

POLITECNICO DI TORINO

Collegio di Ingegneria Edile

Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria dei Sistemi Edilizi

Tesi di Laurea Magistrale

Il “*Castel Vecchio*” di Calosso.

**Studi e approfondimenti conoscitivi per il recupero
funzionale.**



Relatore

Prof. Marco ZERBINATTI

Candidato

Silvia BOERO

Correlatore

Prof. Alessandro GRAZZINI

Dicembre 2019

Sommario

Abstract	1
1 Inquadramento territoriale e urbanistico	2
2 Analisi storica	9
2.1 Cronistoria essenziale	10
2.1.1 Origine: XI-XII secolo.....	10
2.1.2 XIV secolo.....	10
2.1.3 XVI secolo.....	10
2.1.4 XVII secolo	12
2.1.5 XVIII-XIX secoli.....	15
2.1.6 Epoca attuale	15
2.2 Evoluzione del manufatto.....	16
2.2.1 Fase 1	16
2.2.2 Fase 2 e 3.....	17
2.2.3 Fase 4	18
2.2.4 Fase 5	19
3. Lettura dello stato di fatto	21
3.1 Morfologia del manufatto.....	21
3.2 Analisi tecniche costruttive	27
3.2.1 Muratura portante	27
3.2.2 Orizzontamenti	28
3.2.3 Collegamenti verticali.....	36
3.3 Analisi dei fenomeni di alterazione e degrado	37
3.3.1 Prospetto Nord.....	38
3.3.2 Prospetto Ovest.....	39
3.3.3 Prospetto Est.....	40
3.4 Analisi dei dissesti	46
4 Progetto della diagnostica	49
4.1 Indagini geologiche e saggi in fondazione.....	51

4.2	Indagini diagnostiche degli elementi strutturali	52
4.3	Monitoraggio del quadro fessurativo e dissesti.....	54
5	Progetto.....	56
5.1	Interventi di miglioramento strutturale	56
5.1.1	Intervento di rinforzo su solaio in legno	57
5.1.2	Interventi di miglioramento del comportamento scatolare	58
5.1.3	Interventi di rinforzo della muratura.....	106
5.1.4	Progetto di riqualificazione	108
	Conclusioni.....	111
	Bibliografia.....	112
	Allegati	114

Abstract

Il recupero del patrimonio edilizio esistente è un tema complesso, che si concretizza con la ricerca di soluzioni che garantiscano il rispetto della memoria storica dell'opera.

Gli interventi su questi edifici esigono un approccio progettuale che consenta sia di ottenere un aumento delle prestazioni dell'edificio, dal punto di vista strutturale e del comfort, sia la valorizzazione delle specificità storico-architettoniche del manufatto.

L'elaborato della tesi ha come oggetto il recupero funzionale dell'edificio denominato "*Castel Vecchio*", situato sulla sommità di un'area collinare nel centro storico di Calosso, cittadina della provincia di Asti. Il manufatto, un tempo adibito a scuderia, era annesso alla fortezza del Castello dei Roero di Cortanze ed è rappresentativo della tradizione rurale delle epoche passate.

L'obiettivo è quello di restituire importanza al sito, che si trova in un avanzato stato di degrado, operando attraverso una serie di interventi di miglioramento, necessari per la trasformazione della struttura in uso pubblico, con finalità ricettive e turistiche.

Il punto di partenza della tesi è stata l'indagine sulla storia e le vicende che hanno interessato l'intero complesso castellare, per poter comprendere le dinamiche evolutive della fortezza e nello specifico di *Castel Vecchio*. Nel contempo si è svolta l'attività di rilievo geometrico dell'edificio, finalizzata a rappresentare non solo la geometria, ma anche la qualità e lo stato di conservazione dell'organismo edilizio. Successivamente sono stati rilevati e rappresentati tutti i fenomeni di degrado e i dissesti.

Sulla base degli approfondimenti effettuati nelle fasi conoscitive precedenti, sono state sviluppate delle ipotesi di consolidamento strutturale, in base alla nuova destinazione d'uso del fabbricato. Infine si è giunti al progetto di riuso: realizzare una struttura ricettiva per attività enogastronomiche, a sostegno e rilancio dell'intera struttura castellare.

1 Inquadramento territoriale e urbanistico

Il Castello si trova sulla sommità collinare nel centro storico di Calosso, comune situato nella parte sud della provincia di Asti, raggiungibile percorrendo la strada che congiunge Costigliole con Canelli “*utilizzata già nel Medioevo per il commercio tra Asti e la Liguria*”¹, testimonianza del valore strategico della fortezza edificata sul colle.



Fig. 1 – Localizzazione del borgo medioevale. FONTE: Google Earth

*“A dominare il paesaggio pittoresco il colle di Calosso si alza quasi a 400 m sul livello del mare, segnalandosi dalle colline più lontane con lo svettare di tre torri eterogenee: quella cilindrica del castello, il campanile e quella più moderna (ed esterna al paesaggio) dell’acquedotto”.*²

¹ R. Bordone, *Andar per castelli. Da Asti tutt’intorno*, Torino 1976

² R. Bordone, *op. cit.*



Fig. 2 – Panoramica su Calosso. FONTE: *Piedmont Properties*

Si arriva al complesso castellare salendo al paese lungo un viale di platani che immette su Via Regina Margherita; proseguendo si giunge in Via Roma, da dove è possibile accedere al complesso fortificato attraverso un arco “*in parte in cotto, in parte in pietra, costruito, forse nel luogo dell’originaria «turris de porta» con materiale ricavato dal suo abbattimento*”.³



Fig. 3 – Ingresso del complesso fortificato

³ R. Bordone, *op. cit.*

All'interno della cinta muraria è situata la Chiesa di San Martino sul sito certo della “*ecclesia castris*”; dinanzi ad essa, in Piazza Castello, è presente *Castel Vecchio* e un pozzo, menzionato nelle vendite del 1228.



Fig. 4– Chiesa di San Martino



Fig. 5 –Panoramica sul complesso castellare, lato sud - ovest FONTE: Google – Castello dei Roero

Da Piazza Castello si accede al Castello vero e proprio che si presenta attualmente come una dimora signorile di campagna. L'edificio a pianta irregolare è recintato da mura in pietra e mattoni che delimitano l'area fortificata nei lati ovest, nord ed est.



Fig. 6 – Ingresso del castello da Piazza Castello



Fig. 7 – Mura di cinta prospetto Nord



Fig. 8 – Portale Nord



Fig. 9 – Veduta Nord-Ovest

Castel Vecchio rientra nella categoria di intervento A2 Restauro e risanamento conservativo. In questa categoria di intervento sono permessi: *Gli interventi di restauro e risanamento conservativo sono quelli rivolti a conservare l'organismo edilizio e ad assicurarne la funzionalità, mediante un insieme sistematico di opere che, nel rispetto degli elementi tipologici, formali e strutturali dell'organismo stesso, ne consentano destinazioni d'uso con esso compatibili. Tali interventi comprendono il consolidamento, il ripristino ed il rinnovo degli elementi costitutivi dell'edificio, l'inserimento degli elementi accessori e degli impianti richiesti dalle esigenze dell'uso, l'eliminazione degli elementi estranei all'organismo edilizi.* Inoltre sono previste *Murature perimetrali, tamponamenti ed aperture esterni: ripristino e valorizzazione dei prospetti nella loro unitarietà. Parziali modifiche sono consentite nel rispetto dei caratteri originari. E' ammesso il rifacimento di parti limitate di tamponamenti esterni, qualora siano degradate o crollate, purché ne sia mantenuto il posizionamento.*

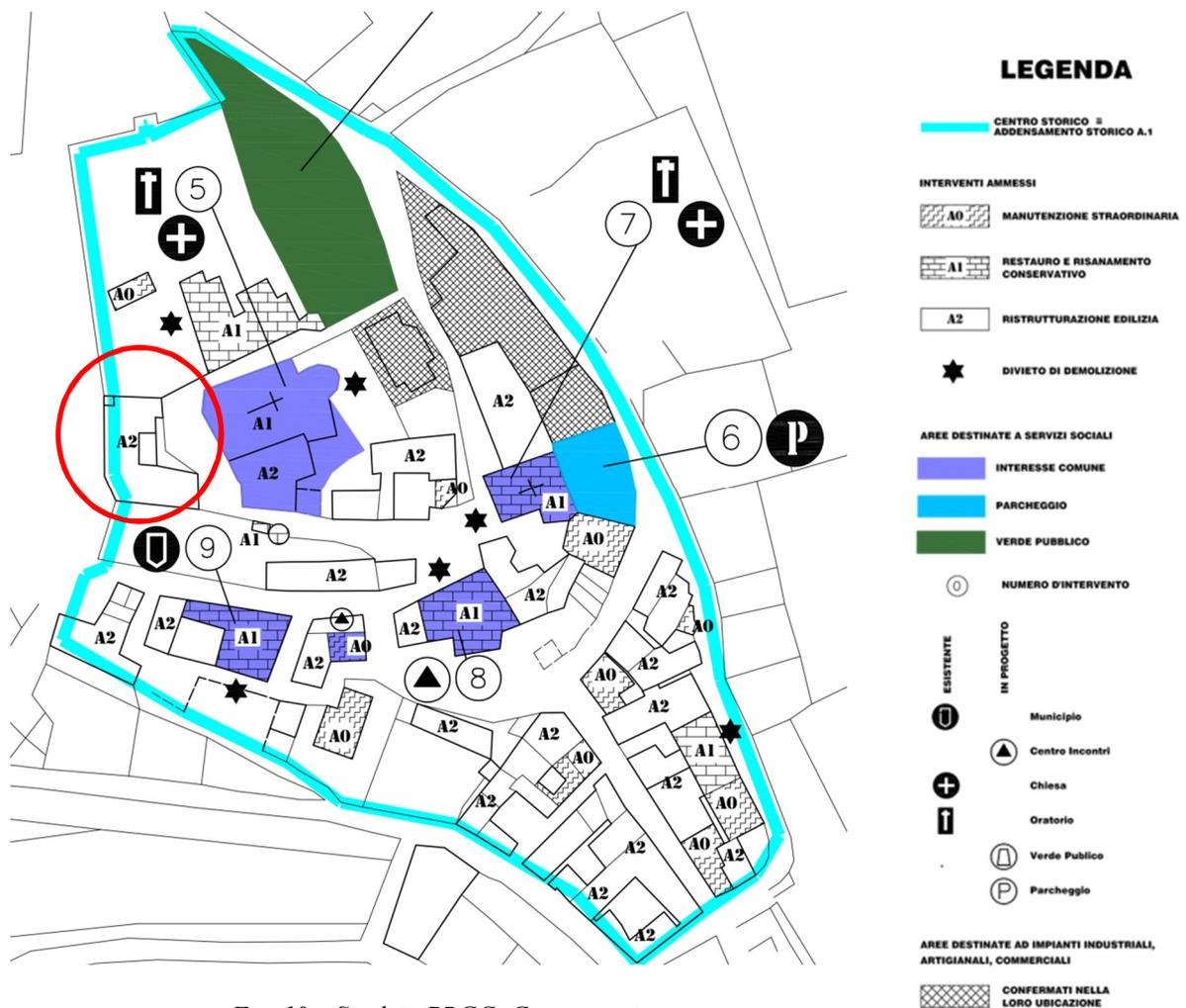


Fig. 10 – Stralcio PRGC- Centro storico

2 Analisi storica

La documentazione bibliografica e archivistica è stata reperita presso gli uffici dell'Archivio di Stato di Asti e la Biblioteca Astense.

La struttura materiale iconografica del castello è poco significativa, viene rappresentato nel *Codex Astensis*, ma presenta il modello usato per altre fortezze, come Costigliole: otto costruzioni merlate disposte a doppia scala.

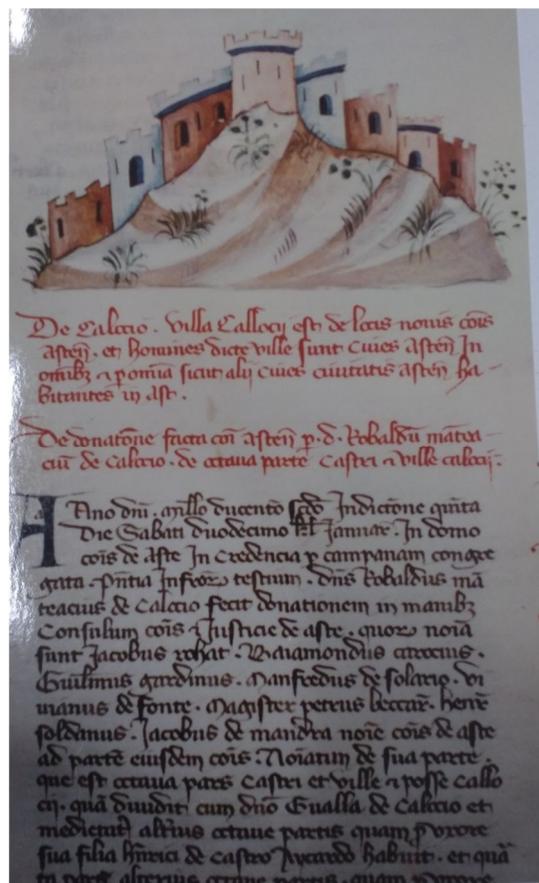


Fig.11- Iconografia *Codex Astensis*. FONTE: M. MORANDO "Presenza religiosa e politica della Diocesi di Pavia in territorio astigiano", *Tesi Storia Medioevale*

La struttura castellare odierna è il risultato di modifiche subite nel corso dei secoli, che hanno portato alla perdita dell'originaria fortezza medioevale, che racchiudeva all'interno delle sue mura il borgo antico, composto da *Castel Vecchio*, la cisterna e la chiesa di San Martino.

Nonostante *Castel Vecchio* sia un edificio a valenza storica e culturale, la documentazione archivistica non è sufficientemente completa per poter ricostruire la sua storia edificatoria. Pertanto l'analisi è stata condotta attraverso indagini dirette sul manufatto, tramite

interpretazioni per assonanza del tessuto storico, che hanno permesso, con buona approssimazione, riconoscere le successive fasi d'espansione dell'edificio, assegnando, così, il suo reale valore testimoniale.

2.1 Cronistoria essenziale

2.1.1 Origine: XI-XII secolo

Le prime tracce documentate, seppur vaghe, dell'origine del castello risalgono fra l'XI e il XII secolo. Nell'Alto Medioevo i signori di Calosso aderirono al consortile dell'Acquesana, una lega tra signori locali che stipulavano tra loro patti consortili volti a realizzare forme di coordinamento e difesa comune. Il consortile nel 1202 impose la propria egemonia sul contado attraverso un *pactum*. Gli abitanti e i signori locali giurarono fedeltà al Comune di Asti con conseguente riconoscimento della cittadinanza astense. Dal 1203 sorgono all'interno delle mura, difese da una torre a protezione della porta d'accesso, una chiesa, una cisterna ad uso pubblico e un *palatium* confinante con il fossato del castello.

2.1.2 XIV secolo

Agli inizi del Trecento il paese di Calosso viene coinvolto nelle sanguinosa guerra civile tra guelfi della famiglia Solaro e i De Castello, di parte ghibellina che si concluse con la demolizione del castrum da parte dei guelfi nel 1318. “...*fu atterrato e gli abitanti quasi tutti uccisi. Fu però quel castello rifabbricato nello stesso suolo, tanto risultando dall'istromento di dote di Valentina Visconti, ove si legge che suo padre le diede castrum et villam de Caloxio...*”.⁴

Nel 1377, l'intero feudo di Calosso viene acquistato dalla famiglia Roero, tra le più illustri per nobiltà e autorità che vi fossero ad Asti.

Nel 1387 Calosso e il suo castello rientrano tra i possedimenti della dote di Valentina Visconti, andata in sposa a Luigi d'Orléans, in questo periodo è posseduto da Aimonetto Roero. Da allora Calosso seguì le sorti di Asti che dal 1531 venne inserita nei domini sabaudi.

2.1.3 XVI secolo

⁴ G.S. De Canis, *Corografia Astigiana*, Asti, 1814

L'11 ottobre 1592, durante una visita pastorale, Sant'Alessandro Sauli, vescovo di Pavia (diocesi da cui dipendeva Calosso), venne sorpreso da una malattia mentre soggiornava nel castello. Dopo tale evento, nel 1683 si registrano dei lavori di trasformazioni, con la variazione di destinazione della camera del castello, in cui morì il beato, in pubblico oratorio.

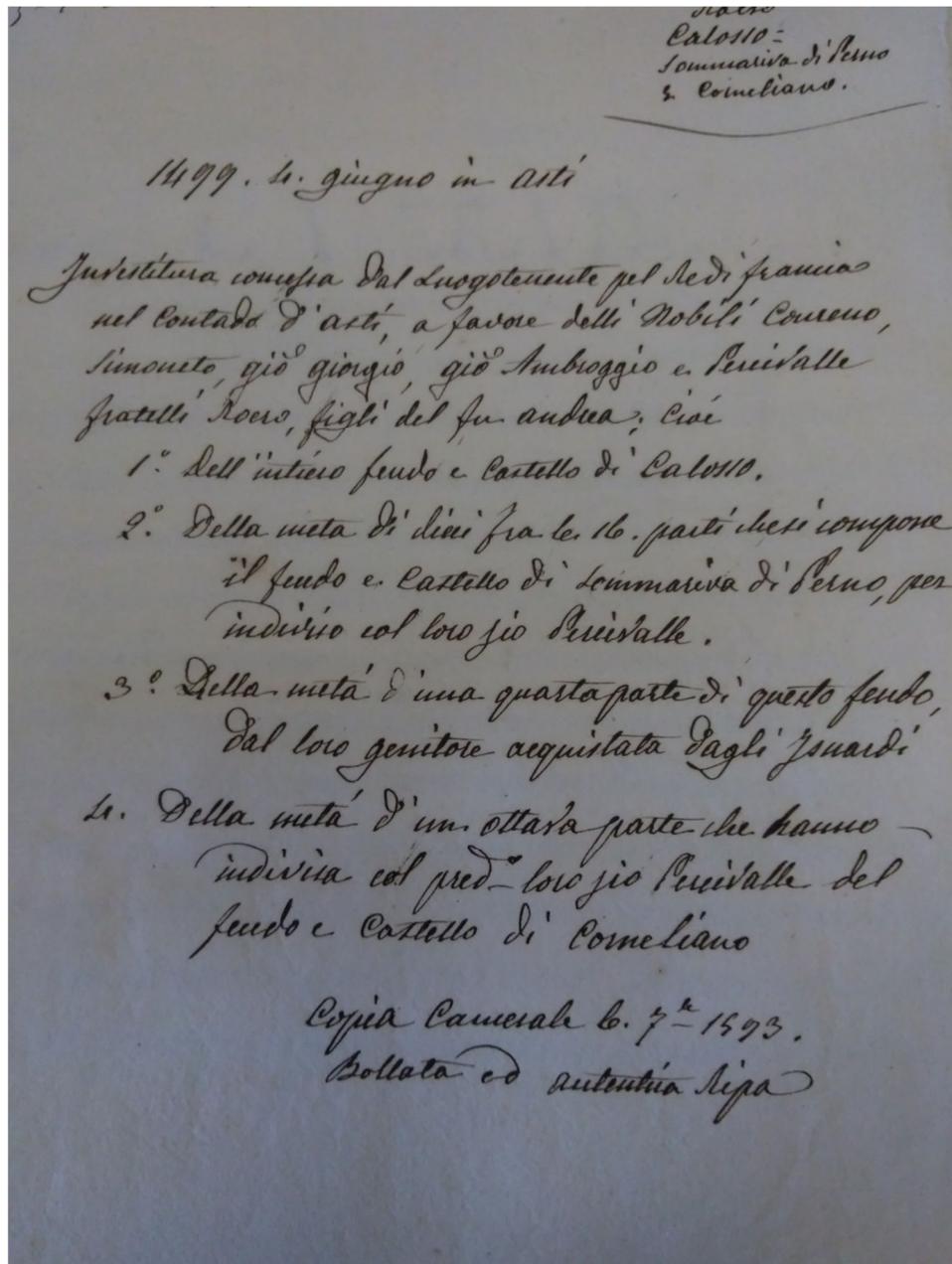


Fig.12 - Investitura del feudo di Calosso a favore della famiglia Roero. FONTE: Archivio di Stato di Asti

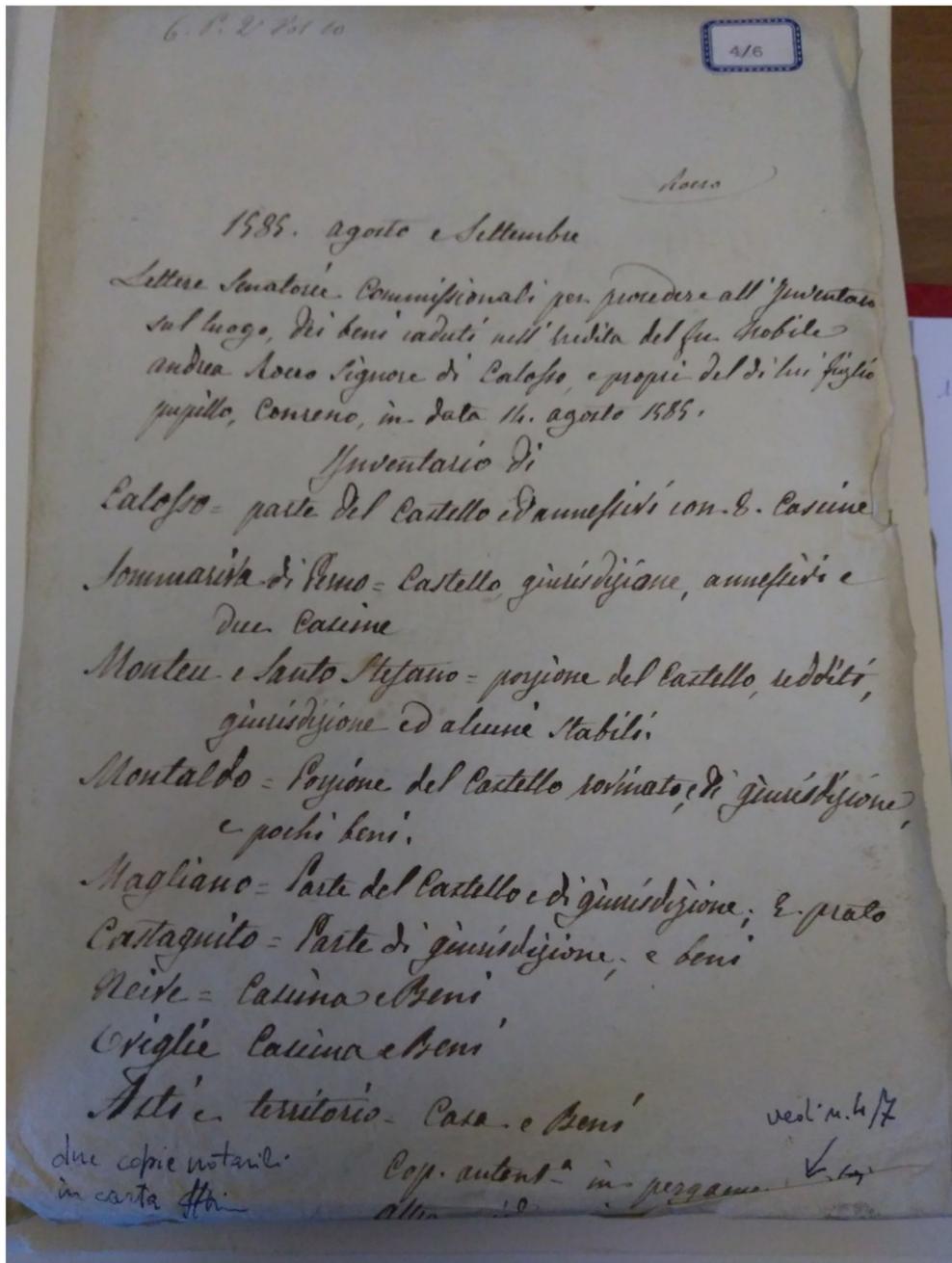


Fig.13 - Inventario dei beni appartenuti al nobile Andrea Roero Signore di Calosso . FONTE: Archivio di Stato di Asti

2.1.4 XVII secolo

Nel XVII secolo continue guerre coinvolgono il Piemonte: dominio sul Monferrato e guerra civile tra madamisti e principisti.

I primi anni del Seicento, Carlo Emanuele I di Savoia mira alla conquista del Monferrato al quale si oppone la Spagna, impegnando il Piemonte in una lunga guerra, in particolare nel 1616 feudatario Roero venne carcerato, con conseguente conquista del castello da parte dagli spagnoli, che venne, poi recuperato dai Savoia nell'anno successivo.

Un altro momento critico che coinvolse la storia della fortezza risale alla guerra civile fra principisti e madamisti tra 1639 e il 1642. In questo periodo, il Consiglio di Guerra di Asti ordina di fortificare il recinto del borgo, in particolare l'ingresso, costruendo un'altra garitta di fianco al castello. Inoltre, nei documenti vengono descritti degli stanzoni, dove venivano alloggiati i soldati, con buona approssimazione, si fa riferimento ai cantinoni sotto al castello. Nel 1642 il Colonnello Catalano Alfieri, a capo delle truppe francesi, occupò il castello e lo fece fortificare con terrapieni, per poter resistere ad eventuali attacchi spagnoli.

Successivamente, nel 1643, viene distrutto parzialmente il castello, a causa dell'eccessivo costo di manutenzione. Si tratta di un periodo di miseria e precarietà e la tecnica di "distruggere i castelli" era una prassi nota nel Monferrato, perché si preferiva privarsene piuttosto di vederlo occupato dal nemico.

In questi anni si registrano lavori di riparazione: *"...visti i tempi così pericolosi di guerra...ripristinare il vecchio ponte levatore, nel luogo ove già si trova, e cioè vicino alla torretta attigua alle scuderie del conte e alla casa della Marchisia"* e la muraglia vicino alla chiesa.

In seguito alla Pace dei Pirenei nel 1659, il castello perse le sue caratteristiche difensive e venne trasformata dimora signorile di campagna da parte della famiglia Roero di Cortanze. Il radicamento della famiglia a Calosso fu profondo, poiché dal Trecento a tutto il Seicento l'investitura del luogo venne rinnovata.

Le fortificazioni edificate tra il Cinquecento e il Seicento perdono la loro funzione difensiva a cause delle nuove armi d'assedio, di conseguenza, tramite un ordinamento venne deciso di migliorare l'accesso alla parrocchiale con l'abbattimento del muro che collega il Castello al recinto della parrocchia; mentre la scalinata che sale da Via San martino verrà costruita a metà '800.



Fig.14 – Attuale scalinata vista da Via S.Martino

Nel 1684 il comune decise di demolire la chiesa di S.Martino, per costruirne una nuova sullo stesso sito, ma più ampia e demolendo il portico preesistente sulla piazza. I rottami del fabbricato vennero utilizzati per riempire il fossato attorno al castello. Attualmente, osservando la chiesa è possibile osservare la sua antica origine di torre di difesa che caratterizza la sua abside.

2.1.5 XVIII-XIX secoli

Nel 1739 il marchese Ercole Roero di Cortanze venne investito del castello, feudo, beni e pertinenze di Calosso. Per tutto il secolo la famiglia conserva il possesso sulla località e il castello.

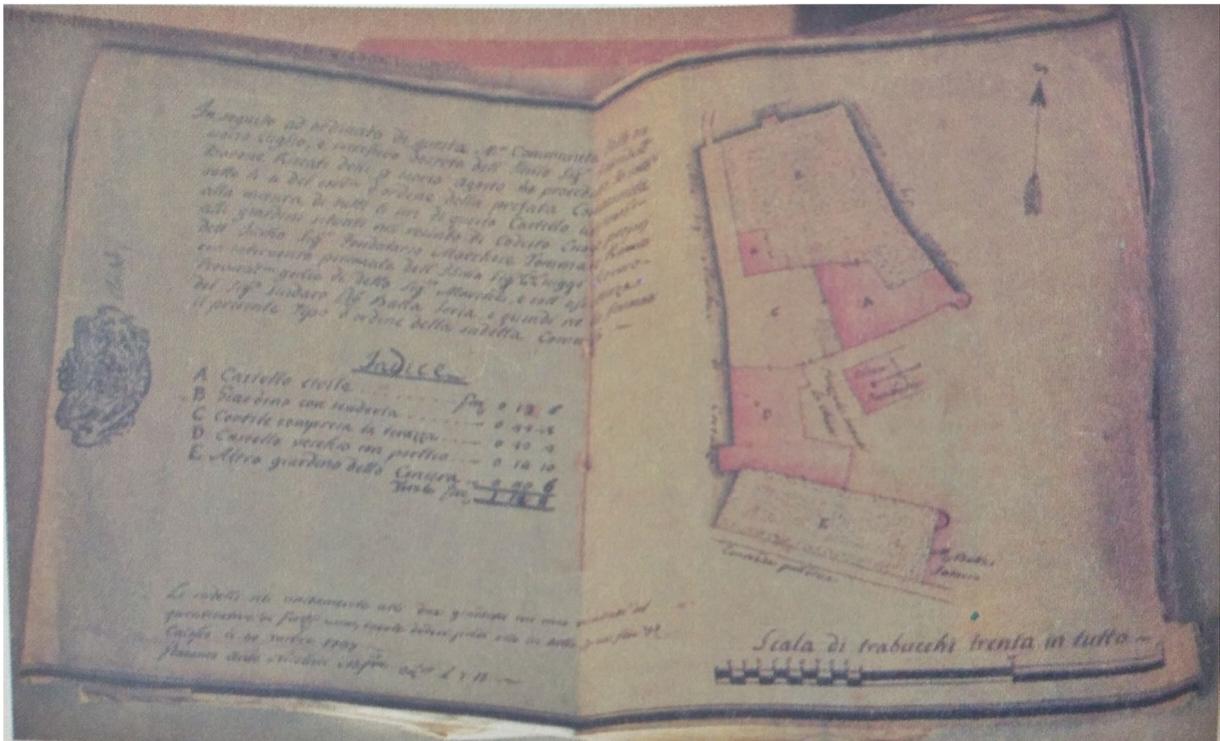


Fig.15 – Planimetria settecentesca. FONTE: PIERO BUSSI, *Gente di Calosso: dagli albori al ventesimo secolo*. Editrice Minigraf, 2000.

A causa di abbondanti precipitazioni, nel 1717, il muro di cinta sotto le scuderie crolla.

2.1.6 Epoca attuale

Infine il castello passa in proprietà dei conti Gloria, che provvedono ai necessari interventi ricostruzione e rinforzo del muro di cinta, lato ovest, crollato negli anni '60.



Fig.16 Muro di cinta lato Ovest crollato negli anni '60. FONTE: P.Bussi, op. cit.

2.2 Evoluzione del manufatto

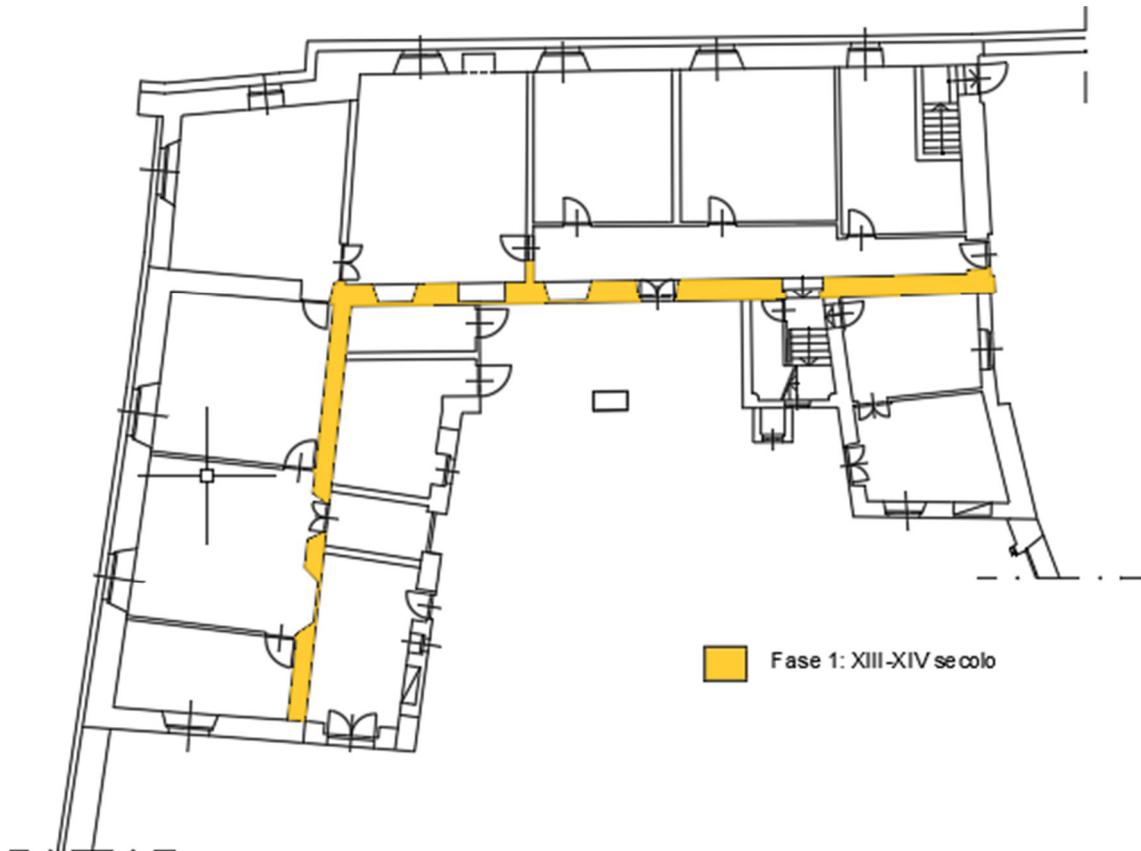
Castel Vecchio, nello stato attuale, è il risultato di una lunga serie di rimaneggiamenti avvenuti, presumibilmente, tra XIV e XX secolo. Per tale motivo, la seguente analisi storica è stata svolta al fine di riorganizzare la documentazione bibliografica affiancata da un'indagine diretta del manufatto, che ha permesso di individuare, con sufficiente approssimazione, la sua antica fisionomia.

2.2.1 Fase 1

Inizialmente, tra il XIII e XIV secolo, la struttura era solamente un muro di cortina, confinante con il fossato, che costituiva il complesso di mura difensive della primitiva struttura castellare, costituita dal palatium e chiesa.

Inoltre, nei documenti visionati, viene menzionata la vendita di un pozzo, molto probabilmente, ci si riferisce alla cisterna scavata sotto la piazza antistante *Castel Vecchio*.

Fra i vari elementi ricorrenti dei castelli medioevali vi è proprio la cisterna, che assicurava un'autonomia difensiva sia dal punto vista di riserva idrica, nei periodi d'assedio, sia in caso d'emergenza, come incendi bellici o accidentali.



. Fig.17 - Fase 1 XIII-XIV secolo

2.2.2 Fase 2 e 3

Successivamente, le mura difensive vengono ampliate lungo il prospetto est: costruendo una nuova fortificazione, davanti a quella esistente, e una torre di spigolo a pianta poligonale. È possibile dedurre che l'edificazione di nuove cinte murarie servisse per creare un compartimento interno, con lo scopo di migliorare la difesa del castello in caso di indebolimento delle mura esterne, permettendo, nel mentre, la resistenza della fortezza nella sezione rimanente.

La torre, di dimensione modeste 5.60x6 in pianta e circa 7 m in altezza, non presenta merlature. L'apparecchiatura muraria è realizzata con blocchi in arenaria (Pietra di Langa) con scarso uso di malta, dov'è possibile notare la distribuzione delle buche portaie (utilizzate per inserire le testate delle travi in legno al fine di realizzare i ponteggi).



. Fig.18 - Fase 2: torre e Fase 3:mura di cinta

2.2.3 Fase 4

Nel 1717 la cinta muraria “sotto le scuderie del marchese” viene ricostruita a causa di un crollo provocato dalle abbondanti piogge.

Dalla planimetria del 1700 si ipotizza che durante questo periodo, la struttura venga adibita a scuderia e alle funzioni agricole del complesso, come dimostra la presenza del porticato e del grande locale al primo piano, molto probabilmente destinato al ricovero delle granaglie.

