

Università degli Studi di Firenze



FACOLTA' DI INGEGNERIA

CORSO DI LAUREA IN INGEGNERIA CIVILE

INDIRIZZO COSTRUZIONI

A.A. 2006/2007

TESI DI LAUREA

VALUTAZIONE DELLA CAPACITÀ SISMICA ED IPOTESI
DI MIGLIORAMENTO DI DUE EDIFICI RURALI AD
UGNANO E A BARBERINO DI MUGELLO

RELATORI

Ing. Luciano Galano

Ing. Emanuele Del Monte

CANDIDATI

Francesco Fusi

Giuseppe Pizzarelli

- INDICE -

<u>Introduzione</u>	1
----------------------------------	---

Capitolo 1 – Descrizione storico / tecnica delle coloniche

1.1 La colonica di Ugnano.....	2
1.1.1 Descizione storica.....	2
1.1.2 Lo stato attuale.....	4
1.1.3 Descrizione delle caratteristiche costruttive.....	4
1.2 La colonica di Barberino di Mugello.....	10
1.2.1 Descizione storica.....	10
1.2.2 Lo stato attuale.....	11
1.2.3 Descrizione delle caratteristiche costruttive.....	12

Capitolo 2 – Cenni sull’analisi pushover e sul programma 3MURI

2.1 Cenni sul comportamento sismico degli edifici in muratura.....	16
2.2 Analisi di pushover.....	19
2.2.1 Considerazioni preliminari.....	19
2.2.2 Il metodo dell’analisi statica non lineare.....	22
2.3 Il programma 3MURI.....	27
2.3.1 Il macroelemento.....	27
2.3.2 Definizione dello spostamento ultimo (drift) per il macroelemento.....	29
2.3.3 Modellazione.....	30

Capitolo 3 – Modellazione degli edifici nello stato attuale

3.1 Cenni sulla modellazione e riferimenti normativi.....	33
3.1.1 Analisi sismica.....	34
3.1.2 Analisi statica.....	35
3.2 Modello della colonica di Ugnano nello stato attuale.....	37

3.2.1	Criteri di modellazione.....	37
3.2.2	Definizione del telaio equivalente.....	38
3.2.3	Analisi statica non lineare.....	44
3.2.4	Analisi per carichi verticali.....	51
3.3	Modello della colonica di Barberino di Mugello nello stato attuale.....	57
3.3.1	Criteri di modellazione.....	57
3.3.2	Definizione del telaio equivalente.....	59
3.3.3	Analisi statica non lineare.....	63
3.3.4	Analisi per carichi verticali.....	70

Capitolo 4 – Modellazione degli edifici in seguito all'intervento di miglioramento

4.1	Indicazioni normative.....	74
4.2	Descrizione degli interventi e criteri di modellazione.....	75
4.3	Modello della colonica di Ugnano dopo l'intervento di miglioramento.....	81
4.3.1	Definizione del telaio equivalente.....	81
4.3.2	Analisi statica non lineare.....	89
4.3.3	Analisi per carichi verticali.....	95
4.4	Modello della colonica di Barberino di Mugello dopo l'intervento di miglioramento.....	101
4.4.1	Definizione del telaio equivalente.....	101
4.4.2	Analisi statica non lineare.....	106
4.4.3	Analisi per carichi verticali.....	113

Capitolo 5 – Proposta di adeguamento, interpretazione dei risultati e confronto con le nuove

NTC del 2008

5.1	Proposta di adeguamento.....	116
5.1.1	Colonica di Ugnano.....	119
5.1.2	Colonica di Barberino di Mugello.....	119
5.1.3	Proposta di intervento per la verifica a carichi verticali.....	120
5.2	Interpretazione dei risultati.....	120

5.2.1	Colonica di Ugnano.....	120
5.2.2	Colonica di Barberino di Mugello.....	122
5.3	Confronto con le NTC del 2008.....	123
5.3.1	Cenni sulle NTC del 2008.....	123
5.3.2	Colonica di Ugnano.....	129
5.3.3	Colonica di Barberino di Mugello.....	130
	<u>Conclusioni</u>	132
	<u>Appendice: Documentazione fotografica</u>	133
	<u>Bibliografia e riferimenti normativi</u>	144

Allegati

Allegato 1A – Piante della colonica di Ugnano nello stato attuale

Allegato 2A – Prospetti e sezioni della colonica di Ugnano nello stato attuale

Allegato 3A – Piante della colonica di Ugnano dopo l'intervento di miglioramento

Allegato 4A – Prospetti e sezioni della colonica di Ugnano dopo l'intervento di miglioramento

Allegato 1B – Piante della colonica di Barberino di Mugello nello stato attuale

Allegato 2B – Prospetti e sezioni della colonica di Barberino di Mugello nello stato attuale

Allegato 3B – Piante della colonica di Barberino di Mugello dopo l'intervento di miglioramento

Allegato 4B – Prospetti e sezioni della colonica di Barberino di Mugello dopo l'intervento di
miglioramento

- INTRODUZIONE -

Il seguente elaborato ha come oggetto lo studio della capacità sismica di due edifici rurali situati a Ugnano e a Barberino di Mugello, seguendo le NTC del 2005 [4] per le analisi sismiche e il DM del 20/11/87 [6] per le analisi a carichi verticali. L'obiettivo è quindi quello di "quantificare" numericamente il miglioramento del comportamento strutturale sotto carico sismico delle due coloniche in seguito alla realizzazione di opportuni interventi di consolidamento.

Nel primo capitolo vengono presentate le due coloniche sia raccontando la storia dei siti in cui sorgono, sia illustrando come queste si presentano allo stato attuale (cioè prima della realizzazione degli interventi) mediante una descrizione delle caratteristiche tipologiche e costruttive ed una documentazione fotografica.

Il secondo capitolo contiene una breve trattazione relativamente al comportamento sismico degli edifici in muratura, al metodo dell'analisi di pushover e al tipo di modellazione implementata nel codice di calcolo 3MURI.

Il terzo capitolo illustra i risultati ottenuti dall'analisi di pushover relativi ad una modellazione dei due edifici nello stato attuale.

Nel quarto capitolo vengono mostrati gli interventi di miglioramento realizzati sui due edifici e come tali interventi modificano il comportamento sismico delle due strutture.

Infine il quinto capitolo contiene una proposta di adeguamento e un riepilogo dei risultati ottenuti dalle analisi di pushover relativi ai diversi stati in cui si trovano i due edifici. Inoltre viene effettuato un confronto, relativamente allo stato migliorato, tra i risultati già ottenuti seguendo le NTC del 2005 [4] e quelli ottenuti alla luce delle recenti NTC del 2008 [7].

- CAPITOLO 1 -

DESCRIZIONE STORICO / TECNICA DELLE COLONICHE

1.1 La colonica di Ugnano

1.1.1 Descrizione storica

Fin dall'epoca longobarda è attestata la presenza di un "Castellum" presso l'area portuale di attracco e scalo di Ugnano, vicino alla confluenza dell'Arno e della Greve: è il Castello di Ugnano, citato fin dal 1151. Molto poco purtroppo sappiamo di tale Castello, sopravvissuto a disastrose alluvioni come quella del 1333 (che distrusse anche il Ponte Vecchio), del 1502 e del 1520 (quando fu chiamato ad interessarsi della regimazione dell'Arno persino Leonardo da Vinci), fino alla spaventosa alluvione del 1620. In quell'anno, nel dicembre, si verificò in questa zona una delle inondazioni più disastrose, durante la quale il borgo di Ugnano fu in gran parte distrutto ed il Castello rovinò quasi del tutto, scomparendo definitivamente.

Attualmente, ed ecco quanto ci interessa, ciò che resta del Castello di Ugnano viene identificato con l'odierna *Villa Saccardi - Koblan*, un fabbricato lungo la via di Ugnano che si presenta oggi a forma di "U", con al centro emergente una torre belvedere in muratura di mattoni, chiaramente ricostruita nell' '800, ed una casa colonica affiancata a nord: la colonica in via di Ugnano 77.

A iniziare dal XVI secolo, e poi maggiormente nel XVII, le zone ad ovest della Greve si andarono riorganizzando attorno agli antichi cardini architettonici e urbani medievali. Le singole case coloniche subiscono un incremento stabilizzandosi spesso attorno ad un vecchio edificio che ha perduto la sua originaria funzione difensiva (torri o castello). Spesso a rendere visibile il rapporto di dipendenza, la casa colonica risultava addossata alla casa padronale costituendo un insieme, come nel nostro caso. Si realizza così un sistema basato sulla maglia delle case coloniche: intorno alla via di Ugnano, che taglia diagonalmente la pianura, si organizzarono i principali borghi rurali e agglomerati colonici. La tipologia insediativa agricola si articola attorno alle case sparse, al borgo rurale. Veri e propri microcosmi inseriti nell'orditura poderale, spesso

realizzati in materiali poveri proprio per la coscienza della precarietà del luogo soggetto alle intemperanze del fiume.

Dall'antico impianto medievale chiuso si passa alla pianta quadrata o rettangolare con loggiato, con largo impiego del mattone, del pietrame grezzo e dei ciottoli di fiume intonacati.

Nel 1739 sarà redatta una minuziosa pianta della “Bandita di Ugnano” con l’elenco di tutte le ville e case esistenti in essa. In questa, la nostra *Villa Saccardi di Ugnano* è elencata come casa della famiglia *Settimanni*. La famiglia *Settimanni* aveva comprato nel 1700 la Villa dagli Scarpelli.

Nell' '800 la politica di riforma agraria leopoldina produce i suoi effetti anche nella piana e segnatamente a Ugnano. Iniziano così le colture a carattere specialistico, che si affermeranno soprattutto con l’attività agraria legata agli ortaggi.

Parallelamente assistiamo ad una trasformazione tipologica della casa colonica, con ambienti volumetricamente ridotti (non più la grande famiglia del mezzadro, ma più famiglie di pigionali) e diminuzione degli ambienti destinati alle stalle dei bovini e alla lunga conservazione dei prodotti (gli ortaggi sono deperibili). Si diffonde nella piana l’elemento caratteristico della colonica con loggia esterna interrotta a metà altezza da un palco-solaio in legno. Tale elemento, presente nella nostra colonica come in molte altre abitazioni rurali circostanti, serviva per stendere senza accumulare, conservando al riparo in un luogo fresco e ombreggiato i prodotti ortofrutticoli delle coltivazioni.

Tra l' '800 ed il '900 viene ristrutturata anche la Villa ormai definitivamente passata ai Saccardi. La torre mediana diventa torretta belvedere coperta da un terrazzo, circondata da un muro di recinzione perimetrale; lo spazio tra la costruzione e la strada si trasforma in giardino. È nello stesso periodo che probabilmente anche la nostra colonica assume definitivamente l’aspetto attuale; niente infatti sappiamo di come fosse prima, anche se è certo che l’annesso colonico addossato alla Villa esistesse da tempo.

Il 18 maggio 1895 si verificò un terremoto, avvertito in tutta l’area fiorentina, durante il quale crollò il vecchio campanile, poi ricostruito, della chiesa di Ugnano. Il ricordo del terremoto è stato tramandato da tabernacoli, come quello della nostra colonica, in via di Ugnano 77, sotto il quale, in una targa marmorea, possiamo leggere “terremoto del 18 Maggio 1895”.

Dopo gli eventi bellici che colpirono duramente Ugnano, lasciando però in piedi la torre di *Villa Saccardi*, le prime urbanizzazioni fiorentine cominciarono ad interessare quelle aree più vicine alla città. Parallelamente, l'attività agricola inizia a decadere e con essa quelle abitazioni che le erano state per secoli legate.

1.1.2 Lo stato attuale

L'edificio della colonica, che risulta in disuso da vari decenni ed in condizioni di avanzato degrado, si presenta come un fabbricato a due piani a pianta articolata, aperto verso i campi che un tempo costituivano sede dell'attività agricola sulla quale era incentrata la vita della dimora rurale e alle spalle e di fianco addossata alla *Villa Saccardi - Koblan* da cui dipendeva.

Il piano terra comprende sia ambienti legati alla residenza vera e propria (come la cucina col camino, il forno e la scala che porta alle camere del piano superiore), sia ambienti di lavoro più prettamente di uso agricolo (come la cantina - tinaia e la stalla, sul retro).

Elemento caratteristico è la loggia esterna, costituita da pilastri in mattoni e interrotta da un palco - ballatoio in legno (di cui oggi restano solo poche travi), che ripete all'esterno il sistema strutturale travi - correnti usato normalmente all'interno per costruire i solai tra piano e piano. Il palco, elemento caratteristico delle coloniche della zona di cui restano ancora non pochi esempi nella campagna circostante, serviva per conservare al riparo, ma all'aria fresca dell'esterno gli ortaggi, frutto della coltivazione principale, in attesa di essere caricati sui barrocci.

Ulteriori elementi caratterizzanti in un edificio che ha ormai perduto ogni segno della sua storia sono: il portale ad arco ribassato in pietra serena che dà accesso alla tinaia e le due finestre prospicienti il cortile della villa, sul retro, anch'esse architravate in pietra.

1.1.3 Descrizione delle caratteristiche costruttive

L'edificio, da un punto di vista costruttivo, presenta i caratteri tipici delle case coloniche delle campagne fiorentine:

- le pavimentazioni del piano terra, in cotto nei vani abitabili ed in pietra nella tinaia e nelle stalle, poggiano direttamente sul terreno.
- non si riscontra la presenza di scannafossi quindi le murature esterne sono a contatto con il terreno, con i conseguenti problemi di risalita capillare dell'umidità.
- le murature portanti sono in gran parte realizzate con muratura mista in mattoni pieni e pietra con modeste fondazioni in pietrame; sono anche stati utilizzati cantoni (quasi certamente realizzati a piè d'opera con ciottoli di fiume del luogo) ma solo per brevi tratti.
- il solaio di interpiano presenta orditura primaria e secondaria di tipo ligneo sulla quale appoggia in alcuni casi un assito di legno, negli altri uno scempiato di pianelle in cotto (campigiane). Le pavimentazioni sono di vario tipo: cotto, monocottura, spolvero di cemento.
- alcune stanze sono controsoffittate con solai analoghi a quello di interpiano ma senza pavimentazione;
- il solaio di copertura è con orditura lignea, scempiato in pianelle e manto con coppi e tegole; non sono presenti né massetto né isolamento.
- la loggia esterna poggia su pilastri in mattoni con solaio di copertura in legno e manto in marsigliesi; sono ancora presenti alcuni elementi dell'orditura primaria in legno del solaio costituente il palco intermedio.

Nel complesso possiamo dire che la struttura portante verticale della colonica si presenta complessivamente in buono stato di manutenzione mentre i solai, gli impianti elettrico ed idraulico, così come gli infissi, presentano gravi segni di degrado.

L'edificio oggetto di intervento si trova nel Comune di Firenze che ricade in zona sismica 3S; inoltre appartiene alla zona omogenea "A", Classe 4, "edifici di particolare interesse documentario e ambientale, di realizzazione coeva e non, alla formazione del tessuto, che costituiscono in larga misura i tessuti storici e consolidati della città e dei centri minori (...) con possibilità di interventi di recupero del patrimonio edilizio esistente previsti dalle presenti norme fino alla ristrutturazione edilizia R1", secondo l'Art.21 delle Norme Tecniche di Attuazione.

Di seguito è riportata la planimetria catastale della zona e la documentazione fotografica della colonica di Ugnano.

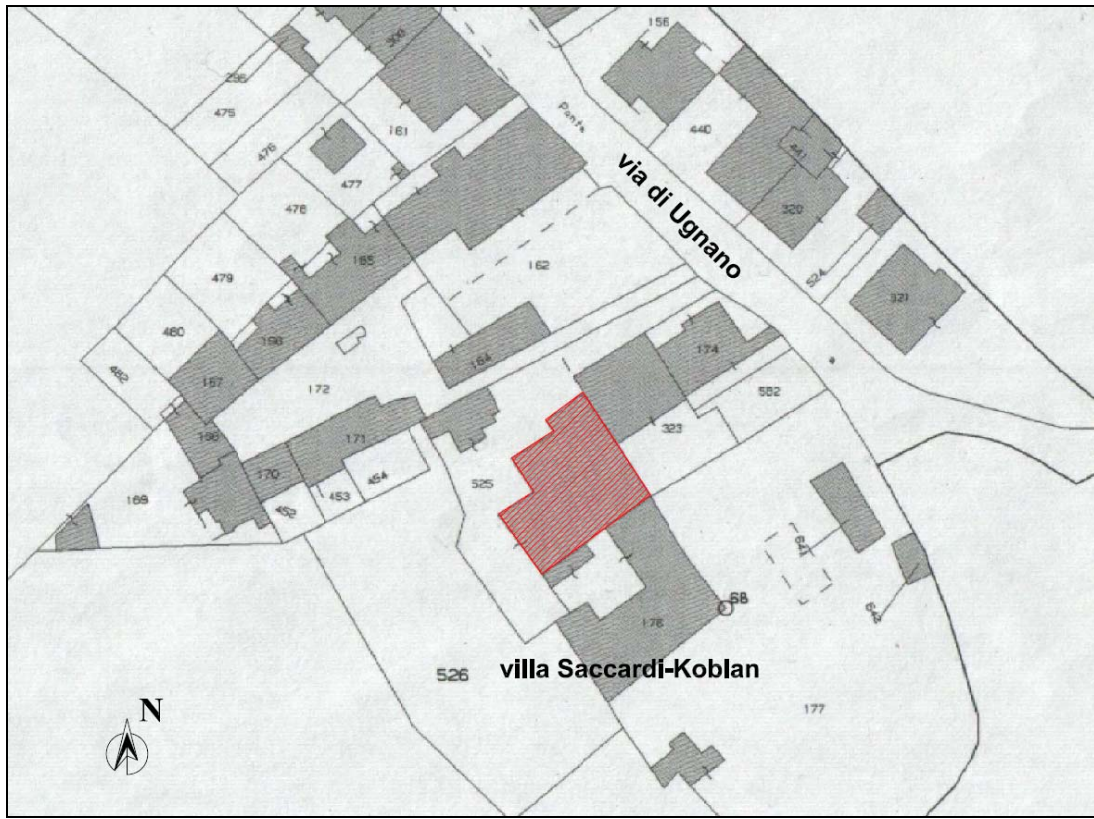


Figura I-1: Planimetria catastale



Foto I-1: Portone in pietra di ingresso alla tinaia



Foto I-2: Lato Nord-Ovest



Foto I-3: Loggiato lato Nord-Ovest



Foto I-4: Lato Ovest



Foto I-5: Prospetto Nord-Est



Foto I-6: Solaio di copertura

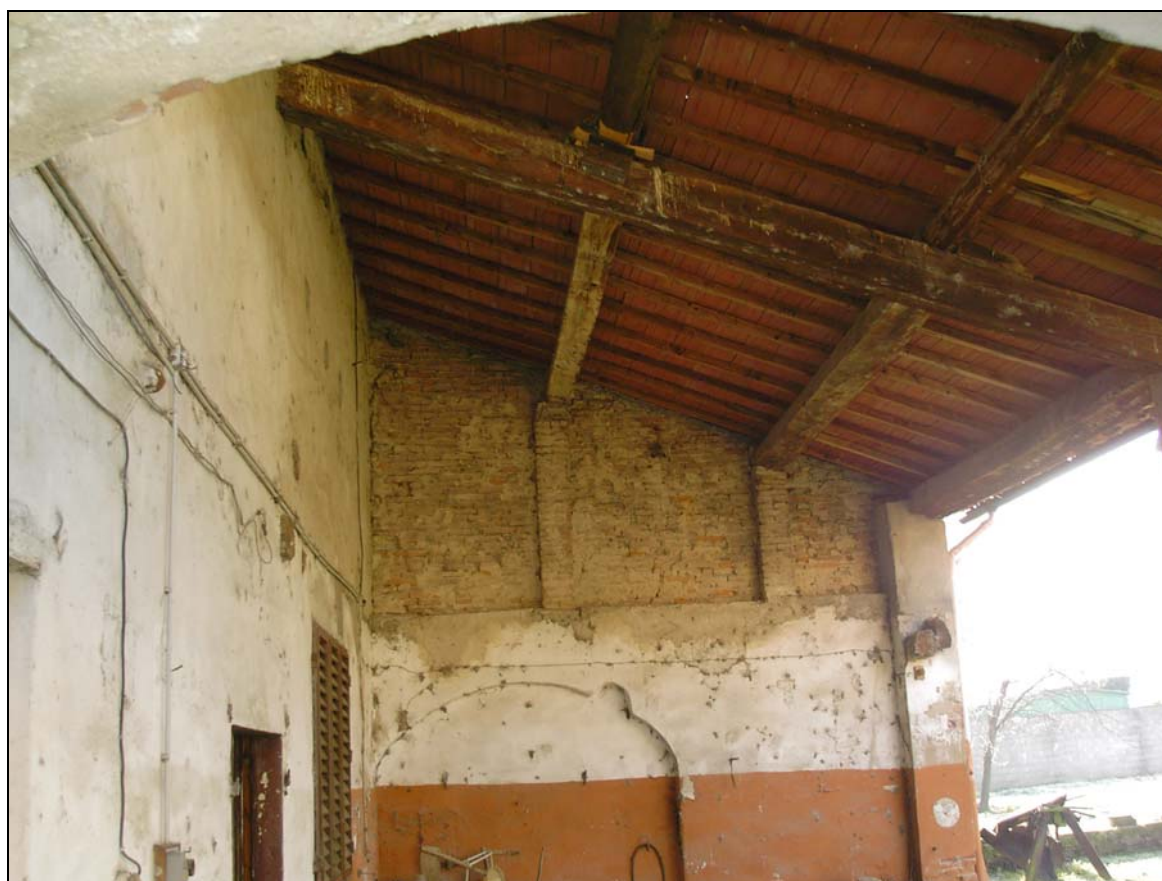


Foto I-7: Loggiato

1.2 La colonica di Barberino di Mugello

1.2.1 Descrizione storica

Il fabbricato oggetto di studio è posto nel Comune di Barberino di Mugello, in località Bovecchio.

Il fabbricato faceva parte del complesso di edifici che costituiva la fattoria annessa alla Villa di Panzano nel “suolo” di Bovecchio [1].

L’edificio più antico del piccolo nucleo era la Chiesa di San Lorenzo a Bovecchio della cui esistenza si fa menzione in un documento del 1270. Il *Niccolai* [1] recita: “Pochi decametri prima di giungere alla chiesa, su la sinistra del Fosso di Zanco, sta la Fattoria di Panzano, il cui fabbricato si palesa addossato a una vecchia torre, in seguito sbassata, di cui resta dal lato di nord un’elegante finestrina trecentesca”. Si tratta dell’edificio principale del complesso della fattoria che evidentemente ha origini antiche, anche se è stato poi oggetto di profondi rifacimenti e modifiche. Il fabbricato oggetto di studio è invece di epoca successiva, presumibilmente dei primi dell’800: risulta essere censito nel Catasto Generale Toscano (circa 1830) e successivamente, con la stessa conformazione, compare nel Catasto Aggiornato del 1922.

Sempre nel testo del 1914 risulta che a quel tempo il sito di Bovecchio era ricco di minerali e di acque finissime e comprendeva una porzione assai ben coltivata della pendice inferiore della Calvana. La popolazione allora presente nella località era di 237 abitanti distribuiti in 29 famiglie quasi tutte coloniche. Pertanto si può ritenere che l’edificio oggetto di studio sia stato utilizzato ed abitato fino ad anni abbastanza recenti (1950 – 1960), periodo dello sviluppo economico e dell’abbandono delle campagne.

I caratteri tipologici e formali del fabbricato oggetto di intervento è comune alle case coloniche che si trovano sparse nella zona. Si tratta in generale di edifici ad uso abitativo costituiti da volumi accessori e di servizio presumibilmente nati dall’aggregazione di più corpi di fabbrica intorno ad un corpo centrale più antico. Il processo di formazione di questi fabbricati presenti nella zona, era ed è in qualche modo desumibile dagli elementi di discontinuità che si possono notare nei punti di collegamento delle murature e dalle caratteristiche d’insieme dei fabbricati stessi, nonché dal confronto tra il catasto del 1922 e la situazione attuale. Gli ampliamenti, di non recente

realizzazione, sono stati presumibilmente eseguiti prima della guerra o nell'immediato dopoguerra.

Viene riportata di seguito la planimetria catastale della zona.

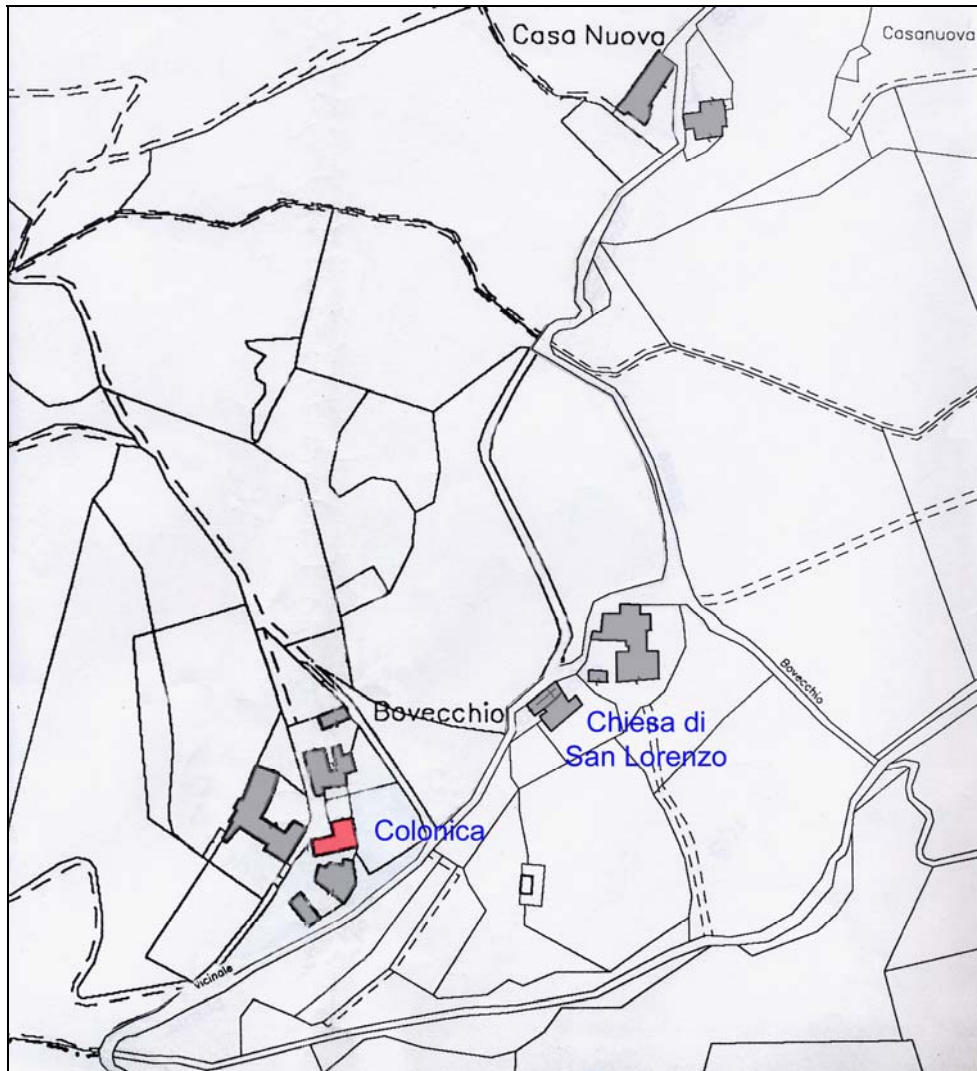


Figura I-2: Planimetria catastale

1.2.2 Lo stato attuale

L'edificio della colonica, che risultava in disuso da vari decenni ed in condizioni di avanzato degrado, si presenta oggi come un fabbricato su due piani a pianta ad "L", aperto verso la vallata ed i campi che un tempo costituivano sede dell'attività agricola sulla quale era incentrata la vita della dimora rurale. Non esistono citazioni di tale complesso colonico se non come annesso di un borgo rurale a corredo della fattoria annessa alla Villa di Panzano.

Il relativo stato di conservazione dell'immobile poneva l'esigenza di un intervento di ristrutturazione edilizia di consolidamento dei solai e rifacimento della copertura come interventi

prioritari, dato che le strutture portanti denotavano un buono stato di manutenzione. L'edificio in questione è realizzato in muratura di pietrame, esternamente intonacata, con solai costituiti da travi metalliche sagomate e voltine in mattoni, e tetto in legno e laterizio.

Il fabbricato sembra essere costituito dall'aggregazione di tre volumi, disposti su due piani fuori terra, in cui si articolavano i locali di abitazione e di deposito/magazzino.

La distribuzione funzionale dell'immobile rispetta quindi l'organizzazione classica del mondo rurale. Nel piano terra erano dislocate tutte le funzioni inerenti all'attività agricola, come il magazzino ed il frantoio nel corpo di fabbrica principale e più imponente, e le stalle nella parte annessa alla precedente. Nel piano primo erano localizzati tutti gli ambienti legati alla residenza vera e propria come la cucina, le camere da letto ecc..

1.2.3 Descrizione delle caratteristiche costruttive

L'edificio, da un punto di vista costruttivo, presenta i caratteri tipici delle case coloniche delle campagne fiorentine: le pavimentazioni del piano primo relative al corpo di fabbrica principale dell'immobile, sono in cotto fatto a mano e poggiano su un solaio a voltine in laterizio e longarine. Non si riscontra la presenza di scannafossi e quindi le murature esterne sono a contatto con il terreno, con i conseguenti problemi di risalita capillare dell'umidità; il solaio di interpiano del rimanente corpo di fabbrica risultava quasi totalmente crollato, ed era costituito da un' orditura primaria e secondaria di tipo ligneo sulla quale appoggiava lo scempiato di pianelle in cotto (campigiane). La pavimentazione dei locali al piano terra destinati ad una funzione accessoria all'abitazione, è per la maggior parte in battuto cemento e poggiate direttamente sul terreno.

Le murature portanti sono in gran parte realizzate prevalentemente in pietra con modeste fondazioni in pietrame. La copertura è con orditura lignea, scempiato in pianelle e manto con coppi e tegole; non sono presenti né massetto né isolamento.

Nel complesso possiamo dire che la struttura portante verticale del corpo principale della colonica si presenta in buono stato di manutenzione compresi i solai mentre, il tetto, gli impianti, così come gli infissi, presentano gravi segni di degrado e devono essere sostituiti.

Riportiamo di seguito una documentazione fotografica che illustra lo stato in cui si trovava l'edificio prima dell'intervento di ristrutturazione.



Foto I-8: Prospetto Est



Foto I-9: Prospetto Nord



Foto I-10: Prospetto Ovest



Foto I-11: Prospetto Sud



Foto I-12: Prospetto Nord-Est



Foto I-13: Copertura in legno



Foto I-14: Solai in voltine

- CAPITOLO 2 -

CENNI SULL'ANALISI PUSHOVER E SUL PROGRAMMA 3MURI

2.1 Cenni sul comportamento sismico degli edifici in muratura

In una costruzione in muratura possono essere identificati come elementi resistenti le pareti verticali e gli orizzontamenti (solai, coperture). Il comportamento globale della struttura all'azione sismica è fortemente influenzato, ancor prima che dalle caratteristiche intrinseche dei singoli elementi strutturali, dal grado di connessione presenti tra essi. Carenze nel collegamento tra pareti ortogonali e tra pareti e orizzontamenti fanno sì che la struttura non sia in grado di sviluppare, durante il terremoto, una risposta globale che chiami a collaborare tra loro le diverse pareti e a ripartire tra esse le sollecitazioni indotte: le singole pareti mostreranno, quindi, una risposta indipendente. In questo caso la risposta che la parete tende ad esibire è dominata dal comportamento fuori piano (meccanismo di collasso di primo modo).

Nel caso in cui si realizzi il comportamento scatolare dell'edificio (mediante un buon ammorsamento tra le pareti), la rigidità dei solai nel proprio piano assume un ruolo fondamentale, in particolare nei riguardi dell'azione sismica. Solai rigidi ripartiscono le azioni tra le pareti in base alla loro rigidità, favorendo, inoltre, l'instaurarsi di meccanismi di collasso nel piano (meccanismo di collasso di secondo modo). Viceversa, nel caso di solai molto flessibili, la ripartizione delle azioni sulle varie pareti resistenti avviene in funzione della loro area d'influenza per i carichi verticali, accentuandone il comportamento indipendente.

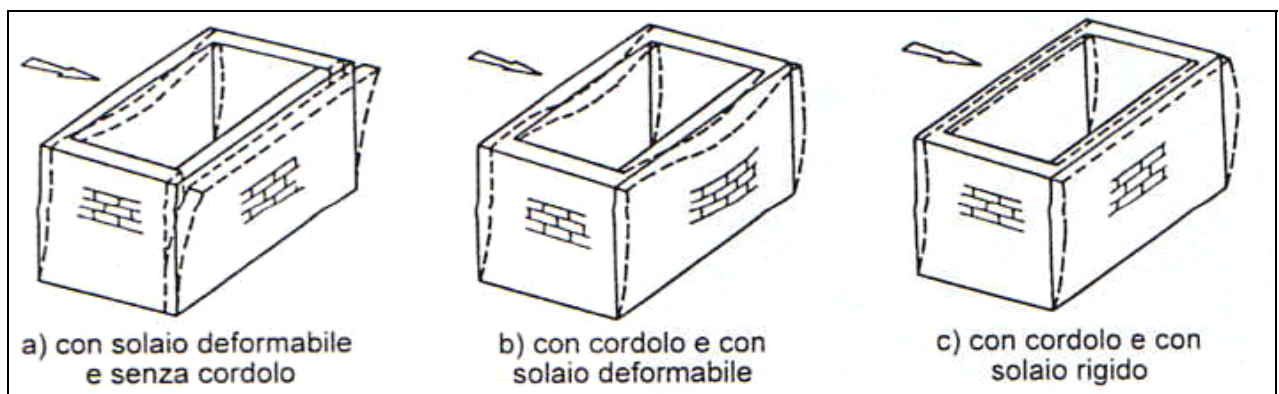


Figura II-1: Influenza del grado di vincolo tra gli elementi sulla risposta sismica

La realizzazione del comportamento scatolare rende possibile la definizione di una vulnerabilità globale per l'edificio. Essa dipende dalla risposta sismica di tutto il sistema strutturale, che è governata dalla risposta nel piano delle pareti e dall'azione di collegamento e ripartizione esercitata dagli orizzontamenti.

Nei confronti delle azioni orizzontali è possibile assimilare il comportamento di una parete in muratura a quello di un assemblaggio di pannelli. In particolare dall'osservazione dei danni indotti dai terremoti reali e dall'analisi dei dati di prove sperimentali, risulta come il danneggiamento sia concentrato in porzioni ben definite della parete: i pannelli murari verticali (*maschi murari*) e le travi di accoppiamento in muratura (*fasce di piano*); nelle zone di connessione tra fasce e maschi si riscontra generalmente l'assenza di meccanismi di fessurazione e sistematici fenomeni di danno.

Queste evidenze hanno portato all'introduzione, per gli edifici in muratura, del cosiddetto modello a telaio equivalente.

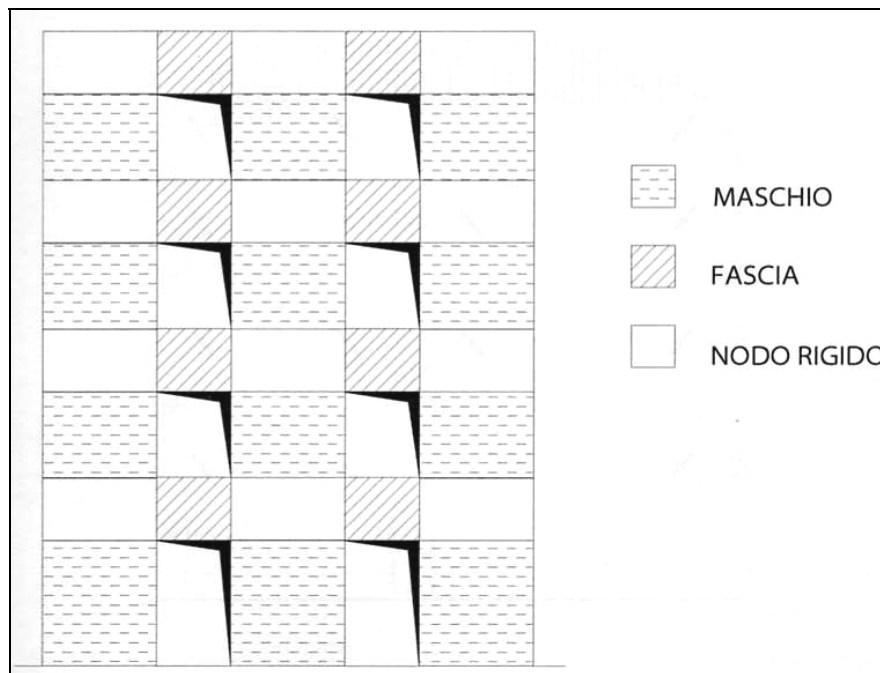


Figura II-2: Modello a telaio equivalente per la parete in muratura

I meccanismi di danno tipici dei maschi in muratura, e connessi all'azione orizzontale sono, in generale, riconducibili a tre categorie: per taglio, per scorrimento e per flessione-ribaltamento (*rocking*).

Da evidenziare che la funzione strutturale delle fasce è tutt'altro che secondaria in quanto fornisce l'accoppiamento tra i montanti murari. Tale accoppiamento è principalmente funzione della

compressione a cui le fasce sono soggette in direzione orizzontale. Solo questa compressione, infatti, fornisce la resistenza “flessionale” che contrasta l’attivazione del meccanismo di ribaltamento delle colonne di muratura che possono formarsi tra aperture verticalmente allineate. E’ quindi molto importante l’effetto di elementi resistenti a trazione posti a livello delle fasce stesse, quali catene o cordoli in c.a. che si oppongano a tale meccanismo. Le catene ed i cordoli, opponendosi all’allontanamento delle colonne murarie, generano un incremento di compressione delle fasce, che aumenta la resistenza a flessione delle stesse e instaura un funzionamento che garantisce l’accoppiamento dei montanti murari.

Nel caso di un pannello murario, discriminante per l’attivazione del meccanismo effettivo tra i tre citati in precedenza è una combinazione di fattori di diversa natura: la geometria del pannello (in termini di snellezza), l’entità del carico assiale e le caratteristiche del materiale muratura considerato.

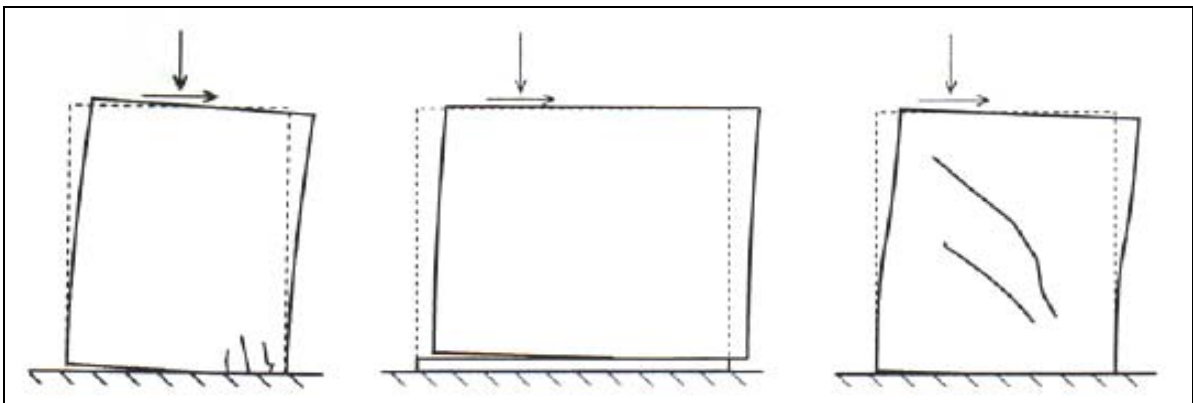


Figura II-3: Schematizzazione dei meccanismi di rottura del pannello murario: flessione-ribaltamento, scorrimento, taglio

Vengono definite tre modalità di collasso:

- 1- *Flessione-Ribaltamento (rocking)*: il collasso è governato dal ribaltamento della parete, caratterizzato generalmente da parzializzazione (nella zona “scaricata”) e rottura per schiacciamento degli spigoli soggetti a compressione.
- 2- *Taglio*: il meccanismo di danno è governato dalla formazione e dallo sviluppo di fessure diagonali inclinate, che possono seguire o l’andamento dei giunti di malta oppure interessare i mattoni stessi.

- 3- *Scorrimento*: il meccanismo è associato alla formazione di fessure orizzontali nei giunti soggetti all'azione del sisma; potenziali piani di scorrimento possono formarsi lungo i giunti fessurati; il meccanismo è favorito da bassi livelli di carichi verticali e bassi valori del coefficiente d'attrito.

2.2 Analisi di pushover

2.2.1 Considerazioni preliminari

Numerose procedure di calcolo e verifica, adottate in svariati paesi nella moderna legislazione progettuale antisismica, propongono una descrizione della risposta strutturale in termini di spostamenti piuttosto che di forze, tenuto conto della maggiore sensibilità del danneggiamento agli spostamenti imposti. Anche la normativa italiana propone un metodo che utilizza l'analisi statica non lineare (Ordinanza 3431 [3], punti 4.5.4, 8.1.5.4, 11.5.4.4).

In questo contesto giocano un ruolo centrale le procedure statiche non lineari in cui il problema della valutazione della massima risposta attesa, conseguente all'accadimento di un determinato evento sismico, è ricondotto allo studio di un sistema non lineare ad un unico grado di libertà equivalente al modello dotato di n gradi di libertà, che rappresenta la struttura reale.

Le procedure di analisi statiche non lineari (*pushover*) caratterizzano poi il sistema sismico resistente tramite curve di capacità: analisi "statiche" in quanto la forzante esterna è applicata staticamente alla struttura e "non lineari" a causa del modello comportamentale assunto per gli elementi resistenti della struttura.

Tali curve intendono rappresentare l'involuppo dei cicli d'isteresi prodotti durante la realizzazione del sisma e possono essere considerate come un indicatore del comportamento post-elastico della struttura.

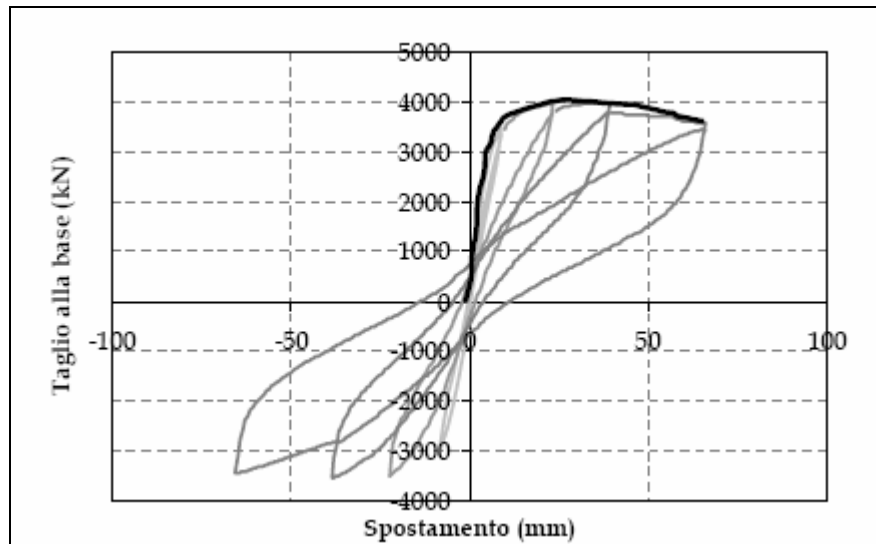


Figura II-4: Esempio di curva di capacità

I metodi di analisi elastici (statico e dinamico) tengono conto del comportamento non lineare della struttura tramite il fattore di struttura q che permette di ridurre lo spettro di risposta elastico. Questi metodi non possono però cogliere cambiamenti nella risposta caratteristica della struttura che si verificano man mano che singoli elementi si comportano in modo duttile. Inoltre non si ha nessuna informazione sulla distribuzione della domanda di anelasticità nella struttura. I metodi di analisi non lineare, invece, permettono di cogliere questi aspetti dimostrandosi un utile strumento in particolare in fase di verifica, laddove è necessario valutare la coerenza fra fattori di struttura assunti e reale capacità di duttilità della struttura.

La curva ottenuta dalle analisi pushover (che sarà poi trasformata in curva di capacità, tenendo conto delle caratteristiche del sistema equivalente ad un grado di libertà) riporta convenzionalmente l'andamento del taglio risultante alla base rispetto allo spostamento orizzontale di un punto di controllo della struttura. Ad ogni punto della curva può essere associato uno specifico stato di danno dell'intero sistema, ed è possibile pertanto associare a determinati livelli di spostamento il grado di funzionalità atteso e il danno corrispondente.

La curva è ottenuta implementando analisi pushover, che prevedono l'assegnazione di una prefissata distribuzione di forze incrementate in maniera statica e monotona. La distribuzione viene mantenuta inalterata anche oltre il punto limite di rottura. Le analisi possono essere condotte in controllo di forze o tramite un controllo misto forze-spostamenti.

La distribuzione di carico applicata ha lo scopo di rappresentare la distribuzione delle forze inerziali indotta dall'evento sismico. I profili proposti dall' Ordinanza 3274 [3], con la successiva proposta di modifica, per le strutture in muratura, sono quello coerente con la prima forma modale, approssimabile con quello adottato per l'analisi statica lineare, e quello proporzionale alle masse. Confronti con analisi dinamiche non lineari hanno evidenziato che distribuzioni di forza proporzionali al primo modo colgono meglio la risposta dinamica finché la struttura rimane in campo elastico, mentre quando si raggiungono grandi deformazioni la risposta dinamica può risultare meglio rappresentata da distribuzioni di forze proporzionali alle masse.

Nel caso di strutture regolari i due andamenti scelti definiscono i limiti delle possibili distribuzioni di forze di inerzia in un terremoto. Ciò non è più vero quando si ha a che fare con strutture irregolari o alte, nelle quali i modi di vibrare superiori al primo diventano significativi, o in strutture dove il danno indotto dall'azione sismica modifica significativamente nel tempo i modi di vibrare della struttura.

L'uso di metodi pushover è particolarmente raccomandato nel caso di edifici esistenti, in cui non è possibile assumere che siano stati applicati principi di gerarchia delle resistenze e pertanto non è possibile ipotizzare a priori la deformata ed il meccanismo di collasso.

La "capacità" della struttura, definita con la *curva di capacità*, è confrontata con la "domanda", rappresentata da punti sulla curva stessa individuati in corrispondenza di valori di spostamento corrispondenti alle massime domande di spostamento che la struttura subirebbe quando fosse soggetta ai diversi terremoti di progetto. Le domande di spostamento possono in generale essere valutate utilizzando opportuni spettri elastici di progetto.

Poiché in corrispondenza di ogni punto della curva di capacità si possono valutare importanti parametri strutturali quali lo spostamento globale, lo spostamento relativo fra i vari piani, le deformazioni e le sollecitazioni nei vari elementi strutturali, con tale analisi è possibile verificare la capacità della struttura sia in termini di resistenza che di deformabilità tenendo conto sia delle non linearità geometriche, sia di quelle del materiale.

Al variare del tipo di distribuzioni e della modalità di applicazione delle forze laterali, della modalità con cui si valuta lo spostamento prefissato e dei parametri di controllo utilizzati durante l'analisi, si distinguono diversi tipi di analisi statica non lineare.

