reali: lamine in composito, fibra di carbonio a 5 strati (rappresentate con linee blu).

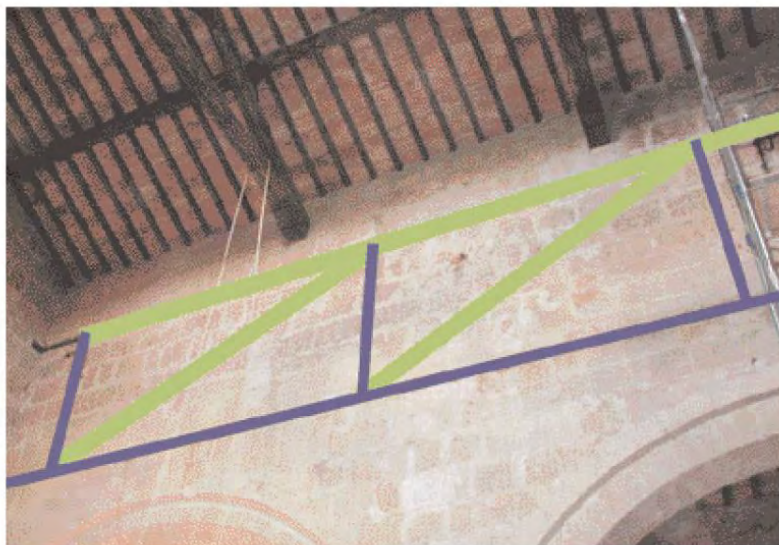


Figura 8.11 Applicazione della tecnica della muratura armata nella chiesa di Cles (Trento)

Il funzionamento della reticolare remota presuppone un paramento compatto e coeso, altrimenti le bielle compresse non potrebbero sussistere. La freccia ultima della reticolare remota deve pertanto essere limitata.

Nell'intervento a cui si fa riferimento il calcolo ha dimostrato che la dilatazione dei rinforzi non deve sorpassare il valore di 0,00145 per garantire tale prestazione.

I 5 strati di nastri garantiscono una deformazione massima dei rinforzi inferiore a tale limite.

### 8.5 CONFRONTO TRA INTERVENTI DI MIGLIORAMENTO

Sulla base delle considerazioni appena formulate riguardo ai possibili interventi, è stato fatto un confronto preliminare per valutare quale intervento sarebbe più opportuno applicare al caso oggetto di studio.

Il confronto è stato fatto valutando alcuni parametri che possono essere determinanti nella scelta dell'intervento più idoneo.

I parametri considerati sono: la reversibilità, l'invasività, l'impatto visivo, la fattibilità, i costi complessivi dell'opera di miglioramento, la necessità di manutenzione negli anni in seguito all'intervento e il peso dell'intervento stesso che grava sulla costruzione.

Questi parametri sono stati valutati attribuendo tre giudizi:

- ROSSO corrispondente a un giudizio pessimo;
- ARANCIONE corrispondente a un giudizio medio;
- VERDE corrispondente a un giudizio buono.

Di seguito vengono riportati i risultati ottenuti da questo giudizio, che si propone come puramente indicativo, in quanto alcuni parametri andrebbero indagati più approfonditamente e dipendono dal caso specifico in cui vengono applicati.





























	<b>INTERVENTI VOLTI A RIDURRE LE CARENZE DEI COLLEGAMENTI</b>			
	TIRANTI METALLICI	CORDOLO METALLICO	FASCIATURA CON FRP	SPERONI O RINGROSSI MURARI
Reversibilità				
Invasività				
Impatto visivo				
Fattibilità				
Costi				
Necessità di manutenzione				
Peso dell'intervento				

Tabella 8.2 Confronto fra interventi volti a ridurre le carenze dei collegamenti
























<b>INTERVENTI VOLTI A INCREMENTARE LA RESISTENZA NEI MASCHI MURARI</b>			
	RISTILATURA DEI GIUNTI	INIEZIONI DI MISCELE LEGANTI	INTONACO ARMATO CON FRP
Reversibilità			
Invasività			
Impatto visivo			
Fattibilità			
Costi			
Necessità di manutenzione			
Peso dell'intervento			

Tabella 8.3 Confronto fra interventi volti a incrementare la resistenza nei maschi murari















<b>INTERVENTI SU PILASTRI E COLONNE</b>		
	PUNTELLI IN ACCIAIO	MURATURA ARMATA
Reversibilità		
Invasività		
Impatto visivo		
Fattibilità		
Costi		
Necessità di manutenzione		
Peso dell'intervento		

Tabella 8.4 Confronto fra interventi su pilastri e colonne

## **8.6 PROPOSTA DI APPLICAZIONE DI ALCUNI INTERVENTI AL CASO OGGETTO DI STUDIO: TIRANTI E CORDOLI METALLICI**

Sulla base dei calcoli effettuati al capitolo 5 è stata evidenziata la necessità di inserire tiranti metallici in alcuni macroelementi. In particolare: per quasi tutti i macroelementi del Blocco A è risultato necessario introdurre tiranti per impedire i meccanismi di ribaltamento di facciata; per i Blocchi B e C sono stati disposti dei tiranti nei macroelementi 1, 2, 3 e 4.

Di seguito viene illustrata la proposta di intervento che soddisfa i requisiti imposti dalla normativa per un livello di conoscenza LC1.

Nei macroelementi in cui neanche la verifica non lineare risulta soddisfatta sono stati calcolati dei tiranti, in modo tale da impedire fenomeni di ribaltamento fuori piano:

- ME 1: 1 tirante per piano
- ME 3: 2 tiranti per piano
- ME 4: 2 tiranti per piano
- ME 6: 1 tirante per piano
- ME 7: 1 tirante per piano
- ME 8: 2 tiranti per piano
- ME 9: 1 tirante per piano
- ME 10: 1 tirante per piano
- ME 11: 2 tiranti per piano
- ME 12: 1 tirante per piano
- ME 13: 1 tirante per piano
- ME 14: 2 tiranti per piano
- ME 15: 2 tiranti per piano

Per i tiranti è stato ipotizzato un acciaio AISI 304 con tensione di snervamento  $f_y=240$  MPa, il diametro delle barre utilizzate è di 18 mm, le piastre di ancoraggio misurano 0,30x0,30 m.

I tiranti vengono disposti anche sulla base di criteri di simmetria e disposizione delle aperture in facciata.

Per tutti i calcoli delle tirantature metalliche si rimanda al capitolo 5.

In alcuni macroelementi però, non essendoci un muro di contrasto per ancorare i tiranti, si propone di realizzare un cordolo metallico per evitare il ribaltamento della parete.

In particolare i macroelementi in cui verrebbe applicata questa tecnica sono:

- ME 1
- ME 4
- ME 9
- ME 11

- ME 15

Il cordolo metallico proposto è costituito dai seguenti materiali:

- angolare in acciaio S235, L 15x15 cm;
- connettori a barre filettate, M10, classe 8.8, lunghezza 5 cm;
- resina ibrida in uretano metacrilato.

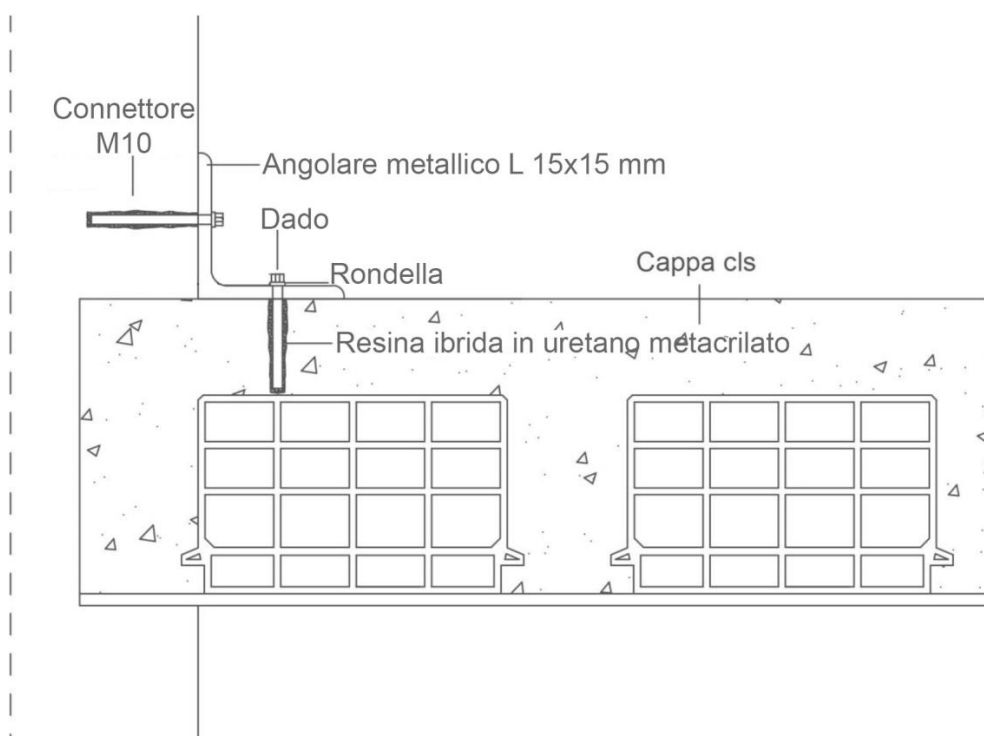


Figura 8.12 Particolare costruttivo del generico angolare metallico e connettori

Per dimensionare il passo dei connettori sono state effettuate diverse verifiche; in particolare il connettore inserito nella muratura è stato sottoposto a verifiche a trazione, comprendente la verifica a snervamento e punzonamento, e a verifiche a sfilamento del mattone; invece il connettore connesso al solaio è stato sottoposto a verifiche a taglio e al rifollamento della piastra.

### Verifica a trazione

La verifica a trazione prevede la valutazione della resistenza allo snervamento secondo la seguente formula:

$$F_{t,Rd} = \frac{0,9 * f_{tb} * A_{res}}{\gamma_{M2}}$$

Dove:

$F_{t,Rd}$  è la forza di trazione agente sul bullone;

$f_{tb}$  è la resistenza a rottura del materiale impiegato per realizzare il bullone;

$A_{res}$  è la sezione resistente della parte filettata della vite;

$\gamma_{M2}$  è il coefficiente parziale di sicurezza dell'acciaio.

Nel caso oggetto di studio:

$f_{tb}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	800
$A_{res}$ [mm <sup>2</sup> ]	58
$\gamma_{M2}$	1,25

Quindi  $F_{t,Rd} = 33,408$  kN

La verifica a trazione prevede anche la valutazione della resistenza al punzonamento secondo la seguente formula:

$$B_{p,Rd} = \frac{0,6 * \pi * f_{tk} * d_m * t_p}{\gamma_{M2}}$$

Dove:

$B_{p,Rd}$  è la resistenza al punzonamento del piatto collegato;

$f_{tk}$  è la resistenza a rottura del materiale della piastra;

$d_m$  è il minimo tra il diametro del dado e il diametro medio della testa del bullone;

$t_p$  è lo spessore della piastra;

$\gamma_{M2}$  è il coefficiente parziale di sicurezza.

Nel caso oggetto di studio:

$f_{tk}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	360
$d_m$ [mm]	13
$t_p$ [mm]	3
$\gamma_{M2}$	1,25

Quindi  $B_{p,Rd} = 21,172$  kN

### Verifica allo sfilamento

La normativa non regola la verifica allo sfilamento di un connettore da un supporto in muratura, per questo si fa riferimento a prove sperimentali condotte da diversi produttori di connettori, in base alla tipologia di ancoraggio utilizzato.

Le prove sperimentali condotte dall'azienda Hilti hanno portato a considerare come meccanismi possibili la rottura del mattone e la successiva estrazione del connettore e l'estrazione di un singolo mattone.

La resistenza alla rottura del mattone  $N_{rec}$  si ricava da apposite tabelle, che dipendono dalla tipologia del supporto, che nel caso oggetto di studio è in laterizio pieno, e dal diametro del connettore.

Dimensioni ancorante			HIT-V, HAS, HAS-E
Materiale base	Profondità di ancoraggio [mm]		M10
Mattone pieno in laterizio $f_b \geq 12$ N/mm <sup>2</sup>	80	$N_{rec}$ [kN]	1,7
		$V_{rec}$ [kN]	1,0
		$N_{rec}$ [kN]	3,0
		$V_{rec}$ [kN]	3,0

Tabella 8.5 Carichi raccomandati  $F_{rec}$  per estrazione

$f_b$  è la resistenza del mattone

I valori in blu sono validi solo per mattone Mz (DIN 105) con resistenza  $\geq 29$  N/mm<sup>2</sup>, densità 2,0 kg/dm<sup>3</sup>, dimensione minima del mattone NF (24,0 cm x 11,5 cm x 7,1 cm).<sup>4</sup>

La resistenza all'estrazione del singolo mattone  $N_{max, pd}$  dipende dalle dimensioni del laterizio, per le quali l'azienda Hilti fornisce i dati esposti in Tabella 8.6.

$N_{max, pb}$ [kN]		Larghezza del mattone $b_{brick}$ [mm]					
		80	120	200	240	300	360
Lunghezza del mattone $l_{brick}$ [mm]	240	1,1	1,6	2,7	3,3	4,1	4,9
	300	1,4	2,1	3,4	4,1	5,1	6,2
	500	2,3	3,4	5,7	6,9	8,6	10,3

Tabella 8.6 Resistenza all'estrazione per mattoni in laterizio, in funzione delle dimensioni.