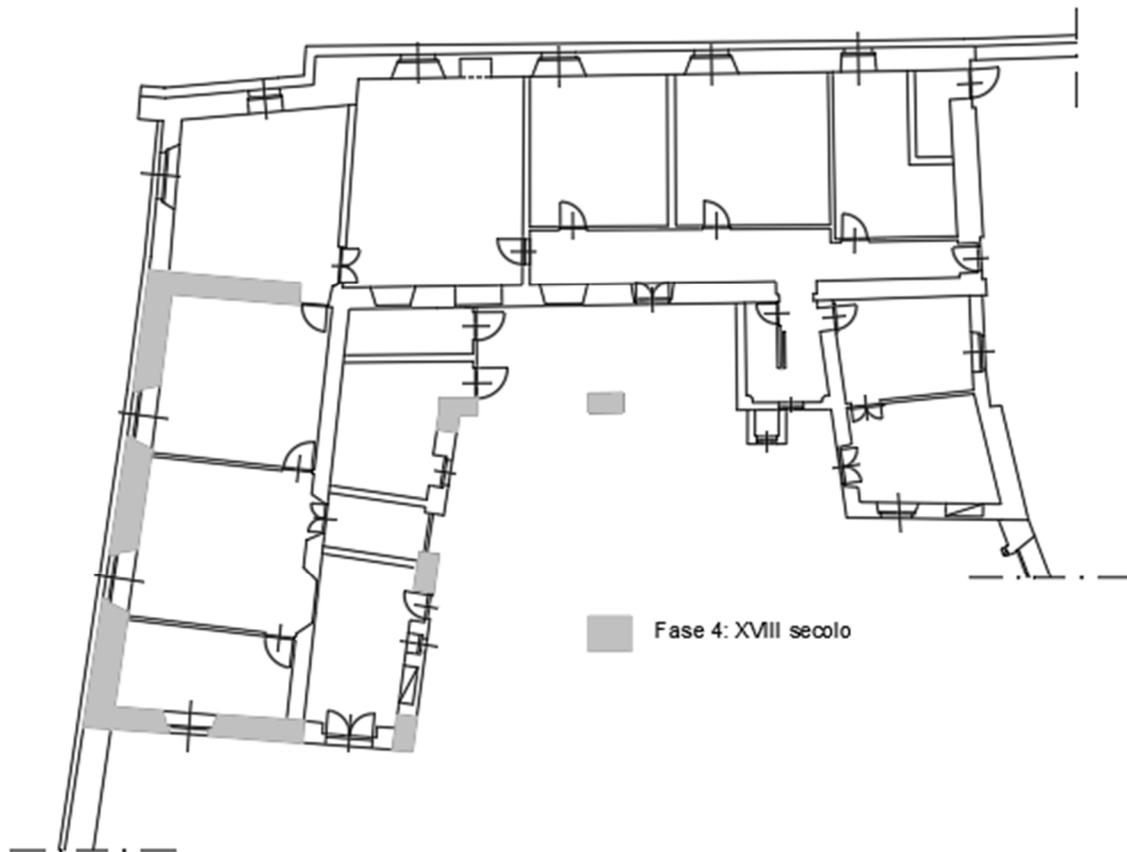


Fig.19 - Fase 4: XVIII secolo

2.2.4 Fase 5

Nell'Ottocento viene realizzato un nuovo corpo di fabbrica, perpendicolare al prospetto est, con affaccio sia sul cortile interno del castello che sulla piazza della chiesa. La struttura a uso residenziale è composta da due piani fuori terra e al suo interno è presente un vano scala, che costituisce l'unico collegamento verticale verso il piano superiore.



Fig.20 - Fase 5: XIX secolo

3. Lettura dello stato di fatto

3.1 Morfologia del manufatto

Attualmente Castel Vecchio si presenta con un impianto volumetrico ad U, con i bracci che si estendono verso la chiesa di S.Martino a racchiudere Piazza Castello. Il lato corto verso Nord (terzo corpo di fabbrica) è tangente al giardino del Castello, mentre il secondo braccio a Sud e il prospetto Ovest si affacciano sulla campagna circostante.

Il manufatto si sviluppa su due piani fuori terra e uno seminterrato e può essere schematicamente diviso in tre parti:

- Primo corpo di fabbrica risalente, come anticipato nel capitolo precedente, alla prima edificazione dell'impianto castellare. Ciò si evince dalla lettura tipologia in pianta, la quale evidenzia muri portanti trasversali e longitudinali dello spessore di 80 cm circa;
- Secondo corpo di fabbrica, anch'essa costituita da una muratura portante mista, corrispondente alla porzione di manufatto estesa lungo il prospetto sud-est;
- Terzo corpo di fabbrica: risalente all'Ottocento, trasversale al prospetto Est della struttura principale. La struttura portante verticale è in muratura. In questa zona vi è l'unico collegamento verticale tra piano terra e primo, realizzato mediante una scala in muratura.

Il rilievo geometrico è stato eseguito internamente ed esternamente al fabbricato con metodo diretto: rotella metrica, distanziometro laser. Alcune aree non accessibili all'interno del manufatto e il prospetto Sud sono state ricostruite grazie ai rilievi svolti nel 2002.

Nelle pagine seguenti sono state inseriti alcuni estratti degli elaborati grafici (piante, prospetti e dettagli) che sono allegati in scala come tavole alla presente tesi.

Dal cortile interno del Castello è possibile accedere all'edificio: la porta di sinistra del prospetto Nord consente l'accesso al piano terra, mentre quella di destra è l'ingresso al piano seminterrato.

Il piano terra è costituito da otto locali collegati in successione e da ulteriori due vani posti nella manica ottocentesca. In particolare, si può ipotizzare che l'ambiente V04 in passato fosse adibito a cucina poiché al suo interno è presente un antico focolare domestico.

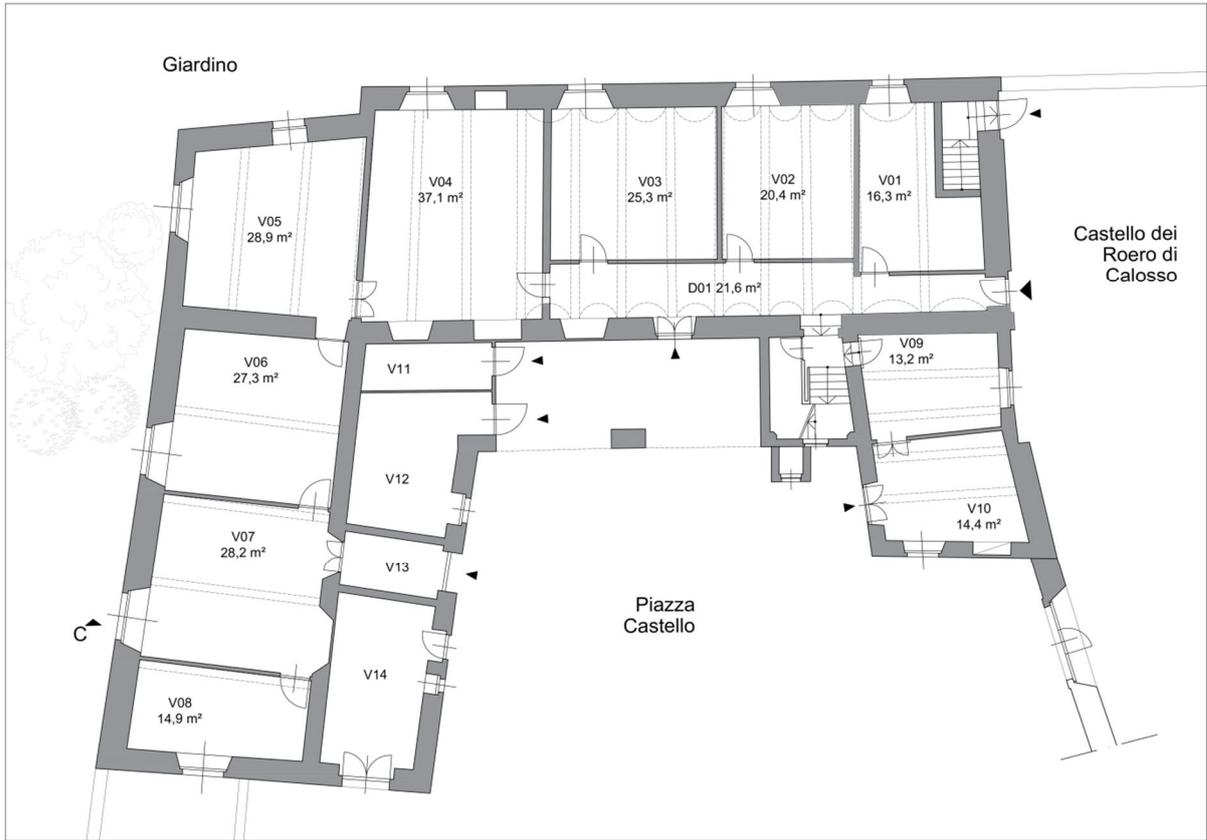


Fig 21 – Pianta piano terra (fuori scala)

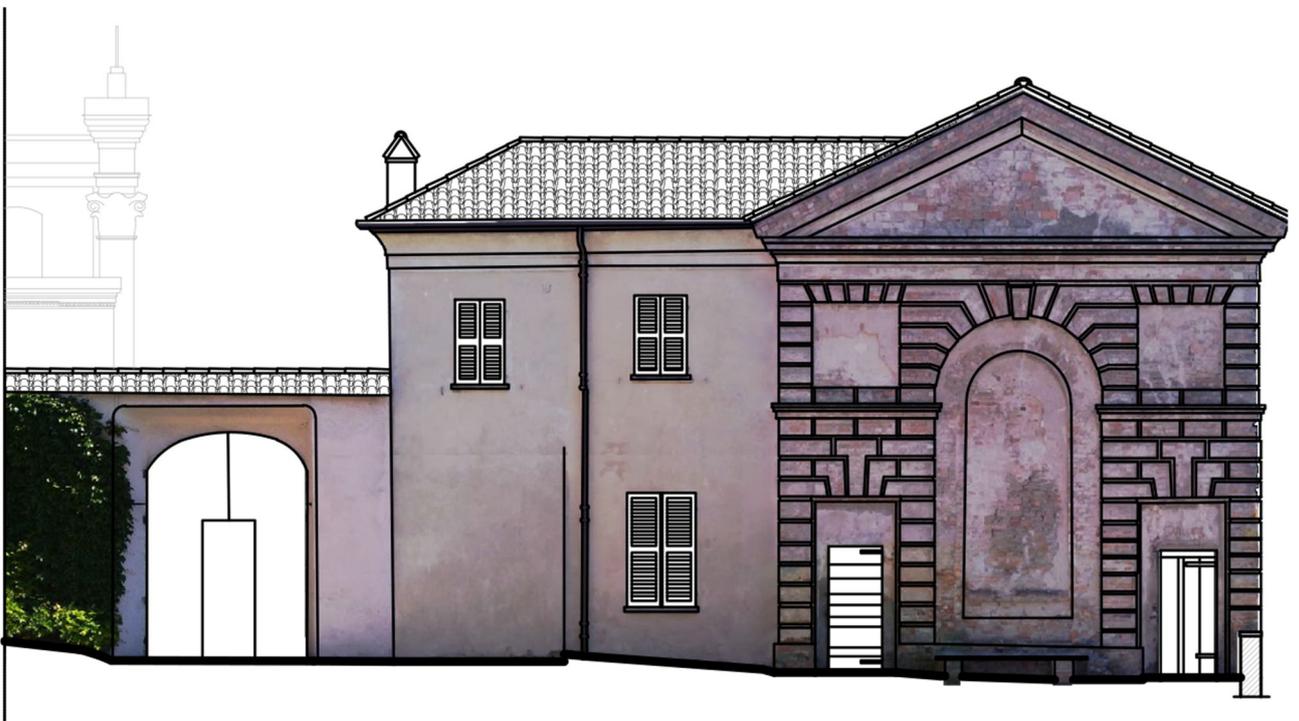


Fig.22 – Raddrizzamento fotografico prospetto Nord: a sinistra vi è l'ingresso al piano terra a destra al piano seminterrato



Fig.23 – Locale V04 e focolare domestico presente al suo interno



Fig.24 – Locale V03



Fig.25 – Locale V10

Al piano seminterrato sono presenti quattro locali: dal primo in cui è presente una scala, realizzata in muratura e disposta addossata al muro verso Nord, si accede in successione agli altri ambienti e alla cisterna. Oltre all'accesso sul lato Nord, vi è un ulteriore ingresso da Piazza Castello.

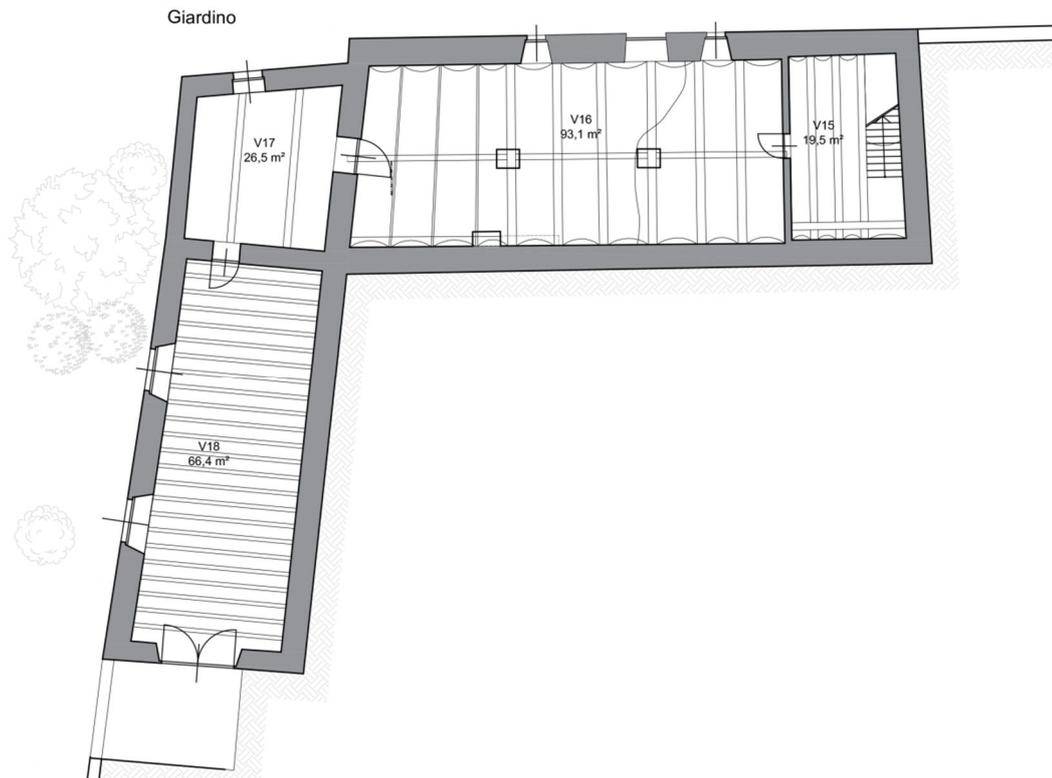


Fig 26 – Pianta piano seminterrato (fuori scala)



Fig 27 – Vano scala: unico collegamento verticale al piano primo

Il piano primo è suddiviso in tre ambienti principali: due locali, molto probabilmente adibiti ad uso agricolo a causa dell'assenza di tramezzature e da due camere adiacenti al vano scala destinati a funzioni residenziali (V22 e V23) [Fig.28].

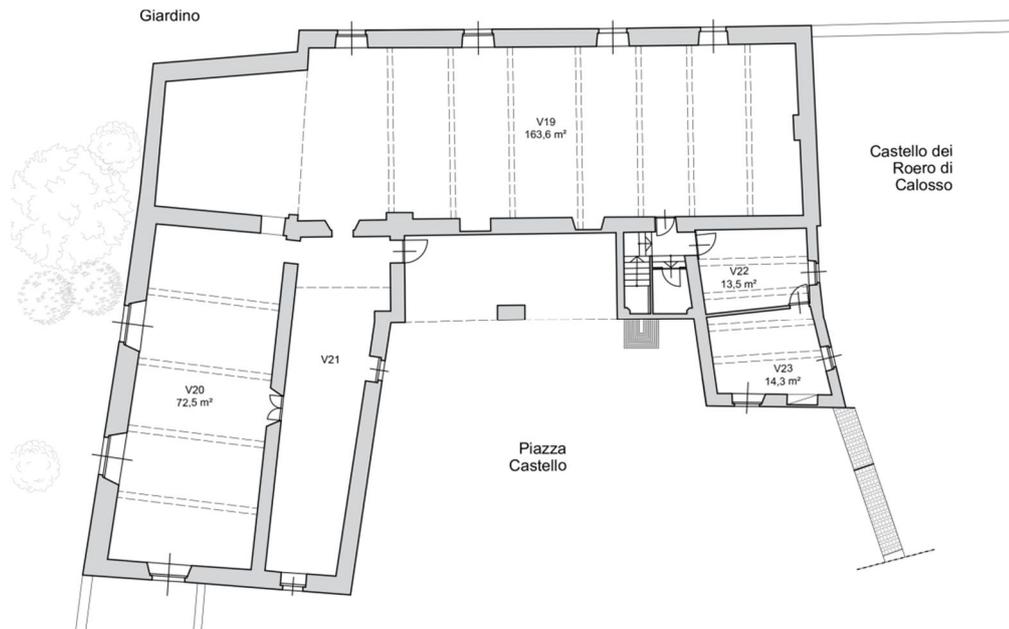


Fig. 28 – Pianta piano primo (fuori scala)



Fig.29 – Locale V19



Fig.30 – Locale V22

Le aperture degli ambienti del primo corpo di fabbrica sono sul lato Ovest, mentre sul secondo la superficie finestrata è sul lato Sud ed Est. Mentre la terza edificazione è dotata di finestre che si affacciano sul cortile del Castello (Nord) e su Piazza Castello (Est).



Fig.31 – Raddrizzamento fotografico prospetto Ovest



Fig.32 – Raddrizzamento fotografico prospetto Est

3.2 Analisi tecniche costruttive

Le operazioni di rilievo geometrico e strutturale condotte sull'edificio sono state svolte al fine di rappresentare non solo la geometria, la qualità e lo stato di conservazione complessivo della struttura, ma anche gli elementi costruttivi.

Il lavoro sul campo, svolto al fine d'individuare le tecniche costruttive, ha permesso di ottenere risultati soddisfacenti per quanto riguarda le strutture di orizzontamento.

Per comprendere al meglio le vicende costruttive del caso in esame si è reso necessario un'approfondita consapevolezza delle tecniche costruttive nei diversi periodi storici, facendo ricorso alle caratteristiche desumibili dalla regola d'arte. Essendo queste tecnologie l'oggetto specifico del recupero, il loro studio si è ritenuto essenziale per poter predisporre le fasi d'indagini ed orientare le successive scelte progettuali di consolidamento.

3.2.1 Muratura portante

La muratura portante è di tipo misto in pietrame e mattoni pieni, intonacata negli ambienti interni del piano terra, e presenta spessori variabili: 75-80 cm per il corpo di fabbrica principale e spessori pari a 50 cm per la manica Ottocentesca.



Fig 33 – Tessitura muraria lato Est piano terra

Il paramento esterno ovest è caratterizzato da una tessitura muraria in arenaria (pietra di Langa), in cui è possibile osservare la presenza di buche puntaie. Tali buche testimoniano il procedimento costruttivo adottato per realizzare in fasi successive l'edificazione della muratura in altezza.



Fig.34 –Prospetto Ovest: buche puntaie

3.2.2 Orizzontamenti

Le partizioni orizzontali ricorrenti sono solai lignei. Le tipologie rilevate sono:

- solai misti: travi in legno e voltine di mattoni;
- solaio in legno a doppia orditura e mezzane;
- solaio in legno e controsoffitto di cannicciato intonacato;
- solaio in legno a cassettoni;
- solaio rustico: travi e tavolato in legno a vista
- solaio misto: putrelle e voltine in mattoni.

Nelle pagine seguenti sono state inseriti alcuni estratti degli elaborati grafici, delle tipologie di solaio analizzate, che sono allegati alla presente tesi [Allegato B] .

La tipologia di solaio prevalente è in legno e voltine in laterizio presente nei locali del piano seminterrato (V15 e V16) e al piano terra (V01, V02, V03). La tessitura è ortogonale a Piazza Castello, con passo variabile tra 2,00m e 1,50m.



Fig.35 –Intradosso solaio in legno (posate con diagonale verticale) e voltine in mattoni al piano seminterrato



Fig.36 –Intradosso solaio in legno voltine al piano terra (D01)



Fig.37 –Intradosso solaio in legno e voltine di mattoni pieni in foglio al piano terra (V03)

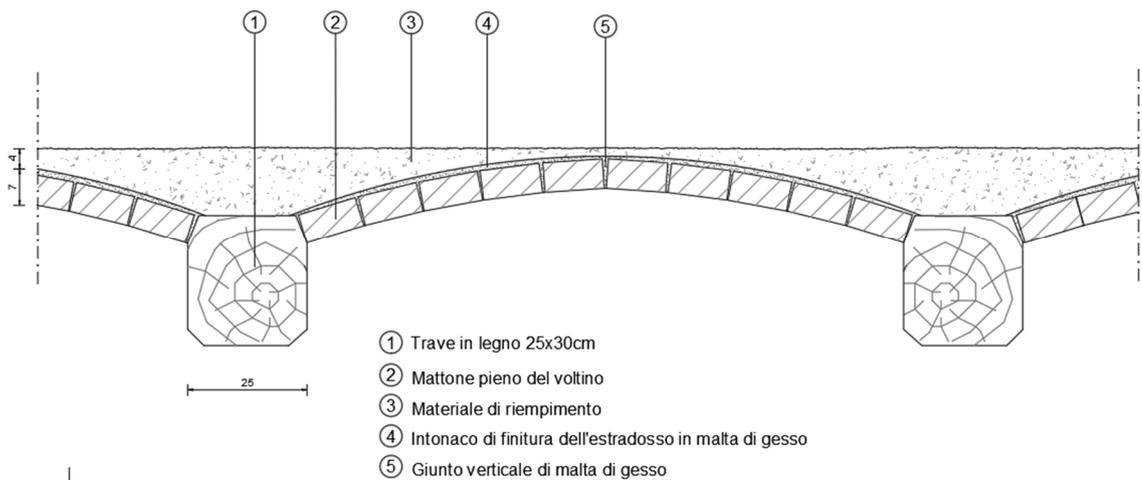


Fig.38 –Particolare solaio in legno e voltine di mattoni pieni in foglio (fuori scala)

Altra tipologia è quella in legno a orditura composta e pianelle presente al piano terra nei locali V04 e V05. Le travi principali sono parallele al lato minore di 6,75m con interasse variabile fra 1,80m e 1.90m. Le travi secondarie sono disposte ortogonalmente con passo più raffittito. Al di sopra è presente un impalcato costituito da elementi in pianelle.



Fig.39 –Intradosso solaio in legno a doppia orditura e pianelle al piano terra(V04)



Fig.40 –Intradosso solaio in legno a doppia orditura e pianelle crollato al piano terra(V05)

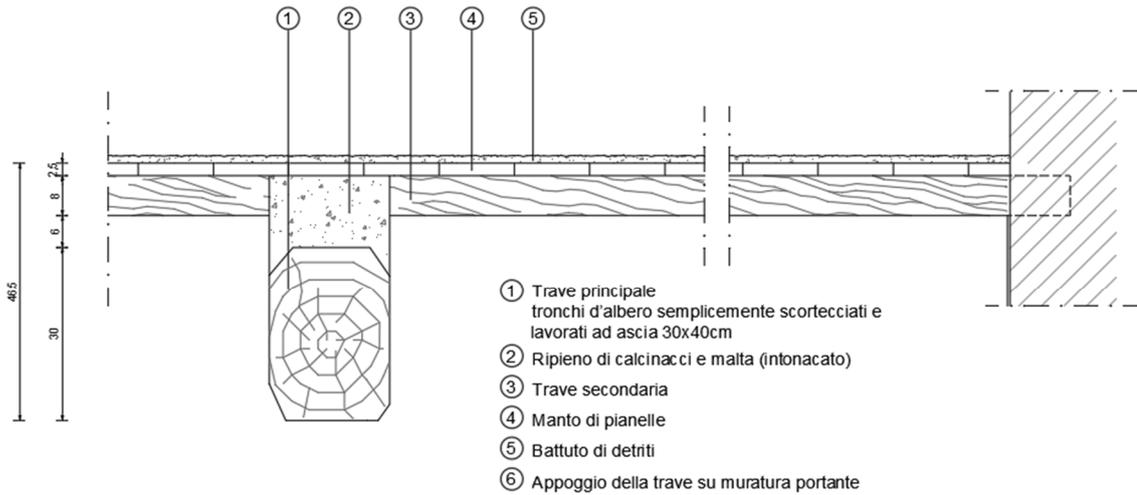


Fig.41 –Particolare solaio in legno a doppia orditura e pianelle (fuori scala)

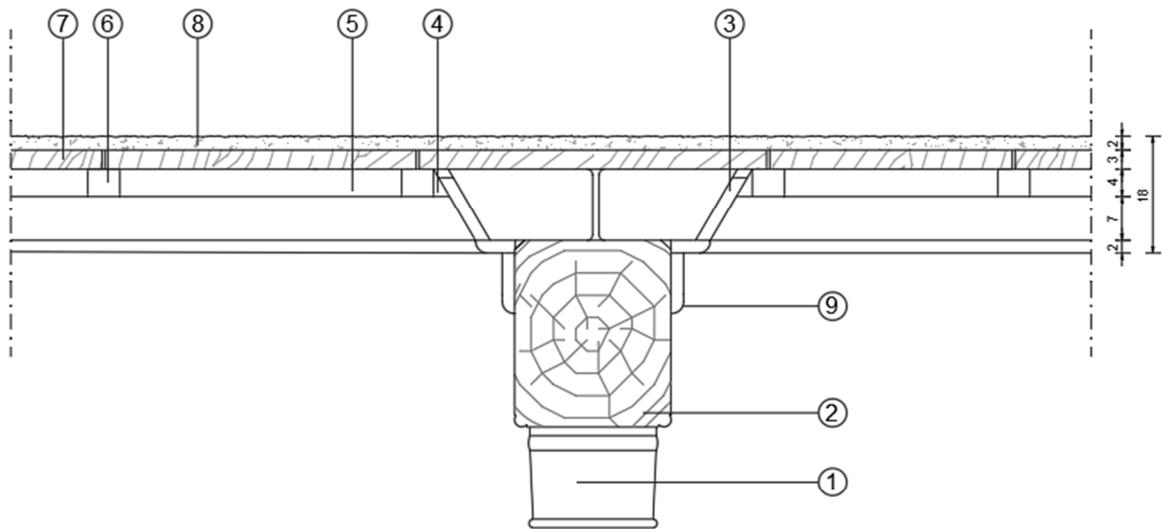
Nei locali (V06, V07, V08) della manica a Sud il solaio è in legno a cassettoni. Nello specifico è presente un'orditura principale costituita da travi di sezione 25x30cm circa e un'orditura secondaria costituita da travicelli 8x10cm. Le travi sono collocate con interasse variabile tra 2,70 e 3,00m e appoggiano su mensole lignee. Al di sopra dei travetti vi è l'impalcato in legno, lo strato di allettamento e il pavimento in cotto. La fascia tra intradosso e estradosso del solaio è nascosta da elementi di completamento costituite da tavolette (bussole) in legno disposte inclinate in corrispondenza delle facce laterali dei travetti.



Fig.42 –Dettaglio mensola



Fig.43 –Intradosso solaio in legno a cassettoni al piano terra



- | | |
|----------------------------|------------------------|
| ① Mensola di legno | ⑥ Regolo (coprigiunto) |
| ② Trave principale 25x30cm | ⑦ Tavolato |
| ③ Bussola | ⑧ Battuto di detriti |
| ④ Stuccatura | ⑨ Cornice coprigiunto |
| ⑤ Travetto | |

Fig.44 –Particolare solaio in legno a cassettoni (fuori scala)

I solai in acciaio e voltine in mattoni sono stati utilizzati per realizzare l'orizzontamento del seminterrato, molto probabilmente inseguito a lavori di ristrutturazione.



Fig.45 –Intradosso solaio in putrelle e voltine in mattoni al piano seminterrato

Limitatamente agli ambienti della manica Ottocentesca (V09 e V10) è stata riscontrata la tipologia di solaio con controsoffitto costituito da un cannicciato intonacato inchiodato al di sotto dei travetti.



*Fig.46 – Intradosso
solaio con controsoffitto
di cannicciato intonacato al
piano terra.*

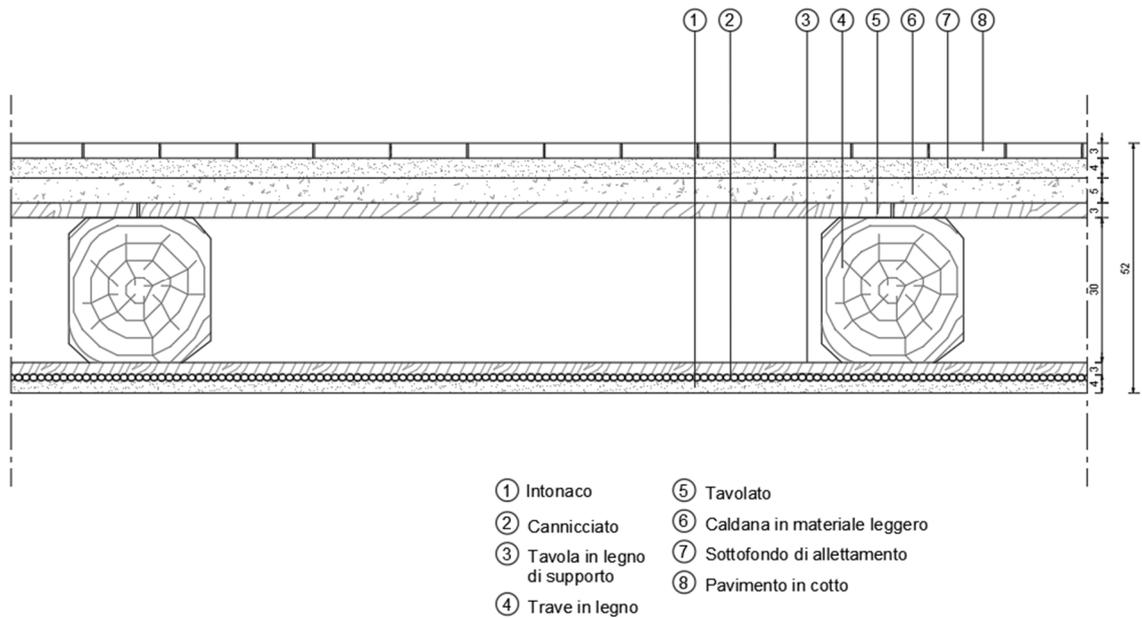


Fig.47 –Particolare solaio in legno con controsoffitto in cannicciato intonacato e inchiodato al di sotto dei travetti di supporto. (fuori scala)

La copertura ha struttura portante in legno a vista (capriate) e manto in coppi. Sono presenti 7 capriate nel corpo di fabbrica principale con interasse di circa 2,30m; 4 nelle manica a Sud e si ipotizza vi sia un ulteriore capriata nel terzo corpo di fabbrica. Recentemente la copertura della torre è stato oggetto di un rifacimento a causa del crollo della stessa. L'intervento di ripristino provvisorio ha introdotto una lamiera grecata come nuova copertura.



Fig.48 –Capriate del corpo di fabbrica principale (V19)



Fig.49 –Capriate del manica Sud (V20)



Fig.50 –Attuale intervento di ripristino della copertura della torre

3.2.3 Collegamenti verticali

Attualmente il collegamento verticale tra piano terra e primo è realizzato tramite una scala in muratura posta all'interno della manica Ottocentesca. Mentre il piano terra è connesso al piano seminterrato da una scala in murata, accessibile soltanto dall'esterno. Tale scala è in pessimo stato di conservazione perché parzialmente crollata.



Fig. 51 – Prima rampa della scala che porta al piano primo



Fig. 52 – Scala in muratura che conduce al piano seminterrato

3.3 Analisi dei fenomeni di alterazione e degrado

Gli interventi di recupero e conservazione degli edifici esistenti necessitano di un'accurata e approfondita analisi preliminare, che comprende sia indagini diagnostiche sia mappature del degrado. Quest'ultima strategia consente di identificare concretamente le superfici ammalorate su prospetti o fotopiani attraverso un'apposita simbologia.

Lo strumento di riferimento in materia di degrado dei materiali lapidei naturali e artificiali è la norma UNI 11182/06: *“Materiali lapidei naturali ed artificiali. Descrizione della forma di alterazione – Termini e definizione”*, che recepisce e sostituisce i contenuti delle raccomandazioni NorMal 1/88 (normativa sui manufatti lapidei).

Il campo d'applicazione riguarda tutte le forme di alterazione dei materiali lapidei naturali ed artificiali: non soltanto le pietre, come marmo, calcare, gneiss, ma rientrano nella famiglia di questi materiali, come artificiali: laterizi, terrecotte, intonaci, malte da giunto, cementi decorativi e calcestruzzi.

Lo scopo di questo testo normativo, quindi, è stabilire *“ la scelta e la definizione dei termini utili per indicare le differenti forme di alterazione e disgregazione visibili ad occhio nudo”* in modo da standardizzare il lessico condiviso tra i professionisti del settore e permettere un maggior controllo degli interventi conservativi su manufatti d'interesse storico-artistico.

Le manifestazioni del degrado non sono imputabili a un'unica causa, ma derivano, nella maggior parte dei casi, dalla somma di più azioni originate da agenti naturali e antropici. Questo comporta una maggior difficoltà nel condurre l'analisi, perché vi è la coesistenza e l'interazione di agenti, anche differenti tra loro, che producono effetti simili.

Le cause del degrado derivano da fattori esterni naturali e/o antropici, e che talvolta esplicano le loro azioni su debolezze costituzionali dell'edificio, in sinergia con le cause intrinseche e gli eventi evolutivi del fabbricato stesso.

Le principali cause del deperimento materico dell'edificio sono l'azione combinata degli agenti atmosferici: acqua, nelle sue diverse forme (precipitazioni, umidità di risalita) e il vento (azione erosiva), insieme agli scarsi interventi di manutenzione.

Di seguito viene riportata una descrizione generale dei principali fenomeni di degrado che sono stati rilevati per mezzo di un'attenta analisi visiva.

Gli argomenti trattati in questo capitolo si riferiscono alle tavole dei fenomeni di degrado presenti in allegato.

3.3.1 Prospetto Nord

La facciata principale della struttura medioevale presenta forme di degrado che riguardano sia le superfici intonacate sia la muratura in laterizio.

Il prospetto presenta diffuse lacune a causa della mancante rifinitura superficiale ad intonaco di malta di calce. Le forme di degrado, interessano in generale la muratura dove i laterizi risultano esposti, con conseguente fenomeni di erosione e disgregazione della cortina laterizia.

La zona maggiormente deteriorata è l'angolo nord-ovest, punto più esposto alle piogge battenti e alle forme i ruscellamento direttamente sulla facciata, a causa dell'assenza di adeguati sistemi di convogliamento delle acque meteoriche.

La facciata del fabbricato ottocentesco è interamente intonacata ed è presente il fenomeno di risalita capillare, molto probabilmente derivante dalla presenza dell'antica cisterna, ormai in disuso, presente sotto l'edificio. La presenza di umidità negli elementi in laterizio si è manifestata attraverso fenomeno di efflorescenza visibile nella parte basse dell'edificio, determinando, così, un degrado per la presenza dei sali.



Fig.53 –Facciata medioevale: facciata medioevale: costituita da una muratura in laterizio a vista, dal momento che si sono conservati solo limitate zone di rivestimento superficiale in intonaco di malta di calce



Fig.54 –Facciata Ottocentesca è visibile nella parte bassa il fronte di risalita capillare

3.3.2 Prospetto Ovest

Il prospetto est è realizzato prevalentemente in arenaria (pietra di Langa). In questo caso, le forme di degrado evidenziate sono attribuibili agli organismi vegetali superiori presenti in maniera considerevole lungo tutto il prospetto ovest e sud. Il danno apportato dalle piante, in prima approssimazione si potrebbe definire apparentemente superficiale, ma in realtà l'apparato radicale può insinuarsi in profondità e compromettere la conservazione dei materiali in opera. In questo caso la vegetazione si è insediata nei giunti dell'apparecchiatura muraria, di conseguenza l'azione chimica di disgregazione di materiale forma humus, il quale diventa un ambiente vitale per altre specie vegetali che crescono rigogliose e di conseguenza l'accrescimento delle radici produce un'azione meccanica che deteriora la muratura.



Fig.55 –Lato sud – est: presenza di vegetazione infestante

3.3.3 Prospetto Est

Le tipologie di degrado presenti su questo prospetto sono simili a quelle osservate in quelli precedenti. La superficie laterizia è interessata da forme di erosione della cortina ed erosione superficiale dei giunti di malta favorite dall'azione congiunta di acqua e vento.

La superficie del porticato in laterizio presenta depositi superficiali di polvere, ma non rilevanti forme di deterioramento.