In particolare le norme, nel caso di struttura regolare e quindi descrivibile con due modelli piani scelti secondo due direzioni ortogonali, suggeriscono, per la valutazione del legame taglio alla base-spostamento di un punto di controllo, di applicare a ciascun modello piano considerato due diverse distribuzioni di forze orizzontali applicate ai baricentri delle masse dei vari piani (in particolare si considerano una distribuzione di forze proporzionali alle masse e una distribuzione di forze proporzionali alla prodotto delle masse per la deformata individuata dal primo modo di vibrare del sistema considerato elastico).

L'analisi pushover può essere anche utilmente applicata a modelli tridimensionali per mettere in evidenza le irregolarità della struttura qualora si manifestino in seguito all'evolvere dell'azione sismica e cioè a seguito di inattese distribuzioni delle richieste di anelasticità.

2.2.2 Il metodo dell'analisi statica non lineare

Nelle norme viene definita una metodologia per applicare l'analisi pushover valida per tutti gli edifici progettati secondo le norme e regolari in altezza ed in pianta.

Qualora un edificio non soddisfi queste condizioni (ad esempio un edificio esistente) sarà necessario utilizzare altre metodologie di applicazione dell'analisi pushover che modificano in continuazione la distribuzione di forze applicate in funzione del cambiamento delle caratteristiche della struttura durante il moto sismico (e pertanto della sua deformata istantanea); tale metodologia è così in grado di tenere in conto l'effettivo modo di deformarsi della struttura (distribuzione di forze diverse o pushover adattativa).

La metodologia proposta nelle norme si basa sull'assunzione che la risposta di un sistema a più gradi di libertà possa essere correlata alla risposta di un sistema equivalente ad un grado di libertà con un'appropriata caratteristica isteretica. Questo implica che il comportamento del sistema M-GDL sia determinato principalmente da un solo modo la cui forma Φ rimane costante durante l'analisi.

Il passaggio dal sistema M-GDL al sistema 1-GDL permette di valutare con maggiore semplicità la prestazione richiesta al sistema del sisma preso in considerazione. Infatti definito il sistema 1-GDL equivalente e calcolato il suo periodo proprio T , è immediato, con l'utilizzo dello spettro di risposta elastico in spostamento, dedurre lo spostamento massimo che deve essere in grado di sopportare e, da questo, dedurre lo spostamento massimo per cui deve essere progettato il sistema M-GDL.

L'applicazione della metodologia proposta prevede che si eseguano i seguenti passi:

- 1) Analisi pushover per la definizione del legame forza-spostamento generalizzato tra la risultante delle forze applicate e spostamento di un punto di controllo del sistema.
- 2) Determinazione delle caratteristiche di un sistema 1-GDL a comportamento bi-lineare equivalente.
- 3) Determinazione della risposta massima in spostamento del sistema equivalente con utilizzo dello spettro di risposta elastico.
- 4) Conversione dello spostamento del sistema equivalente nella configurazione deformata della struttura e verifica.

Analizziamo meglio i quattro punti precedenti.

1) Definizione del legame forza-spostamento generalizzato forze applicate e spostamento punto di controllo

Scelto un punto significativo della struttura (punto di controllo), generalmente coincidente con il baricentro dell'ultimo piano, o del piano baricentrico in altezza, le forze vengono scalate, mantenendo invariati i rapporti relativi fra le stesse, in modo da far crescere monotonamente lo spostamento orizzontale del punto di controllo fino ad un valore "sufficiente", tale che, una volta calcolata la domanda in spostamento, questa sia già compresa nella curva di pushover così ottenuta. Risultato dell'analisi è la curva non lineare $F_b - d_c$ (taglio alla base – spostamento) del punto di controllo d_c che rappresenta la capacità della struttura.

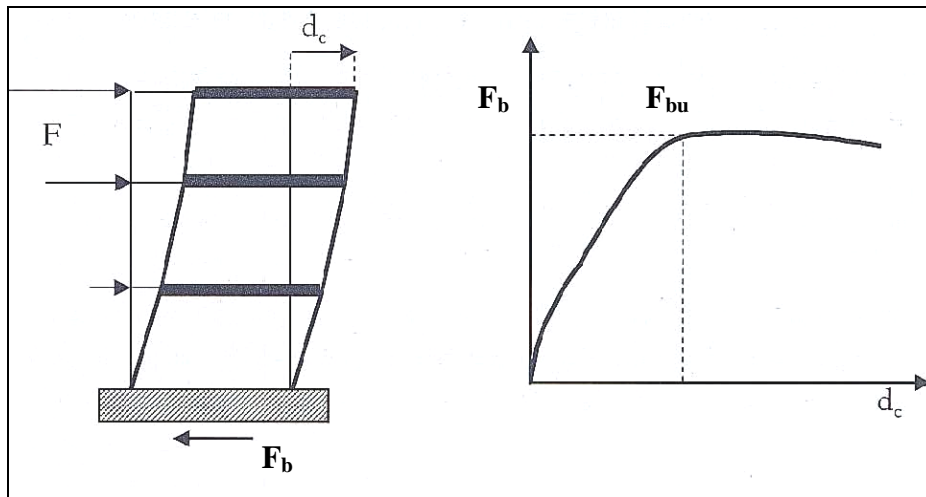


Figura II-5: Esempio di curva pushover

2) Caratteristiche di un sistema 1-GDL bi-lineare equivalente

Si indichi con Φ il vettore rappresentativo del primo modo di vibrazione della struttura di interesse per la direzione considerata dell'azione sismica, normalizzato al valore unitario della componente relativa al punto di controllo. Il "coefficiente di partecipazione" Γ è definito dalla relazione

$$\Gamma = \frac{\sum m_i \Phi_i}{\sum m_i \Phi_i^2}$$

La forza F^* e lo spostamento d^* del sistema equivalente a un grado di libertà sono legati, in campo elastico, alle corrispondenti grandezze dell'edificio dalle relazioni:

$$F^* = \frac{F_b}{\Gamma} \quad , \quad d^* = \frac{d_c}{\Gamma}$$

La curva caratteristica forza F^* - spostamento d^* del sistema equivalente è approssimata da una bi-lineare definita in base al criterio di uguaglianza delle aree.

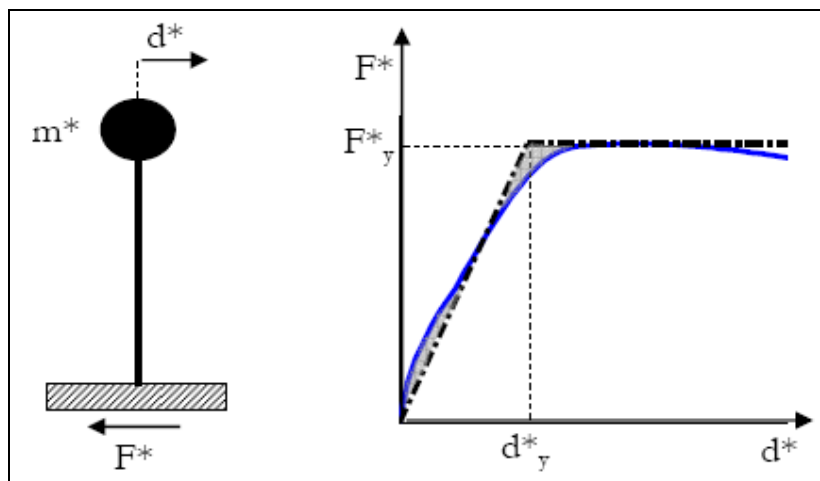


Figura II-6: Sistema e diagramma bi-lineare equivalente

In mancanza di valutazioni più accurate, le coordinate del punto di snervamento del sistema bi-lineare equivalente possono essere definite nel seguente modo:

$$F_y^* = \frac{F_{bu}}{\Gamma}, \text{ dove } F_{bu} \text{ è la resistenza massima dell'edificio;}$$

$$d_y^* = \frac{F_y^*}{k^*}, \text{ dove } k^* \text{ è la rigidezza secante del sistema equivalente ottenuta dall'eguaglianza delle aree.}$$

Nota la curva caratteristica del sistema 1 GDL, il suo periodo proprio elastico risulta essere pari a:

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

dove, essendo N il numero di masse del sistema M-GDL, si definisce $m^* = \sum_{i=1}^N m_i \Phi_i^2$.

3) Risposta massima in spostamento del sistema equivalente con utilizzo dello spettro di risposta elastico

Nel caso in cui il sistema ad 1-GDL abbia periodo proprio T^* sufficientemente elevato, in particolare nelle norme si richiede $T^* \geq T_C$, il massimo spostamento raggiunto dal sistema anelastico è pari a quello di un sistema elastico con pari periodo, cioè:

$$d_{\max}^* = d_{e,\max}^* = S_{De}(T^*),$$

essendo S_{De} lo spettro di risposta elastico del sistema.

Se invece il sistema 1-GDL ha periodo proprio $T^* < T_C$, la risposta in spostamento del sistema anelastico è maggiore di quella del corrispondente sistema elastico e risulta:

$$d_{\max}^* = \frac{d_{e,\max}^*}{q^*} \left[1 + (q^* - 1) \frac{T_C}{T^*} \right] \geq d_{e,\max}^*$$

dove $q^* = \frac{S_e(T^*) m^*}{F_y^*}$ rappresenta il rapporto tra la forza di risposta elastica (data dal prodotto dello spettro di risposta elastico di pseudo - accelerazione $S_e(T^*)$ e la massa m^*) e la forza di snervamento del sistema equivalente F_y^* .

Se risulta $q^* \leq 1$, cioè la risposta è elastica ($F_y^* \geq S_e(T^*) m^*$), si assume ancora: $d_{\max}^* = d_{e,\max}^*$.

4) Conversione dello spostamento equivalente nella configurazione deformata della struttura

Noto d_{max}^* , è possibile calcolare lo spostamento effettivo del punto di controllo del sistema M-GDL semplicemente dalla definizione dello spostamento equivalente d^* :

$$d_{max} = \Gamma d_{max}^* .$$

e quindi verificare che durante l'analisi sia stato raggiunto un valore di spostamento d_c almeno pari a d_{max} . Una volta noto lo spostamento del punto di controllo, si conosce dall'analisi la configurazione deformata ed è quindi possibile eseguire la verifica dell'edificio, in particolare controllando la compatibilità degli spostamenti in quegli elementi che presentano un comportamento fragile.

La risposta caratteristica che può essere ottenuta con un'analisi statica non lineare comprende:

- valutazione dei rapporti di sovraresistenza $\alpha_u / \alpha_e \leq 1.5$, dove α_e è il moltiplicatore della forza sismica orizzontale per il quale il primo elemento strutturale raggiunge la sua resistenza flessionale e α_u è il moltiplicatore della forza sismica orizzontale per il quale si verifica la formazione di un numero di cerniere plastiche tali da rendere la struttura labile;
- individuazione di una richiesta di resistenza su elementi fragili;
- individuazione di una realistica richiesta di deformazione su elementi che devono avere un comportamento duttile al fine di dissipare energia;
- la possibilità di verificare l'effettiva distribuzione della domanda in elastica negli edifici progettati con il fattore di riduzione q ;
- la possibilità di verificare le conseguenze della perdita di resistenza di un elemento sulla stabilità dell'intera struttura;
- individuazione delle zone critiche dove maggiore è la richiesta di duttilità;
- individuazione di irregolarità in pianta o in altezza in termini di resistenza che modificano la risposta dinamica in campo non lineare;
- valutazione degli spostamenti relativi fra i piani tenendo conto delle discontinuità di resistenza e rigidezza fra i piani.

2.3 Il programma 3MURI

Come già accennato, dall'osservazione dei danni indotti da terremoti reali e dall'analisi dei dati di prove sperimentali su singoli pannelli in muratura soggetti a forze orizzontali, si riconoscono tre fondamentali modi di collasso: per taglio, per scorrimento e per flessione – ribaltamento (*rocking*). Discriminante per l'attivazione del meccanismo effettivo fra i tre è una combinazione di fattori di diversa natura: la geometria del pannello (snellezza), l'entità del carico assiale e le caratteristiche meccaniche del materiale muratura considerato.

Alcuni autori (Braga e Liberatore, 1991; D'Asdia e Viskovis, 1994; Magenes e Della Fontana, 1998) hanno sviluppato la modellazione di pareti attraverso modelli a telaio equivalente basati sulla formulazione non lineare di *macroelementi* rappresentativi delle caratteristiche dei pannelli in muratura.

Il modello di macroelemento proposto da Gambarotta e Lagomarsino (1996) è un modello a base meccanica in cui è formulato un legame costitutivo non lineare con danneggiamento, degrado di resistenza con *softening* e degrado di rigidezza, che consente di cogliere i modi di collasso tipici del pannello murario. Questo modello è alla base del codice di calcolo strutturale 3MURI. Il codice permette di effettuare le principali procedure di analisi numerica richieste in ingegneria sismica, in particolare anche quanto descritto dall'Ordinanza 3431 [3], su strutture in muratura bidimensionale e tridimensionale. Il modello di riferimento è quello a telaio equivalente tridimensionale, in cui le pareti sono interconnesse da diaframmi orizzontali di piano (solai). Nello specifico degli edifici in muratura, la parete potrà essere adeguatamente schematizzata come telaio, in cui vengono assemblati gli elementi resistenti (maschi e fasce) ed i nodi rigidi.

2.3.1 Il macroelemento

La costruzione di un macroelemento, rappresentativo di un intero pannello murario, deve permettere la formulazione di equazioni d'equilibrio che coinvolgano un numero limitato d'incognite e deve poter rappresentare un modello cinematico capace di cogliere i meccanismi elementari di deformazione, danneggiamento e dissipazione delle strutture murarie.

Si consideri un pannello di larghezza b e spessore s costituito di tre parti: la deformabilità assiale sia concentrata nei due elementi di estremità (1) e (3) di spessore infinitesimo Δ , infinitamente rigidi ad azioni taglianti, e la deformabilità tangenziale sia situata nel corpo centrale (2) di altezza h che, viceversa, è indeformabile assialmente e flessionalmente.

Il modello cinematico completo per il macroelemento deve, quindi, contemplare i tre gradi di libertà dei nodi i e j e quelli dei nodi di interfaccia (1) e (2).

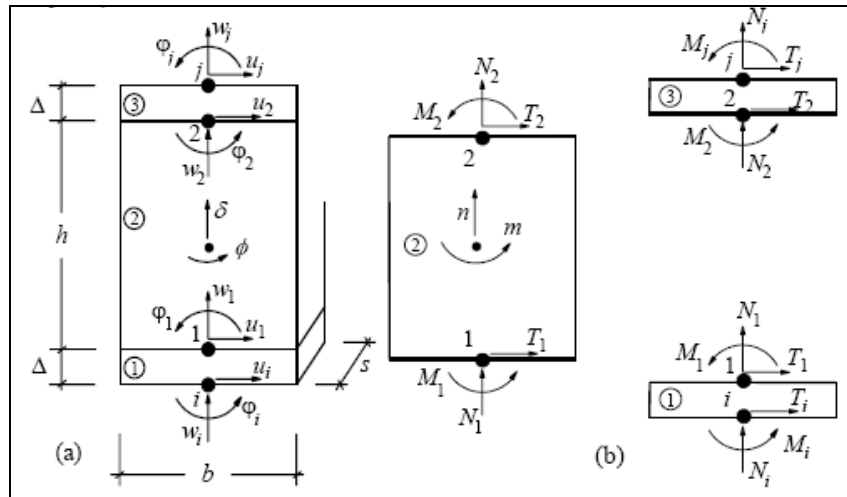


Figura II-7: Modello cinematico e modello statico del macroelemento

Le ipotesi di rigidità introdotte consentono di semplificare la cinematica del macroelemento, imponendo opportune condizioni di congruenza all'interno delle singole sottostrutture (1), (2) e (3). Avendo indicato con w gli spostamenti assiali, con u quelli trasversali e con φ le rotazioni, si può affermare che $u_1 = u_i$ e $u_2 = u_j$ (infatti i corpi (1) e (3) hanno rigidità tagliante infinita e spessore Δ tendente a zero) e che $w_1 = w_2 = \delta$ e $\varphi_1 = \varphi_2 = \varphi$ (il corpo centrale è assialmente e flessionalmente rigido e δ , φ rappresentano rispettivamente lo spostamento assiale e la rotazione).

Dal punto di vista cinematico il modello è quindi descritto da otto gradi di libertà: le sei componenti di spostamento dei nodi di estremità (u_i , w_i , φ_i , u_j , w_j , φ_j) e le due componenti del macroelemento (δ e φ).

Il meccanismo di ribaltamento del pannello, favorito dall'assenza di una significativa resistenza a trazione del materiale, viene rappresentato ipotizzando un contatto elastico monolatero nelle interfacce (1) e (3), mentre il meccanismo di rottura a taglio è schematizzato, considerando uno stato di tensione uniforme nel modulo centrale (2) (si assume $T_i = T_j$), attraverso

un legame tra le componenti cinematiche (u_i, u_j, φ), lo stato tensionale e le variabili descrittive del comportamento plastico (il grado di danneggiamento α e lo scorrimento plastico γ^p). Il danneggiamento per fessurazione sulle fasce diagonali, dove si verificano meccanismi di taglio-scorrimento, è, infatti, rappresentabile mediante la componente anelastica di spostamento γ^p che si attiva quando viene superata una condizione limite per attrito alla Coulomb. Il legame Gambarotta-Lagomarsino consente di descrivere, attraverso le variabili α e γ^p , l'evoluzione ciclica del degrado di rigidità e del deterioramento della resistenza associato al progressivo danneggiamento a taglio.

Nelle due estremità dell'elemento è concentrato il comportamento a flessione: le relazioni che legano la normale di compressione N ed il momento M alle componenti di spostamento w e φ derivano direttamente dalle equazioni elastiche di legame. Fintanto che il centro di pressione risulta interno al nocciolo centrale d'inerzia, non si verifica la parzializzazione della sezione di estremità del pannello e sforzo normale e momento risultano lineari in w e φ .

2.3.2 Definizione dello spostamento ultimo (*drift*) per il macroelemento

Coerentemente con l'Ordinanza [3], si è stabilito di definire deformazioni massime (*drift*) accettabili per il pannello, dovuti ai meccanismi di taglio e pressoflessione. Se questi valori vengono superati, il pannello non è più considerato in grado di sopportare azioni orizzontali.

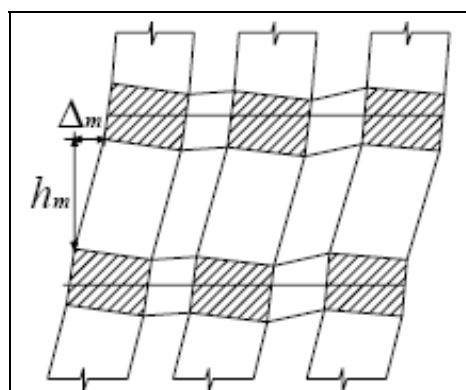


Figura II-8: Calcolo del *drift*

Nel caso di analisi su edifici esistenti in muratura, questi parametri assumono i valori in seguito riportati:

$$\delta_m^{DL} = \frac{\Delta_m}{h_m} = \delta_u \begin{cases} 0.004 \rightarrow \text{taglio} \\ 0.006 \rightarrow \text{pressoflessione} \end{cases}$$

Tali *drift* vengono considerati separatamente all'interno del macroelemento, considerando gli spostamenti e le rotazioni corrispondenti alla porzione centrale (in cui si concentra la deformabilità a taglio) ed alle porzioni di estremità (in cui si ha la pressoflessione):

$$\delta^{\text{taglio}} = \frac{(u_j - u_i)}{h} + \varphi_c$$

$$\delta^{\text{pressoflessione}} = \frac{(\varphi_i + \varphi_j)}{2} + \varphi_c$$

Il superamento di tali limiti comporta la pressoché totale perdita di resistenza flessionale e tagliente del pannello, che conserva una sia pur ridotta rigidità assiale (diviene pertanto una biella).

2.3.3 Modellazione

La modellazione tridimensionale implementata è diretta conseguenza dell'osservazione del comportamento di edifici reali e di prove sperimentali che hanno permesso di introdurre alcune ipotesi sul funzionamento strutturale delle costruzioni in muratura.

Operazione preliminare al fine di una corretta simulazione è la comprensione e l'identificazione della struttura resistente ai carichi verticali ed orizzontali all'interno della costruzione in muratura, elementi che tipicamente sono costituiti dalle pareti e dagli orizzontamenti. Alle pareti si attribuisce il ruolo di elementi resistenti, sia nei riguardi dei carichi verticali sia orizzontali, agli orizzontamenti invece si riconosce il ruolo di riportare alle pareti i carichi verticali gravanti su di essi e di ripartire, come elementi di irrigidimento di piano, le azioni orizzontali sulle pareti di incidenza. Nei riguardi delle azioni orizzontali la modellazione adottata trascura il contributo resistente delle pareti in direzione ortogonale al proprio piano, data la notevole flessibilità.

I meccanismi di collasso fuori piano non sono quindi modellati; questo, tuttavia, non rappresenta un limite in quanto si tratta di fenomeni legati alla risposta locale delle singole pareti di cui, con opportuni accorgimenti ed interventi puntuali, si può limitare decisamente l'insorgenza. Analogamente non viene simulata la risposta flessionale dei solai, significativa per la loro verifica di resistenza, ma trascurabile ai fini della risposta globale; i carichi sui solai sono ripartiti sulle pareti

in funzione della direzione di orditura e delle aree di influenza. Il solaio contribuisce invece come lastra dotata di opportuna rigidezza di piano.

Divisa la parete in tratti verticali corrispondenti ai vari piani e nota l'ubicazione delle aperture, vengono determinate le porzioni di muratura, maschi murari e fasce di piano, in cui si concentrano deformabilità e danneggiamento (come è verificabile dalle osservazioni dei danni di sismi reali, da simulazioni sperimentali e numeriche) e che vengono modellate con i macroelementi finiti bidimensionali, rappresentativi di pannelli murari, a due nodi con tre gradi di libertà per nodo (u_x , u_z , rot_y) e due gradi di libertà aggiuntivi interni.

Le restanti porzioni di parete vengono dunque considerate come nodi rigidi bidimensionali di dimensioni finite, a cui sono connessi i macroelementi; questi ultimi trasmettono, ad ognuno dei nodi incidenti, le azioni lungo i tre gradi di libertà del piano. Nella descrizione di una singola parete i nodi sono individuati da una coppia di coordinate (x,z) nel piano della parete e dalla quota z corrispondente a quelle degli orizzontamenti; i gradi di libertà di cui disporranno saranno unicamente u_x , u_z , rot_y (nodi bidimensionali).

Grazie a questa suddivisione in nodi ed elementi, il modello della parete diviene quindi del tutto assimilabile a quello di un telaio piano.

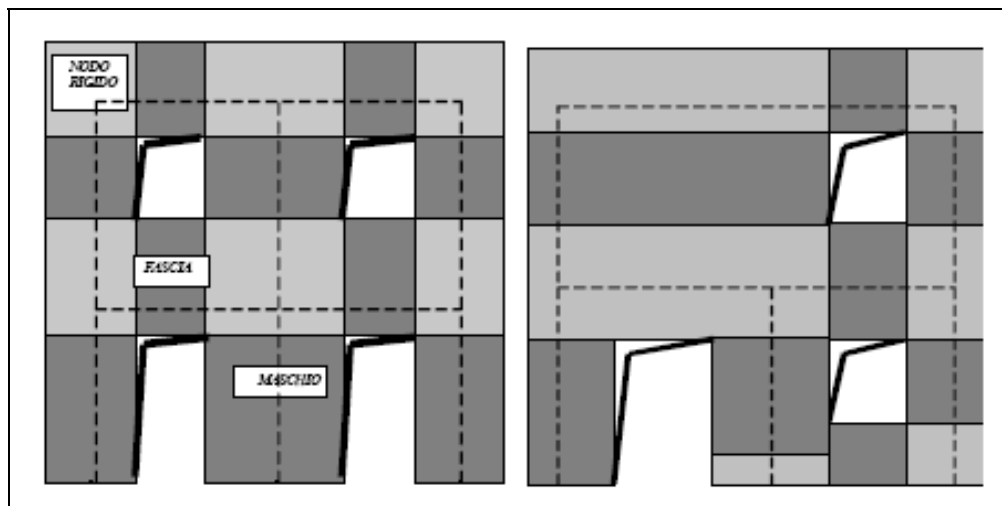


Figura II-9: Schematizzazione a telaio equivalente

La modellazione strutturale richiede inoltre la possibilità di inserire travi ovvero prismi elastici a sezione costante, individuati nel piano dalla posizione dei due nodi di estremità. Noti la lunghezza (dimensione prevalente), l'area, il momento di inerzia ed il modulo elastico è possibile ricostruire la

matrice di rigidezza (applicando le regole del legame elastico) e, assumendo che permangano indefinitamente in campo elastico, si applicano le consuete formulazioni del legame elastico.

Oltre alla presenza di vere e proprie travi (architravi o cordoli in c.a.), il modello prevede la presenza di dispositivi catena: queste strutture metalliche, sono sprovviste di rigidezza flessionale e perdono ogni efficacia nel caso divengano compresse. Questa loro peculiarità comporta un ulteriore elemento di non linearità nel modello: la rigidezza complessiva del sistema deve diminuire qualora una catena tesa divenga compressa e deve aumentare nel caso contrario.

- CAPITOLO 3 -

MODELLAZIONE DEGLI EDIFICI NELLO STATO ATTUALE

In questo capitolo verranno illustrati i risultati relativi all'analisi sismica e all'analisi statica per i due edifici nello stato attuale, così come si trovavano prima degli interventi di miglioramento.

3.1 Cenni sulla modellazione e riferimenti normativi

Utilizzando il programma di calcolo 3MURI sono stati realizzati i modelli strutturali dei due edifici: essi sono stati modellati come assemblaggio 3D di telai equivalenti (pareti murarie) e orizzontamenti (solai).

La modellazione dell'edificio viene realizzata mediante l'inserimento di pareti che vengono discretizzate in macroelementi, rappresentativi dei maschi murari e delle fasce di piano deformabili; i nodi rigidi sono indicati nelle porzioni di muratura che tipicamente sono meno soggette al danneggiamento sismico. Solitamente i maschi e le fasce sono contigui alle aperture, i nodi rigidi rappresentano elementi di collegamento tra maschi e fasce.

I nodi del modello sono tridimensionali a 5 gradi di libertà (le tre componenti di spostamento nel sistema di riferimento globale e le rotazioni intorno agli assi X e Y) o nodi bidimensionali a 3 gradi di libertà (due traslazioni e la rotazione nel piano della parete). Quelli tridimensionali vengono usati per permettere il trasferimento delle azioni, da un primo muro a un secondo disposto trasversalmente rispetto al primo. I nodi di tipo bidimensionale hanno gradi di libertà nel solo piano della parete permettendo il trasferimento degli stati di sollecitazione tra i vari punti della parete.

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

La prima operazione da compiere consiste nell'individuazione e nella modellazione della geometria delle pareti portanti. La parete del modello corrisponderà al piano medio del muro reale. La schematizzazione è stata effettuata a partire dall'analisi della conformazione dei prospetti, prestando particolare attenzione alla morfologia e al posizionamento della aperture, in modo da individuare le porzioni soggette a danneggiamento (*maschi e fasce*) e quelle identificabili come *nodi rigidi*.

3.1.1 Analisi sismica

Facendo riferimento alle Norme Tecniche per le Costruzioni del 2005, per quanto concerne i carichi, la verifica allo stato limite ultimo (SLU) e di danno (SLD) deve essere effettuata per la seguente combinazione della azione sismica con le altre azioni:

$$\gamma_E \cdot E + \gamma_G \cdot G_K + \gamma_P \cdot P_K + \sum_i (\psi_{2i} \cdot \gamma_Q \cdot Q_{Ki}) , \text{ dove:}$$

E = azione sismica per lo stato limite e la classe di importanza in esame;

G_K = carichi permanenti al loro valore caratteristico;

P_K = valore caratteristico dell'azione di precompressione, a cadute di tensione avvenute;

ψ_{2i} = coefficiente di combinazione che fornisce il valore quasi-permanente dell'azione variabile Q_i ;

Q_{Ki} = valore caratteristico della azione variabile Q_i ;

$\gamma_E, \gamma_G, \gamma_P, \gamma_Q$ = coefficienti parziali pari a 1.

Gli effetti dell'azione sismica saranno valutati tenendo conto delle masse associate ai seguenti carichi gravitazionali: $G_K + \sum_i (\psi_{2i} \cdot Q_{Ki})$. I valori dei vari coefficienti sono scelti in base alla destinazione d'uso dei vari solai secondo quanto indicato nelle NTC del 2005 [4].

Per quanto concerne l'analisi sismica, seguendo le indicazioni delle NTC del 2005 [4], si devono eseguire due differenti verifiche:

- Stato limite ultimo (SLU) : $D_{\max} \leq D_u$ e $q^* < 3$, dove:

D_{\max} = spostamento massimo richiesto dalla normativa individuato dallo spettro elastico;

D_u = spostamento massimo offerto dalla struttura corrispondente con il decadimento della curva pushover di un valore pari al 20% di quello massimo;

q^* = rapporto tra la forza di risposta elastica e la forza di snervamento del sistema equivalente.

- Stato limite di danno (SLD) : $D_{\max}^{SLD} \leq D_d$, dove:

D_{\max}^{SLD} = spostamento massimo richiesto dalla Normativa, calcolato come per D_{\max}

$$\text{assumendo } a_g^{SLD} = \frac{a_g}{2.5};$$

D_d = spostamento massimo allo SLD, corrispondente al minimo valore tra quello di taglio massimo e quello che causa il superamento del valore massimo di drift di piano (assunto pari a 0.003).

3.1.2 Analisi statica

La verifica allo stato limite ultimo per carichi statici viene condotta secondo le prescrizioni riportate al punto 2.4.2.1 del D.M. del 1987 [6]. Viene effettuata la seguente combinazione dei carichi:

$$1.5 \cdot G_K + 1.5 \cdot \gamma \cdot Q_K, \text{ assumendo:}$$

G_K = carichi permanenti;

Q_K = carichi accidentali;

γ = coefficiente di combinazione per i carichi variabili, dove:

$\gamma = 1$ per le coperture ed i primi due solai più caricati ; $\gamma = 0.9, \dots, 0.5$ per i solai successivi.

Le verifiche statiche eseguite sulla struttura in questione sono le seguenti.

- Snellezza della muratura

La verifica di snellezza è eseguita in accordo con quanto riportato al punto 2.2.1.3. della [6].

Si definisce *snellezza* di una muratura il rapporto h_0 / t in cui:

h_0 = lunghezza libera di inflessione del muro pari a $r \cdot h$;

t = spessore del muro.

h = l'altezza interna di piano;

r = il fattore laterale di vincolo (posto pari a 1).

La verifica di snellezza risulta soddisfatta se risulta verificata la seguente: $h_0 / t < 20$.

- Eccentricità dei carichi

La verifica di eccentricità dei carichi è eseguita in accordo con quanto riportato al punto 2.2.1.2. della [6]. Tale verifica risulta soddisfatta qualora risultino verificate le seguenti condizioni:

$$e_1 / t \leq 0.33 \text{ dove } e_1 = | e_s | + | e_a |$$

$$e_2 / t \leq 0.33 \text{ dove } e_2 = | e_1 / 2 | + | e_v | , \text{ con:}$$

t = spessore del muro ;

e_s = eccentricità strutturale totale dei carichi verticali; $e_a = h / 200$ = eccentricità accidentale;

$e_v = M_v / N$ = eccentricità dovuta al vento .

- Verifica a carichi verticali

Tale verifica viene condotta in base a quanto riportato al punto 2.4.2.2. della [6]. Tale verifica risulta soddisfatta qualora risulti verificata la seguente: $N_d < N_r$, in cui:

N_d = carico verticale agente ;

$N_r = \Phi f_d A$ = carico verticale resistente ;

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

f_d = resistenza di calcolo della muratura ;

Φ : coefficiente di riduzione della resistenza del muro .

3.2 Modello della colonica di Ugnano nello stato attuale

3.2.1 Criteri di modellazione

Sono state modellate tutte le pareti con funzione strutturale ed i solai. Le travi non sono state inserite in quanto una modellazione puntuale degli elementi aggraverebbe solo l'onere computazionale, senza apportare alcun beneficio sostanziale al fine di indagare la risposta del complesso funzionale.

Per quanto riguarda il loggiato sul lato ovest dell'edificio, esso non è stato inserito nel modello in quanto il suo contributo alla resistenza per carichi orizzontali è da ritenere trascurabile. Il suo peso è stato comunque tenuto in conto computandolo come carico lineare distribuito gravante sulla parete a cui il loggiato è collegato.

Come si nota dalla *Figura I-1: Planimetria catastale* (pag.6), la colonica fa parte di un "aggregato edilizio" costituito da un insieme di diverse unità strutturali che sono il risultato di una genesi articolata e non unitaria. Al fine di semplificare la modellazione, la colonica è stata studiata come "edificio isolato" tenendo comunque in considerazione le interazioni strutturali con gli edifici adiacenti, in special modo tenendo in conto i carichi provenienti da solai o da pareti delle unità strutturali adiacenti. Per cui, in corrispondenza delle pareti murarie del primo e secondo livello adiacenti ad altre unità strutturali, sono stati inseriti carichi lineari che simulano la presenza di tali edifici confinanti.

Poiché le pareti sono composte da muratura mista in *mattoni pieni* e *blocchi lapidei squadrate* [3], a favore di sicurezza sono stati utilizzati i parametri meccanici del materiale meno resistente (mattoni pieni). Inoltre, essendo il *Livello di Conoscenza assunto pari a 1*, sono stati adottati i valori minimi tra quelli proposti dalla Normativa. Tutti i solai, compresi quelli di copertura, sono realizzati secondo la tipologia in legno con travetti affiancati e tavolato semplice.

Di seguito è riportata una tabella con i parametri meccanici dei materiali utilizzati.

Materiali	f_m [N/cm ²]	τ_0 [N/cm ²]	E [N/mm ²]	G [N/mm ²]	w [kN/m ³]
Muratura in mattoni pieni e malta di calce	180	6	1800	300	20

Tabella III-1: Parametri meccanici e peso specifico dei materiali utilizzati

Ecco infine alcune viste del modello 3D così realizzato e la pianta dello schema con la numerazione delle pareti che verrà utilizzata più avanti nelle verifiche.

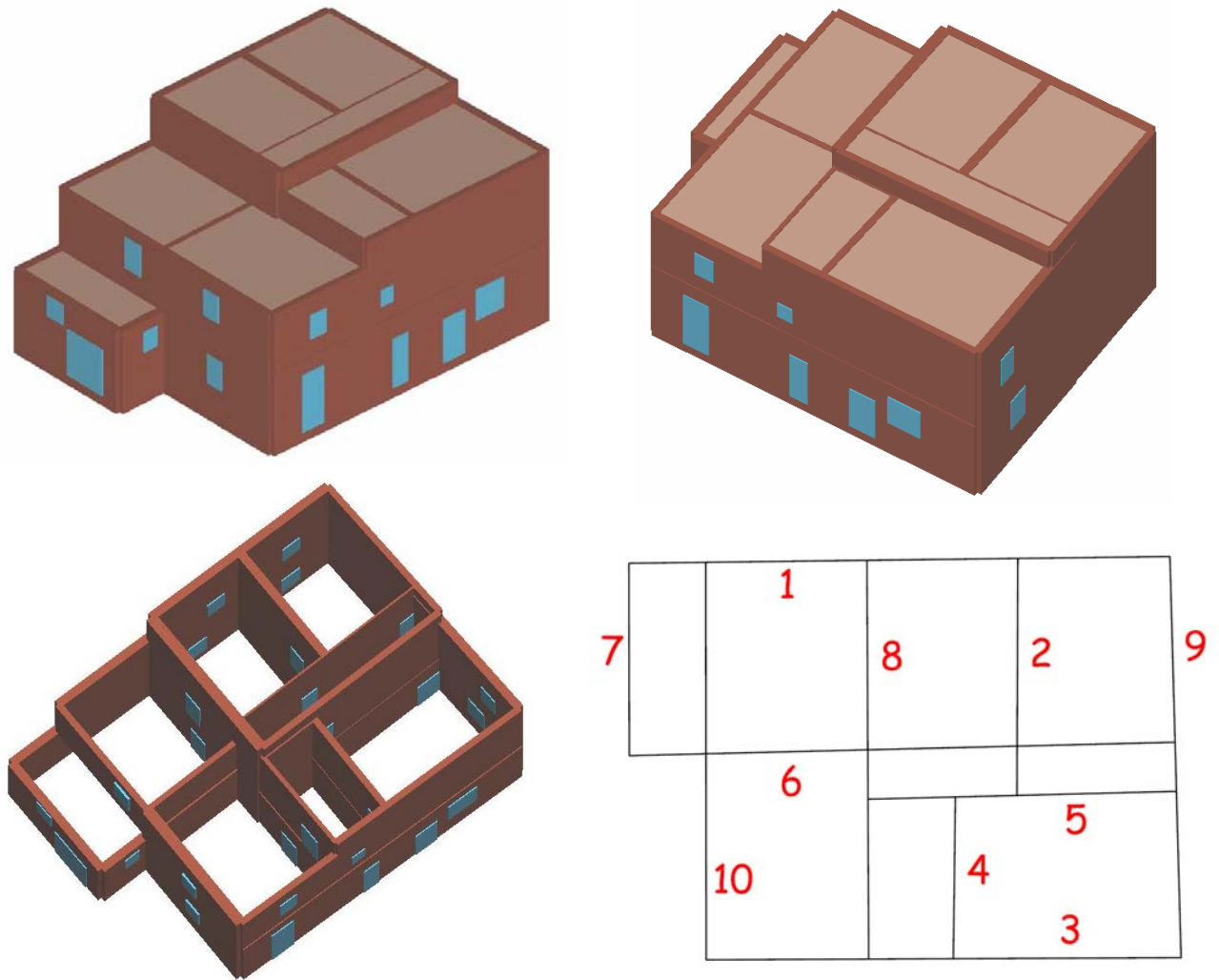
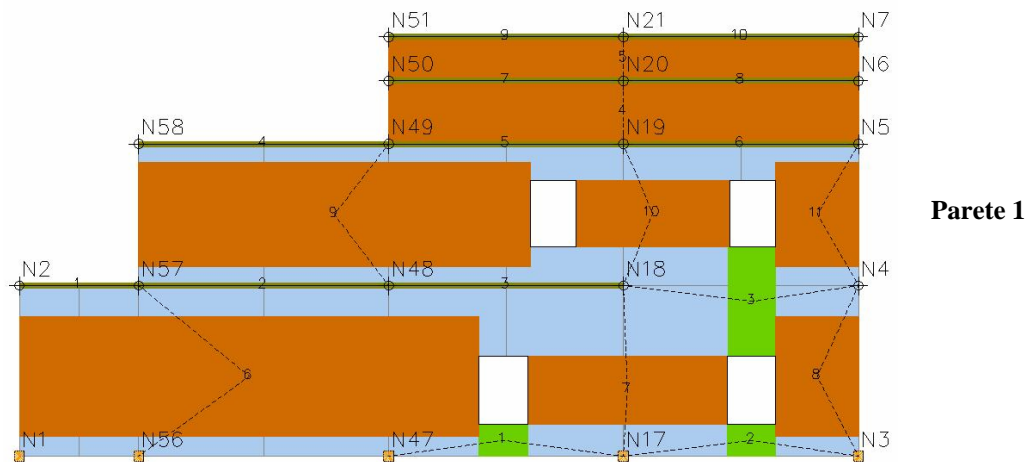


Figura III-1: Viste 3D del modello e numerazione delle pareti

3.2.2 Definizione del telaio equivalente

Si riportano adesso alcuni esempi relativi alla modellazione delle singole pareti.



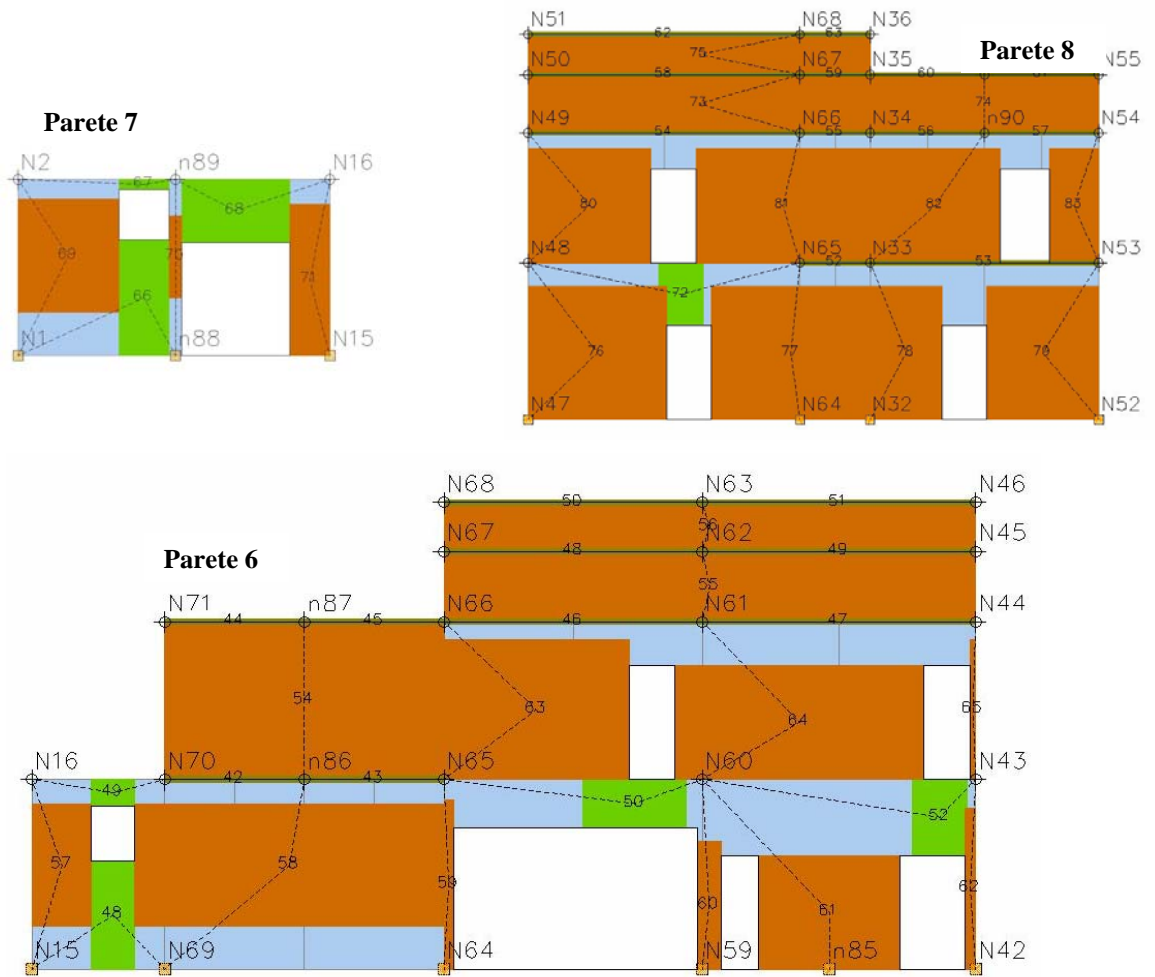


Figura III-2: Esempi di modellazione delle pareti

Viene riportata di seguito la geometria dei pannelli murari che costituiscono l'edificio.

Livello 1		
Parete	Quota [cm]	Spessore [cm]
1	350	40
2	350	40
3	350	40
4	350	35
5	350	35 ÷ 45
6	350	30 ÷ 40
7	350	40
8	350	30 ÷ 50
9	350	30 ÷ 40
10	350	30

Livello 2		
Parete	Quota [cm]	Spessore [cm]
1	640	40
2	640	40
3	640	30
4	640	30
5	640	30 ÷ 45
6	640	10 ÷ 25
8	640	20 ÷ 50
9	640	30 ÷ 40
10	350	30

Livello 3			Livello 4		
Parete	Quota [cm]	Spessore [cm]	Parete	Quota [cm]	Spessore [cm]
1	770	40	1	860	40
2	770	40	2	860	40
3	770	30	5	860	30
4	770	30	6	860	10
5	770	30 ÷ 45	8	860	50
6	770	10	9	860	30
8	770	20 ÷ 50			
9	770	30 ÷ 40			

Tabella III-2: Geometria dei pannelli murari

Vengono mostrati adesso i dati geometrici relativi al telaio equivalente, costituito dai macroelementi *maschi e fasce*.