Per il caso oggetto di studio si considerano mattoni 30cmx12cm,  $N_{max, pb}=2,1$  kN,  $N_{rec}=1,7$  kN.

### Verifica a taglio

Il taglio resistente da considerare nell'effettuare la verifica a taglio è dato dalla seguente formula:

$$F_{V, Rd} = \frac{0,6 * f_{tb} * A_{res}}{\gamma_{M2}}$$

Dove:

$f_{tb}$  è la resistenza a rottura del materiale impiegato per realizzare il bullone;

$A_{res}$  è la sezione resistente della parte filettata della vite;

<sup>4</sup> I dati tecnici sono forniti dall'azienda Hilti

$\gamma_{M2}$  è il coefficiente parziale di sicurezza dell'acciaio.

Nel caso oggetto di studio  $F_{V,Rd} = 22,272$  kN.

### Verifica al rifollamento

La resistenza al rifollamento dell'angolare in acciaio si misura con la seguente formula:

$$F_{b,Rd} = \frac{k * \alpha * f_{ck} * t * d}{\gamma_{M2}}$$

Dove:

$\alpha = \min(p_1/(3d_0) - 0,25; f_{tb}/f_{ck}; 1)$  per bulloni interni nella direzione del carico applicato;

$k = \min(1,4p_2/d_0 - 1,7; 2,5)$  per bulloni interni nella direzione perpendicolare al carico;

$f_{ck}$  è la resistenza a rottura del materiale della piastra;

$d$  è il diametro nominale della vite;

$t$  è lo spessore della piastra;

$\gamma_{M2}$  è il coefficiente parziale di sicurezza dell'acciaio.

Nel caso oggetto di studio:

$\alpha$	1
$k$	2,5
$f_{ck}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	360
$d$ [mm]	10
$t$ [mm]	3
$\gamma_{M2}$	1,25

Quindi  $F_{b,Rd} = 21,600$  kN.

Per effettuare il dimensionamento del cordolo si considera come forza resistente la minore tra quelle calcolate.

$F_{t,Rd}$ [kN]	33,408
$B_{p,Rd}$ [kN]	21,172
$N_{rec}$ [kN]	1,700
$F_{V,Rd}$ [kN]	22,272
$F_{b,Rd}$ [kN]	21,600

Quindi  $N_{Rd} = 1,7$  kN.

Di seguito sono riportati i calcoli dei cordoli metallici indicati per i macroelementi sopracitati.

Per ogni macroelemento è stata effettuata la verifica lineare allo SLV.

## Macroelemento 1

COEFFICIENTE DI ATTIVAZIONE DEL MECCANISMO CON CORDOLO METALLICO					
Ms [kNm]	403,85	NRd [kN]	1,70	n°NRd [kN]	18,70
MR [kNm]	4348,44	n° connettori	11		
$\alpha$	0,09	$\Delta p$ connettori [m]	1,29		
SPOSTAMENTI VIRTUALI		CURVA DI CAPACITÀ			
$\delta N1$	0,00	M* [kN]	104,43		
$\delta N2$	0,00	e*	0,84		
$\delta N3$	0,50	a0* [m/s <sup>2</sup> ]	0,81		
$\delta N4$	1,00				
$\delta P1$	0,00				
$\delta P2$	0,00				
$\delta P3$	0,25				
$\delta P4$	0,75				
VERIFICA SLV LINEARE					
T1 [s]	0,18	a1 [m/s <sup>2</sup> ]	0,74		
$\Psi(z)$	0,00	a2 [m/s <sup>2</sup> ]	0,00		
$\gamma$	1,20	a0* [m/s <sup>2</sup> ]	0,81		
Se(T1) [m/s <sup>2</sup> ]	3,86	a0*>max(a1;a2)	VERIFICATA		

Tabella 8.7 Verifica lineare allo SLV con inserimento di cordolo metallico

## Macroelemento 4

COEFFICIENTE DI ATTIVAZIONE DEL MECCANISMO CON CORDOLO METALLICO					
Ms [kNm]	920,16	NRd [kN]	1,70	n°NRd [kN]	44,20
MR [kNm]	8509,27	n° connettori	26		
$\alpha$	0,11	$\Delta p$ connettori [m]	0,95		
SPOSTAMENTI VIRTUALI		CURVA DI CAPACITÀ			
$\delta N1$	0,00	M* [kN]	134,30		
$\delta N2$	0,33	e*	0,90		
$\delta N3$	0,66	a0* [m/s <sup>2</sup> ]	0,87		
$\delta N4$	1,00				
$\delta P1$	0,00				
$\delta P2$	0,16				
$\delta P3$	0,50				
$\delta P4$	0,83				
VERIFICA SLV LINEARE					
T1 [s]	0,25	a1 [m/s <sup>2</sup> ]	0,74		
$\Psi(z)$	0,00	a2 [m/s <sup>2</sup> ]	0,00		
$\gamma$	1,29	a0* [m/s <sup>2</sup> ]	0,87		
Se(T1) [m/s <sup>2</sup> ]	3,86	a0*>max(a1;a2)	VERIFICATA		

Tabella 8.8 Verifica lineare allo SLV con inserimento di cordolo metallico

**Macroelemento 9**

COEFFICIENTE DI ATTIVAZIONE DEL MECCANISMO CON CORDOLO METALLICO					
Ms [kNm]	327,51	NRd [kN]	1,70	n°NRd [kN]	18,70
MR [kNm]	2091,92	n° connettori	11		
$\alpha$	0,16	$\Delta p$ connettori [m]	0,36		
SPOSTAMENTI VIRTUALI		CURVA DI CAPACITÀ			
$\delta_{N1}$	0,00	M* [kN]	32,56		
$\delta_{N2}$	0,00	e*	0,85		
$\delta_{N3}$	0,64	a0* [m/s2]	1,34		
$\delta_{N4}$	1,00				
$\delta_{P1}$	0,00				
$\delta_{P2}$	0,00				
$\delta_{P3}$	0,32				
$\delta_{P4}$	0,82				
VERIFICA SLV LINEARE					
T1 [s]	0,36	a1 [m/s2]	0,74		
$\Psi(z)$	0,39	a2 [m/s2]	0,97		
$\gamma$	1,29	a0* [m/s2]	1,34		
Se(T1) [m/s2]	3,86	a0*>max(a1;a2)	VERIFICATA		

Tabella 8.9 Verifica lineare allo SLV con inserimento di cordolo metallico

**Macroelemento 11**

COEFFICIENTE DI ATTIVAZIONE DEL MECCANISMO CON CORDOLO METALLICO					
Ms [kNm]	604,48	NRd [kN]	1,70	n°NRd [kN]	32,30
MR [kNm]	4125,47	n° connettori	19		
$\alpha$	0,15	$\Delta p$ connettori [m]	0,55		
SPOSTAMENTI VIRTUALI		CURVA DI CAPACITÀ			
$\delta_{N1}$	0,00	M* [kN]	68,70		
$\delta_{N2}$	0,00	e*	0,83		
$\delta_{N3}$	0,64	a0* [m/s2]	1,29		
$\delta_{N4}$	1,00				
$\delta_{P1}$	0,00				
$\delta_{P2}$	0,00				
$\delta_{P3}$	0,32				
$\delta_{P4}$	0,82				
VERIFICA SLV LINEARE					
T1 [s]	0,36	a1 [m/s2]	0,74		
$\Psi(z)$	0,39	a2 [m/s2]	0,97		
$\gamma$	1,29	a0* [m/s2]	1,29		
Se(T1) [m/s2]	3,86	a0*>max(a1;a2)	VERIFICATA		

Tabella 8.10 Verifica lineare allo SLV con inserimento di cordolo metallico



**Macroelemento 15**

COEFFICIENTE DI ATTIVAZIONE DEL MECCANISMO CON CORDOLO METALLICO					
Ms [kNm]	363,12	NRd [kN]	1,70	n°NRd [kN]	23,80
MR [kNm]	2215,77	n° connettori	14		
$\alpha$	0,16	$\Delta p$ connettori [m]	0,40		
SPOSTAMENTI VIRTUALI		CURVA DI CAPACITÀ			
$\delta N1$	0,00	M* [kN]	40,89		
$\delta N2$	0,00	e*	0,88		
$\delta N3$	0,64	a0* [m/s2]	1,36		
$\delta N4$	1,00				
$\delta P1$	0,00				
$\delta P2$	0,00				
$\delta P3$	0,32				
$\delta P4$	0,82				
VERIFICA SLV LINEARE					
T1 [s]	0,32	a1 [m/s2]	0,74		
$\Psi(z)$	0,41	a2 [m/s2]	1,02		
$\gamma$	1,29	a0* [m/s2]	1,36		
Se(T1) [m/s2]	3,86	a0*>max(a1;a2)	VERIFICATA		

Tabella 8.11 Verifica lineare allo SLV con inserimento di cordolo metallico

**Proposta d'intervento**

Nelle tavole 8.01, 8.02 e 8.03 viene illustrata la proposta di intervento relativa ai tiranti e ai cordoli metallici.

Come precedentemente detto i tiranti sono stati disposti basandosi su criteri di simmetria, di disposizione delle facciate e di disposizione dei muri di contrasto.

In tutti i macroelementi non verificati, dove non erano presenti muri di contrasto sono stati disposti cordoli metallici.

Riassumendo:

ME	INTERVENTO		
	PT	P1	P2
1	11 connettori passo 1,29m	11 connettori passo 1,29m	-
3	-	2 tiranti	2 tiranti
4	-	26 connettori passo 0,95m	26 connettori passo 0,95m
7	-	2 tiranti	2 tiranti
8	-	2 tiranti	2 tiranti
9	-	11 connettori passo 0,36m	11 connettori passo 0,36m

11	-	19 connettori passo 0,55m	19 connettori passo 0,55m
12	-	2 tiranti	2 tiranti
13	-	2 tiranti	2 tiranti
14	-	2 tiranti	2 tiranti
15	-	14 connettori passo 0,40m	14 connettori passo 0,40m

Tabella 8.12 Tabella riassuntiva della proposta d'intervento

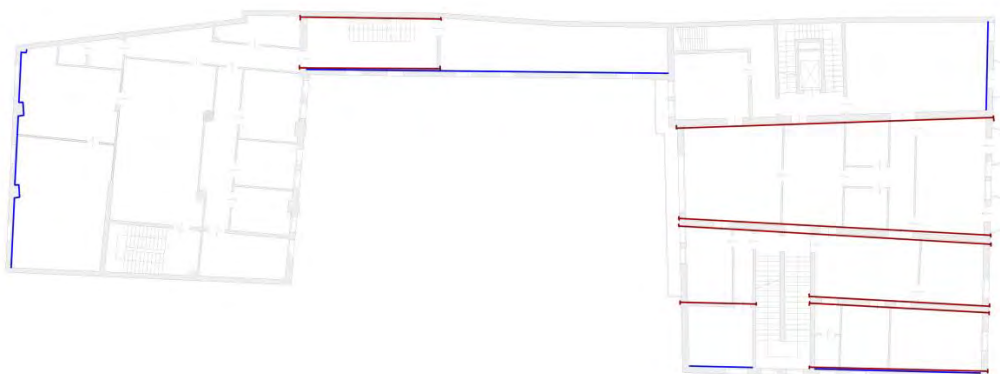


Immagine 8.13 Disposizione dei tiranti e dei cordoli metallici in pianta

## 8.7 VERIFICA DELLE COLONNE IN PIETRA

Per poter intervenire sulle colonne in pietra della facciata nord su patio interno è opportuno conoscere meglio il loro comportamento strutturale.

Su tali elementi è stata effettuata una verifica a compressione e, mediante l'utilizzo del software 3Muri è stata fatta la verifica statica.

### Verifica a compressione

Per la verifica a compressione delle colonne si è fatto riferimento alle indicazioni fornite dalla norma; in particolare al paragrafo §4.5.6.4 delle NTC 2008 vengono esposti i requisiti per gli edifici semplici, ma non essendo soddisfatti i requisiti richiesti si fa riferimento a quanto riportato nell'allegato C8.7.1, dove nel punto C8.7.1.4 rimanda per le verifiche di edifici in muratura ordinaria ai paragrafi §7.8.1.6 e 7.8.2 delle NTC 2008.

Per la verifica è stato creato un foglio di calcolo Excel, nel quale sono stati inseriti i dati geometrici delle singole colonne, i dati del materiale, cioè i dati relativi alla pietra di Vicenza, e i carichi agenti sulle colonne.

Sono stati poi calcolati il carico trasmesso dal muro sovrastante le singole colonne,  $N_{sup}$  [kN], e il carico trasmesso dal solaio all'appoggio,  $N_s$  [kN].

Sono stati calcolati il carico totale verticale in sommità della colonna, il carico totale verticale a metà del fusto e il carico totale alla base della colonna. Rispettivamente:

$$N_{tot \text{ in sommità}} = N_{sup} + N_s$$

$$N_{tot \text{ a metà}} = N_{sup} + N_s + P_{colonna}/2$$

$$N_{tot \text{ a metà}} = N_{sup} + N_s + P_{colonna}$$

Sono state poi calcolate le eccentricità e i coefficienti di riduzione della resistenza  $\Phi$ .

L'eccentricità accidentale vale:  $e_a = \frac{h}{200}$

L'eccentricità strutturale della reazione d'appoggio del solaio viene calcolata ipotizzando un valore pari a:  $d_2 = \frac{t}{6}$

dove  $t$  è il diametro del pilastro.