Fig. 56 –Prospetto Est: fronte di risalita e presenza di efflorescenza



Fig. 57 –Prospetto Est (cisterna): presenta lacune a causa della mancante rifinitura superficiale ed erosione dei laterizi. È visibile colatura in corrispondenza del canale di gronda



Fig.58 – Superficie muraria del portico

Nel prospetto interno sud-est le principali forme di degrado che interessano i laterizi sono l'erosione, la disgregazione e la mancanza. Per quanto riguarda i giunti si riscontrano fenomeni di polverizzazione ed erosione della malta di allettamento laddove la muratura risulta maggiormente esposta.

Altre forme di degrado, che si osservano sono la presenza diffusa di materiale incompatibile (malta cementizia) utilizzato durante precedenti interventi di manutenzione avvenuti nel corso degli anni. Inoltre in seguito al progressivo degradazione degli elementi in laterizio si è provveduto alla loro sostituzione con tecniche cuci-scuci, segnando il prospetto con alterazioni di forma e colore.



Fig.59 – Prospetto sud interno: sono visibili interventi di manutenzione incongrui in corrispondenza dei giunti di malta

Per quanto riguarda le superficie dei locali interni le principali cause di degrado sono attribuibili alla mancanza di manutenzione dell'edificio, ulteriormente aggravata dalla presenza d'infiltrazioni d'acqua.

L'effetto più significativo si ha al livello della copertura, dove le precipitazioni hanno portato negli anni al decadimento delle caratteristiche di resistenza del manto di copertura, con parziale sfondamento in zone localizzate, e quindi, con conseguente perdita dello strato di protezione della muratura sottostante e il loro veloce degrado. Questo fenomeno si registra:

- in prossimità del prospetto nord, dove il crollo del tetto ha prodotto la perdita circoscritta del solaio e problemi flessionali in facciata, imputabili alla successiva perdita dei collegamenti orizzontali;
- in corrispondenza della torre, in cui il crollo del tetto ha causato danni ingenti ai due solai sottostanti, con conseguente aggravio della stabilità dei locali, messa in evidenza dal quadro fessurativo.



Fig.60 – Piano terra: crollo del solaio in legno e voltine in laterizio



Fig.61 - Stato di conservazione della torre (vista piano primo): attualmente la copertura è stata provvisoriamente riparata con una lamiera grecata

L'acqua è presente anche sotto forma di umidità (infiltrazioni, risalita capillare) a causa delle piogge battenti, penetra, per capillarità nei materiali oppure attraverso le discontinuità presenti

nell'edificio. Ad esempio le infiltrazioni meteoriche da fratture del tetto hanno provocato macchie di muffa negli ambienti del piano terra, oltre a fenomeni di marcescenza visibili su parte del sistema di travi.



Fig.62 –Solaio a cassettoni (piano terra) degradato con perdita della sua funzione strutturale



Fig.63 –Fenomeno di marcescenza sulla trave in legno a causa dell'infiltrazioni d'acqua (solaio a cassettoni piano terra)

3.4 Analisi dei dissesti

Gli edifici esprimono le loro patologie attraverso il lessico del quadro fessurativo. Tali lesioni si manifestano a causa dei complessi processi di trasformazione che la costruzione subisce durante la sua vita e vengono ulteriormente evidenziati a causa della scarsa manutenzione, come nel caso di *Castel Vecchio*. Di conseguenza, con l'evolversi nel tempo, le forme di degrado e di dissesto, impongono interventi di tipo riabilitativo, la cui importanza dipende dall'entità delle alterazioni stesse.

Prima di intraprendere qualsiasi intervento di recupero sul fabbricato è necessaria una corretta diagnosi del dissesto, al fine di valutare le modalità dell'intervento, rapportandolo alla natura e alla causa del dissesto fondale e murario che interessano l'edificio. Questa modalità d'azione è di fondamentale importanza perché permette di agire in maniera mirata con una specifica terapia in grado di consolidare opportunamente l'edificio.

*“Ogni fenomeno di dissesto è in realtà denunciato dal comparire di lesioni, intese in senso generale non solo come fessurazioni vere e proprio del tessuto murario quanto anche come deformazioni dello stesso”*⁵. Per comprendere questi meccanismi sono stati analizzati i prospetti dell'intera struttura, al fine d'individuare le situazioni di danno, vale a dire dissesti e quadri fessurativi.

Il fabbricato in esame, sulla facciata Nord, presenta geometrie fessurative localizzate in corrispondenza degli ammorsamenti tra i due prospetti Nord ed Ovest, imputabili alla contemporanea presenza di dissesti tipo murario e fondale, associati a un disturbo di fondo causato, molto probabilmente, dal discostamento del comportamento a solido monolitico, originato dalla disomogenea struttura fondale, in seguito agli interventi avvenuti in differenti periodi temporali.

Sulla parete Nord è in atto un meccanismo di rotazione della porzione terminale della facciata intorno ad un asse trasversale, molto probabilmente, causato da un cedimento differenziale del terreno adiacente al punto di raccordo tra i due prospetti. Tale meccanismo di danno genera un quadro fessurativo contraddistinto da lesioni verticali, sempre più diffuse e ampie salendo lungo la parete. Le origini dei cedimenti locali del terreno possono essere dovute a infiltrazioni d'acqua o a movimenti di tipo franoso, per tali motivi è necessario affiancare tali ipotesi ad un'attenta campagna d'indagini, per individuare la corretta diagnosi strutturale

⁵ P. Cirone, *Restauro strutturale delle murature*,



Fig.64 –Quadro fessurativo facciata Nord



Fig.65 – Prospetto Ovest: porzione di parete in rotazione

Il prospetto Ovest, in corrispondenza del piano terra della torre presenta fessure che discendono verticalmente. Tale quadro fessurativo è riconducibile a un cedimento differenziale del terreno sottostante e alla scarsa coesione dei materiali che costituiscono la muratura.



Fig.66 – Fessurazioni prospetto Ovest (torre)



Fig.67 – Fessurazione passante alla base della torre vista all'interno della torre

4 Progetto della diagnostica

Al fine di poter programmare qualsiasi forma di intervento su un edificio esistente è necessario un approfondimento generale sia dei materiali che delle tipologie strutturali per poter disporre una campagna di indagini diagnostiche per valutare l'effettivo stato di danneggiamento. Tali indagini si inseriscono nel processo di conoscenza della consistenza strutturale, e devono essere integrate alle ipotesi interpretative storiche e il rilievo geometrico, al fine di agire in maniera mirata con una specifica terapia in grado di consolidare opportunamente l'edificio. Tale concetto viene chiaramente espresso dalle NTC2018 paragrafo C8.5: *“le fasi della conoscenza e dell'analisi non sono sequenziali, ma strettamente connesse. Il piano di indagine, ad esempio, può essere efficacemente indirizzato, in relazione sia alla tipologia delle prove, sia alla loro localizzazione, da un'analisi basata su dati preliminari relativi alle caratteristiche geometriche, costruttive e dei materiali.”*

La normativa prevede tre Livelli di Conoscenza, che includono il rilievo geometrico e degli elementi strutturali, analisi e caratterizzazione meccanica dei materiali.

In seguito ad un attento esame visivo sono stati indentificati e classificati i fenomeni di degrado e dei dissesti dell'intero manufatto architettonico, per poter individuare successivamente le aree su cui realizzare il rilievo diagnostico.

Le metodologie da adottare per attuare un'accurata indagine diagnostica sono di tre tipi: prove distruttive, semi distruttive e non distruttive, che dovranno essere eseguite sulla base dei risultati conseguiti nelle fasi precedenti di conoscenza.

Dal momento che ogni indagine ha un costo, dal punto di vista economico e temporale, sotto il profilo accademico non sono state effettuate prove sul manufatto in esame. Per cui, di seguito, vengono riportate le operazioni di diagnostica necessarie alle esigenze di conoscenza del manufatto.

Le prove ipotizzate necessarie per intraprendere questo percorso di studio sono essenzialmente di tipo non distruttivo e dovranno essere utilizzate congiuntamente alle ipotesi ricavate dall'indagine visiva e bibliografica. Prima di definire nel dettaglio le operazioni di diagnostica si è reso indispensabile definire gli elementi strutturali dell'edificio attraverso un rilievo geometrico nella sua totalità, tenendo conto della qualità e dello stato di conservazione dei materiali, e del quadro fessurativo, essenziale per interpretare lo stato di danno e di conseguenza individuare prove più dettagliate.

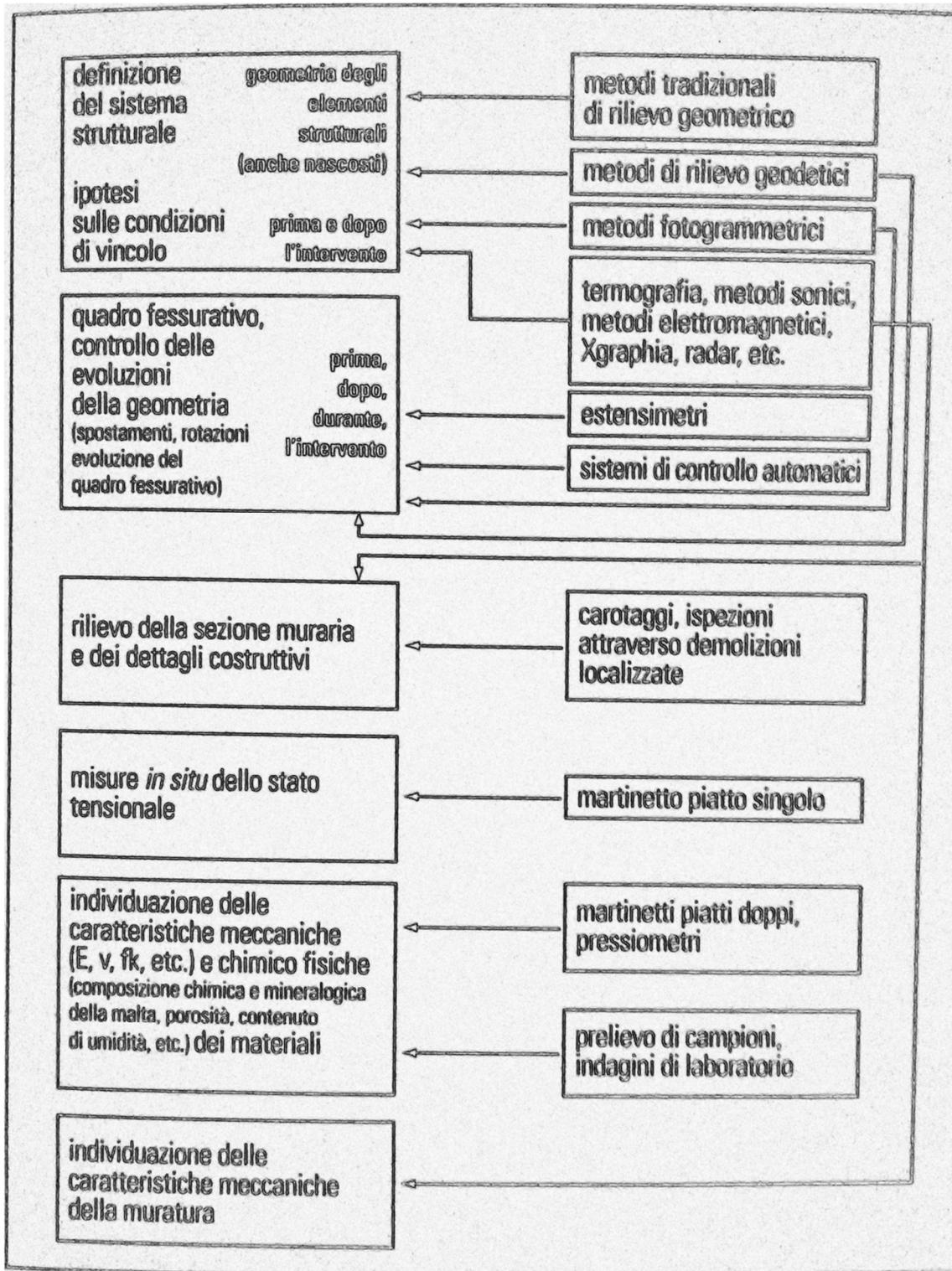


Fig.68.- Informazioni richieste e corrispondenti tecniche d'indagine. FONTE: M:VOLPIANO, *Il consolidamento strutturale degli edifici storici : diagnostica monitoraggio materiali per l'intervento compatibile*, L'Artistica, Savigliano 2010.

4.1 Indagini geologiche e saggi in fondazione

Nel caso in esame, il primo passo per condurre una completa diagnosi è la valutazione delle reali condizioni del terreno e del complesso fondale, che assumo un ruolo decisivo nella formazione dei dissesti.

Sulla base delle indicazioni riportate sul foglio 69 “ASTI” della CARTA GEOLOGICA D’ITALIA in scala 1:100 000 , l’area in esame ricade entro l’area delle “MARNE S. AGATA FOSSILI”; sono siglate “M⁴“ sulla C.G.I.



Fig.69 – Stralcio della Carta Geologica d’Italia Foglio 69 “Asti”

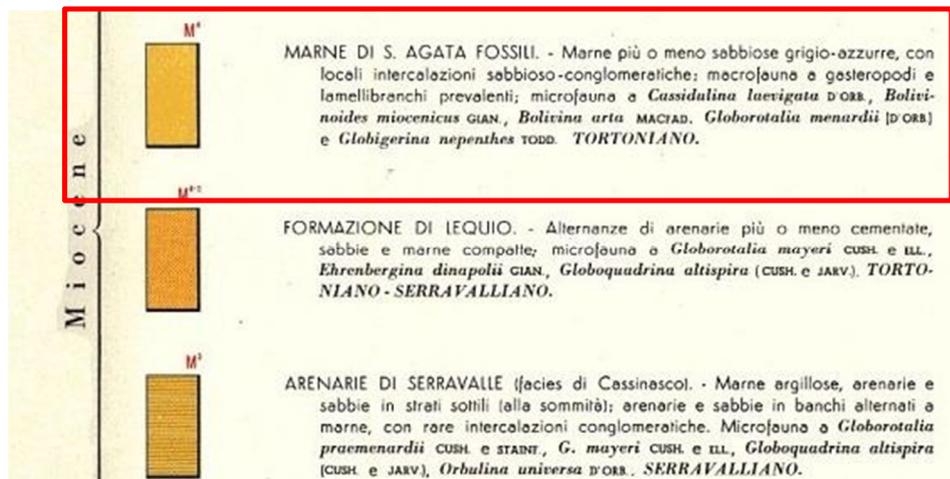


Fig.70 – Legenda della Carta Geologica d’Italia Foglio 69 “Asti”

Le indagini devono essere pianificate al fine di determinare il modello geotecnico del sottosuolo necessario per la progettazione e alle relative verifiche allo SLU e SLE e allo studio della risposta sismica locale.

Per quanto concerne la caratterizzazione del sottosuolo è necessaria un'analisi geologica mediante :

- sondaggi meccanici a carotaggio continuo;
- prove in situ tradizionali (SPT);
- installazione di piezometri;
- prove geotecniche di laboratorio (endometriche).

L'incertezza sulla resistenza meccanica del terreno di fondazioni può essere definito mediante l'utilizzo della prova SPT, che permette di risalire, in prima approssimazione, alle caratteristiche di resistenza del terreno espresso in termini di consistenza.

Un altro elemento da definire è l'eventuale presenza di acqua nelle fondazioni, dal momento che tale circostanza può produrre ulteriori dissesti murari. Quindi il regime delle acque sotterranee dovrà essere monitorato attraverso l'installazione di piezometri, opportunamente ubicati.

Inoltre è consigliabile, per definire la compressibilità del terreno di fondazione, sottoporre dei campioni a prove di compressione endometrica, in modo da simulare il comportamento del terreno in seguito all'azione di un sistema di forze.

Oltre all'inquadramento geotecnico del sito, si dovrà determinare la geometria e la caratteristiche delle fondazioni, per valutare lo stato di conservazione e la presenza di eventuali dissesti. La campagna d'indagini sul complesso fondale sarà attuata attraverso: saggi di fondazione, ovvero si dovranno realizzare degli scavi d'ispezione lungo il perimetro della fondazione.

4.2 Indagini diagnostiche degli elementi strutturali

L'esame visivo consente di ottenere un livello di conoscenza soddisfacente per quanto riguarda lo stato di conservazione dei materiali e del loro degrado, ciò nonostante, è utile, nel caso della valutazione del comportamento strutturale, specie nell'ambito delle azioni sismiche, determinare i parametri di resistenza e deformabilità dei materiali che costituiscono la struttura.

Di conseguenza per valutare le caratteristiche meccaniche della muratura si dovrà adottare un approccio puramente sperimentale, ossia si ipotizzano prove in situ effettuate con l'ausilio di martinetti piatti; strumenti in grado di fornire risultati con un livello qualitativo comparabile ad un'indagine di laboratorio.

La prova si dovrà sviluppare in due fasi distinte:

- Fase 1: installazione di un singolo martinetto al fine di stimare lo stato tensionale preesistente nella muratura.

“La tecnica di prova si basa sulla variazione dello stato tensionale in un punto della struttura provocato da un taglio piano eseguito in direzione normale alla superficie della muratura, generalmente praticato lungo un corso di malta. Viene inserito all'interno del taglio un martinetto piatto, realizzato mediante sottili lamiere di acciaio saldate, che viene collegato al circuito idraulico di una pompa. La pressione interna viene gradualmente aumentata fino ad annullare la deformazione misurata successivamente all'esecuzione del taglio. In queste condizioni la pressione all'interno del martinetto è uguale in prima approssimazione alla sollecitazione preesistente nella muratura in direzione normale al piano del martinetto⁶”



Fig. 71 – Esempio prova martinetto piatto singolo. FONTE: Mennuti & Co. Ingegneri

- Fase 2: installazione di un secondo martinetto, che consente di determinare le caratteristiche di deformabilità della muratura.

“La prova consiste nell'effettuare un secondo taglio, parallelo al primo ad una distanza variabile (che dipende dagli elementi resistenti della muratura investigata e dalla larghezza del martinetto utilizzato), entro cui viene inserito un altro martinetto. Ciò consente di delimitare un campione di muratura rappresentativo per dimensioni del comportamento meccanico della stessa. I due martinetti paralleli opportunamente

⁶ AhRTE “Indagini diagnostiche: il primo passo per comprendere i meccanismi del costruito e le sue problematiche”

messi in pressione applicano al campione interposto uno stato di sollecitazione monoassiale, e le deformazioni risultanti nella porzione muraria vengono misurate da un numero adeguato di sensori di spostamento in direzione ortogonale e parallela ai piani di inserimento dei martinetti, al fine di determinare il diagramma tensione deformazione della muratura indagata⁷”.



Fig. 72 – Esempio prova martinetto piatto doppio. FONTE: Mennuti & Co. Ingegneri

Tra i vantaggi di questa tecnica vi è la possibilità di attuare rilievi in qualunque sezione della muratura, la tempestività dei risultati e la possibilità di rifare le prove, attuando così un programma flessibile di indagini.

Un'ulteriore strumento d'indagine potrebbe essere l'impiego di una sonda endoscopica per ispezionare parti di copertura e solai altrimenti inaccessibili. La tecnica prevede l'inserimento di una sonda d'ispezione in un foro di piccolo diametro, che consente di visualizzare digitalmente la superficie laterale della cavità e ricostruire, così, la tipologia di materiali presenti.

L'indagine descritta dovrà essere eseguita per individuare la tipologia di copertura e la struttura portante del controsoffitto presenti nel corpo di fabbrica perpendicolare al lato est.

4.3 Monitoraggio del quadro fessurativo e dissesti

In previsione di un progetto di consolidamento strutturale dell'edificio è essenziale conoscere le cause dei dissesti per poter individuare l'azione risolutiva del problema.

Nell'ambito della diagnosi del dissesto assume particolare importanza il monitoraggio, finalizzato al controllo e alla sorveglianza di un fenomeno attraverso la misura di parametri fisico-meccanici che descrivono l'interazione tra l'ambiente e le variabili di stato dell'oggetto che si intende studiare.

⁷ AhRTE, *op. cit.*

Il punto di partenza è l'indagine di tipo visivo al fine d'individuare i fenomeni fessurativi che possono influenzare il comportamento statico dell'edificio. Tale analisi deve essere estesa anche ai muri ortogonali per individuare delle potenziali carenze nei collegamenti fra le murature portanti dell'edificio.

Individuate le deformazioni e le lesioni che potrebbero condizionare, dal punto di vista strutturale, il comportamento degli interventi futuri è possibile installare un sistema di monitoraggio.

La tecnica di monitoraggio ipotizzata è a lettura manuale installando trasduttori elettrici fissi che risultano compatibili con le operazioni di cantiere. Questa tipologia di misura prevede l'impiego di un estensimetro elettrico costituito da due dischetti metallici incollati sulla muratura in posizione opposta rispetto alla fessura. Con questa tecnica è possibile misurare l'apertura della lesione e lo scorrimento relativo. Questa tecnica, seppur semplice, consente di ottenere misure periodiche importanti per determinare il progressivo sviluppo dei cedimenti strutturali

L'indagine così descritta dovrà essere eseguita localmente in corrispondenza delle lesioni presenti sulla facciata Nord e della torre (prospetto Ovest).

5 Progetto

La proposta progettuale intende inserire un'attività nel campo eno-gastronomico e turistico, legate alla vocazione del luogo. La riqualificazione della struttura prevede di realizzare:

- Ristorante/bar: al pianterreno, dotata di tre sale da pranzo avente in totale 70 posti a sedere. La sala 1 è da utilizzarsi anche come spazio per il bar.
- Cantina: locale destinato per degustazioni ed eventi, viene realizzato al piano seminterrato dell'edificio;
- Area panoramica/zona espositiva: locale al piano primo dove si prevede un accesso limitato.
- Vano scala: verrà realizzato all'interno dell'antica torre.

Nel progetto di trasformazione da un edificio rustico in attività ad uso pubblico richiede interventi di consolidamento strutturale, in quanto i solai saranno destinati ad ospitare un ristorante e un'area espositiva. In quest'ottica, le linee guida d'intervento proposte dovranno essere in equilibrio tra conservazione dell'esistente e adattamento alle attuali esigenze, in questo modo sarà possibile donare una nuova fruizione all'edificio, che si propone in forma di semi abbandono.

5.1 Interventi di miglioramento strutturale

Le tipologie d'intervento proposte dovranno essere considerate come linee guida da adottare per la conservazione del manufatto. Si precisa che i provvedimenti descritti dovranno essere verificati e confrontati con i risultati dell'indagini diagnostiche suggerite nel capitolo precedente, al fine di garantire la buona riuscita del progetto.

Nell'ambito della formulazione del programma di consolidamento si è ritenuto necessario definire degli obiettivi affinché venga garantito il massimo rispetto della materia storica. Tra questi si ricorda:

- *Consentire la massima permanenza della materia autentica, limitando le trasformazioni (demolizioni, sostituzioni, ripristini, etc.) allo stretto necessario, in altre parole, "intervenire per necessità comprovata";*
- *Riconoscere la variabile tempo come un segno positivo capace di aggiungere valore e non sottrarlo alla fabbrica, memoria storica di se stessa;*

- *Utilizzare conoscenze oggettive, puntuali e strettamente correlate all'edificio o alla situazione patologica specifica*⁸.

Nell'ottica di queste valutazioni di carattere generale e dall'analisi di tipo qualitativo sui principali meccanismi di collasso e degrado è stato possibile presupporre i seguenti interventi di riparazione e consolidamento:

- Interventi indirizzati ad assicurare il buon comportamento d'insieme mediante un buon ammorsamento delle pareti e un maggior connessione tra solai e pareti, al fine di permettere al solai di distribuire le forze orizzontali e si svolgere un'azione di contenimento delle pareti;
- Seguono interventi essenziali per ridurre la deformabilità dei solai; necessità legata alla nuova destinazione d'uso dei locali per il pubblico. Si dovranno attuare strategie per incrementare la robustezza degli elementi costruttivi e per consentire il trasferimento dell'azione sismica alle pareti.
- Interventi mirati a risanare e riparare le parti di muratura danneggiate e lesionate, oltre che a migliorare le proprietà meccaniche del complesso murario.

Gli interventi proposti nelle pagine seguenti, sono da intendere come indicativi per il caso in esame perché si dovrà, in ogni caso, formulare provvedimenti sulla base di valutazioni supportate da un'approfondita conoscenza.

5.1.1 Intervento di rinforzo su solaio in legno

In presenza di una nuova destinazione d'uso è richiesto di adeguare i solai ai nuovi carichi d'esercizio, attraverso il ricorso di tecniche in grado di incrementare la rigidità e la resistenza fuori dal piano.

In riferimento ai solai esistenti al piano primo: in legno e voltine suggerisce un intervento di rinforzo strutturale utilizzando travi HEB 200 collaboranti con la trave principale.

In vista di un accesso limitato al piano primo, la verifica del solaio è stata svolta considerando un sovraccarico variabile di 2,00 kN/m² relativo agli edifici di civile abitazione.

⁸ L. Jurina - L'uso dell'acciaio nel consolidamento delle capriate e dei solai in legno, 2011

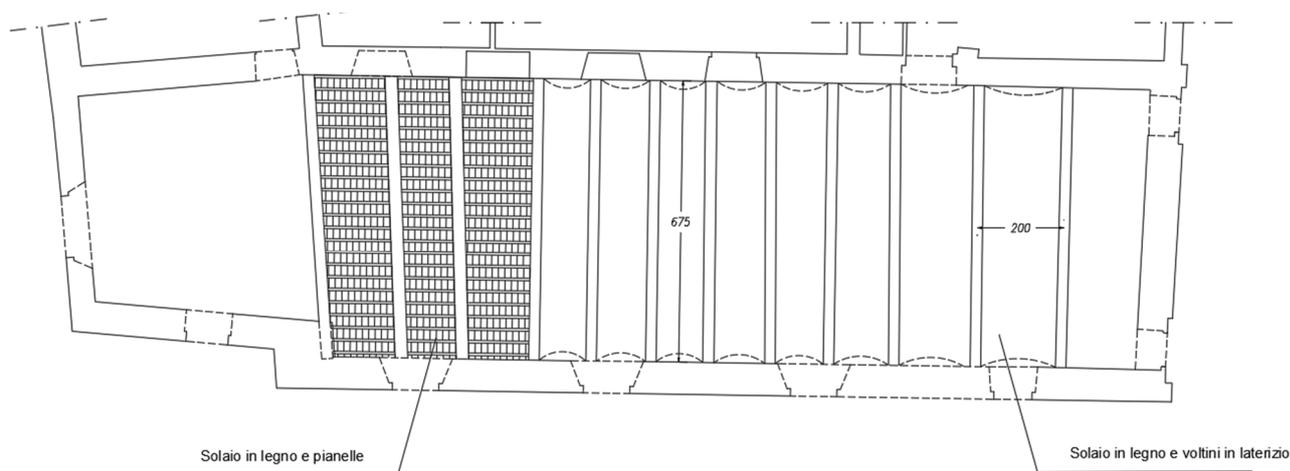


Fig.73 – Pianta solaio oggetto dell'intervento

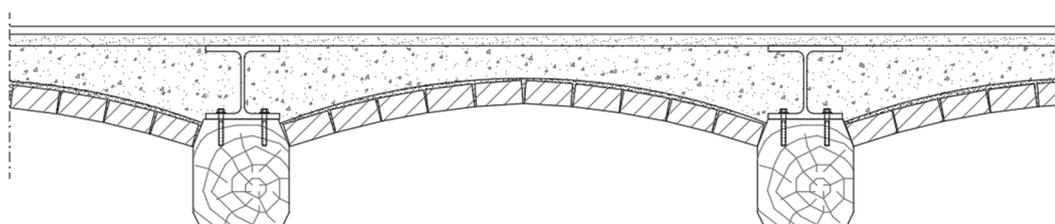


Fig. 74 - Dettaglio rinforzo del solaio in legno e voltini in laterizio(fuori scala)

La verifica della sezione di solaio in legno e pianelle è stata eseguita con software PRO_SAP solai e tetti in legno. Alla luce dei calcoli e delle verifiche effettuate non si prevedono interventi di consolidamento.

In allegato C si riportano le relazione di calcolo.

Inoltre sarà previsto il rifacimento del solaio parzialmente crollato sul lato Nord, mediante la messa in opera di una nuova trave in legno massiccio, in modo da garantire la continuità dell'impalcato del piano primo.

5.1.2 Interventi di miglioramento del comportamento scatolare

Nell'ottica di garantire un buon funzionamento globale del fabbricato, si dovrà ricorrere ad accorgimenti costruttivi orientati a ridurre le carenze dei collegamenti; a tale scopo l'insieme composto da pareti e solai deve essere unito e rigido in modo da far assumere alla costruzione il cosiddetto comportamento scatolare.

Al fine di ripristinare la capacità di connessione tra le parti dell'edificio e permettergli di funzionare strutturalmente come un unico organismo spaziale, si provvederà a inserire dei tiranti orizzontali metallici, disposti nelle due direzioni principali dell'edificio e collegati puntualmente alla muratura portante. In questo caso il collegamento avviene per contrasto con un apposito elemento metallico posto esternamente.

5.1.2.1 Dimensionamento dei tiranti

L'edificio oggetto di studio è un antico fabbricato in muratura in cui sono assenti o di scarsa efficacia gli elementi di collegamento tra le pareti e questo comporta una possibile vulnerabilità nei riguardi dei meccanismi locali di collasso perché la struttura è priva di un comportamento globale. Per tale motivo è indispensabile valutare la sicurezza dell'edificio nei confronti di questi meccanismi, in vista di un progetto di consolidamento.

L'analisi dei meccanismi di collasso è stata realizzata con il software Sap PRO_CINEm, che utilizza come modello di riferimento il teorema cinematico dell'analisi limite riferito ai materiali non resistenti a trazione, soggetti a fratture che isolano sezioni dell'edificio. La scarsa resistenza a trazione nella muratura genera un collasso derivante dalla perdita d'equilibrio, causato dalla geometria e dai vincoli.

Il metodo d'approccio applica il principio dei lavori virtuali ad ogni meccanismo, per poter determinare la capacità sismica in termini di resistenza (analisi cinematica lineare) o di spostamento (analisi cinematica non lineare).

L'analisi cinematica lineare permette di individuare il valore del moltiplicatore orizzontale dei carichi α_0 che determina l'attivazione del meccanismo locale di danno. Per valutare il moltiplicatore dei carichi α_0 si applica il principio dei Lavori Virtuali in termini di spostamento, uguagliando il lavoro totale compiuto dalle forze interne ed esterne applicate al sistema al momento del moto virtuale. Mentre l'analisi cinematica non lineare consente di studiare più configurazioni del meccanismo, dall'innescò fino a che il moltiplicatore dei carichi orizzontali non si annulla. Quest'ultima metodologia consente di determinare la curva di capacità della struttura, definita dal moltiplicatore dei carichi nelle varie configurazioni della catena cinematica; dalla conoscenza di questa curva si passa a un sistema equivalente che permette di stabilire la capacità di spostamento del sistema equivalente con lo spostamento richiesto dall'azione sismica.

La valutazione del comportamento strutturale prevede, da normativa, la definizione del Fattore di Confidenza sulla base degli approfondimenti effettuati nelle fasi conoscitive.

Dall'analisi dei dati a disposizione, si considera, per il caso in esame, un livello di conoscenza pari a LC1, che significa un valore di FC pari a 1.35 e di conseguenza si avrà una diminuzione del 35% delle resistenze di calcolo dei materiali. Inoltre si assume un'azione sismica di riferimento corrispondente alla vita nominale V_N di 50 anni e alla classe d'uso II. Di seguito vengono riportati i parametri sismici utilizzati [Fig.76 e fig.77].

In merito alla tipologia e alle caratteristiche della muratura, poiché non sono state svolte prove in situ sui materiali, sono stati utilizzati i valori di riferimento contenuti nella Tabella C8.5.1 della circolare NTC2018 [Fig75].

Tipologia di muratura	f (N/mm ²)	τ_0 (N/mm ²)	f_{v0} (N/mm ²)	E (N/mm ²)	G (N/mm ²)	w (kN/m ³)
	min-max	min-max		min-max	min-max	
Muratura in pietrame disordinata (ciottoli, pietre erratiche e irregolari)	1,0-2,0	0,018-0,032	- -	690-1050	230-350	19
Muratura a conci sbozzati, con paramenti di spessore disomogeneo (*)	2,0	0,035-0,051	- -	1020-1440	340-480	20
Muratura in pietre a spacco con buona tessitura	2,6-3,8	0,056-0,074	- -	1500-1980	500-660	21
Muratura irregolare di pietra tenera (tufo, calcarenite, ecc.,)	1,4-2,2	0,028-0,042	- -	900-1260	300-420	13 ÷ 16(**)
Muratura a conci regolari di pietra tenera (tufo, calcarenite, ecc.,) (**)	2,0-3,2	0,04-0,08	0,10-0,19	1200-1620	400-500	
Muratura a blocchi lapidei squadri	5,8-8,2	0,09-0,12	0,18-0,28	2400-3300	800-1100	22
Muratura in mattoni pieni e malta di calce (***)	2,6-4,3	0,05-0,13	0,13-0,27	1200-1800	400-600	18
Muratura in mattoni semipieni con malta cementizia (es.: doppio UNI foratura ≤40%)	5,0-8,0	0,08-0,17	0,20-0,36	3500-5600	875-1400	15

(*) Nella muratura a conci sbozzati i valori di resistenza tabellati si possono incrementare se si riscontra la sistematica presenza di zeppe profonde in pietra che migliorano i contatti e aumentano l'ammorsamento tra gli elementi lapidei; in assenza di valutazioni più precise, si utilizzi un coefficiente pari a 1,2.

(**) Data la varietà litologica della pietra tenera, il peso specifico è molto variabile ma può essere facilmente stimato con prove dirette. Nel caso di muratura a conci regolari di pietra tenera, in presenza di una caratterizzazione diretta della resistenza a compressione degli elementi costituenti, la resistenza a compressione f_{pu} può essere valutata attraverso le indicazioni del § 11.10 delle NTC.

(***) Nella muratura a mattoni pieni è opportuno ridurre i valori tabellati nel caso di giunti con spessore superiore a 13 mm; in assenza di valutazioni più precise, si utilizzi un coefficiente riduttivo pari a 0,7 per le resistenze e 0,8 per i moduli elastici.

Fig.75 – Tipologie murarie utilizzate nel caso studio FONTE: Tabella C8.5.1 circolare NTC2018

Parametri sismici

Categoria di sottosuolo

A ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi

B rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina

C depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o di terreni a grana fina mediamente consistenti

D depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti

E terreni dei sottosuoli di tipo C o D per spessore non superiore a 20 m

Classe d'uso costruzione

I costruzioni con presenza solo occasionale di persone, edifici agricoli

II costruzioni il cui uso preveda normali affollamenti, senza contenuti pericolosi e senza funzioni essenziali

III costruzioni il cui uso preveda affollamenti significativi (industrie con attività pericolose...)

IV costruzioni con funzioni pubbliche o strategiche importanti (reti viarie di tipo A o B...)

Categoria topografica

T1 superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i <= 15^\circ$

T2 pendii con inclinazione media $i > 15^\circ$

T3 rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $15 <= i <= 30^\circ$

T4 rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $i > 30^\circ$

Tipologia edificio

T1 Auto (*) T1 [sec]:

γ Auto γ :

H [m]:

N° piani:

Vn [anni]:

(*) T1 Auto solo per DM2008, per il DM 2018 impostare manualmente

Fattori di Comportamento

q SLV:

q SLD: ξ :

Zona sismica

Usa Risposta sismica locale

Fig.76 – Parametri sismici di riferimento

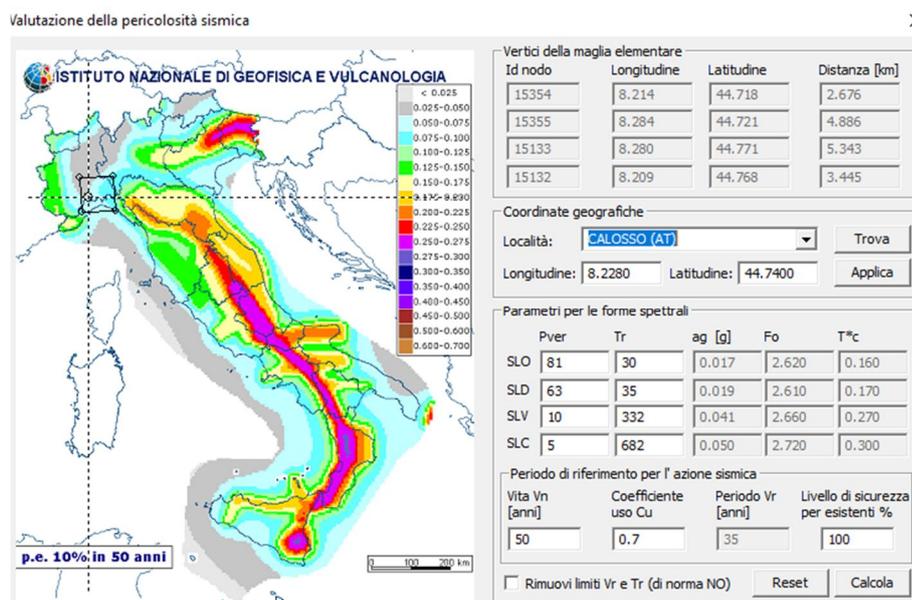


Fig.77 – Valutazione della pericolosità sismica

Nelle strutture murarie il dissesto più diffuso è il ribaltamento fuori dal proprio piano, che in caso di sisma può portare il collasso della struttura, anche in maniera improvvisa. Naturalmente l'evolversi del fenomeno e l'entità del danno dipendono dalle caratteristiche meccaniche della muratura, dalla tipologia di connessione con gli altri elementi strutturali e dalla presenza di discontinuità locali (finestre). Di conseguenza per simulare il

comportamento della struttura, a fronte di un'azione sismica, sono state schematizzate le pareti in macroelementi.