Parete 1

Macroelementi Maschi

N.	Materiale pannello	Spessore [cm]	Base [cm]	Altezza [cm]	Baricentro X [cm]	Baricentro Z [cm]	Nodo sopra	Nodo sotto
7	Muratura	40	410.0	140	1,248.9	135.0	17	18
6	Muratura	40	943.9	245	472.0	163.6	56	57
8	Muratura	40	170.0	245	1,638.9	163.6	3	4
9	Muratura	40	804.1	212.5	646.9	495.8	48	49
11	Muratura	40	170.0	212.5	1,638.9	495.8	4	5
10	Muratura	40	315.0	135	1,301.4	497.5	18	19
4	Muratura	40	965.5	130	1,241.2	705.0	19	20
5	Muratura	40	965.5	90	1,241.2	815.0	20	21

Macroelementi Fasce

N.	Materiale pannello	Spessore [cm]	Base [cm]	Altezza [cm]	Baricentro X [cm]	Baricentro Z [cm]	Nodo sinistro	Nodo destro
1	Muratura	40	100.0	65	993.9	32.5	47	17
2	Muratura	40	100.0	65	1,503.9	32.5	17	3
3	Muratura	40	97.5	225	1,505.2	317.5	18	4

Parete 2

Macroelementi Maschi

N.	Materiale pannello	Spessore [cm]	Base [cm]	Altezza [cm]	Baricentro X [cm]	Baricentro Z [cm]	Nodo sopra	Nodo sotto
12	Muratura	40	757.2	350	378.6	175.0	59	60
15	Muratura	40	120.0	256.4	218.1	478.2	60	61
16	Muratura	40	389.1	256.4	562.6	478.2	18	72
13	Muratura	40	599.1	130	457.6	705.0	72	73
14	Muratura	40	599.1	90	457.6	815.0	73	74

Parete 3

Macroelementi Maschi

N.	Materiale pannello	Spessore [cm]	Base [cm]	Altezza [cm]	Baricentro X [cm]	Baricentro Z [cm]	Nodo sopra	Nodo sotto
26	Muratura	40	195.0	227.5	832.5	113.8	24	25
25	Muratura	40	380.0	260	460.0	130.0	52	53
27	Muratura	40	59.5	182.5	1,079.7	156.3	75	25
24	Muratura	40	150.0	318.9	75.0	159.4	8	9
28	Muratura	40	250.0	250	1,389.5	184.0	11	12
30	Muratura	30	300.0	100	440.0	475.0	53	54
31	Muratura	30	854.5	185	1,087.2	487.4	25	26
29	Muratura	30	200.0	205	100.0	493.5	9	10
23	Muratura	30	998.3	130	1,015.3	705.0	26	27

Macroelementi Fasce

N.	Materiale pannello	Spessore [cm]	Base [cm]	Altezza [cm]	Baricentro X [cm]	Baricentro Z [cm]	Nodo sinistro	Nodo destro
21	Muratura	40	155.0	130	1,187.0	65.0	75	11
19	Muratura	40	77.5	110	658.8	295.0	53	25
17	Muratura	40	105.0	70	227.5	315.0	9	53
20	Muratura	30	77.5	70	658.8	385.0	53	25
18	Muratura	30	105.0	80	227.5	390.0	9	53
22	Muratura	30	90.0	90	245.0	595.0	10	54

Parete 4

Macroelementi Maschi

N.	Materiale pannello	Spessore [cm]	Base [cm]	Altezza [cm]	Baricentro X [cm]	Baricentro Z [cm]	Nodo sopra	Nodo sotto
35	Muratura	35	10.0	297.5	5.0	148.8	24	25
36	Muratura	35	417.2	297.5	308.6	148.8	28	29
37	Muratura	30	10.0	256.4	5.0	478.2	25	26
38	Muratura	30	417.2	256.4	308.6	478.2	29	76
34	Muratura	30	517.2	130	258.6	705.0	76	77

Macroelementi Fasce

N.	Materiale pannello	Spessore [cm]	Base [cm]	Altezza [cm]	Baricentro X [cm]	Baricentro Z [cm]	Nodo sinistro	Nodo destro
32	Muratura	35	90.0	140	55.0	280.0	25	29

Parete 5

Macroelementi Maschi

N.	Materiale pannello	Spessore [cm]	Base [cm]	Altezza [cm]	Baricentro X [cm]	Baricentro Z [cm]	Nodo sopra	Nodo sotto
44	Muratura	35	564.7	297.5	562.6	148.8	22	23
45	Muratura	35	20.0	297.5	974.9	148.8	37	38
39	Muratura	45	280.2	350	140.1	175.0	78	79
46	Muratura	30	10.0	256.4	285.2	478.2	29	30
47	Muratura	30	604.7	256.4	682.6	478.2	23	82
40	Muratura	45	280.2	290	140.1	495.0	79	80
41	Muratura	45	280.2	130	140.1	705.0	80	81
42	Muratura	30	704.7	130	632.6	705.0	82	83
43	Muratura	30	984.9	90	492.4	815.0	83	84

Parete 6

Macroelementi Maschi

N.	Materiale pannello	Spessore [cm]	Base [cm]	Altezza [cm]	Baricentro X [cm]	Baricentro Z [cm]	Nodo sopra	Nodo sotto
61	Muratura	30	260.0	210	1,470.8	105.0	85	60
60	Muratura	30	43.4	235	1,249.1	117.5	59	60
62	Muratura	30	20.0	297.5	1,730.8	148.8	42	43
59	Muratura	30	17.5	311.6	768.7	155.8	64	65
57	Muratura	40	110.0	225	55.0	191.7	15	16
58	Muratura	40	569.9	225	475.0	191.7	69	86
64	Muratura	10	459.2	210	1,416.2	455.0	60	61
63	Muratura	10	341.6	256.4	930.7	478.2	65	66
65	Muratura	10	10.0	256.4	1,735.8	478.2	43	44
54	Muratura	25	514.9	290	502.4	495.0	86	87
55	Muratura	10	980.9	130	1,250.3	705.0	61	62
56	Muratura	10	980.9	90	1,250.3	815.0	62	63

Macroelementi Fasce

N.	Materiale pannello	Spessore [cm]	Base [cm]	Altezza [cm]	Baricentro X [cm]	Baricentro Z [cm]	Nodo sinistro	Nodo destro
48	Muratura	40	80.0	200	150.0	100.0	15	69
52	Muratura	30	102.5	140	1,674.5	280.0	60	43
50	Muratura	30	190.8	90	1,111.6	305.0	65	60
49	Muratura	40	80.0	50	150.0	325.0	16	70

Parete 7

Macroelementi Maschi

N.	Materiale pannello	Spessore [cm]	Base [cm]	Altezza [cm]	Baricentro X [cm]	Baricentro Z [cm]	Nodo sopra	Nodo sotto
71	Muratura	40	80.0	301.1	580.5	150.5	15	16
70	Muratura	40	25.0	162.5	313.0	196.3	88	89
69	Muratura	40	200.5	225	100.3	198.3	1	2

Macroelementi Fasce

N.	Materiale pannello	Spessore [cm]	Base [cm]	Altezza [cm]	Baricentro X [cm]	Baricentro Z [cm]	Nodo sinistro	Nodo destro
66	Muratura	40	100.0	230	250.5	115.0	1	88
68	Muratura	40	215.0	125	433.0	287.5	89	16
67	Muratura	40	100.0	20	250.5	340.0	2	89

Parete 8

Macroelementi Maschi

N.	Materiale pannello	Spessore [cm]	Base [cm]	Altezza [cm]	Baricentro X [cm]	Baricentro Z [cm]	Nodo sopra	Nodo sotto
76	Muratura	50	310.0	297.5	155.0	148.8	47	48
77	Muratura	50	354.6	297.5	587.3	148.8	64	65
78	Muratura	30	160.8	297.5	845.0	148.8	32	33
79	Muratura	30	250.0	297.5	1,150.4	148.8	52	53
80	Muratura	50	274.6	256.4	137.3	478.2	48	49
81	Muratura	50	390.0	256.4	569.6	478.2	65	66
82	Muratura	20	290.8	256.4	910.0	478.2	33	90
83	Muratura	20	110.0	256.4	1,220.4	478.2	53	54
73	Muratura	50	764.6	130	382.3	705.0	66	67
74	Muratura	20	510.8	130	1,020.0	705.0	90	91
75	Muratura	50	764.6	90	382.3	815.0	67	68

Macroelementi Fasce

N.	Materiale pannello	Spessore [cm]	Base [cm]	Altezza [cm]	Baricentro X [cm]	Baricentro Z [cm]	Nodo sinistro	Nodo destro
72	Muratura	50	100.0	140	342.3	280.0	48	65

Parete 9

Macroelementi Maschi

N.	Materiale pannello	Spessore [cm]	Base [cm]	Altezza [cm]	Baricentro X [cm]	Baricentro Z [cm]	Nodo sopra	Nodo sotto
84	Muratura	30	590.4	350	295.2	175.0	92	93
91	Muratura	40	377.0	255	778.9	186.0	37	38
92	Muratura	40	210.0	255	1,177.4	186.0	11	12
87	Muratura	30	590.4	290	295.2	495.0	93	94
93	Muratura	40	462.0	220	821.4	505.2	38	39
94	Muratura	40	140.0	220	1,212.4	505.2	12	13
88	Muratura	30	590.4	130	295.2	705.0	94	95
89	Muratura	40	692.0	130	936.4	705.0	39	40
90	Muratura	30	749.2	90	374.6	815.0	95	46

Macroelementi Fasce

N.	Materiale pannello	Spessore [cm]	Base [cm]	Altezza [cm]	Baricentro X [cm]	Baricentro Z [cm]	Nodo sinistro	Nodo destro
85	Muratura	40	105.0	130	1,019.9	65.0	37	11
86	Muratura	40	97.5	160	1,058.7	370.0	38	12

Parete 10

Macroelementi Maschi

N.	Materiale pannello	Spessore [cm]	Base [cm]	Altezza [cm]	Baricentro X [cm]	Baricentro Z [cm]	Nodo sopra	Nodo sotto
100	Muratura	30	226.3	295.5	113.1	147.7	56	57
101	Muratura	30	425.6	170	689.1	150.0	69	70
102	Muratura	30	280.0	245	1,131.9	182.1	8	9
105	Muratura	30	300.0	210	1,121.9	501.2	9	10
103	Muratura	30	401.9	220	200.9	505.2	57	58
104	Muratura	30	380.0	140	691.9	520.0	70	71

Macroelementi Fasce

N.	Materiale pannello	Spessore [cm]	Base [cm]	Altezza [cm]	Baricentro X [cm]	Baricentro Z [cm]	Nodo sinistro	Nodo destro
96	Muratura	30	90.0	130	946.9	65.0	69	8
95	Muratura	30	175.0	250	401.6	325.0	57	70
97	Muratura	30	90.0	180	936.9	360.0	70	9
99	Muratura	30	90.0	60	926.9	610.0	71	10
98	Muratura	30	100.0	40	451.9	620.0	58	71

Si riportano infine i valori dei carichi gravanti sui solai.

N. solaio	Tipo solaio	G _k [daN/m ²]	Q _k [daN/m ²]	Ψ ₂
4	Travetti affiancati e tavolato semplice	250.0	200.0	0.3
5	Travetti affiancati e tavolato semplice	250.0	200.0	0.3
8	Travetti affiancati e tavolato semplice	250.0	200.0	0.3
9	Travetti affiancati e tavolato semplice	250.0	92.0	0.3
10	Travetti affiancati e tavolato semplice	250.0	92.0	0.3
11	Travetti affiancati e tavolato semplice	250.0	92.0	0.3
12	Travetti affiancati e tavolato semplice	250.0	92.0	0.3
13	Travetti affiancati e tavolato semplice	250.0	92.0	0.3
14	Travetti affiancati e tavolato semplice	250.0	200.0	0.3
15	Travetti affiancati e tavolato semplice	250.0	200.0	0.3

3.2.3 Analisi statica non lineare

Al fine di effettuare l'analisi secondo le NTC del 2005 [4], sono state definite la *zona sismica* del comune di edificazione, la *categoria del suolo di fondazione* e la *classe della struttura*, determinando così i parametri riportati nella tabella seguente.

Classe struttura	Zona sismica	Valore di a _g	Categoria di suolo					
			S	T _B	T _C	T _D		
1	2	2.453 m/s ²	C	SLU	1.25	0.15	0.5	2
				SLD	1.5	0.05	0.25	1.2

Tabella III-3: Parametri per l'analisi sismica

Al fine di individuare la condizione di carico sismico più gravosa, si è deciso di eseguire le analisi distinte per tipologia di carico e direzione del sisma. Il *carico sismico* individua quale delle due tipologie di distribuzioni (proporzionale alle masse o al primo modo) prendere in esame; la *direzione del sisma* individua la direzione lungo cui viene caricata la struttura (X o Y del sistema globale) dal carico sismico. Inoltre lo spostamento preso in esame per il tracciamento della curva di capacità è quello di un punto dell'edificio detto *nodo di controllo*.

Riportiamo di seguito lo schema relativo alle analisi eseguite.

N.	Direzione sisma	Carico sismico proporzionale	Eccentricità [cm]	Nodo di controllo	
				Livello	Nodo
1	+X	Masse	0.0	4	36
2	+X	1° modo	0.0	4	36
3	-X	Masse	0.0	4	36
4	-X	1° modo	0.0	4	36
5	+Y	Masse	0.0	4	36
6	+Y	1° modo	0.0	4	36
7	-Y	Masse	0.0	4	36
8	-Y	1° modo	0.0	4	36

Tabella III-4: Schema delle analisi eseguite

Si riportano adesso i risultati emersi dall'analisi.

N.	Direzione sisma	Carico sismico prop.	SLU				SLD			α_u	α_e
			D_{max} [cm]	D_u [cm]	q^*	Verificato	D_{max} [cm]	D_d [cm]	Verificato		
1	+X	Masse	1.231	1.881	2.017	Sì	0.276	0.594	Sì	1.347	1.721
2	+X	1° modo	1.462	2.129	2.744	Sì	0.338	1.141	Sì	1.093	2.719
3	-X	Masse	1.166	0.516	1.989	No	0.259	0.313	Sì	0.640	1.141
4	-X	1° modo	1.672	2.300	2.136	Sì	0.436	0.412	No	1.267	0.957
5	+Y	Masse	1.298	0.809	3.125	No	0.299	0.188	No	0.706	0.720
6	+Y	1° modo	1.374	0.817	2.628	No	0.330	0.347	Sì	0.696	1.037
7	-Y	Masse	1.273	0.638	2.358	No	0.300	0.201	No	0.642	0.767
8	-Y	1° modo	1.504	1.089	2.584	No	0.379	0.159	No	0.791	0.539

N.	Direzione sisma	Carico sismico proporzionale	T^* [sec]	m^* [Kg]	w [Kg]	Duttilità disponibile
1	+X	Masse	0.153	341,983	709,947	6.61
2	+X	1° modo	0.159	341,938	709,947	9.45
3	-X	Masse	0.148	341,983	709,947	1.92
4	-X	1° modo	0.192	341,938	709,947	5.45
5	+Y	Masse	0.156	428,859	709,947	4.86
6	+Y	1° modo	0.172	428,859	709,947	3.41
7	-Y	Masse	0.167	428,859	709,947	2.54
8	-Y	1° modo	0.186	428,859	709,947	3.80

Tabella III-5: Risultati dell'analisi pushover

Come si nota da una rapida visione dei risultati, l'azione sismica più gravosa risulta essere quella agente lungo la direzione Y.

Vengono mostrati adesso in dettaglio i risultati delle analisi, riportando le curve di pushover ed il modello 3D dell'edificio sollecitato dalle varie azioni sismiche, evidenziando così i tipi di rottura che si manifestano nei pannelli murari.

Analisi 1 – Direzione sisma +X con carico proporzionale alla massa

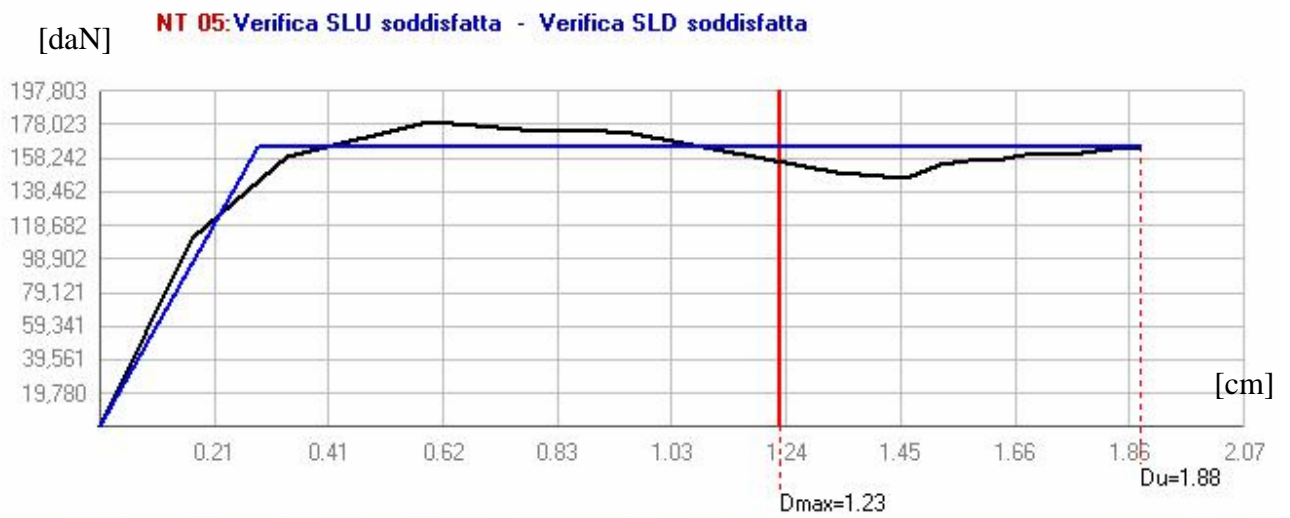


Figura III-3: Curva pushover dell'analisi 1

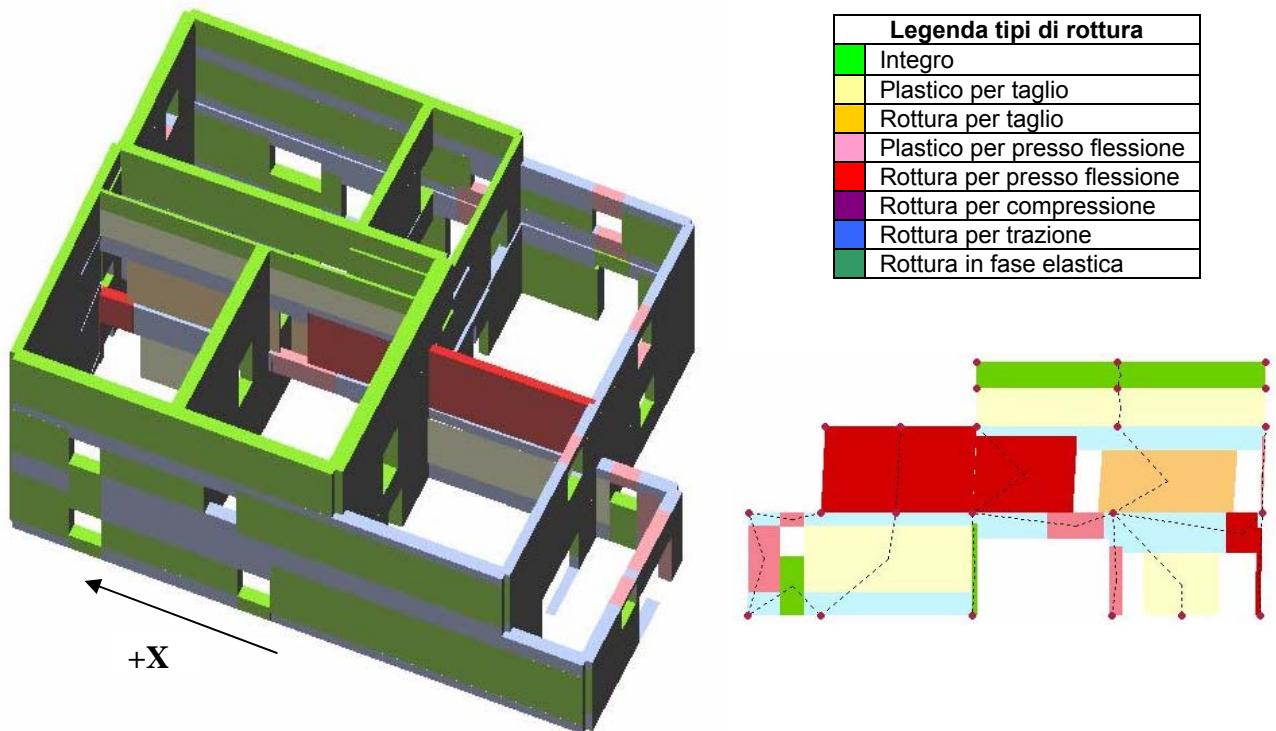


Figura III-4: Vista 3D dell'edificio e deformata della parete 6 relative all'analisi 1

Analisi 2 – Direzione sisma +X con carico proporzionale al 1° modo

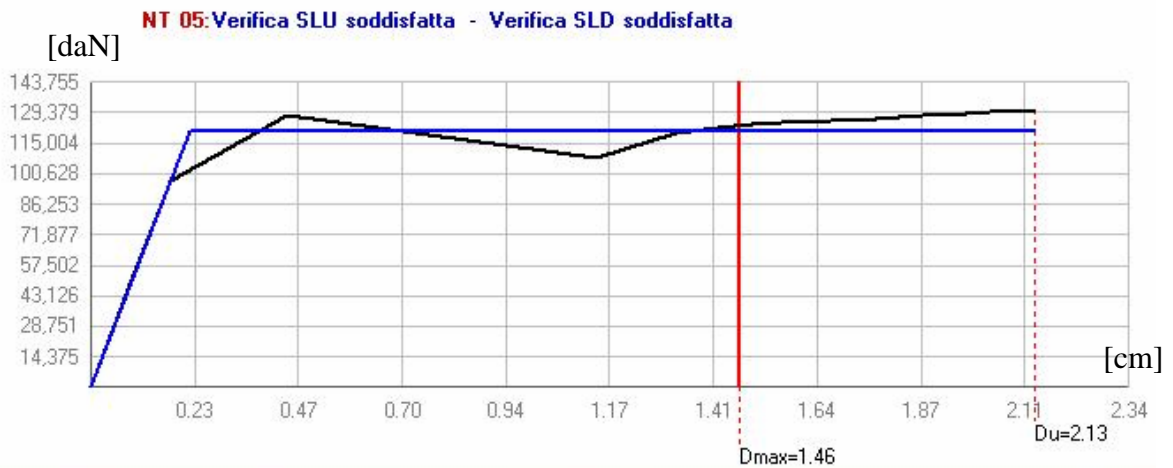


Figura III-5: Curva pushover dell'analisi 2

Le deformate dei pannelli murari relative all'analisi 2 sono pressoché uguale alle deformate relative all'analisi 1.

Analisi 3 – Direzione sisma -X con carico proporzionale alla massa

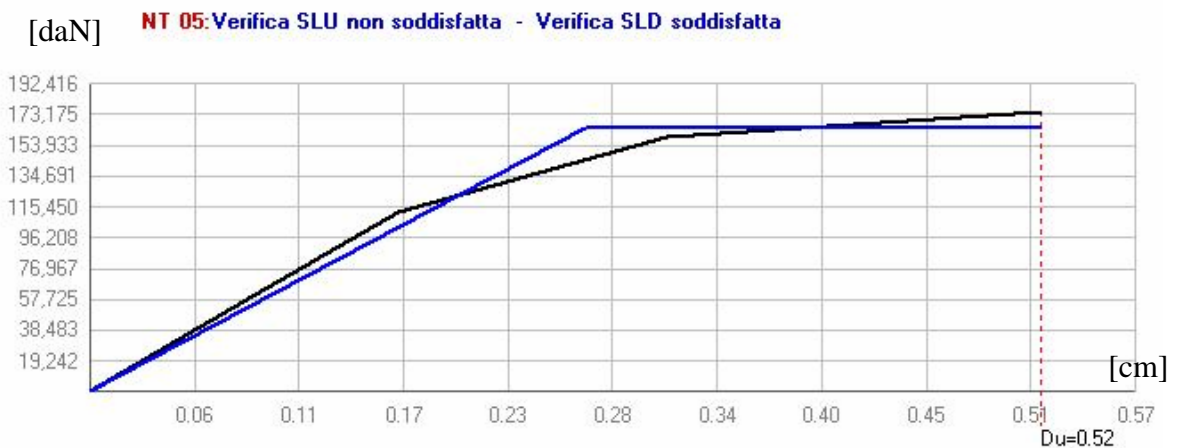


Figura III-6: Curva pushover dell'analisi 3

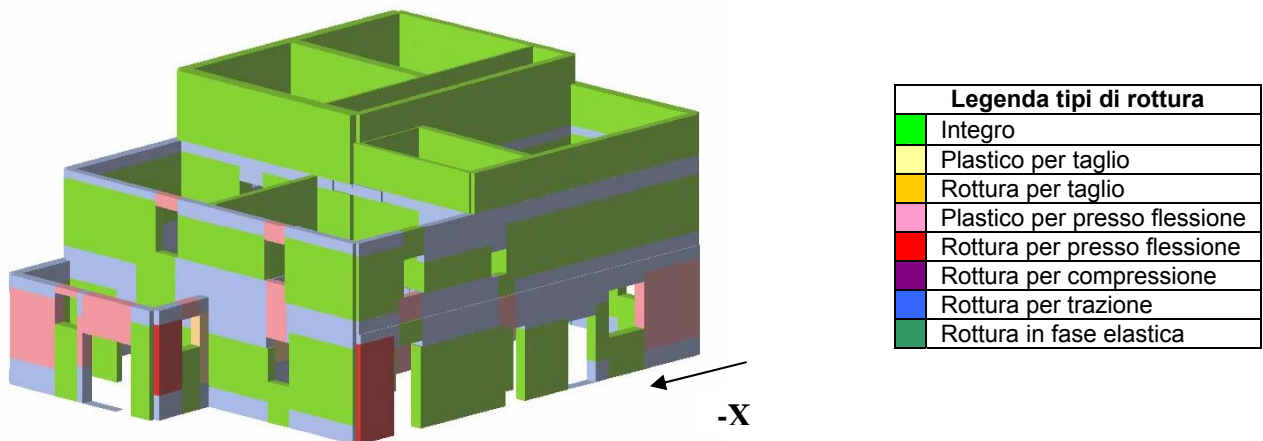


Figura III-7: Vista 3D dell'edificio relativa all'analisi 3

Analisi 4 – Direzione sisma -X con carico proporzionale al 1° modo

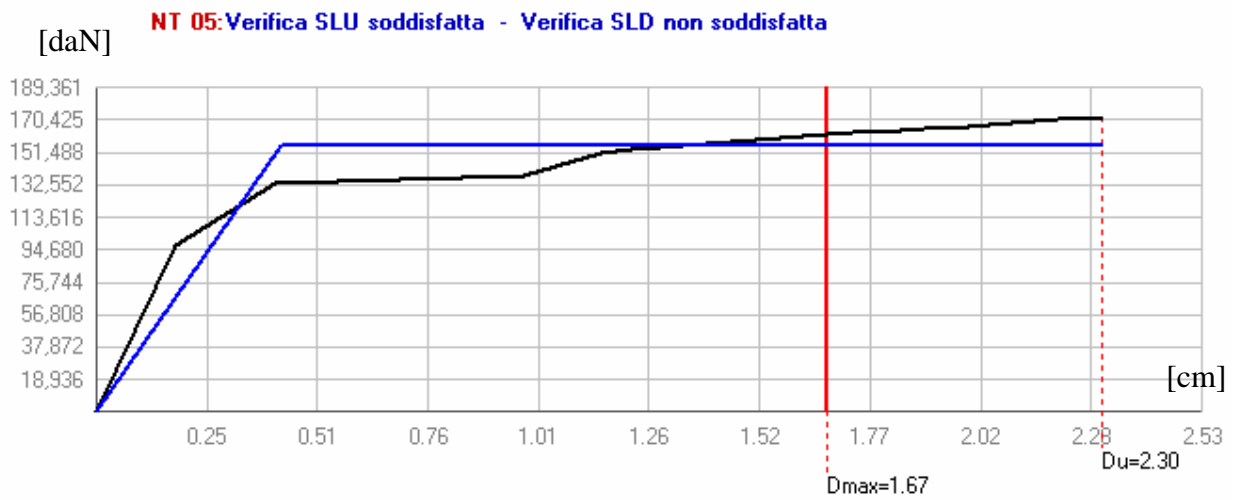


Figura III-8: Curva pushover dell'analisi 4

Le deformate dei pannelli murari relative all'analisi 4 sono pressoché uguali alle deformate relative all'analisi 2.

Analisi 5 – Direzione sisma +Y con carico proporzionale alla massa

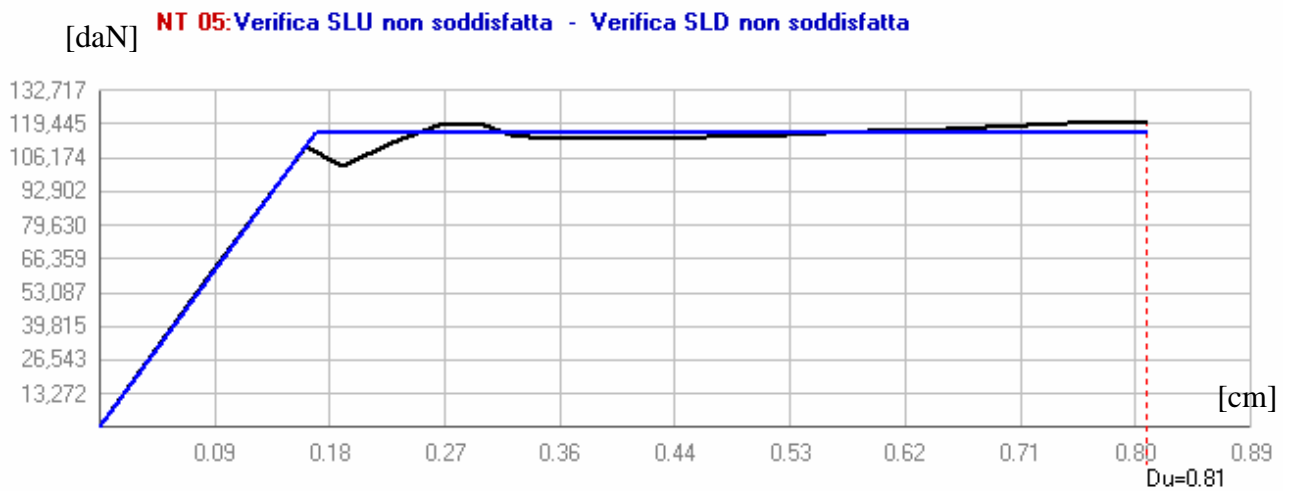


Figura III-9: Curva pushover dell'analisi 5

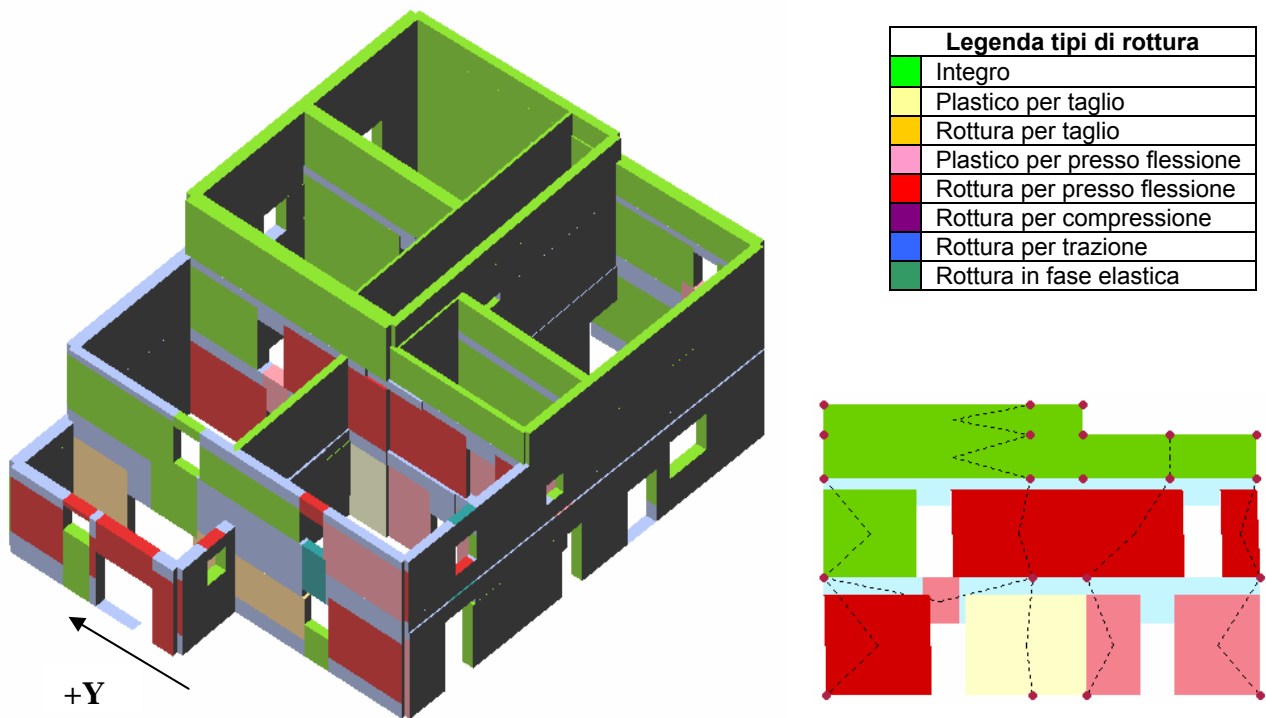


Figura III-10: Vista 3D dell'edificio e deformata della parete 8 relative all'analisi 5

Analisi 6 – Direzione sisma +Y con carico proporzionale al 1° modo

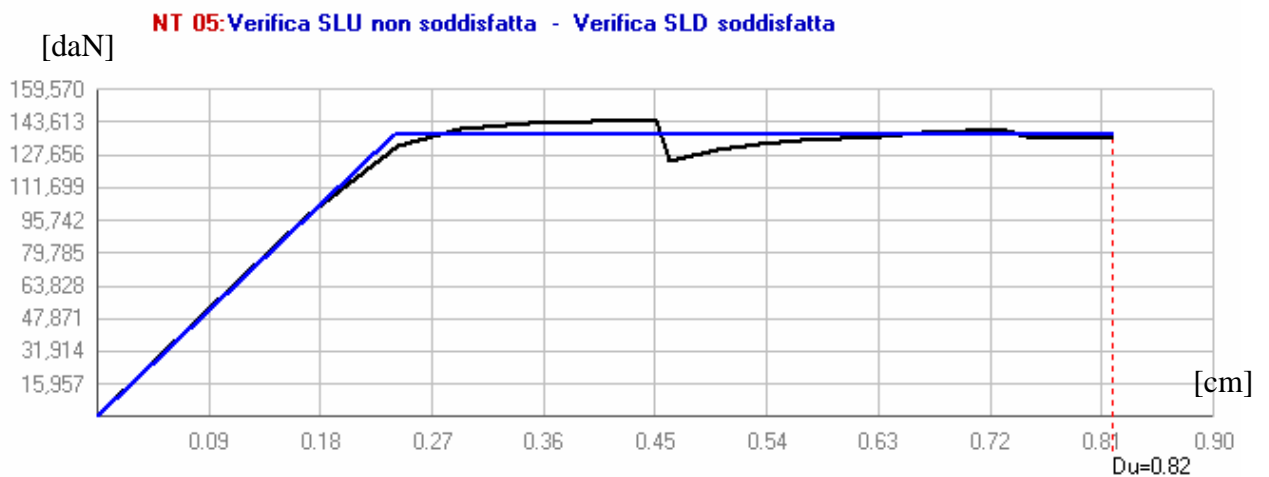


Figura III-11: Curva pushover dell'analisi 6

Le deformate dei pannelli murari relative all'analisi 6 sono pressoché uguali alle deformate relative all'analisi 5.

Analisi 7 – Direzione sisma -Y con carico proporzionale alla massa

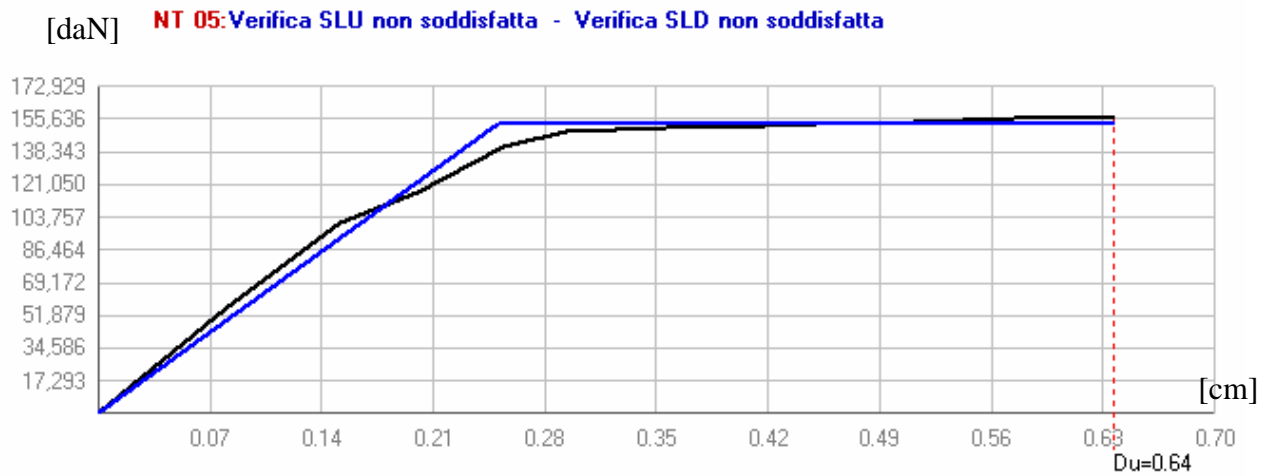


Figura III-12: Curva pushover dell'analisi 7

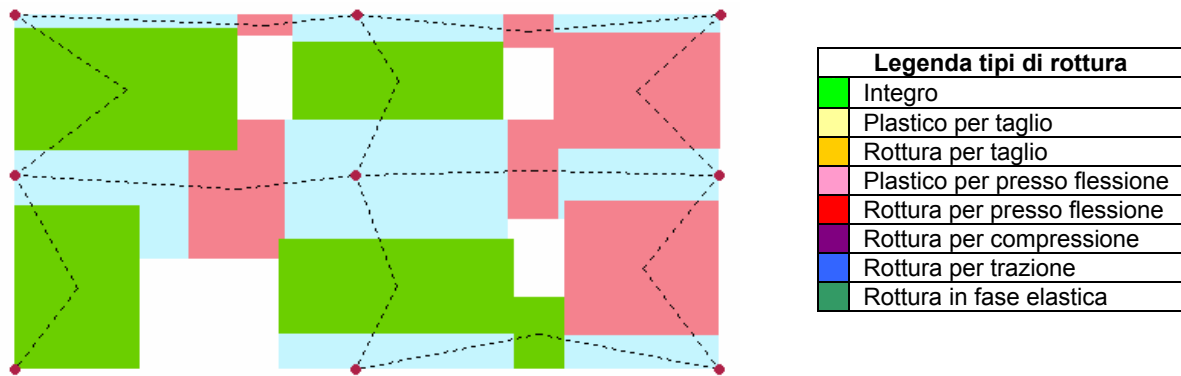


Figura III-13: Deformata della parete 10

Analisi 8 – Direzione sisma -Y con carico proporzionale al 1° modo

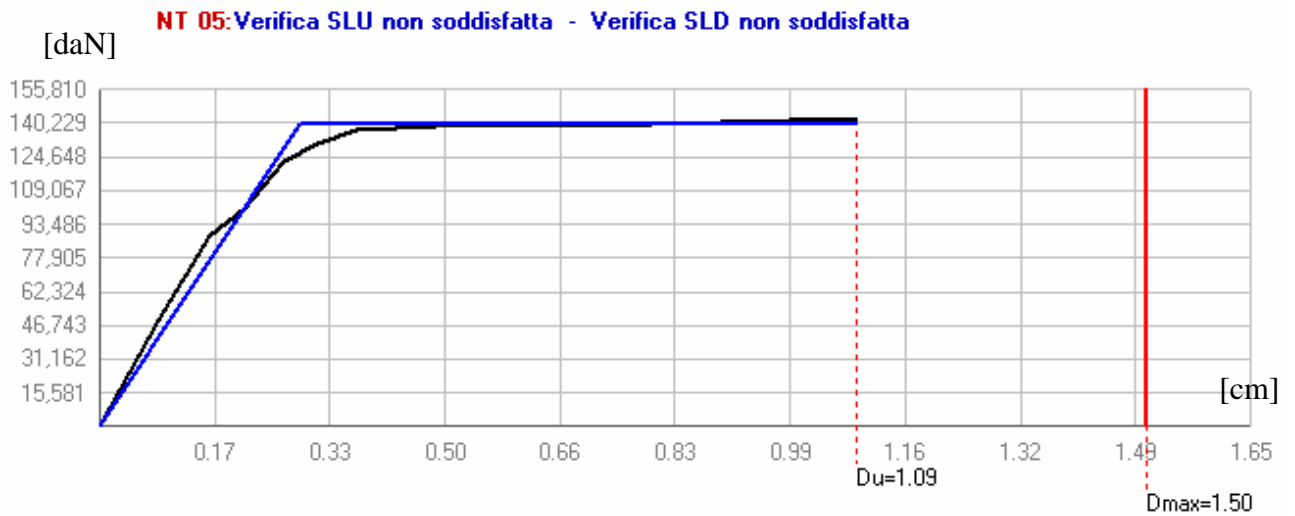


Figura III-14: Curva pushover dell'analisi 8

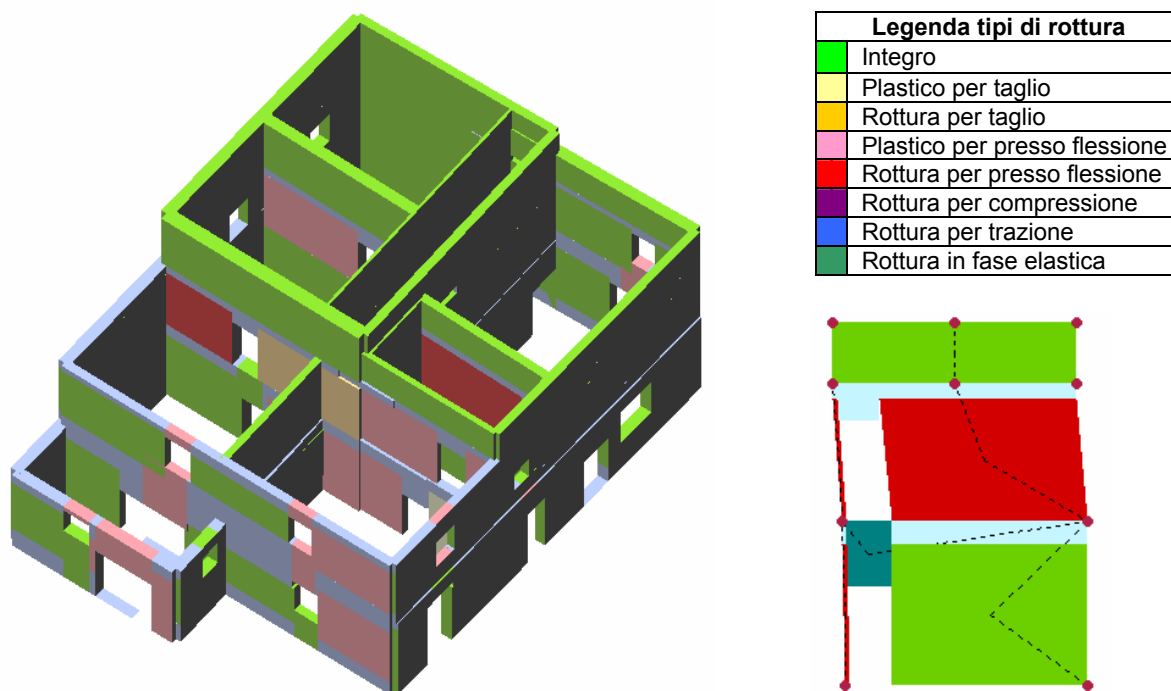


Figura III-15: Vista 3D dell'edificio e deformata della parete 4 relative all'analisi 8

3.2.4 Analisi per carichi verticali

Le verifiche sono state eseguite in ogni maschio murario della struttura, nelle tre sezioni principali (inferiore, centrale, superiore). I valori dello sforzo normale resistente sono stati calcolati solamente se le verifiche di snellezza ed eccentricità dei carichi sono risultate soddisfatte.

Nella tabella seguente sono riportati i risultati generali dell'analisi.

Parete	Maschi rotti	N_d / N_r max	h_0 / t max	e_1 / t max	e_2 / t max
1	0	0.75	8.75	0.162	0.077
2	0	0.38	8.75	0.303	0.104
3	2	1.20	9.67	0.160	0.056
4	0	0.80	10.00	0.166	0.062
5	0	0.57	10.00	0.123	0.050
6	4	1.09	29.00	0.225	0.145
7	0	0.76	8.75	0.243	0.111
8	0	0.98	14.50	0.332	0.101
9	1	1.07	11.67	0.237	0.083
10	0	0.68	11.67	0.273	0.089

Tabella III-6: Risultati dell'analisi statica

Dai risultati si evince che le verifiche di eccentricità dei carichi sono tutte rispettate, mentre la parete 6 non soddisfa la verifica di snellezza a causa del suo modesto spessore. La verifica a

carichi verticali, invece, risulta essere soddisfatta per la maggioranza dei pannelli murari: le pareti 3, 6 e 9 non soddisfano tale verifica .

Riportiamo di seguito i dettagli di verifica per le singole pareti.