Si ottiene così:

$$e_{s1} = \frac{N_{sup} * d_1}{N_{sup} + \sum N_{tot \text{ a metà}}}$$

$$e_{s2} = \frac{\sum N_s * d_2}{N_{sup} + \sum N_s}$$

$$e_s = e_{s1} + e_{s2}$$

Le eccentricità convenzionali di calcolo risultano:

$$e_1 = e_s + e_a$$

$$e_2 = \frac{e_1}{2} + e_v$$

La snellezza della colonna vale:

$$\lambda = \frac{h}{t}$$

I coefficienti di eccentricità valgono:

$$m_1 = \frac{6e_1}{t} \quad m_2 = \frac{6e_2}{t}$$

da cui:

$$\Phi_1 = 0,61$$

$$\Phi_2 = 0,65$$

Per la verifica a compressione si calcola la tensione all'estremità superiore:

$$\sigma = \frac{N_{tot \text{ in sommità}}}{\phi_1 * A} < f_d$$

E si calcola la tensione nella sezione a metà altezza:

$$\sigma = \frac{N_{tot \text{ a metà}}}{\phi_2 * A} < f_d$$

Nelle tabelle seguenti sono riportati i calcoli per ciascuna colonna.

Le colonne sono state numerate a partire dalla prima a sinistra.

**VERIFICA A COMPRESSIONE COLONNA 1 E 3**

DATI GEOMETRICI		DATI MATERIALE		CARICHI			
t pilastro[m]	0,17	$\gamma$ [kN/m <sup>3</sup> ]	20,00	G1[kN/m <sup>2</sup> ]	1,57	P1 [kN]	0,00
b pilastro[m]	0,17			G2[kN/m <sup>2</sup> ]	3,88	P2 [kN]	0,00
h1[m]	0,00	$f_m$ [N/cm <sup>2</sup> ]	2330,00	G3[kN/m <sup>2</sup> ]	3,40	P3 [kN]	24,64
h2[m]	5,50	$f_d$ [kg/cm <sup>2</sup> ]	116,50	G cop[kN/m <sup>2</sup> ]	2,16	N1 [kN]	4,01
h3[m]	3,05			Q1[kN/m <sup>2</sup> ]	2,00	N2 [kN]	8,29
b2[m]	0,00			Q2[kN/m <sup>2</sup> ]	2,00	N3 [kN]	10,89
b3[m]	0,45			Q3[kN/m <sup>2</sup> ]	0,50	carico tot alla base[kN]	47,84
l[m]	1,16			Qneve[kN/m <sup>2</sup> ]	1,00	carico tot in sommità[kN]	47,84
A2 apert[m <sup>2</sup> ]	0,00			$\psi_1$	0,30	carico tot a metà[kN]	47,84
A3 apert[m <sup>2</sup> ]	0,80			$\psi_2$	0,30	N sup[kN]	35,53
A solaio[m <sup>2</sup> ]	1,85			$\psi_3$	0,00	Ns[kN]	12,30
A cop[m <sup>2</sup> ]	2,13			$\psi_{neve}$	0,00		

ea	0,01	es	0,01	m1	0,63	$\Phi_1$	0,61
ev	0,00	e1	0,02	m2	0,31	$\Phi_2$	0,65
d2	0,03	e2	0,01				

VERIFICA A COMPRESSIONE		
$\sigma_{sup}$	27,13	VERIFICATA
$\sigma_{metà}$	25,46	VERIFICATA

Tabella 8.13 Verifica a compressione colonne in pietra

**VERIFICA A COMPRESSIONE COLONNA 2**

DATI GEOMETRICI		DATI MATERIALE		CARICHI			
t pilastro[m]	0,30	$\gamma$ [kN/m <sup>3</sup> ]	20,00	G1[kN/m <sup>2</sup> ]	1,57	P1 [kN]	0,00
b pilastro[m]	0,30			G2[kN/m <sup>2</sup> ]	3,88	P2 [kN]	0,00
h1[m]	0,00	$f_m$ [N/cm <sup>2</sup> ]	2330,00	G3[kN/m <sup>2</sup> ]	3,40	P3 [kN]	24,64
h2[m]	5,50	$f_d$ [kg/cm <sup>2</sup> ]	116,50	G cop[kN/m <sup>2</sup> ]	2,16	N1 [kN]	4,01
h3[m]	3,05			Q1[kN/m <sup>2</sup> ]	2,00	N2 [kN]	8,29
b2[m]	0,00			Q2[kN/m <sup>2</sup> ]	2,00	N3 [kN]	10,89
b3[m]	0,45			Q3[kN/m <sup>2</sup> ]	0,50	carico tot alla base[kN]	47,84
l[m]	1,16			Qneve[kN/m <sup>2</sup> ]	1,00	carico tot in sommità[kN]	47,84
A2 apert[m <sup>2</sup> ]	0,00			$\psi_1$	0,30	carico tot a metà[kN]	47,84
A3 apert[m <sup>2</sup> ]	0,80			$\psi_2$	0,30	N sup[kN]	35,53
A solaio[m <sup>2</sup> ]	1,85			$\psi_3$	0,00	Ns[kN]	12,30
A cop[m <sup>2</sup> ]	2,13			$\psi_{neve}$	0,00		

ea	0,01	es	0,01	m1	0,47	$\Phi_1$	0,61
ev	0,00	e1	0,02	m2	0,23	$\Phi_2$	0,65
d2	0,05	e2	0,01				

VERIFICA A COMPRESSIONE		
$\sigma_{sup}$	8,71	VERIFICATA
$\sigma_{metà}$	8,18	VERIFICATA

Tabella 8.14 Verifica a compressione colonne in pietra

**VERIFICA A COMPRESSIONE COLONNA 4 E 8**

DATI GEOMETRICI		DATI MATERIALE		CARICHI			
t pilastro[m]	0,17	$\gamma$ [kN/m <sup>3</sup> ]	20,00	G1[kN/m <sup>2</sup> ]	1,57	P1 [kN]	0,00
b pilastro[m]	0,17			G2[kN/m <sup>2</sup> ]	3,88	P2 [kN]	0,00
h1[m]	0,00	$f_m$ [N/cm <sup>2</sup> ]	2330,00	G3[kN/m <sup>2</sup> ]	3,40	P3 [kN]	27,52
h2[m]	5,50	$f_d$ [kg/cm <sup>2</sup> ]	116,50	G cop[kN/m <sup>2</sup> ]	2,16	N1 [kN]	5,66
h3[m]	3,05			Q1[kN/m <sup>2</sup> ]	2,00	N2 [kN]	11,69
b2[m]	0,00			Q2[kN/m <sup>2</sup> ]	2,00	N3 [kN]	15,38
b3[m]	0,45			Q3[kN/m <sup>2</sup> ]	0,50	carico tot alla base[kN]	60,25
l[m]	1,16			Qneve[kN/m <sup>2</sup> ]	1,00	carico tot in sommità	60,25
A2 apert[m <sup>2</sup> ]	0,00			$\psi_1$	0,30	carico tot a metà[kN]	60,25
A3 apert[m <sup>2</sup> ]	0,48			$\psi_2$	0,30	N sup[kN]	42,90
A solaio[m <sup>2</sup> ]	2,61			$\psi_3$	0,00	Ns[kN]	17,36
A cop[m <sup>2</sup> ]	3,01			$\psi_{neve}$	0,00		
ea	0,01	es	0,01	m1	0,66	$\Phi_1$	0,61
ev	0,00	e1	0,02	m2	0,33	$\Phi_2$	0,65
d2	0,03	e2	0,01				

VERIFICA A COMPRESSIONE		
$\sigma_{sup}$	34,18	VERIFICATA
$\sigma_{metà}$	32,08	VERIFICATA

Tabella 8.15 Verifica a compressione colonne in pietra

**VERIFICA A COMPRESSIONE COLONNA 5, 6 E 7**

DATI GEOMETRICI		DATI MATERIALE		CARICHI			
t pilastro[m]	0,30	$\gamma$ [kN/m <sup>3</sup> ]	20,00	G1[kN/m <sup>2</sup> ]	1,57	P1 [kN]	0,00
b pilastro[m]	0,30			G2[kN/m <sup>2</sup> ]	3,88	P2 [kN]	0,00
h1[m]	0,00	$f_m$ [N/cm <sup>2</sup> ]	2330,00	G3[kN/m <sup>2</sup> ]	3,40	P3 [kN]	27,52
h2[m]	5,50	$f_d$ [kg/cm <sup>2</sup> ]	116,50	G cop[kN/m <sup>2</sup> ]	2,16	N1 [kN]	5,66
h3[m]	3,05			Q1[kN/m <sup>2</sup> ]	2,00	N2 [kN]	11,69
b2[m]	0,00			Q2[kN/m <sup>2</sup> ]	2,00	N3 [kN]	15,38
b3[m]	0,45			Q3[kN/m <sup>2</sup> ]	0,50	carico tot alla base[kN]	60,25
l[m]	1,16			Qneve[kN/m <sup>2</sup> ]	1,00	carico tot in sommità	60,25
A2 apert[m <sup>2</sup> ]	0,00			$\psi_1$	0,30	carico tot a metà[kN]	60,25
A3 apert[m <sup>2</sup> ]	0,48			$\psi_2$	0,30	N sup[kN]	42,90
A solaio[m <sup>2</sup> ]	2,61			$\psi_3$	0,00	Ns[kN]	17,36
A cop[m <sup>2</sup> ]	3,01			$\psi_{neve}$	0,00		
ea	0,01	es	0,01	m1	0,50	$\Phi_1$	0,61
ev	0,00	e1	0,02	m2	0,25	$\Phi_2$	0,65
d2	0,05	e2	0,01				

VERIFICA A COMPRESSIONE		
$\sigma_{sup}$	10,98	VERIFICATA
$\sigma_{metà}$	10,30	VERIFICATA

Tabella 8.16 Verifica a compressione colonne in pietra

## VERIFICA A COMPRESSIONE COLONNA 9 E 11

DATI GEOMETRICI		DATI MATERIALE		CARICHI			
t pilastro[m]	0,17	$\gamma$ [kN/m <sup>3</sup> ]	20,00	G1[kN/m <sup>2</sup> ]	1,57	P1 [kN]	0,00
b pilastro[m]	0,17			G2[kN/m <sup>2</sup> ]	3,88	P2 [kN]	0,00
h1[m]	0,00	f <sub>m</sub> [N/cm <sup>2</sup> ]	2330,00	G3[kN/m <sup>2</sup> ]	3,40	P3 [kN]	24,64
h2[m]	5,50	f <sub>d</sub> [kg/cm <sup>2</sup> ]	116,50	G cop[kN/m <sup>2</sup> ]	2,16	N1 [kN]	2,52
h3[m]	3,05			Q1[kN/m <sup>2</sup> ]	2,00	N2 [kN]	5,20
b2[m]	0,00			Q2[kN/m <sup>2</sup> ]	2,00	N3 [kN]	6,84
b3[m]	0,45			Q3[kN/m <sup>2</sup> ]	0,50	carico tot alla base[kN]	39,19
l[m]	1,16			Qneve[kN/m <sup>2</sup> ]	1,00	carico tot in sommità	39,19
A2 apert[m <sup>2</sup> ]	0,00			$\psi$ 1	0,30	carico tot a metà[kN]	39,19
A3 apert[m <sup>2</sup> ]	0,80			$\psi$ 2	0,30	N sup[kN]	31,48
A solaio[m <sup>2</sup> ]	1,16			$\psi$ 3	0,00	Ns[kN]	7,71
A cop[m <sup>2</sup> ]	1,34			$\psi$ neve	0,00		
ea	0,01	es	0,01	m1	0,57	$\Phi$ 1	0,61
ev	0,00	e1	0,02	m2	0,28	$\Phi$ 2	0,65
d2	0,03	e2	0,01				

VERIFICA A COMPRESSIONE		
$\sigma$ sup	22,23	VERIFICATA
$\sigma$ metà	20,86	VERIFICATA

Tabella 8.17 Verifica a compressione colonne in pietra

## VERIFICA A COMPRESSIONE COLONNA 10

DATI GEOMETRICI		DATI MATERIALE		CARICHI			
t pilastro[m]	0,30	$\gamma$ [kN/m <sup>3</sup> ]	20,00	G1[kN/m <sup>2</sup> ]	1,57	P1 [kN]	0,00
b pilastro[m]	0,30			G2[kN/m <sup>2</sup> ]	3,88	P2 [kN]	0,00
h1[m]	0,00	f <sub>m</sub> [N/cm <sup>2</sup> ]	2330,00	G3[kN/m <sup>2</sup> ]	3,40	P3 [kN]	24,64
h2[m]	5,50	f <sub>d</sub> [kg/cm <sup>2</sup> ]	116,50	G cop[kN/m <sup>2</sup> ]	2,16	N1 [kN]	2,52
h3[m]	3,05			Q1[kN/m <sup>2</sup> ]	2,00	N2 [kN]	5,20
b2[m]	0,00			Q2[kN/m <sup>2</sup> ]	2,00	N3 [kN]	6,84
b3[m]	0,45			Q3[kN/m <sup>2</sup> ]	0,50	carico tot alla base[kN]	39,19
l[m]	1,16			Qneve[kN/m <sup>2</sup> ]	1,00	carico tot in sommità	39,19
A2 apert[m <sup>2</sup> ]	0,00			$\psi$ 1	0,30	carico tot a metà[kN]	39,19
A3 apert[m <sup>2</sup> ]	0,80			$\psi$ 2	0,30	N sup[kN]	31,48
A solaio[m <sup>2</sup> ]	1,16			$\psi$ 3	0,00	Ns[kN]	7,71
A cop[m <sup>2</sup> ]	1,34			$\psi$ neve	0,00		
ea	0,01	es	0,01	m1	0,41	$\Phi$ 1	0,61
ev	0,00	e1	0,02	m2	0,20	$\Phi$ 2	0,65
d2	0,05	e2	0,01				

VERIFICA A COMPRESSIONE		
$\sigma$ sup	7,14	VERIFICATA
$\sigma$ metà	6,70	VERIFICATA

Tabella 8.18 Verifica a compressione colonne in pietra

Tutte le colonne risultano verificate a compressione, ma tale verifica non tiene conto dello stato di degrado in cui si trovano.