- **Prospetto Nord**

Si prende in esame la facciata Nord, in cui si ipotizza l'assenza di collegamenti tra la struttura muraria e gli orizzontamenti e tra la facciata e i muri perimetrali.

Il modello è stato costruito inserendo i valori geometrici delle due pareti verticali, delle aperture e del timpano.

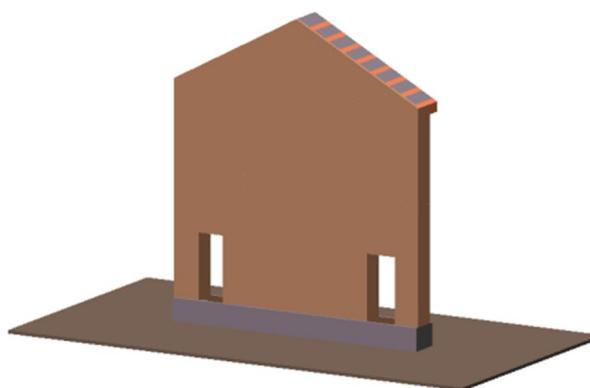


Fig.78 – Modello prospetto Nord

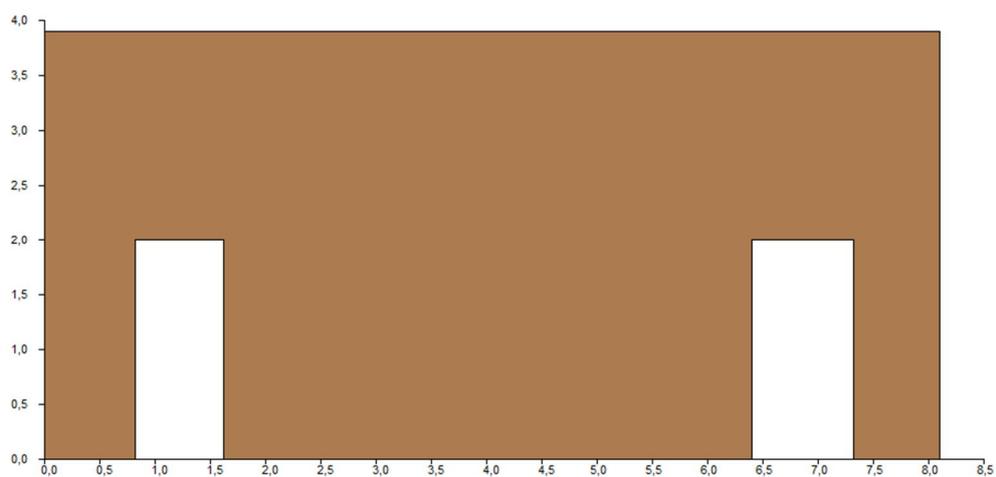


Fig.79 – Parete 1

Apertura numero n°1	
Tipologia di Apertura	5 - Apertura da Utente
Posizione X iniz. apertura [m]	0,82
Posizione X fin. apertura [m]	1,62
Altezza inferiore apertura [m]	0,00
Altezza superiore apertura [m]	1,90
Apertura numero n°2	
Tipologia di Apertura	6 - Apertura da Utente
Posizione X iniz. apertura [m]	6,40
Posizione X fin. apertura [m]	7,32
Altezza inferiore apertura [m]	0,00
Altezza superiore apertura [m]	1,90

Elemento Parete n° 1	
Altezza [m]	3,90
Larghezza [m]	8,10
Spessore [m]	0,70
Rientro [m]	0,00
Solaio Tipo	1 - residenziale Civile Abitazione
G1k [kN/mq]	0,76
G2k [kN/mq]	2,00
Qk [kN/mq]	2,00
Psi2 [-]	0,30
Semi lunghezza del solaio [m]:	0,00
es2: eccentricità delle reazioni di appo	0,05
Orditura solaio	90° - orditura longitudinale
Proprietà Meccaniche	7 - Muratura in mattoni pieni e m
Gamma [kN/mc]	18,00
fcd [kN/mq]	962,96
fvd [kN/mq]	18,52
Presenza Cordolo in C.A.	<input type="checkbox"/>
Forza e Carico Distribuito	
Carico Distribuito [kN/m]	0,00
Ecc. carico distrib. [m]	0,00
contributo del carico	contributo orizzontale e verticale

Fig. 80 – Dati geometrici e caratteristiche meccaniche parete 1

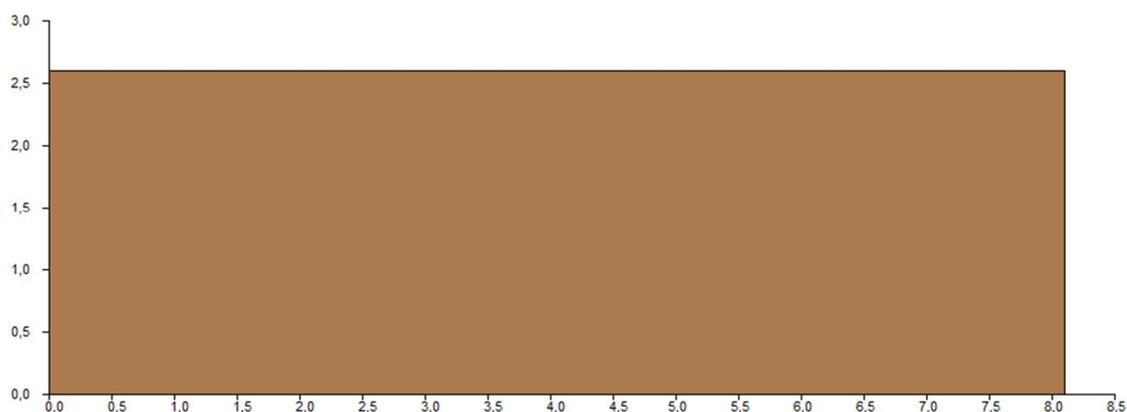


Fig.81– Parete 2

Elemento Parete n° 2	
Altezza [m]	2,60
Larghezza [m]	8,10
Spessore [m]	0,70
Rientro [m]	0,00
Solaio Tipo	1 - residenziale Civile Abitazione
G1k [kN/mq]	0,76
G2k [kN/mq]	2,00
Qk [kN/mq]	2,00
Psi2 [-]	0,30
Semi lunghezza del solaio [m]:	0,00
es2: eccentricità delle reazioni di appo	0,05
Orditura solaio	0° - orditura trasversale
Proprietà Meccaniche	7 - Muratura in mattoni pieni e m
Gamma [kN/mc]	18,00
fcd [kN/mq]	962,96
fvd [kN/mq]	18,52
Presenza Cordolo in C.A.	<input type="checkbox"/>
Forza e Carico Distribuito	
Carico Distribuito [kN/m]	0,00
Ecc. carico distrib. [m]	0,00
contributo del carico	contributo orizzontale e verticale

Fig. 82– Dati geometrici e caratteristiche meccaniche parete 2

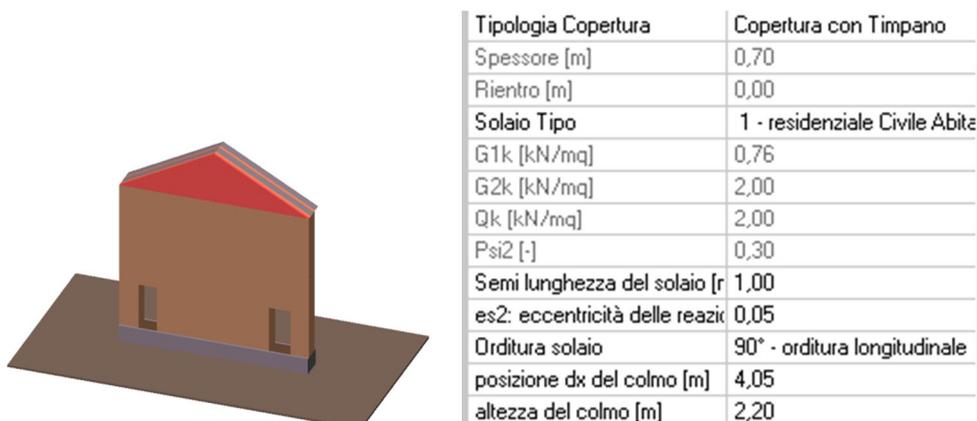


Fig. 83 – Dati geometrici e caratteristiche meccaniche timpano

Vengono analizzati i meccanismi di ribaltamento dell'intera parete rispetto a una cerniera cilindrica posta in corrispondenza del timpano, dell'orizzontamento intermedio e alla base.

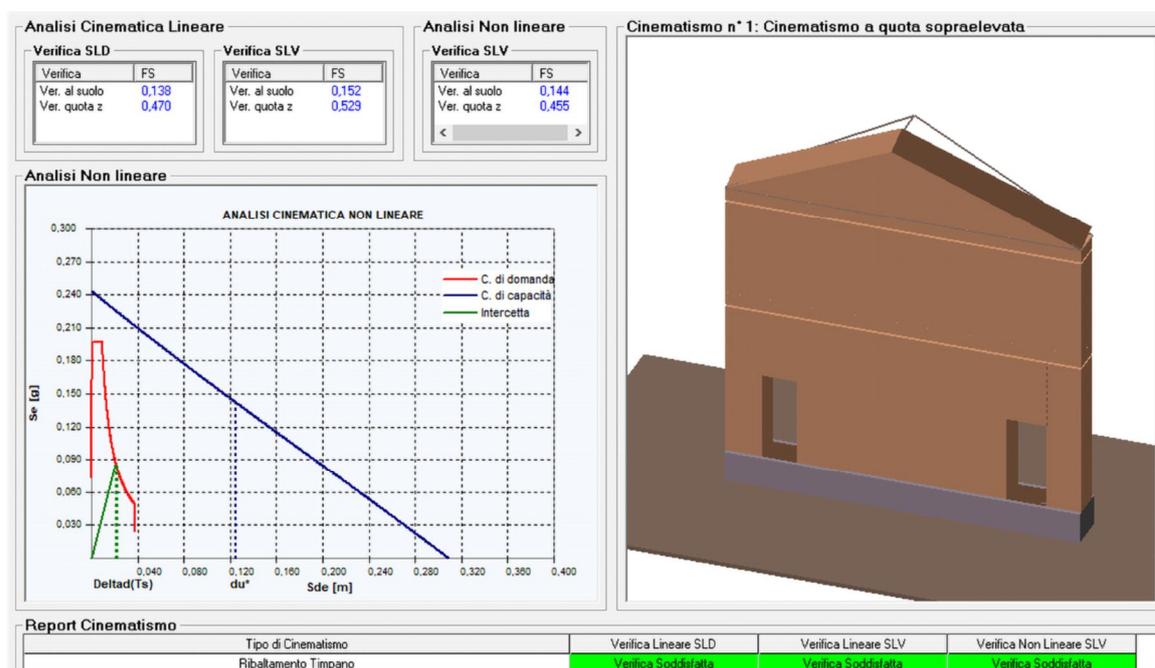


Fig.84 –Cinematismo1: ribaltamento timpano

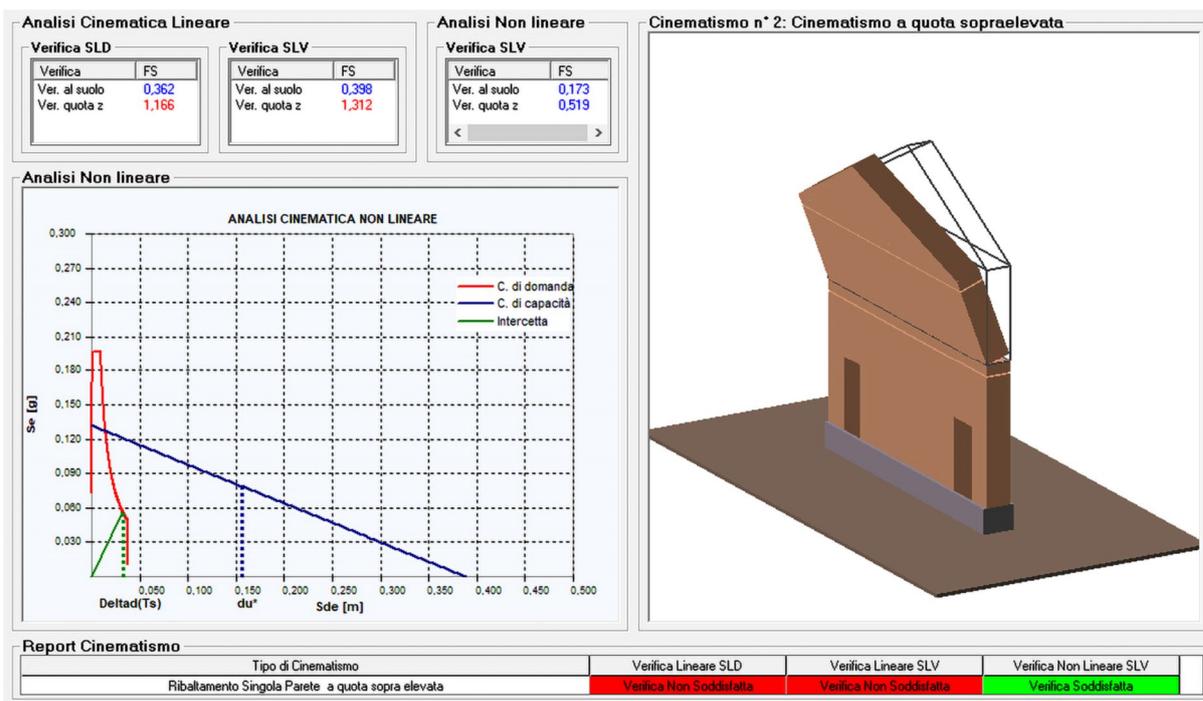


Fig. 85 – Cinematismo 2: ribaltamento singola parete al livello dell'orizzontamento intermedio

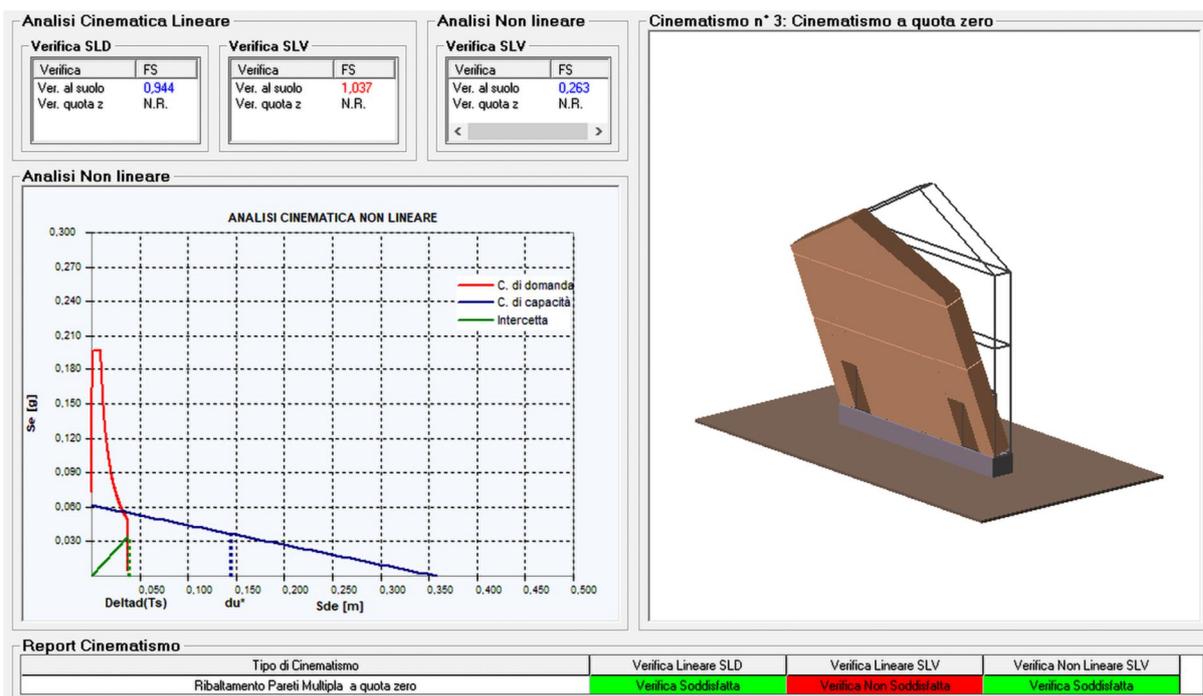


Fig.86 – Cinematismo3: ribaltamento parete multipla alla base

In base ai risultati emersi dall'analisi si evince una condizione complessiva carente nei confronti del rischio sismico. Quindi, per impedire i meccanismi evidenziati, si ipotizza di inserire una coppia di tiranti al livello dell'impalcato della pareti 1 e uno sulla parete 2.

Si considera di utilizzare 3 tiranti $\varnothing 14$ in acciaio con capochiave rettangolare di dimensione 20x20 cm.

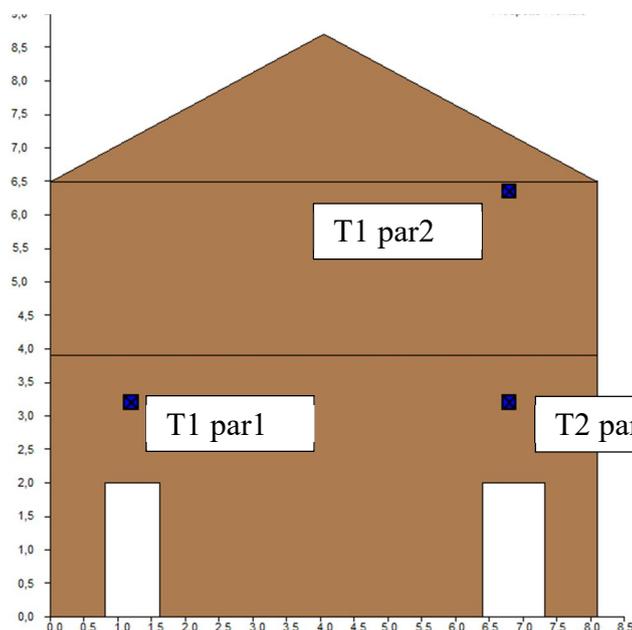


Fig.87 – Posizionamento dei tiranti sul prospetto Nord

Al fine di progettare il sistema di tiranti, il programma esegue per ciascuno di essi le seguenti verifiche:

- verifica allo snervamento dei tiranti;
- verifica al punzonamento della muratura nelle zone di ancoraggio;
- verifica allo schiacciamento, relativo alla resistenza del muro nei confronti della penetrazione dell'ancoraggio.

Di seguito vengono riportati i valori relativi alla verifiche dei tiranti.

Tiranti Verificati						
Tirante	Ned [kN]	Ver.Sch	Ver. Punz	Ver. Snerv.	Stato di Ve	alf
Par 1- Tir. 1	10	0,26	0,21	0,27	Verificato	0,0401
Par 1- Tir. 2	10	0,26	0,21	0,27	Verificato	0,0401
Par 2- Tir. 1	20,77894	0,54	0,45	0,56	Verificato	0,1331

Fig. 88 – Verifiche dei tiranti sul prospetto Nord

In maniera analoga, al caso precedente, sono state analizzate anche le altre facciate dell'edificio.

- **Prospetto Ovest**

Il prospetto Ovest è stato suddiviso in due porzioni: facciata ovest, corrispondete al corpo di fabbrica principale e la torre.

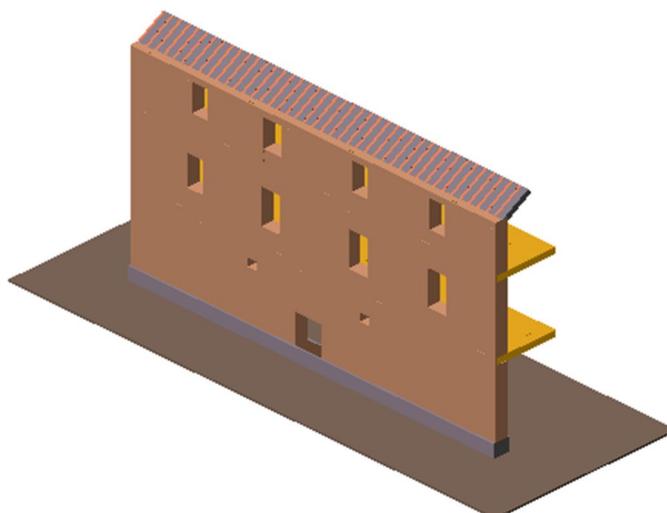


Fig. 89 – Modello prospetto Ovest

La prima porzione di fabbricato coinvolta nell'analisi è stata costruita dividendo la facciata in tre pareti, tenendo conto delle aperture presenti. La sezione si estende per una lunghezza di 21m e un'altezza di 10,35m. Di seguito vengono riportati i valori geometrici utilizzati per realizzare il modello.

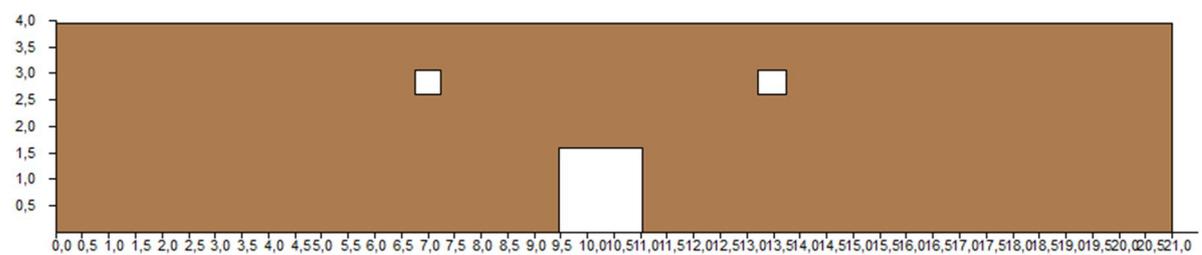


Fig.90 – Parete1

Apertura numero n°1		Elemento Parete n° 1	
Tipologia di Apertura	5 - Apertura da Utente	Altezza [m]	3,95
Posizione X iniz. apertura [m]	6,75	Larghezza [m]	21,00
Posizione X fin. apertura [m]	7,25	Spessore [m]	0,70
Altezza inferiore apertura [m]	2,60	Rientro [m]	0,00
Altezza superiore apertura [m]	0,90	Solaio Tipo	3 - Ristorante
Apertura numero n°2		G1k [kN/mq]	0,54
Tipologia di Apertura	6 - Apertura da Utente	G2k [kN/mq]	2,00
Posizione X iniz. apertura [m]	9,47	Qk [kN/mq]	3,00
Posizione X fin. apertura [m]	11,04	Psi2 [-]	0,60
Altezza inferiore apertura [m]	0,00	Semi lunghezza del solaio [m]:	3,38
Altezza superiore apertura [m]	2,35	es2: eccentricità delle reazioni di appo	0,05
Apertura numero n°3		Orditura solaio	0° - orditura trasversale
Tipologia di Apertura	7 - Apertura da Utente	Proprietà Meccaniche	2 - Muratura a conci sbozzati coi
Posizione X iniz. apertura [m]	13,21	Gamma [kN/mc]	20,00
Posizione X fin. apertura [m]	13,74	fcd [kN/mq]	740,74
Altezza inferiore apertura [m]	2,60	fvd [kN/mq]	12,96
Altezza superiore apertura [m]	0,90	Presenza Cordolo in C.A.	<input type="checkbox"/>

Fig.91 – Dati geometrici e caratteristiche meccaniche parete 1



Fig.92 – Parete2

Apertura numero n°1		Elemento Parete n° 2	
Tipologia di Apertura	8 - Apertura da Utente	Altezza [m]	3,90
Posizione X iniz. apertura [m]	3,30	Larghezza [m]	21,00
Posizione X fin. apertura [m]	4,20	Spessore [m]	0,70
Altezza inferiore apertura [m]	1,00	Rientro [m]	0,00
Altezza superiore apertura [m]	1,25	Solaio Tipo	3 - Ristorante
Apertura numero n°2		G1k [kN/mq]	0,54
Tipologia di Apertura	9 - Apertura da Utente	G2k [kN/mq]	2,00
Posizione X iniz. apertura [m]	7,55	Qk [kN/mq]	3,00
Posizione X fin. apertura [m]	8,65	Psi2 [-]	0,60
Altezza inferiore apertura [m]	0,90	Semi lunghezza del solaio [m]:	3,38
Altezza superiore apertura [m]	1,15	es2: eccentricità delle reazioni di appo	0,05
Apertura numero n°3		Orditura solaio	0° - orditura trasversale
Tipologia di Apertura	10 - Apertura da Utente	Proprietà Meccaniche	2 - Muratura a conci sbozzati coi
Posizione X iniz. apertura [m]	12,56	Gamma [kN/mc]	20,00
Posizione X fin. apertura [m]	13,66	fcd [kN/mq]	740,74
Altezza inferiore apertura [m]	0,90	fvd [kN/mq]	12,96
Altezza superiore apertura [m]	1,15	Presenza Cordolo in C.A.	<input type="checkbox"/>
Apertura numero n°4			
Tipologia di Apertura	11 - Apertura da Utente		
Posizione X iniz. apertura [m]	17,11		
Posizione X fin. apertura [m]	18,21		
Altezza inferiore apertura [m]	0,90		
Altezza superiore apertura [m]	1,15		

Fig.93 – Dati geometrici e caratteristiche meccaniche parete 2

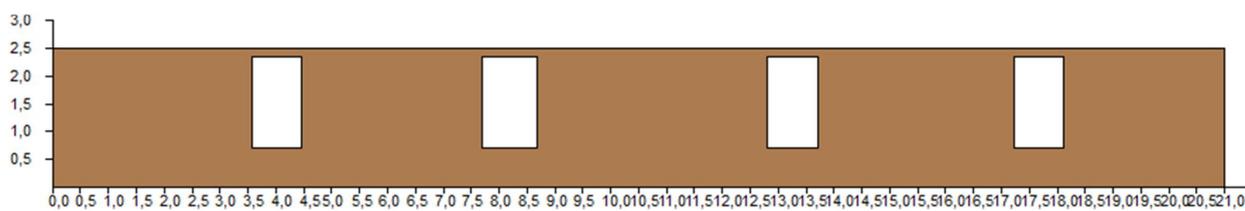


Fig. 94. – Parete3

Apertura numero n°1	
Tipologia di Apertura	13 - Apertura da Utente
Posizione X iniz. apertura [m]	3,57
Posizione X fin. apertura [m]	4,47
Altezza inferiore apertura [m]	0,70
Altezza superiore apertura [m]	0,15
Apertura numero n°2	
Tipologia di Apertura	14 - Apertura da Utente
Posizione X iniz. apertura [m]	7,69
Posizione X fin. apertura [m]	8,69
Altezza inferiore apertura [m]	0,70
Altezza superiore apertura [m]	0,15
Apertura numero n°3	
Tipologia di Apertura	15 - Apertura da Utente
Posizione X iniz. apertura [m]	12,80
Posizione X fin. apertura [m]	13,70
Altezza inferiore apertura [m]	0,70
Altezza superiore apertura [m]	0,15
Apertura numero n°4	
Tipologia di Apertura	16 - Apertura da Utente
Posizione X iniz. apertura [m]	17,22
Posizione X fin. apertura [m]	18,12
Altezza inferiore apertura [m]	0,70
Altezza superiore apertura [m]	0,15

Elemento Parete n° 3	
Altezza [m]	2,50
Larghezza [m]	21,00
Spessore [m]	0,70
Rientro [m]	0,00
Solaio Tipo	1 - residenziale Civile Abitazione
G1k [kN/mq]	0,54
G2k [kN/mq]	2,00
Qk [kN/mq]	2,00
Psi2 [-]	0,30
Semi lunghezza del solaio [m]:	0,00
es2: eccentricità delle reazioni di appo	0,05
Orditura solaio	0° - orditura trasversale
Proprietà Meccaniche	2 - Muratura a conci sbozzati coi
Gamma [kN/mc]	20,00
fcd [kN/mq]	740,74
fvd [kN/mq]	12,96
Presenza Cordolo in C.A.	<input type="checkbox"/>

Fig. 95 – Dati geometrici e caratteristiche meccaniche parete 3

Vengono analizzati i meccanismi di ribaltamento dell'intera parete rispetto a una cerniera cilindrica posta in corrispondenza della base, dell'orizzontamento intermedio e il ribaltamento della singola parete in corrispondenza dell'ultimo solaio.

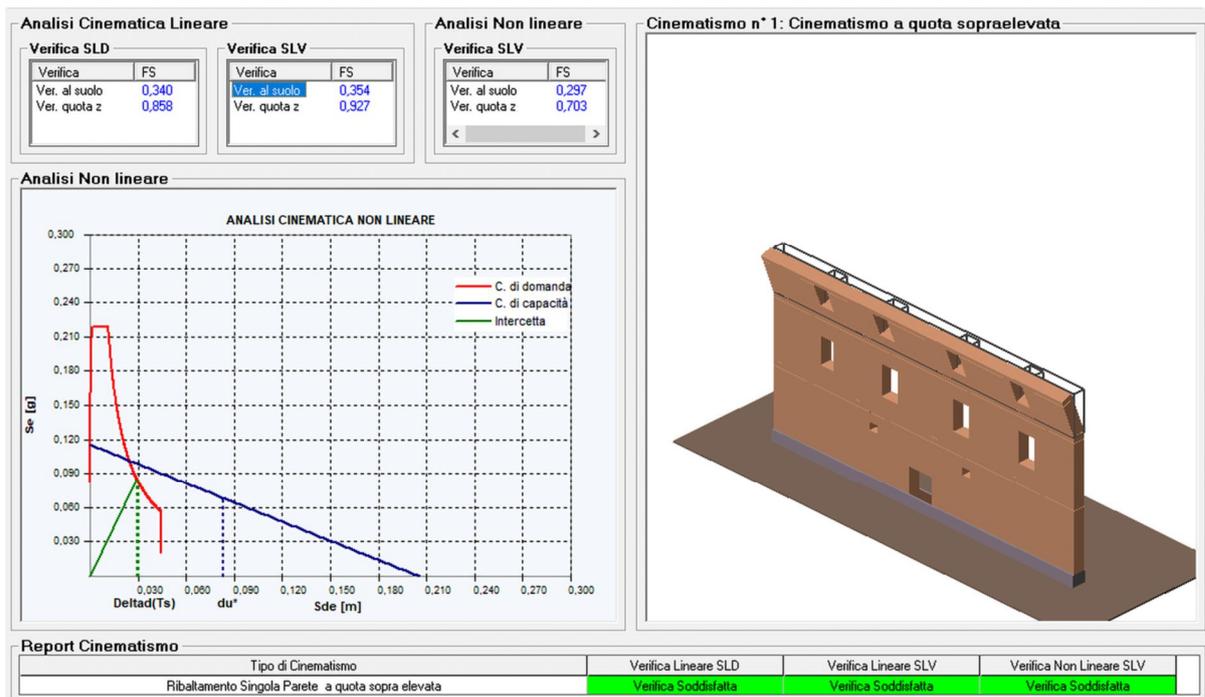


Fig.96 – Cinematismo1: ribaltamento singola parete a quota sopra elevata

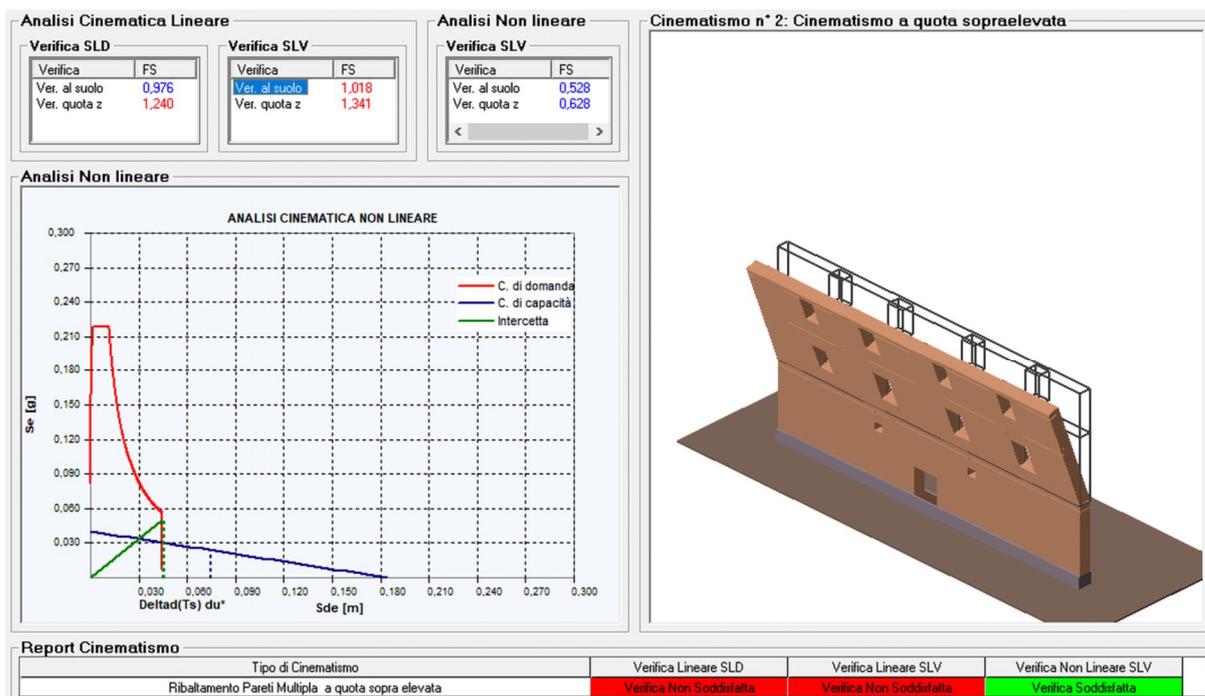


Fig. 97– Cinematismo2: ribaltamento parete multipla a quota sopra elevata

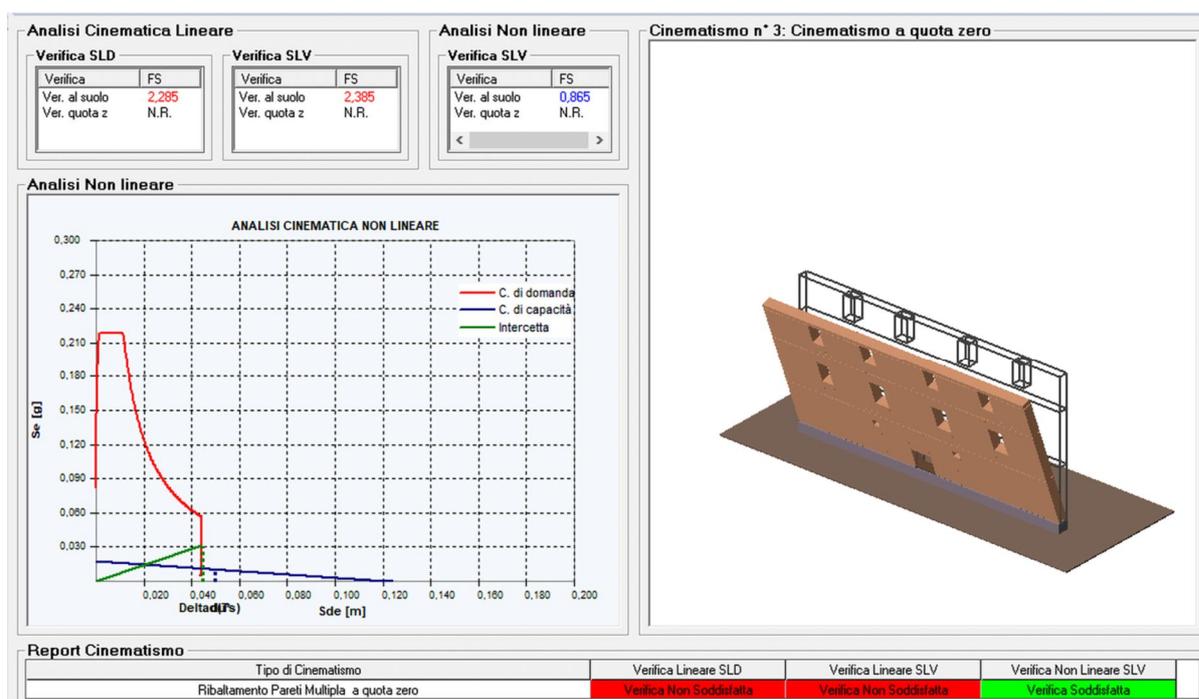


Fig.98 – Cinematismo3: ribaltamento parete multipla a quota zero

In base ai risultati ottenuti si interviene inserendo sei tiranti $\varnothing 24$ in acciaio con capochiave rettangolare di dimensione 20x20 cm: 3 sulla parete 1 e 3 sulla parete2.