Parete 1

N. maschio	h _o [cm]	t [cm]	h _o / t	e ₁ / t inferiore	e ₂ / t medio	e ₁ / t superiore	Verificato
4	130	40	3.25	0.113	0.048	0.084	Si
5	90	40	2.25	0.154	0.053	0.082	Si
6	350	40	8.75	0.142	0.061	0.109	Si
7	350	40	8.75	0.162	0.077	0.149	Si
8	350	40	8.75	0.114	0.051	0.093	Si
9	290	40	7.25	0.135	0.054	0.094	Si
10	290	40	7.25	0.114	0.054	0.102	Si
11	290	40	7.25	0.036	0.036	0.036	Si

N. maschio	Inferiore				Medio				Superiore				Verificato
	N _d [daN]	Φ	N _r [daN]	N _d /N _r	N _d [daN]	Φ	N _r [daN]	N _d /N _r	N _d [daN]	Φ	N _r [daN]	N _d /N _r	
4	31,667	0.62	175,356	0.181	38,218	0.87	246,547	0.155	44,768	0.57	160,343	0.279	Si
5	8,948	0.70	199,084	0.045	13,483	0.89	252,569	0.053	18,018	0.98	278,321	0.065	Si
6	48,149	0.59	162,951	0.295	60,218	0.82	227,281	0.265	72,288	0.53	145,429	0.497	Si
7	48,123	0.63	75,233	0.640	51,119	0.87	104,580	0.489	54,115	0.60	72,216	0.749	Si
8	10,502	0.53	26,591	0.395	12,676	0.79	39,347	0.322	14,849	0.49	24,631	0.603	Si
9	25,054	0.60	142,362	0.176	33,972	0.83	196,203	0.173	42,889	0.52	123,827	0.346	Si
10	23,686	0.56	52,069	0.455	25,906	0.83	76,626	0.338	28,125	0.54	49,898	0.564	Si
11	8,026	0.78	38,704	0.207	9,912	0.78	38,704	0.256	11,797	0.78	38,704	0.305	Si

Parete 2

N. maschio	h _o [cm]	t [cm]	h _o / t	e ₁ / t inferiore	e ₂ / t medio	e ₁ / t superiore	Verificato
12	350	40	8.75	0.108	0.046	0.082	Si
13	130	40	3.25	0.229	0.093	0.157	Si
14	90	40	2.25	0.303	0.104	0.159	Si
15	290	40	7.25	0.036	0.036	0.036	Si
16	290	40	7.25	0.189	0.075	0.126	Si

N. maschio	Inferiore				Medio				Superiore				Verificato
	N _d [daN]	Φ	N _r [daN]	N _d /N _r	N _d [daN]	Φ	N _r [daN]	N _d /N _r	N _d [daN]	Φ	N _r [daN]	N _d /N _r	
12	40,708	0.52	115,837	0.351	54,539	0.77	171,784	0.317	68,371	0.88	196,050	0.349	Si
13	15,875	0.52	92,088	0.172	19,939	0.58	102,206	0.195	24,004	0.70	123,347	0.195	Si
14	5,738	0.38	66,025	0.087	8,510	0.61	107,239	0.079	11,324	0.71	125,187	0.090	Si
15	6,105	0.78	27,320	0.223	7,711	0.78	27,320	0.282	9,317	0.78	27,320	0.341	Si
16	14,779	0.38	43,565	0.339	19,985	0.89	102,032	0.196	25,192	0.59	66,983	0.376	Si

Parete 3

N. maschio	h_o [cm]	t [cm]	h_o / t	e_1 / t inferiore	e_2 / t medio	e_1 / t superiore	Verificato
23	130	30	4.33	0.160	0.056	0.088	Si
24	150	40	8.75	0.123	0.055	0.099	Si
25	350	40	8.75	0.100	0.047	0.089	Si
26	350	40	8.75	0.083	0.044	0.079	Si
27	350	40	8.75	0.077	0.044	0.074	Si
28	350	40	8.75	0.062	0.044	0.059	Si
29	290	30	9.67	0.108	0.048	0.088	Si
30	290	30	9.67	0.078	0.048	0.075	Si
31	290	30	9.67	0.095	0.048	0.081	Si

N. maschio	Inferiore				Medio				Superiore				Verificato
	N_d [daN]	Φ	N_r [daN]	N_d/N_r	N_d [daN]	Φ	N_r [daN]	N_d/N_r	N_d [daN]	Φ	N_r [daN]	N_d/N_r	
23	9,465	0.70	153,878	0.062	14,544	0.89	195,005	0.075	19,624	0.56	124,009	0.158	Si
24	11,742	0.55	24,262	0.484	14,238	0.80	35,220	0.404	16,735	0.51	22,261	0.752	Si
25	41,081	0.51	56,484	0.727	46,237	0.78	86,588	0.534	51,394	0.49	54,074	0.950	Si
26	32,736	0.48	27,185	1.204	35,052	0.77	43,905	0.798	37,367	0.87	49,935	0.748	No
27	13,569	0.87	15,142	0.896	14,135	0.77	13,391	1.056	14,702	0.86	15,007	0.980	No
28	38,244	0.82	60,283	0.634	41,506	0.77	56,288	0.737	44,768	0.81	59,701	0.750	Si
29	6,512	0.50	22,148	0.294	8,117	0.76	33,530	0.242	9,722	0.47	20,493	0.474	Si
30	19,858	0.85	56,184	0.353	21,032	0.76	50,296	0.418	22,206	0.84	55,561	0.400	Si
31	28,141	0.48	89,955	0.313	34,329	0.76	143,254	0.240	40,516	0.86	161,471	0.251	Si

Parete 4

N. maschio	h_o [cm]	t [cm]	h_o / t	e_1 / t inferiore	e_2 / t medio	e_1 / t superiore	Verificato
34	350	30	4.33	0.166	0.062	0.101	Si
35	350	35	10.00	0.088	0.050	0.078	Si
36	290	35	10.00	0.109	0.050	0.092	Si
37	290	30	9.67	0.048	0.048	0.048	Si
38	290	30	9.67	0.104	0.048	0.081	Si

N. maschio	Inferiore				Medio				Superiore				Verificato
	N_d [daN]	Φ	N_r [daN]	N_d/N_r	N_d [daN]	Φ	N_r [daN]	N_d/N_r	N_d [daN]	Φ	N_r [daN]	N_d/N_r	
34	6,428	0.71	81,027	0.079	9,060	0.91	103,223	0.088	11,692	0.59	66,981	0.175	Si
35	752	0.46	1,176	0.639	888	0.76	1,951	0.455	1,024	0.84	2,164	0.473	Si
36	28,474	0.50	53,483	0.532	34,142	0.76	81,380	0.420	39,810	0.47	50,023	0.796	Si
37	257	0.76	1,677	0.153	357	0.76	1,677	0.213	458	0.76	1,677	0.273	Si
38	11,967	0.50	45,628	0.262	16,154	0.76	69,943	0.231	20,341	0.86	79,051	0.257	Si

Parete 5

N. maschio	h_o [cm]	t [cm]	h_o / t	e_1 / t inferiore	e_2 / t medio	e_1 / t superiore	Verificato
39	290	45	7.78	0.075	0.039	0.062	Si
40	130	45	6.44	0.118	0.044	0.073	Si
41	130	45	2.89	0.087	0.035	0.059	Si
42	90	30	4.33	0.123	0.050	0.086	Si
43	350	30	3.00	0.100	0.035	0.054	Si
44	350	35	10.00	0.071	0.050	0.066	Si
45	350	35	10.00	0.079	0.050	0.072	Si
46	290	30	9.67	0.048	0.048	0.048	Si
47	290	30	9.67	0.105	0.048	0.083	Si

N. maschio	Inferiore				Medio				Superiore				Verificato
	N _d [daN]	Φ	N _r [daN]	N _d /N _r	N _d [daN]	Φ	N _r [daN]	N _d /N _r	N _d [daN]	Φ	N _r [daN]	N _d /N _r	
39	20,723	0.88	81,710	0.254	26,481	0.77	71,495	0.370	32,239	0.84	78,061	0.413	Si
40	8,651	0.59	54,280	0.159	13,421	0.82	75,432	0.178	18,192	0.91	83,764	0.217	Si
41	6,742	0.57	53,012	0.127	8,881	0.83	76,827	0.116	11,019	0.91	83,756	0.132	Si
42	12,594	0.63	97,769	0.129	16,180	0.87	134,986	0.120	19,766	0.56	86,928	0.227	Si
43	5,656	0.60	129,527	0.044	8,818	0.83	180,010	0.049	12,287	0.89	193,132	0.064	Si
44	48,138	0.82	119,088	0.404	55,810	0.76	110,152	0.507	63,482	0.81	116,928	0.543	Si
45	1,872	0.85	4,344	0.431	2,144	0.76	3,901	0.550	2,416	0.83	4,244	0.569	Si
46	285	0.76	1,677	0.170	385	0.76	1,677	0.230	486	0.76	1,677	0.290	Si
47	19,000	0.50	66,319	0.286	25,069	0.76	101,377	0.247	31,138	0.87	115,246	0.270	Si

Parete 6

N. maschio	h _o [cm]	t [cm]	h _o / t	e ₁ / t inferiore	e ₂ / t medio	e ₁ / t superiore	Verificato
54	350	25	11.60	0.225	0.075	0.122	Si
55	350	10	13.00	0.200	0.086	0.152	Si
56	350	10	9.00	0.205	0.083	0.141	Si
57	350	40	8.75	0.075	0.044	0.062	Si
58	350	40	8.75	0.143	0.065	0.119	Si
59	350	30	11.67	0.070	0.058	0.066	Si
60	290	30	11.67	0.103	0.058	0.095	Si
61	290	30	11.67	0.063	0.058	0.062	Si
62	290	30	11.67	0.087	0.058	0.080	Si
63	290	10	29.00	0.184	0.145	0.166	No
64	290	10	29.00	0.203	0.145	0.191	No
65	290	10	29.00	0.145	0.145	0.145	No

N. maschio	Inferiore				Medio				Superiore				Verificato
	N _d [daN]	Φ	N _r [daN]	N _d /N _r	N _d [daN]	Φ	N _r [daN]	N _d /N _r	N _d [daN]	Φ	N _r [daN]	N _d /N _r	
54	6,035	0.36	33,780	0.179	10,905	0.78	73,889	0.148	15,776	0.48	45,561	0.346	Si
55	6,058	0.28	19,797	0.306	7,722	0.38	27,063	0.285	9,386	0.50	36,280	0.259	Si
56	3,417	0.38	27,003	0.127	4,529	0.88	63,354	0.071	5,681	0.58	41,820	0.136	Si
57	3,813	0.86	27,796	0.137	5,105	0.77	24,767	0.206	6,397	0.82	26,573	0.241	Si
58	41,633	0.59	98,562	0.422	48,325	0.83	138,894	0.348	55,017	0.54	90,812	0.606	Si
59	907	0.77	2,947	0.308	1,120	0.73	2,819	0.397	1,334	0.75	2,906	0.459	Si
60	3,648	0.44	4,238	0.861	4,047	0.73	6,985	0.579	4,447	0.43	4,091	1.087	Si
61	17,451	0.75	42,683	0.409	19,588	0.73	41,889	0.468	21,725	0.74	42,527	0.511	Si
62	1,360	0.41	1,823	0.746	1,592	0.73	3,222	0.494	1,825	0.79	3,492	0.523	Si
63	2,658	0.00	n / d	n / d	3,801	0.00	n / d	n / d	4,944	0.00	n / d	n / d	No
64	9,850	0.00	n / d	n / d	11,109	0.00	n / d	n / d	12,367	0.00	n / d	n / d	No
65	113	0.00	n / d	n / d	147	0.00	n / d	n / d	180	0.00	n / d	n / d	No

Parete 7

N. maschio	h _o [cm]	t [cm]	h _o / t	e ₁ / t inferiore	e ₂ / t medio	e ₁ / t superiore	Verificato
69	350	40	8.75	0.123	0.047	0.080	Si
70	350	40	8.75	0.243	0.111	0.203	Si
71	350	40	8.75	0.203	0.061	0.096	Si

N. maschio	Inferiore				Medio				Superiore				Verificato
	N _d [daN]	Φ	N _r [daN]	N _d /N _r	N _d [daN]	Φ	N _r [daN]	N _d /N _r	N _d [daN]	Φ	N _r [daN]	N _d /N _r	
69	4,011	0.55	32,394	0.124	6,365	0.78	45,685	0.139	8,720	0.88	51,625	0.169	Si
70	1,691	0.46	3,383	0.500	1,903	0.53	3,867	0.492	2,115	0.38	2,766	0.765	Si
71	1,239	0.38	8,810	0.141	2,496	0.82	19,260	0.130	3,753	0.50	11,726	0.320	Si

Parete 8

N. maschio	h ₀ [cm]	t [cm]	h ₀ / t	e ₁ / t inferiore	e ₂ / t medio	e ₁ / t superiore	Verificato
73	130	50	2.60	0.230	0.090	0.149	Si
74	130	20	6.50	0.032	0.032	0.032	Si
75	90	50	1.80	0.332	0.101	0.147	Si
76	350	50	7.00	0.106	0.046	0.084	Si
77	350	50	7.00	0.195	0.083	0.147	Si
78	350	30	11.67	0.107	0.058	0.094	Si
79	350	30	11.67	0.098	0.058	0.087	Si
80	290	50	5.80	0.111	0.042	0.071	Si
81	290	50	5.80	0.227	0.083	0.134	Si
82	290	20	14.50	0.086	0.073	0.080	Si
83	290	20	14.50	0.085	0.073	0.079	Si

N. maschio	Inferiore				Medio				Superiore				Verificato
	N _d [daN]	Φ	N _r [daN]	N _d /N _r	N _d [daN]	Φ	N _r [daN]	N _d /N _r	N _d [daN]	Φ	N _r [daN]	N _d /N _r	
73	21,721	0.53	149,344	0.145	28,205	0.58	163,169	0.173	34,690	0.69	193,930	0.179	Si
74	4,667	0.78	58,447	0.080	6,399	0.78	58,447	0.109	8,132	0.78	58,447	0.139	Si
75	6,718	0.42	117,857	0.057	11,207	0.61	170,685	0.066	15,696	0.69	194,431	0.081	Si
76	27,344	0.55	62,849	0.435	33,360	0.81	92,384	0.361	39,377	0.51	58,135	0.677	Si
77	32,066	0.40	51,978	0.617	38,948	0.51	66,352	0.587	45,830	0.63	82,248	0.557	Si
78	9,820	0.45	16,019	0.613	11,692	0.73	25,899	0.451	13,565	0.43	15,098	0.898	Si
79	16,435	0.43	23,896	0.688	19,347	0.73	40,278	0.480	22,258	0.41	22,806	0.976	Si
80	9,542	0.59	59,048	0.162	14,135	0.82	83,010	0.170	18,728	0.91	91,920	0.204	Si
81	14,581	0.49	70,028	0.208	21,104	0.95	136,059	0.155	27,628	0.63	90,191	0.306	Si
82	4,574	0.34	14,441	0.317	6,519	0.68	28,963	0.225	8,465	0.70	29,778	0.284	Si
83	1,667	0.34	5,434	0.307	2,403	0.68	10,957	0.219	3,139	0.70	11,239	0.279	Si

Parete 9

N. maschio	h ₀ [cm]	t [cm]	h ₀ / t	e ₁ / t inferiore	e ₂ / t medio	e ₁ / t superiore	Verificato
84	350	30	11.67	0.190	0.077	0.134	Si
87	290	30	9.67	0.182	0.071	0.120	Si
88	130	30	4.33	0.175	0.075	0.132	Si
89	130	40	3.25	0.208	0.078	0.126	Si
90	90	30	3.00	0.237	0.083	0.129	Si
91	350	40	8.75	0.114	0.054	0.102	Si
92	350	40	8.75	0.095	0.044	0.082	Si
93	290	40	7.25	0.121	0.053	0.095	Si
94	290	40	7.25	0.036	0.036	0.036	Si

N. maschio	Inferiore				Medio				Superiore				Verificato
	N _d [daN]	Φ	N _r [daN]	N _d /N _r	N _d [daN]	Φ	N _r [daN]	N _d /N _r	N _d [daN]	Φ	N _r [daN]	N _d /N _r	
84	22,012	0.28	36,927	0.596	30,100	0.79	102,126	0.295	38,188	0.50	65,517	0.583	Sì
87	15,689	0.31	40,387	0.388	22,390	0.83	107,842	0.208	29,092	0.53	68,569	0.424	Sì
88	15,379	0.41	53,515	0.287	18,384	0.95	123,078	0.149	21,388	0.65	84,100	0.254	Sì
89	12,570	0.48	98,394	0.128	17,265	0.96	195,563	0.088	21,960	0.64	130,711	0.168	Sì
90	5,392	0.54	89,342	0.060	7,883	0.57	93,334	0.084	10,522	0.65	107,333	0.098	Sì
91	50,339	0.53	58,968	0.854	55,356	0.80	88,207	0.628	60,373	0.51	56,501	1.069	No
92	17,193	0.50	30,641	0.561	19,988	0.77	47,314	0.422	22,782	0.88	54,502	0.418	Sì
93	24,364	0.58	78,201	0.312	29,668	0.83	112,090	0.265	34,973	0.53	71,524	0.489	Sì
94	14,282	0.78	31,874	0.448	15,889	0.78	31,874	0.499	17,497	0.78	31,874	0.549	Sì

Parete 10

N. maschio	h ₀ [cm]	t [cm]	h ₀ / t	e ₁ / t inferiore	e ₂ / t medio	e ₁ / t superiore	Verificato
100	350	30	11.67	0.113	0.058	0.094	Sì
101	350	30	11.67	0.139	0.065	0.123	Sì
102	350	30	11.67	0.148	0.067	0.123	Sì
103	290	30	9.67	0.094	0.048	0.059	Sì
104	290	30	9.67	0.118	0.055	0.102	Sì
105	290	30	9.67	0.273	0.089	0.133	Sì

N. maschio	Inferiore				Medio				Superiore				Verificato
	N _d [daN]	Φ	N _r [daN]	N _d /N _r	N _d [daN]	Φ	N _r [daN]	N _d /N _r	N _d [daN]	Φ	N _r [daN]	N _d /N _r	
100	9,288	0.46	23,121	0.402	11,906	0.73	36,453	0.327	14,523	0.43	21,223	0.684	Sì
101	22,546	0.51	48,018	0.470	25,378	0.75	70,298	0.361	28,210	0.48	45,119	0.625	Sì
102	13,968	0.53	32,736	0.427	16,653	0.76	46,611	0.357	19,338	0.48	29,781	0.649	Sì
103	2,235	0.48	42,134	0.053	5,696	0.76	67,371	0.085	9,157	0.80	70,317	0.130	Sì
104	13,555	0.52	43,811	0.309	15,638	0.78	65,271	0.240	17,720	0.49	41,166	0.430	Sì
105	2,659	0.19	12,605	0.211	4,596	0.47	30,873	0.149	7,062	0.55	36,418	0.194	Sì

3.3 Modello della colonica di Barberino del Mugello nello stato attuale

3.3.1 Criteri di modellazione

Sono state modellate tutte le pareti con funzione strutturale, trascurando le tramezzature di spessore pari a $10 \div 15$ cm di cui il contributo irrigidente per il complesso funzionale si può ritenere non significativo. Con riferimento alla modellazione del secondo livello della struttura, il criterio adottato è il seguente: il dislivello che si può notare tra i due corpi di fabbrica che costituiscono la struttura è stato eliminato computandolo come carico lineare distribuito gravante sulle pareti portanti del corpo di fabbrica principale. Inoltre le travi facenti parte del solaio di copertura non sono state inserite nella modellazione; è stato infatti riscontrato che aumentare il grado di accuratezza della modellazione riproducendo tutti i piani delle falde e tutti gli elementi che compongono la copertura (elementi trave), non porterebbe alcun beneficio sostanziale al fine di indagare la risposta del complesso murario, aggravando solo l'onere computazionale a causa dell'incremento di gradi di libertà del modello.

La modellazione dell'edificio viene realizzata mediante l'inserimento di pareti che vengono discretizzate in macroelementi, rappresentativi di maschi murari e fasce di piano deformabili; i nodi rigidi sono indicati nelle porzioni di muratura che tipicamente sono meno soggette al danneggiamento sismico. Solitamente i maschi e le fasce sono contigui alle aperture, i nodi rigidi rappresentano elementi di collegamento tra maschi e fasce.

I solai di piano dell'edificio in esame si possono distinguere in due tipologie: quelli realizzati in putrelle e voltine del piano primo e quelli in legno con travetti affiancati e tavolato semplice della copertura.

Relativamente ai materiali scelti per la modellazione delle pareti, sono stati utilizzati i parametri riportati nella tabella che segue. Essendo il *Livello di Conoscenza pari a 1*, sono stati adottati i valori minimi tra quelli proposti dalla Normativa [3].

Tipologia di muratura	f_m [N/cm ²]	τ_0 [N/cm ²]	E [N/mm ²]	G [N/mm ²]	w [kN/m ³]
Muratura in pietre a spacco con buona tessitura	150	5.6	1500	250	21

Tabella III-7: Parametri meccanici e peso specifico della tipologia di muratura utilizzata

Riportiamo di seguito alcune viste del modello 3D così realizzato.

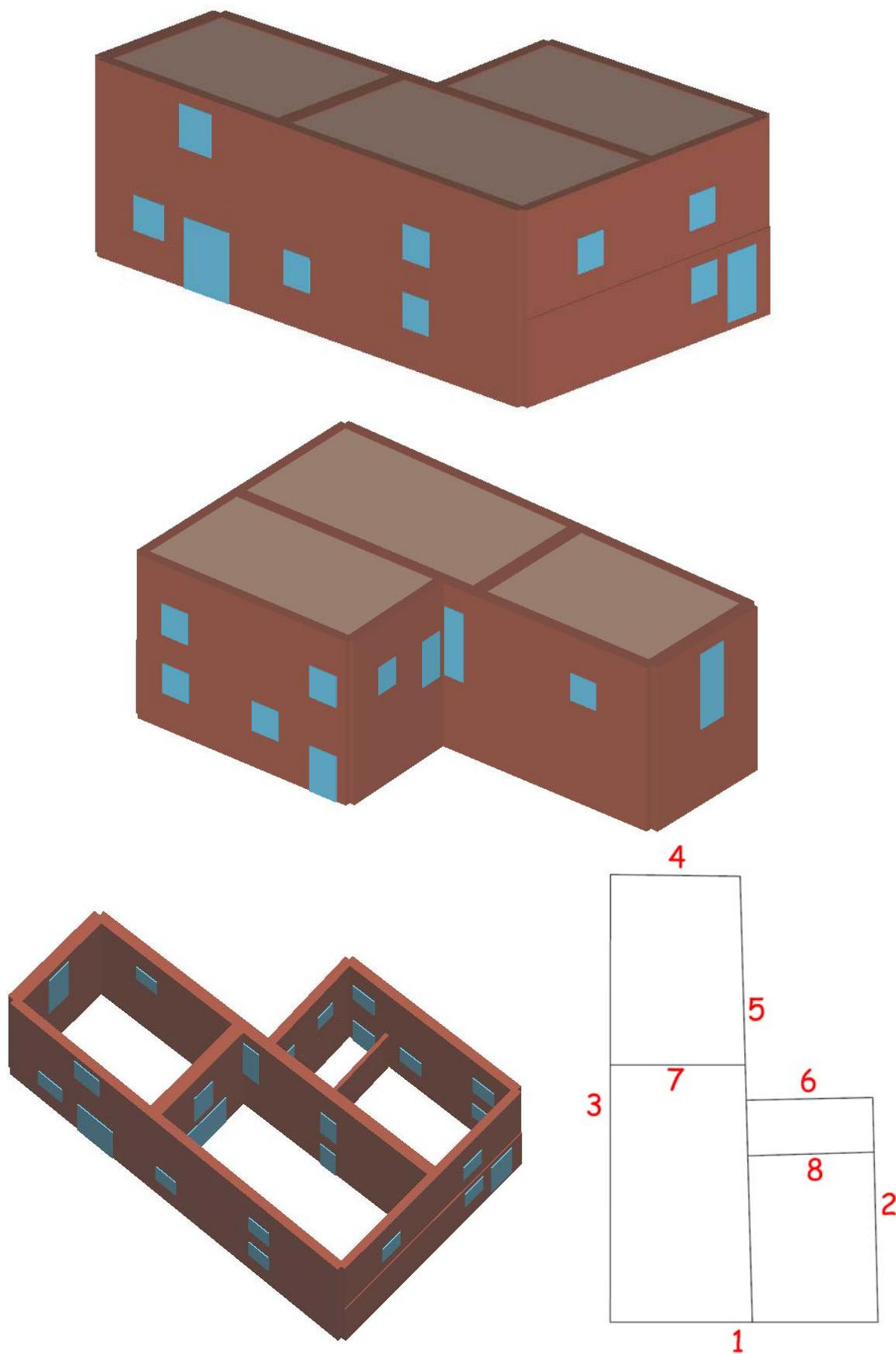


Figura III-16: Viste 3D del modello e pianta con la numerazione delle pareti

3.3.2 Definizione del telaio equivalente

Si riportano adesso alcuni esempi relativi alle modellazioni delle singole pareti.

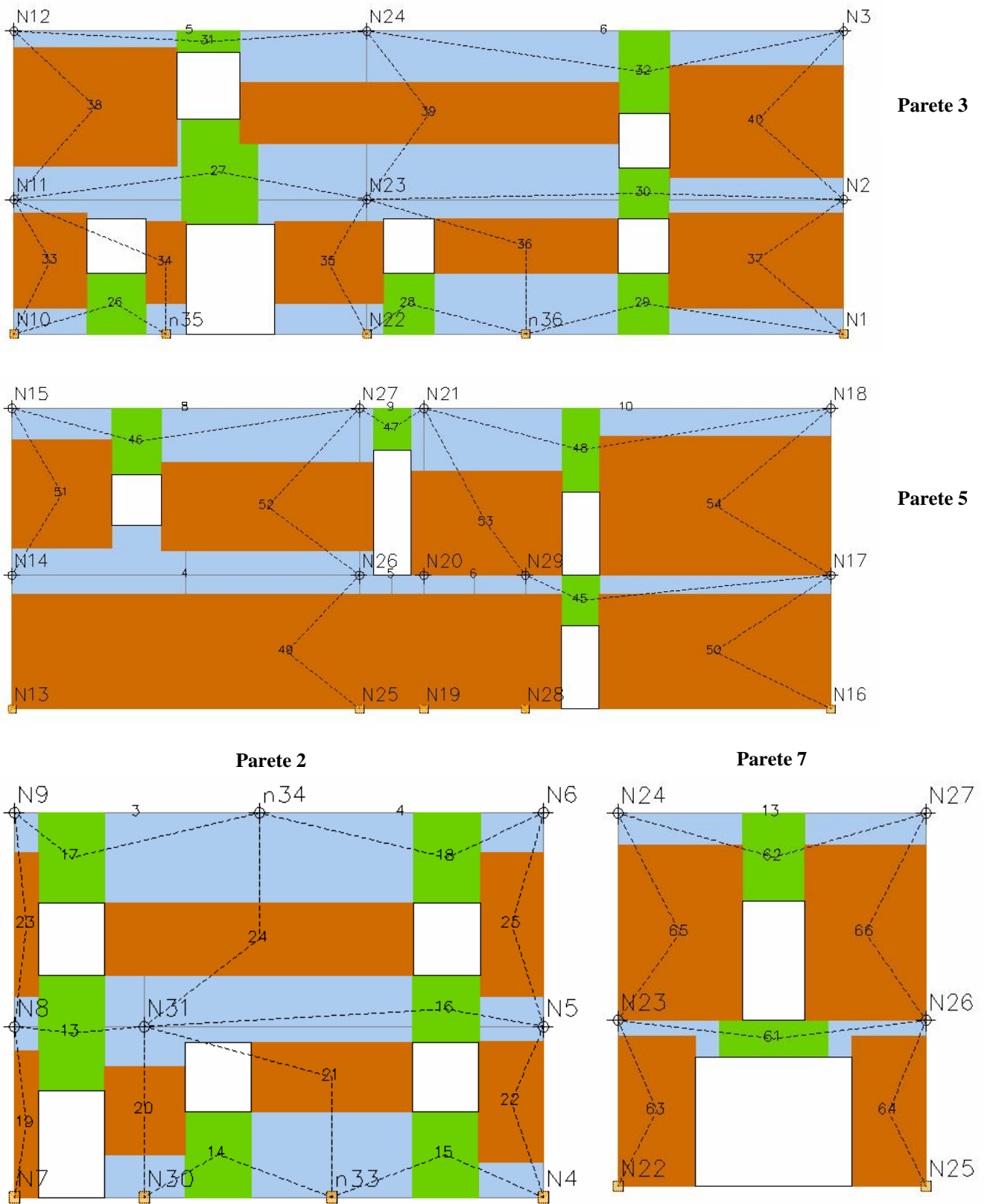


Figura III-17: Esempi di modellazione delle pareti

Viene riportata di seguito la geometria dei pannelli murari che costituiscono l'edificio.

Livello 1			Livello 2		
Parete	Quota [cm]	Spessore [cm]	Parete	Quota [cm]	Spessore [cm]
1	320	52	1	720	41
2	320	45	2	720	45
3	320	44	3	720	44
4	320	65	4	720	65
5	320	53	5	720	53
6	320	45	6	720	45
7	320	65	7	720	45
8	320	20	7	720	65

Tabella III-8: Geometria dei pannelli murari

Vengono mostrati adesso i dati geometrici relativi al telaio equivalente costituito da macroelementi *maschi e fasce*.

Parete 1

Macroelementi Maschi

N.	Materiale pannello	Spessore [cm]	Base [cm]	Altezza [cm]	Baricentro X [cm]	Baricentro Z [cm]	Nodo sopra	Nodo sotto
9	Muratura	52	72.6	285	1,144.6	157.8	4	5
7	Muratura	52	796.9	225	398.4	175.9	16	17
8	Muratura	52	54.4	190	944.1	185.0	32	5
11	Muratura	41	422.9	130	582.4	480.0	17	18
10	Muratura	41	251.0	265	125.5	510.2	2	3
12	Muratura	41	267.0	265	1,047.4	510.2	5	6

Macroelementi Fasce

N.	Materiale pannello	Spessore [cm]	Base [cm]	Altezza [cm]	Baricentro X [cm]	Baricentro Z [cm]	Nodo sinistro	Nodo destro
4	Muratura	52	137.0	30	1,039.8	15.0	32	4
1	Muratura	52	120.0	150	856.9	75.0	16	32
2	Muratura	52	120.0	40	855.4	300.0	17	5
3	Muratura	41	120.0	95	855.4	367.5	17	5
5	Muratura	41	120.0	175	311.0	632.5	3	18
6	Muratura	41	120.0	175	853.9	632.5	18	6

Parete 2

Macroelementi Maschi

N.	Materiale pannello	Spessore [cm]	Base [cm]	Altezza [cm]	Baricentro X [cm]	Baricentro Z [cm]	Nodo sopra	Nodo sotto
19	Muratura	45	44.0	273.8	22.0	136.9	7	8
20	Muratura	45	150.4	165	244.2	162.5	30	31
22	Muratura	45	122.0	225	931.4	178.8	4	5
21	Muratura	45	301.0	130	594.9	225.0	33	31
24	Muratura	45	579.4	137	458.7	483.5	31	34
23	Muratura	45	44.0	268.5	22.0	510.7	8	9
25	Muratura	45	119.0	268.5	932.9	510.7	5	6

Macroelementi Fasce

N.	Materiale pannello	Spessore [cm]	Base [cm]	Altezza [cm]	Baricentro X [cm]	Baricentro Z [cm]	Nodo sinistro	Nodo destro
14	Muratura	45	125.0	160	381.9	80.0	30	33
15	Muratura	45	125.0	160	807.9	80.0	33	4
13	Muratura	45	125.0	215	106.5	307.5	8	31
16	Muratura	45	125.0	125	809.4	352.5	31	5
17	Muratura	45	125.0	168	106.5	636.0	9	34
18	Muratura	45	125.0	168	810.9	636.0	34	6

Parete 3

Macroelementi Maschi

N.	Materiale pannello	Spessore [cm]	Base [cm]	Altezza [cm]	Baricentro X [cm]	Baricentro Z [cm]	Nodo sopra	Nodo sotto
34	Muratura	44	96.8	195	361.5	170.0	35	11
35	Muratura	44	259.0	195	749.4	170.0	22	23
33	Muratura	44	173.1	225	86.6	174.4	10	11
37	Muratura	44	416.0	225	1,765.9	174.4	1	2
36	Muratura	44	439.0	130	1,218.4	210.0	36	23
40	Muratura	44	414.0	265	1,766.9	505.3	2	3
39	Muratura	44	901.9	145	988.9	525.0	23	24
38	Muratura	44	388.0	280	194.0	540.0	11	12

Macroelementi Fasce

N.	Materiale pannello	Spessore [cm]	Base [cm]	Altezza [cm]	Baricentro X [cm]	Baricentro Z [cm]	Nodo sinistro	Nodo destro
26	Muratura	44	140.0	145	243.1	72.5	10	35
28	Muratura	44	120.0	145	938.9	72.5	22	36
29	Muratura	44	120.0	145	1,497.9	72.5	36	1
30	Muratura	44	120.0	120	1,498.9	335.0	23	2
27	Muratura	44	180.0	250	488.9	385.0	11	23
32	Muratura	44	120.0	195	1,499.9	622.5	24	3
31	Muratura	44	150.0	50	463.0	695.0	12	24

Parete 4

Macroelementi Maschi

N.	Materiale pannello	Spessore [cm]	Base [cm]	Altezza [cm]	Baricentro X [cm]	Baricentro Z [cm]	Nodo sopra	Nodo sotto
41	Muratura	65	570.5	320	285.2	160.0	37	38
43	Muratura	65	197.0	365	98.5	511.0	11	12
44	Muratura	65	243.5	365	448.7	511.0	14	15

Macroelementi Fasce

N.	Materiale pannello	Spessore [cm]	Base [cm]	Altezza [cm]	Baricentro X [cm]	Baricentro Z [cm]	Nodo sinistro	Nodo destro
42	Muratura	65	130.0	55	262.0	692.5	12	15

Parete 5

Macroelementi Maschi

N.	Materiale pannello	Spessore [cm]	Base [cm]	Altezza [cm]	Baricentro X [cm]	Baricentro Z [cm]	Nodo sopra	Nodo sotto
49	Muratura	53	1,320.6	273.8	660.3	136.9	25	26
50	Muratura	53	558.0	273.8	1,689.6	136.9	16	17
53	Muratura	53	365.0	250	1,141.1	445.0	29	21
52	Muratura	53	508.6	210	614.3	485.0	26	27
54	Muratura	53	555.0	333.3	1,691.1	486.7	17	18
51	Muratura	53	240.0	260	120.0	515.4	14	15

Macroelementi Fasce

N.	Materiale pannello	Spessore [cm]	Base [cm]	Altezza [cm]	Baricentro X [cm]	Baricentro Z [cm]	Nodo sinistro	Nodo destro
45	Muratura	53	90.0	120	1,367.1	260.0	29	17
48	Muratura	53	90.0	200	1,368.6	620.0	21	18
46	Muratura	53	120.0	160	300.0	640.0	15	27
47	Muratura	53	90.0	100	913.6	670.0	27	21

Parete 6

Macroelementi Maschi

N.	Materiale pannello	Spessore [cm]	Base [cm]	Altezza [cm]	Baricentro X [cm]	Baricentro Z [cm]	Nodo sopra	Nodo sotto
55	Muratura	45	557.2	320	278.6	160.0	39	40
59	Muratura	45	163.2	160	231.6	447.5	40	41
58	Muratura	45	50.0	333.3	25.0	486.7	20	21
60	Muratura	45	144.0	260	485.2	509.6	8	9

Macroelementi Fasce

N.	Materiale pannello	Spessore [cm]	Base [cm]	Altezza [cm]	Baricentro X [cm]	Baricentro Z [cm]	Nodo sinistro	Nodo destro
56	Muratura	45	100.0	200	100.0	620.0	21	41
57	Muratura	45	100.0	185	363.2	627.5	41	9

Parete 7

Macroelementi Maschi

N.	Materiale pannello	Spessore [cm]	Base [cm]	Altezza [cm]	Baricentro X [cm]	Baricentro Z [cm]	Nodo sopra	Nodo sotto
63	Muratura	65	150.0	289.3	75.0	144.6	22	23
64	Muratura	65	143.5	289.3	521.8	144.6	25	26
65	Muratura	65	240.0	337.9	120.0	489.0	23	24
66	Muratura	65	233.5	337.9	476.8	489.0	26	27

Macroelementi Fasce

N.	Materiale pannello	Spessore [cm]	Base [cm]	Altezza [cm]	Baricentro X [cm]	Baricentro Z [cm]	Nodo sinistro	Nodo destro
61	Muratura	65	210.0	70	300.0	285.0	23	26
62	Muratura	65	120.0	170	300.0	635.0	24	27

Parete 8

Macroelementi Maschi

N.	Materiale pannello	Spessore [cm]	Base [cm]	Altezza [cm]	Baricentro X [cm]	Baricentro Z [cm]	Nodo sopra	Nodo sotto
67	Muratura	20	556.9	320	278.4	160.0	42	43

Si riportano adesso i valori dei carichi gravanti sui solai.

N. solai	Tipo solaio	G_k [daN/m ²]	Q_k [daN/m ²]	Ψ_2
1	putrelle e voltine	300.0	200.0	0.3
2	putrelle e voltine	300.0	200.0	0.3
3	travetti affiancati e tavolato semplice	250.0	110.0	0.3
4	travetti affiancati e tavolato semplice	250.0	110.0	0.3

Riportiamo infine i valori dei carichi lineari distribuiti inseriti sulle murature portanti del corpo di fabbrica principale per compensare la parte di muratura sovrastante eliminata per semplificare il modello.

N. solai	Livello	Tipo	G_k	Q_k	Ψ_2
1	2	Lineare [daN/m]	1,127.0	0.0	0.3
2	2	Lineare [daN/m]	1,116.0	0.0	0.3
3	2	Lineare [daN/m]	1,448.0	0.0	0.3
4	2	Lineare [daN/m]	1,751.0	0.0	0.3
5	2	Lineare [daN/m]	1,774.0	0.0	0.3

3.3.3 Analisi statica non lineare

Al fine di effettuare l'analisi secondo le NTC del 2005 [4], sono state definite la *zona sismica* del comune di edificazione, la *categoria del suolo di fondazione* e la *classe della struttura* determinando così i parametri riportati nella tabella che segue:

Classe di struttura	Zona sismica	Valore di a_g
Classe 1	2	2.453 m/s ²

Categoria di suolo		S	T_B	T_C	T_D
C	SLU	1.25	0.15	0.5	2
	SLD	1.5	0.05	0.25	1.2

Tabella III-9: Parametri per l'analisi sismica

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

Il *carico sismico* individua quale delle due tipologie di distribuzioni (proporzionale alle masse o al primo modo) prendere in esame. La *direzione del sisma* individua la direzione lungo cui viene

caricata la struttura (X o Y del sistema globale) dal carico sismico. Inoltre lo spostamento preso in esame per il tracciamento della curva di capacità è quello di un punto dell'edificio detto *nodo di controllo*. Riportiamo di seguito lo schema relativo alle analisi eseguite.

N.	Direzione sisma	Carico sismico proporzionale	Eccentricità [cm]	Nodo di controllo	
				Livello	Nodo
1	+X	Masse	0.0	2	27
2	+X	1° modo	0.0	2	27
3	-X	Masse	0.0	2	27
4	-X	1° modo	0.0	2	27
5	+Y	Masse	0.0	2	27
6	+Y	1° modo	0.0	2	27
7	-Y	Masse	0.0	2	27
8	-Y	1° modo	0.0	2	27

Tabella III-10: Schema delle analisi eseguite

Si riportano adesso i risultati ottenuti dall'analisi.

N.	Direzione sisma	Carico sismico prop.	SLU				SLD			α_u	α_e
			D_{max} [cm]	D_u [cm]	q^*	Verificato	D_{max} [cm]	D_d [cm]	Verificato		
1	+X	Masse	1.590	0.767	3.429	No	0.418	0.447	Si	0.569	1.065
2	+X	1° modo	1.856	0.749	4.887	No	0.486	0.402	No	0.469	0.833
3	-X	Masse	2.078	0.980	3.171	No	0.583	0.353	No	0.548	0.605
4	-X	1° modo	2.225	0.886	4.663	No	0.591	0.397	No	0.456	0.672
5	+Y	Masse	0.648	1.012	1.473	Si	0.176	0.385	Si	1.276	1.732
6	+Y	1° modo	0.812	1.067	1.655	Si	0.200	0.351	Si	1.175	1.484
7	-Y	Masse	0.638	1.082	1.512	Si	0.169	0.486	Si	1.348	2.040
8	-Y	1° modo	0.794	1.184	1.633	Si	0.198	0.519	Si	1.270	1.951

N.	Direzione sisma	Carico sismico proporzionale	T^* [sec]	m^* [Kg]	w [Kg]	Duttilità disponibile
1	+X	Masse	0.214	426,993	652,818	3.23
2	+X	1° modo	0.233	426,993	652,818	3.77
3	-X	Masse	0.272	426,993	652,818	2.36
4	-X	1° modo	0.276	426,993	652,818	3.05
5	+Y	Masse	0.125	402,777	652,818	4.51
6	+Y	1° modo	0.134	402,777	652,818	4.53
7	-Y	Masse	0.123	402,777	652,818	5.23
8	-Y	1° modo	0.133	402,777	652,818	5.04

Tabella III-11: Risultati dell'analisi pushover

Come si nota da una rapida visione dei risultati, l'azione sismica più gravosa risulta essere quella agente lungo la direzione X. In questa direzione, infatti, si ha una maggiore "snellezza" della struttura.

Vengono mostrati adesso in dettaglio i risultati dell'analisi, riportando le curve di pushover e il modello 3D dell'edificio sollecitato dall'azione dalle varie azioni sismiche, evidenziando così i tipi di rottura che si manifestano nei vari pannelli murari.

Analisi 1 – Direzione sisma + X con carico sismico proporzionale alla massa

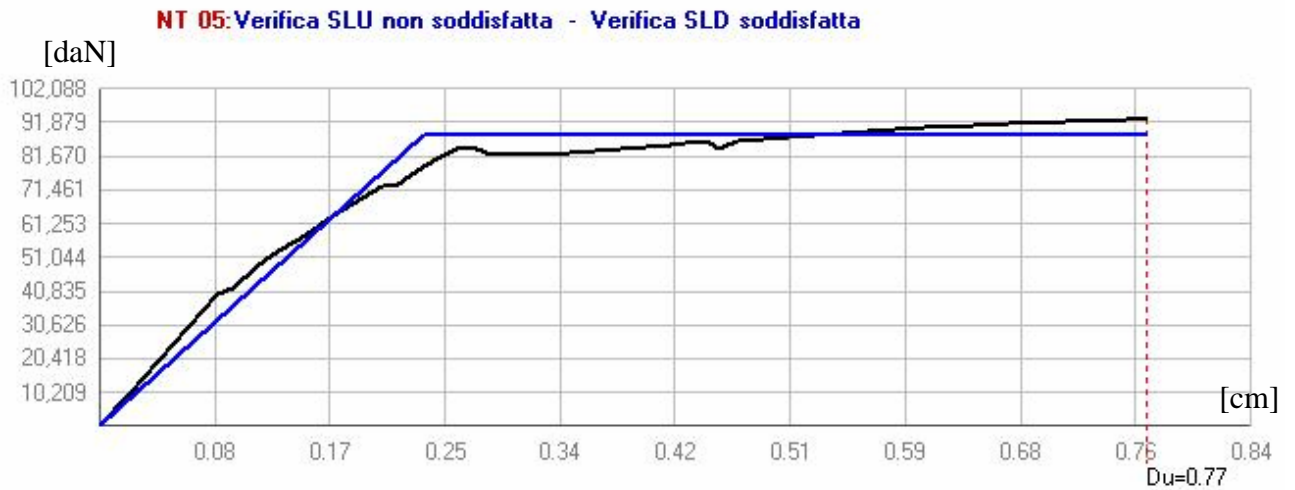


Figura III-18: Curva pushover dell'analisi 1

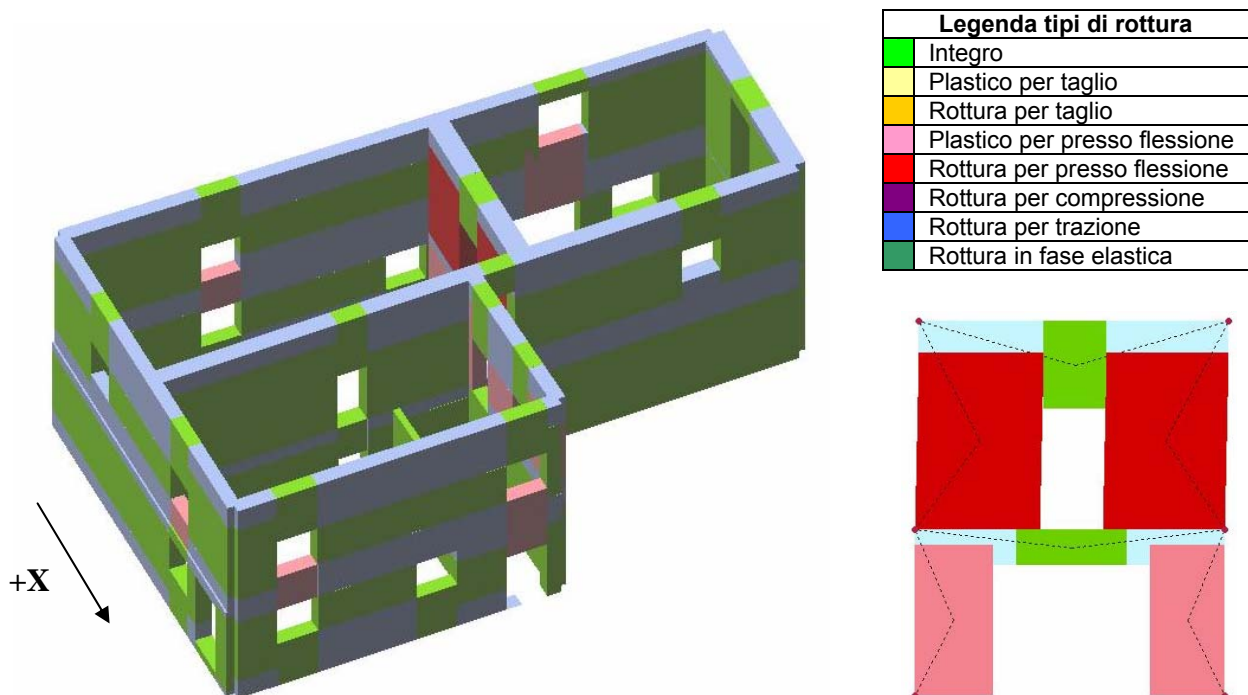


Figura III-19: Vista 3D dell'edificio e deformata della parete 7 relative all'analisi 1

Analisi 2 – Direzione sisma + X con carico sismico proporzionale al 1° modo

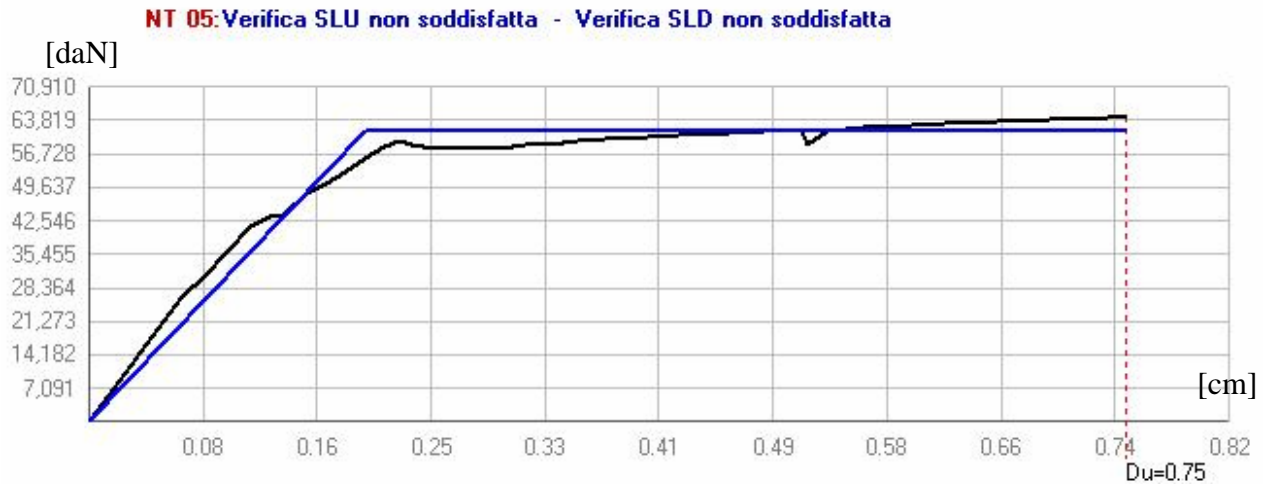


Figura III-20: Curva pushover dell'analisi 2

Le deformate dei pannelli murari relativi all'analisi 2 sono pressoché uguali a quelle dell'analisi 1.