### **Analisi statica con 3Muri**

Con il software 3Muri è possibile effettuare anche le verifiche statiche sulla struttura, secondo la normativa vigente.

Le verifiche statiche eseguite sulla struttura sono le seguenti:

#### SNELLEZZA DELLA MURATURA

La verifica di snellezza è eseguita in accordo a quanto riportato al punto 4.5.4 del D.M.2008.

Si definisce snellezza di una muratura il rapporto  $h_0/t$  in cui:

$h_0$  è la lunghezza libera di inflessione del muro pari a  $r-h$ ;

$t$  è lo spessore del muro;

$h$  è l'altezza interna del piano;

$r$  è il fattore laterale di vincolo.

La verifica di snellezza risulta soddisfatta se  **$h_0/t < 20$**

#### ECCENTRICITÀ DEI CARICHI

Tale verifica è eseguita in accordo con quanto riportato al punto 4.5.6.2 del D.M.2008.

Risulta soddisfatta se sono verificate le seguenti condizioni:

$$e_1/t < 0,33$$

$$e_2/t < 0,33$$

In cui:

$t$  è lo spessore del muro

$$e_1 = |e_s| + |e_a|$$

$$e_2 = (e_1/e_2) + |e_v|$$

$e_s$  è l'eccentricità totale dei carichi verticali

$$e_a = h/200$$

$e_v$  è l'eccentricità dovuta al vento  $e_v = M_v/N$

#### VERIFICA AI CARICHI VERTICALI

Tale verifica è eseguita in accordo con quanto riportato al punto 4.5.6.2. del D.M.2008.

Risulta soddisfatta qualora risulti verificata la seguente disequazione:  **$N_d \leq N_r$**

In cui:

$N_d$  è il carico verticale agente;

$N_r$  è il carico verticale resistente,  $N_r = F \cdot f_d \cdot A$ ;

$A$  è l'area della sezione orizzontale del muro al netto delle aperture;

$f_d$  è la resistenza di calcolo della muratura;

$F$  è il coefficiente di riduzione della resistenza del muro.

Queste 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.

Nelle tabelle 8.19 e 8.20 vengono riportati i dettagli della verifica per la parete 4, cioè la facciata nord su patio interno.

Maschio	ho [cm]	t [cm]	ho/t	e1/t Inferiore	e2/t Centrale	e1/t Superiore	Verificato
109	550	45	12,222	0,120	11,934	0,113	No
108	550	45	12,222	0,128	11,504	0,123	No
110	550	45	12,222	0,100	14,052	0,093	No
112	550	45	12,222	0,122	0,082	0,109	Si
111	550	45	12,222	0,131	0,094	0,109	Si
104	550	45	12,222	0,105	16,734	0,096	No
105	550	45	12,222	0,106	7,462	0,104	No
107	550	45	12,222	0,113	11,550	0,109	No
106	550	45	12,222	0,121	9,040	0,118	No
113	550	45	12,222	0,061	0,061	0,061	Si
120	305	45	6,778	0,034	0,077	0,034	Si
119	305	45	6,778	0,199	0,111	0,166	Si
121	305	45	6,778	0,208	0,114	0,175	Si
123	305	45	6,778	0,267	0,136	0,173	Si
122	305	45	6,778	0,243	0,129	0,210	Si
115	550	45	12,222	0,125	0,085	0,110	Si
114	550	45	12,222	0,061	0,061	0,061	Si
116	550	45	12,222	0,122	0,095	0,100	Si
118	305	45	6,778	0,238	0,126	0,206	Si
117	305	45	6,778	0,251	0,129	0,166	Si

Tabella 8.19 Risultati verifica statica parete 4

Maschio	Superiore				Centrale				Inferiore				Verificato
	Nd	Φ	Nr	Nd/Nr	Nd	Φ	Nr	Nd/Nr	Nd	Φ	Nr	Nd/Nr	
109	45.190	0,483	22.278	2,028	47.872	0,000	n / d	n / d	50.554	0,495	22.827	2,215	No
108	25.219	0,467	11.353	2,221	26.160	0,000	n / d	n / d	27.101	0,476	11.568	2,343	No
110	119.560	0,520	79.097	1,512	133.914	0,000	n / d	n / d	148.269	0,534	81.318	1,823	No
112	10.714	0,479	8.799	1,218	12.138	0,557	10.230	1,186	13.561	0,503	9.246	1,467	No
111	37.065	0,461	45.998	0,806	45.758	0,532	53.039	0,863	54.451	0,504	50.257	1,083	No
104	33.436	0,510	26.235	1,274	37.980	0,000	n / d	n / d	42.524	0,528	27.168	1,565	No
105	33.362	0,509	10.432	3,198	34.097	0,000	n / d	n / d	34.832	0,512	10.506	3,315	No
107	48.159	0,495	23.169	2,079	50.201	0,000	n / d	n / d	52.243	0,502	23.536	2,220	No
106	11.295	0,480	4.071	2,774	11.632	0,000	n / d	n / d	11.969	0,487	4.126	2,901	No
113	6.991	0,614	6.574	1,064	7.820	0,614	6.574	1,190	8.648	0,614	6.574	1,316	No
120	5.606	0,827	74.756	0,075	8.233	0,693	62.675	0,131	10.860	0,827	74.756	0,145	Si
119	4.394	0,450	8.413	0,522	4.937	0,621	11.611	0,425	5.480	0,515	9.637	0,569	Si
121	6.153	0,432	10.554	0,583	6.862	0,615	15.018	0,457	7.572	0,497	12.151	0,623	Si
123	20.945	0,322	52.194	0,401	28.076	0,574	92.895	0,302	35.207	0,502	81.297	0,433	Si
122	3.510	0,362	4.026	0,872	3.833	0,588	6.540	0,586	4.156	0,427	4.751	0,875	Si
115	9.915	0,473	8.944	1,109	11.380	0,549	10.378	1,097	12.845	0,501	9.469	1,356	No
114	6.287	0,614	6.387	0,984	7.093	0,614	6.387	1,111	7.899	0,614	6.387	1,237	No
116	50.771	0,478	78.936	0,643	65.167	0,529	87.428	0,745	79.563	0,520	85.928	0,926	Si
118	4.081	0,372	4.853	0,841	4.460	0,592	7.724	0,577	4.839	0,436	5.688	0,851	Si
117	13.722	0,346	34.466	0,398	18.116	0,586	58.415	0,310	22.509	0,515	51.357	0,438	Si

Tabella 8.20 Risultati verifica statica parete 4

In Figura 8.15 è rappresentata la mesh della parete 4.

In verde compaiono gli elementi che superano la verifica, mentre in colore differente sono rappresentati quelli che non la superano.

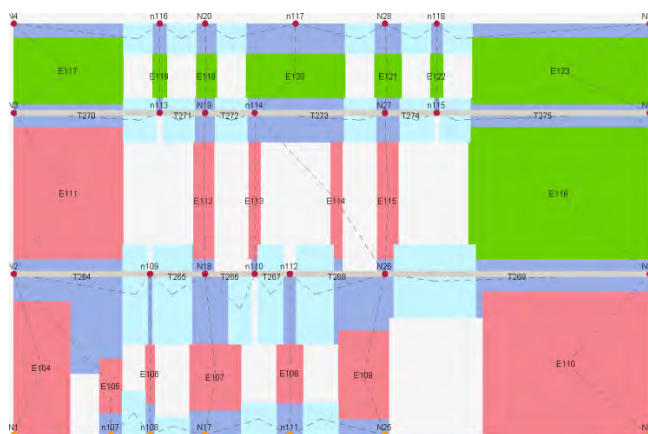


Figura 8.14 Mesh della parete 4

Nella Tabella 8.21 sono indicate le pareti del modello con il rispettivo numero di elementi che non superano la verifica e i valori associati alle singole verifiche.

Si riportano per ogni parete i valori limite più restrittivi tra tutti i maschi della parete stessa.

In blu è evidenziata la parete 4, che presenta 12 maschi rotti, cioè 12 elementi non superano la verifica.

Parete	Maschi rotti	Nd/Nr Max	h0/t Max	e1/t Max	e2/t Max
6	9	3,77	13,75	0,264	0,105
10	8	4,05	13,75	0,339	61,212
5	7	2,44	12,22	0,264	0,102
11	5	2,56	18,33	0,140	0,092
12	4	2,21	18,33	0,098	0,092
13	4	2,37	18,33	0,196	0,092
8	4	1,77	13,75	0,203	0,086
7	2	1,81	13,75	0,101	0,069
4	12	3,32	12,22	0,267	16,734
3	10	2,44	12,22	0,276	18,817
2	10	3,08	12,22	0,290	14,685
9	1	1,36	13,75	0,176	0,069
1	1	1,23	12,22	0,061	0,061

Tabella 8.21 Verifica statica Blocco A

Si evidenzia che gli elementi 112, 113, 114 e 115, che corrispondono alle colonne in pietra al primo piano, non superano la verifica ai carichi verticali; mentre invece superano la verifica a snellezza.

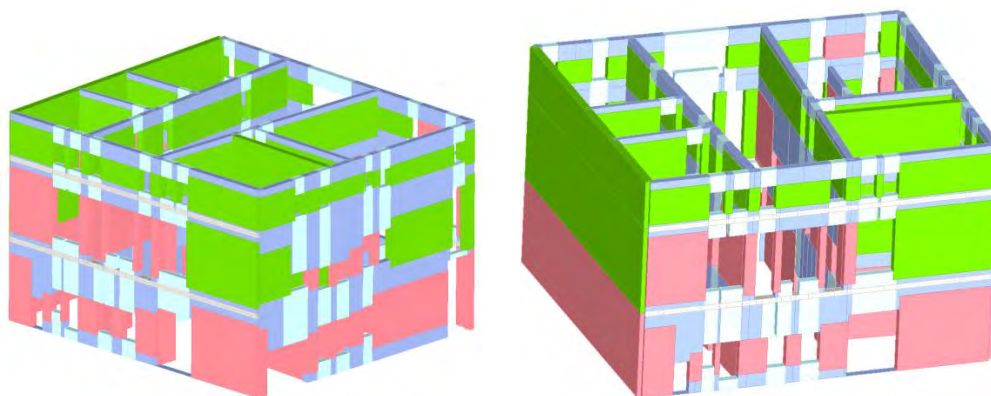


Figura 8.15 Rappresentazioni 3d dell'analisi statica

### 8.8 VERIFICA DELLA TAMPONATURA DELLE ARCATE NEL PROSPETTO NORD SU PATIO INTERNO

La terza e la quarta arcata da sinistra sono state tamponate con mattoni forati. Si ipotizza che tale intervento, che inizialmente doveva avere carattere temporaneo, sia stato effettuato per sopportare i carichi verticali che gravano sulle colonne erose.



Figura 8.16 Tamponatura della terza e quarta arcata

Le tamponature, in condizioni ordinarie in assenza di sisma, svolgono un ruolo statico generalmente modesto, che non comporta conseguenze rilevanti se viene trascurato. Nel caso in cui ci siano sollecitazioni orizzontali indotte da un terremoto, le tamponature assumono una rilevanza sostanziale nel determinare il comportamento laterale globale dell'edificio.

Il pannello murario, molto rigido nel proprio piano, collassa per forze molto elevate e con spostamenti piccoli, presentando un comportamento fragile.

Considerando poi che la tamponatura oggetto di studio non è ammorsata alla muratura, all'aumentare delle deformazioni si verificherebbe il distacco dalla struttura portante.

All'aumentare delle deformazioni il pannello può giungere a:

- rottura per scorrimento orizzontale dovuta alle tensioni tangenziali agenti nella zona centrale della tamponatura;
- rottura diagonale per trazione dovuta alle tensioni di trazione inclinate agenti nella zona centrale della tamponatura;
- rottura per schiacciamento locale agli spigoli della tamponatura dovuta alla concentrazione delle forze orizzontali di interazione trasmesse dal telaio.

In generale si può affermare che, in presenza di azione sismica, le tamponature si danneggiano prima degli elementi strutturali, perché hanno minore resistenza e deformabilità.

Per comprendere meglio il funzionamento della tamponatura al primo piano del prospetto nord su patio interno sono state effettuate alcune verifiche.

Il materiale considerato è quello fornito dalla normativa<sup>5</sup>: muratura in blocchi laterizi semipieni (percentuale forature <45%).

$$f_m = 400 \text{ N/cm}^2$$

$$\tau_0 = 30 \text{ N/cm}^2$$

$$E = 3600 \text{ N/mm}^2$$

$$G = 1080 \text{ N/mm}^2$$

$$\gamma = 12 \text{ kN/mm}^3$$

### **Verifica a compressione**

Per studiare la trasmissione dei carichi verticali è stata fatta la verifica a compressione della tamponatura tramite foglio di calcolo Excel.