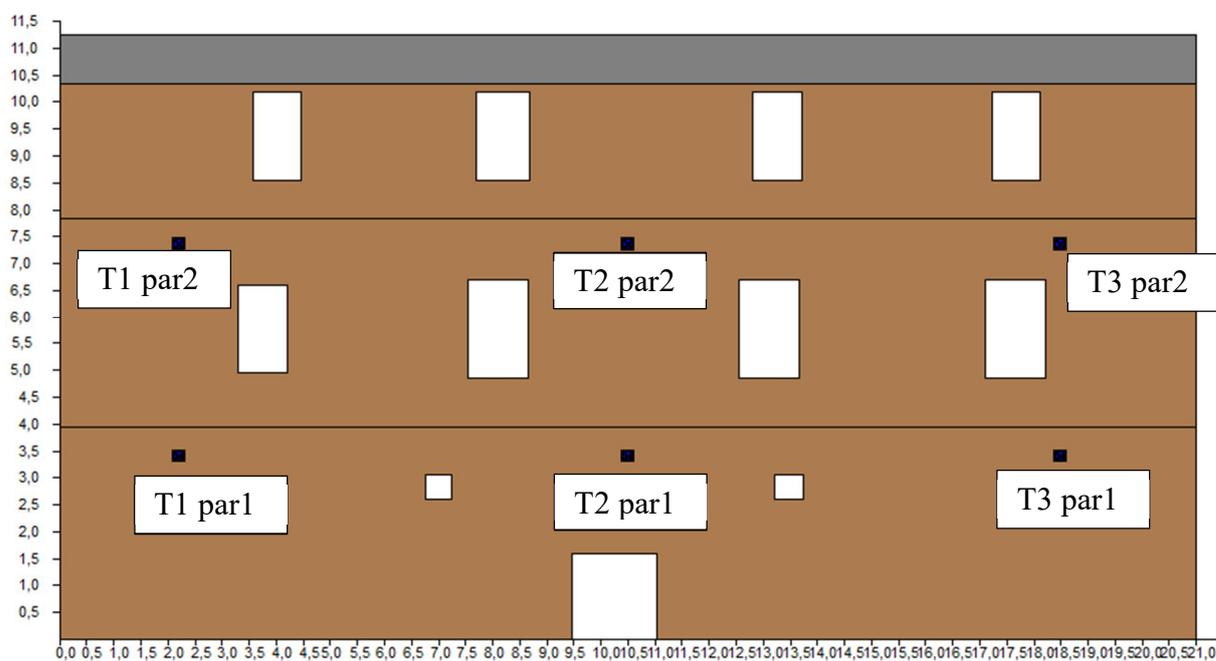


Fig.99 – Posizionamento dei tiranti sulla facciata Ovest

Tiranti Verificati						
Tirante	Ned [kN]	Ver. Sch	Ver. Punz	Ver. Snerv.	Stato di Ve	alf
Par 1- Tir. 1	27,20857	0,92	0,83	0,25	Verificato	0,0396
Par 1- Tir. 2	27,20857	0,92	0,83	0,25	Verificato	0,0396
Par 1- Tir. 3	27,20857	0,92	0,83	0,25	Verificato	0,0396
Par 2- Tir. 1	8,484482	0,29	0,26	0,08	Verificato	0,0546
Par 2- Tir. 2	8,484482	0,29	0,26	0,08	Verificato	0,0546
Par 2- Tir. 3	8,484482	0,29	0,26	0,08	Verificato	0,0546

Fig.100 – Verifiche dei tiranti facciata Ovest

- **Facciata ovest torre**

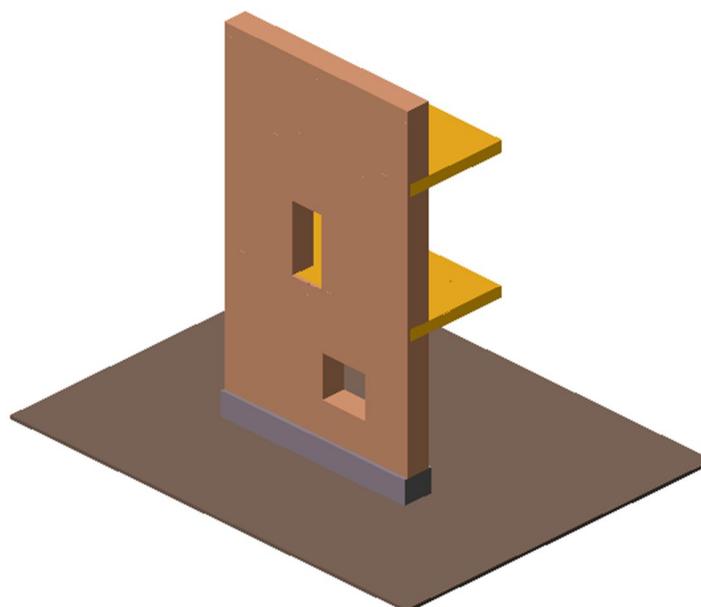


Fig.101 – Modello facciata ovest torre

Si analizzano i meccanismi fuori piano della facciata ovest della torre, che si estende sul prospetto per una lunghezza di 6m a altezza di 9.85m.

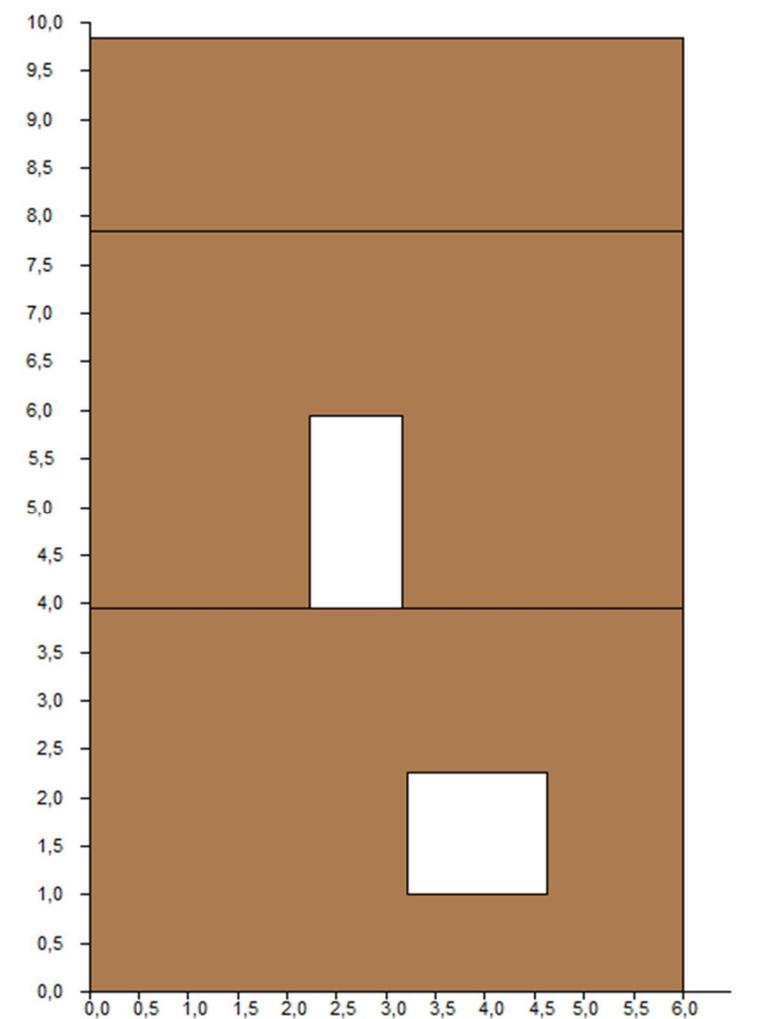


Fig. 102 – Prospetto frontale

Elemento Parete n° 1	
Altezza [m]	3,95
Larghezza [m]	6,00
Spessore [m]	0,70
Rientro [m]	0,00
Solaio Tipo	3 - Ristorante
G1k [kN/mq]	0,72
G2k [kN/mq]	2,00
Qk [kN/mq]	3,00
Psi2 [-]	0,60
Semi lunghezza del solaio [m]:	3,00
es2: eccentricità delle reazioni di appo	0,05
Orditura solaio	0° - orditura trasversale
Proprietà Meccaniche	2 - Muratura a conci sbozzati coi
Gamma [kN/mc]	20,00
fcd [kN/mq]	740,74
fvd [kN/mq]	12,96
Presenza Cordolo in C.A.	<input type="checkbox"/>

Apertura numero n°1	
Tipologia di Apertura	6 - Apertura da Utente
Posizione X iniz. apertura [m]	3,22
Posizione X fin. apertura [m]	4,62
Altezza inferiore apertura [m]	1,00
Altezza superiore apertura [m]	1,70

Fig. 103 – Dati geometrici e caratteristiche meccaniche parete 1

Elemento Parete n° 2	
Altezza [m]	3,90
Larghezza [m]	6,00
Spessore [m]	0,70
Rientro [m]	0,00
Solaio Tipo	3 - Ristorante
G1k [kN/mq]	0,72
G2k [kN/mq]	2,00
Qk [kN/mq]	3,00
Psi2 [-]	0,60
Semi lunghezza del solaio [m]:	3,00
es2: eccentricità delle reazioni di app	0,05
Orditura solaio	0° - orditura trasversale
Proprietà Meccaniche	2 - Muratura a conci sbozzati coi
Gamma [kN/mc]	20,00
fcd [kN/mq]	740,74
fvd [kN/mq]	12,96
Presenza Cordolo in C.A.	<input type="checkbox"/>

Apertura numero n°1	
Tipologia di Apertura	5 - Apertura da Utente
Posizione X iniz. apertura [m]	2,22
Posizione X fin. apertura [m]	3,17
Altezza inferiore apertura [m]	0,00
Altezza superiore apertura [m]	1,90

Fig. 104 – Dati geometrici e caratteristiche meccaniche parete 2

Elemento Parete n° 3	
Altezza [m]	2,00
Larghezza [m]	6,00
Spessore [m]	0,70
Rientro [m]	0,00
Solaio Tipo	3 - Ristorante
G1k [kN/mq]	4,00
G2k [kN/mq]	2,00
Qk [kN/mq]	3,00
Psi2 [-]	0,60
Semi lunghezza del solaio [m]:	0,00
es2: eccentricità delle reazioni di app	0,05
Orditura solaio	90° - orditura longitudinale
Proprietà Meccaniche	2 - Muratura a conci sbozzati coi
Gamma [kN/mc]	20,00
fcd [kN/mq]	740,74
fvd [kN/mq]	12,96
Presenza Cordolo in C.A.	<input type="checkbox"/>

Fig. 105 – Dati geometrici e caratteristiche meccaniche parete 3

Sono stati analizzati i meccanismi di ribaltamento dell'intera parete rispetto a una cerniera cilindrica posta in corrispondenza degli orizzontamenti e alla base.

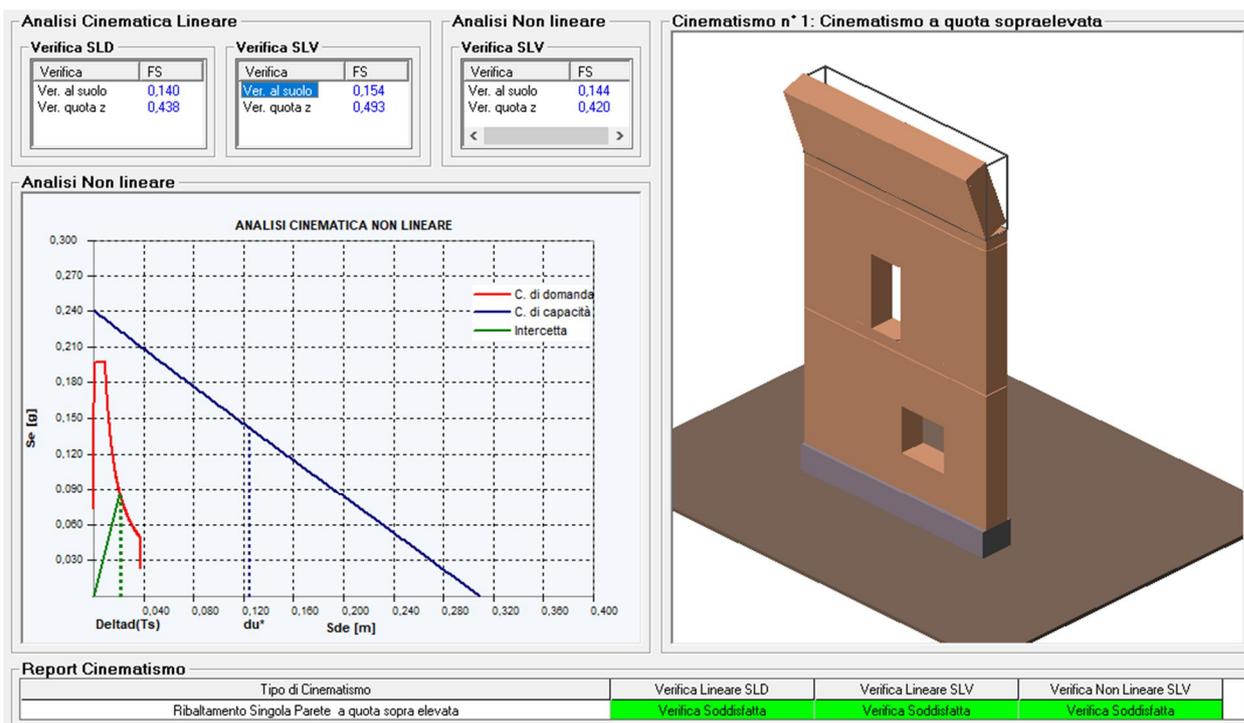


Fig.106 – Cinematismo1: ribaltamento singola parete a quota sopra elevata

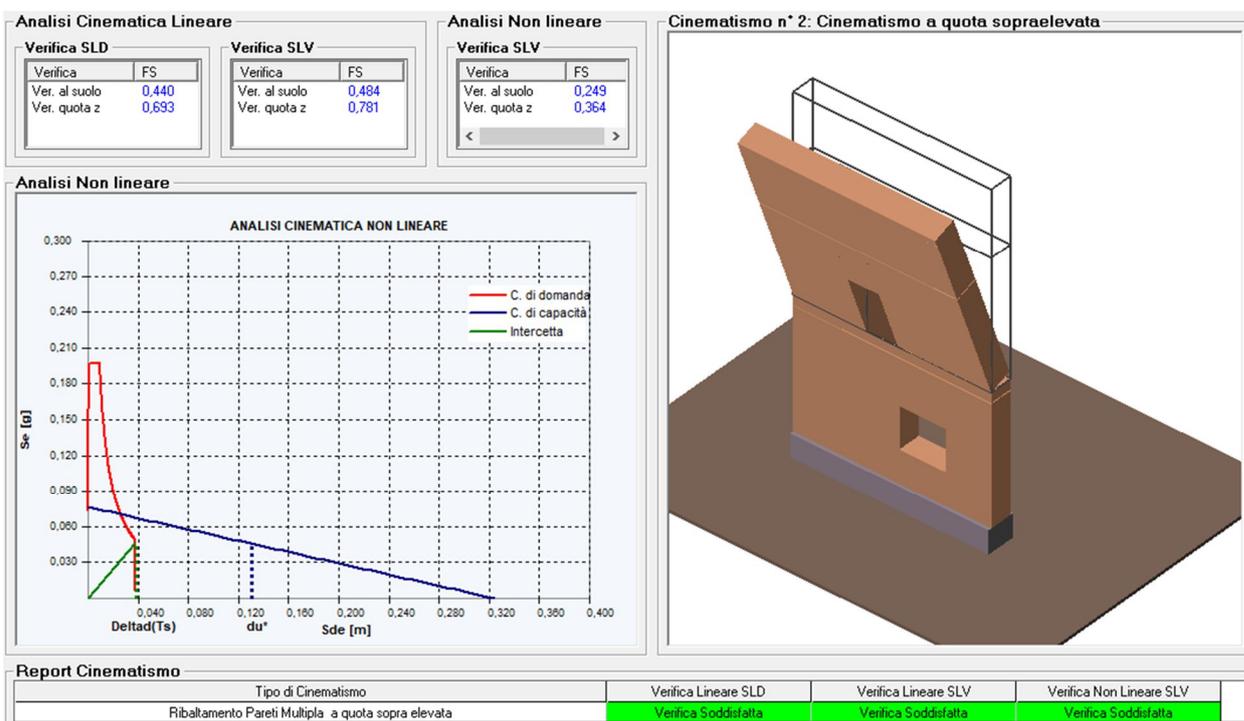


Fig.107 – Cinematismo2: ribaltamento parete multipla a quota sopra elevata

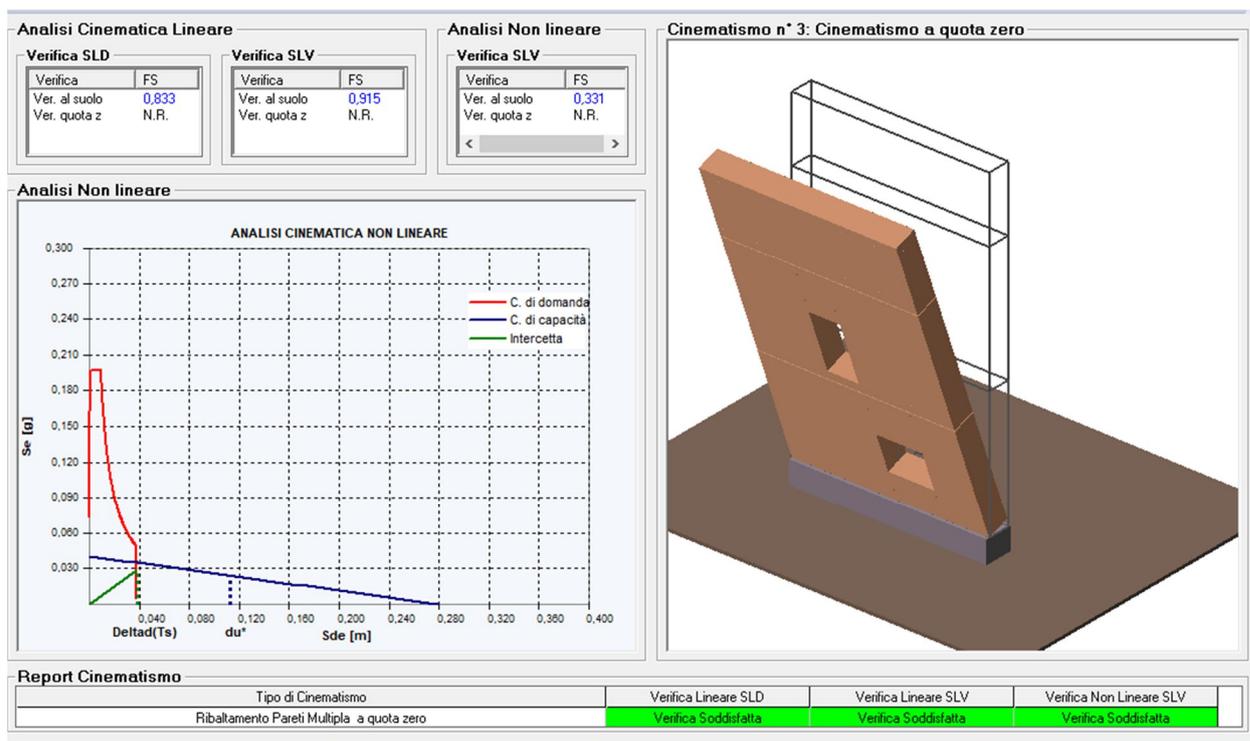


Fig.108 – Cinematismo3: ribaltamento parete multipla a quota zero

In questo caso, in tutti i cinematismi analizzati le verifiche risultano soddisfatte per cui la facciata ovest della torre non necessita d'interventi.

- **Prospetto sud**

Si verificano i cinematismi relativi a una porzione del prospetto sud, in cui si ipotizza l'assenza di collegamenti tra la struttura muraria e gli orizzontamenti e tra la facciata e i muri perimetrali. La sezione considerata si estende per 14,20 in lunghezza e 11m in altezza. La muratura è in mattoni pieni e malta di calce e si considera uno spessore di 0,70m.

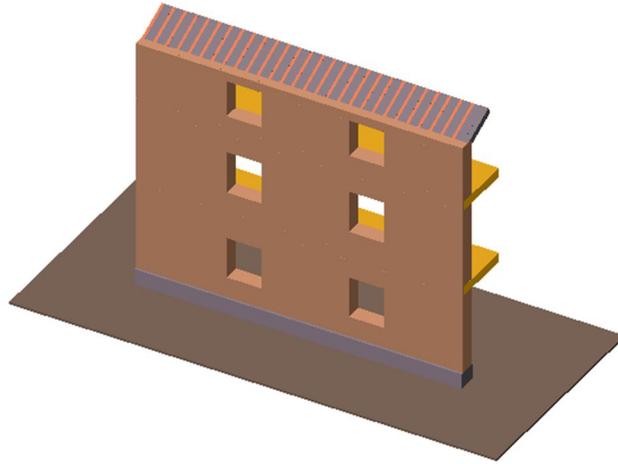


Fig.109 – Modello facciata sud

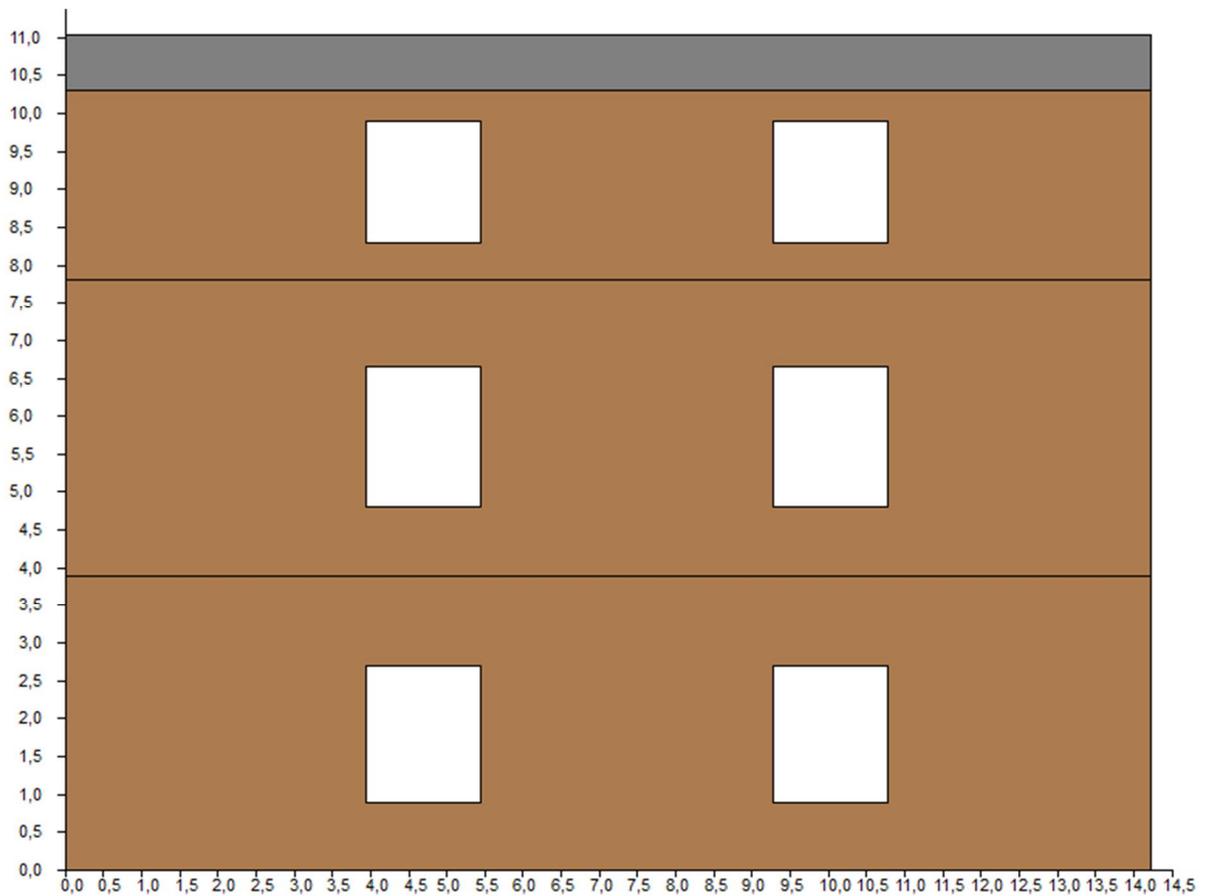


Fig. 110 – Prospetto frontale facciata sud

Tipologia Copertura	Copertura con Falda
Spessore [m]	0,70
Rientro [m]	0,00
Solaio Tipo	10 - Copertura Neve
G1k [kN/mq]	1,00
G2k [kN/mq]	1,00
Qk [kN/mq]	0,50
Psi2 [-]	0,00
Semi lunghezza del solaio [m]:	1,75
es2: eccentricità delle reazioni di appo	0,05
Orditura solaio	0° - orditura trasversale
angolo di inclinazione [°]	25,00
Spinta della Falda [kN]	21,03

Fig.111 – Dati geometrici e caratteristiche meccaniche copertura

Elemento Parete n° 1	
Altezza [m]	3,90
Larghezza [m]	14,22
Spessore [m]	0,70
Rientro [m]	0,00
Solaio Tipo	3 - Ristorante
G1k [kN/mq]	1,01
G2k [kN/mq]	2,00
Qk [kN/mq]	3,00
Psi2 [-]	0,60
Semi lunghezza del solaio [m]:	2,65
es2: eccentricità delle reazioni di appo	0,00
Orditura solaio	0° - orditura trasversale
Proprietà Meccaniche	7 - Muratura in mattoni pieni e m
Gamma [kN/mc]	18,00
fcd [kN/mq]	962,96
fvd [kN/mq]	18,52
Presenza Cordolo in C.A.	<input type="checkbox"/>
☐ Apertura numero n°1	
Tipologia di Apertura	5 - Apertura da Utente
Posizione X iniz. apertura [m]	3,95
Posizione X fin. apertura [m]	5,45
Altezza inferiore apertura [m]	0,90
Altezza superiore apertura [m]	1,20
☐ Apertura numero n°2	
Tipologia di Apertura	6 - Apertura da Utente
Posizione X iniz. apertura [m]	9,28
Posizione X fin. apertura [m]	10,78
Altezza inferiore apertura [m]	0,90
Altezza superiore apertura [m]	1,20

Fig.112 – Dati geometrici e caratteristiche meccaniche parete 1

Elemento Parete n° 2	
Altezza [m]	3,90
Larghezza [m]	14,22
Spessore [m]	0,70
Rientro [m]	0,00
Solaio Tipo	3 - Ristorante
G1k [kN/mq]	1,01
G2k [kN/mq]	2,00
Qk [kN/mq]	3,00
Psi2 [-]	0,60
Semi lunghezza del solaio [m]:	2,65
es2: eccentricità delle reazioni di app	0,00
Orditura solaio	0° - orditura trasversale
Proprietà Meccaniche	7 - Muratura in mattoni pieni e m
Gamma [kN/mc]	18,00
fcd [kN/mq]	962,96
fvd [kN/mq]	18,52
Presenza Cordolo in C.A.	<input type="checkbox"/>

Apertura numero n°1	
Tipologia di Apertura	7 - Apertura da Utente
Posizione X iniz. apertura [m]	3,95
Posizione X fin. apertura [m]	5,45
Altezza inferiore apertura [m]	0,90
Altezza superiore apertura [m]	1,15

Apertura numero n°2	
Tipologia di Apertura	8 - Apertura da Utente
Posizione X iniz. apertura [m]	9,28
Posizione X fin. apertura [m]	10,78
Altezza inferiore apertura [m]	0,90
Altezza superiore apertura [m]	1,15

Fig. 113 – Dati geometrici e caratteristiche meccaniche parete 2

Elemento Parete n° 3	
Altezza [m]	2,50
Larghezza [m]	14,22
Spessore [m]	0,70
Rientro [m]	0,00
Solaio Tipo	3 - Ristorante
G1k [kN/mq]	1,01
G2k [kN/mq]	2,00
Qk [kN/mq]	3,00
Psi2 [-]	0,60
Semi lunghezza del solaio [m]:	0,00
es2: eccentricità delle reazioni di app	0,00
Orditura solaio	0° - orditura trasversale
Proprietà Meccaniche	7 - Muratura in mattoni pieni e m
Gamma [kN/mc]	18,00
fcd [kN/mq]	962,96
fvd [kN/mq]	18,52
Presenza Cordolo in C.A.	<input type="checkbox"/>

Apertura numero n°1	
Tipologia di Apertura	9 - Apertura da Utente
Posizione X iniz. apertura [m]	3,95
Posizione X fin. apertura [m]	5,45
Altezza inferiore apertura [m]	0,50
Altezza superiore apertura [m]	0,40

Apertura numero n°2	
Tipologia di Apertura	10 - Apertura da Utente
Posizione X iniz. apertura [m]	9,28
Posizione X fin. apertura [m]	10,78
Altezza inferiore apertura [m]	0,50
Altezza superiore apertura [m]	0,40

Fig. 114 – Dati geometrici e caratteristiche meccaniche parete 3

Di seguito vengono riportati i risultati dei cinematismi analizzati per la parete sud.

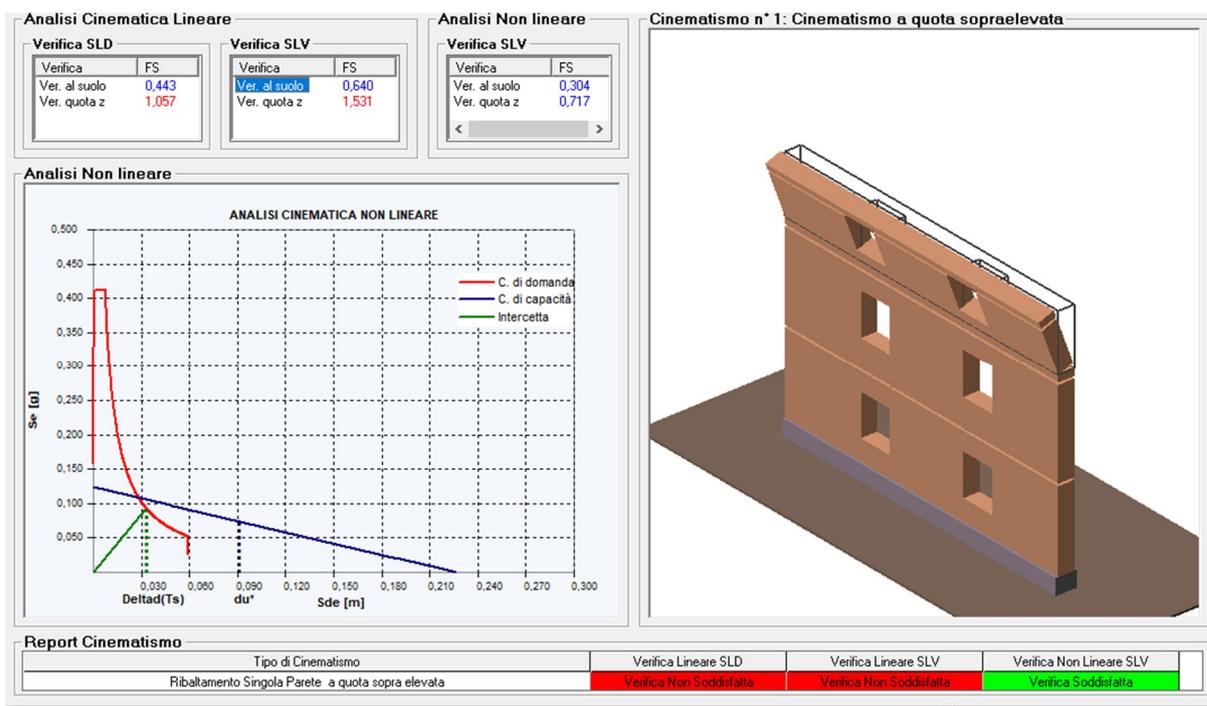


Fig. 115 – Cinematismo1: ribaltamento singola parete a quota sopra elevata

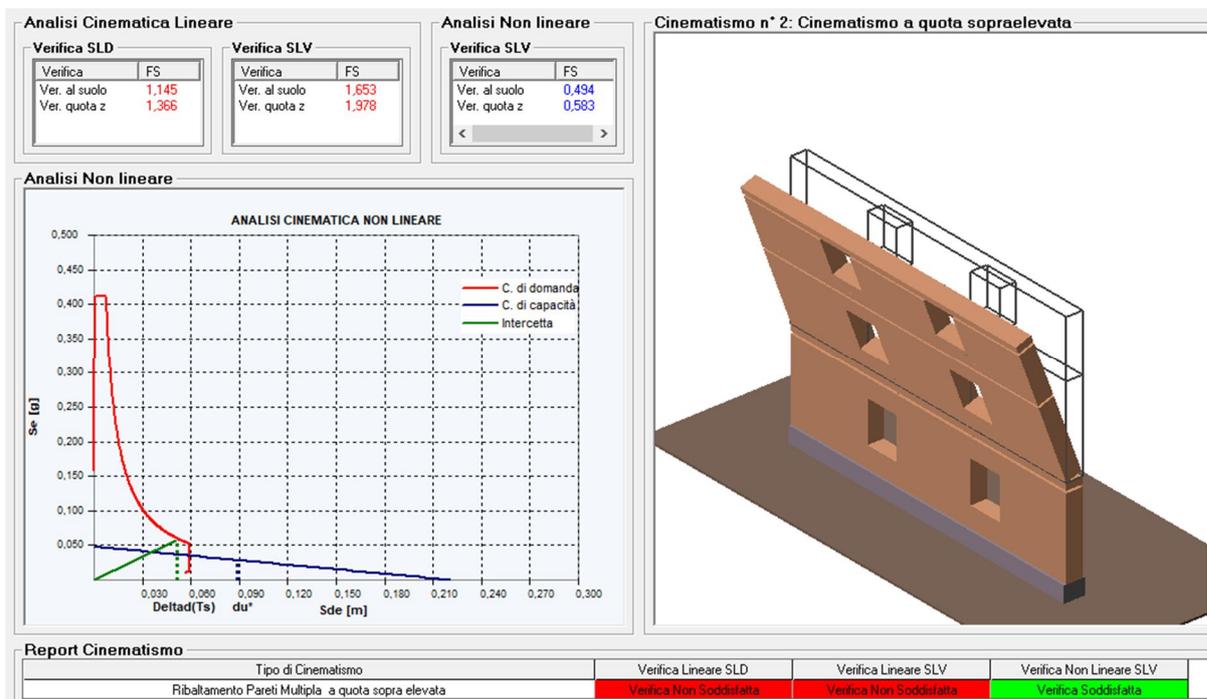


Fig. 116 – Cinematismo2: ribaltamento parete multipla a quota sopra elevata

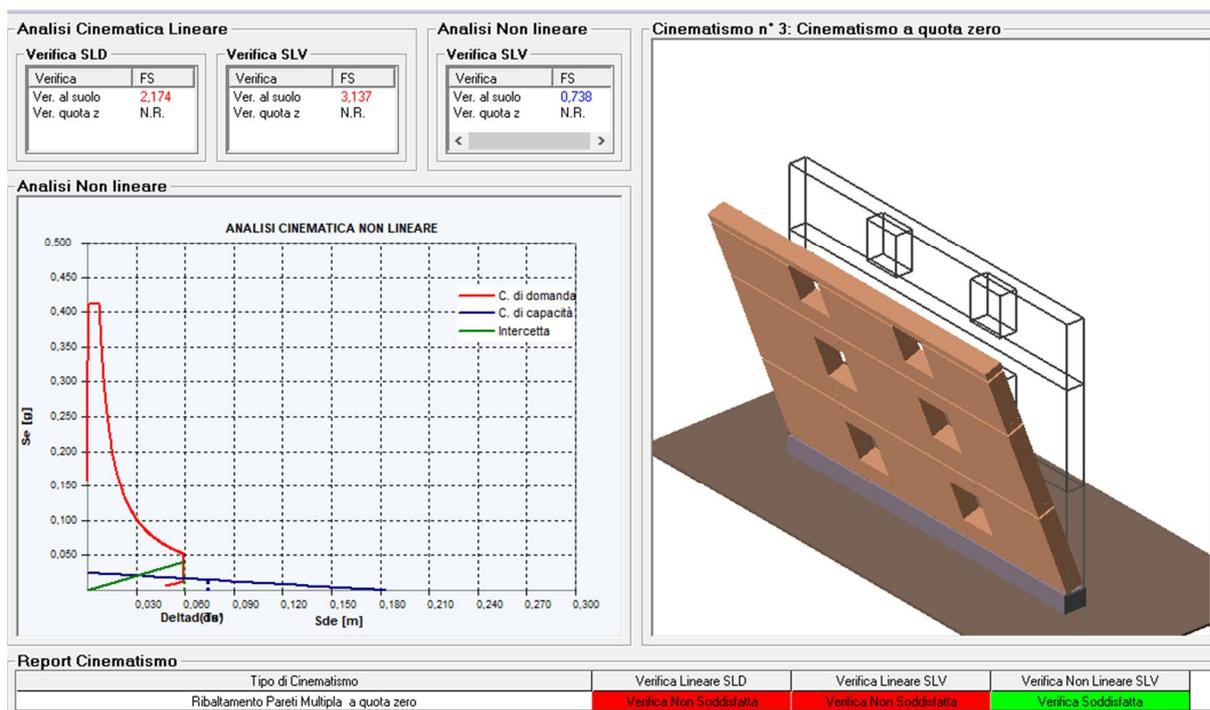


Fig. 117– Cinematismo3: ribaltamento parete multipla a quota zero

In base ai risultati emersi dall'analisi si evince una condizione complessiva carente nei confronti del rischio sismico. Quindi, per impedire i meccanismi evidenziati, si ipotizza di inserire una coppia di tiranti al livello dell'ultimo impalcato.