Analisi 3 – Direzione sisma - X con carico sismico proporzionale alla massa

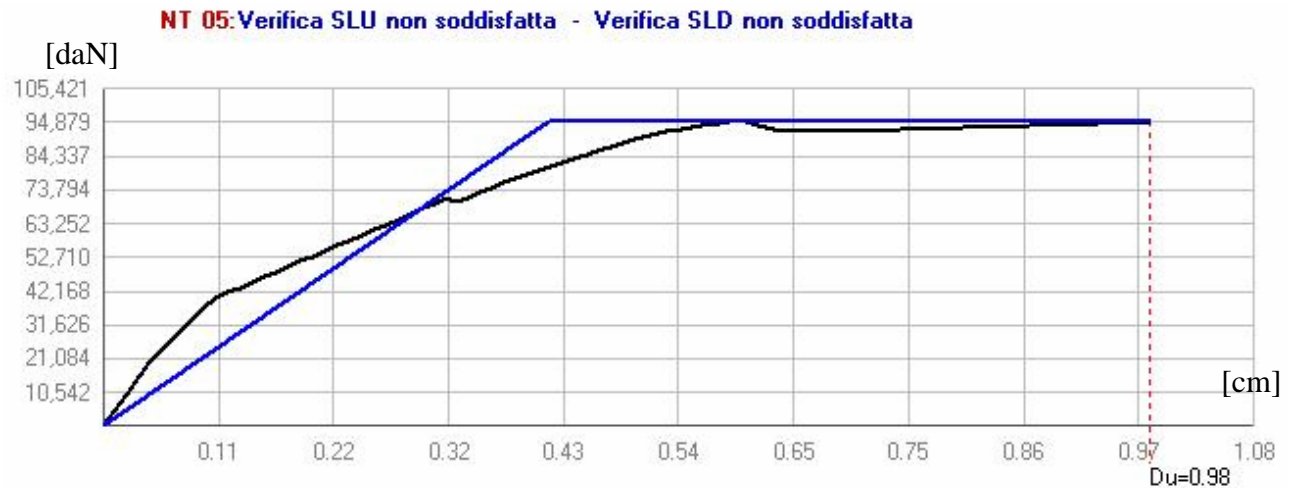


Figura III-21: Curva pushover dell'analisi 3

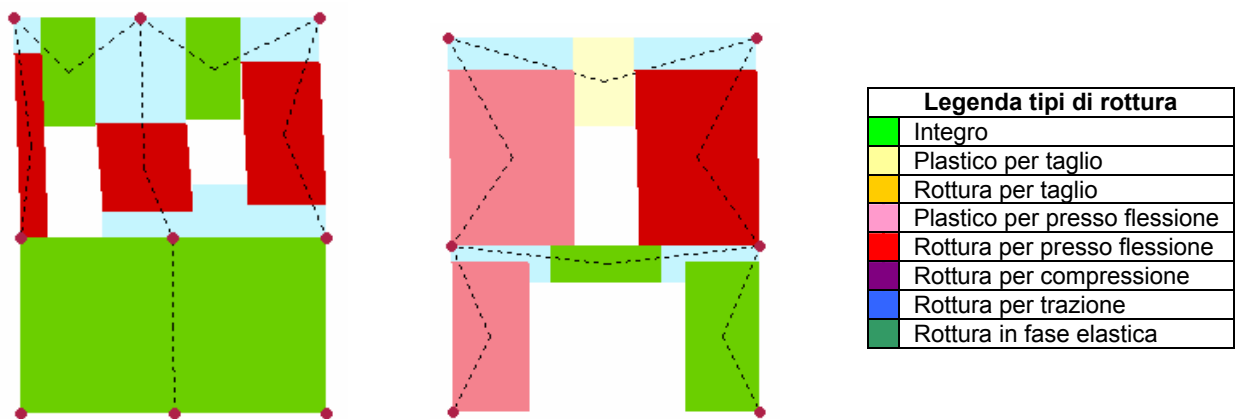


Figura III-22: Deformate delle pareti 6 e 7 relative all'analisi 3

Analisi 4 – Direzione sisma - X con carico sismico proporzionale al 1° modo

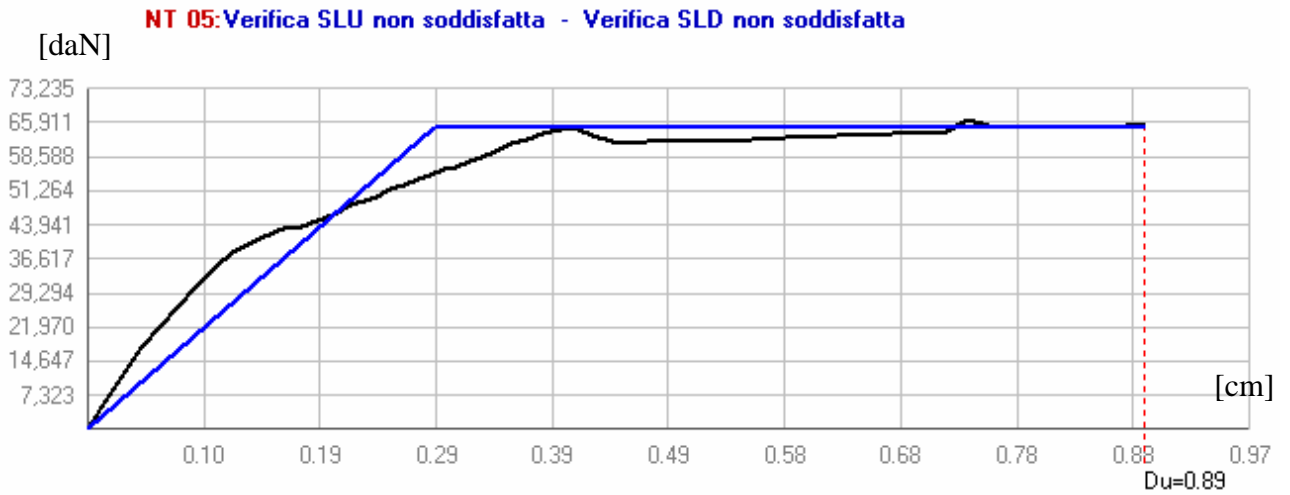


Figura III-23: Curva pushover dell'analisi 4

Le deformate dei pannelli murari dell'analisi 4 sono pressoché uguali a quelle relative all'analisi 1.

Analisi 5 – Direzione sisma + Y con carico sismico proporzionale alla massa

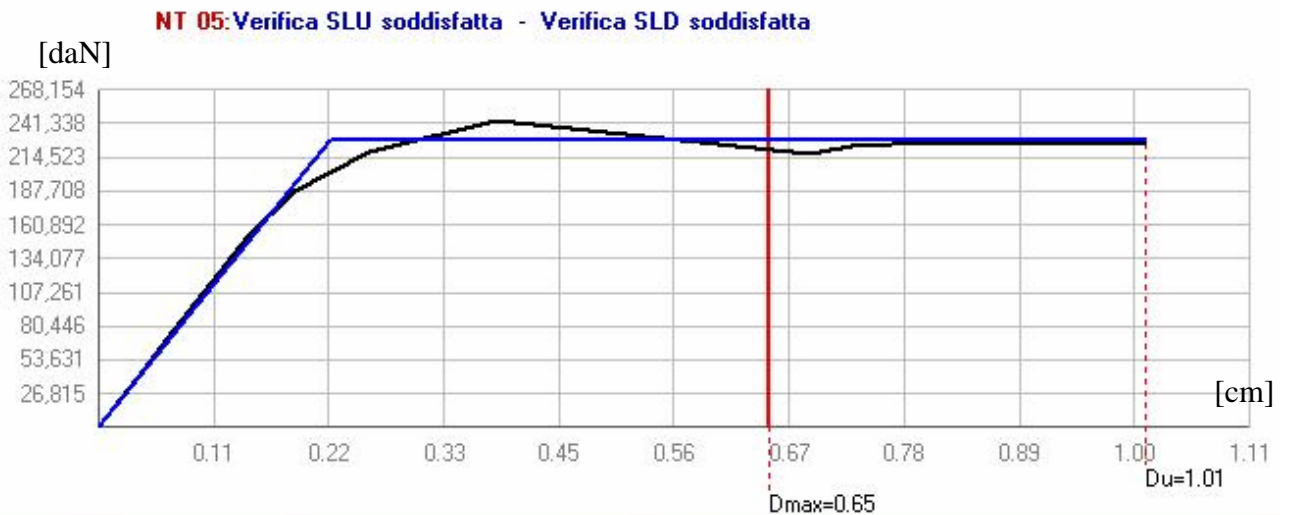


Figura III-24: Curva pushover dell'analisi 5

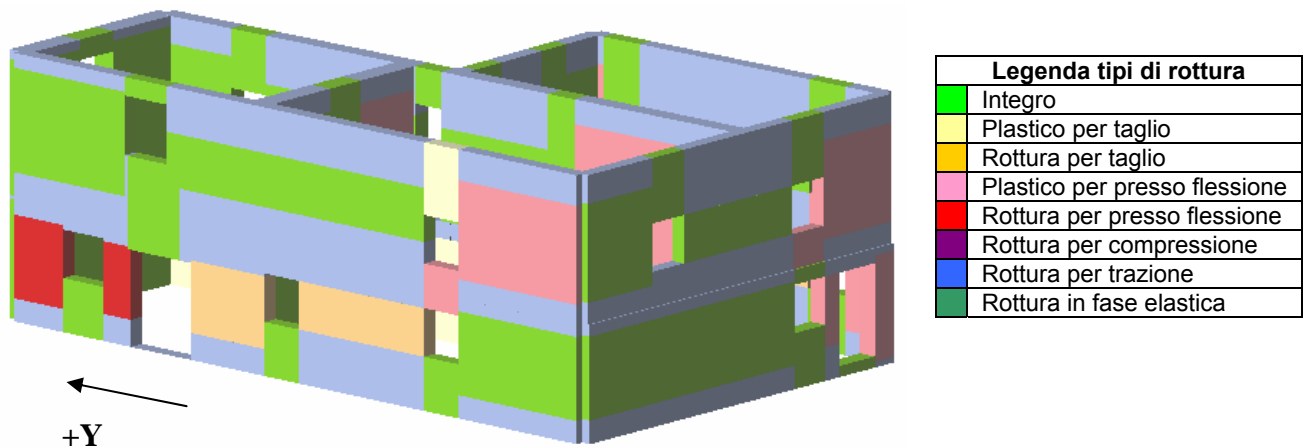


Figura III-25: Vista 3D dell'edificio relativa all'analisi 5

Analisi 6 – Direzione sisma + Y con carico sismico proporzionale al 1° modo

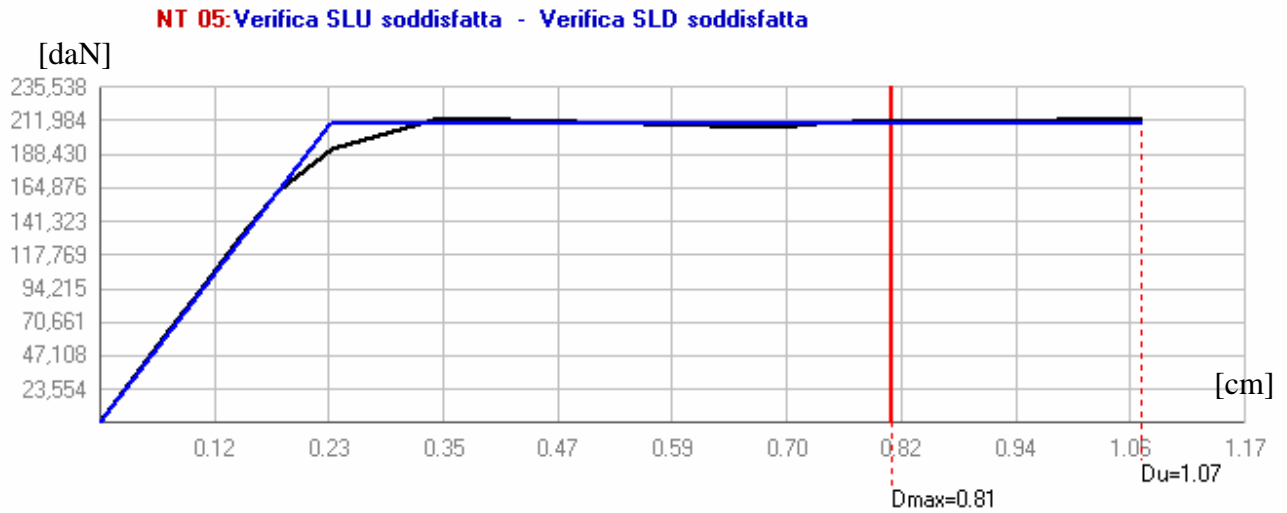


Figura III-26: Curva pushover dell'analisi 6

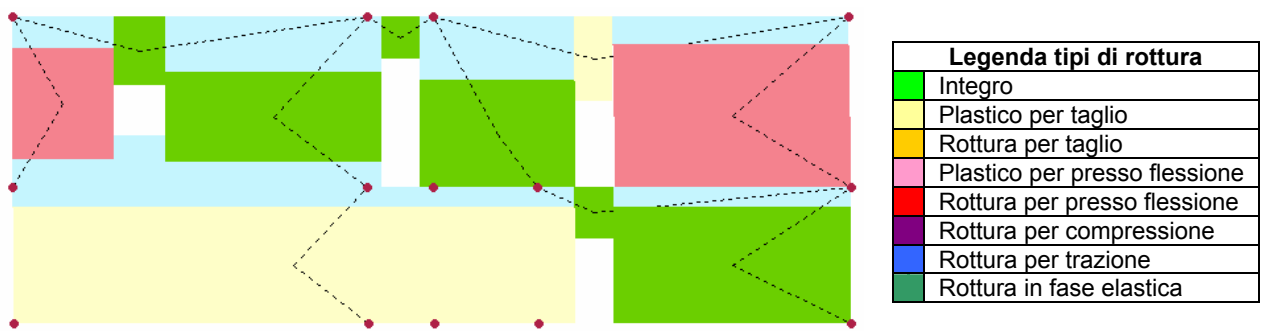


Figura III-27: Deformata della parete 5 relativa all'analisi 6

Analisi 7 – Direzione sisma -Y con carico sismico proporzionale alle masse

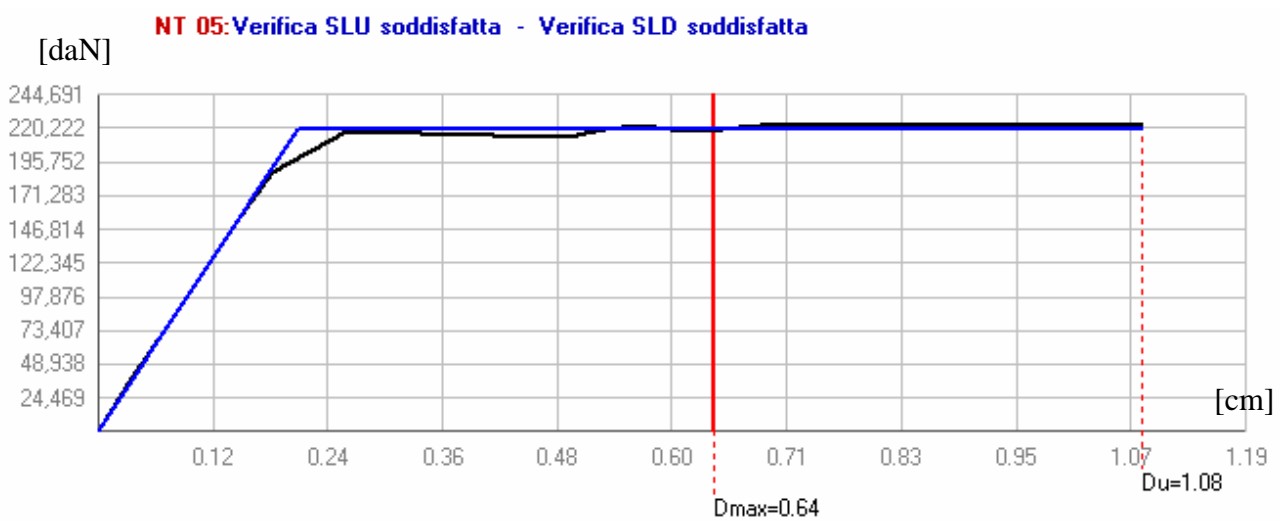


Figura III-28: Curva pushover dell'analisi 7

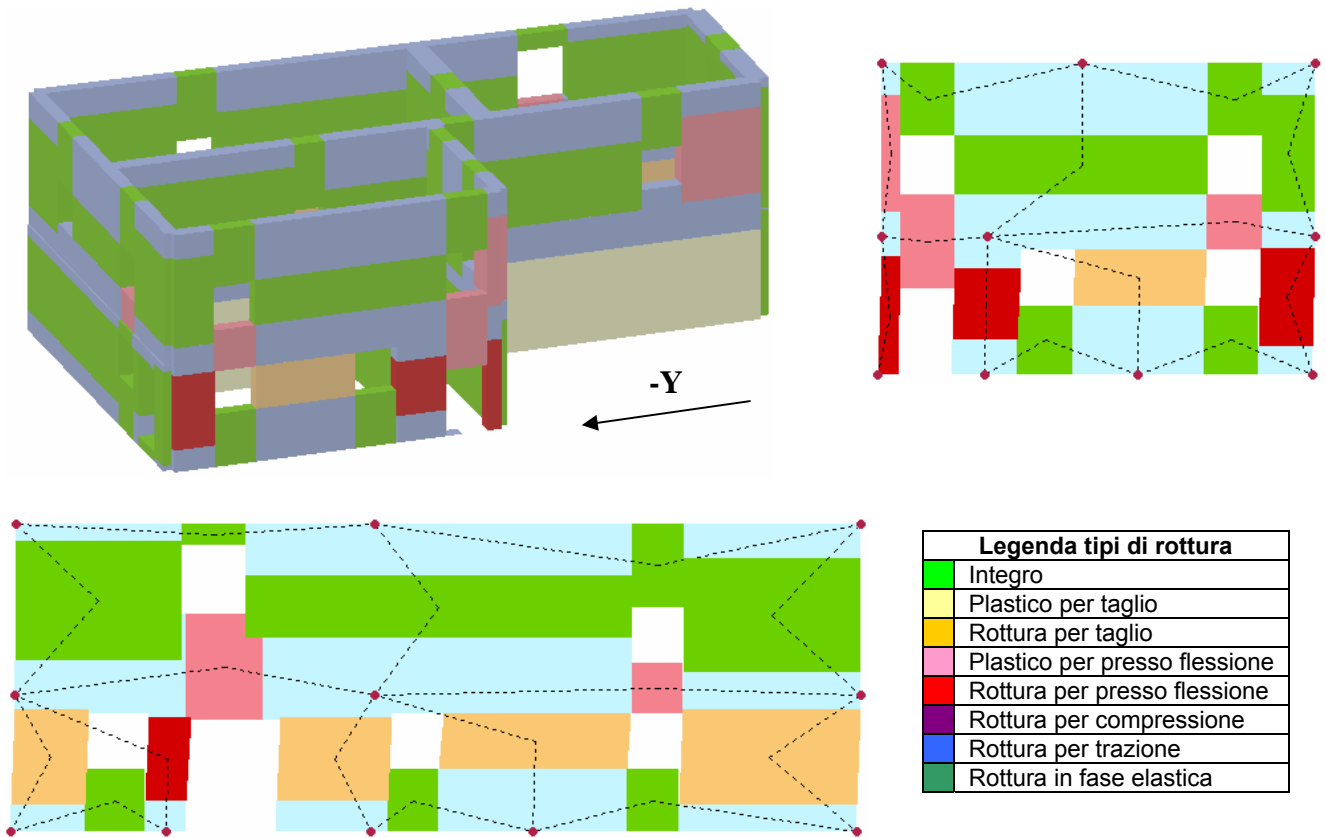


Figura III-29: Vista 3D dell'edificio e deformate delle pareti 2 e 3 relativi all'analisi 7

Analisi 8 – Direzione sisma -Y con carico sismico proporzionale al 1° modo

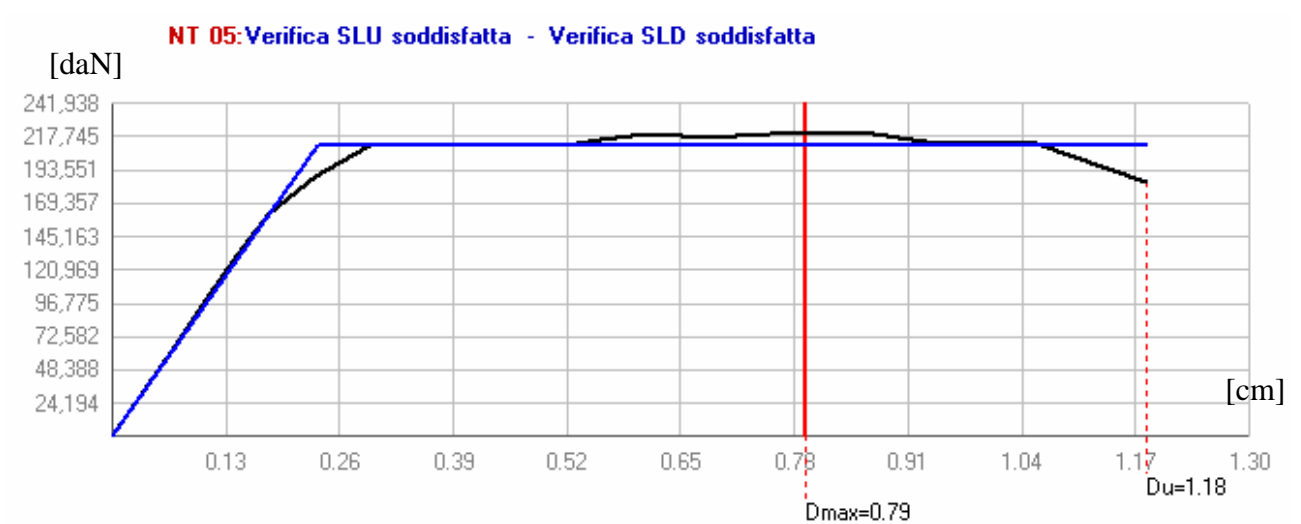


Figura III-30: Curva pushover dell'analisi 8

Le deformate dei pannelli murari dell'analisi 8 sono pressoché uguali a quelle relative all'analisi 7.

3.3.4 Analisi per carichi verticali

Le verifiche sono state eseguite in ogni maschio murario della struttura, nelle tre sezioni principali (inferiore, centrale, superiore). I valori dello sforzo normale resistente sono stati calcolati solamente se le verifiche di snellezza ed eccentricità dei carichi sono risultate soddisfatte.

Nella tabella che segue sono riportati i risultati generali dell'analisi.

Parete	Maschi rotti	N_d / N_r Max	h_o / t max	e_1 / t max	e_2 / t max
1	1	1.03	9.76	0.176	0.058
2	2	1.16	8.89	0.359	0.175
3	2	0.98	9.09	0.356	1.145
4	1	0.33	6.15	0.403	0.064
5	3	0.77	7.55	0.381	0.145
6	1	0.48	8.89	0.359	0.157
7	2	0.53	6.15	0.403	0.264
8	1	1.07	16.00	0.110	0.080

Tabella III-12: Risultati dell'analisi statica

Dai risultati si evince che le verifiche di snellezza della muratura sono tutte rispettate, mentre le verifiche di eccentricità dei carichi risultano per diversi pannelli murari non verificate a causa di una insufficiente lunghezza di appoggio dei solai sulle murature. La verifica a carichi verticali risulta essere soddisfatta per la maggioranza delle pareti: le pareti 1, 2 e 8 non soddisfano tale verifica.

Riportiamo, nel seguito, i dettagli di verifica per le singole pareti.

Parete 1

N. maschio	h_o [cm]	t [cm]	h_o / t	e_1 / t inferiore	e_2 / t medio	e_1 / t superiore	Verificato
7	320	52	6.15	0.055	0.031	0.052	Sì
8	320	52	6.15	0.053	0.031	0.051	Sì
9	320	52	6.15	0.046	0.031	0.044	Sì
10	400	41	9.76	0.049	0.049	0.049	Sì
11	400	41	9.76	0.070	0.049	0.068	Sì
12	400	41	9.76	0.176	0.058	0.094	Sì

N. maschio	Inferiore				Medio				Superiore				Ver.
	N_d [daN]	Φ	N_r [daN]	N_d/N_r	N_d [daN]	Φ	N_r [daN]	N_d/N_r	N_d [daN]	Φ	N_r [daN]	N_d/N_r	
7	162,778	0.86	237,039	0.687	174,943	0.78	216,043	0.810	187,108	0.85	234,309	0.799	Sì
8	13,955	0.85	16,029	0.871	14,657	0.78	14,749	0.994	15,358	0.84	15,912	0.965	Sì
9	18,427	0.83	20,857	0.883	19,831	0.78	19,683	1.008	21,235	0.82	20,702	1.026	No
10	18,389	0.76	52,244	0.352	21,948	0.76	52,244	0.420	25,506	0.76	52,244	0.488	Sì
11	58,881	0.83	95,483	0.617	61,822	0.76	88,016	0.702	64,763	0.82	94,805	0.683	Sì
12	4,142	0.30	21,654	0.191	7,927	0.79	57,537	0.138	11,712	0.48	34,678	0.338	Sì

Parete 2

N. maschio	h _o [cm]	t [cm]	h _o / t	e ₁ / t inferiore	e ₂ / t medio	e ₁ / t superiore	Verificato
19	320	45	7.11	0.213	0.082	0.137	Si
20	320	45	7.11	0.271	0.124	0.228	Si
21	320	45	7.11	0.120	0.057	0.109	Si
22	320	45	7.11	0.102	0.047	0.088	Si
23	400	45	8.89	0.359	0.175	0.127	No
24	400	45	8.89	0.172	0.075	0.135	Si
25	400	45	8.89	0.085	0.044	0.073	Si

N. maschio	Inferiore				Medio				Superiore				Ver.
	N _d [daN]	Φ	N _r [daN]	N _d /N _r	N _d [daN]	Φ	N _r [daN]	N _d /N _r	N _d [daN]	Φ	N _r [daN]	N _d /N _r	
19	1,891	0.43	5,725	0.330	2,599	0.92	12,156	0.214	3,306	0.61	8,070	0.410	Si
20	13,114	0.25	11,271	1.163	14,571	0.59	26,418	0.552	16,028	0.46	20,935	0.766	No
21	30,368	0.58	52,143	0.582	32,665	0.84	76,058	0.429	34,963	0.56	50,228	0.696	Si
22	12,034	0.54	19,869	0.606	13,646	0.81	29,710	0.459	15,258	0.52	18,889	0.808	Si
23	249	0.00	n / d	n / d	256	0.31	4,146	0.062	950	0.56	7,337	0.129	No
24	22,993	0.31	53,647	0.429	27,653	0.86	149,560	0.185	32,314	0.57	99,477	0.325	Si
25	9,591	0.47	16,952	0.566	11,467	0.77	27,373	0.419	13,342	0.85	30,499	0.437	Si

Parete 3

N. maschio	h _o [cm]	t [cm]	h _o / t	e ₁ / t inferiore	e ₂ / t medio	e ₁ / t superiore	Verificato
33	320	44	7.27	0.179	0.082	0.151	Si
34	320	44	7.27	0.179	0.080	0.144	Si
35	320	44	7.27	0.347	1.145	0.347	No
36	320	44	7.27	0.064	0.036	0.062	Si
37	320	44	7.27	0.145	0.064	0.115	Si
38	400	44	9.09	0.356	0.133	0.168	No
39	400	44	9.09	0.237	0.093	0.157	Si
40	400	44	9.09	0.107	0.046	0.084	Si

N. maschio	Inferiore				Medio				Superiore				Ver.
	N _d [daN]	Φ	N _r [daN]	N _d /N _r	N _d [daN]	Φ	N _r [daN]	N _d /N _r	N _d [daN]	Φ	N _r [daN]	N _d /N _r	
33	18,010	0.36	18,346	0.982	20,246	0.92	46,476	0.436	22,482	0.63	32,211	0.698	Si
34	6,801	0.36	10,205	0.666	7,884	0.91	25,777	0.306	8,968	0.62	17,636	0.509	Si
35	20,236	0.00	n / d	n / d	2,789	0.00	n / d	n / d	20,236	0.00	n / d	n / d	No
36	76,671	0.86	110,718	0.692	79,947	0.78	99,930	0.800	83,224	0.85	109,868	0.757	Si
37	27,680	0.62	76,104	0.364	33,054	0.86	104,968	0.315	38,427	0.57	68,961	0.557	Si
38	5,572	0.00	n / d	n / d	7,877	0.56	64,047	0.123	14,114	0.29	33,552	0.421	No
39	20,657	0.44	116,713	0.177	28,165	0.49	128,795	0.219	35,673	0.61	161,026	0.222	Si
40	21,072	0.51	62,411	0.338	27,371	0.77	93,343	0.293	33,669	0.47	57,028	0.590	Si

Parete 4

N. maschio	h _o [cm]	t [cm]	h _o / t	e ₁ / t inferiore	e ₂ / t medio	e ₁ / t superiore	Verificato
41	320	65	4.92	0.085	0.034	0.060	Si
43	400	65	6.15	0.031	0.031	0.031	Si
44	400	65	6.15	0.403	0.064	0.079	No

N. maschio	Inferiore				Medio				Superiore				Ver.
	N _d [daN]	Φ	N _r [daN]	N _d /N _r	N _d [daN]	Φ	N _r [daN]	N _d /N _r	N _d [daN]	Φ	N _r [daN]	N _d /N _r	
41	43,090	0.55	136,701	0.315	58,572	0.82	202,130	0.290	74,055	0.90	221,520	0.334	Si
43	6,446	0.78	66,763	0.097	12,545	0.78	66,763	0.188	18,643	0.78	66,763	0.279	Si
44	1,985	0.00	n / d	n / d	7,654	0.88	93,220	0.082	15,192	0.93	98,359	0.154	No

Parete 5

N. maschio	h _o [cm]	t [cm]	h _o / t	e ₁ / t inferiore	e ₂ / t medio	e ₁ / t superiore	Verificato
49	320	53	6.04	0.186	0.076	0.129	Si
50	320	53	6.04	0.262	0.106	0.180	Si
51	400	53	7.55	0.381	0.117	0.141	No
52	400	53	7.55	0.381	0.145	0.203	No
53	400	53	7.55	0.154	0.065	0.113	Si
54	400	53	7.55	0.381	0.113	0.145	Si

N. maschio	Inferiore				Medio				Superiore				Ver.
	N _d [daN]	Φ	N _r [daN]	N _d /N _r	N _d [daN]	Φ	N _r [daN]	N _d /N _r	N _d [daN]	Φ	N _r [daN]	N _d /N _r	
49	87,345	0.40	188,217	0.464	112,349	0.92	430,944	0.261	137,352	0.62	288,169	0.477	Si
50	38,160	0.26	51,793	0.737	48,725	0.57	112,910	0.432	59,290	0.39	76,978	0.770	Si
51	2,730	0.00	n / d	n / d	4,762	0.56	47,820	0.100	9,077	0.61	51,680	0.176	No
52	10,405	0.00	n / d	n / d	14,136	0.62	110,972	0.127	21,521	0.40	72,603	0.296	No
53	23,812	0.63	81,754	0.291	30,122	0.86	110,502	0.273	36,432	0.56	71,819	0.507	Si
54	9,192	0.00	n / d	n / d	16,703	0.56	109,103	0.153	29,495	0.62	120,917	0.244	No

Parete 6

N. maschio	h _o [cm]	t [cm]	h _o / t	e ₁ / t inferiore	e ₂ / t medio	e ₁ / t superiore	Verificato
55	320	45	7.11	0.217	0.084	0.139	Si
58	400	45	8.89	0.359	0.157	0.201	No
59	400	45	8.89	0.212	0.088	0.152	Si
60	400	45	8.89	0.044	0.044	0.044	Si

N. maschio	Inferiore				Medio				Superiore				Ver.
	N _d [daN]	Φ	N _r [daN]	N _d /N _r	N _d [daN]	Φ	N _r [daN]	N _d /N _r	N _d [daN]	Φ	N _r [daN]	N _d /N _r	
55	28,151	0.44	73,619	0.382	38,619	0.51	85,029	0.454	49,088	0.62	102,884	0.477	Si
58	1,160	0.00	n / d	n / d	1,353	0.61	9,209	0.147	2,331	0.37	5,536	0.421	No
59	5,517	0.39	19,208	0.287	7,050	0.48	23,543	0.299	8,583	0.60	29,596	0.290	Si
60	778	0.77	33,123	0.023	1,613	0.77	33,123	0.049	3,812	0.77	33,123	0.115	Si

Parete 7

N. maschio	h _o [cm]	t [cm]	h _o / t	e ₁ / t inferiore	e ₂ / t medio	e ₁ / t superiore	Verificato
63	320	65	4.92	0.396	0.151	0.233	No
64	320	65	4.92	0.025	0.025	0.025	Si
65	400	65	6.15	0.403	0.264	0.137	No
66	400	65	6.15	0.031	0.031	0.031	Si

N. maschio	Inferiore				Medio				Superiore				Ver.
	N _d [daN]	Φ	N _r [daN]	N _d /N _r	N _d [daN]	Φ	N _r [daN]	N _d /N _r	N _d [daN]	Φ	N _r [daN]	N _d /N _r	
63	8,335	0.00	n / d	n / d	11,192	0.68	44,196	0.253	14,872	0.52	33,669	0.442	No
64	18,747	0.79	48,966	0.383	22,268	0.79	48,966	0.455	25,788	0.79	48,966	0.527	Si
65	2,498	0.00	n / d	n / d	1,867	0.26	27,319	0.068	8,744	0.63	65,514	0.133	No
66	3,919	0.78	79,144	0.050	10,611	0.78	79,144	0.134	17,302	0.78	79,144	0.219	Si

Parete 8

N. maschio	h _o [cm]	t [cm]	h _o / t	e ₁ / t inferiore	e ₂ / t medio	e ₁ / t superiore	Verificato
67	320	20	16.00	0.110	0.080	0.100	Si

N. maschio	Inferiore				Medio				Superiore				Ver.
	N _d [daN]	Φ	N _r [daN]	N _d /N _r	N _d [daN]	Φ	N _r [daN]	N _d /N _r	N _d [daN]	Φ	N _r [daN]	N _d /N _r	
67	17,029	0.35	26,125	0.652	21,679	0.65	48,256	0.449	26,329	0.33	24,656	1.068	No

- CAPITOLO 4 -

MODELLAZIONE DEGLI EDIFICI IN SEGUITO ALL'INTERVENTO DI MIGLIORAMENTO

In questo capitolo verrà illustrato l'insieme degli interventi strutturali effettivamente realizzati al fine di apportare un miglioramento globale al comportamento statico e sismico degli edifici in questione. Verranno poi presentate le modellazioni effettuate per conoscere quali siano stati realmente i benefici dati da tali interventi.

4.1 Indicazioni normative

Come riportato nel *Capitolo 11* dell'Ordinanza 3274 [3]: "È fatto obbligo eseguire valutazioni di sicurezza sismica e, qualora ne sia verificata la necessità, di effettuare interventi di adeguamento, in accordo con le presenti norme, a chiunque intenda:

- a) sopraelevare o ampliare l'edificio (s'intende per ampliamento la sopraelevazione di parti dell'edificio di altezza inferiore a quella massima dell'edificio stesso) ;
- b) apportare variazioni di destinazione che comportino, nelle strutture interessate dall'intervento, incrementi dei carichi originari (permanententi e accidentali combinati con i coefficienti ψ_{2i} di tabella 3.4) al singolo piano superiori al 20% ;
- c) effettuare interventi strutturali volti a trasformare l'edificio mediante un insieme sistematico di opere che portino ad un organismo edilizio diverso dal precedente ;
- d) effettuare interventi strutturali rivolti ad eseguire opere e modifiche, rinnovare e sostituire parti strutturali dell'edificio, allorché detti interventi implicino sostanziali alterazioni del comportamento globale dell'edificio stesso.

Una variazione dell'altezza dell'edificio, resa necessaria per l'abitabilità degli ambienti, a norma dei regolamenti edilizi, sempre che resti immutato il numero di piani, non deve essere considerata sopraelevazione o ampliamento; in tal caso non è obbligatorio l'intervento di adeguamento sismico, sempre che non ricorra nessuna delle altre tre condizioni elencate ai punti b), c) e d)

precedenti. In particolare occorrerà documentare che gli interventi conseguenti alla variazione di altezza non abbiano portato ad un incremento dei carichi superiore al 20% e siano comunque in grado di far conseguire all'edificio un maggior grado di sicurezza rispetto alle azioni sismiche. Le sopraelevazioni nonché gli interventi che comportano un aumento del numero di piani sono ammissibili solamente ove siano compatibili con gli strumenti urbanistici.

Qualora si intenda effettuare interventi di tipo strutturale su singoli elementi di fabbrica, se non sussistono le condizioni che impongono l'adeguamento sismico, è consentito procedere senza dar luogo alle analisi e verifiche di cui al presente capitolo, a condizione che si dimostri che l'insieme delle opere previste è comunque tale da far conseguire all'edificio un maggior grado di sicurezza nei confronti delle azioni sismiche. Tali interventi sono definiti di miglioramento sismico.”

4.2 Descrizione degli interventi e criteri di modellazione

Si definisce quindi *intervento di miglioramento* l'esecuzione di una o più opere riguardanti i singoli elementi strutturali dell'edificio con lo scopo di conseguire un maggior grado di sicurezza senza modificarne in maniera sostanziale il comportamento globale.

Gli interventi realizzati sono volti, in entrambe le coloniche, alla ristrutturazione edilizia con frazionamento e cambio di destinazione d'uso per la realizzazione di vari appartamenti, dei due edifici in oggetto.

L'idea alla base dei progetti è quella di adattare gli edifici esistenti ai criteri odierni di vita, in base alle loro potenzialità e nel rispetto degli elementi tipologici, formali e strutturali che li caratterizzano. Innanzi tutto viste le dimensioni, adeguate alle esigenze di una famiglia contadina, ma esuberanti per una moderna, si è deciso di suddividere i due complessi in più unità immobiliari: nella colonica di Ugnano sono previsti un appartamento al piano terra e due al piano primo (*Allegato 1A*) mentre nella colonica di Barberino di Mugello troveranno spazio tre appartamenti al piano terra e quattro al piano primo (*Allegato 1B*).

Partendo dalle fondazioni, queste sono state consolidate mediante l'inserimento di cordoli in c.a. interni ed esterni alla muratura portante in modo tale da far collaborare adeguatamente le fondazioni esistenti con le nuove (curando in particolare la connessione tra nuova e vecchia

fondazione) al fine di ottenere un corpo monolitico atto a diffondere le tensioni sul terreno in modo omogeneo (Tavole 4 e 12).

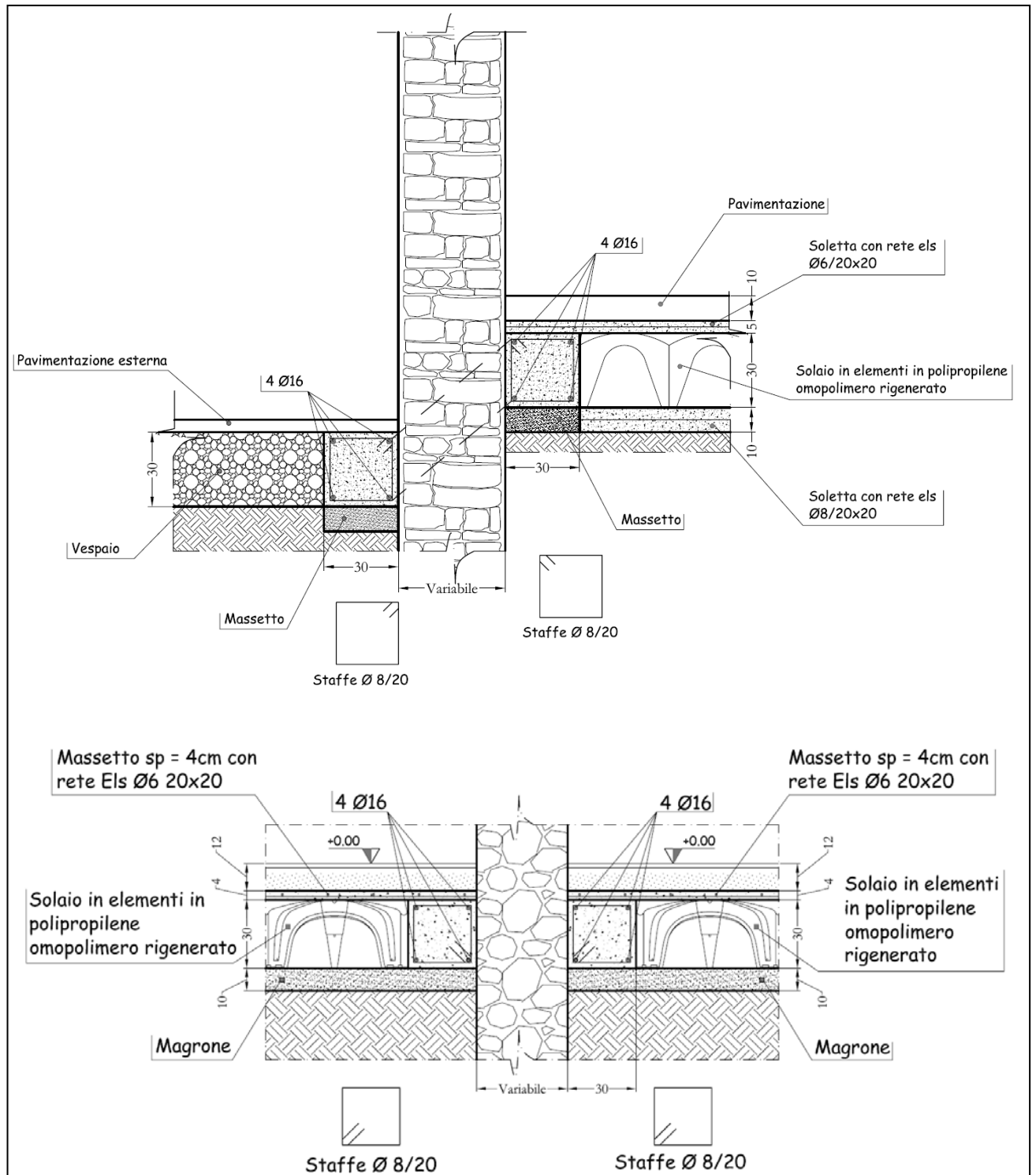


Figura IV-1: Esempi di cordoli in c.a. di fondazione

Le strutture verticali portanti sono state interamente rispettate, limitandosi allo spostamento di alcune aperture, ove necessario, per una migliore fruizione degli spazi. La realizzazione delle nuove aperture, inoltre, è stata effettuata mediante l'inserimento di cerchiature costituite da un

architrave in acciaio e da pilastri e base in c.a. opportunamente ancorati alla muratura circostante (Tavole 5 e 13). Anche da un punto di vista strutturale si è cercato di intervenire nel modo meno intrusivo possibile, operando con tecniche di “scuci e cuci” localmente, e ricorrendo ad interventi di betoncino armato, o di ricostruzione di alcuni tratti, solo se strettamente necessario.

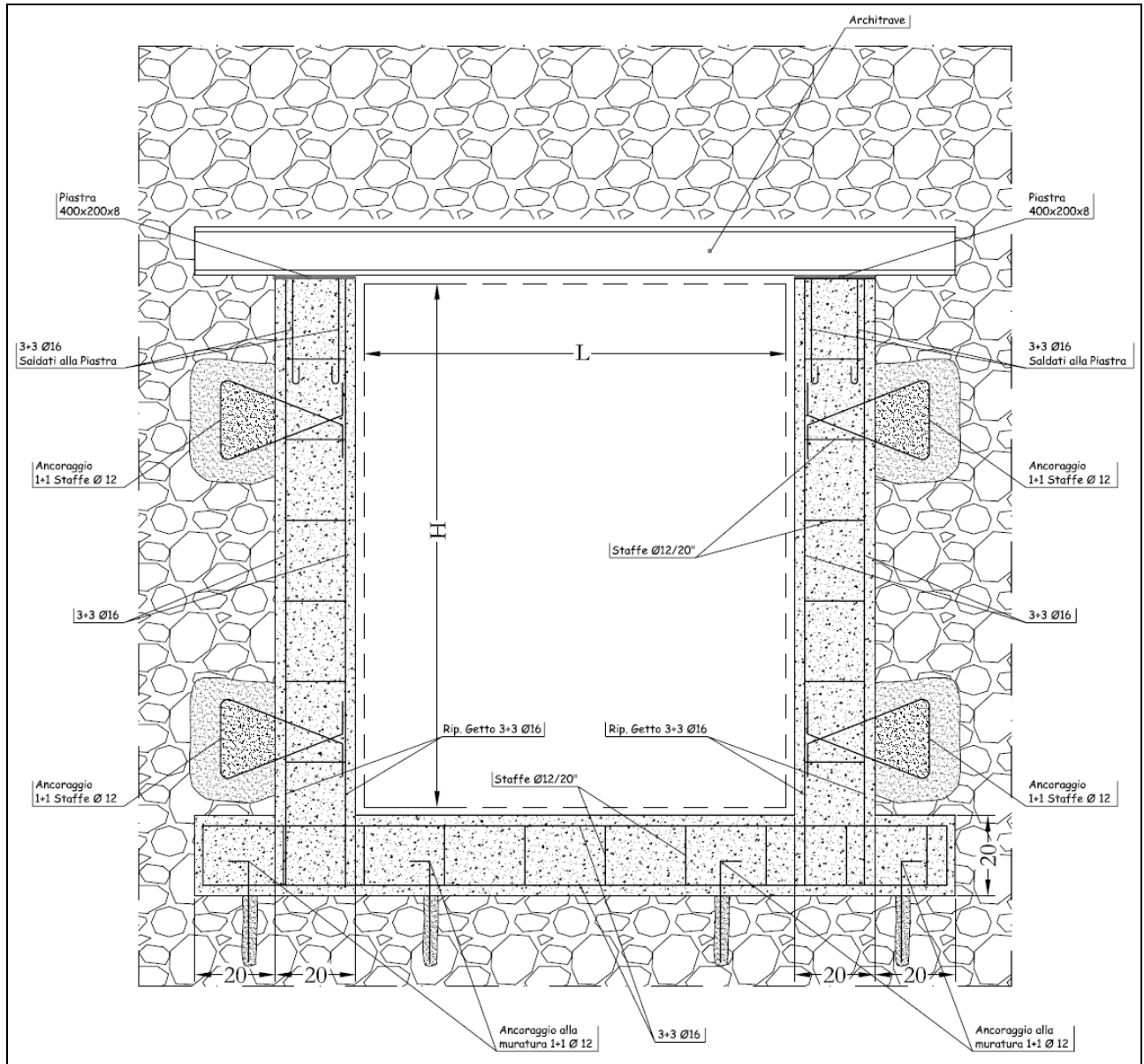


Figura IV-2: Esempio di cerchiatura

Nel rifacimento dei solai (Tavole 6 e 14) sono state apportate alcune modifiche rispetto allo stato di fatto senza però stravolgere le caratteristiche tipologiche degli immobili. Le precedenti organizzazioni degli edifici, che prevedevano l'utilizzo degli spazi a molteplici usi (abitativo, ad uso magazzino, tinaia, stalla), facevano sì che le altezze dei vari ambienti fossero tra loro diverse, contestualmente all'uso, e, di conseguenza, che i solai fossero a quote sfalsate tra di loro. Per un

migliore assetto strutturale degli edifici si realizzeranno i nuovi solai di piano tutti alla stessa quota, in modo da creare gli opportuni orizzontamenti richiesti dalla Normativa sismica [3] ed evitando così di avere dislivelli all'interno degli stessi appartamenti. Inoltre sarà più facile, in caso di necessità, adeguarsi ai requisiti di adattabilità della Legge 13/89 [8].

Al piano terra, per entrambi gli edifici, viene realizzato un solaio ventilato con elementi in polipropilene omopolimero rigenerato, in modo da garantire sia una maggiore salubrità che un migliore isolamento termico.

Per quanto riguarda i solai, nella colonica di Ugnano i solai di interpiano saranno tipologicamente uguali a quelli esistenti, ovvero realizzati con orditura primaria e secondaria in legno e scempiato di piastrelle, recuperando finché possibile gli elementi esistenti ed integrandoli poi con nuovi di uguali caratteristiche. I criteri di costruzione saranno però quelli moderni, ovvero si realizzeranno dei cordoli di rigiro in acciaio, delle solette armate per le ripartizioni dei carichi, dei tappetini fonoisolanti e dei pannelli in fibra di legno per l'isolamento termico (Tavola 6). Tutti questi accorgimenti sono indispensabili per una maggiore sicurezza dell'edificio e per un minor dispendio energetico. Nella colonica di Barberino, invece, si è optato per la sostituzione di un solaio esistente con uno in laterocemento e per il consolidamento degli altri solai a volterrane tramite barre ad aderenza migliorata e rete elettrosaldata; sono stati inseriti inoltre cordoli di rigiro in c.a. per tutti i solai di piano (Tavola 14).