---

<sup>5</sup> Circolare n. 617/2009 - Tabella C8A.2.1

DATI GEOMETRICI		DATI MATERIALE		CARICHI			
t tamp.[m]	0,45	$\gamma$ [kN/m <sup>3</sup> ]	12,00	G1[kN/m <sup>2</sup> ]	3,53	P1 [kN]	50,49
b tamp.[m]	1,70			G2[kN/m <sup>2</sup> ]	3,40	P2 [kN]	15,04
h1[m]	5,50	f <sub>m</sub> [N/cm <sup>2</sup> ]	400,00	G3[kN/m <sup>2</sup> ]	0,00	P3 [kN]	0,00
h2[m]	3,05	f <sub>d</sub> [kg/cm <sup>2</sup> ]	33,33	G cop[kN/m <sup>2</sup> ]	2,16	N1 [kN]	11,23
h3[m]	0,00			Q1[kN/m <sup>2</sup> ]	2,00	N2 [kN]	9,66
b2[m]	0,45			Q2[kN/m <sup>2</sup> ]	0,50	N3 [kN]	6,78
b3[m]	0,00			Q3[kN/m <sup>2</sup> ]	0,00	carico tot alla base[kN]	93,20
l[m]	1,70			Q neve[kN/m <sup>2</sup> ]	1,00	carico tot in sommità[kN]	42,71
A2 apert[m <sup>2</sup> ]	2,40			$\psi$ 1	0,30	carico tot a metà[kN]	67,96
A3 apert[m <sup>2</sup> ]	0,00			$\psi$ 2	0,30	N sup[kN]	72,31
A solaio[m <sup>2</sup> ]	2,72			$\psi$ 3	0,00	Ns[kN]	20,89
A cop[m <sup>2</sup> ]	3,14			$\psi$ neve	0,00		
ea	0,01	es	0,06	m1	0,99	$\Phi$ 1	0,61
ev	0,00	e1	0,07	m2	0,49	$\Phi$ 2	0,65
d2	0,28	e2	0,04				

VERIFICA A COMPRESSIONE		
$\sigma$ sup	0,92	VERIFICATA
$\sigma$ metà	1,37	VERIFICATA

Tabella 8.22 Verifica a compressione tamponatura

Considerando i carichi agenti, la tamponatura risulta verificata a compressione.

### Verifica dei cinematismi fuori piano

Sono stati poi calcolati i cinematismi fuori piano della tamponatura, che, non essendo ammortata alla muratura portante, è stata considerata come un macroelemento a sé stante.

Nelle Tabelle 8.23 e 8.24 si riportano i calcoli rispettivamente del ribaltamento fuori piano e della flessione verticale di parete.

DATI GEOMETRICI		DATI MATERIALE		CARICHI			
n [piani]	3	$\gamma$ [kN/m <sup>3</sup> ]	12,00	G1 [kN/m <sup>2</sup> ]	0,00	P1 [kN]	0,00
H [m]	14,05	f <sub>m</sub> [Mpa]	400,00	G2 [kN/m <sup>2</sup> ]	0,00	P2 [kN]	0,00
z [m]	5,50	t <sub>0</sub> [Mpa]	30,00	G3 [kN/m <sup>2</sup> ]	3,53	P3 [kN]	50,49
htot [m]	8,55	g [m/s <sup>2</sup> ]	9,81	G4 [kN/m <sup>2</sup> ]	3,40	P4 [kN]	12,88
h1 [m]	0,00	FC	1,35	Gcop [kN/m <sup>2</sup> ]	2,16	N1 [kN]	0,00
h2 [m]	0,00	f <sub>md</sub> [Mpa]	1,48	Q1 [kN/m <sup>2</sup> ]	0,00	N2 [kN]	0,00
h3 [m]	5,50	f <sub>vd</sub> [Mpa]	0,11	Q2 [kN/m <sup>2</sup> ]	0,00	N3 [kN]	11,23
h4 [m]	3,05	ag [m/s <sup>2</sup> ]	0,99	Q3 [kN/m <sup>2</sup> ]	2,00	N4 [kN]	16,03
b1 [m]	0,00	F0	2,60	Q4 [kN/m <sup>2</sup> ]	0,50		
b2 [m]	0,00	TC* [s]	0,34	Qneve [kN/m <sup>2</sup> ]	1,00		
b3 [m]	0,45	$\eta$	1,00	$\psi_1$	0,00	t [m]	0,02
b4 [m]	0,45	S	1,50	$\psi_2$	0,00	$\alpha$	0,05
d1 [m]	0,00	Cc	1,50	$\psi_3$	0,30	Ms [kNm]	20,26
d2 [m]	0,00	Tc [s]	0,51	$\psi_4$	0,00	MR [kNm]	428,17
d3 [m]	0,30	TB [s]	0,17	$\psi_{neve}$	0,00	$\hat{\sigma}$	0,12
d4 [m]	0,30	TD [s]	2,00				
l [m]	1,70	C1	0,05	SPOSTAMENTI VIRTUALI		CURVA DI CAPACITÀ	
Asolaio [m <sup>2</sup> ]	2,72	q	2,00	$\delta_{N1}$	0,00	M* [kN]	7,39
Acop [m <sup>2</sup> ]	3,14	TE [s]	6,00	$\delta_{N2}$	0,00	e*	0,80
A1apert [m <sup>2</sup> ]	0,00	TF [s]	10,00	$\delta_{N3}$	0,64	a0* [m/s <sup>2</sup> ]	0,43
A2apert [m <sup>2</sup> ]	0,00			$\delta_{N4}$	1,00		
A3apert [m <sup>2</sup> ]	0,00			$\delta_{P1}$	0,00		
A4apert [m <sup>2</sup> ]	2,80			$\delta_{P2}$	0,00		
				$\delta_{P3}$	0,32		
				$\delta_{P4}$	0,82		

VERIFICA SLV LINEARE			
T1 [s]	0,36	a1 [m/s <sup>2</sup> ]	0,74
$\Psi(z)$	0,39	a2 [m/s <sup>2</sup> ]	0,97
$\gamma$	1,29	a0* [m/s <sup>2</sup> ]	0,43
Se(T1) [m/s <sup>2</sup> ]	3,86	a0* > max(a1;a2)	NON VERIFICATA

VERIFICA SLV NON LINEARE					
RP1 [m]	0,02	$\beta_{P1}$ [rad]	0,00	Ms	0,0000
RP2 [m]	0,02	$\beta_{P2}$ [rad]	0,00	$\theta$ [rad]	0,047284
RP3 [m]	2,76	$\beta_{P3}$ [rad]	1,50	hbar [m]	4,72
RP4 [m]	7,03	$\beta_{P4}$ [rad]	1,54	dk0 [m]	0,22
RN1 [m]	0,02	$\beta_{N1}$ [rad]	0,00	$\delta_{xhbar}$	0,55
RN2 [m]	0,02	$\beta_{N2}$ [rad]	0,00	d0* [m]	0,28
RN3 [m]	5,51	$\beta_{N3}$ [rad]	1,52	du* [m]	0,11
RN4 [m]	8,55	$\beta_{N4}$ [rad]	1,54	ds* [m]	0,04
				as* [m/s <sup>2</sup> ]	0,36
				Ts* [s]	2,21
SDe1 [m/s <sup>2</sup> ]	0,10			SDe(Ts) [m/s <sup>2</sup> ]	0,10
SDe2 [m/s <sup>2</sup> ]	0,05			SDe(T1) [m/s <sup>2</sup> ]	0,01
du* [m]	0,11			Se(TS) [m/s <sup>2</sup> ]	0,81
du* > max(SDe1;SDe2)		VERIFICATA			

Tabella 8.23 Ribaltamento fuori piano

DATI GEOMETRICI		DATI MATERIALE		CARICHI			
n [piani]	3	$\gamma$ [kN/m <sup>3</sup> ]	12,00	G1 [kN/m <sup>2</sup> ]	0,00	P1 [kN]	0,00
H [m]	14,05	f <sub>m</sub> [Mpa]	400,00	G2 [kN/m <sup>2</sup> ]	0,00	P2 [kN]	0,00
z [m]	5,50	t <sub>0</sub> [Mpa]	30,00	G3 [kN/m <sup>2</sup> ]	3,53	P3 [kN]	50,49
htot [m]	8,55	g [m/s <sup>2</sup> ]	9,81	G4 [kN/m <sup>2</sup> ]	3,40	P4 [kN]	12,88
h1 [m]	0,00	FC	1,35	G <sub>cop</sub> [kN/m <sup>2</sup> ]	2,16	N1 [kN]	0,00
h2 [m]	0,00	f <sub>md</sub> [Mpa]	1,48	Q1 [kN/m <sup>2</sup> ]	0,00	N2 [kN]	0,00
h3 [m]	5,50	f <sub>vd</sub> [Mpa]	0,11	Q2 [kN/m <sup>2</sup> ]	0,00	N3 [kN]	11,23
h4 [m]	3,05	ag [m/s <sup>2</sup> ]	0,99	Q3 [kN/m <sup>2</sup> ]	2,00	N4 [kN]	16,03
b1 [m]	0,00	F0	2,60	Q4 [kN/m <sup>2</sup> ]	0,50		
b2 [m]	0,00	TC* [s]	0,34	Q <sub>neve</sub> [kN/m]	1,00		
b3 [m]	0,45	$\eta$	1,00	$\psi_1$	0,00	t [m]	0,02
b4 [m]	0,45	S	1,50	$\psi_2$	0,00	$\alpha$	0,17
d1 [m]	0,00	Cc	1,50	$\psi_3$	0,30	$\theta$	0,12
d2 [m]	0,00	Tc [s]	0,51	$\psi_4$	0,00		
d3 [m]	0,30	TB [s]	0,17	$\psi_{neve}$	0,00		
d4 [m]	0,30	TD [s]	2,00				
l [m]	1,70	C1	0,05	SPOSTAMENTI VIRTUA		CURVA DI CAPACITÀ	
A <sub>solaio</sub> [m <sup>2</sup> ]	2,72	q	2,00	$\delta N_{1x}$	0,00	M* [kN]	6,58
A <sub>cop</sub> [m <sup>2</sup> ]	3,14	TE [s]	6,00	$\delta N_{2x}$	0,00	e*	0,71
A <sub>1apert</sub> [m <sup>2</sup> ]	0,00	TF [s]	10,00	$\delta N_{3x}$	5,50	a0* [m/s <sup>2</sup> ]	1,73
A <sub>2apert</sub> [m <sup>2</sup> ]	0,00			$\delta N_{4x}$	0,00	$\phi$	1,80
A <sub>3apert</sub> [m <sup>2</sup> ]	0,00			$\delta P_{1x}$	0,00	$\Theta$	1,00
A <sub>4apert</sub> [m <sup>2</sup> ]	2,80			$\delta P_{2x}$	0,00		
				$\delta P_{3x}$	2,75		
				$\delta P_{4x}$	1,53		
				$\delta N_{1y}$	0,00		
				$\delta N_{2y}$	0,00		
				$\delta N_{3y}$	0,30		
				$\delta N_{4y}$	0,72		
				$\delta P_{1y}$	0,00		
				$\delta P_{2y}$	0,00		
				$\delta P_{3y}$	0,23		
				$\delta P_{4y}$	0,86		

VERIFICA SLV LINEARE			
T1 [s]	0,36	a1 [m/s <sup>2</sup> ]	0,74
$\Psi(z)$	0,39	a2 [m/s <sup>2</sup> ]	0,97
$\gamma$	1,29	a0* [m/s <sup>2</sup> ]	1,73
Se(T1) [m/s <sup>2</sup> ]	3,86	a0* > max(a1;a2)	VERIFICATA

Tabella 8.24 Flessione verticale di parete

Nel calcolo del ribaltamento la verifica SLV lineare non è soddisfatta, ma è soddisfatta quella non lineare.

Nel calcolo della flessione verticale invece la verifica SLV lineare risulta soddisfatta.

### Analisi sismica con 3Muri

La tamponatura è stata rappresentata anche nel modello 3Muri, utilizzando sempre lo stesso materiale fornito dalla norma.

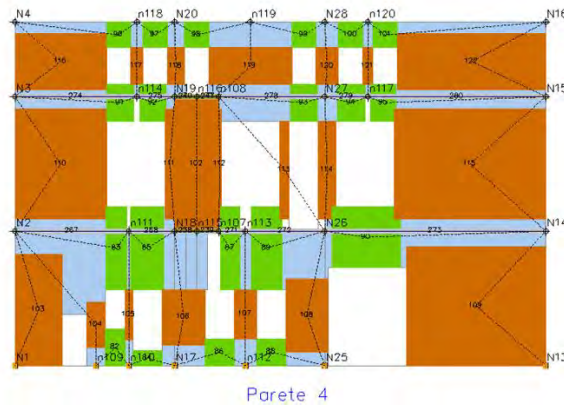


Figura 8.17 Rappresentazione della mesh - Parete 4

L'analisi più gravosa risulta essere la numero 3, in cui il sisma avviene in direzione -X, il carico sismico è proporzionale alle masse e l'eccentricità è di 0,0 cm.