Si considera di utilizzare 2 tiranti $\varnothing 16$ in acciaio con capochiave rettangolare di dimensione 25x25 cm.

Tiranti Verificati						
Tirante	Ned [kN]	Ver. Sch	Ver. Punz	Ver. Snerv.	Stato di Ve	alf
Par 3- Tir. 1	14,42437	0,24	0,29	0,30	Verificato	0,2366
Par 3- Tir. 2	14,42437	0,24	0,29	0,30	Verificato	0,2366

Fig. 118– Verifiche dei tiranti sul parete sud

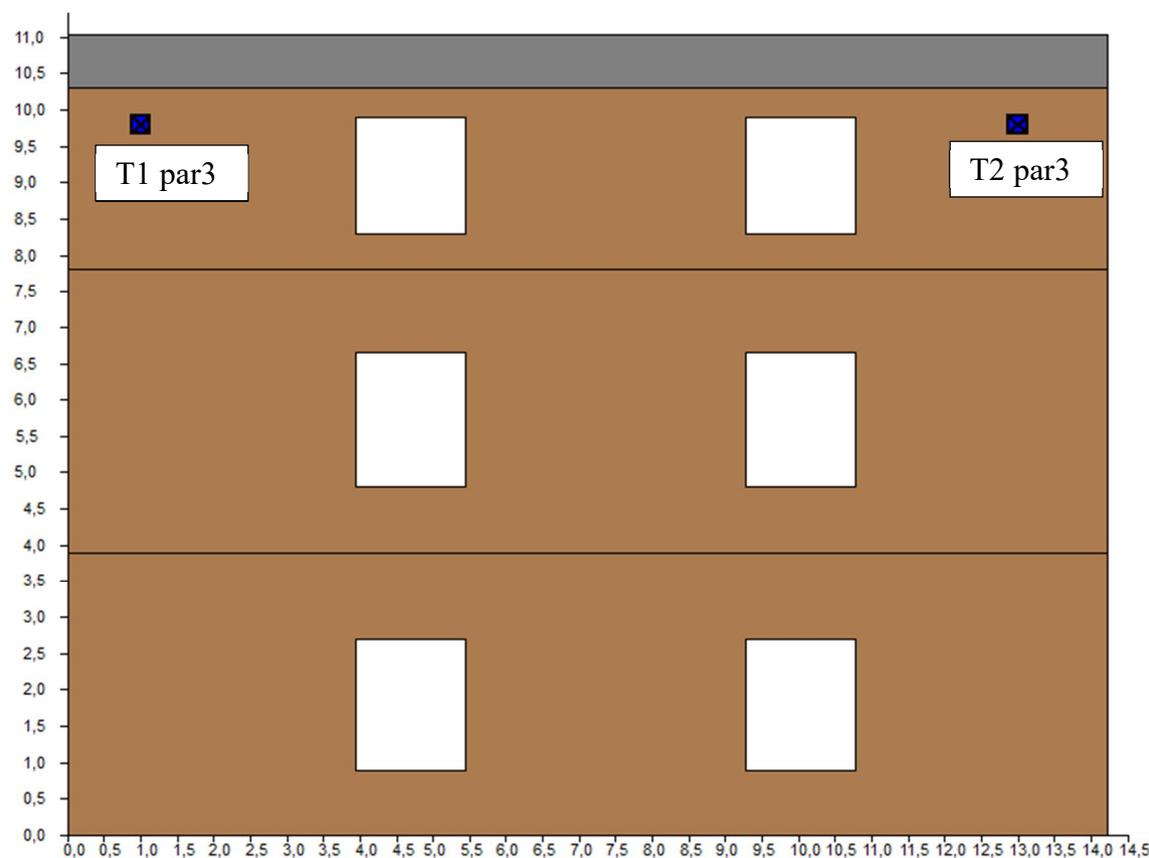
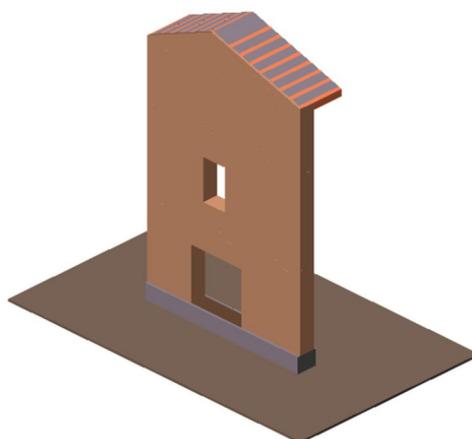


Fig. 119 – Posizionamento dei tiranti sulla parete sud

- **Parete est 1**

Si prende in esame la parete Est, in cui si ipotizza l'assenza di collegamenti tra le due parti che la compongono, per cui lo studio dei cinematici di collasso è stato svolto suddividendo la facciata in: parete est 1 e parete est 2.



. Fig.120 – Modello parete est1

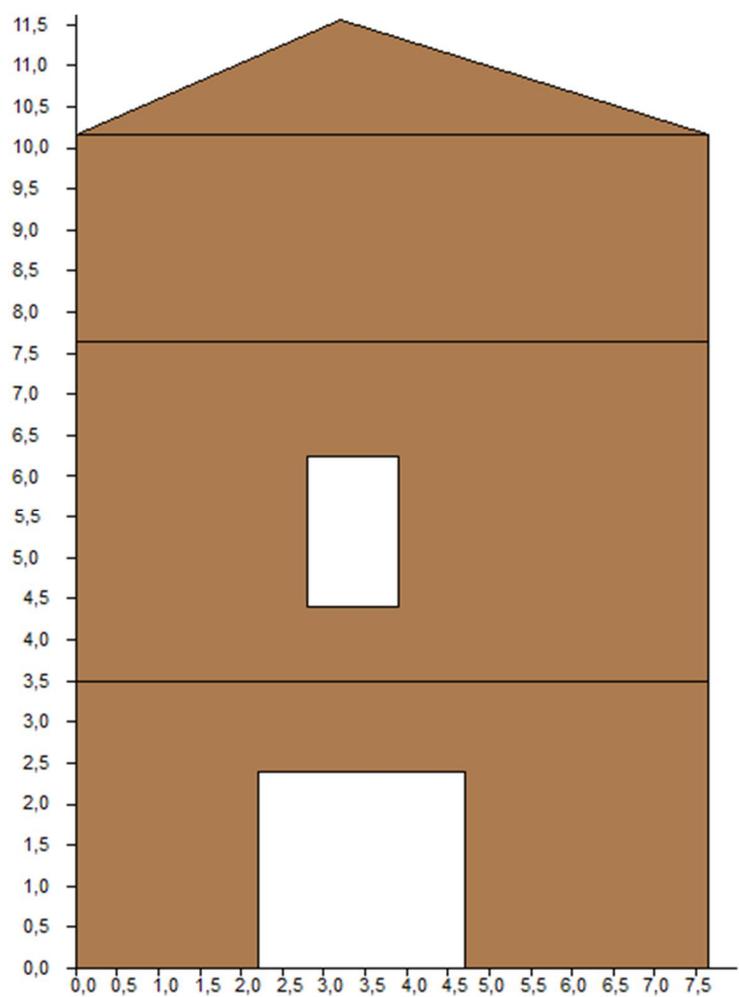


Fig. 121– Prospetto frontale parete est1

Elemento Parete n° 1	
Altezza [m]	3,50
Larghezza [m]	7,65
Spessore [m]	0,70
Rientro [m]	0,00
Solaio Tipo	3 - Ristorante
G1k [kN/mq]	0,70
G2k [kN/mq]	2,00
Qk [kN/mq]	3,00
Psi2 [-]	0,60
Semi lunghezza del solaio [m]:	0,00
es2: eccentricità delle reazioni di appo	0,00
Orditura solaio	0° - orditura trasversale
Proprietà Meccaniche	7 - Muratura in mattoni pieni e m
Gamma [kN/mc]	18,00
fcd [kN/mq]	962,96
fvd [kN/mq]	18,52
Presenza Cordolo in C.A.	<input type="checkbox"/>
Apertura numero n°1	
Tipologia di Apertura	5 - Apertura da Utente
Posizione X iniz. apertura [m]	2,20
Posizione X fin. apertura [m]	4,70
Altezza inferiore apertura [m]	0,00
Altezza superiore apertura [m]	1,10

Fig. 122– Dati geometrici e caratteristiche meccaniche parete 1

Elemento Parete n° 2	
Altezza [m]	4,15
Larghezza [m]	7,65
Spessore [m]	0,70
Rientro [m]	0,00
Solaio Tipo	3 - Ristorante
G1k [kN/mq]	0,70
G2k [kN/mq]	2,00
Qk [kN/mq]	3,00
Psi2 [-]	0,60
Semi lunghezza del solaio [m]:	0,00
es2: eccentricità delle reazioni di appo	0,00
Orditura solaio	0° - orditura trasversale
Proprietà Meccaniche	7 - Muratura in mattoni pieni e m
Gamma [kN/mc]	18,00
fcd [kN/mq]	962,96
fvd [kN/mq]	18,52
Presenza Cordolo in C.A.	<input type="checkbox"/>
Apertura numero n°1	
Tipologia di Apertura	6 - Apertura da Utente
Posizione X iniz. apertura [m]	2,80
Posizione X fin. apertura [m]	3,90
Altezza inferiore apertura [m]	0,90
Altezza superiore apertura [m]	1,40

Fig. 123– Dati geometrici e caratteristiche meccaniche parete 2

Elemento Parete n° 3	
Altezza [m]	2,50
Larghezza [m]	7,65
Spessore [m]	0,70
Rientro [m]	0,00
Solaio Tipo	3 - Ristorante
G1k [kN/mq]	0,70
G2k [kN/mq]	2,00
Qk [kN/mq]	3,00
Psi2 [-]	0,60
Semi lunghezza del solaio [m]:	0,00
es2: eccentricità delle reazioni di appo	0,00
Orditura solaio	0° - orditura trasversale
Proprietà Meccaniche	7 - Muratura in mattoni pieni e m
Gamma [kN/mc]	18,00
fcd [kN/mq]	962,96
fvd [kN/mq]	18,52
Presenza Cordolo in C.A.	<input type="checkbox"/>

Fig.124 – Dati geometrici e caratteristiche meccaniche parete 3

Tipologia Copertura	Copertura con Timpano
Spessore [m]	0,70
Rientro [m]	0,00
Solaio Tipo	10 - Copertura Neve
G1k [kN/mq]	1,00
G2k [kN/mq]	1,00
Qk [kN/mq]	0,50
Psi2 [-]	0,00
Semi lunghezza del solaio [m]:	2,00
es2: eccentricità delle reazioni di appo	0,05
Orditura solaio	0° - orditura trasversale
posizione dx del colmo [m]	3,20
altezza del colmo [m]	1,40

Fig.125 – Dati geometrici e caratteristiche meccaniche timpano

Di seguito vengono riportati i risultati dei cinematismi analizzati per la parete est1.

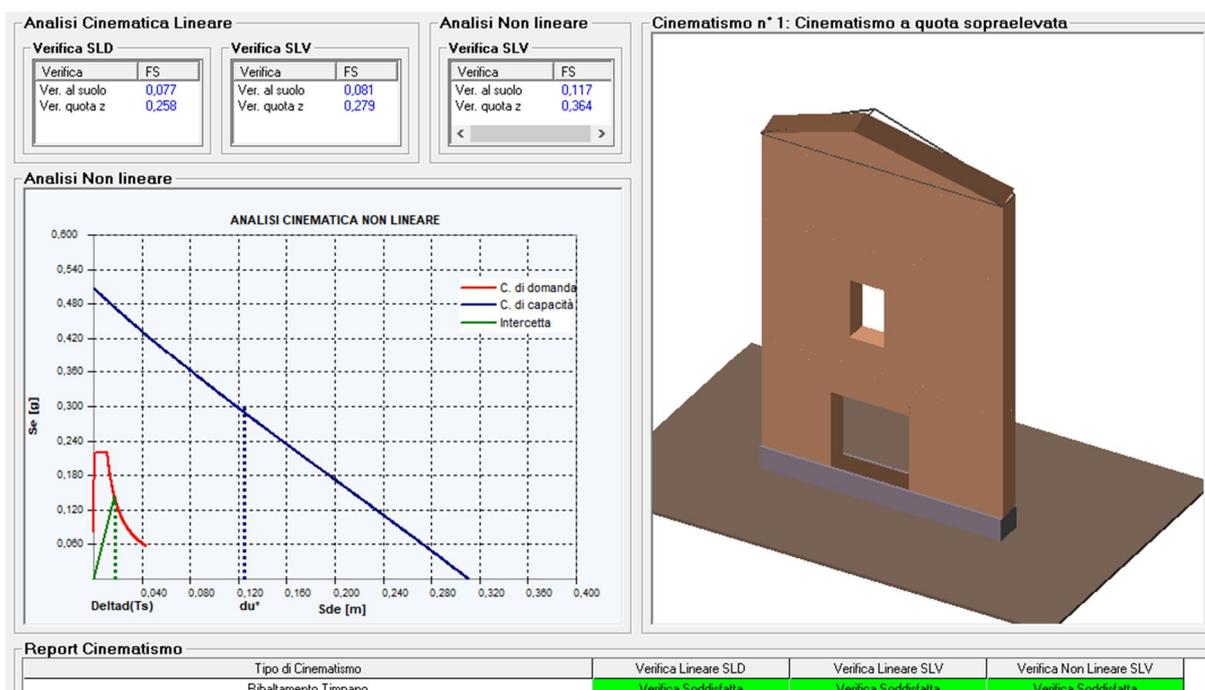


Fig.126 – Cinematismo 1:ribaltamento timpano

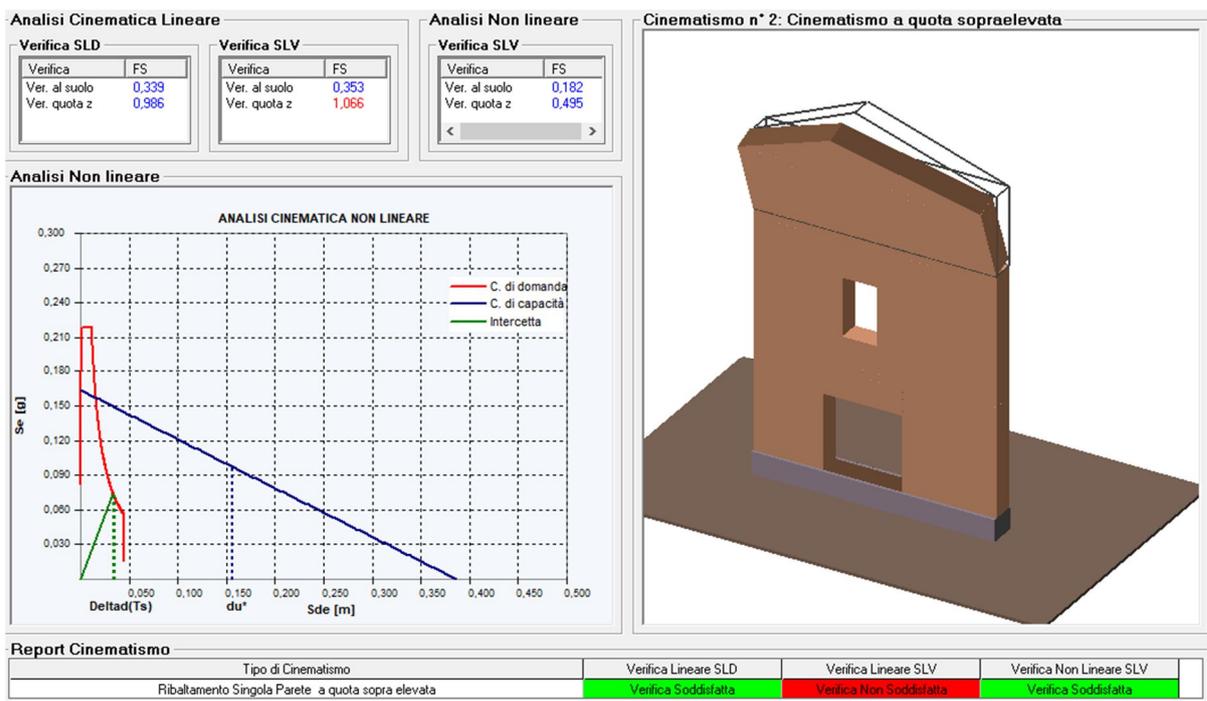


Fig. 127 – Cinematismo 2:ribaltamento singola parete a quota sopra elevata

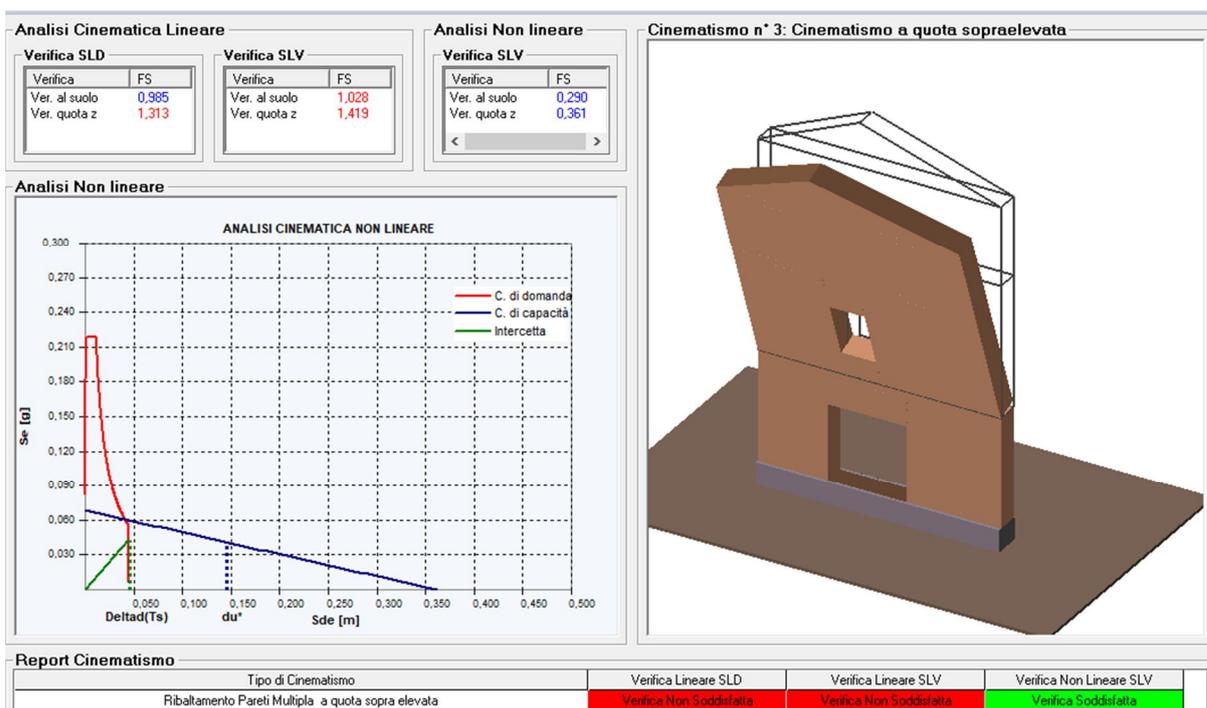


Fig. 128 – Cinematismo 3:ribaltamento parete multipla a quota sopra elevata

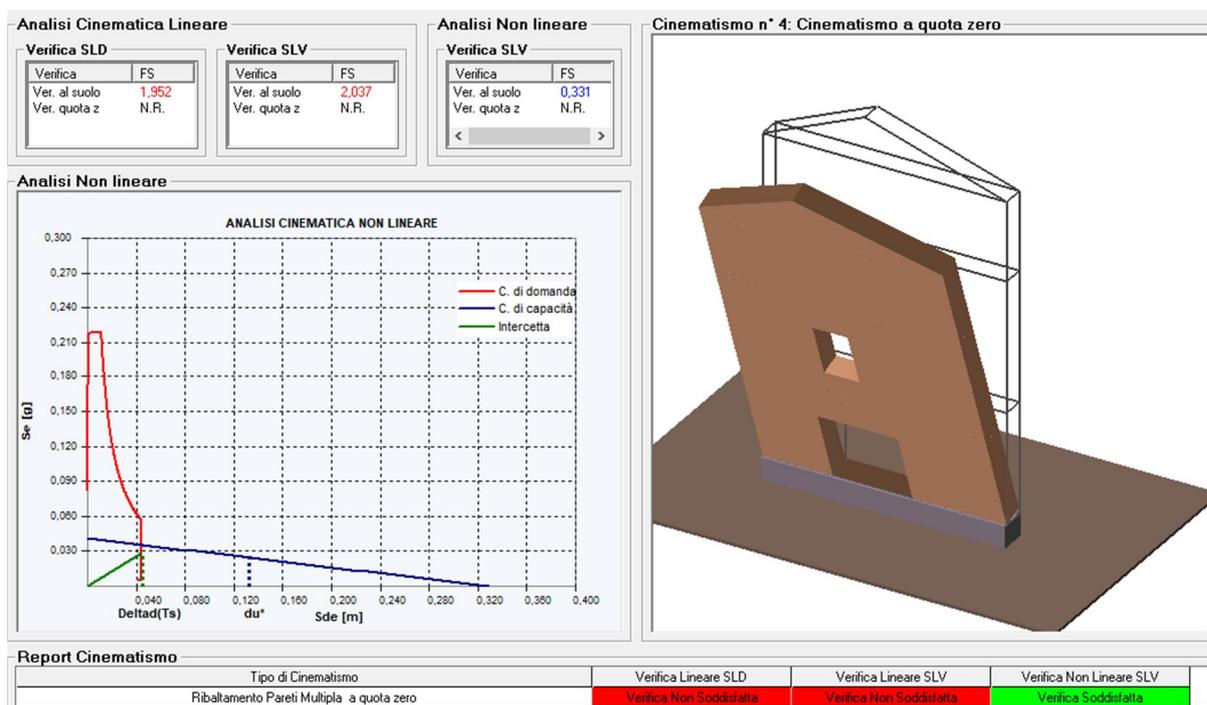


Fig.129 – Cinematismo 4:ribaltamento parete multipla a quota zero

In base ai risultati ottenuti dall'analisi si evince una condizione complessiva carente nei confronti del rischio sismico. Quindi, per impedire i meccanismi evidenziati, si ipotizza di inserire quattro tiranti $\varnothing 12$ in acciaio con capochiave rettangolare di dimensione 20x20 cm.

Tiranti Verificati						
Tirante	Ned [kN]	Ver. Sch	Ver. Punz	Ver. Snerv.	Stato di Ve	alf
Par 2- Tir. 1	7,201941	0,19	0,15	0,27	Verificato	0,0596
Par 2- Tir. 2	7,201941	0,19	0,15	0,27	Verificato	0,0596
Par 3- Tir. 1	2,859702	0,07	0,06	0,11	Verificato	0,1353
Par 3- Tir. 2	2,859702	0,07	0,06	0,11	Verificato	0,1353

Fig. 130 – Verifica tiranti parete est1

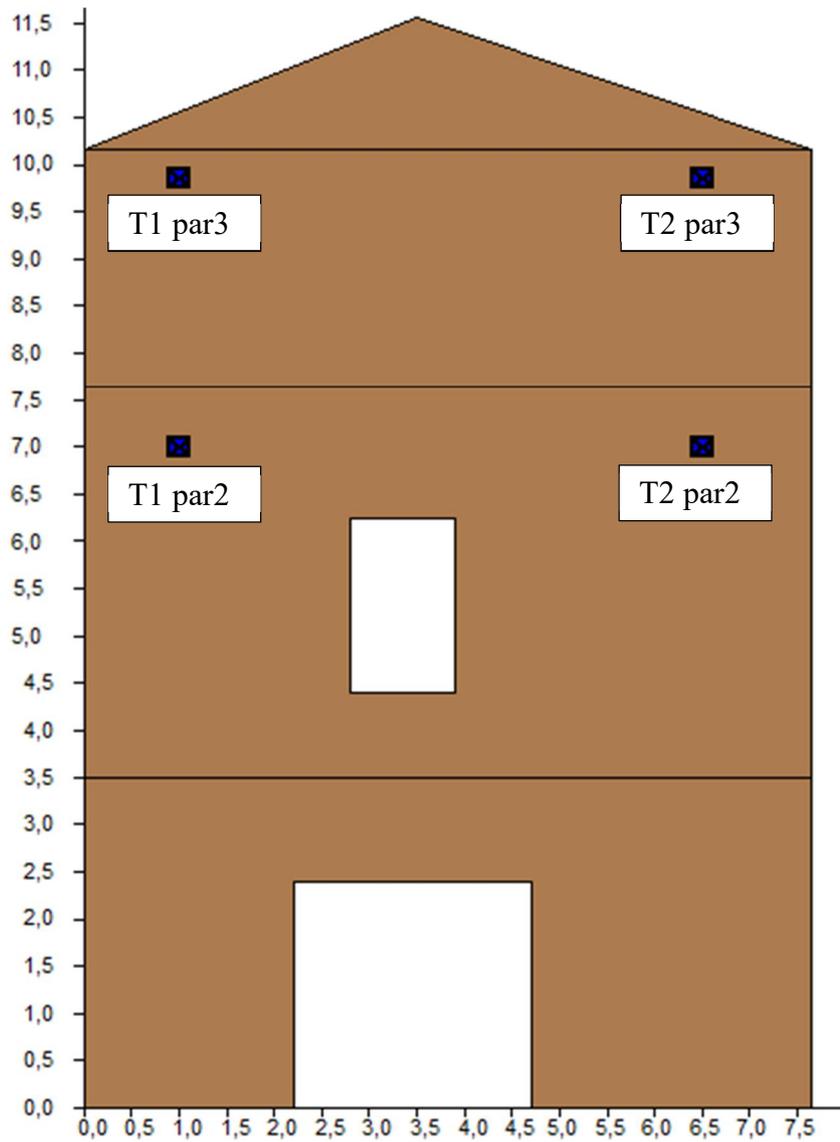


Fig. 131 – Posizione tiranti prospetto frontale parete est1

- Parete est 2

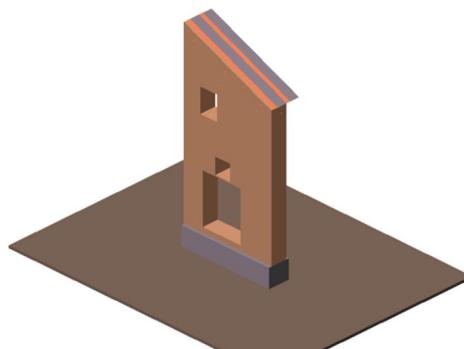


Fig.132 – Modello parete est2



Fig. 133 – Prospetto frontale parete est2

Copertura Falda o Timpano	
Tipologia Copertura	Copertura con Timpano
Spessore [m]	0,60
Rientro [m]	0,00
Solaio Tipo	10 - Copertura Neve
G1k [kN/mq]	1,00
G2k [kN/mq]	1,00
Qk [kN/mq]	0,50
Psi2 [-]	0,00
Semi lunghezza del solaio [m]:	1,00
es2: eccentricità delle reazioni di app	0,05
Orditura solaio	90° - orditura longitudinale
posizione dx del colmo [m]	0,00
altezza del colmo [m]	1,50

Fig. 134 – Dati geometrici timpano

Elemento Parete n° 1	
Altezza [m]	5,10
Larghezza [m]	3,50
Spessore [m]	0,60
Rientro [m]	0,00
Solaio Tipo	3 - Ristorante
G1k [kN/mq]	3,40
G2k [kN/mq]	2,00
Qk [kN/mq]	3,00
Psi2 [-]	0,60
Semi lunghezza del solaio [m]:	0,00
es2: eccentricità delle reazioni di appo	0,00
Orditura solaio	0° - orditura trasversale
Proprietà Meccaniche	7 - Muratura in mattoni pieni e m
Gamma [kN/mc]	18,00
fcd [kN/mq]	962,96
fvd [kN/mq]	18,52
Presenza Cordolo in C.A.	<input type="checkbox"/>
Apertura numero n°1	
Tipologia di Apertura	5 - Apertura da Utente
Posizione X iniz. apertura [m]	0,75
Posizione X fin. apertura [m]	2,25
Altezza inferiore apertura [m]	0,20
Altezza superiore apertura [m]	3,05
Apertura numero n°2	
Tipologia di Apertura	6 - Apertura da Utente
Posizione X iniz. apertura [m]	1,25
Posizione X fin. apertura [m]	1,85
Altezza inferiore apertura [m]	2,10
Altezza superiore apertura [m]	2,40
Apertura numero n°3	
Tipologia di Apertura	7 - Apertura da Utente
Posizione X iniz. apertura [m]	0,65
Posizione X fin. apertura [m]	1,32
Altezza inferiore apertura [m]	3,85
Altezza superiore apertura [m]	0,35

Fig.135 – Dati geometrici e caratteristiche meccaniche parete 1

Di seguito vengono riportati i risultati ottenuti verificando i meccanismi di ribaltamento per la parete est2. Non essendoci problemi di ribaltamento fuori dal piano per questa facciata non sono necessari interventi di consolidamento mediante tiranti.

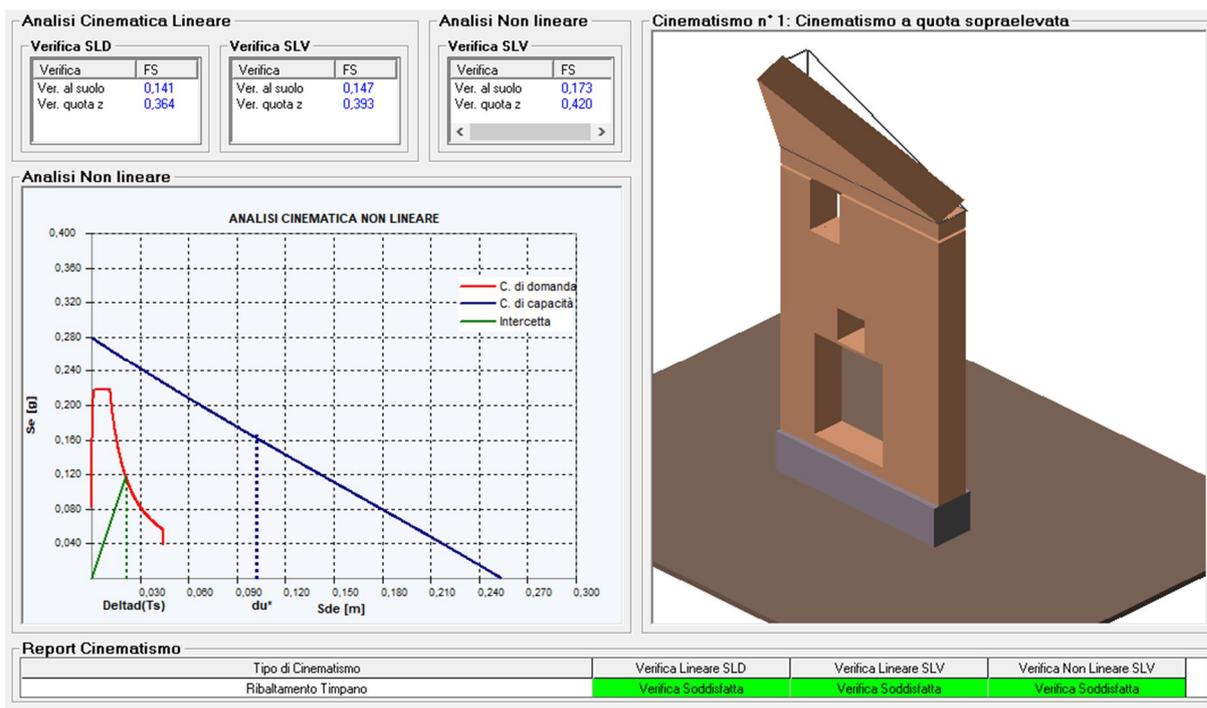


Fig.136 – Cinematismo 1:ribaltamento timpano

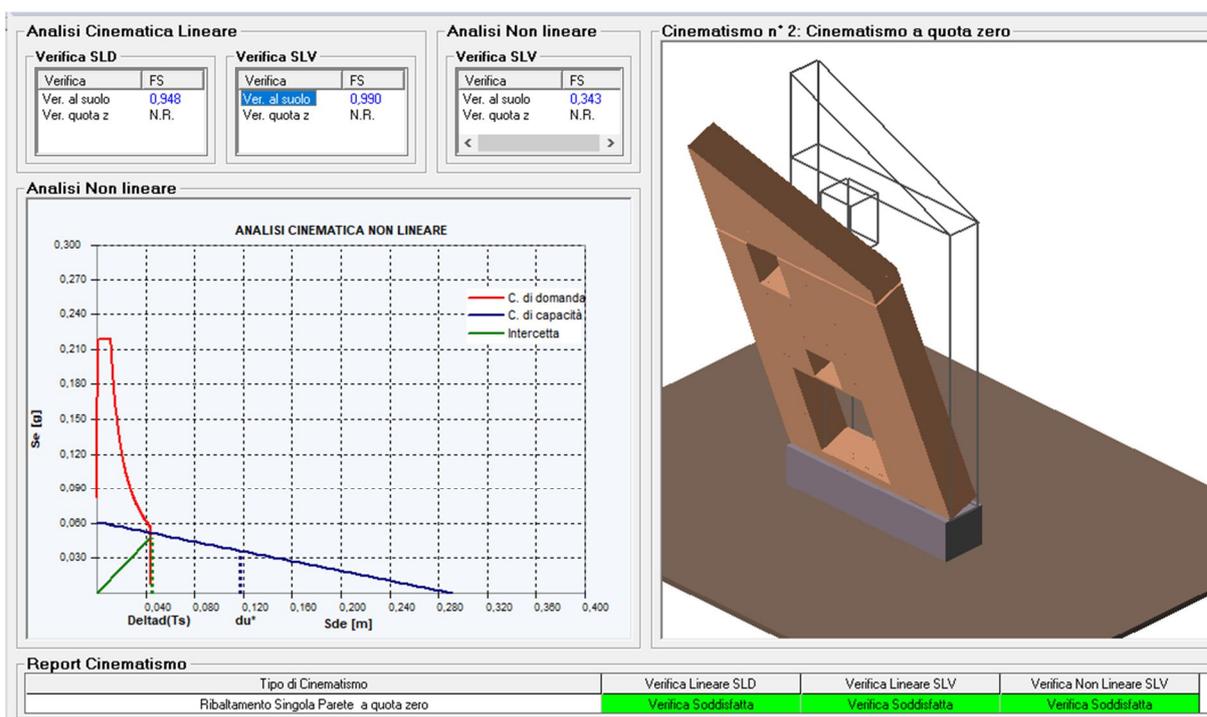


Fig.137 – Cinematismo 2:ribaltamento singola parete a quota zero

- **Parete interna sud1**

Nell'analisi sismica della parete interna sud sono stati identificati tre setti murari (macroelementi) a rischio. Dall'analisi visiva è possibile osservare lesioni sulla facciata corrispondenti alle tre pareti addossate, differenti per epoche di edificazione. Per tale motivo i meccanismi e le situazioni di criticità sono stati studiati per ogni singola parete.