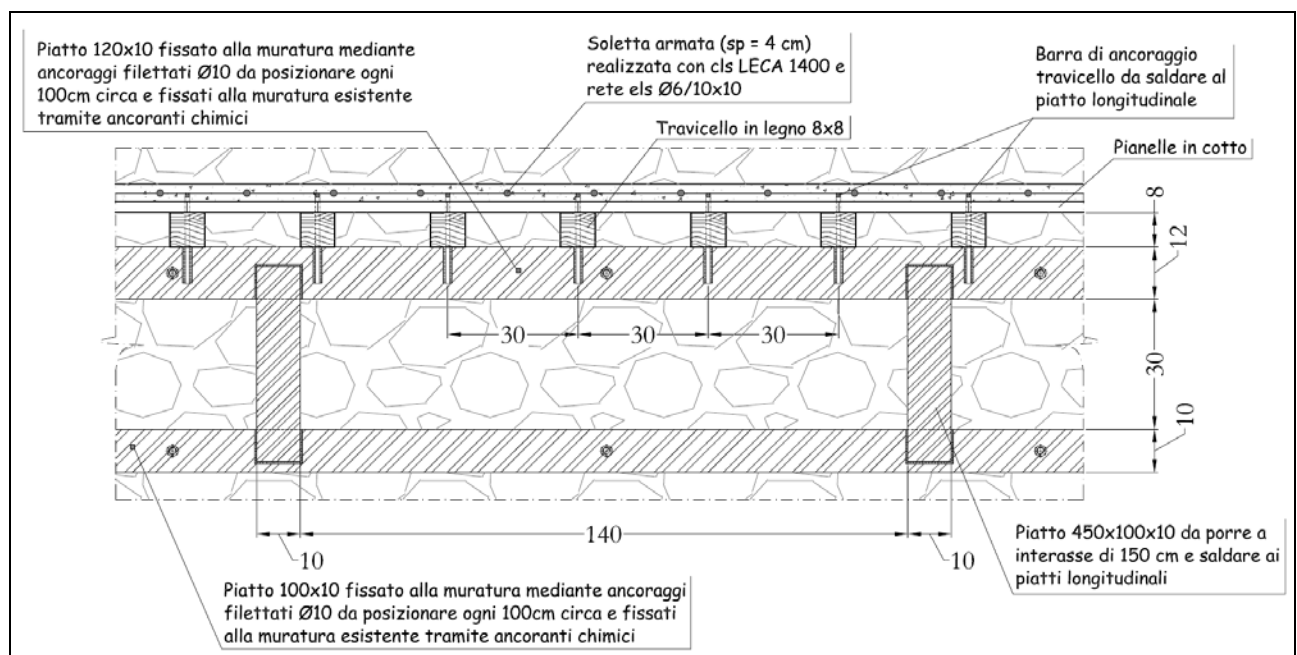


Figura IV-3: Esempio di solaio in legno

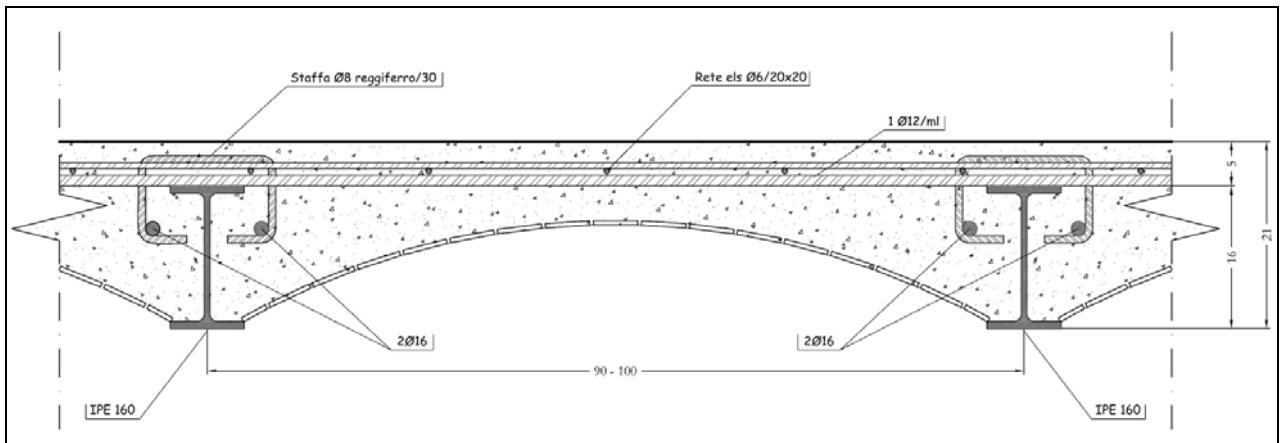


Figura IV-4: Esempio di solaio in voltine

Riguardo alla copertura, è stata scelta per entrambi gli edifici una copertura di tipo ventilato posta in opera con tipica gronda alla “fiorentina” e realizzazione degli opportuni cordoli in c.a. in sommità delle murature (*Tavole 7 e 14*).

Per quanto concerne la colonica di Ugnano, nel loggiato si ricostruirà il palco intermedio, un tempo presente, come dimostrato dai resti dell’orditura primaria. Per dare modo all’appartamento tre di usufruire di tale spazio, come terrazzo coperto, si è resa necessaria l’apertura di una porta finestra, che ha anche la funzione di riequilibrare il prospetto, dato che sarà allineata alla porta del piano terra, e di dotare la cameretta della necessaria superficie aero-illuminante prevista dalla normativa vigente.

Per quanto riguarda invece la colonica di Barberino, data l’altezza elevata dei vani al piano primo è stato possibile inserire dei soppalchi con struttura portante in longarine e tavelloni al fine di aumentare la superficie calpestabile degli appartamenti con l’intento di sfruttare al meglio l’ampio volume a disposizione (*Tavola 14 e Allegato 4B*).

L’organizzazione degli spazi esterni non prevede sostanziali modifiche ad eccezione delle nuove aree destinate al parcheggio dei veicoli, che comunque saranno realizzate con ghiaia in modo da non diminuire la superficie drenante.

Riassumendo, gli interventi strutturali di miglioramento sono consistiti nella realizzazione delle seguenti opere (*Tavole 3 e 11*):

- consolidamento delle fondazioni tramite realizzazioni di cordoli in c.a. ;
- consolidamento di alcuni tratti di muratura portante mediante betoncino armato (colonica di Barberino) ;

- rifacimento dei solai del piano terra con elementi in polipropilene omopolimero rigenerato ;
- realizzazione di cerchiature in c.a. e architrave in acciaio in corrispondenza di aperture in muri portanti ;
- demolizione di pareti divisorie e inserimento di tramezzi per il ridimensionamento degli spazi ;
- consolidamento di alcuni solai a volterrane tramite barre ad aderenza migliorata e rete elettrosaldata (colonica di Barberino) ;
- sostituzione di un solaio esistente con uno in laterocemento (colonica di Barberino) ;
- realizzazione di nuovi solai in legno (colonica di Ugnano) ;
- realizzazione di soppalchi con struttura portante in longarine e tavelloni (colonica di Barberino) ;
- ricostruzione del loggiato esterno (colonica di Ugnano) ;
- rifacimento della copertura con struttura lignea e realizzazione degli opportuni cordoli in c.a. in sommità delle murature.

In appendice è riportata una documentazione fotografica relativa alla fase di cantiere.

La nuova modellazione segue i criteri descritti nei *paragrafi 3.2.1 e 3.3.1* relativi alla modellazione delle coloniche allo stato attuale. Gli interventi strutturali sopra riportati sono stati inseriti nei modelli nel seguente modo.

Per quanto riguarda le cerchiature, esse, simulando la presenza di materiale murario all'interno delle aperture, sono state considerate eliminando l'apertura stessa dal modello.

I soppalchi, essendo elementi aggiunti al complesso strutturale, non offrono alcuna resistenza all'azione sismica, quindi la loro presenza è simulata attraverso l'inserimento del carico che essi trasmettono alle murature e ai solai.

La presenza di betoncino armato, aggiunto su alcuni pannelli murari per aumentarne la resistenza, è stato considerato incrementando i valori di riferimento dei parametri meccanici della muratura mediante i coefficienti correttivi riportati in *tabella 11.D.2* dell'Ordinanza 3431 [3].

Le fondazioni, i cordoli e i nuovi solai sono stati inseriti seguendo i comandi e le opzioni offerti dal codice di calcolo 3MURI.

4.3 Modello della colonica di Ugnano dopo l'intervento di miglioramento

4.3.1 Definizione del telaio equivalente

Si riportano due viste del modello 3D realizzato e la pianta con la numerazione delle pareti.

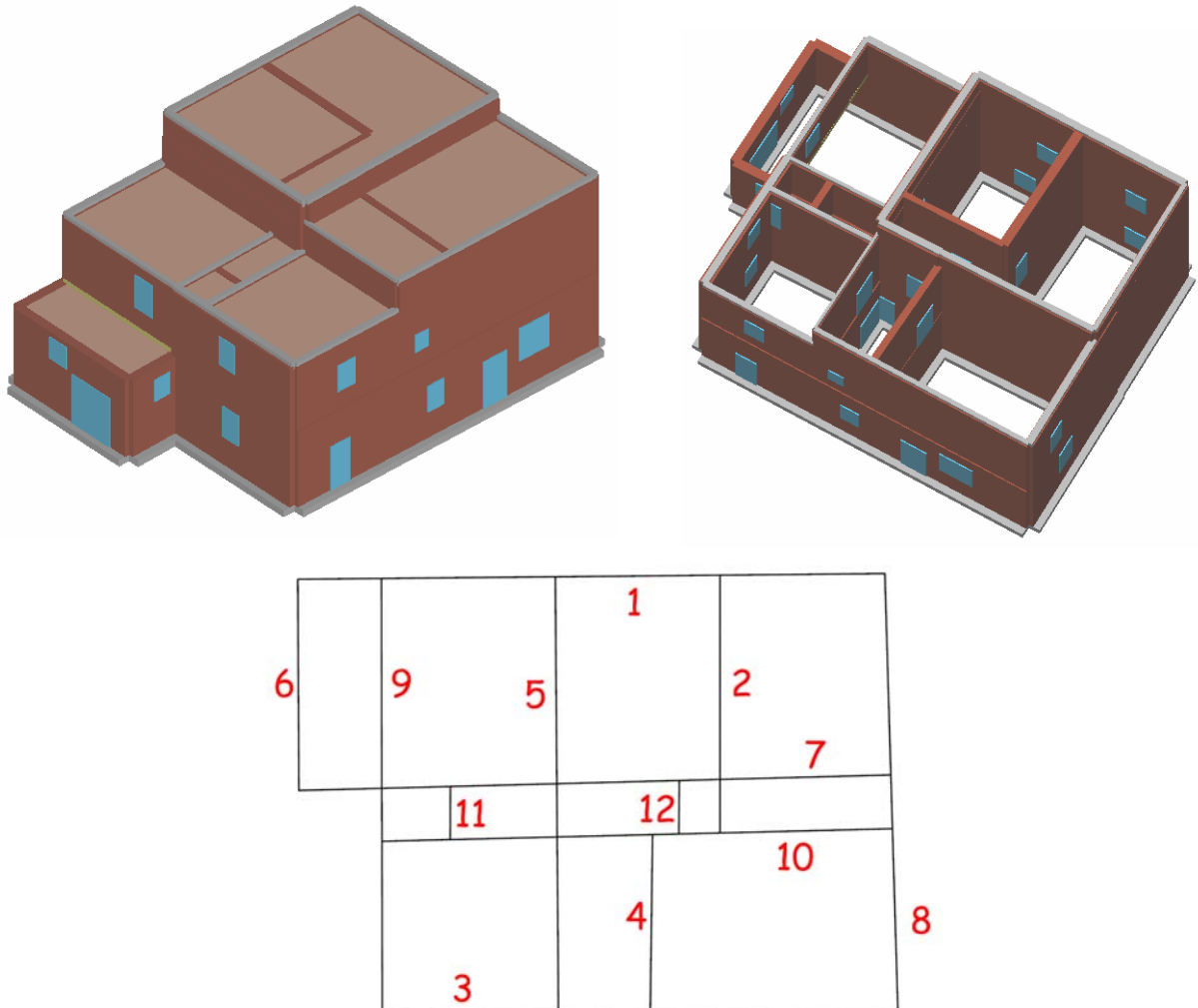


Figura IV-5: Viste 3D del modello e pianta con la numerazione delle pareti

Viene riportata di seguito, oltre alle caratteristiche dei materiali impiegati, anche la geometria dei pannelli murari, dei cordoli in c.a. e delle travi in legno che costituiscono l'edificio.

Materiale	f_m [N/cm ²]	τ_o [N/cm ²]	E [N/mm ²]	G [N/mm ²]	w [kN/m ³]
Muratura in mattoni pieni e malta di calce	180	6	1800	300	20

Materiale	f_{cm} [N/cm ²]	E [N/mm ²]	G [N/mm ²]	w [kN/m ³]
Calcestruzzo C25/30	15.63	30,500	12,708	25

Materiale	f_{cm} [N/cm ²]	E [N/mm ²]	G [N/mm ²]	w [kN/m ³]
Acciaio Feb44k	374	206,000	78,400	78.5

Materiale	f_{wm} [N/cm ²]	E [N/mm ²]	G [N/mm ²]	w [kN/m ³]
Castagno	16.5	9,000	750	6.8

Tabella IV-1: Parametri meccanici e peso specifico dei materiali impiegati

Livello 1

Pannello murario

N.	Parete	Materiale	Quota [cm]	Altezza [cm]	Spessore [cm]
2	1	Muratura	350	350	40
381	2	Muratura	350	350	40
349	3	Muratura	350	350	40
10	4	Muratura	350	350	35
51	5	Muratura	350	350	30
373	5	Muratura	350	350	40
21	6	Muratura	350	350	40
329	7	Muratura	350	350	50
330	7	Muratura	350	350	30
331	8	Muratura	350	350	30
332	8	Muratura	350	350	40
380	9	Muratura	350	350	50
374	10	Muratura	350	350	30
376	10	Muratura	350	350	45
377	10	Muratura	350	350	35

Trave Acciaio / Legno

N.	Parete	Materiale	Quota I [cm]	Quota J [cm]	Area [cm ²]	J [cm ⁴]	W plastico [cm ³]
50	5	Castagno	350	350	960.00	81,920	5,120.00
366	9	Castagno	350	350	960.00	81,920	5,120.00
396	11	Castagno	350	350	960.00	81,920	5,120.00

Solaio

N.	Quota [cm]	Angolo [°]	Spessore [cm]	G _k [daN/m ²]	Q _k [daN/m ²]	ψ	s	G [N/mm ²]	E _x [N/mm ²]	E _y [N/mm ²]	Tipo
1	350	360	4	300	92	0.3	0.33	12,500.00	36,545	30,000	Legno con travetti affiancati e soletta in c.a.
2	350	180	4	300	200	0.3	0.33	12,500.00	36,545	30,000	Legno con travetti affiancati e soletta in c.a.
4	350	91	4	300	200	0.3	0.33	12,500.00	36,545	30,000	Legno con travetti affiancati e soletta in c.a.
6	350	272	4	300	200	0.3	0.33	12,500.00	36,545	30,000	Legno con travetti affiancati e soletta in c.a.
7	350	272	4	300	200	0.3	0.33	12,500.00	36,545	30,000	Legno con travetti affiancati e soletta in c.a.
8	350	179	4	300	200	0.3	0.33	12,500.00	36,545	30,000	Legno con travetti affiancati e soletta in c.a.
18	350	91	4	300	200	0.3	0.33	12,500.00	36,545	30,000	Legno con travetti affiancati e soletta in c.a.
19	350	272	4	300	200	0.3	0.33	12,500.00	36,545	30,000	Legno con travetti affiancati e soletta in c.a.
20	350	272	4	300	200	0.3	0.33	12,500.00	36,545	30,000	Legno con travetti affiancati e soletta in c.a.

Livello 2

Pannello murario

N.	Parete	Materiale	Quota [cm]	Altezza [cm]	Spessore [cm]
417	1	Muratura	640	290	40
93	2	Muratura	640	290	40
351	3	Muratura	640	290	30
63	4	Muratura	640	290	30
419	5	Muratura	640	290	25
335	8	Muratura	640	290	30
336	8	Muratura	640	290	40
386	10	Muratura	640	290	45
387	10	Muratura	640	290	35
397	11	Muratura	640	290	30

Pannello + Cordolo C.A. (parte 1)

N.	Parete	Materiale pannello	Quota pannello [cm]	Altezza [cm]	Spessore [cm]	Materiale calcestruzzo	Materiale acciaio	Quota cordolo [cm]	Base sezione [cm]	Altezza sezione [cm]
416	1	Muratura	640	290	40	C25/30	FeB44K	640	30	30
350	3	Muratura	640	290	30	C25/30	FeB44K	640	25	30
418	5	Muratura	640	290	25	C25/30	FeB44K	640	15	30
334	7	Muratura	640	290	20	C25/30	FeB44K	640	14	30
391	7	Muratura	640	290	50	C25/30	FeB44K	640	30	30
382	9	Muratura	640	290	30	C25/30	FeB44K	640	20	30
383	9	Muratura	640	290	50	C25/30	FeB44K	640	30	30
384	10	Muratura	640	290	30	C25/30	FeB44K	640	20	30

Pannello + Cordolo C.A. (parte 2)

N.	Parete	Area [cm ²]	J [cm ⁴]	A _f intrad. [cm ²]	A _f estrad. [cm ²]	N. barre intrad.	N. barre Estrad.	Copriferro [cm]	Passo staffe [cm]	Area staffe [cm ²]
416	1	900	67,500	6.03	6.03	3	3	2	20	1.01
350	3	750	56,250	6.03	6.03	3	3	2	20	1.01
418	5	450	33,750	4.02	4.02	2	2	2	20	1.01
334	7	420	31,500	4.02	4.02	2	2	2	20	1.01
391	7	900	67,500	6.03	6.03	3	3	2	20	1.01
382	9	600	45,000	6.03	6.03	3	3	2	20	1.01
383	9	900	67,500	6.03	6.03	3	3	2	20	1.01
384	10	600	45,000	6.03	6.03	3	3	2	20	1.01

Trave Acciaio / Legno

N.	Parete	Materiale	Quota I [cm]	Quota J [cm]	Area [cm ²]	J [cm ⁴]	W plastico [cm ³]
392	7	Castagno	640	640	960.00	81,920	5,120.00

Solaio

N.	Quota [cm]	Angolo [°]	Spessore [cm]	G _k [daN/m ²]	Q _k [daN/m ²]	ψ	s	G [N/mm ²]	E _x [N/mm ²]	E _y [N/mm ²]	Tipo
21	640	91	4	300	92	0.3	0.33	12,500.00	36,545	30,000	Legno con travetti affiancati e soletta in c.a.
22	640	272	4	300	92	0.3	0.33	12,500.00	36,545	30,000	Legno con travetti affiancati e soletta in c.a.
23	640	272	4	300	92	0.3	0.33	12,500.00	36,545	30,000	Legno con travetti affiancati e soletta in c.a.

Livello 3

Pannello murario

N.	Parete	Materiale	Quota [cm]	Altezza [cm]	Spessore [cm]
180	1	Muratura	770	130	40
190	2	Muratura	770	130	40
148	4	Muratura	770	130	30
404	5	Muratura	770	130	25
337	7	Muratura	770	130	50
339	8	Muratura	770	130	30
420	8	Muratura	770	130	40

Pannello + Cordolo C.A. (parte 1)

N.	Parete	Materiale pannello	Quota pannello [cm]	Altezza [cm]	Spessore [cm]	Materiale calcestruzzo	Materiale acciaio	Quota cordolo [cm]	Base sezione [cm]	Altezza sezione [cm]
184	3	Muratura	770	130	30	C25/30	FeB44K	770	20	30
338	7	Muratura	770	130	20	C25/30	FeB44K	770	12	30
421	8	Muratura	770	130	40	C25/30	FeB44K	770	30	30
408	10	Muratura	770	130	45	C25/30	FeB44K	770	35	30
409	10	Muratura	770	130	35	C25/30	FeB44K	770	25	30

Pannello + Cordolo C.A. (parte 2)

N.	Parete	Area [cm ²]	J [cm ⁴]	A _f intrad. [cm ²]	A _f estrad. [cm ²]	N. barre intrad.	N. barre Estrad.	Copriferro [cm]	Passo staffe [cm]	Area staffe [cm ²]
184	3	600	45,000	6.03	6.03	3	3	2	20	1.01
338	7	360	27,000	4.02	4.02	2	2	2	20	1.01
421	8	900	67,500	6.03	6.03	3	3	2	20	1.01
408	10	1,050	78,750	6.03	6.03	3	3	2	20	1.01
409	10	750	56,250	6.03	6.03	3	3	2	20	1.01

Solaio

N.	Quota [cm]	Angolo [°]	Spessore [cm]	G _k [daN/m ²]	Q _k [daN/m ²]	ψ	s	G [N/mm ²]	E _x [N/mm ²]	E _y [N/mm ²]	Tipo
17	770	272	4	300	92	0.3	0.33	12,500.00	36,545	30,000	Legno con travetti affiancati e soletta in c.a.

Livello 4

Pannello murario

N.	Parete	Materiale	Quota [cm]	Altezza [cm]	Spessore [cm]
304	2	Muratura	860	90	40
414	5	Muratura	860	90	25

Pannello + Cordolo C.A. (parte 1)

N.	Parete	Materiale pannello	Quota pannello [cm]	Altezza [cm]	Spessore [cm]	Materiale calcestruzzo	Materiale acciaio	Quota cordolo [cm]	Base sezione [cm]	Altezza sezione [cm]
297	1	Muratura	860	90	40	C25/30	FeB44K	860	30	30
341	7	Muratura	860	90	45	C25/30	FeB44K	860	30	30
346	8	Muratura	860	90	30	C25/30	FeB44K	860	20	30
412	10	Muratura	860	90	45	C25/30	FeB44K	860	30	30
413	10	Muratura	860	90	35	C25/30	FeB44K	860	25	30

Pannello + Cordolo C.A. (parte 2)

N.	Parete	Area [cm ²]	J [cm ⁴]	A _f intrad. [cm ²]	A _f estrad. [cm ²]	N. barre intrad.	N. barre Estrad.	Copriferro [cm]	Passo staffe [cm]	Area staffe [cm ²]
297	1	900	67,500	6.03	6.03	3	3	2	20	1.01
341	7	900	67,500	6.03	6.03	3	3	2	20	1.01
346	8	600	45,000	4.02	4.02	2	2	2	20	1.01
412	10	900	67,500	6.03	6.03	3	3	2	20	1.01
413	10	750	56,250	6.03	6.03	3	3	2	20	1.01

Solaio

N.	Quota [cm]	Angolo [°]	Spessore [cm]	G _k [daN/m ²]	Q _k [daN/m ²]	ψ	s	G [N/mm ²]	E _x [N/mm ²]	E _y [N/mm ²]	Tipo
24	860	91	4	300	92	0.3	0.33	12,500.00	36,545	30,000	Legno con travetti affiancati e soletta in c.a.

Vengono mostrati adesso i dati geometrici relativi al telaio equivalente, costituito dai macroelementi *maschi e fasce*.

Parete 1

Macroelementi Maschi

N.	Materiale pannello	Spessore [cm]	Base [cm]	Altezza [cm]	Baricentro X [cm]	Baricentro Z [cm]	Nodo sopra	Nodo sotto
7	Muratura	40	410.0	140	1,248.9	135.0	17	18
6	Muratura	40	943.9	245	472.0	163.6	43	44
8	Muratura	40	170.0	245	1,638.9	163.6	3	4
9	Muratura	40	804.1	212.5	646.9	495.8	35	36
11	Muratura	40	170.0	212.5	1,638.9	495.8	4	5
10	Muratura	40	315.0	135	1,301.4	497.5	18	19
4	Muratura	40	965.5	130	1,241.2	705.0	19	20
5	Muratura	40	965.5	90	1,241.2	815.0	20	21

Macroelementi Fasce

N.	Materiale pannello	Spessore [cm]	Base [cm]	Altezza [cm]	Baricentro X [cm]	Baricentro Z [cm]	Nodo sinistro	Nodo destro
1	Muratura	40	100.0	65	993.9	32.5	34	17
2	Muratura	40	100.0	65	1,503.9	32.5	17	3
3	Muratura	40	97.5	225	1,505.2	317.5	18	4

Parete 2

Macroelementi Maschi

N.	Materiale pannello	Spessore [cm]	Base [cm]	Altezza [cm]	Baricentro X [cm]	Baricentro Z [cm]	Nodo sopra	Nodo sotto
12	Muratura	40	757.2	350	378.6	175.0	60	61
15	Muratura	40	60.0	253.2653	188.1	476.6	61	62
16	Muratura	40	459.1	253.2653	527.6	476.6	18	78
13	Muratura	40	599.1	130	457.6	705.0	78	79
14	Muratura	40	599.1	90	457.6	815.0	79	80

Parete 3

Macroelementi Maschi

N.	Materiale pannello	Spessore [cm]	Base [cm]	Altezza [cm]	Baricentro X [cm]	Baricentro Z [cm]	Nodo sopra	Nodo sotto
26	Muratura	40	390.0	160	455.0	140.0	39	40
27	Muratura	40	195.0	167.5	832.5	143.8	24	25
25	Muratura	40	160.0	295.4546	80.0	147.7	8	9
28	Muratura	40	59.5	182.5	1,079.7	156.3	81	25
29	Muratura	40	250.0	250	1,389.5	184.0	11	12
31	Muratura	30	300.0	100	440.0	475.0	40	41
32	Muratura	30	854.5	185	1,087.2	487.4	25	26
30	Muratura	30	200.0	205	100.0	493.5	9	10
24	Muratura	30	998.3	130	1,015.3	705.0	26	27

Macroelementi Fasce

N.	Materiale pannello	Spessore [cm]	Base [cm]	Altezza [cm]	Baricentro X [cm]	Baricentro Z [cm]	Nodo sinistro	Nodo destro
19	Muratura	40	85.0	120	692.5	60.0	39	24
22	Muratura	40	155.0	130	1,187.0	65.0	81	11
17	Muratura	40	95.0	150	227.5	275.0	9	40
20	Muratura	40	77.5	110	658.8	295.0	40	25
21	Muratura	30	77.5	70	658.8	385.0	40	25
18	Muratura	30	95.0	80	227.5	390.0	9	40
23	Muratura	30	90.0	90	245.0	595.0	10	41

Parete 4

Macroelementi Maschi

N.	Materiale pannello	Spessore [cm]	Base [cm]	Altezza [cm]	Baricentro X [cm]	Baricentro Z [cm]	Nodo sopra	Nodo sotto
33	Muratura	35	517.2	350	258.6	175.0	82	83
35	Muratura	30	310.0	253.2653	155.0	476.6	83	84
36	Muratura	30	87.2	253.2653	473.6	476.6	29	30
34	Muratura	30	517.2	130	258.6	705.0	84	85

Parete 5

Macroelementi Maschi

N.	Materiale pannello	Spessore [cm]	Base [cm]	Altezza [cm]	Baricentro X [cm]	Baricentro Z [cm]	Nodo sopra	Nodo sotto
44	Muratura	30	90.0	297.5	1,281.5	148.8	60	61
45	Muratura	30	334.2	297.5	1,573.7	148.8	32	33
42	Muratura	40	110.0	225	55.0	191.7	15	16
43	Muratura	40	569.9	225	475.0	191.7	57	58
46	Muratura	25	761.6	256.4	625.8	478.2	66	67
47	Muratura	25	140.0	256.4	1,166.5	478.2	61	62
40	Muratura	25	476.6	130	998.2	705.0	86	87
41	Muratura	25	476.6	90	998.2	815.0	87	88

Macroelementi Fasce

N.	Materiale pannello	Spessore [cm]	Base [cm]	Altezza [cm]	Baricentro X [cm]	Baricentro Z [cm]	Nodo sinistro	Nodo destro
37	Muratura	40	80.0	200	150.0	100.0	15	70
39	Muratura	30	80.0	140	1,366.5	280.0	61	33
38	Muratura	40	80.0	50	150.0	325.0	16	71

Parete 6

Macroelementi Maschi

N.	Materiale pannello	Spessore [cm]	Base [cm]	Altezza [cm]	Baricentro X [cm]	Baricentro Z [cm]	Nodo sopra	Nodo sotto
53	Muratura	40	80.0	301.0869	580.5	150.5	15	16
52	Muratura	40	25.0	162.5	313.0	196.3	89	90
51	Muratura	40	200.5	225	100.3	198.3	1	2

Macroelementi Fasce

N.	Materiale pannello	Spessore [cm]	Base [cm]	Altezza [cm]	Baricentro X [cm]	Baricentro Z [cm]	Nodo sinistro	Nodo destro
48	Muratura	40	100.0	230	250.5	115.0	1	89
50	Muratura	40	215.0	125	433.0	287.5	90	16
49	Muratura	40	100.0	20	250.5	340.0	2	90

Parete 7

Macroelementi Maschi

N.	Materiale pannello	Spessore [cm]	Base [cm]	Altezza [cm]	Baricentro X [cm]	Baricentro Z [cm]	Nodo sopra	Nodo sotto
60	Muratura	50	470.0	297.5	235.0	148.8	34	35
61	Muratura	50	214.6	297.5	657.3	148.8	65	66
62	Muratura	30	40.8	297.5	785.0	148.8	73	74
63	Muratura	30	330.0	297.5	1,110.4	148.8	39	40
64	Muratura	50	460.0	253.2653	230.0	476.6	35	36
65	Muratura	50	67.3	253.2653	573.7	476.6	66	67
66	Muratura	20	80.8	253.2653	805.0	476.6	74	75
67	Muratura	20	310.0	253.2653	1,120.4	476.6	40	91
57	Muratura	50	764.6	130	382.3	705.0	67	68
58	Muratura	20	510.8	130	1,020.0	705.0	91	92
59	Muratura	45	764.6	90	382.3	815.0	68	69

Macroelementi Fasce

N.	Materiale pannello	Spessore [cm]	Base [cm]	Altezza [cm]	Baricentro X [cm]	Baricentro Z [cm]	Nodo sinistro	Nodo destro
54	Muratura	50	80.0	140	505.0	280.0	35	66
55	Muratura	30	130.0	140	890.4	280.0	74	40

Parete 8

Macroelementi Maschi

N.	Materiale pannello	Spessore [cm]	Base [cm]	Altezza [cm]	Baricentro X [cm]	Baricentro Z [cm]	Nodo sopra	Nodo sotto
68	Muratura	30	590.4	350	295.2	175.0	95	96
75	Muratura	40	377.0	255	778.9	186.0	46	47
76	Muratura	40	210.0	255	1,177.4	186.0	11	12
71	Muratura	30	590.4	290	295.2	495.0	96	97
77	Muratura	40	462.0	220	821.4	505.2	47	48
78	Muratura	40	140.0	220	1,212.4	505.2	12	13
72	Muratura	30	590.4	130	295.2	705.0	97	98
73	Muratura	40	692.0	130	936.4	705.0	48	49
74	Muratura	30	749.2	90	374.6	815.0	98	99

Macroelementi Fasce

N.	Materiale pannello	Spessore [cm]	Base [cm]	Altezza [cm]	Baricentro X [cm]	Baricentro Z [cm]	Nodo sinistro	Nodo destro
69	Muratura	40	105.0	130	1,019.9	65.0	46	11
70	Muratura	40	97.5	160	1,058.7	370.0	47	12

Parete 9

Macroelementi Maschi

N.	Materiale pannello	Spessore [cm]	Base [cm]	Altezza [cm]	Baricentro X [cm]	Baricentro Z [cm]	Nodo sopra	Nodo sotto
84	Muratura	50	285.6	245	759.1	182.1	51	52
85	Muratura	50	280.0	245	1,131.9	182.1	8	9
88	Muratura	50	265.6	210	749.1	501.2	52	53
89	Muratura	50	300.0	210	1,121.9	501.2	9	10
86	Muratura	30	401.9	220	200.9	505.2	44	45
87	Muratura	30	114.4	220	559.1	505.2	71	72

Macroelementi Fasce

N.	Materiale pannello	Spessore [cm]	Base [cm]	Altezza [cm]	Baricentro X [cm]	Baricentro Z [cm]	Nodo sinistro	Nodo destro
79	Muratura	50	90.0	130	946.9	65.0	51	8
80	Muratura	50	90.0	180	936.9	360.0	52	9
81	Muratura	30	100.0	100	451.9	400.0	44	71
83	Muratura	50	90.0	60	926.9	610.0	53	10
82	Muratura	30	100.0	40	451.9	620.0	45	72

Parete 10

Macroelementi Maschi

N.	Materiale pannello	Spessore [cm]	Base [cm]	Altezza [cm]	Baricentro X [cm]	Baricentro Z [cm]	Nodo sopra	Nodo sotto
97	Muratura	30	385.2	295.4546	192.6	147.7	54	55
98	Muratura	30	50.0	295.4546	490.2	147.7	73	74
99	Muratura	45	3.0	297.5	516.7	148.8	73	74
100	Muratura	45	197.2	297.5	696.8	148.8	28	29
90	Muratura	35	704.7	350	1,147.8	175.0	22	23
101	Muratura	30	445.2	253.2653	292.6	476.6	55	56
102	Muratura	45	139.4	253.2653	584.9	476.6	74	75
103	Muratura	45	50.8	253.2653	770.0	476.6	29	30
92	Muratura	35	704.7	290	1,147.8	495.0	23	101
93	Muratura	45	280.2	130	655.3	705.0	102	103
94	Muratura	35	704.7	130	1,147.8	705.0	101	104
95	Muratura	45	280.2	90	655.3	815.0	103	105
96	Muratura	35	704.7	90	1,147.8	815.0	104	106

Macroelementi Fasce

N.	Materiale pannello	Spessore [cm]	Base [cm]	Altezza [cm]	Baricentro X [cm]	Baricentro Z [cm]	Nodo sinistro	Nodo destro
91	Muratura	30	70.0	90	35.0	595.0	53	56

Parete 11

Macroelementi Maschi

N.	Materiale pannello	Spessore [cm]	Base [cm]	Altezza [cm]	Baricentro X [cm]	Baricentro Z [cm]	Nodo sopra	Nodo sotto
104	Muratura	30	156.8	290	78.4	495.0	107	108

4.3.2 Analisi statica non lineare

Dopo aver definito i parametri iniziali per l'analisi sismica (la zona sismica del comune di edificazione, la categoria del suolo di fondazione e la classe della struttura), come già spiegato al *paragrafo 3.2.3*, si è passati ad eseguire le analisi distinte per tipologia di carico e direzione del sisma, al fine sempre di individuare la condizione di carico sismico più gravosa.

Riportiamo di seguito lo schema relativo alle analisi eseguite.

N.	Direzione sisma	Carico sismico proporzionale	Eccentricità [cm]	Nodo di controllo	
				Livello	Nodo
1	+X	Masse	0.0	4	77
2	+X	1° modo	0.0	4	77
3	-X	Masse	0.0	4	77
4	-X	1° modo	0.0	4	77
5	+Y	Masse	0.0	4	77
6	+Y	1° modo	0.0	4	77
7	-Y	Masse	0.0	4	77
8	-Y	1° modo	0.0	4	77

Tabella IV-2: Schema delle analisi eseguite

Si riportano adesso i risultati emersi dall'analisi.

N.	Direzione sisma	Carico sismico prop.	SLU				SLD			α_u	α_e
			D_{max} [cm]	D_u [cm]	q^*	Verificato	D_{max} [cm]	D_d [cm]	Verificato		
1	+X	Masse	0.697	0.955	1.429	Si	0.195	0.699	Si	1.176	2.436
2	+X	1° modo	0.907	1.186	1.550	Si	0.237	0.766	Si	1.163	2.348
3	-X	Masse	0.611	0.752	1.277	Si	0.197	0.684	Si	1.095	2.466
4	-X	1° modo	0.781	0.831	1.342	Si	0.236	0.831	Si	1.029	2.589
5	+Y	Masse	1.311	1.600	1.900	Si	0.312	0.654	Si	1.142	1.732
6	+Y	1° modo	1.508	1.506	1.998	No	0.374	0.797	Si	0.999	1.800
7	-Y	Masse	1.276	1.572	1.844	Si	0.307	0.519	Si	1.146	1.485
8	-Y	1° modo	1.508	1.354	2.053	No	0.366	0.962	Si	0.931	2.126

N.	Direzione sisma	Carico sismico proporzionale	T^* [sec]	m^* [Kg]	w [Kg]	Duttilità disponibile
1	+X	Masse	0.124	415,229	754,950	3.73
2	+X	1° modo	0.137	415,229	754,950	3.94
3	-X	Masse	0.126	415,229	754,950	2.60
4	-X	1° modo	0.137	415,229	754,950	2.40
5	+Y	Masse	0.159	427,199	754,950	4.69
6	+Y	1° modo	0.174	427,199	754,950	3.87
7	-Y	Masse	0.157	427,199	754,950	4.53
8	-Y	1° modo	0.172	427,199	754,950	3.65

Tabella IV-3: Risultati dell'analisi pushover

Come si nota da una rapida visione dei risultati, anche in questo caso l'azione sismica più gravosa risulta essere quella agente lungo la direzione Y, in particolar modo quella proporzionale al primo modo di vibrare della struttura.

Vengono mostrati adesso in dettaglio i risultati delle analisi, riportando le curve pushover e il modello 3D dell'edificio sollecitato dalle varie azioni sismiche, evidenziando così i tipi di rottura che si manifestano nei pannelli murari.

Analisi 1 – Direzione sisma +X con carico proporzionale alla massa

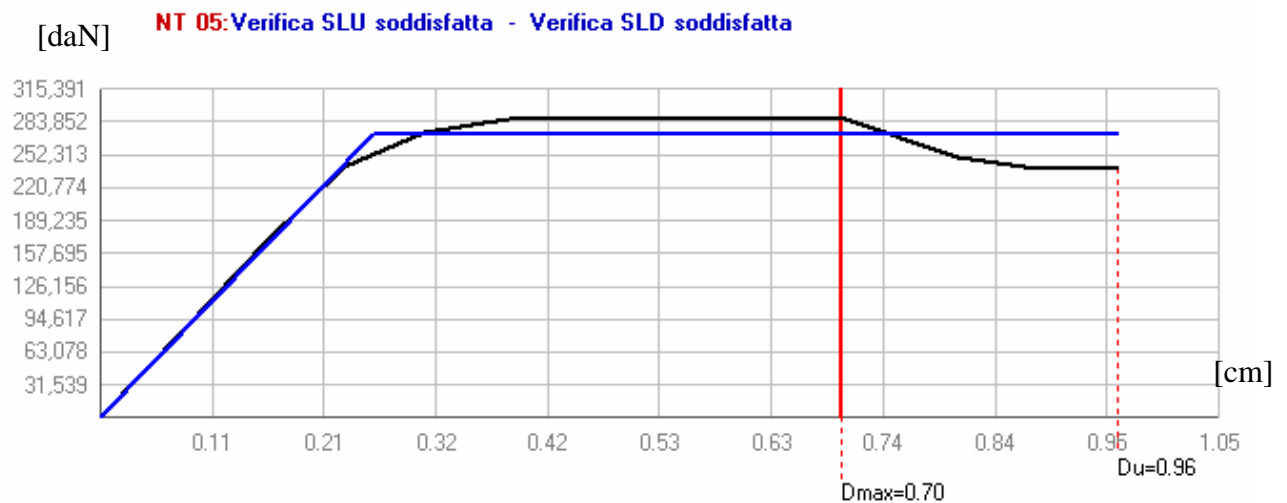


Figura IV-6: Curva pushover dell'analisi 1

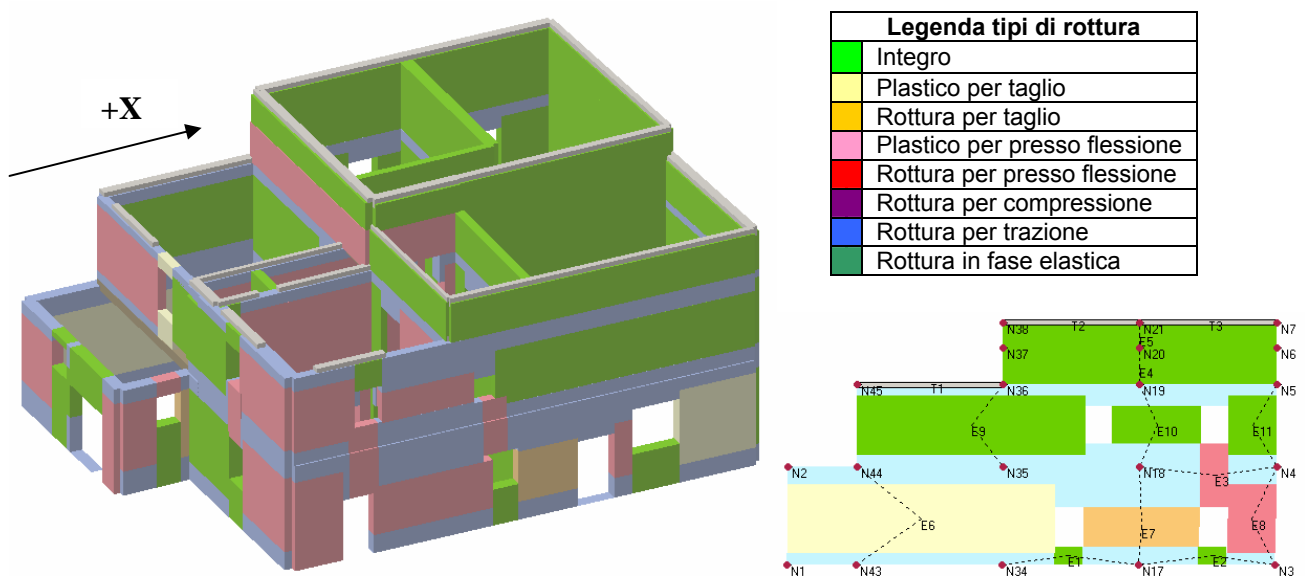


Figura IV-7: Vista 3D e deformata della parete 1 relative all'analisi 1

Analisi 2 – Direzione sisma +X con carico proporzionale al 1° modo

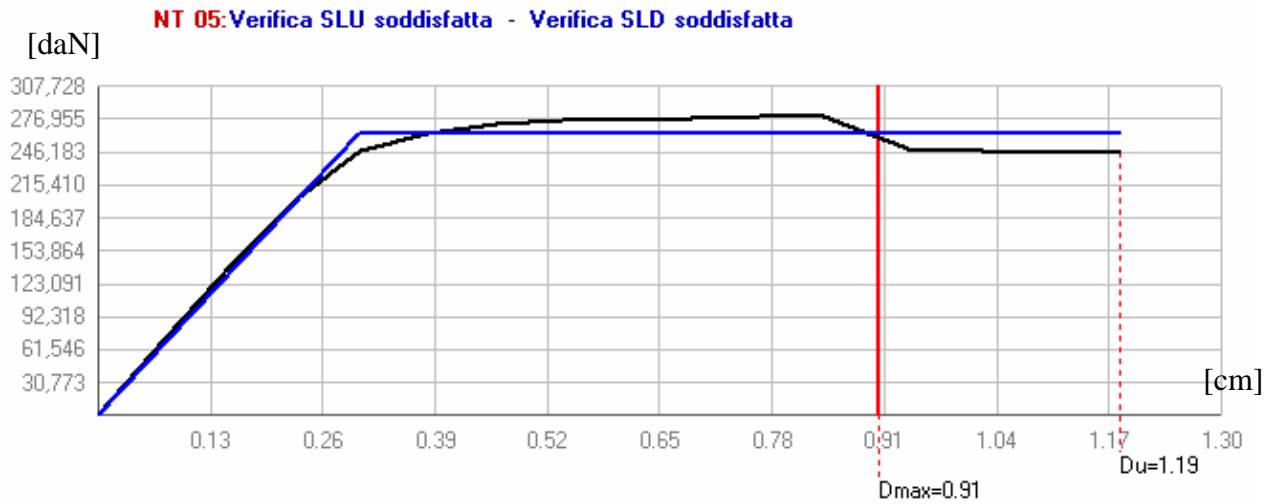


Figura IV-8: Curva pushover dell'analisi 2

Le deformate dei pannelli murari relative all'analisi 2 sono pressoché uguali alle deformate relative all'analisi 1.

Analisi 3 – Direzione sisma -X con carico proporzionale alla massa

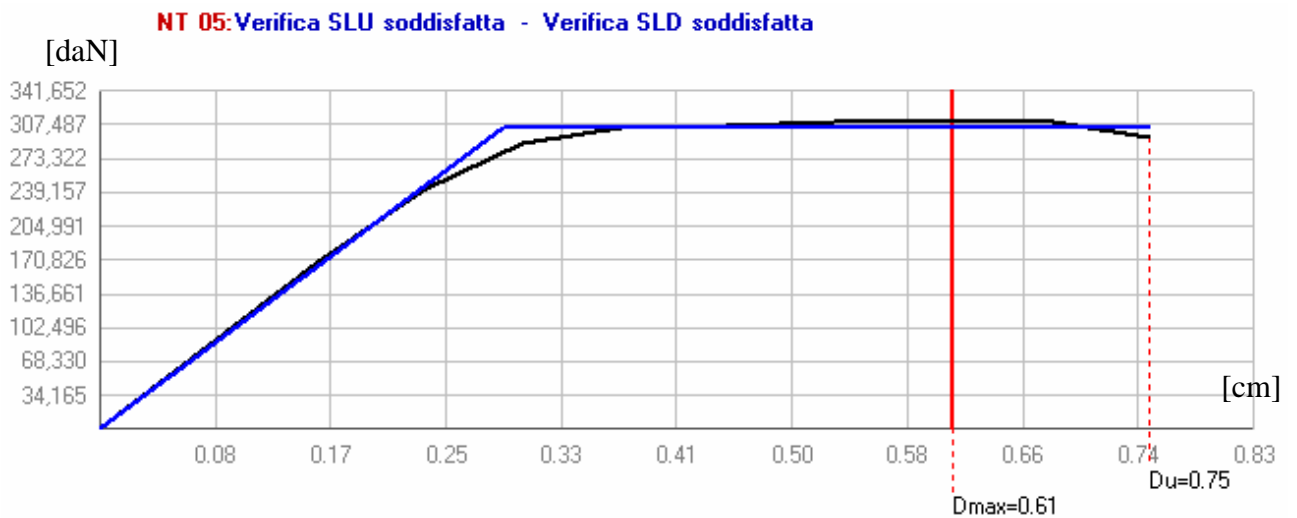


Figura IV-9: Curva pushover dell'analisi 3

Le deformate dei pannelli murari relative all'analisi 3 sono pressoché uguali alle deformate relative all'analisi 1.

Analisi 4 – Direzione sisma -X con carico proporzionale al 1° modo

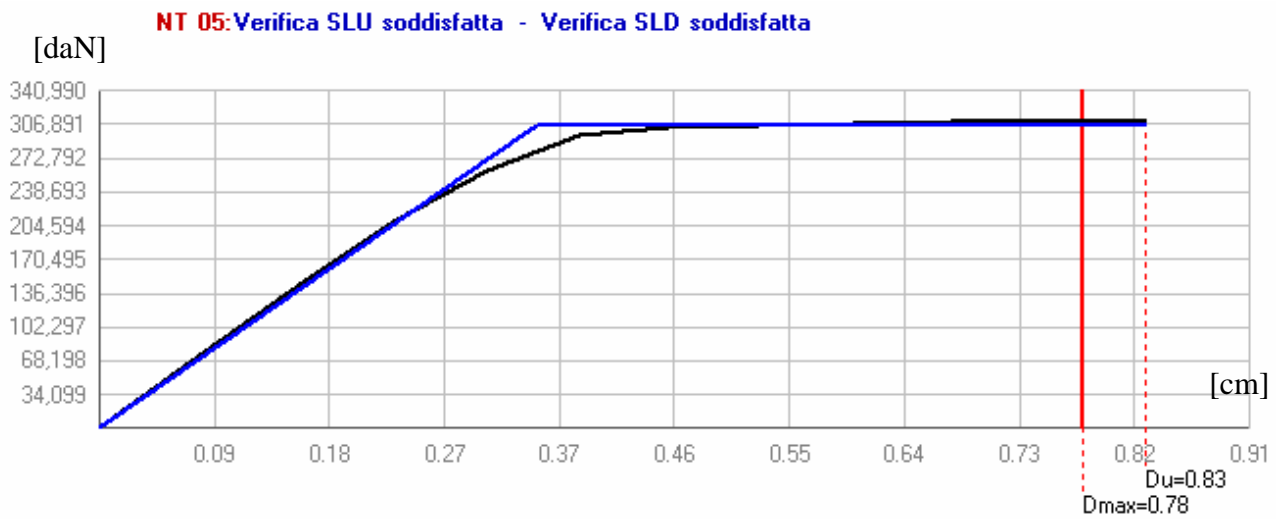


Figura IV-10: Curva pushover dell'analisi 4

Le deformate dei pannelli murari relative all'analisi 4 sono pressoché uguale alle deformate relative all'analisi 1.