Essa ha un valore di  $\alpha_u$  pari a 1,24, quindi la struttura è in grado di sopportare una percentuale del 124% del sisma di progetto relativo allo Stato Limite Ultimo per un tempo di ritorno di 712 anni; in altre parole l'azione sismica sopportabile dalla struttura prima del collasso SLV è pari al 124% di quella che incide realmente nella direzione considerata.

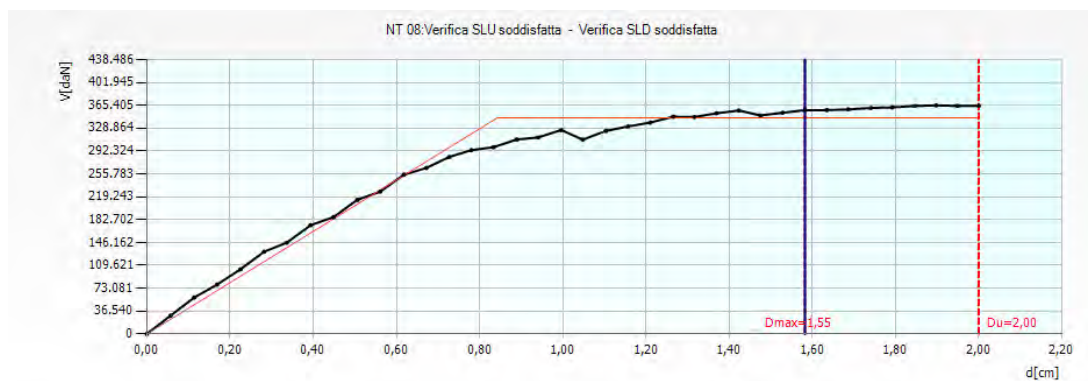


Figura 8.18 Curva push-over relativa all'analisi 3

Di seguito viene riportata la configurazione di rottura della parete 4.



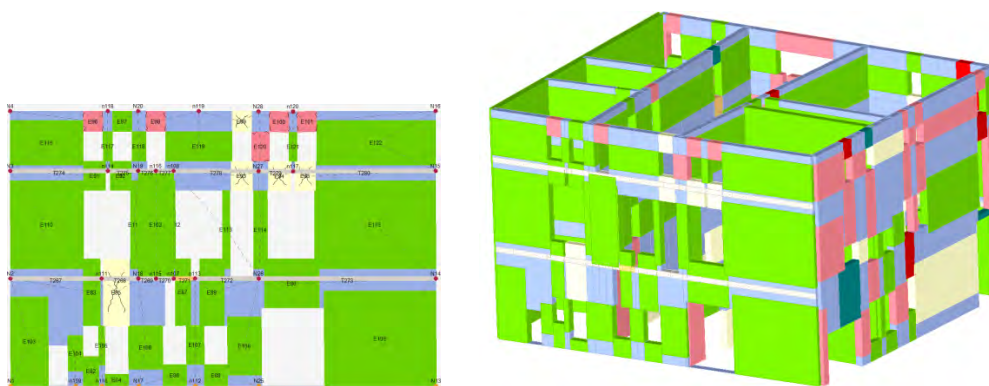


Figura 8.19 Configurazione di rottura parete 4 e 3d

Rispetto al modello senza tamponatura si nota un miglioramento nel comportamento generale della parete, in particolare non si verificano più rotture plastiche per taglio nella zona sopra le colonne in pietra.

L'inserimento della tamponatura sembra quindi aver migliorato il comportamento globale della parete.

### Analisi statica con 3Muri

Con il software 3Muri è stato anche possibile verificare la snellezza della muratura, valutare l'eccentricità dei carichi ed effettuare la verifica ai carichi verticali.

Queste 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.

Nelle tabelle 8.20 e 8.21 vengono riportati i dettagli della verifica per la parete 4, cioè la facciata nord su patio interno.

Maschio	ho [cm]	t [cm]	ho/t	e1/t Inferiore	e2/t Centrale	e1/t Superiore	Verificato
109	550	45	12,222	0,101	14,156	0,093	No
108	550	45	12,222	0,120	12,160	0,114	No
110	550	45	12,222	0,131	0,096	0,107	Si
112	550	45	12,222	0,061	0,073	0,061	Si
111	550	45	12,222	0,136	0,106	0,106	Si
104	550	45	12,222	0,106	7,501	0,104	No
103	550	45	12,222	0,106	17,232	0,096	No
105	550	45	12,222	0,119	8,834	0,116	No
107	550	45	12,222	0,122	10,574	0,119	No
106	550	45	12,222	0,107	10,284	0,103	No
119	305	45	6,778	0,034	0,069	0,034	Si
118	305	45	6,778	0,204	0,113	0,171	Si
120	305	45	6,778	0,213	0,117	0,178	Si
122	305	45	6,778	0,268	0,136	0,173	Si

121	305	45	6,778	0,247	0,131	0,213	Si
114	550	45	12,222	0,126	0,088	0,110	Si
113	550	45	12,222	0,061	0,065	0,061	Si
115	550	45	12,222	0,122	0,095	0,100	Si
117	305	45	6,778	0,236	0,125	0,206	Si
116	305	45	6,778	0,253	0,130	0,166	Si
102	550	45	12,222	0,061	0,061	0,061	Si

Tabella 8.25 Risultati verifica statica parete 4

Maschio	Superiore				Centrale				Inferiore				Verificato
	Nd	$\Phi$	Nr	Nd/Nr	Nd	$\Phi$	Nr	Nd/Nr	Nd	$\Phi$	Nr	Nd/Nr	
109	118.579	0,519	79.042	1,500	132.933	0,000	n / d	n / d	147.287	0,534	81.288	1,812	No
108	44.295	0,482	22.236	1,992	46.977	0,000	n / d	n / d	49.660	0,494	22.800	2,178	No
110	33.840	0,460	45.919	0,737	42.533	0,527	52.591	0,809	51.225	0,506	50.473	1,015	No
112	703	0,614	1.485	0,473	914	0,580	1.403	0,652	1.126	0,614	1.485	0,758	Si
111	2.679	0,450	4.722	0,567	3.592	0,509	5.338	0,673	4.506	0,509	5.336	0,844	Si
104	33.188	0,508	10.427	3,183	33.923	0,000	n / d	n / d	34.658	0,512	10.503	3,300	No
103	32.334	0,508	26.129	1,238	36.878	0,000	n / d	n / d	41.423	0,527	27.110	1,528	No
105	11.567	0,483	4.097	2,823	11.904	0,000	n / d	n / d	12.240	0,489	4.150	2,950	No
107	27.528	0,477	11.594	2,374	28.469	0,000	n / d	n / d	29.410	0,485	11.777	2,497	No
106	54.353	0,508	23.774	2,286	56.395	0,000	n / d	n / d	58.437	0,514	24.060	2,429	No
119	6.968	0,827	74.756	0,093	9.595	0,719	65.060	0,147	12.222	0,827	74.756	0,163	Si
118	4.619	0,440	8.224	0,562	5.162	0,618	11.548	0,447	5.705	0,505	9.437	0,605	Si
120	5.806	0,421	10.297	0,564	6.515	0,609	14.882	0,438	7.225	0,492	12.021	0,601	Si
122	20.846	0,322	52.058	0,400	27.978	0,574	92.825	0,301	35.109	0,502	81.271	0,432	Si
121	3.398	0,354	3.939	0,863	3.721	0,584	6.498	0,573	4.044	0,422	4.698	0,861	Si
114	8.952	0,470	8.889	1,007	10.417	0,544	10.278	1,013	11.881	0,501	9.471	1,255	No
113	4.128	0,614	6.387	0,646	4.934	0,604	6.285	0,785	5.740	0,614	6.387	0,899	Si
115	50.457	0,478	78.917	0,639	64.854	0,529	87.368	0,742	79.250	0,520	85.943	0,922	Si
117	4.409	0,376	4.911	0,898	4.788	0,595	7.763	0,617	5.166	0,436	5.685	0,909	Si
116	13.376	0,343	34.176	0,391	17.769	0,584	58.255	0,305	22.163	0,515	51.377	0,431	Si
102	39.243	0,614	49.311	0,796	42.665	0,614	49.311	0,865	46.087	0,614	49.311	0,935	Si

Tabella 8.26 Risultati verifica statica parete 4

In Figura 8.15 è rappresentata la mesh della parete 4.

In verde compaiono gli elementi che superano la verifica, mentre in colore differente sono rappresentati quelli che non la superano.

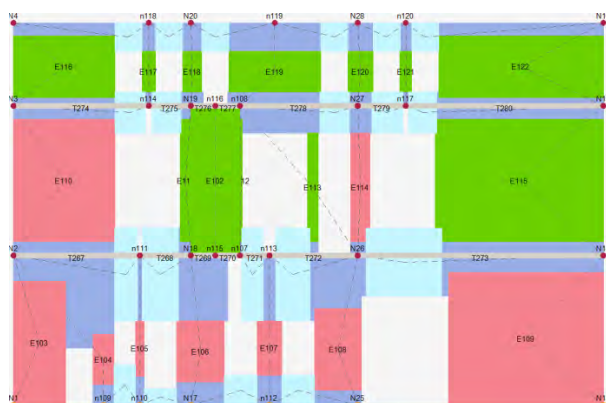


Figura 8.20 Mesh della parete 4

Nella Tabella 8.22 sono indicate le pareti del modello con il rispettivo numero di elementi che non superano la verifica e i valori associati alle singole verifiche.

Si riportano per ogni parete i valori limite più restrittivi tra tutti i maschi della parete stessa.

In blu è evidenziata la parete 4, che presenta 9 maschi rotti, cioè 9 elementi non superano la verifica.

Parete	Maschi rotti	Nd/Nr Max	h0/t Max	e1/t Max	e2/t Max
4	9	3,30	12,22	0,268	17,232
6	9	3,73	13,75	0,264	0,105
10	8	4,06	13,75	0,339	61,164
5	6	2,42	12,22	0,268	0,103
11	5	2,57	18,33	0,140	0,092
12	4	2,19	18,33	0,098	0,092
13	4	2,36	18,33	0,196	0,092
8	4	1,75	13,75	0,203	0,086
7	2	1,78	13,75	0,101	0,069
3	10	2,44	12,22	0,275	18,735
2	10	3,10	12,22	0,289	14,547
9	1	1,35	13,75	0,176	0,069
1	1	1,22	12,22	0,061	0,061

Tabella 8.27 Verifica statica Blocco A

Si sottolinea il fatto che la tamponatura supera la verifica statica e che nel complesso c'è stato un miglioramento nel comportamento della parete, perché nel modello senza tamponatura i maschi rotti erano 12.

## 8.9 PROPOSTA DI INSERIMENTO DI NUOVE PARETI NEL BLOCCO B

Dall'analisi effettuata con il software 3Muri è emerso che nel modello vincolato del Blocco B ci sono 12 analisi non verificate.

L'analisi più gravosa è la numero 17 in direzione +Y; si ricorda che l'asse Y è parallelo a via S. Francesco, quindi corrisponde al lato corto dell'edificio.

L'analisi 17 presenta un  $\alpha_u$  pari a 0,34, cioè l'edificio è in grado di sopportare solo il 34% dell'azione sismica di progetto.

Nell'analisi con 3Muri si osserva anche che dal modello non vincolato a quello vincolato aumentano gli  $\alpha_u$  in direzione X, ma diminuiscono in direzione Y.

Il periodo di ritorno dell'azione sismica,  $T_{SLV}$ , che porta al raggiungimento dello Stato Limite di salvaguardia della Vita, è pari a 55 anni per il modello non vincolato e diminuisce a 49 per quello vincolato.

In entrambi i modelli la vita nominale è di soli 6 anni, un valore molto inferiore dal minimo richiesto dalla norma.

La percentuale di energia sismica dissipata dalla struttura vincolata è pari al 43,21%.

Per migliorare il comportamento d'insieme dell'edificio si potrebbe modificare la sua struttura portante. Le carenze maggiori si riscontrano in direzione Y, quindi si potrebbero inserire dei setti portanti in questa direzione.

Per non modificare troppo la struttura esistente, si propone di aggiungere due pareti portanti, con le medesime caratteristiche delle altre quattro pareti, nei punti in cui sono già presenti due pareti non portanti di spessore molto ridotto.

Le nuove pareti sarebbero spesse 40 cm e verrebbero posizionate in tutti e tre i piani dell'edificio.

La collocazione di tali pareti è stata ipotizzata in corrispondenza delle tramezze esistenti, perché in questo modo non verrebbe alterata la configurazione dello spazio interno.

### Analisi con 3Muri

L'analisi è stata condotta con riferimento agli spostamenti del nodo 20.

Nella Tabella 8.22 Sono riportati i risultati delle 24 analisi push-over.

Si nota che ora per lo Stato Limite di Operatività e per lo Stato Limite di Danno le analisi sono tutte verificate, mentre prima della modifica alcune analisi non erano verificate per lo Stato Limite di Danno.

Per lo Stato Limite di Salvaguardia della Vita le analisi non verificate sono, come prima, le numero 5, 6, 7, 8, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23 e 24.

In giallo sono indicate le analisi più gravose rispettivamente in direzione X e Y, in quanto presentano il coefficiente di attivazione  $\alpha_u$  più piccolo.