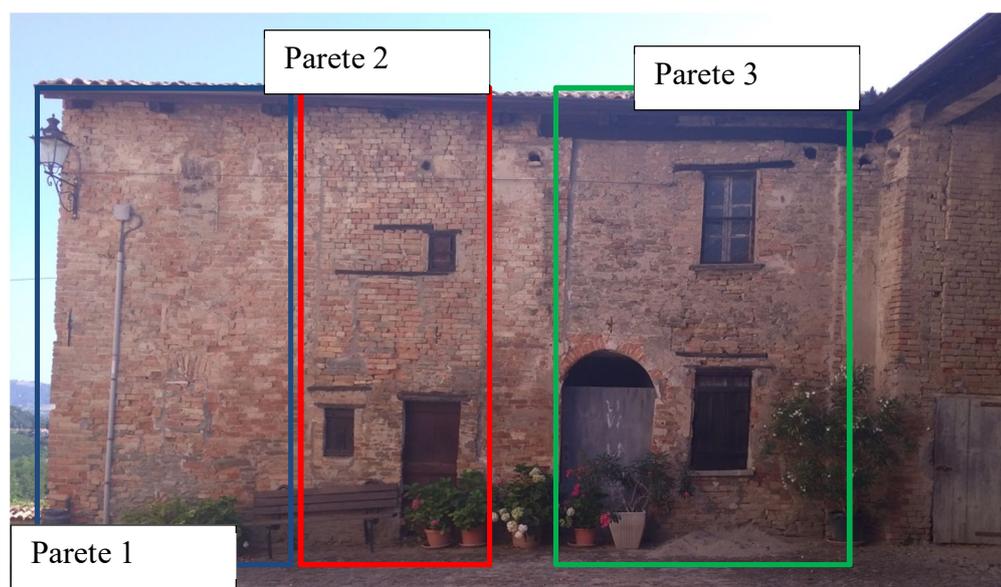


Fig. 138– Macroelementi prospetto interno sud

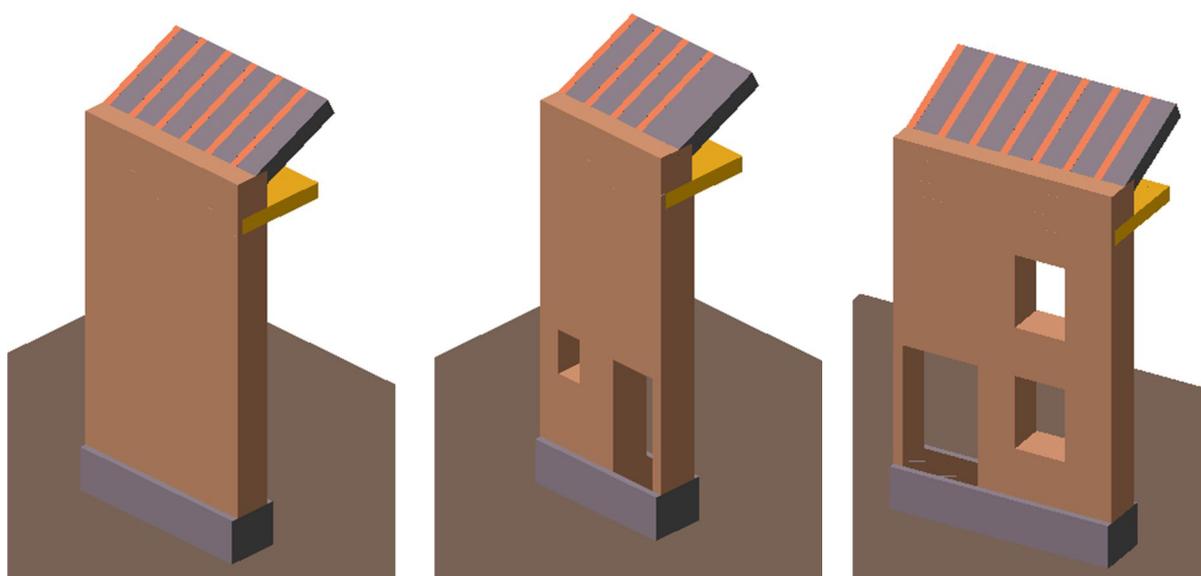


Fig. 139 – Modelli prospetto interno sud

La sezione della parete 1 si estende per una lunghezza di 3m e presenta un'altezza di 5,60m e non vi sono aperture. Si considera una muratura in mattoni pieni e malta di calce.

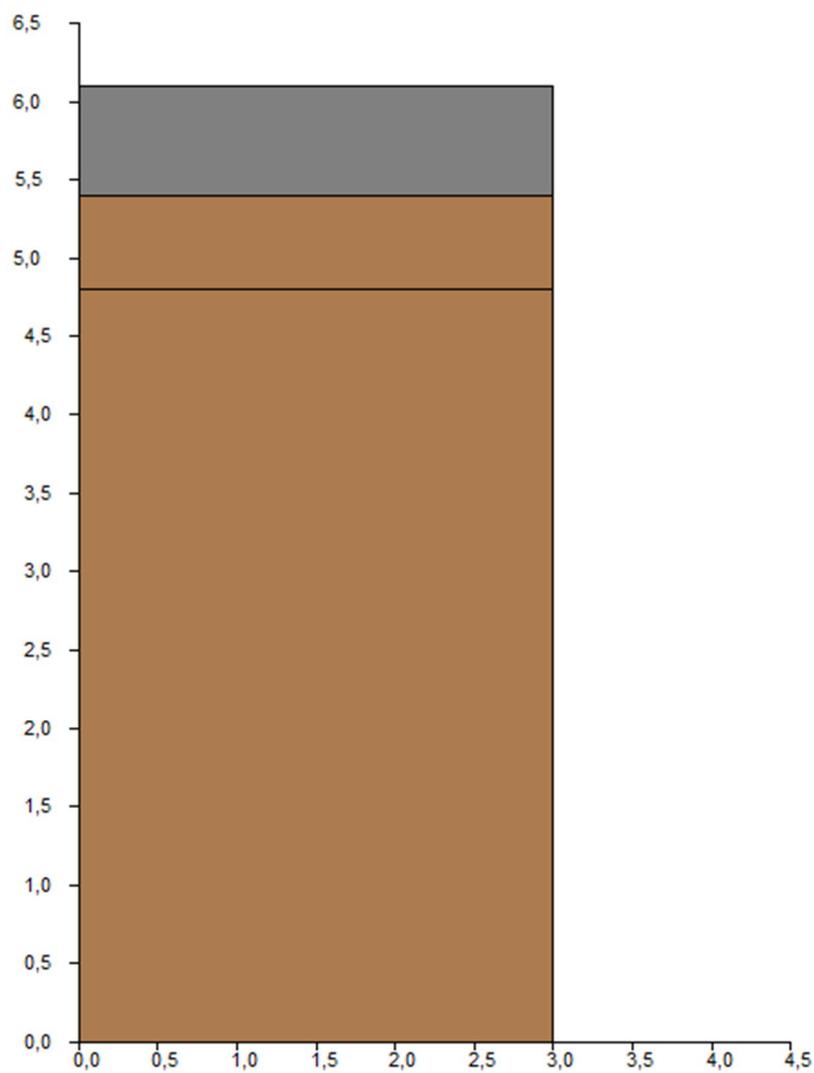


Fig. 140 – Prospetto frontale parete interna sud1

Tipologia Copertura	Copertura con Falda
Spessore [m]	0,60
Rientro [m]	0,00
Solaio Tipo	9 - Copertura Vento
G1k [kN/mq]	0,53
G2k [kN/mq]	1,00
Qk [kN/mq]	0,50
Psi2 [-]	0,00
Semi lunghezza del solaio [m]:	1,65
es2: eccentricità delle reazioni di appo	0,05
Orditura solaio	0° - orditura trasversale
angolo di inclinazione [°]	25,00
Spointa della Falda [kN]	3,10

Fig. 141 – Dati geometrici timpano

Elemento Parete n° 1	
Altezza [m]	4,80
Larghezza [m]	3,00
Spessore [m]	0,60
Rientro [m]	0,00
Solaio Tipo	1 - residenziale Civile Abitazione ▼
G1k [kN/mq]	0,72
G2k [kN/mq]	2,00
Qk [kN/mq]	2,00
Psi2 [-]	0,30
Semi lunghezza del solaio [m]:	1,50
es2: eccentricità delle reazioni di appo	0,00
Orditura solaio	0° - orditura trasversale ▼
Proprietà Meccaniche	7 - Muratura in mattoni pieni e m ▼
Gamma [kN/mc]	18,00
fcd [kN/mq]	962,96
fvd [kN/mq]	18,52
Presenza Cordolo in C.A.	<input type="checkbox"/>

Fig. 142 – Dati geometrici e caratteristiche meccaniche parete 1

Elemento Parete n° 2	
Altezza [m]	0,60
Larghezza [m]	3,00
Spessore [m]	0,60
Rientro [m]	0,00
Solaio Tipo	1 - residenziale Civile Abitazione ▼
G1k [kN/mq]	0,72
G2k [kN/mq]	2,00
Qk [kN/mq]	2,00
Psi2 [-]	0,30
Semi lunghezza del solaio [m]:	0,00
es2: eccentricità delle reazioni di appo	0,00
Orditura solaio	90° - orditura longitudinale ▼
Proprietà Meccaniche	7 - Muratura in mattoni pieni e m ▼
Gamma [kN/mc]	18,00
fcd [kN/mq]	962,96
fvd [kN/mq]	18,52
Presenza Cordolo in C.A.	<input type="checkbox"/>

Fig. 143 – Dati geometrici e caratteristiche meccaniche parete 2

I cinematismi analizzati riguardano la rotazione rigida del muro attorno a una cerniera orizzontale alla base e in corrispondenza del solaio. Dalle verifiche svolte non si evidenziano possibili collassi a seguito del paramento esterno, per cui si è deciso di non introdurre presidi.

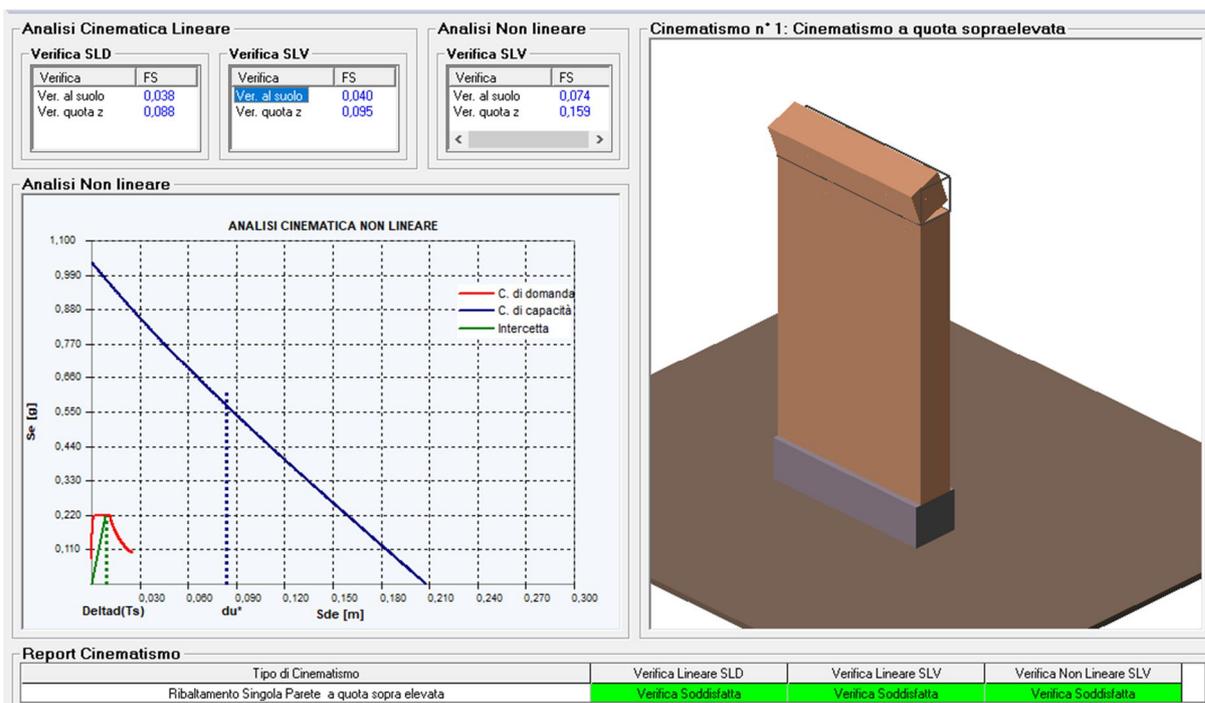


Fig. 144 – Cinematismo 1: ribaltamento singola parete a quota sopra elevata

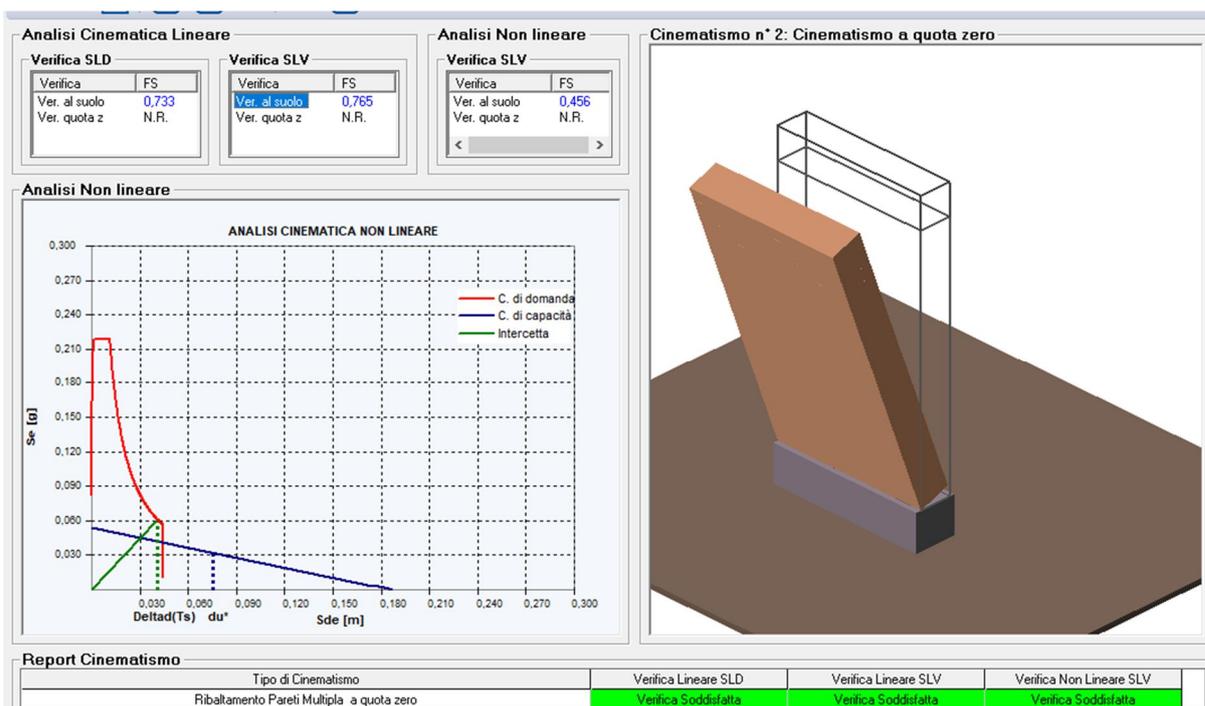


Fig. 145 – Cinematismo 2: ribaltamento parete multipla a quota sopra zero

- Parete interna sud2

Segue l'analisi del setto murario intermedio del prospetto interno sud, avete un muratura in laterizio e malta di calce. La sezione considerata si estende per una lunghezza di 2,35m e raggiunge un'altezza pari a 5,4m.

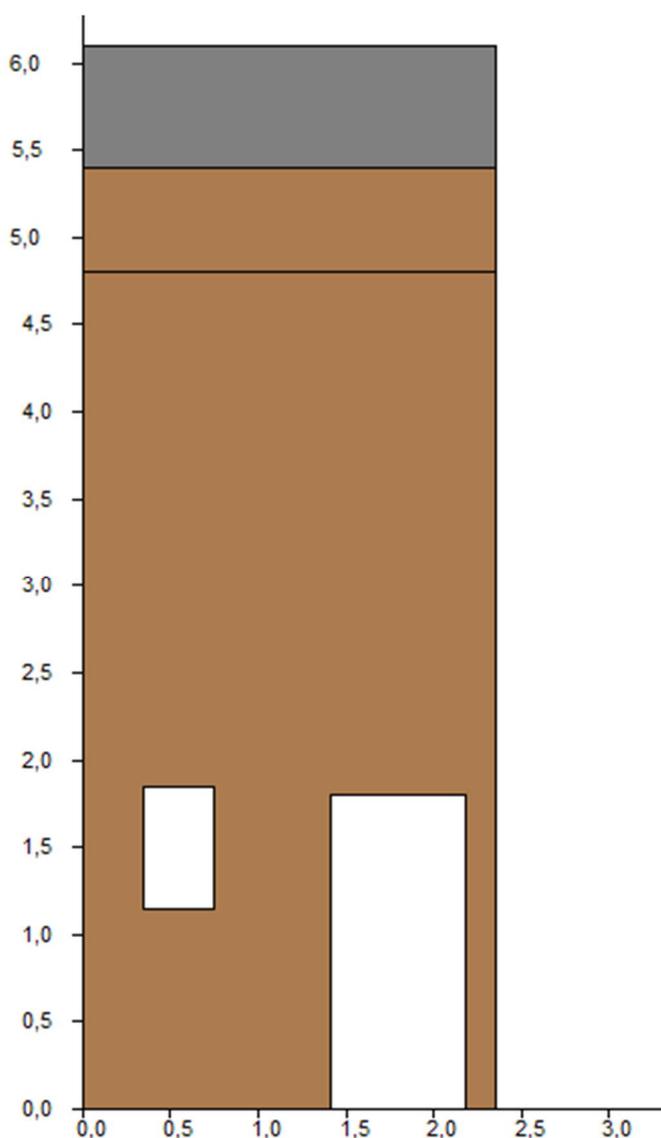


Fig. 146 – Prospetto frontale parete interna sud2

Elemento Parete n° 1	
Altezza [m]	4,80
Larghezza [m]	2,35
Spessore [m]	0,65
Rientro [m]	0,00
Solaio Tipo	1 - residenziale Civile Abitazione
G1k [kN/mq]	0,72
G2k [kN/mq]	2,00
Qk [kN/mq]	2,00
Psi2 [-]	0,30
Semi lunghezza del solaio [m]:	1,50
es2: eccentricità delle reazioni di app	0,00
Orditura solaio	0° - orditura trasversale
Proprietà Meccaniche	7 - Muratura in mattoni pieni e m
Gamma [kN/mc]	18,00
fcd [kN/mq]	962,96
fvd [kN/mq]	18,52
Presenza Cordolo in C.A.	<input type="checkbox"/>
Apertura numero n°1	
Tipologia di Apertura	5 - Apertura da Utente
Posizione X iniz. apertura [m]	0,35
Posizione X fin. apertura [m]	0,75
Altezza inferiore apertura [m]	1,15
Altezza superiore apertura [m]	2,95
Apertura numero n°2	
Tipologia di Apertura	6 - Apertura da Utente
Posizione X iniz. apertura [m]	1,41
Posizione X fin. apertura [m]	2,18
Altezza inferiore apertura [m]	0,00
Altezza superiore apertura [m]	3,00

Fig. 147 – Dati geometrici e caratteristiche meccaniche parete 1

Elemento Parete n° 2	
Altezza [m]	0,60
Larghezza [m]	2,35
Spessore [m]	0,60
Rientro [m]	0,00
Solaio Tipo	1 - residenziale Civile Abitazione
G1k [kN/mq]	0,72
G2k [kN/mq]	2,00
Qk [kN/mq]	2,00
Psi2 [-]	0,30
Semi lunghezza del solaio [m]:	0,00
es2: eccentricità delle reazioni di appi	0,00
Orditura solaio	90° - orditura longitudinale
Proprietà Meccaniche	7 - Muratura in mattoni pieni e m:
Gamma [kN/mc]	18,00
fcd [kN/mq]	962,96
fvd [kN/mq]	18,52
Presenza Cordolo in C.A.	<input type="checkbox"/>

Fig. 148 – Dati geometrici e caratteristiche meccaniche parete 2

Copertura Falda o Timpano	
Tipologia Copertura	Copertura con Falda
Spessore [m]	0,60
Rientro [m]	0,00
Solaio Tipo	9 - Copertura Vento
G1k [kN/mq]	0,53
G2k [kN/mq]	1,00
Qk [kN/mq]	0,50
Psi2 [-]	0,00
Semi lunghezza del solaio [m]:	1,65
es2: eccentricità delle reazioni di appi	0,05
Orditura solaio	0° - orditura trasversale
angolo di inclinazione [°]	25,00
Spointa della Falda [kN]	2,57

Fig. 149 – Dati geometrici e caratteristiche copertura

I cinematismi analizzati riguardano la rotazione rigida del muro attorno a una cerniera orizzontale alla base e in corrispondenza del solaio [Fig.150 e fig.151]

Dalle verifiche svolte la situazione peggiore è quella corrispondente alla rotazione del paramento esterno alla base. Quindi per impedire il fenomeno si devono inserire tiranti che permettano di legare tra loro i muri. La soluzione adottata prevede un tirante $\varnothing 24$ in acciaio, sulla parete 1, con capochiave rettangolare di dimensione 20x20 cm [Fig.153].

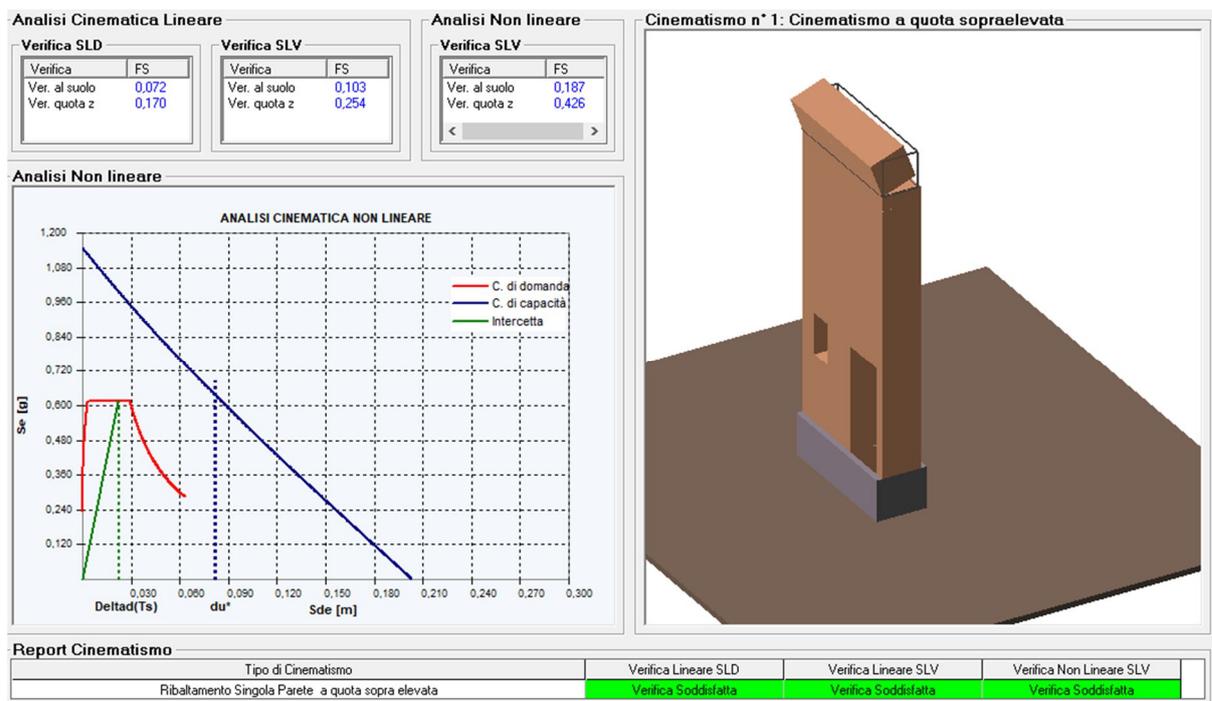


Fig.150 – Cinematismo 1: ribaltamento singola parete a quota sopra elevata

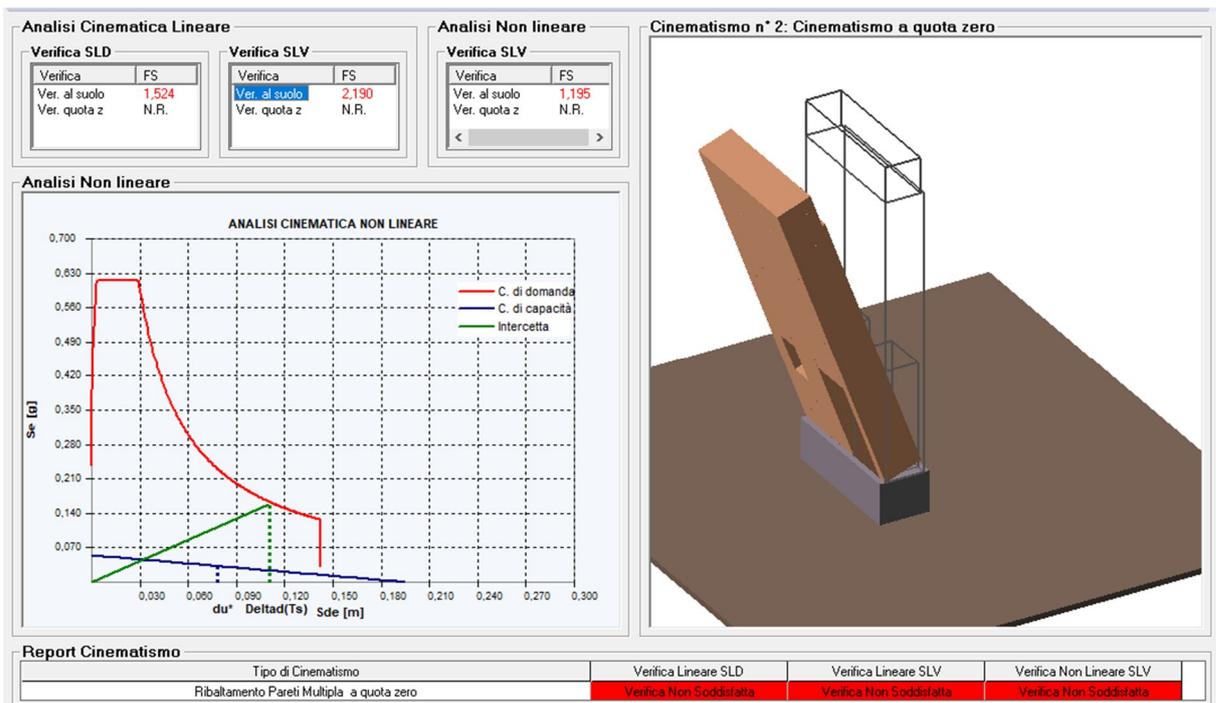
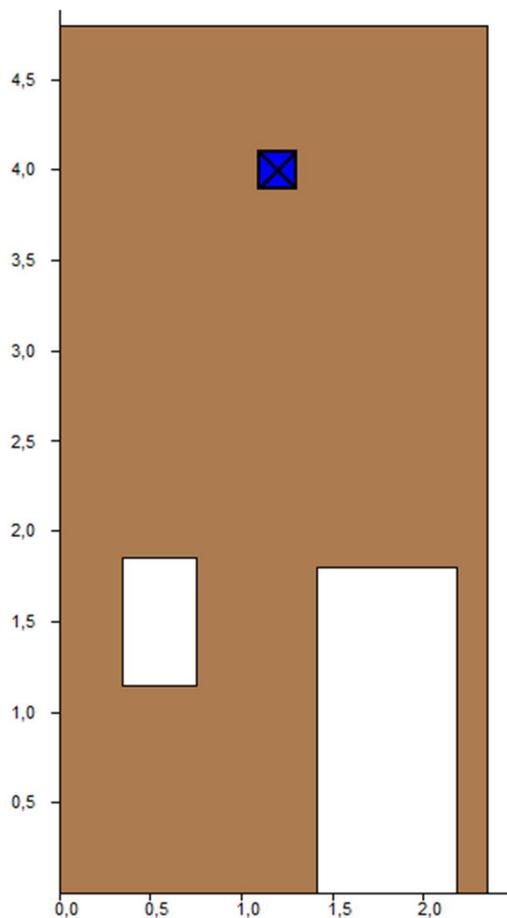


Fig.151 – Cinematismo 2: ribaltamento parete multipla a quota sopra zero



Tiranti Verificati						
Tirante	Ned [kN]	Ver.Sch	Ver. Punz	Ver. Snerv.	Stato di Ve	alf
Par 1- Tir. 1	2,030799	0,05	0,06	0,02	Verificato	0,0501

Fig. 153 – Verifica tirante

Fig. 152 – Posizione tirante parete interna sud2

- **Parete interna sud3**

Si analizza il terzo setto murario del prospetto interno sud, avete un muratura in laterizio e malta di calce. La sezione considerata presenta tre aperture e si estende per una lunghezza di 3,5m e raggiunge un'altezza pari a 5,4m.

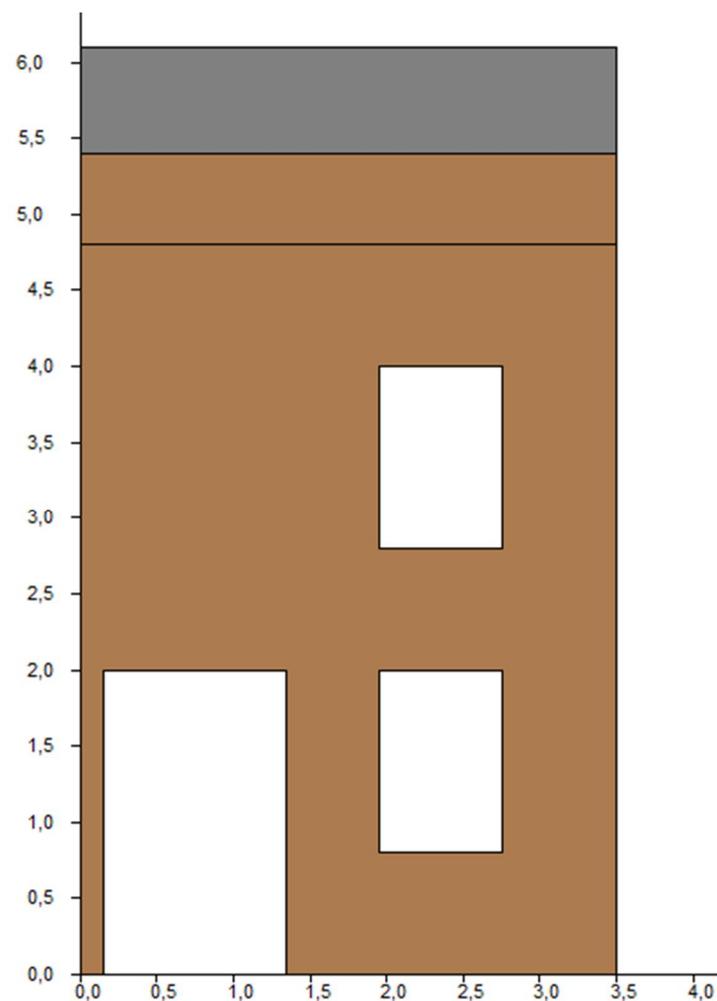


Fig. 154 – Prospetto frontale parete interna sud3

Copertura Falda o Timpano	
Tipologia Copertura	Copertura con Falda
Spessore [m]	0,60
Rientro [m]	0,00
Solaio Tipo	9 - Copertura Vento
G1k [kN/mq]	0,53
G2k [kN/mq]	1,00
Qk [kN/mq]	0,50
Psi2 [-]	0,00
Semi lunghezza del solaio [m]:	1,65
es2: eccentricità delle reazioni di appo	0,05
Orditura solaio	0° - orditura trasversale
angolo di inclinazione [°]	25,00
Sointa della Falda [kN]	4,97

Fig.155 – Dati geometrici copertura

Elemento Parete n° 1		Apertura numero n° 1	
Altezza [m]	4,80	Tipologia di Apertura	5 - Apertura da Utente
Larghezza [m]	3,50	Posizione X iniz. apertura [m]	0,15
Spessore [m]	0,60	Posizione X fin. apertura [m]	1,35
Rientro [m]	0,00	Altezza inferiore apertura [m]	0,00
Solaio Tipo	1 - residenziale Civile Abitazione	Altezza superiore apertura [m]	2,80
G1k [kN/mq]	0,72	Apertura numero n° 2	
G2k [kN/mq]	2,00	Tipologia di Apertura	6 - Apertura da Utente
Qk [kN/mq]	2,00	Posizione X iniz. apertura [m]	1,95
Psi2 [-]	0,30	Posizione X fin. apertura [m]	2,75
Semi lunghezza del solaio [m]	1,50	Altezza inferiore apertura [m]	0,80
es2: eccentricità delle reazioni di appo	0,00	Altezza superiore apertura [m]	2,80
Orditura solaio	0° - orditura trasversale	Apertura numero n° 3	
Proprietà Meccaniche	7 - Muratura in mattoni pieni e m	Tipologia di Apertura	7 - Apertura da Utente
Gamma [kN/mc]	18,00	Posizione X iniz. apertura [m]	1,95
fcd [kN/mq]	962,96	Posizione X fin. apertura [m]	2,75
fvd [kN/mq]	18,52	Altezza inferiore apertura [m]	2,80
Presenza Cordolo in C.A.	<input type="checkbox"/>	Altezza superiore apertura [m]	0,80

Fig. 156 – Dati geometrici e caratteristiche meccaniche parete 1

Elemento Parete n° 2	
Altezza [m]	0,60
Larghezza [m]	3,50
Spessore [m]	0,60
Rientro [m]	0,00
Solaio Tipo	1 - residenziale Civile Abitazione
G1k [kN/mq]	0,72
G2k [kN/mq]	2,00
Qk [kN/mq]	2,00
Psi2 [-]	0,30
Semi lunghezza del solaio [m]	0,00
es2: eccentricità delle reazioni di appo	0,00
Orditura solaio	90° - orditura longitudinale
Proprietà Meccaniche	7 - Muratura in mattoni pieni e m
Gamma [kN/mc]	18,00
fcd [kN/mq]	962,96
fvd [kN/mq]	18,52
Presenza Cordolo in C.A.	<input type="checkbox"/>

Fig. 157– Dati geometrici e caratteristiche meccaniche parete 2

I cinatismi analizzati riguardano la rotazione rigida del muro attorno a una cerniera orizzontale alla base e in corrispondenza del solaio [Fig.158 e fig.159]

Dall'analisi dei cinatismi si evince che la situazione peggiore è quella corrispondente alla rotazione del paramento esterno alla base. Per impedire tale il fenomeno si interviene con l'inserimento di tirante $\varnothing 24$ in acciaio, sulla parete 1, con capochiave rettangolare di dimensione 20x20 cm [Fig.160]