Analisi 5 – Direzione sisma +Y con carico proporzionale alla massa

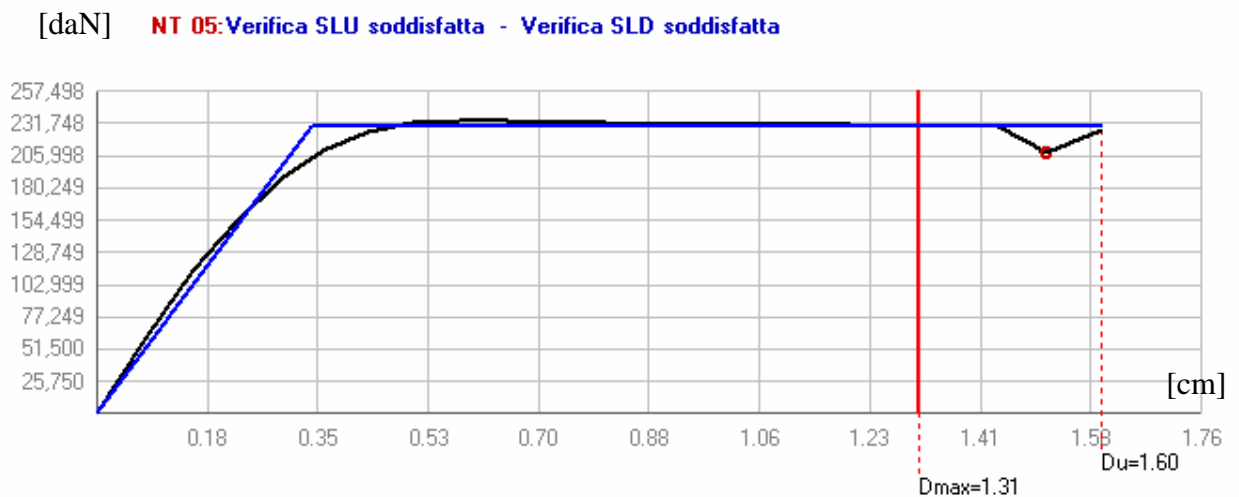


Figura IV-11: Curva pushover dell'analisi 5

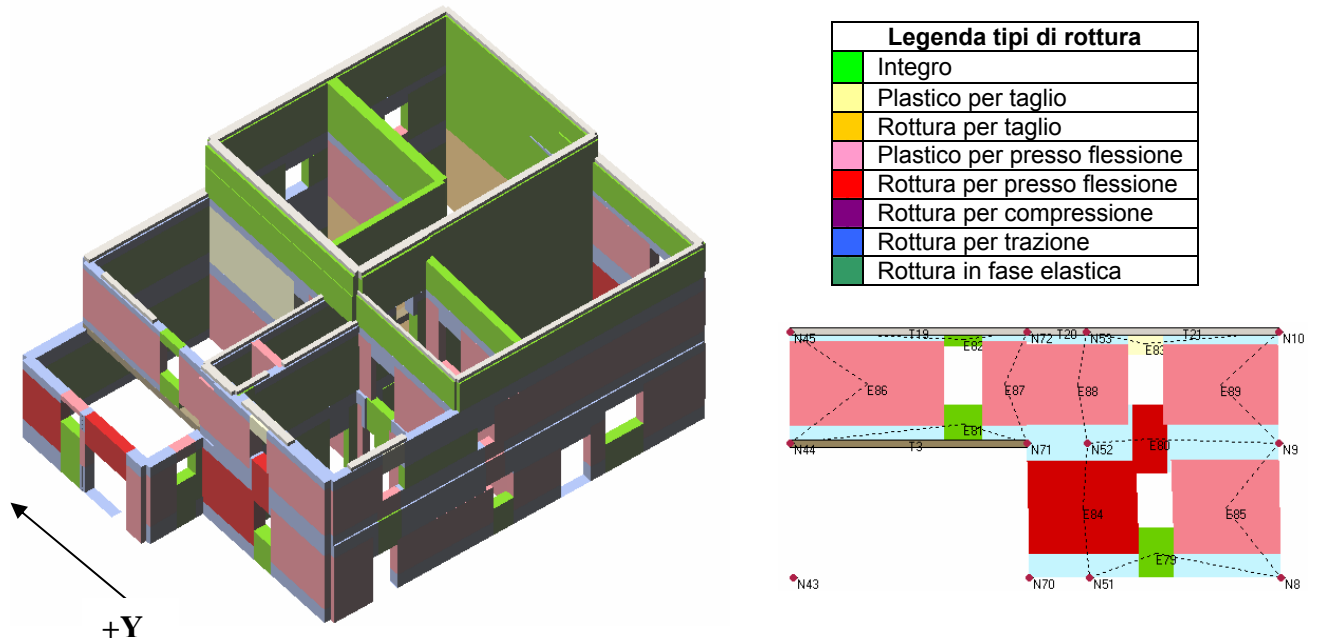


Figura IV-12: Vista 3D e deformata della parete 8 relative all'analisi 5

Analisi 6 – Direzione sisma +Y con carico proporzionale al 1° modo

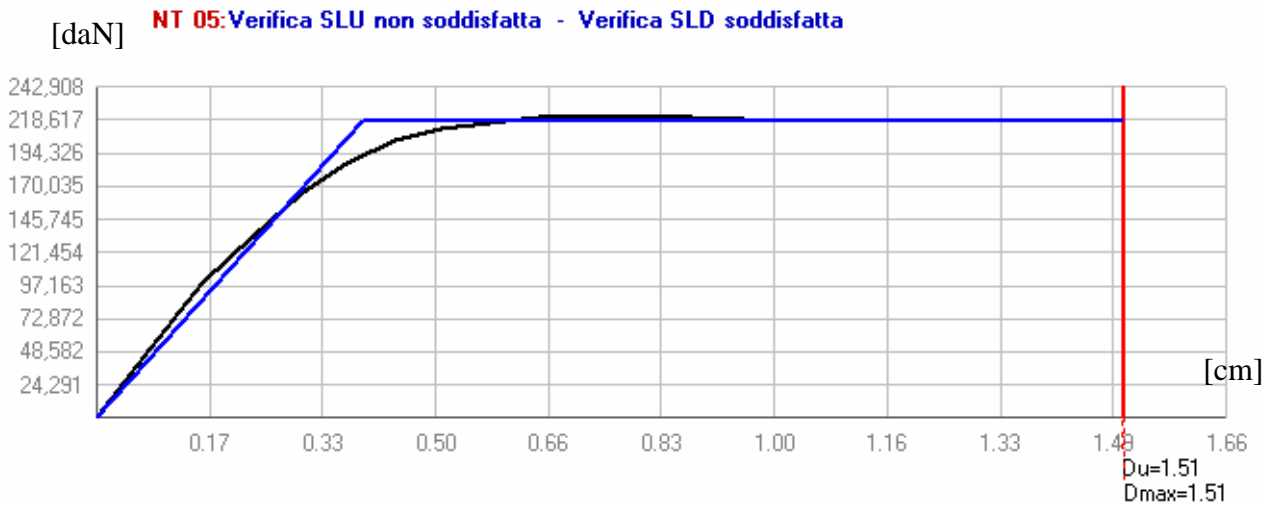


Figura IV-13: Curva pushover dell'analisi 6

Le deformate dei pannelli murari relative all'analisi 6 sono pressoché uguale alle deformate relative all'analisi 5.

Analisi 7 – Direzione sisma -Y con carico proporzionale alla massa

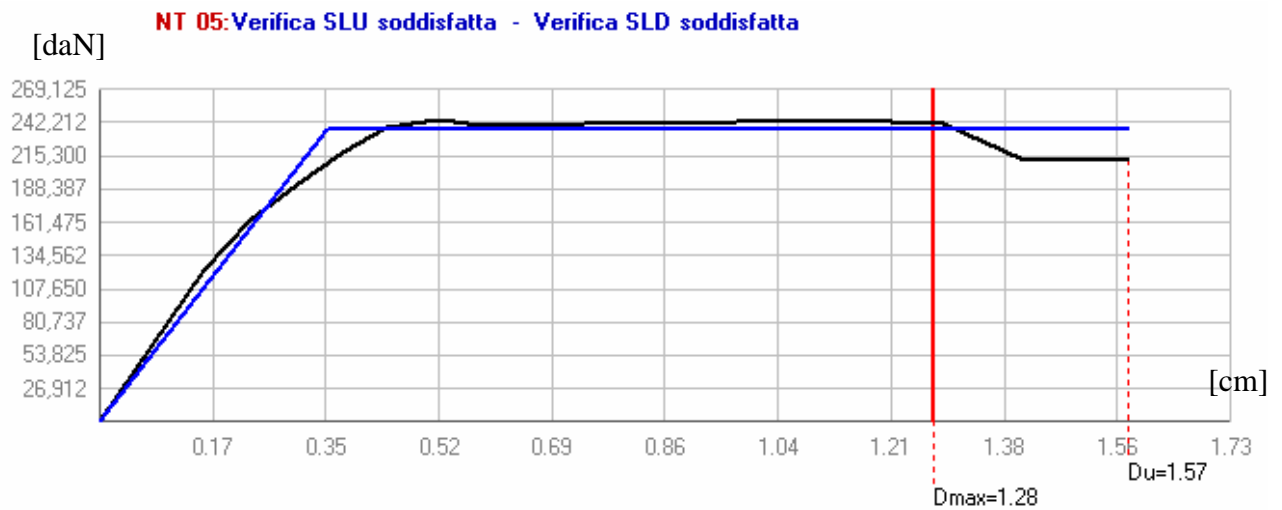


Figura IV-14: Curva pushover dell'analisi 7

Le deformate dei pannelli murari relative all'analisi 7 sono pressoché uguale alle deformate relative all'analisi 5.

Analisi 8 – Direzione sisma -Y con carico proporzionale al 1° modo

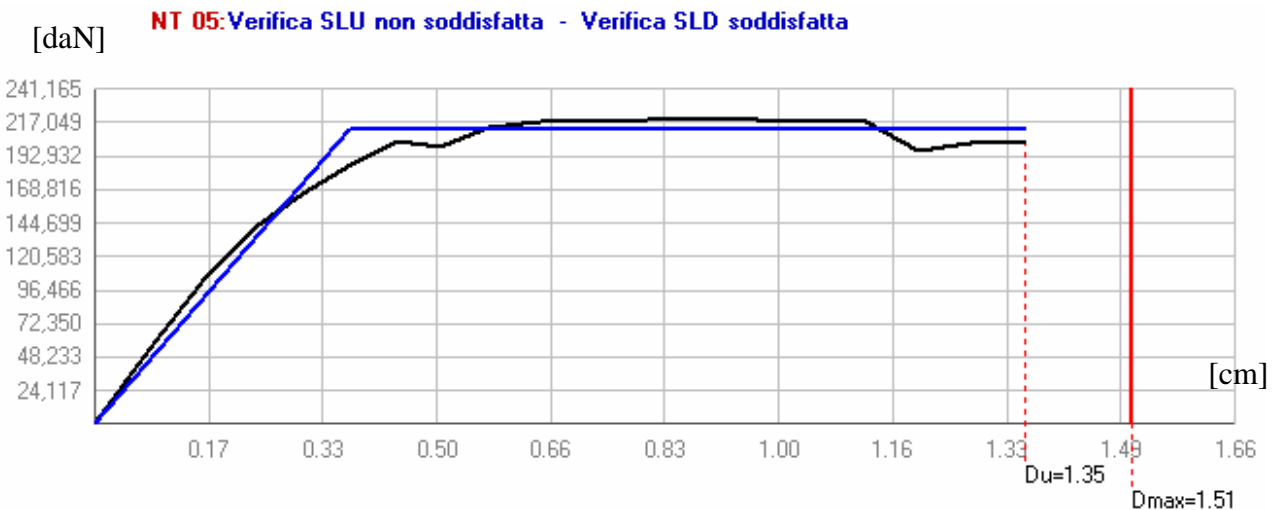


Figura IV-15: Curva pushover dell'analisi 8

Le deformate dei pannelli murari relative all'analisi 8 sono pressoché uguale alle deformate relative all'analisi 5.

4.3.3 Analisi per carichi verticali

Nella tabella seguente sono riportati i risultati generali dell'analisi.

Parete	Maschi rotti	N_d / N_r max	h_0 / t max	e_1 / t max	e_2 / t max
1	0	0.83	8.75	0.155	0.070
2	0	0.67	8.75	0.283	0.100
3	0	0.99	9.67	0.127	0.049
4	0	0.51	10.00	0.062	0.050
5	0	0.86	11.67	0.178	0.064
6	0	0.79	8.75	0.250	0.114
7	0	0.98	14.50	0.248	0.079
8	1	1.05	11.67	0.300	0.109
9	1	0.62	9.67	0.594	0.435
10	0	1.00	11.67	0.223	0.084
11	1	0.05	9.67	0.404	0.077

Tabella IV-4: Risultati dell'analisi statica

Dai risultati si evince che le verifiche di snellezza sono rispettate per tutte le pareti e che la verifica di resistenza risulta soddisfatta per quasi tutti i pannelli murari, ad eccezione della parete 8 (anche se si nota un abbassamento del valore N_d / N_r rispetto alla verifica allo stato attuale), sulla quale sarà effettuato un intervento che verrà descritto nel *Paragrafo 5.1.3*. Le verifiche di eccentricità dei carichi non risulta verificata per le pareti 9 e 11, a causa della presenza di maschi murari "in falso". Riportiamo di seguito i dettagli di verifica per le singole pareti.

Parete 1

N. maschio	h_0 [cm]	t [cm]	h_0 / t	e_1 / t inferiore	e_2 / t medio	e_1 / t superiore	Verificato
4	130	40	3.25	0.088	0.036	0.062	Si
5	90	40	2.25	0.139	0.053	0.086	Si
6	350	40	8.75	0.155	0.068	0.121	Si
7	350	40	8.75	0.147	0.070	0.135	Si
8	350	40	8.75	0.145	0.062	0.109	Si
9	290	40	7.25	0.120	0.047	0.081	Si
10	290	40	7.25	0.095	0.044	0.082	Si
11	290	40	7.25	0.036	0.036	0.036	Si

N. maschio	Inferiore				Medio				Superiore				Verificato
	N_d [daN]	Φ	N_r [daN]	N_d/N_r	N_d [daN]	Φ	N_r [daN]	N_d/N_r	N_d [daN]	Φ	N_r [daN]	N_d/N_r	
4	24,547	0.57	162,166	0.151	31,443	0.83	235,951	0.133	38,338	0.91	258,956	0.148	Si
5	13,681	0.67	191,044	0.072	18,455	0.89	252,452	0.073	23,228	0.58	163,549	0.142	Si
6	58,324	0.61	169,642	0.344	71,028	0.84	232,508	0.305	83,732	0.55	151,688	0.552	Si
7	50,917	0.60	71,748	0.710	54,071	0.85	101,997	0.530	57,224	0.57	69,130	0.828	Si
8	8,441	0.59	29,547	0.286	10,729	0.82	40,961	0.262	13,017	0.52	26,154	0.498	Si
9	21,733	0.57	135,507	0.160	31,120	0.81	190,987	0.163	40,507	0.91	215,379	0.188	Si
10	16,580	0.53	48,783	0.340	18,917	0.80	73,911	0.256	21,253	0.92	84,764	0.251	Si
11	5,811	0.78	38,704	0.150	7,795	0.78	38,704	0.201	9,780	0.78	38,704	0.253	Si

Parete 2

N. maschio	h _o [cm]	t [cm]	h _o / t	e ₁ / t inferiore	e ₂ / t medio	e ₁ / t superiore	Verificato
12	350	40	8.75	0.054	0.044	0.050	Si
13	130	40	3.25	0.164	0.064	0.107	Si
14	90	40	2.25	0.283	0.100	0.157	Si
15	290	40	7.25	0.036	0.036	0.036	Si
16	290	40	7.25	0.098	0.043	0.078	Si

N. maschio	Inferiore				Medio				Superiore				Verificato
	N _d [daN]	Φ	N _r [daN]	N _d /N _r	N _d [daN]	Φ	N _r [daN]	N _d /N _r	N _d [daN]	Φ	N _r [daN]	N _d /N _r	
12	47,439	0.80	177,578	0.267	61,998	0.77	170,474	0.364	76,557	0.79	174,876	0.438	Si
13	13,723	0.72	125,776	0.109	18,002	0.92	161,975	0.111	22,280	0.61	107,033	0.208	Si
14	6,861	0.35	61,132	0.112	9,823	0.60	106,083	0.093	12,785	0.71	124,487	0.103	Si
15	7,489	0.78	13,660	0.548	8,324	0.78	13,660	0.609	9,159	0.78	13,660	0.670	Si
16	26,005	0.53	71,871	0.362	32,394	0.80	107,318	0.302	38,782	0.90	121,694	0.319	Si

Parete 3

N. maschio	h _o [cm]	t [cm]	h _o / t	e ₁ / t inferiore	e ₂ / t medio	e ₁ / t superiore	Verificato
24	130	30	4.33	0.127	0.049	0.081	Si
25	350	40	8.75	0.093	0.044	0.078	Si
26	350	40	8.75	0.073	0.044	0.070	Si
27	350	40	8.75	0.057	0.044	0.056	Si
28	350	40	8.75	0.056	0.044	0.055	Si
29	350	40	8.75	0.064	0.044	0.061	Si
30	290	30	9.67	0.077	0.048	0.069	Si
31	290	30	9.67	0.077	0.048	0.074	Si
32	290	30	9.67	0.090	0.048	0.077	Si

N. maschio	Inferiore				Medio				Superiore				Verificato
	N _d [daN]	Φ	N _r [daN]	N _d /N _r	N _d [daN]	Φ	N _r [daN]	N _d /N _r	N _d [daN]	Φ	N _r [daN]	N _d /N _r	
24	13,504	0.64	140,339	0.096	18,851	0.87	190,160	0.099	24,198	0.97	212,046	0.114	Si
25	12,801	0.49	23,125	0.554	15,398	0.77	36,024	0.427	17,995	0.87	40,962	0.439	Si
26	66,548	0.86	97,871	0.680	69,976	0.77	87,809	0.797	73,404	0.85	96,932	0.757	Si
27	39,230	0.81	46,175	0.850	41,024	0.77	43,905	0.934	42,819	0.80	45,985	0.931	Si
28	12,629	0.80	14,021	0.901	13,225	0.77	13,391	0.988	13,822	0.80	13,967	0.990	Si
29	38,892	0.83	60,678	0.641	42,325	0.77	56,288	0.752	45,759	0.82	60,019	0.762	Si
30	8,334	0.85	37,370	0.223	10,024	0.76	33,530	0.299	11,713	0.82	36,263	0.323	Si
31	23,950	0.85	55,949	0.428	25,186	0.76	50,296	0.501	26,422	0.84	55,420	0.477	Si
32	31,298	0.47	88,108	0.355	37,811	0.76	143,254	0.264	44,325	0.85	159,731	0.277	Si

Parete 4

N. maschio	h _o [cm]	t [cm]	h _o / t	e ₁ / t inferiore	e ₂ / t medio	e ₁ / t superiore	Verificato
33	350	35	10.00	0.053	0.050	0.052	Si
34	130	30	4.33	0.058	0.024	0.042	Si
35	290	30	9.67	0.062	0.048	0.056	Si
36	290	30	9.67	0.048	0.048	0.048	Si

N. maschio	Inferiore				Medio				Superiore				Verificato
	N _d [daN]	Φ	N _r [daN]	N _d /N _r	N _d [daN]	Φ	N _r [daN]	N _d /N _r	N _d [daN]	Φ	N _r [daN]	N _d /N _r	
33	34,341	0.77	101,924	0.337	43,043	0.76	100,887	0.427	51,744	0.77	101,575	0.509	Si
34	7,018	0.90	101,975	0.069	9,788	0.79	89,762	0.109	12,559	0.85	96,221	0.131	Si
35	9,443	0.80	54,723	0.173	12,679	0.76	51,972	0.244	15,914	0.79	53,605	0.297	Si
36	2,498	0.76	14,618	0.171	3,408	0.76	14,618	0.233	4,318	0.76	14,618	0.295	Si

Parete 5

N. maschio	h _o [cm]	t [cm]	h _o / t	e ₁ / t inferiore	e ₂ / t medio	e ₁ / t superiore	Verificato
40	130	25	5.20	0.112	0.042	0.069	Si
41	90	25	3.60	0.178	0.064	0.102	Si
42	350	40	8.75	0.078	0.044	0.064	Si
43	350	40	8.75	0.111	0.050	0.093	Si
44	350	30	11.67	0.101	0.058	0.088	Si
45	350	30	11.67	0.102	0.058	0.088	Si
46	290	25	11.60	0.084	0.058	0.072	Si
47	290	25	11.60	0.058	0.058	0.058	Si

N. maschio	Inferiore				Medio				Superiore				Verificato
	N _d [daN]	Φ	N _r [daN]	N _d /N _r	N _d [daN]	Φ	N _r [daN]	N _d /N _r	N _d [daN]	Φ	N _r [daN]	N _d /N _r	
40	4,375	0.60	52,458	0.083	6,503	0.84	73,073	0.089	8,630	0.92	80,588	0.107	Si
41	3,264	0.42	37,120	0.088	4,737	0.92	80,231	0.059	6,210	0.60	52,107	0.119	Si
42	4,118	0.87	28,100	0.147	5,478	0.77	24,767	0.221	6,837	0.83	26,774	0.255	Si
43	37,944	0.53	88,181	0.430	44,988	0.79	131,529	0.342	52,033	0.49	82,365	0.632	Si
44	4,843	0.44	8,723	0.555	5,947	0.73	14,500	0.410	7,050	0.41	8,216	0.858	Si
45	17,744	0.44	32,490	0.546	21,841	0.73	53,847	0.406	25,937	0.42	30,558	0.849	Si
46	16,054	0.41	57,084	0.281	22,758	0.73	102,412	0.222	29,463	0.77	107,948	0.273	Si
47	7,956	0.73	18,826	0.423	9,188	0.73	18,826	0.488	10,421	0.73	18,826	0.554	Si

Parete 6

N. maschio	h _o [cm]	t [cm]	h _o / t	e ₁ / t inferiore	e ₂ / t medio	e ₁ / t superiore	Verificato
51	350	40	8.75	0.147	0.060	0.103	Si
52	350	40	8.75	0.250	0.114	0.209	Si
53	350	40	8.75	0.206	0.063	0.099	Si

N. maschio	Inferiore				Medio				Superiore				Verificato
	N _d [daN]	Φ	N _r [daN]	N _d /N _r	N _d [daN]	Φ	N _r [daN]	N _d /N _r	N _d [daN]	Φ	N _r [daN]	N _d /N _r	
51	6,811	0.60	35,072	0.194	9,289	0.82	47,960	0.194	11,767	0.51	30,184	0.390	Si
52	1,806	0.47	3,481	0.519	2,029	0.53	3,909	0.519	2,252	0.39	2,852	0.790	Si
53	1,358	0.38	8,987	0.151	2,681	0.83	19,381	0.138	4,004	0.50	11,845	0.338	Si

Parete 7

N. maschio	h_o [cm]	t [cm]	h_o / t	e_1 / t inferiore	e_2 / t medio	e_1 / t superiore	Verificato
57	130	50	2.60	0.104	0.038	0.060	Sì
58	130	20	6.50	0.063	0.032	0.052	Sì
59	90	45	2.00	0.248	0.079	0.116	Sì
60	3500	50	7.00	0.104	0.045	0.082	Sì
61	350	50	7.00	0.151	0.065	0.115	Sì
62	350	30	11.67	0.113	0.058	0.099	Sì
63	350	30	11.67	0.189	0.065	0.106	Sì
64	290	50	5.80	0.095	0.036	0.062	Sì
65	290	50	5.80	0.112	0.045	0.078	Sì
66	290	20	14.50	0.105	0.073	0.092	Sì
67	290	20	14.50	0.097	0.073	0.087	Sì

N. maschio	Inferiore				Medio				Superiore				Verificato
	N_d [daN]	Φ	N_r [daN]	N_d/N_r	N_d [daN]	Φ	N_r [daN]	N_d/N_r	N_d [daN]	Φ	N_r [daN]	N_d/N_r	
57	14,680	0.61	170,461	0.086	21,506	0.84	235,996	0.091	28,331	0.91	255,785	0.111	Sì
58	6,178	0.88	65,592	0.094	8,002	0.78	58,447	0.137	9,826	0.84	62,939	0.156	Sì
59	6,879	0.57	143,974	0.048	11,132	0.97	245,556	0.045	15,385	0.64	160,293	0.096	Sì
60	40,877	0.55	94,660	0.432	50,479	0.81	139,475	0.362	60,081	0.92	158,772	0.378	Sì
61	19,424	0.64	50,340	0.386	23,808	0.87	68,382	0.348	28,193	0.57	44,894	0.628	Sì
62	2,848	0.46	4,151	0.686	3,348	0.73	6,566	0.510	3,848	0.44	3,908	0.985	Sì
63	4,322	0.28	20,464	0.211	7,853	0.75	54,559	0.144	11,898	0.45	32,648	0.364	Sì
64	15,704	0.56	93,938	0.167	23,705	0.81	136,121	0.174	31,706	0.89	149,391	0.212	Sì
65	3,445	0.59	14,535	0.237	4,615	0.83	20,607	0.224	5,786	0.94	23,127	0.250	Sì
66	1,549	0.38	4,445	0.349	2,112	0.68	8,044	0.263	2,674	0.35	4,131	0.647	Sì
67	6,655	0.36	16,298	0.408	8,812	0.68	30,880	0.285	10,969	0.34	15,471	0.709	Sì

Parete 8

N. maschio	h_o [cm]	t [cm]	h_o / t	e_1 / t inferiore	e_2 / t medio	e_1 / t superiore	Verificato
68	350	30	11.67	0.197	0.076	0.129	Sì
71	290	30	9.67	0.171	0.063	0.105	Sì
72	130	30	4.33	0.162	0.066	0.113	Sì
73	130	40	3.25	0.149	0.056	0.090	Sì
74	90	30	3.00	0.300	0.109	0.173	Sì
75	350	40	8.75	0.106	0.050	0.094	Sì
76	350	40	8.75	0.103	0.047	0.088	Sì
77	290	40	7.25	0.093	0.041	0.074	Sì
78	290	40	7.25	0.036	0.036	0.036	Sì

N. maschio	Inferiore				Medio				Superiore				Verificato
	N _d [daN]	Φ	N _r [daN]	N _d /N _r	N _d [daN]	Φ	N _r [daN]	N _d /N _r	N _d [daN]	Φ	N _r [daN]	N _d /N _r	
68	17,539	0.30	38,724	0.453	26,053	0.78	101,557	0.257	34,567	0.49	64,108	0.539	Si
71	12,037	0.29	37,418	0.322	19,091	0.81	104,696	0.182	26,146	0.50	64,714	0.404	Si
72	11,857	0.71	91,614	0.129	15,019	0.92	119,598	0.126	18,182	0.61	79,532	0.229	Si
73	12,515	0.69	139,507	0.090	17,457	0.89	181,532	0.096	22,399	0.58	117,183	0.191	Si
74	6,932	0.36	59,904	0.116	9,710	0.61	101,264	0.096	12,489	0.42	69,572	0.180	Si
75	46,911	0.52	57,318	0.818	52,192	0.79	86,913	0.601	57,473	0.50	54,894	1.047	No
76	17,002	0.51	31,566	0.539	19,944	0.78	47,899	0.416	22,886	0.48	29,770	0.769	Si
77	21,776	0.52	70,988	0.307	27,360	0.79	107,062	0.256	32,944	0.89	120,810	0.273	Si
78	14,099	0.78	31,874	0.442	15,791	0.78	31,874	0.495	17,483	0.78	31,874	0.549	Si

Parete 9

N. maschio	h _o [cm]	t [cm]	h _o / t	e ₁ / t inferiore	e ₂ / t medio	e ₁ / t superiore	Verificato
84	350	50	7.00	0.142	0.063	0.113	Si
85	350	50	7.00	0.124	0.055	0.100	Si
86	290	30	9.67	0.170	0.051	0.082	Si
87	290	30	9.67	0.594	0.435	0.463	No
88	290	50	5.80	0.166	0.061	0.099	Si
89	290	50	5.80	0.282	0.074	0.107	Si

N. maschio	Inferiore				Medio				Superiore				Verificato
	N _d [daN]	Φ	N _r [daN]	N _d /N _r	N _d [daN]	Φ	N _r [daN]	N _d /N _r	N _d [daN]	Φ	N _r [daN]	N _d /N _r	
84	25,681	0.62	65,172	0.394	30,486	0.86	90,269	0.338	35,291	0.57	59,322	0.595	Si
85	25,249	0.59	60,420	0.418	29,960	0.84	86,164	0.348	34,671	0.54	55,641	0.623	Si
86	2,826	0.29	25,215	0.112	6,469	0.77	68,013	0.095	10,112	0.86	76,414	0.132	Si
87	1,589	0.00	n / d	n / d	1,055	0.00	n / d	n / d	2,092	0.00	n / d	n / d	n / d
88	7,908	0.69	67,465	0.117	11,738	0.88	85,901	0.137	15,568	0.56	54,858	0.284	Si
89	3,820	0.30	32,682	0.117	8,146	0.92	101,531	0.080	12,472	0.58	63,640	0.196	Si

Parete 10

N. maschio	h _o [cm]	t [cm]	h _o / t	e ₁ / t inferiore	e ₂ / t medio	e ₁ / t superiore	Verificato
90	350	35	10.00	0.092	0.050	0.078	Si
92	290	35	8.29	0.051	0.041	0.046	Si
93	130	45	2.89	0.060	0.024	0.041	Si
94	130	35	3.71	0.022	0.019	0.021	Si
95	90	45	2.00	0.071	0.027	0.043	Si
96	93	35	2.57	0.223	0.084	0.136	Si
97	350	30	11.67	0.118	0.058	0.099	Si
98	350	30	11.67	0.100	0.058	0.089	Si
99	350	45	7.78	0.066	0.039	0.059	Si
100	350	45	7.78	0.056	0.039	0.051	Si
101	290	30	9.67	0.166	0.068	0.117	Si
102	290	45	6.44	0.047	0.032	0.041	Si
103	290	45	6.44	0.032	0.032	0.032	Si

N. maschio	Inferiore				Medio				Superiore				Verificato
	N _d [daN]	Φ	N _r [daN]	N _d /N _r	N _d [daN]	Φ	N _r [daN]	N _d /N _r	N _d [daN]	Φ	N _r [daN]	N _d /N _r	
90	49,303	0.47	84,420	0.584	61,159	0.76	137,461	0.445	73,015	0.85	152,869	0.478	Si
92	17,909	0.80	144,490	0.124	27,733	0.77	139,319	0.199	37,556	0.78	141,785	0.265	Si
93	6,125	0.91	84,171	0.073	8,376	0.80	73,726	0.114	10,627	0.85	78,587	0.135	Si
94	12,670	0.79	142,347	0.089	17,074	0.78	140,293	0.122	21,477	0.78	141,504	0.152	Si
95	3,692	0.95	87,917	0.042	5,250	0.81	74,988	0.070	6,809	0.86	79,807	0.085	Si
96	8,660	0.52	93,989	0.092	11,709	0.57	103,298	0.113	14,758	0.67	120,838	0.122	Si
97	20,796	0.47	40,091	0.519	25,486	0.73	62,067	0.411	30,176	0.44	37,078	0.814	Si
98	3,359	0.44	4,816	0.697	3,968	0.73	8,056	0.493	4,577	0.42	4,584	0.998	Si
99	303	0.86	848	0.357	358	0.77	765	0.468	413	0.83	826	0.500	Si
100	21,121	0.82	53,645	0.394	24,747	0.77	50,318	0.492	28,373	0.81	52,794	0.537	Si
101	13,211	0.62	60,265	0.219	17,857	0.82	80,341	0.222	22,504	0.52	51,133	0.440	Si
102	5,894	0.83	38,061	0.155	8,076	0.78	35,909	0.225	10,259	0.81	37,146	0.276	Si
103	2,156	0.78	13,083	0.165	2,951	0.78	13,083	0.226	3,746	0.78	13,083	0.286	Si

Parete 11

N. maschio	h _o [cm]	t [cm]	h ₀ / t	e ₁ / t inferiore	e ₂ / t medio	e ₁ / t superiore	Verificato
104	290	30	9.67	0.404	0.077	0.150	No

N. maschio	Inferiore				Medio				Superiore				Verificato
	N _d [daN]	Φ	N _r [daN]	N _d /N _r	N _d [daN]	Φ	N _r [daN]	N _d /N _r	N _d [daN]	Φ	N _r [daN]	N _d /N _r	
104	n / d	n / d	n / d	n / d	n / d	n / d	n / d	n / d	n / d	n / d	n / d	n / d	n / d

4.4 Modello della colonica di Barberino del Mugello dopo l'intervento di miglioramento

4.4.1 Definizione del telaio equivalente

Si riportano due viste del modello 3D realizzato e la pianta con la numerazione delle pareti.

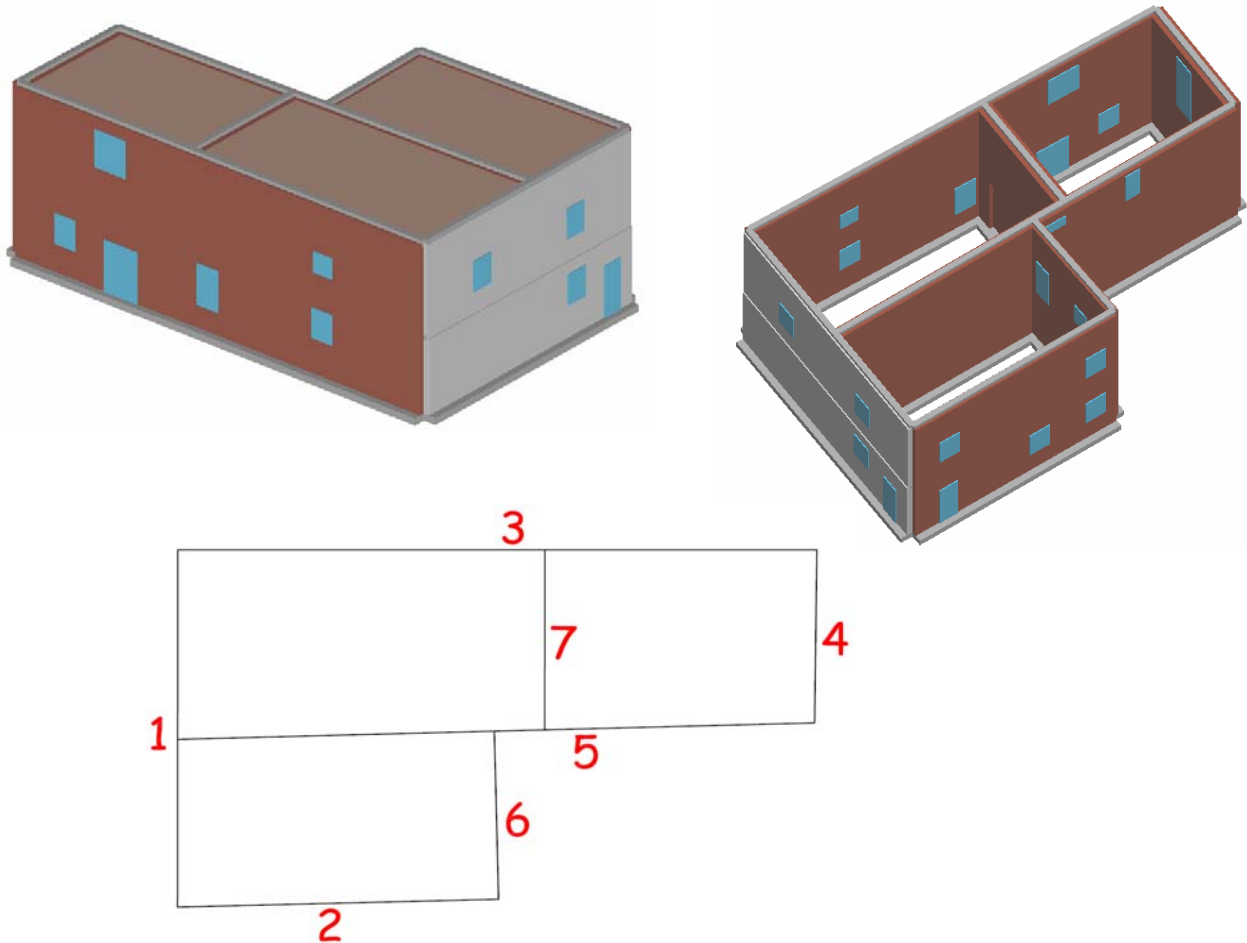


Figura IV-16: Viste 3D del modello e pianta con la numerazione delle pareti

Viene riportata di seguito, oltre alle caratteristiche dei materiali impiegati, anche la geometria dei pannelli murari e dei cordoli in c.a. che costituiscono l'edificio.

Tipologia di muratura	f_m [N/cm ²]	τ_0 [N/cm ²]	E [N/mm ²]	G [N/mm ²]	w [kN/m ³]
Muratura in pietre a spacco con buona tessitura	150	5.6	1500	250	21
Muratura con betoncino armato	225	8.4	2250	375	21

Calcestruzzo	f_{cm} [N/cm ²]	E [N/mm ²]	G [N/mm ²]	w [kN/m ³]
C25/30	15.63	30,500	12,708	25

Acciaio	f_{ym} [N/cm ²]	E [N/mm ²]	G [N/mm ²]	w [kN/m ³]
FeB44k	374	206,000	78,400	78.50

Tabella IV-5: Parametri meccanici e peso specifico dei materiali impiegati

Livello 1

Pannello + Cordolo C.A. (parte 1)

N.	Parete	Materiale pannello	Quota pannello [cm]	Altezza [cm]	Spessore [cm]	Materiale calcestruzzo	Materiale acciaio	Quota cordolo [cm]	Base sezione [cm]	Altezza sezione [cm]
1	1	Muratura Betoncino	320	320	52	C25/30	FeB44K	320	30	24
2	2	Muratura	320	320	45	C25/30	FeB44K	320	30	24
3	3	Muratura	320	320	44	C25/30	FeB44K	320	30	24
4	4	Muratura	320	320	65	C25/30	FeB44K	320	30	24
5	5	Muratura	320	320	53	C25/30	FeB44K	320	30	24
6	6	Muratura	320	320	45	C25/30	FeB44K	320	30	24
85	8	Muratura	320	320	65	C25/30	FeB44K	320	30	24
87	8	Muratura	320	320	25	C25/30	FeB44K	320	30	24
88	8	Muratura	320	320	65	C25/30	FeB44K	320	30	24

Pannello + Cordolo C.A. (parte 2)

N.	Parete	Area [cm ²]	J [cm ⁴]	A _f intrad. [cm ²]	A _f estrad. [cm ²]	N. barre intrad.	N. barre Estrad.	Copriferro [cm]	Passo staffe [cm]	Area staffe [cm ²]
1	1	720	34,560	4.02	4.02	2	2	2	20	2.26
2	2	720	34,560	4.02	4.02	2	2	2	20	2.26
3	3	720	34,560	4.02	4.02	2	2	2	20	2.26
4	4	720	34,560	4.02	4.02	2	2	2	20	2.26
5	5	720	34,560	4.02	4.02	2	2	2	20	2.26
6	6	720	34,560	4.02	4.02	2	2	2	20	2.26
85	8	720	34,560	4.02	4.02	2	2	2	20	2.26

Pannello + Cordolo C.A. (parte 2)

N.	Parete	Area [cm ²]	J [cm ⁴]	A _f intrad. [cm ²]	A _f estrad. [cm ²]	N. barre intrad.	N. barre Estrad.	Copriferro [cm]	Passo staffe [cm]	Area staffe [cm ²]
87	8	720	34,560	4.02	4.02	2	2	2	20	2.26
88	8	720	34,560	4.02	4.02	2	2	2	20	2.26

Solaio

N.	Quota [cm]	Angolo [°]	Spessore [cm]	G _k [daN/m ²]	Q _k [daN/m ²]	ψ	s	G [N/mm ²]	E _x [N/mm ²]	E _y [N/mm ²]	Tipo
1	320	180	4	300	200	0.3	0.33	16,025.00	511	0	Putrelle e voltini
2	320	362	4	300	200	0.3	0.33	12,500.00	58,800	30,000	Latero cemento

Livello 2

Pannello + Cordolo C.A. (parte 1)

N.	Parete	Materiale pannello	Quota pannello [cm]	Altezza [cm]	Spessore [cm]	Materiale calcestruzzo	Materiale acciaio	Quota cordolo [cm]	Base sezione [cm]	Altezza sezione [cm]
105	1	Muratura Betoncino	720	400	41	C25/30	FeB44K	720	25	30
101	2	Muratura	720	400	45	C25/30	FeB44K	720	25	30
109	3	Muratura	720	400	44	C25/30	FeB44K	720	25	30
111	4	Muratura	720	400	65	C25/30	FeB44K	720	25	30
113	5	Muratura	720	400	53	C25/30	FeB44K	720	25	30
98	6	Muratura	720	400	45	C25/30	FeB44K	720	25	30
116	8	Muratura	720	400	65	C25/30	FeB44K	720	25	30

Pannello + Cordolo C.A. (parte 2)

N.	Parete	Area [cm ²]	J [cm ⁴]	A _f intrad. [cm ²]	A _f estrad. [cm ²]	N. barre intrad.	N. barre Estrad.	Copriferro [cm]	Passo staffe [cm]	Area staffe [cm ²]
105	1	750	56,250	4.02	4.02	2	2	2	20	2.26
101	2	750	56,250	4.02	4.02	2	2	2	20	2.26
109	3	750	56,250	4.02	4.02	2	2	2	20	2.26
111	4	750	56,250	4.02	4.02	2	2	2	20	2.26
113	5	750	56,250	4.02	4.02	2	2	2	20	2.26
98	6	750	56,250	4.02	4.02	2	2	2	20	2.26
116	8	750	56,250	4.02	4.02	2	2	2	20	2.26

Solaio

N.	Quota [cm]	Angolo [°]	Spessore [cm]	G _k [daN/m ²]	Q _k [daN/m ²]	ψ	s	G [N/mm ²]	E _x [N/mm ²]	E _y [N/mm ²]	Tipo
3	720	180	4	250	110	0.3	0.33	12,500.00	34,800	30,000	Legno con travetti affiancati e soletta in c.a.
4	720	362	4	250	110	0.3	0.33	12,500.00	34,800	30,000	Legno con travetti affiancati e soletta in c.a.

Vengono mostrati adesso i dati geometrici relativi al telaio equivalente costituito da macroelementi *maschi e fasce*.

Parete 1

Macroelementi Maschi

N.	Materiale pannello	Spessore [cm]	Base [cm]	Altezza [cm]	Baricentro X [cm]	Baricentro Z [cm]	Nodo sopra	Nodo sotto
8	Muratura Betoncino	52	75.0	279.2592	1,143.4	139.6	4	5
7	Muratura Betoncino	52	111.0	175	960.4	157.5	28	5
6	Muratura Betoncino	52	804.9	225	402.4	173.0	16	17
10	Muratura Betoncino	41	442.9	130	582.4	480.0	17	18
9	Muratura Betoncino	41	261.0	265	130.5	510.2	2	3
11	Muratura Betoncino	41	277.0	265	1,042.4	510.2	5	6

Macroelementi Fasce

N.	Materiale pannello	Spessore [cm]	Base [cm]	Altezza [cm]	Baricentro X [cm]	Baricentro Z [cm]	Nodo sinistro	Nodo destro
1	Muratura Betoncino	52	100.0	140	854.9	70.0	16	28
2	Muratura Betoncino	52	100.0	50	854.4	295.0	17	5
3	Muratura Betoncino	41	100.0	95	854.4	367.5	17	5
4	Muratura Betoncino	41	100.0	175	311.0	632.5	3	18
5	Muratura Betoncino	41	100.0	175	853.9	632.5	18	6

Parete 2

Macroelementi Maschi

N.	Materiale pannello	Spessore [cm]	Base [cm]	Altezza [cm]	Baricentro X [cm]	Baricentro Z [cm]	Nodo sopra	Nodo sotto
21	Muratura	45	115.0	279.2592	934.9	139.6	4	5
20	Muratura	45	355.5	175	609.7	142.5	30	31
18	Muratura	45	56.5	225	28.3	164.3	7	8
19	Muratura	45	175.4	130	244.2	175.0	29	31
23	Muratura	45	620.9	130	467.0	480.0	31	32
22	Muratura	45	56.5	265	28.3	510.2	8	9
24	Muratura	45	115.0	265	934.9	510.2	5	6

Macroelementi Fasce

N.	Materiale pannello	Spessore [cm]	Base [cm]	Altezza [cm]	Baricentro X [cm]	Baricentro Z [cm]	Nodo sinistro	Nodo destro
12	Muratura	45	100.0	110	106.5	55.0	7	29
14	Muratura	45	100.0	110	381.9	55.0	29	30
15	Muratura	45	95.0	195	829.9	317.5	31	5
13	Muratura	45	100.0	175	106.5	327.5	8	31
16	Muratura	45	100.0	175	106.5	632.5	9	32
17	Muratura	45	100.0	175	827.4	632.5	32	6

Parete 3

Macroelementi Maschi

N.	Materiale pannello	Spessore [cm]	Base [cm]	Altezza [cm]	Baricentro X [cm]	Baricentro Z [cm]	Nodo sopra	Nodo sotto
33	Muratura	44	141.8	175	364.0	147.5	33	11
34	Muratura	44	294.0	198	741.9	149.0	22	23
32	Muratura	44	193.1	225	96.6	167.2	10	11
36	Muratura	44	426.0	225	1,760.9	175.9	1	2
35	Muratura	44	459.0	153	1,218.4	201.5	34	23
39	Muratura	44	429.0	245	1,759.4	511.7	2	3
38	Muratura	44	916.9	125	996.4	532.5	23	24
37	Muratura	44	388.0	280	194.0	540.0	11	12

Macroelementi Fasce

N.	Materiale pannello	Spessore [cm]	Base [cm]	Altezza [cm]	Baricentro X [cm]	Baricentro Z [cm]	Nodo sinistro	Nodo destro
27	Muratura	44	100.0	100	938.9	50.0	22	34
25	Muratura	44	100.0	120	243.1	60.0	10	33
28	Muratura	44	100.0	150	1,497.9	75.0	34	1
29	Muratura	44	95.0	150	1,498.9	355.0	23	2
26	Muratura	44	155.0	290	488.9	365.0	11	23
31	Muratura	44	90.0	200	1,499.9	620.0	24	3
30	Muratura	44	150.0	50	463.0	695.0	12	24

Parete 4

Macroelementi Maschi

N.	Materiale pannello	Spessore [cm]	Base [cm]	Altezza [cm]	Baricentro X [cm]	Baricentro Z [cm]	Nodo sopra	Nodo sotto
40	Muratura	65	570.5	320	285.2	160.0	35	36
42	Muratura	65	209.5	365	104.8	511.0	11	12
43	Muratura	65	256.0	365	442.5	511.0	14	15

Macroelementi Fasce

N.	Materiale pannello	Spessore [cm]	Base [cm]	Altezza [cm]	Baricentro X [cm]	Baricentro Z [cm]	Nodo sinistro	Nodo destro
41	Muratura	65	105.0	55	262.0	692.5	12	15

Parete 5

Macroelementi Maschi

N.	Materiale pannello	Spessore [cm]	Base [cm]	Altezza [cm]	Baricentro X [cm]	Baricentro Z [cm]	Nodo sopra	Nodo sotto
44	Muratura	53	1,968.6	320	984.3	160.0	19	20
50	Muratura	53	1,038.6	227.5	1,449.3	512.4	20	21
48	Muratura	53	485.0	282.5	242.5	549.9	14	15
49	Muratura	53	295.0	110	702.5	635.0	26	27

Macroelementi Fasce

N.	Materiale pannello	Spessore [cm]	Base [cm]	Altezza [cm]	Baricentro X [cm]	Baricentro Z [cm]	Nodo sinistro	Nodo destro
47	Muratura	53	60.0	235	900.0	602.5	27	37
46	Muratura	53	100.0	45	900.0	697.5	27	37
45	Muratura	53	70.0	15	520.0	712.5	15	27

Parete 6

Macroelementi Maschi

N.	Materiale pannello	Spessore [cm]	Base [cm]	Altezza [cm]	Baricentro X [cm]	Baricentro Z [cm]	Nodo sopra	Nodo sotto
51	Muratura	45	557.2	320	278.6	160.0	38	39
55	Muratura	45	180.7	160	232.9	447.5	39	40
54	Muratura	45	57.5	334.5901	28.8	487.3	20	21
56	Muratura	45	154.0	255	480.2	509.2	8	9

Macroelementi Fasce

N.	Materiale pannello	Spessore [cm]	Base [cm]	Altezza [cm]	Baricentro X [cm]	Baricentro Z [cm]	Nodo sinistro	Nodo destro
53	Muratura	45	80.0	195	363.2	622.5	40	9
52	Muratura	45	85.0	190	100.0	625.0	21	40

Parete 7

Macroelementi Maschi

N.	Materiale pannello	Spessore [cm]	Base [cm]	Altezza [cm]	Baricentro X [cm]	Baricentro Z [cm]	Nodo sopra	Nodo sotto
57	Muratura	65	100.0	320	50.0	160.0	45	46
58	Muratura	25	318.5	320	259.3	160.0	47	48
59	Muratura	65	175.0	320	506.0	160.0	49	50
60	Muratura	65	593.5	400	296.8	520.0	48	51

Si riportano adesso i valori dei carichi gravanti sui solai.