N.	Dir. sisma	Car. sismico prop.	Ecc. [cm]	SLV				SLD			SLO			Alfa u	Alfa e
				DMa x [cm]	Du [cm]	q* SLU	Ver.	DMa x [cm]	Dd [cm]	Ver.	DMa x [cm]	Do [cm]	Ver.		
1	+X	Masse	0,0	0,32	1,31	0,63	Si	0,14	0,96	Si	0,11	0,96	Si	2,45	5,11
2	+X	1° modo	0,0	0,41	2,23	0,68	Si	0,17	0,97	Si	0,14	0,97	Si	3,05	4,46
3	-X	Masse	0,0	0,31	1,32	0,64	Si	0,13	1,12	Si	0,11	1,12	Si	2,49	5,69
4	-X	1° modo	0,0	0,39	1,96	0,70	Si	0,17	1,24	Si	0,14	1,24	Si	2,81	5,28
5	+Y	Masse	0,0	2,20	1,20	3,28	No	0,79	1,05	Si	0,58	1,05	Si	0,56	1,32
6	+Y	1° modo	0,0	2,53	1,35	3,39	No	0,88	1,28	Si	0,65	1,28	Si	0,54	1,45
7	-Y	Masse	0,0	2,77	2,23	2,44	No	0,96	2,20	Si	0,71	2,20	Si	0,81	2,30
8	-Y	1° modo	0,0	3,14	2,48	2,62	No	1,08	2,28	Si	0,80	1,98	Si	0,79	2,11
9	+X	Masse	20,6	0,32	1,28	0,62	Si	0,14	1,15	Si	0,11	1,15	Si	2,45	5,76
10	+X	Masse	-20,6	0,32	1,20	0,63	Si	0,14	0,93	Si	0,11	0,93	Si	2,32	5,00
11	+X	1° modo	20,6	0,40	2,33	0,69	Si	0,17	1,08	Si	0,14	1,08	Si	3,14	4,76
12	+X	1° modo	-20,6	0,41	2,15	0,68	Si	0,18	1,01	Si	0,14	1,01	Si	2,96	4,57
13	-X	Masse	20,6	0,31	1,35	0,64	Si	0,13	1,23	Si	0,11	1,23	Si	2,52	6,02
14	-X	Masse	-20,6	0,32	1,29	0,64	Si	0,14	1,09	Si	0,11	1,09	Si	2,42	5,50
15	-X	1° modo	20,6	0,39	2,01	0,70	Si	0,17	1,21	Si	0,14	1,21	Si	2,86	5,19
16	-X	1° modo	-20,6	0,40	1,96	0,70	Si	0,17	1,00	Si	0,14	1,00	Si	2,80	4,56
17	+Y	Masse	116,9	2,18	1,41	3,17	No	0,79	0,94	Si	0,58	0,94	Si	0,66	1,20
18	+Y	Masse	-116,9	2,23	1,09	3,51	No	0,80	1,09	Si	0,59	1,09	Si	0,51	1,37
19	+Y	1° modo	116,9	2,51	1,49	3,30	No	0,88	1,10	Si	0,65	1,10	Si	0,60	1,26
20	+Y	1° modo	-116,9	2,54	1,24	3,63	No	0,88	1,24	Si	0,65	1,24	Si	0,49	1,40
21	-Y	Masse	116,9	2,72	2,63	2,42	No	0,94	2,55	Si	0,69	2,16	Si	0,97	2,72
22	-Y	Masse	-116,9	2,80	1,98	2,56	No	0,96	1,98	Si	0,71	1,98	Si	0,71	2,05
23	-Y	1° modo	116,9	3,33	2,88	2,16	No	1,15	2,69	Si	0,85	1,74	Si	0,87	2,34
24	-Y	1° modo	-116,9	3,07	2,27	2,95	No	1,06	2,07	Si	0,78	2,07	Si	0,74	1,95

Tabella 8.28 Risultati dell'analisi push-over

L'analisi più gravosa è la numero 20, in cui il sisma avviene in direzione +Y, il carico sismico è proporzionale al primo modo e l'eccentricità è di -116,9 cm.

Essa ha un valore di  $\alpha_u$  pari a 0,49, quindi la struttura è in grado di sopportare una percentuale del 49% del sisma di progetto relativo allo Stato Limite Ultimo per un tempo di ritorno di 475 anni; in altre parole l'azione sismica sopportabile dalla struttura prima del collasso SLV è pari al 49% di quella che incide realmente nella direzione considerata.

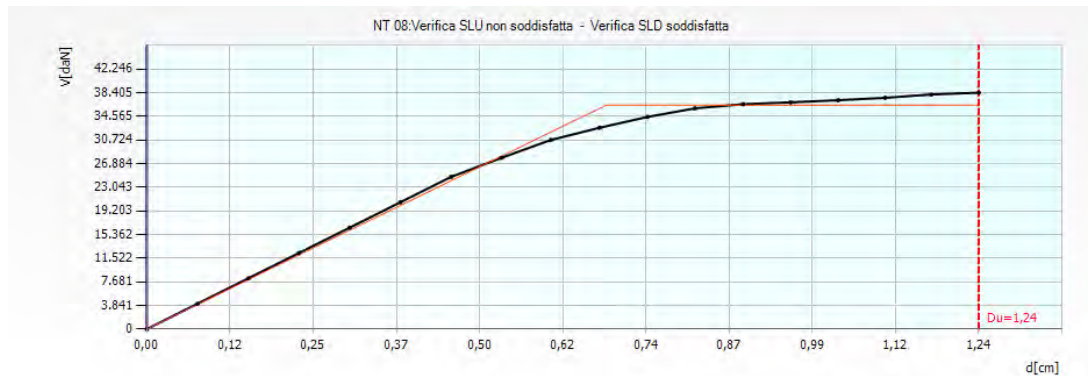


Figura 8.21 Curva push-over relativa all'analisi 20

Nella Tabella 8.23 si riportano i valori dei parametri ottenuti dall'analisi 20.

						TR <sub>c</sub>			TR=cost	
	TR <sub>c</sub>	TR <sub>D</sub>	α <sub>TR</sub>	PGA <sub>D</sub> [m/s <sup>2</sup> ]	PGA <sub>C</sub> (TR) [m/s <sup>2</sup> ]	F <sub>0</sub> (TR)	T* <sub>C</sub> (TR)	α <sub>PGA</sub> (TR)	PGA <sub>C</sub> [m/s <sup>2</sup> ]	α <sub>PGA</sub>
<b>SLV</b>	97	475	0,204	0,81	0,45	2,48	0,29	0,557	0,40	0,492
<b>SLD</b>	97	50	1,940	0,36	0,45	2,48	0,29	1,253	0,51	1,404
<b>SLO</b>	97	50	3,233	0,30	0,45	2,48	0,29	1,514	0,57	1,901

Tabella 8.29 Vulnerabilità sismica Blocco B

I parametri dell'analisi sono:

- periodo del sistema equivalente  $T^* = 0,495$  s
- massa del sistema equivalente  $m^* = 330518,51$  kg
- massa totale  $w = 533027,87$  kg
- fattore di partecipazione modale  $\Gamma = 1,25$
- forza di plasticizzazione del sistema equivalente  $F_y^* = 29089$  daN
- spostamento di plasticizzazione del sistema equivalente  $d_y^* = 0,55$  cm
- spostamento ultimo del sistema equivalente  $d_u^* = 0,99$  cm

Di seguito sono riportate le configurazioni di rottura dei setti che compongono il Blocco B.

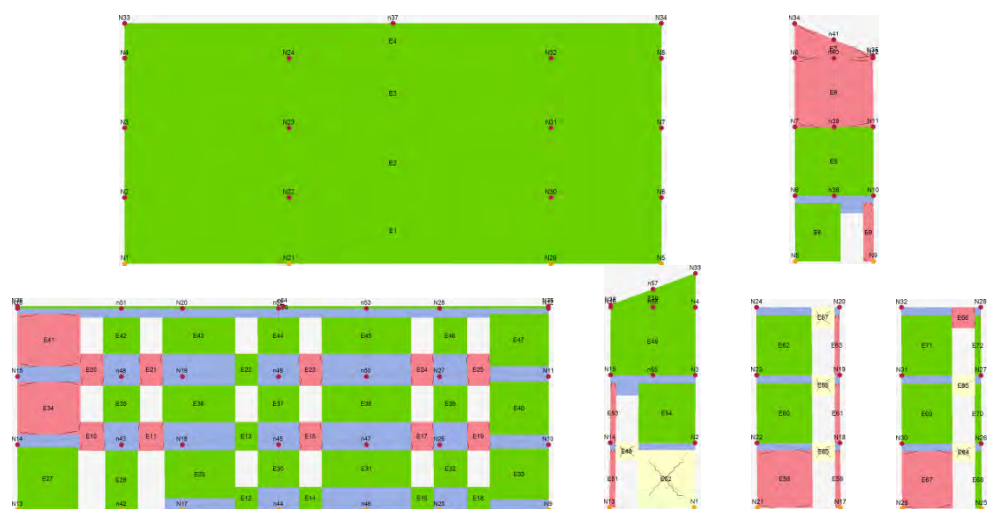


Figura 8.22 Rappresentazioni delle pareti, rispettivamente da in alto a sinistra: parete 1, parete 2, parete 3, parete 4, parete 5 e parete 6.

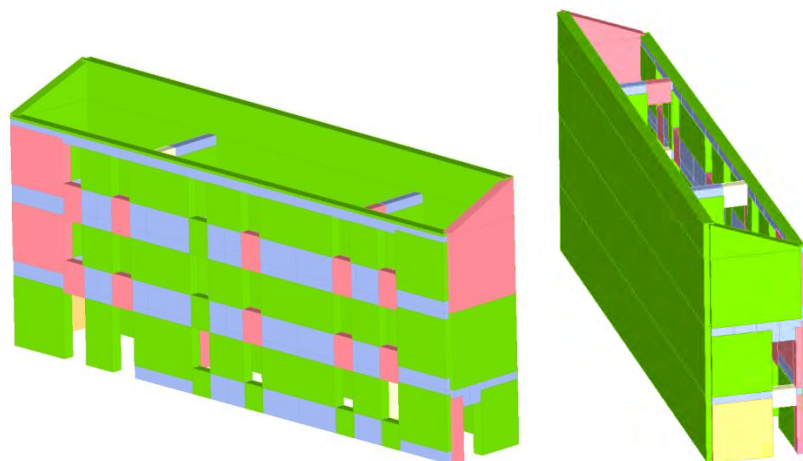


Figura 8.23 Viste assonometriche del Blocco B allo SLV

Aggiungendo due pareti portanti al posto delle tramezze, si ottengono alcuni miglioramenti nel comportamento globale dell'edificio: aumentano gli  $\alpha_u$  sia in direzione X che in direzione Y; tutte le verifiche allo SLD e allo SLO risultano soddisfatte. Per il calcolo della vita nominale si prende in considerazione l'analisi più gravosa.

Essendo  $T_{SLV} = 97$ , allora  $V_N = 11$

Si procede con la valutazione delle PGA reali a cui il modello è in grado di rispondere.

In corrispondenza dell'analisi più gravosa, il software presenta dei valori di  $PGA_D$  (Pick Ground Acceleration di domanda) e di  $PGA_C$  (Pick Ground Acceleration di capacità reale) entrambi espressi in  $m/s^2$ .

Dividendo il valore di  $PGA_C$  per il valore di  $PGA_D$  si ottiene la percentuale di scarto, cioè la percentuale di energia sismica dissipata dalla struttura.

Essendo  $PGA_C = 0,45$  e  $PGA_D = 0,81$ , allora lo scarto è del 55,5%.

Prima della modifica la percentuale di energia sismica dissipata dall'edificio era del 43,21%, c'è quindi stato un miglioramento.





## Conclusioni

L'analisi della vulnerabilità sismica di Palazzo Sala è stata effettuata in più fasi lavorative, ognuna delle quali si è rivelata di fondamentale importanza per conoscere a pieno il comportamento dell'edificio.

In particolare si sottolinea che durante i sopralluoghi, attraverso l'osservazione diretta del manufatto, è emerso che tutti gli ambienti interni sono in buone condizioni, così come l'intero Blocco B e l'intero Blocco C.

Le principali vulnerabilità sono state riscontrate nelle facciate ovest e nord del Blocco A, la parte più antica di Palazzo Sala.

Il materiale e i dati acquisiti nella fase conoscitiva hanno permesso di svolgere un'analisi dell'edificio sia su scala locale sia globale. È stato possibile definire lo stato di fatto attuale, tenendo in considerazione il grado di incertezza relativo ad alcuni aspetti: il livello di conoscenza effettivamente raggiunto appartiene alla classe LC1.

Dalla prima analisi, quella dei meccanismi locali di collasso, è emerso che tutte le analisi relative ai meccanismi di flessione verticale di parete e ai meccanismi di catena cinematica nel piano sono sempre verificate.

Invece i meccanismi di ribaltamento risultano spesso non verificati, ma il livello di sicurezza raggiunto non è mai inferiore al 70% per un livello di conoscenza LC1.

Le analisi non verificate sono state ripetute simulando un livello di conoscenza LC2 e, coerentemente con le aspettative, sono risultate tutte soddisfatte.

Dalla seconda analisi effettuata con Vulnus è stato attribuito un giudizio di vulnerabilità molto piccola per i valori di  $a/g$  relativi ai sismi storici e un giudizio di vulnerabilità piccola o media per il valore dato dalla norma.

Si può affermare che per quanto riguarda i sismi storici di intensità 7 e 8 della scala MCS i risultati ottenuti siano coerenti con il quadro fessurativo rilevato, che non presenta evidenti carenze o peculiarità.

Nel caso oggetto di studio è stata individuata la classe di vulnerabilità A, in funzione della matrice di probabilità di danno  $>D2$  (danno moderato), sulla base dei confronti con le curve EMS98.