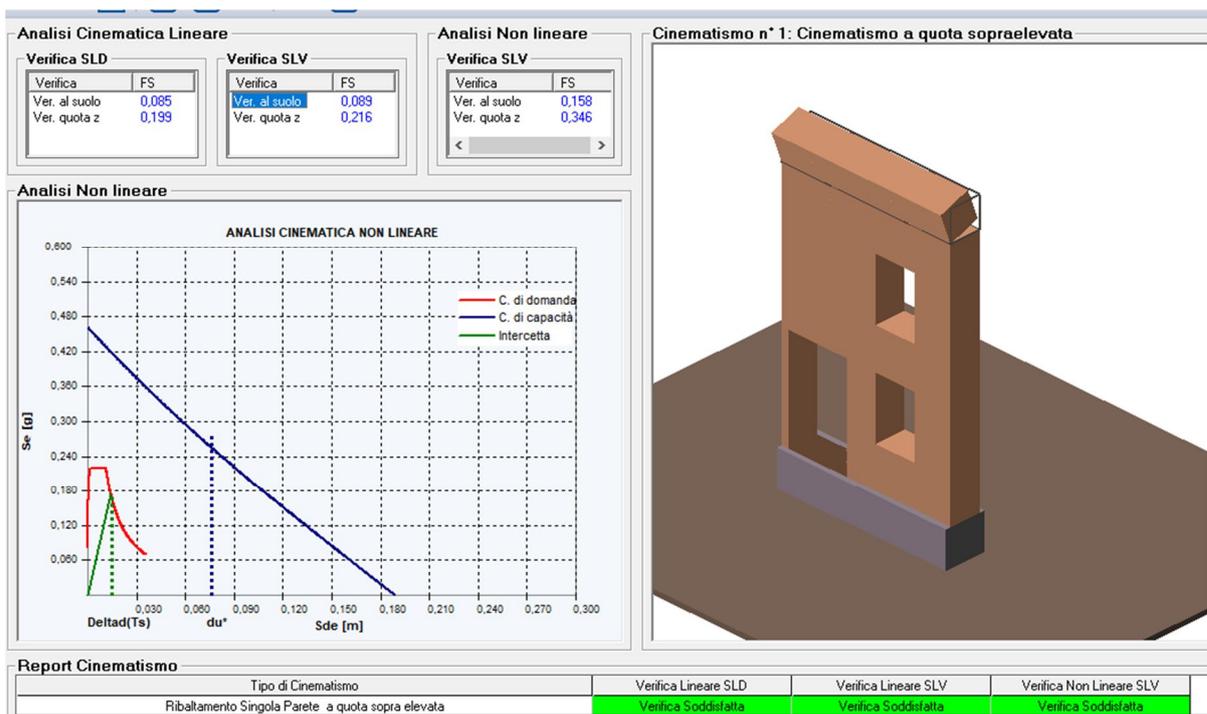


Fig. 158 – Cinematismo 1: ribaltamento singola parete a quota sopra elevata

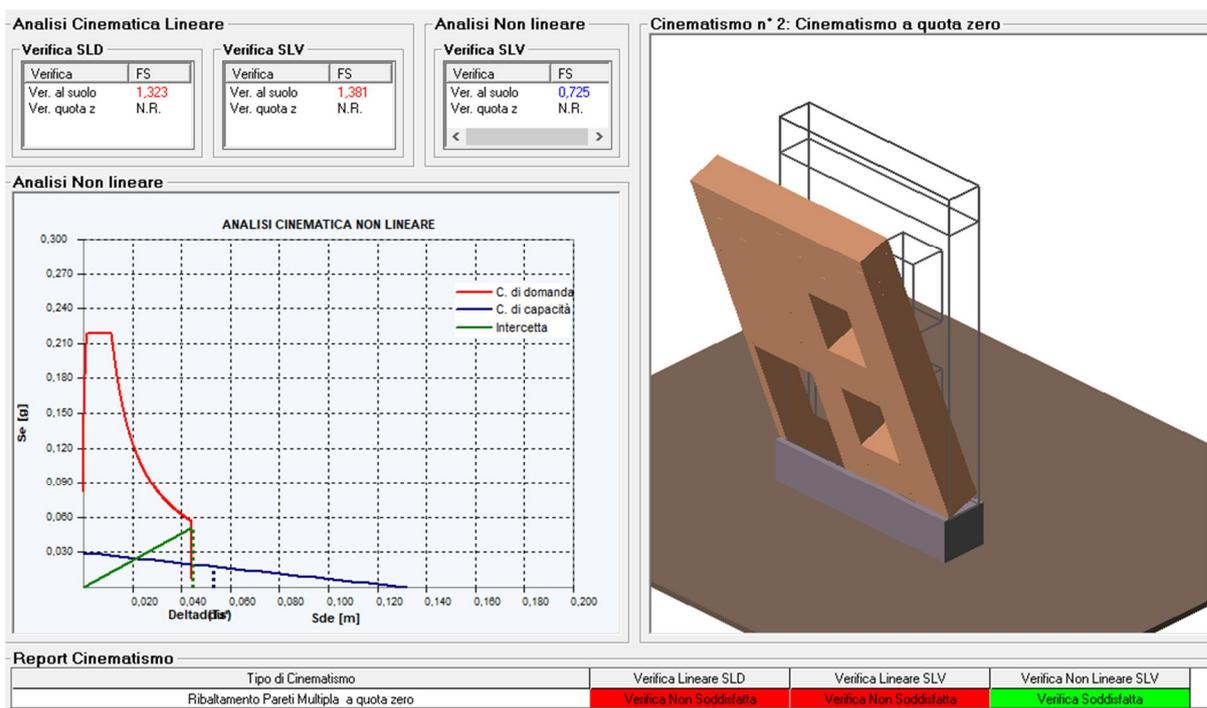


Fig.159 – Cinematismo 2: ribaltamento parete multipla a quota sopra zero

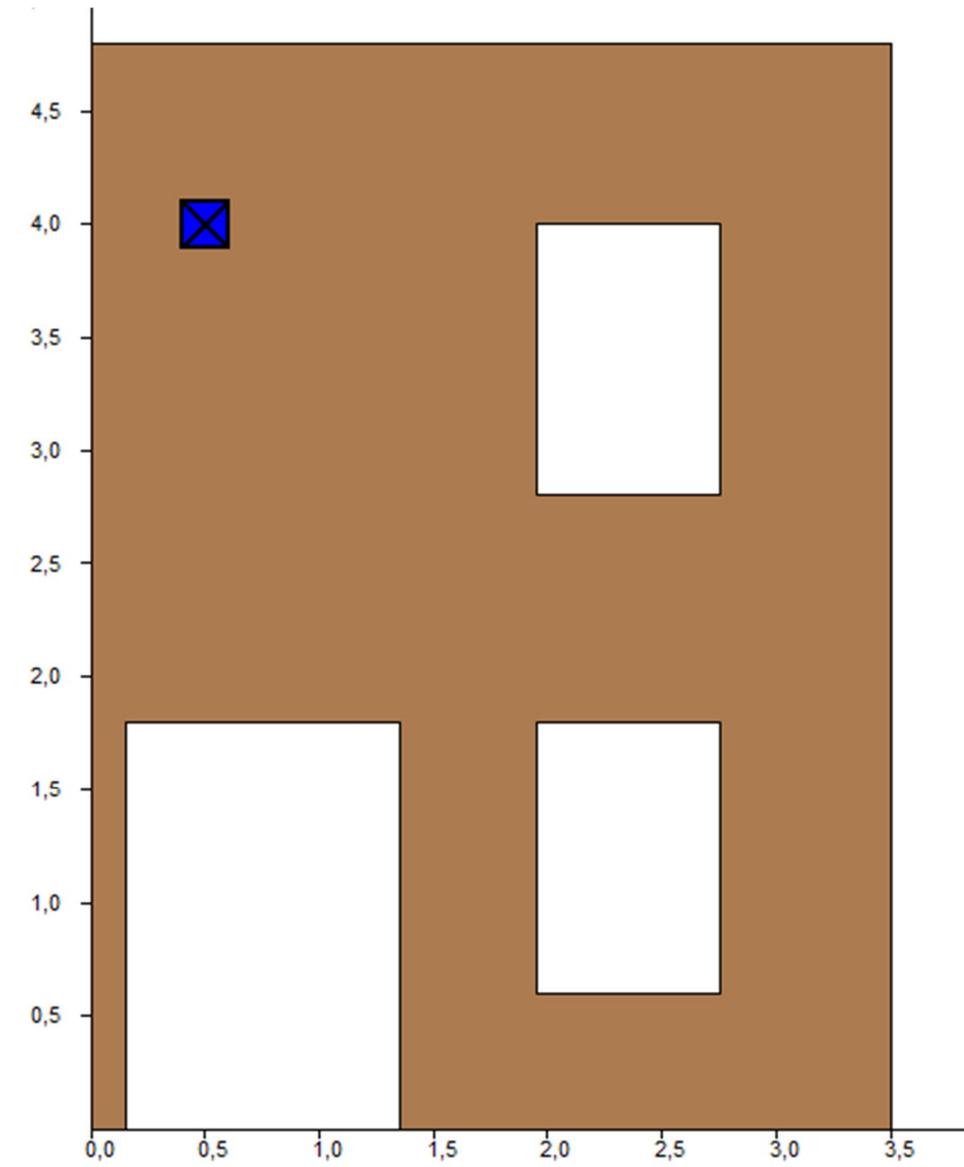


Fig. 160 – Posizione tirante parete interna sud3

Tiranti Verificati						
Tirante	Ned [kN]	Ver. Sch	Ver. Punz	Ver. Snerv.	Stato di Ve	alf
Par 1- Tir. 1	2	0,05	0,04	0,02	Verificato	0,0503

Fig.161 – Verifica tirante

- **Parete portico**

L'ultima parete verificata è quella relativa a una porzione del portico; questa sezione ha muratura portante in lattoni pieni e laterizio e ha dimensioni 8,35x6,40m. L'analisi è stata svolta considerando anche le nuove aperture previste nel progetto di riqualificazione.

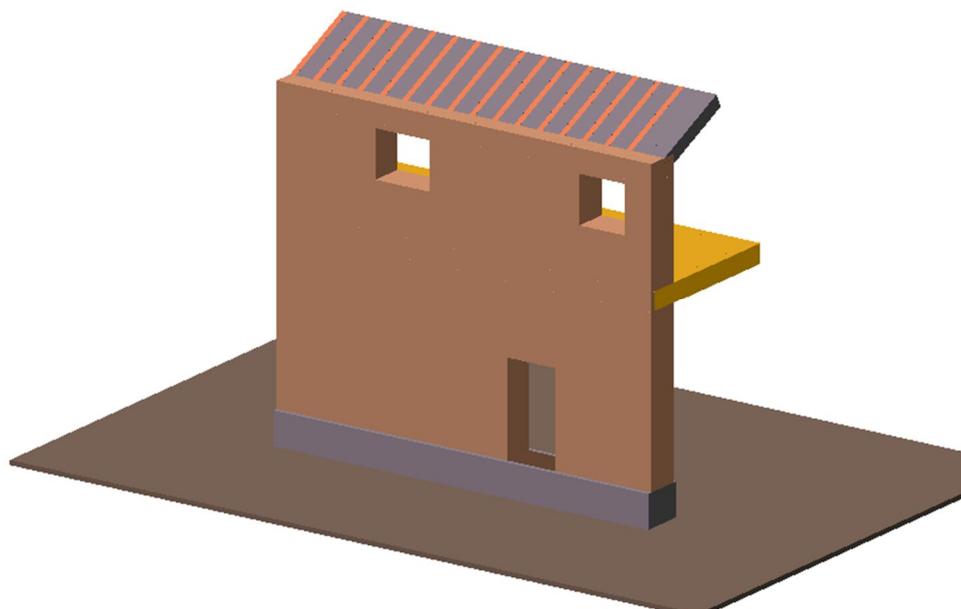


Fig. 162 – Modello parete est2

☐ Copertura Falda o Timpano	
Tipologia Copertura	Copertura con Falda
Spessore [m]	0,70
Rientro [m]	0,00
Solaio Tipo	9 - Copertura Vento
G1k [kN/mq]	1,00
G2k [kN/mq]	1,00
Qk [kN/mq]	0,50
Psi2 [-]	0,00
Semi lunghezza del solaio [m]:	1,90
es2: eccentricità delle reazioni di appo	0,05
Orditura solaio	0° - orditura trasversale
angolo di inclinazione [°]	25,00
Sointa della Falda [kN]	13,41

Fig. 163 – Dati geometrici copertura

Elemento Parete n° 1	
Altezza [m]	3,90
Larghezza [m]	8,35
Spessore [m]	0,70
Rientro [m]	0,00
Solaio Tipo	3 - Ristorante
G1k [kN/mq]	0,75
G2k [kN/mq]	2,00
Qk [kN/mq]	3,00
Psi2 [-]	0,60
Semi lunghezza del solaio [m]:	3,38
es2: eccentricità delle reazioni di appo	0,05
Orditura solaio	0° - orditura trasversale
Proprietà Meccaniche	7 - Muratura in mattoni pieni e m
Gamma [kN/mc]	18,00
fcd [kN/mq]	962,96
fvd [kN/mq]	18,52
Presenza Cordolo in C.A.	<input type="checkbox"/>
Apertura numero n°1	
Tipologia di Apertura	5 - Apertura da Utente
Posizione X iniz. apertura [m]	5,13
Posizione X fin. apertura [m]	6,20
Altezza inferiore apertura [m]	0,00
Altezza superiore apertura [m]	1,90

Fig.164 – Dati geometrici e caratteristiche meccaniche parete 1

Elemento Parete n° 2	
Altezza [m]	2,50
Larghezza [m]	8,35
Spessore [m]	0,70
Rientro [m]	0,00
Solaio Tipo	3 - Ristorante
G1k [kN/mq]	0,75
G2k [kN/mq]	2,00
Qk [kN/mq]	3,00
Psi2 [-]	0,60
Semi lunghezza del solaio [m]:	0,00
es2: eccentricità delle reazioni di appo	0,05
Orditura solaio	0° - orditura trasversale
Proprietà Meccaniche	7 - Muratura in mattoni pieni e m
Gamma [kN/mc]	18,00
fcd [kN/mq]	962,96
fvd [kN/mq]	18,52
Presenza Cordolo in C.A.	<input type="checkbox"/>
Apertura numero n°1	
Tipologia di Apertura	6 - Apertura da Utente
Posizione X iniz. apertura [m]	2,20
Posizione X fin. apertura [m]	3,40
Altezza inferiore apertura [m]	1,00
Altezza superiore apertura [m]	0,50
Apertura numero n°2	
Tipologia di Apertura	7 - Apertura da Utente
Posizione X iniz. apertura [m]	6,75
Posizione X fin. apertura [m]	7,75
Altezza inferiore apertura [m]	1,00
Altezza superiore apertura [m]	0,50

Fig. 165 – Dati geometrici e caratteristiche meccaniche parete 2

I cinematismi analizzati riguardano la rotazione rigida del muro attorno a una cerniera orizzontale alla base e in corrispondenza del solaio [Fig]. Dalle verifiche svolte non si evidenziano possibili collassi a seguito del paramento esterno, per cui si è deciso di non consolidare la muratura.

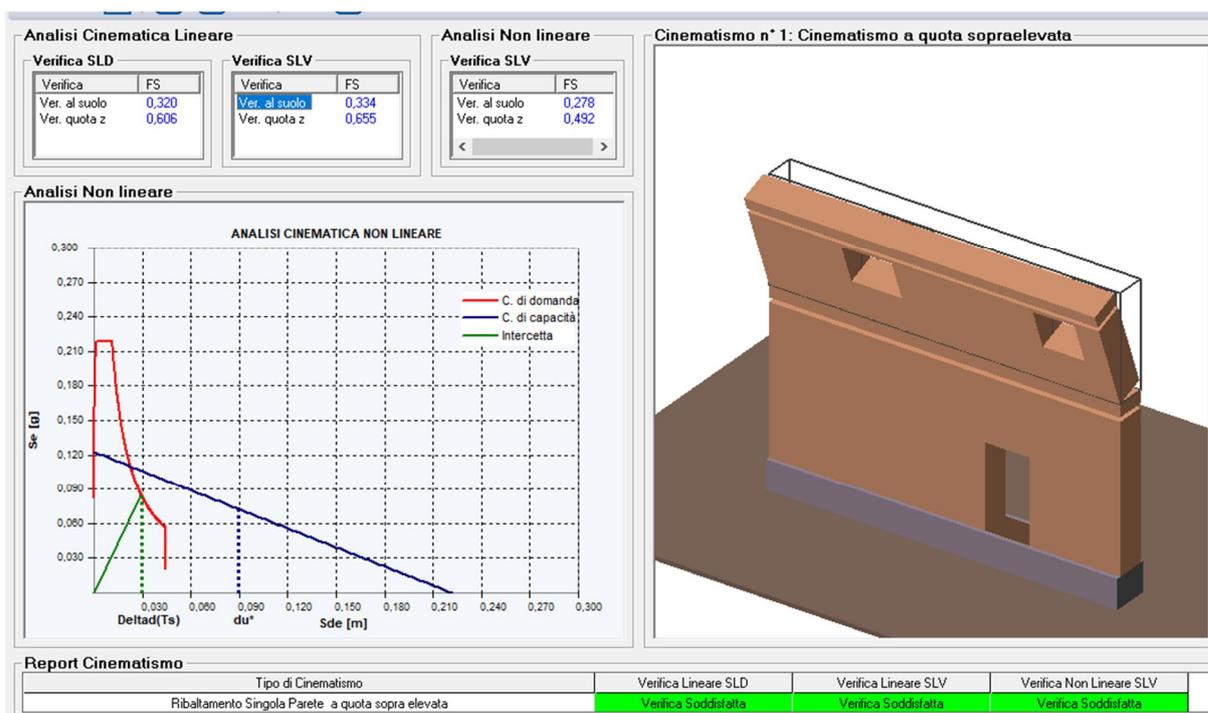


Fig.166 – Cinematismo 1: ribaltamento singola parete a quota sopra elevata

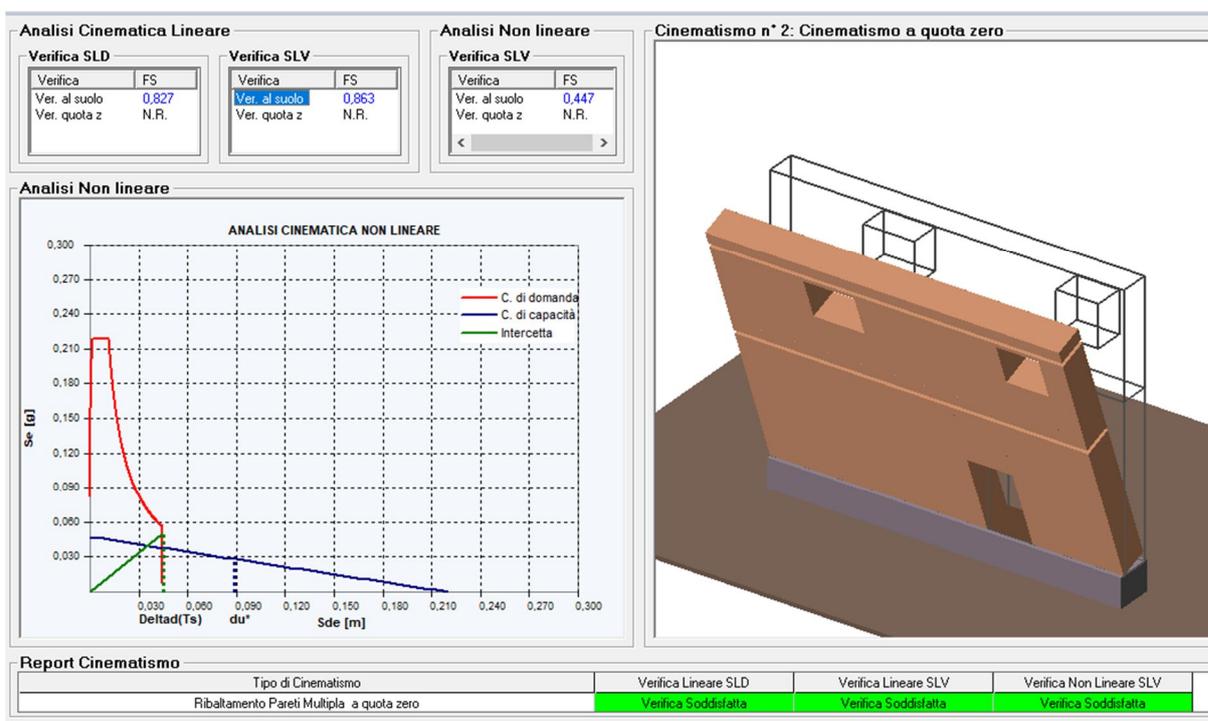


Fig. 167 – Cinematismo 2: ribaltamento parete multipla a quota sopra zero

5.1.3 Interventi di rinforzo della muratura

Questa tipologia d'intervento è orientata a risanare e a riparare parti di muratura deteriorata e lesionata oltre che produrre un incremento delle proprietà meccaniche dei maschi murari.

Affinché venga migliorata l'integrità strutturale complessiva è consigliabile valutare attentamente la tipologia costruttiva per evitare che i singoli interventi risultino inadeguati.

Le soluzioni proposte impiegano materiali con caratteristiche fisiche e chimiche e meccaniche compatibili mirate al recupero di una resistenza uniforme all'interno della parete oltre che continuità nella rigidezza, anche nell'ipotesi di realizzare ammorsature nelle pareti.

Nel caso in esame è necessario intervenire sulla muratura lesionata alla base della torre, lato Ovest, con tecnica scuci e cuci. Si dovranno garantire adeguate ammorsature nel piano del paramento murario, in modo da ottenere la massima omogeneità e monoliticità della parete riparata.

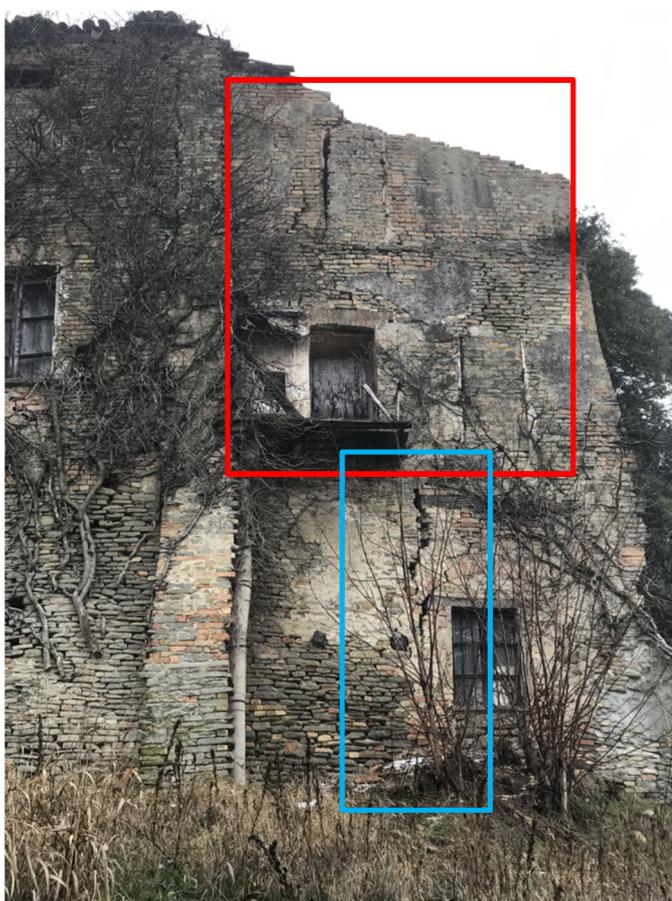


Fig. 168 – Localizzazione interventi di rinforzo sulla muratura prospetto Ovest



Fig. 169 – Localizzazione interventi di rinforzo sulla muratura prospetto Nord

Nel caso in esame gli interventi che appaiono necessari sono:

- Ricostruzione dell'apparecchiatura muraria in corrispondenza delle aperture tamponate con tecnica scuci-cuci (Fig.168 riquadro rosso);
- Ricucitura della muratura lesionata della facciata Nord e alla base della torre mediante inserimento di barre elicoidali tramite: realizzazione dei fori, inserimento delle barre e stuccatura (Fig.168 riquadro blu).

I fori dovranno essere realizzati in prossimità della lesione in zone compatte della muratura. Si procede all'inserimento delle barre all'interno del perforo con mandrino installato su trapano martello. Completata l'operazione d'inserimento si procede alla stuccatura del foro. Essendo in questo caso un esempio di lesioni passanti, si dovrà procedere alla stuccatura della lesione prima di inserire le barre elicoidali e inserire opportuna boiaccia per ripristinare la qualità della muratura.

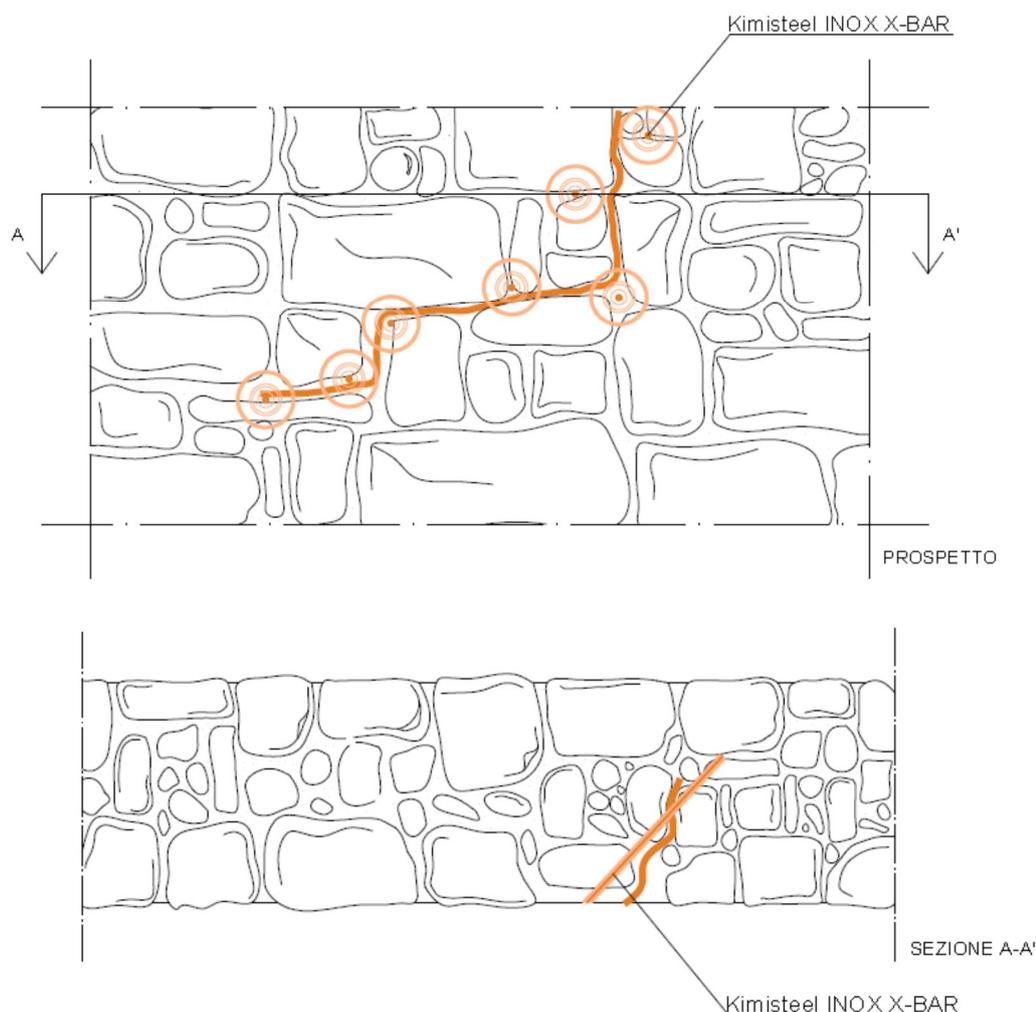


Fig. 170 – Cucitura lesioni muratura con l'impiego di barre elicoidali Kimisteel INOX X-BAR

5.1.4 Progetto di riqualificazione

La proposta progettuale è orientata a promuovere le principali attrazioni truistiche e naturali presenti sul territorio, al fine di sviluppare un'idea di valorizzazione in grado di generare nuove opportunità di sviluppo.

In linea con gli strumenti urbanistici (PRGC e) si propone di realizzare un'attività ricettiva, che prevede funzioni di ristorazione, bar, servizi per il turismo come e-bike, cantina con area degustazione e un'area panoramica sulle colline circostanti.

Gli interventi che si intende attuare sono necessari per adeguare la struttura ad accogliere la capienza di pubblico prevista e per ripristinare elementi che attualmente risultano inadeguati o mancanti. In particolare non sono previsti aumenti di superficie e di volume, se non per ripristinare parte della muratura crollata. Gli spazi interni e i collegamenti verticali sono stati ripensati per migliorare la fruibilità del fabbricato in funzione della nuova destinazione d'uso.

In primo luogo, è stata rivista la distribuzione planimetrica dei locali:

- Piano seminterrato: servizi igienici per il pubblico, servizi e spogliatoi per il personale, cantina e sala degustazioni;
- Piano terra: ingresso, bar, 3 sale da pranzo (70 coperti), cucina, dispensa, uffici;
- Piano primo: area panoramica e vano tecnico.

Il ristorante occupa principalmente i locali del piano terra, oggetto del progetto di consolidamento. L'esposizione principale delle sale da pranzo è sul lato ovest e questo permette agli ambienti interni di usufruire della vista sul paesaggio collinare circostante.

L'accesso è da Piazza Castello, subito all'interno vi è un piccolo vano d'ingresso che distribuisce i locali principali: a destra piccola zona bar e a sinistra le sale da pranzo del ristorante.

La cucina del ristorante occupa i locali a sud-est della struttura ed è collocata in una zona idonea per permettere adeguati percorsi dei cibi dall'arrivo delle materie prime alla somministrazione dei piatti pronti. Le dimensioni del locale è di circa di 30 m² ed è articolata in percorsi di lavorazione ben definite: dispensa (accesso materie prime), zona di preparazione, zona lavaggio e servizio. I requisiti normativi per quanto riguarda la prevenzione incendi prevedono l'obbligo di compartimentazione, per tale motivo sono previste pareti e porte resistenti al fuoco per i locali adiacenti alla cucina e controsoffittatura con pannelli REI, garantendo comunque un'altezza minima di 3m.

La cucina rispetta i requisiti richiesti per l'illuminazione e aerazione: rapporto superficie illuminante deve essere di 1/10 e la superficie di aerazione di 1/20; inoltre sono previste cappe aspiranti con sbocco in canna fumaria esistente per allontanare i fumi dall'esterno. Per quanto riguarda le superfici interne sono previsti pavimenti lisci facilmente lavabili e impermeabili e pareti piastrellate fino a 2m da terra.

La dispensa è collocata in un vano autonomo adiacente alla cucina e accessibile, solo per il personale, da Piazza Castello.

Nel progetto è previsto un nuovo corpo scala posizionato nella zona dell'ex torre. Si propone di realizzare una scala metallica, concepita con un sistema portante parzialmente sospeso mediante l'utilizzo di tiranti verticali metallici ancorati a un graticcio di travi metalliche HE posizionate in corrispondenza dell'ultimo solaio. Questo sistema di sospensione è integrato con una struttura portante anch'essa realizzata con travi HE, che hanno anche il compito di migliorare il confinamento della muratura.

La torre presenta danneggiamenti che interessano l'apparecchiatura muraria e la copertura, attualmente crollata. Si è deciso di operare ripristinando il volume originario progettando un nuovo tamponamento verticale trasparente internamente e caratterizzato da un rivestimento in doghe di legno verticali, come *sciaveri* in castagno. Tale scelta permette di integrare il nuovo volume con l'ambiente rurale senza alterarne l'impatto visivo. Per quanto riguarda la copertura sarà realizzato un nuovo tetto in legno a vista, conforme alla tecnologia costruttiva dell'edificio. L'orditura primaria della copertura, in legno lamellare, verrà sostenuta da pilastri metallici, tipo HEB, tramite incastro con opportune staffature metalliche. In generale per la copertura si ipotizza di intervenire sulla piccola orditura e sul manto di copertura prevedendo una nuova chiusura superiore. Qualora dalle indagini diagnostiche emergessero criticità strutturali a carico delle capriate, si dovrà procedere con la sostituzione degli elementi maggiormente degradati o eventualmente intervenire puntualmente.

È prevista l'installazione di un monta-persone, in corrispondenza del vano scala, per consentire l'accesso agli altri piani anche alle persone con impedite capacità ridotte.

Al piano primo per suddividere il vano scala dall'ampio locale è prevista una parete vetrata, installata con ancoraggi tra la nuova superficie e la muratura e la nuova capriata, per non andare a gravare con il proprio peso sul solaio sottostante.

Al piano seminterrato sono previsti i servizi igienici per il pubblico e il personale. I bagni per il pubblico sono due e distinti per sesso, più un servizio igienico attrezzato per disabili.

I servizi per il personale sono dotati di spogliatoio con wc, lavandino e doccia. Si ipotizza di avere all'interno della struttura più di 10 addetti per cui sono previsti servizi igienici separati per sesso. L'accesso agli spogliatoi è doppio: uno interno con passaggio attraverso i bagni per il pubblico e l'altro indipendente dall'esterno. In assenza di una ventilazione adeguata per tutti i bagni è prevista un'areazione artificiale.

Conclusioni

Il lavoro di tesi ha delineato una proposta di riqualificazione di un edificio storico esistente, presentando soluzioni che mostrano la grande adattabilità d'uso degli elementi in acciaio nelle applicazioni di consolidamento strutturale.

Essendo un edificio con una storia evolutiva incerta, le informazioni ottenute dall'analisi storica hanno permesso interessanti punti di riflessione sulle sequenze e sulle tecniche costruttive. In particolare l'analisi dei fenomeni di degrado e del quadro fessurativo, ha messo in evidenza patologie connesse alle carenze strutturali e alle successive fasi d'espansione dell'edificio.

Terminata la fase conoscitiva del manufatto è stato possibile delineare una nuova destinazione d'uso da inserire nella proposta di recupero funzionale, legata al campo turistico. Di conseguenza sono state studiate delle soluzioni atte a migliorare la capacità portante dei solai per adeguarli alle nuove esigenze funzionali. In relazione allo studio dei meccanismi di collasso locale, l'analisi è stata dettata dal quadro fessurativo. I valori di vulnerabilità sismica ottenuti con il livello di conoscenza LV1 sono da ritenersi cautelativi, perché si applica una riduzione della resistenza dei materiali pari al 35%. È importante sottolineare che gli interventi strutturali proposti dovranno essere valutati in base all'esito della campagna di indagini diagnostiche.

Sulla base di quanto riportato, gli ulteriori sviluppi su *Castel Vecchio*, prevedono indagini *in situ* per ottenere maggiori informazioni sullo stato di conservazione e sulle caratteristiche meccaniche degli elementi strutturali, per poter raggiungere un livello di conoscenza maggiore al fine di poter elaborare una modellazione globale dell'edificio.

Bibliografia

L. FOMACA, *I castelli del Piemonte. Alessandria – Asti*, Gribaudo 2000.

R. BORDONE, *Andar per castelli. Da Asti tutto intorno...*, Milvia, Torino 1976

T. VALENTE e S. INZERRE BRACCO, *Castelli e “ville forti nella Provincia di asti, a Nord della Valle del Tanaro”*, Provincia di Asti 1985 - 1989 – 1993

S. BUFARINI, V. D’ARIA, S. MINEO, D. SQUILLACIOTI, *Monitoraggio delle strutture – degradi, dissesti ed analisi dei quadri fessurativi*, EPC libri 2000.

P. BUSSI, *Gente di Calosso: dagli albori al ventesimo secolo*, Minigraf, 2000.

G.S. De Canis, *Corografia Astigiana*, Vol. I, Asti, 1814.

S.F. MUSSO, *Recupero e restauro degli edifici storici – guida pratica al rilievo e alla diagnostica*, EPC libri 2000.

P. CIRONE, *Restauro strutturale delle murature – Manuale di riparazione e consolidamento*, Dario Flaccovio Editore, 2011.

M.VOLPIANO, *Il consolidamento strutturale degli edifici storici : diagnostica monitoraggio materiali per l'intervento compatibile*, Savigliano, L'Artistica, 2010.

Sitografia

www.comune.calosso.at.it

www.kimia.it

Tesi

G. FRANCO, *Ricerche di italiano regionale: il lessico dell’inventario dei beni mobili di Andrea Roero di Calosso*, Università degli Studi di Torino: materie letterarie, 2013.

M.MORANDO, Presenza religiosa e politica della Diocesi di Pavia in territorio astigiano, Tesi di Storia Medioevale, Università degli Studi di Torino : Facoltà di Lettere e filosofia, 1996-1997.

Normative

UNI 11182:2006, *Beni culturali. Materiali lapidei naturali e artificiali. Descrizione delle forme di alterazione – termini e definizioni.*

NORMAL 1/88, *Lessico per la descrizione delle alterazioni e degradazioni macroscopiche dei materiali lapidei.*

NTC 2018, *Norme tecniche per le costruzioni.*

Pubblicazioni

L. JURINA, *L'uso-dell'acciaio-nel-consolidamento-delle-capriate-e-dei-solai-in-legno, 2011*

L. JURINA, V.E. MONGICATO, A.CHIARI, G. GELMINI, *Scale metalliche in torri murarie*, REUSO 2015 Congreso Internacional sobre Documentación, Conservación, y Reutilización del Patrimonio Arquitectónico, Valencia

Allegati