Nella terza analisi, effettuata con 3Muri, è emerso che l'edificio ha maggiore vulnerabilità in direzione Y (l'asse Y è parallelo a via S. Francesco) e i danni più gravi si riscontrano nel blocco A. Come era prevedibile si ha rottura per compressione, pressoflessione e rottura in fase elastica nelle pareti con più aperture, quindi nelle facciate del blocco A.

Il modello libero del Blocco A e del Blocco C presenta valori piuttosto elevati dell'indice di rischio sismico  $\alpha_u$ , rispettivamente pari a 0,99 e 1,67; mentre il modello libero del Blocco B presenta un  $\alpha_u$  pari a 0,36.

Attraverso la modellazione dei vincoli cedevoli elasticamente è stata riprodotta la condizione di aggregazione dell'edificio e si è assistito all'aumento dell'indice  $\alpha_u$  per quanto riguarda il Blocco A, dove raggiunge il valore di 1,15, mentre rimane pressoché immutato negli altri due Blocchi.

Per ogni modello, in corrispondenza dell'analisi più gravosa, il software presenta dei valori di  $PGA_D$  (Pick Ground Acceleration di domanda) e di  $PGA_C$  (Pick Ground Acceleration di capacità reale). Dividendo il valore di  $PGA_C$  per il valore di  $PGA_D$  si è ottenuta la percentuale di scarto, cioè la percentuale di energia sismica dissipata dalla struttura. Nei modelli vincolati questa percentuale è del 110,64%, 43,21% e 164,19% rispettivamente per i blocchi A, B e C.

Invece i valori della vita nominale  $V_N$  dei modelli vincolati sono rispettivamente pari a 81, 6 e 244 anni; nel caso del Blocco B i valori non soddisfano i requisiti minimi suggeriti dalla normativa.

Sulla base dei risultati ottenuti con le analisi e sulla base delle considerazioni relative agli effetti del degrado, si possono proporre alcuni interventi di miglioramento.

Tali interventi sono finalizzati a migliorare il comportamento degli elementi strutturali, favorendo il comportamento scatolare dell'edificio.

I risultati elaborati nella fase di valutazione della sicurezza sismica sono stati ottenuti considerando diverse ipotesi, quindi è necessario avvalersi di dati più certi per poter definire con sicurezza la situazione in cui si trova l'edificio e per poter progettare degli interventi in modo preciso e puntuale. Per questo motivo è stato previsto un piano di indagini, in modo da verificare le ipotesi formulate al fine di scegliere la soluzione più appropriata.

I controlli, oltre che essere preliminari all'intervento, dovrebbero essere utilizzati anche per verificare l'efficacia delle tecniche d'intervento e quindi essere eseguiti prima, durante e dopo l'intervento.

La fase diagnostica è importante non solo per il controllo dei singoli interventi, ma anche per il comportamento globale dell'edificio e soprattutto è importante che venga effettuata all'interno di un programma di manutenzione a lungo termine dell'edificio riparato.

Le principali vulnerabilità sulle quali la presente tesi si è concentrata sono state riscontrate nel prospetto ovest sul vicolo e nelle colonne e nella tamponatura delle arcate nel prospetto nord sul cortile interno.

Sulla base delle considerazioni formulate riguardo ai possibili interventi, è stato fatto un confronto preliminare per valutare quale intervento sarebbe più opportuno applicare al caso oggetto di studio. Il confronto è stato fatto valutando alcuni parametri che possono essere determinanti nella scelta dell'intervento più idoneo. Si sottolinea però che questo confronto ha carattere indicativo e si basa su informazioni generali ricavate da altri interventi simili o dalla letteratura.

È stata poi proposta l'applicazione di due tecniche d'intervento: i tiranti e i cordoli metallici. Tali interventi sono stati calcolati e verificati, in modo tale da migliorare il comportamento globale dell'edificio e impedire fenomeni di ribaltamento.

Per quanto riguarda le colonne in pietra della facciata nord sul patio interno, non essendo possibile calcolare con esattezza gli interventi proposti in assenza di indagini sperimentali e prove in situ, si è cercato di conoscere meglio il loro comportamento strutturale attraverso una verifica a compressione e attraverso la verifica statica con il

software 3Muri. In quest'ultima è risultato che le colonne in pietra non superano la verifica ai carichi verticali, mentre superano la verifica a snellezza.

I risultati confermano quindi l'ipotesi che questi elementi siano effettivamente un punto critico sul quale bisognerebbe intervenire.

Sono state fatte alcune considerazioni anche sulla tamponatura delle aperture al primo piano della facciata nord sul patio interno.

Le verifiche a compressione e le verifiche dei cinematismi locali relative alla tamponatura risultano verificate e dall'analisi svolta con 3Muri si evidenzia un piccolo miglioramento nel comportamento globale della parete, rispetto al modello senza tamponatura. Si potrebbe quindi affermare che, nonostante il carattere evidentemente temporaneo di tale intervento, la tamponatura migliora il comportamento della parete in cui è inserita, ma bisogna comunque considerare il fatto che non è ammortata alla struttura portante e questo potrebbe costituire una vulnerabilità.

La presente tesi si è anche posta l'obiettivo di progettare un miglioramento del comportamento globale del Blocco B, che non soddisfaceva i requisiti minimi imposti dalla normativa. La progettazione di due nuove pareti portanti al posto delle tramezze esistenti è stata verificata con delle analisi, effettuate mediante il software 3Muri.

Queste analisi hanno evidenziato un leggero miglioramento del comportamento globale dell'edificio, soprattutto in direzione Y, la più critica: il valore di  $\alpha_u$  diventa di 0,49, la percentuale di energia sismica dissipata è pari al 55,5% e la Vita Nominale è di 11 anni.

La comparazione di diversi metodi di analisi della vulnerabilità sismica ha quindi permesso di formulare numerose ipotesi per migliorare il comportamento dell'edificio oggetto di studio, analizzando in maniera più approfondita quelli che si sono rivelati i punti più critici di Palazzo Sala.

Una maggiore conoscenza della struttura facilita la progettazione dei possibili interventi futuri.



## **Bibliografia**

Binda L., Saisi A. Il ruolo delle indagini nella diagnostica strutturale, DIS – Dipartimento di Ingegneria Strutturale Politecnico di Milano.

Brunetta G. (1966). Gli interventi dell'Università di Padova nel riutilizzo di antichi edifici, Tipografia Editrice La Garangola, Padova.

Brunetta G. (1970). Relazione del progetto di utilizzazione dei palazzi Romanin e Sala ad uso delle segreterie universitarie, Ufficio Tecnico dell'Università degli Studi di Padova.

Gaudenzio L. (a cura di) (1968). Pianta di Padova di Giovanni Valle 1784, tav. 29-30, Giuseppe e Pietro Randi Librai, Padova.

Modena C., Pineschi F., Valluzzi M. R. (a cura di). Valutazione della vulnerabilità sismica di alcune classi di strutture esistenti – Sviluppo e valutazione di metodi di rinforzo, CNR-Gruppo Nazionale per la Difesa dai Terremoti – Roma, 2000.

Pavanello I. (a cura di) (1976). I catasti storici di Padova 1810-1889, Officina Edizioni, Roma.

Pengo M., Analisi di vulnerabilità sismica finalizzata agli interventi di miglioramento di Palazzo Cà Borin, tesi di laurea, relatore prof. C. Modena, Anno Accademico 2012-2013

Pesenti S. (a cura di) (2000). Il progetto di conservazione: linee metodologiche per le analisi preliminari, l'intervento, il controllo di efficacia – Rapporti di ricerca, Alinea Editrice, Firenze.

Touring Club Italiano (2003). Padova e provincia: i colli Euganei e le terme, Este e le città fortificate, Touring Editore.

Varagnolo E. (1976). Collaudo statico, Verbale, Ufficio Tecnico dell'Università degli Studi di Padova.

### **Manuali Consultati**

A. Bernardini, R. Gori, C. Modena, M. R. Valluzzi, Manuale d'uso del programma Vulnus 4.0. Procedura automatica per l'analisi di vulnerabilità sismica di edifici in muratura, dicembre 2009

GNDT. Manuale per il rilevamento della vulnerabilità sismica degli edifici-Istruzioni per la compilazione della scheda di 2° livello, Roma 1993

S.T.A. DATA, Manuale d'uso di 3MURI

### **Archivi Consultati**

Archivio Generale dell'Università di Padova

## **Normativa di riferimento**

Circolare n. 617 del 2 febbraio 2009 – Istruzioni per l'applicazione delle “Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni”

Decreto Ministeriale del 14 gennaio 2008 – Norme Tecniche per le Costruzioni

Decreto n. 10 del 25 gennaio 2006 – Approvazione “Protocollo di progettazione per gli Interventi su Immobili Privati per la ricostruzione Post-Sisma redatti in attuazione della Direttiva Tecnica del C.T.S. approvata con Decreto Commissariale n. 35/2005” – PARTE I – EDIFICI IN MURATURA – ALLEGATO 3B1

Documento Tecnico n° 200/2004 del CNR - Istruzioni per la Progettazione, l'Esecuzione ed il Controllo di Interventi di Consolidamento Statico mediante l'utilizzo di Compositi Fibrorinforzati – Materiali, strutture in C.A. e in C.A.P., strutture murarie.

Legge 2 febbraio 1974, n.64 – Provvedimenti per le costruzioni con particolari prescrizioni per le zone sismiche.

Linee Guida per la valutazione e riduzione del rischio sismico del patrimonio culturale del febbraio 2011, con riferimento alle Norme Tecniche per le Costruzioni di cui al Decreto del Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti.

Linee Guida per modalità di indagine sulle strutture e sui terreni per i progetti di riparazione, miglioramento e ricostruzione di edifici inagibili, 2012

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 le costruzioni in zona sismica.

Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3519 del 28 aprile 2006 – Criteri generali per l'individuazione delle zone sismiche e per la formazione e l'aggiornamento degli elenchi delle medesime zone.

Piano di Assetto del Territorio Intercomunale, norme tecniche di attuazione, 2008, Comune di Padova.

Raccomandazioni Normal 1/88 – Alterazioni macroscopiche dei materiali lapidei: lessico (CNR – ICR, 1990, Roma)

### **Siti Internet consultati**

<http://esse1-gis.mi.ingv.it/>

<http://maps.google.it>

<http://www.cslp.it>

<http://www.dica.unict.it>

<http://www.emidius.mi.ingv.it>

<http://www.geoportalenazionale.it>

<http://www.hilti.it>

<http://www.padovanet.it>

<http://www.protezionecivile.it>

<http://www.regioneveneto.it>

<http://www.reluis.it>

<http://www.stadata.com>



## **INDICE DELLE TAVOLE**

- 1.01 Inquadramento territoriale
- 1.02 Inquadramento territoriale PRG
- 1.03 Inquadramento territoriale PATI
- 1.04 Evoluzione storica

- 2.01 Rilievo fotografico
- 2.02 Rilievo fotografico
- 2.03 Rilievo fotografico

- 3.01 Rilievo geometrico
- 3.02 Rilievo geometrico
- 3.03 Rilievo geometrico
- 3.04 Rilievo geometrico
- 3.05 Rilievo geometrico
- 3.06 Rilievo geometrico
- 3.07 Rilievo geometrico
- 3.08 Rilievo geometrico
- 3.09 Rilievo geometrico
- 3.10 Rilievo geometrico
- 3.11 Rilievo geometrico
- 3.12 Rilievo geometrico
- 3.13 Rilievo geometrico
- 3.14 Rilievo geometrico
- 3.15 Rilievo geometrico
- 3.16 Rilievo geometrico
- 3.17 Rilievo geometrico
- 3.18 Rilievo geometrico
- 3.19 Rilievo geometrico
- 3.20 Analisi funzionale
- 3.21 Analisi funzionale
- 3.22 Analisi funzionale

- 4.01 Rilievo strutturale
- 4.02 Rilievo strutturale
- 4.03 Rilievo strutturale
- 4.04 Rilievo delle vulnerabilità
- 4.05 Rilievo delle vulnerabilità
- 4.06 Rilievo delle vulnerabilità
- 4.07 Rilievo delle vulnerabilità
- 4.08 Rilievo delle vulnerabilità
- 4.09 Rilievo dei danni, dei dissesti e dei degradi
- 4.10 Rilievo dei danni, dei dissesti e dei degradi
- 4.11 Rilievo dei danni, dei dissesti e dei degradi
- 4.12 Dispositivi antincendio
- 4.13 Dispositivi antincendio
- 4.14 Dispositivi antincendio

## 5.01 Macroelementi

6.01 Pianta schematica dell'edificio

6.02 Pianta schematica dell'edificio

6.03 Pianta schematica dell'edificio

7.01 Pianta macroelementi Blocco A

7.02 Pianta macroelementi Blocco B

7.03 Pianta macroelementi Blocco C

7.04 Analisi 18 Blocco A

7.05 Analisi 18 Blocco A

7.06 Analisi 12 Blocco A

7.07 Analisi 12 Blocco A

7.08 Analisi 17 Blocco B

7.09 Analisi 12 Blocco B

7.10 Analisi 24 Blocco C

7.11 Analisi 14 Blocco C

8.01 Disposizione di tiranti e cordoli metallici

8.02 Disposizione dei tiranti in facciata

8.03 Disposizione dei tiranti in facciata

8.04 Modifica muratura Blocco B

8.05 Analisi 20 Blocco B modificato