N. solai	Tipo solaio	G_k [daN/m ²]	Q_k [daN/m ²]	Ψ_2
1	putrelle e voltine	300.0	200.0	0.3
2	latero cemento	300.0	200.0	0.3
3	travetti affiancati e soletta in c.a.	250.0	110.0	0.3
4	travetti affiancati e soletta in c.a.	250.0	110.0	0.3

Riportiamo infine i valori dei carichi lineari distribuiti inseriti sulle murature portanti del corpo di fabbrica principale per compensare la parte di muratura sovrastante eliminata per semplificare il modello.

N. solai	Livello	Tipo	G_k	Q_k	Ψ_2
1	2	Lineare [daN/m]	1,127.0	0.0	0.3
2	2	Lineare [daN/m]	1,116.0	0.0	0.3
3	2	Lineare [daN/m]	1,448.0	0.0	0.3
4	2	Lineare [daN/m]	1,751.0	0.0	0.3
5	2	Lineare [daN/m]	1,774.0	0.0	0.3

I soppalchi, conseguenti all'intervento di redistribuzione degli spazi dell'edificio, sono stati inseriti nel modello mediante carichi lineari distribuiti e concentrati gravanti rispettivamente sulla muratura portante e sui solai. I valori di tali carichi sono stati stimati in: $G_k = 200$ daN/m, $Q_k = 750$ daN/m per il carico lineare distribuito e $G_k = 300$ daN e $Q_k = 740$ daN per il carico concentrato.

4.4.2 Analisi statica non lineare

Dopo aver definito i parametri iniziali per l'analisi sismica (la *zona sismica* del comune di edificazione, la *categoria del suolo di fondazione* e la *classe della struttura*) come già spiegato nel *Capitolo 3* al *Paragrafo 3.3.3*, si è passati ad eseguire le analisi distinte per tipologia di carico e direzione del sisma, al fine sempre di individuare la condizione di carico sismico più gravosa.

Riportiamo di seguito lo schema relativo alle analisi eseguite.

N.	Direzione sisma	Carico sismico proporzionale	Eccentricità [cm]	Nodo di controllo	
				Livello	Nodo
1	+X	Masse	0.0	2	27
2	+X	1° modo	0.0	2	27
3	-X	Masse	0.0	2	27
4	-X	1° modo	0.0	2	27
5	+Y	Masse	0.0	2	27
6	+Y	1° modo	0.0	2	27
7	-Y	Masse	0.0	2	27
8	-Y	1° modo	0.0	2	27

Tabella IV-6: Schema delle analisi eseguite

Si riportano adesso i risultati ottenuti dall'analisi.

N.	Direzione sisma	Carico sismico prop.	SLU				SLD			α_u	α_e
			D_{max} [cm]	D_u [cm]	q^*	Verificato	D_{max} [cm]	D_d [cm]	Verificato		
1	+X	Masse	1.103	1.531	1.846	Si	0.256	1.531	Si	1.242	4.045
2	+X	1° modo	1.452	0.901	2.712	No	0.340	0.601	Si	0.715	1.562
3	-X	Masse	1.120	1.167	1.901	Si	0.255	0.367	Si	1.027	1.302
4	-X	1° modo	1.436	0.804	2.627	No	0.336	0.403	Si	0.673	1.144
5	+Y	Masse	0.356	0.724	1.142	Si	0.141	0.282	Si	1.330	1.748
6	+Y	1° modo	0.482	0.885	1.244	Si	0.162	0.483	Si	1.324	2.193
7	-Y	Masse	0.361	0.764	1.140	Si	0.143	0.281	Si	1.358	1.738
8	-Y	1° modo	0.481	0.803	1.230	Si	0.165	0.320	Si	1.256	1.711

N.	Direzione sisma	Carico sismico proporzionale	T [sec]	m^* [Kg]	w [Kg]	Duttilità disponibile
1	+X	Masse	0.150	410,999	686,521	5.30
2	+X	1° modo	0.164	410,999	686,521	3.87
3	-X	Masse	0.150	410,999	686,521	4.17
4	-X	1° modo	0.164	410,999	686,521	3.34
5	+Y	Masse	0.111	440,638	686,521	3.33
6	+Y	1° modo	0.120	440,638	686,521	3.71
7	-Y	Masse	0.112	440,638	686,521	3.44
8	-Y	1° modo	0.121	440,638	686,521	3.26

Tabella IV-7: Risultati dell'analisi pushover

Come si può notare da una rapida visione dei risultati, soltanto due analisi risultano essere non verificate e, come riscontrato già nell'analisi pushover effettuata per il modello dell'edificio allo stato attuale, l'azione sismica più gravosa risulta essere quella agente lungo la direzione X.

Vengono mostrate adesso in dettaglio i risultati dell'analisi, riportando le curve pushover e il modello 3D dell'edificio sollecitato dalle varie azioni sismiche, evidenziando così i tipi di rottura che si manifestano nei vari pannelli murari.

Analisi 1 – Direzione sisma + X con carico sismico proporzionale alla massa

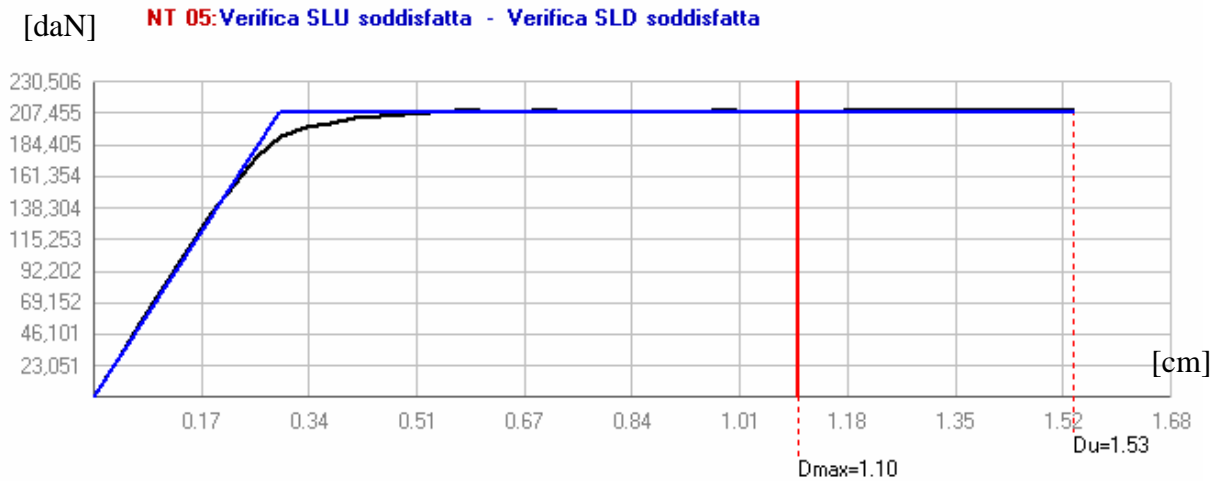


Figura IV-17: Curva pushover dell'analisi 1

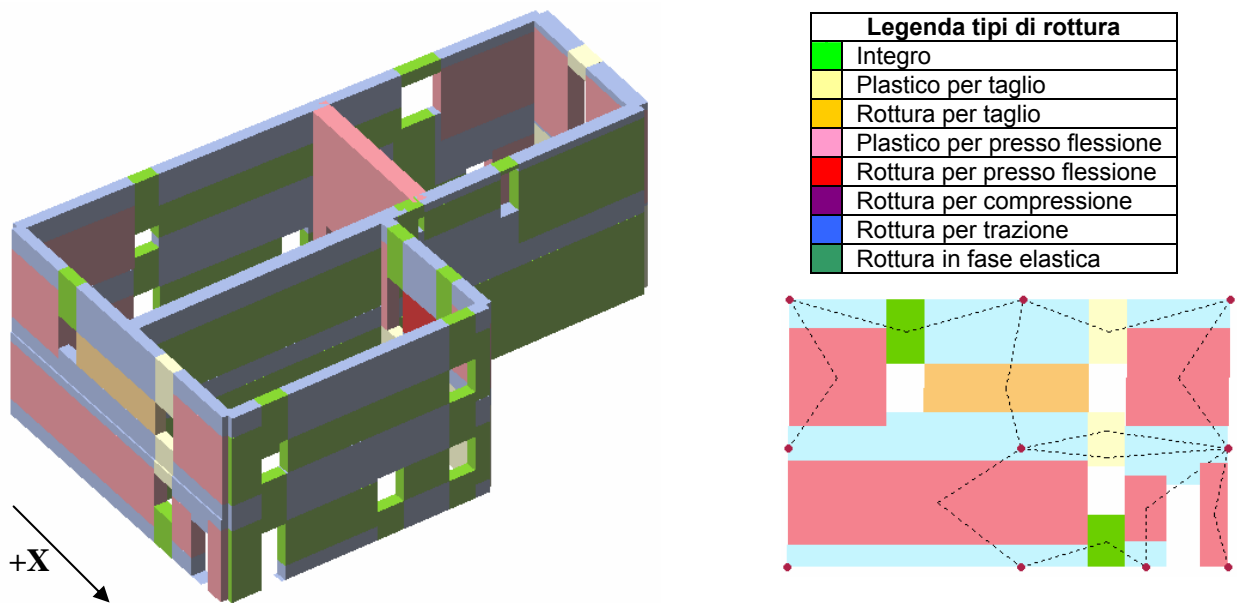


Figura IV-18: Vista 3D dell'edificio e deformata della parete 1 relative all'analisi 1

Analisi 2 – Direzione sisma + X con carico sismico proporzionale al 1° modo

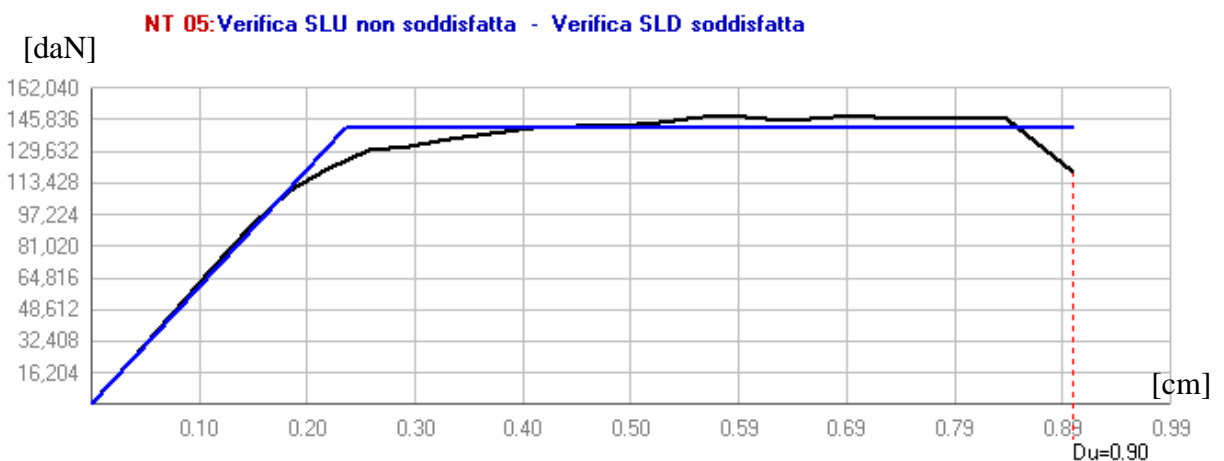


Figura IV-19: Curva pushover dell'analisi 2

Le deformate dei pannelli murari relativi all'analisi 2 sono pressoché uguali a quelle dell'analisi 1. L'unica differenza è possibile riscontrarla nella parete 1, nella quale la rottura per taglio è sostituita da una rottura per presso-flessione.

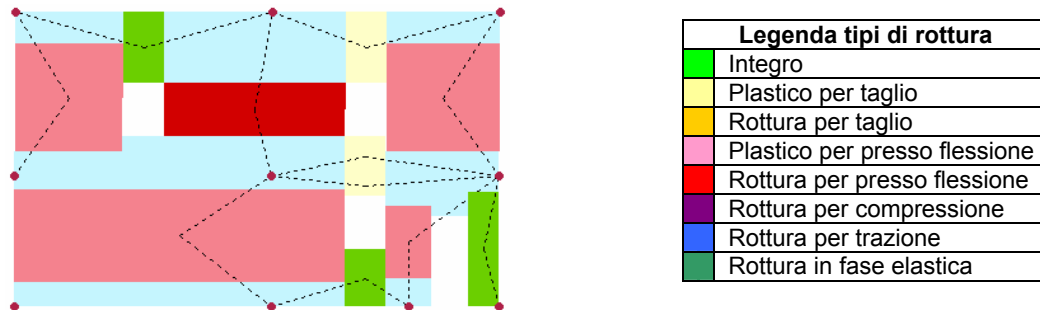


Figura IV-20: Deformata della parete 1 relative all'analisi 2

Analisi 3 – Direzione sisma - X con carico sismico proporzionale alla massa

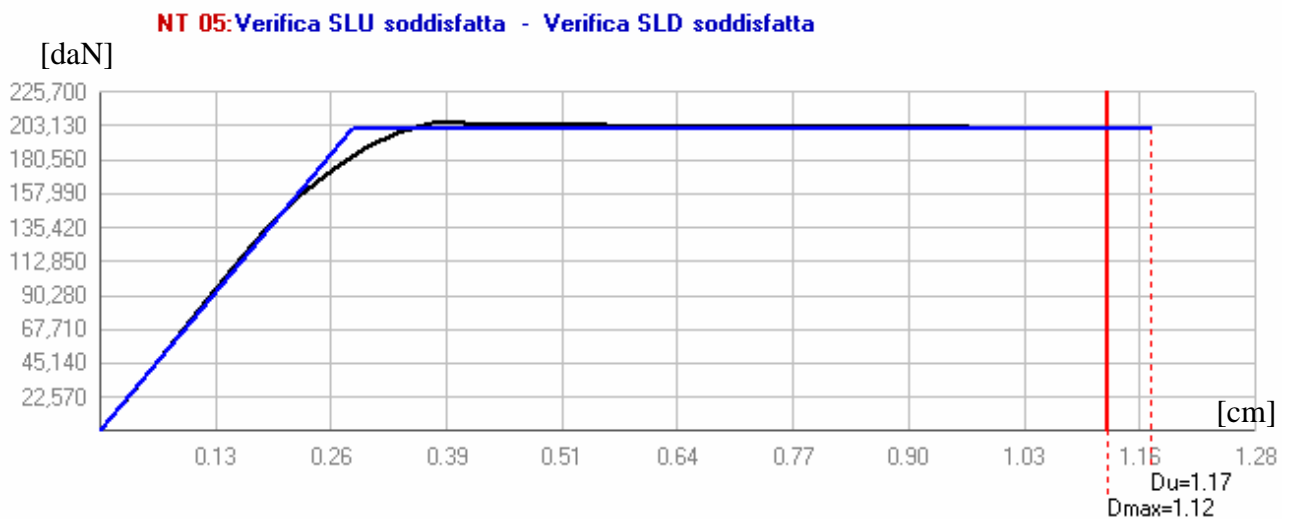


Figura IV-21: Curva pushover dell'analisi 3

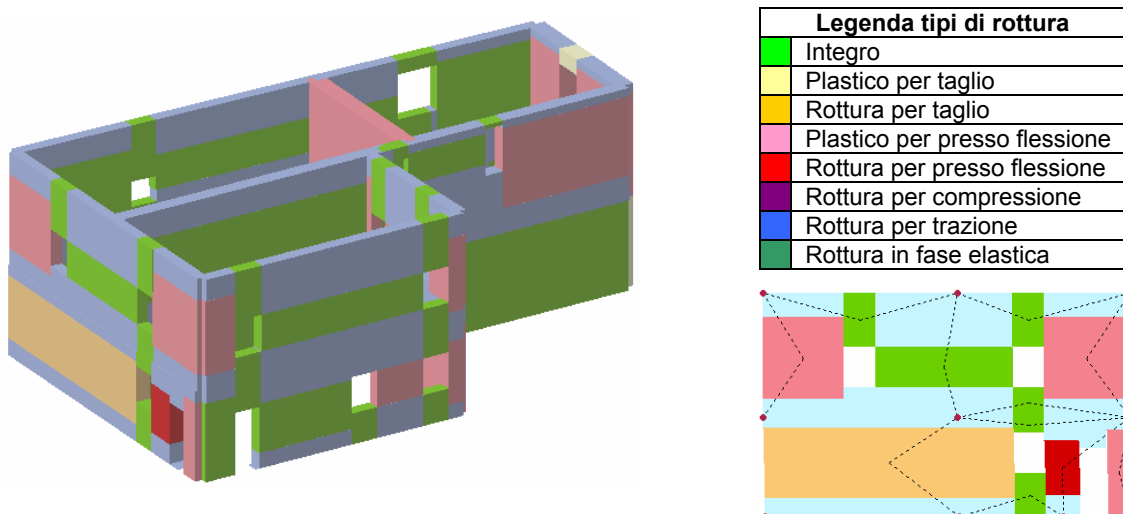


Figura IV-22: Vista 3D dell'edificio e deformata della parete 1 relative all'analisi 3

Analisi 4 – Direzione sisma - X con carico sismico proporzionale al 1° modo

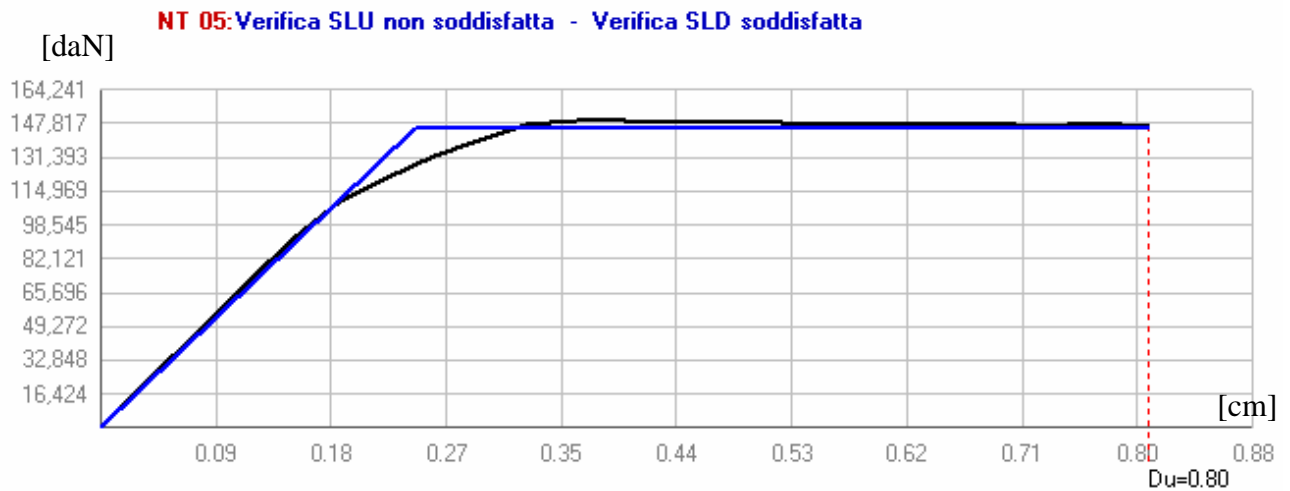


Figura IV-23: Curva pushover dell'analisi 4

Anche per quest'ultima analisi con azione del sisma in direzione X l'unica deformata significativa risulta essere quella relativa alla parete 1.

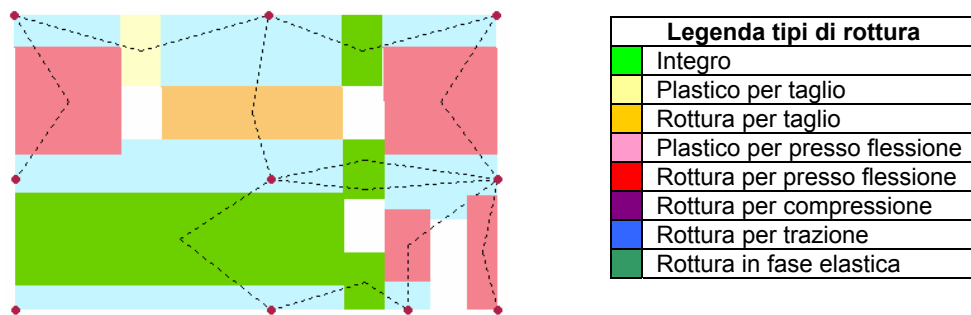


Figura IV-24: Deformata della parete 1 relative all'analisi 4

Analisi 5 – Direzione sisma + Y con carico sismico proporzionale alla massa

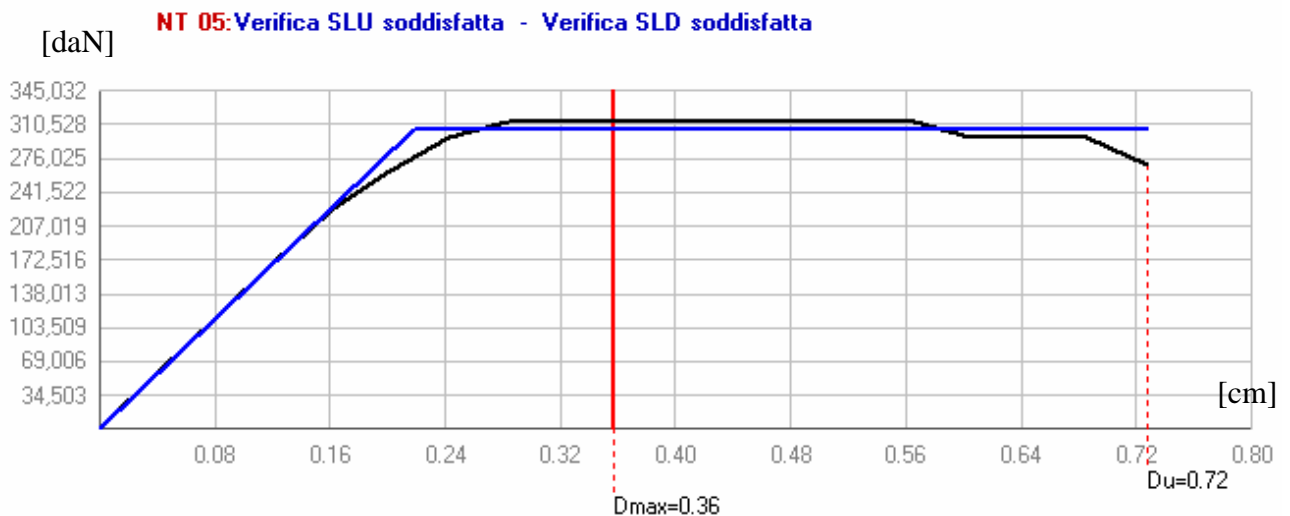


Figura IV-25: Curva pushover dell'analisi 5

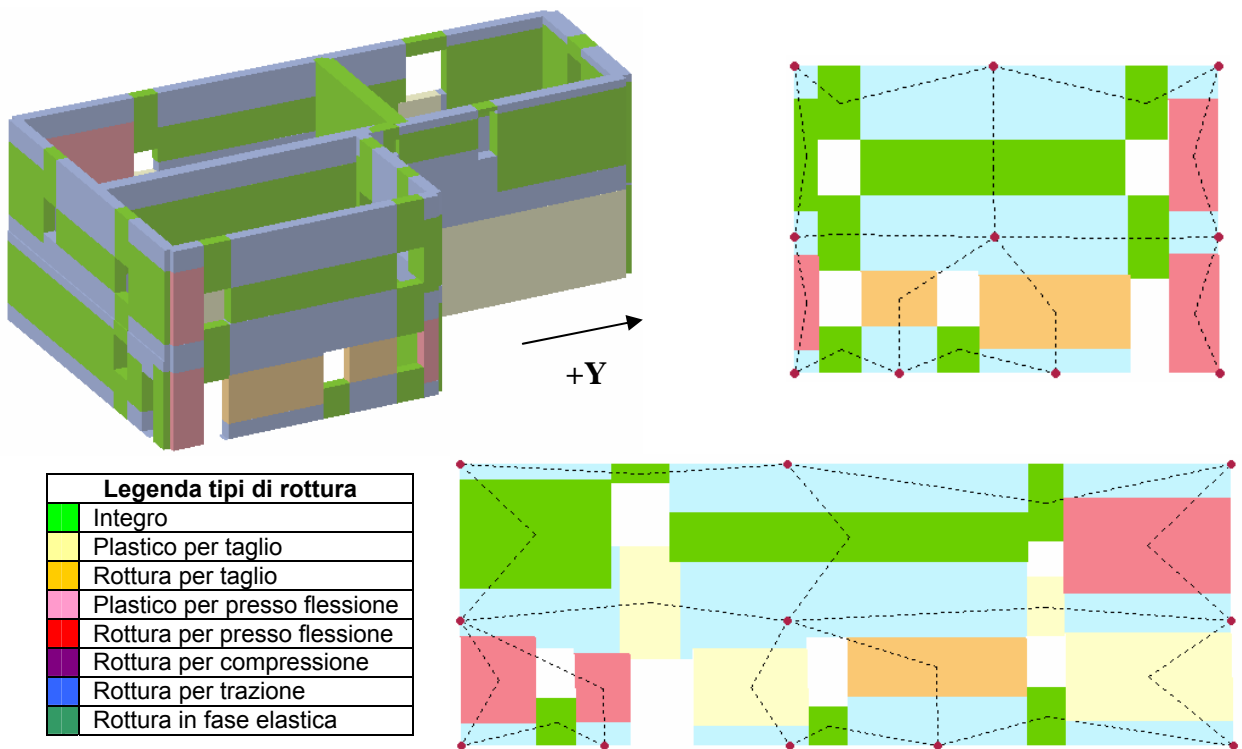


Figura IV-26: Vista 3D e deformate delle pareti 2 e 3 relative all'analisi 5

Analisi 6 – Direzione sisma + Y con carico sismico proporzionale al 1° modo

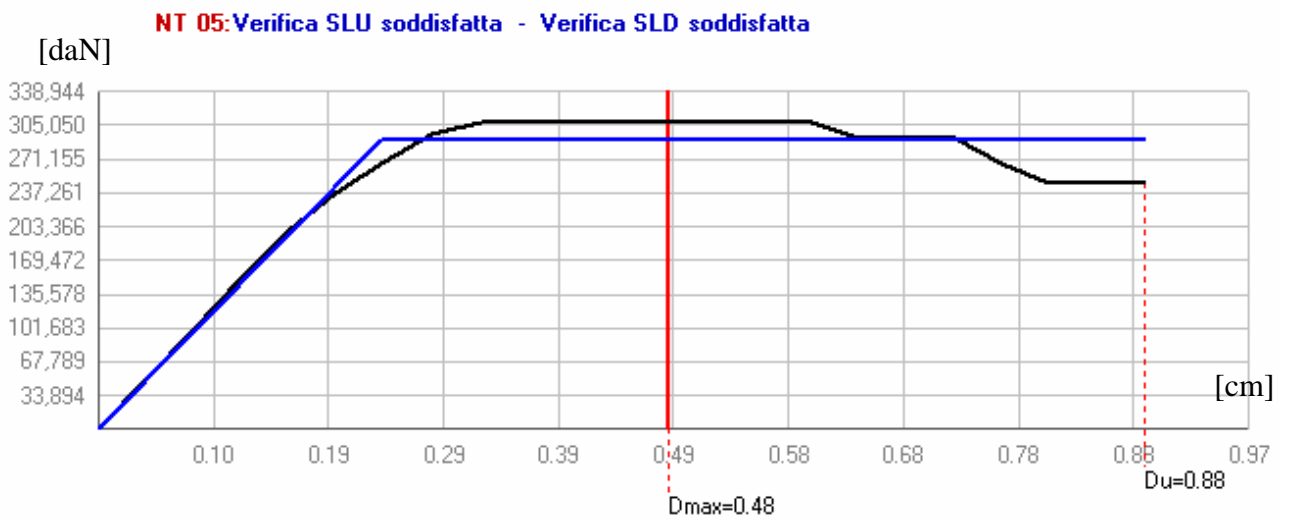


Figura IV-27: Curva pushover dell'analisi 6

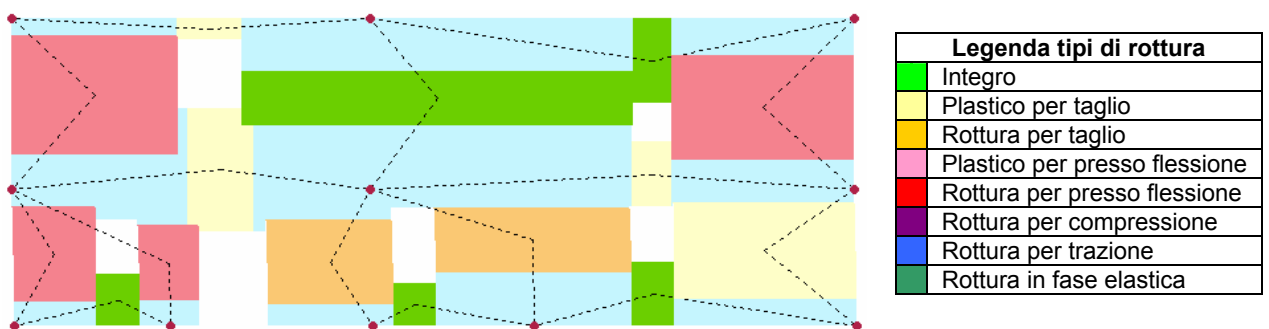


Figura IV-28: Deformata della parete 3 relative all'analisi 6

Analisi 7 – Direzione sisma -Y con carico sismico proporzionale alle masse

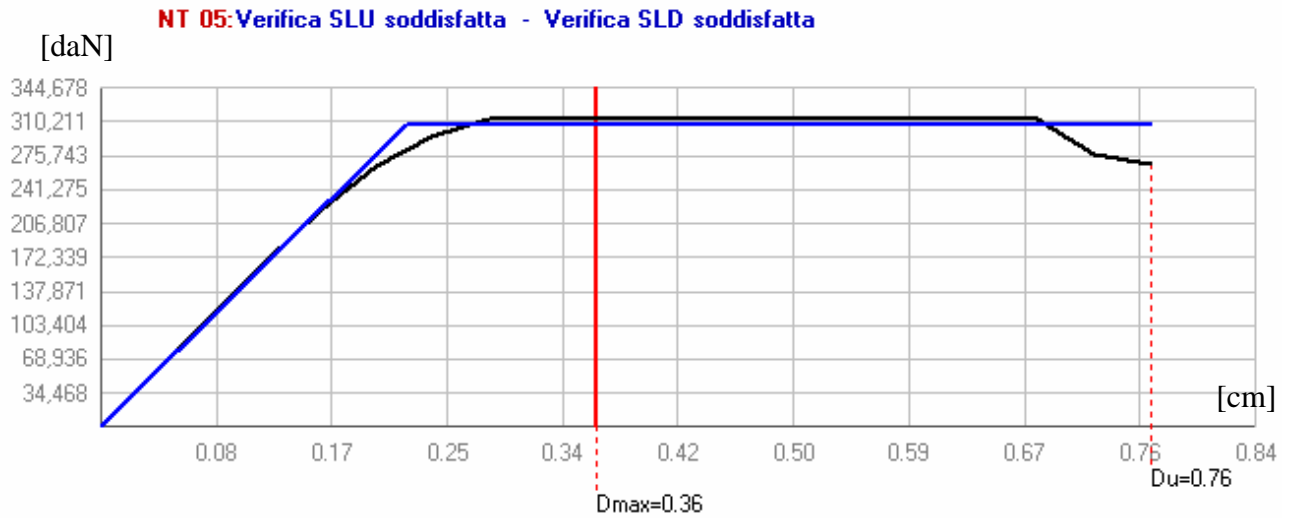


Figura IV-29: Curva pushover dell'analisi 7

Le deformazioni delle pareti relative all'analisi 7 presentano un comportamento analogo a quelle relative alle analisi 5 e 6.

Analisi 8 – Direzione sisma -Y con carico sismico proporzionale al 1° modo

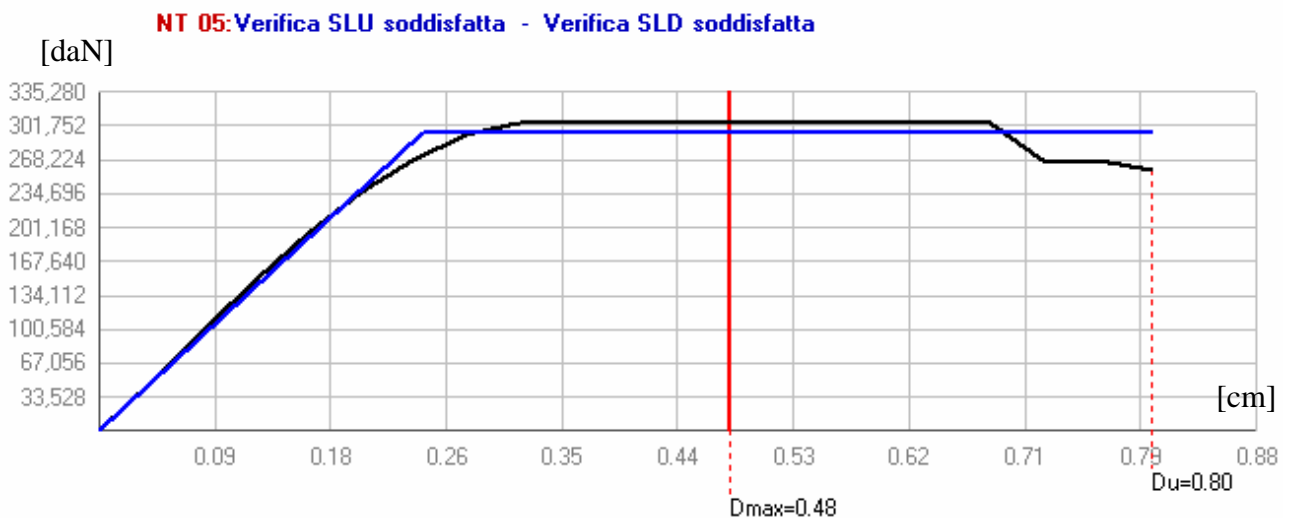


Figura IV-30: Curva pushover dell'analisi 8

Anche le deformate dei pannelli murari relativi all'analisi 8 mostrano un comportamento simile a quelle relative alle precedenti analisi svolte per la direzione del sisma lungo Y.

4.4.3 Analisi per carichi verticali

Nella tabella che segue sono riportati i risultati generali dell'analisi.

Parete	Maschi rotti	N_d / N_r max	h_o / t max	e_1 / t max	e_2/t max
1	0	0.86	9.76	0.0095	0.049
2	3	1.15	8.89	0.335	0.109
3	2	0.95	9.09	0.385	0.837
4	1	0.44	6.15	0.428	0.090
5	1	0.63	7.55	0.412	0.541
6	1	0.58	8.89	0.396	0.315
7	0	0.48	12.80	0.253	0.146

Tabella IV-8: Risultati dell'analisi per carichi verticali

Dai risultati si evince che le verifiche di snellezza della muratura sono tutte rispettate, mentre le verifiche di eccentricità dei carichi risultano ancora per diversi pannelli murari non verificate.

La verifica a carichi verticali risulta soddisfatta per tutte le pareti ad eccezione della parete 2, della quale torneremo a parlare nel *Paragrafo 5.1.3*.

Riportiamo nel seguito i dettagli di verifica per le singole pareti.

Parete 1

N. maschio	h_o [cm]	t [cm]	h_o / t	e_1 / t inferiore	e_2 / t medio	e_1 / t superiore	Verificato
6	320	52	6.15	0.073	0.035	0.067	Si
7	320	52	6.15	0.068	0.033	0.065	Si
8	320	52	6.15	0.061	0.031	0.056	Si
9	400	41	9.76	0.049	0.049	0.049	Si
10	400	41	9.76	0.095	0.049	0.090	Si
11	400	41	9.76	0.091	0.049	0.075	Si

N. maschio	Inferiore				Medio				Superiore				Verificato
	N_d [daN]	Φ	N_r [daN]	N_d/N_r	N_d [daN]	Φ	N_r [daN]	N_d/N_r	N_d [daN]	Φ	N_r [daN]	N_d/N_r	
6	185,086	0.91	343,605	0.539	198,667	0.80	299,500	0.663	212,247	0.90	337,332	0.629	Si
7	28,617	0.90	46,602	0.614	30,074	0.79	40,998	0.734	31,530	0.89	46,050	0.685	Si
8	15,533	0.88	30,772	0.505	17,104	0.78	27,451	0.623	18,674	0.86	30,213	0.618	Si
9	16,475	0.76	73,340	0.225	20,564	0.76	73,340	0.280	24,654	0.76	73,340	0.336	Si
10	58,951	0.48	77,947	0.756	62,355	0.76	124,441	0.501	65,759	0.47	76,451	0.860	Si
11	13,804	0.47	47,997	0.288	18,145	0.76	77,836	0.233	22,485	0.84	85,797	0.262	Si

Parete 2

N. maschio	h _o [cm]	t [cm]	h _o / t	e ₁ / t inferiore	e ₂ / t medio	e ₁ / t superiore	Verificato
18	320	45	7.11	0.125	0.055	0.099	Si
19	320	45	7.11	0.233	0.109	0.203	Si
20	320	45	7.11	0.207	0.093	0.171	Si
21	320	45	7.11	0.106	0.048	0.090	Si
22	400	45	8.89	0.335	0.074	0.108	No
23	400	45	8.89	0.182	0.080	0.143	Si
24	400	45	8.89	0.143	0.055	0.094	Si

N. maschio	Inferiore				Medio				Superiore				Verificato
	N _d [daN]	Φ	N _r [daN]	N _d /N _r	N _d [daN]	Φ	N _r [daN]	N _d /N _r	N _d [daN]	Φ	N _r [daN]	N _d /N _r	
18	3,988	0.59	8,954	0.445	4,813	0.84	12,746	0.378	5,638	0.54	8,191	0.688	Si
19	16,475	0.47	22,449	0.734	17,955	0.56	26,337	0.682	19,434	0.41	19,567	0.993	Si
20	29,968	0.42	40,449	0.741	34,005	0.53	50,602	0.672	38,043	0.35	33,378	1.140	No
21	14,464	0.55	17,095	0.846	16,548	0.82	25,347	0.653	18,632	0.52	16,161	1.153	No
22	540	0.00	n / d	n / d	1,512	0.86	13,071	0.116	2,484	0.52	7,918	0.314	n / d
23	25,946	0.33	55,255	0.470	31,184	0.87	146,364	0.213	36,422	0.59	98,258	0.371	Si
24	4,097	0.59	18,199	0.225	6,075	0.80	24,831	0.245	8,052	0.49	15,323	0.526	Si

Parete 3

N. maschio	h _o [cm]	t [cm]	h _o / t	e ₁ / t inferiore	e ₂ / t medio	e ₁ / t superiore	Verificato
32	320	44	7.27	0.159	0.072	0.131	Si
33	320	44	7.27	0.108	0.050	0.093	Si
34	320	44	7.27	0.385	0.837	0.385	No
35	320	44	7.27	0.067	0.036	0.064	Si
36	320	44	7.27	0.112	0.051	0.095	Si
37	400	44	9.09	0.196	0.060	0.095	Si
38	400	44	9.09	0.348	0.128	0.206	No
39	400	44	9.09	0.095	0.045	0.080	Si

N. maschio	Inferiore				Medio				Superiore				Verificato
	N _d [daN]	Φ	N _r [daN]	N _d /N _r	N _d [daN]	Φ	N _r [daN]	N _d /N _r	N _d [daN]	Φ	N _r [daN]	N _d /N _r	
32	18,904	0.65	33,093	0.571	21,661	0.88	45,058	0.481	24,418	0.60	30,391	0.803	Si
33	11,415	0.55	20,679	0.552	12,989	0.82	30,583	0.425	14,564	0.52	19,560	0.745	Si
34	20,359	0.00	n / d	n / d	4,334	0.00	n / d	n / d	20,359	0.00	n / d	n / d	n / d
35	81,050	0.87	105,552	0.768	85,506	0.78	94,035	0.909	89,962	0.86	104,411	0.862	Si
36	44,301	0.56	62,866	0.705	50,383	0.82	92,423	0.545	56,465	0.53	59,362	0.951	Si
37	6,686	0.35	36,259	0.184	13,579	0.81	82,855	0.164	20,472	0.49	50,179	0.408	Si
38	16,449	0.00	n / d	n / d	23,722	0.55	133,929	0.177	30,994	0.38	90,833	0.341	n / d
39	29,349	0.49	55,663	0.527	36,018	0.77	86,702	0.415	42,687	0.87	98,470	0.434	Si

Parete 4

N. maschio	h _o [cm]	t [cm]	h _o / t	e ₁ / t inferiore	e ₂ / t medio	e ₁ / t superiore	Verificato
40	320	65	4.92	0.088	0.036	0.063	Si
42	400	65	6.15	0.031	0.031	0.031	Si
43	400	65	6.15	0.428	0.090	0.121	No

N. maschio	Inferiore				Medio				Superiore				Verificato
	N _d [daN]	Φ	N _r [daN]	N _d /N _r	N _d [daN]	Φ	N _r [daN]	N _d /N _r	N _d [daN]	Φ	N _r [daN]	N _d /N _r	
40	54,104	0.56	124,342	0.435	71,216	0.82	183,227	0.389	88,328	0.91	201,951	0.437	Si
42	4,483	0.78	63,899	0.070	11,651	0.78	63,899	0.182	18,819	0.78	63,899	0.295	Si
43	5,075	0.00	n / d	n / d	13,548	0.54	53,846	0.252	22,307	0.60	59,858	0.373	n / d

Parete 5

N. maschio	h _o [cm]	t [cm]	h _o / t	e ₁ / t inferiore	e ₂ / t medio	e ₁ / t superiore	Verificato
44	320	53	6.04	0.173	0.068	0.113	Si
48	400	53	7.55	0.176	0.048	0.074	Si
49	400	53	7.55	0.412	0.541	0.412	No
50	400	53	7.55	0.289	0.089	0.135	Si

N. maschio	Inferiore				Medio				Superiore				Verificato
	N _d [daN]	Φ	N _r [daN]	N _d /N _r	N _d [daN]	Φ	N _r [daN]	N _d /N _r	N _d [daN]	Φ	N _r [daN]	N _d /N _r	
44	133,210	0.38	236,546	0.563	181,357	0.90	562,459	0.322	229,504	0.59	367,176	0.625	Si
48	7,490	0.35	53,739	0.139	17,961	0.81	124,171	0.145	28,433	0.89	136,661	0.208	Si
49	6,792	0.00	n / d	n / d	2,434	0.00	n / d	n / d	6,792	0.00	n / d	n / d	n / d
50	22,840	0.26	87,512	0.261	40,899	0.51	168,433	0.243	58,958	0.60	197,631	0.298	Si

Parete 6

N. maschio	h _o [cm]	t [cm]	h _o / t	e ₁ / t inferiore	e ₂ / t medio	e ₁ / t superiore	Verificato
51	320	45	7.11	0.169	0.063	0.105	Si
54	400	45	8.89	0.396	0.315	0.369	No
55	400	45	8.89	0.131	0.053	0.093	Si
56	400	45	8.89	0.044	0.044	0.044	Si

N. maschio	Inferiore				Medio				Superiore				Verificato
	N _d [daN]	Φ	N _r [daN]	N _d /N _r	N _d [daN]	Φ	N _r [daN]	N _d /N _r	N _d [daN]	Φ	N _r [daN]	N _d /N _r	
51	24,730	0.34	51,808	0.477	36,301	0.86	129,691	0.280	47,871	0.55	82,530	0.580	Si
54	741	0.00	n / d	n / d	n / d	0.27	n / d	n / d	803	0.00	n / d	n / d	n / d
55	4,715	0.56	27,502	0.171	6,591	0.79	38,700	0.170	8,467	0.49	23,911	0.354	Si
56	1,566	0.77	31,881	0.049	4,114	0.77	31,881	0.129	6,663	0.77	31,881	0.209	Si

Parete 7

N. maschio	h _o [cm]	t [cm]	h _o / t	e ₁ / t inferiore	e ₂ / t medio	e ₁ / t superiore	Verificato
57	320	65	4.92	0.253	0.146	0.183	Si
58	320	25	12.80	0.071	0.064	0.067	Si
59	320	65	4.92	0.025	0.025	0.025	Si
60	400	65	6.15	0.037	0.031	0.032	Si

N. maschio	Inferiore				Medio				Superiore				Ver.
	N _d [daN]	Φ	N _r [daN]	N _d /N _r	N _d [daN]	Φ	N _r [daN]	N _d /N _r	N _d [daN]	Φ	N _r [daN]	N _d /N _r	
57	5,096	0.27	10,710	0.476	4,341	0.67	26,172	0.166	7,340	0.42	16,453	0.446	No
58	5,409	0.73	34,946	0.155	8,203	0.71	34,019	0.241	11,877	0.72	34,441	0.345	No
59	10,690	0.79	53,731	0.199	15,939	0.79	53,731	0.297	21,188	0.79	53,731	0.394	No
60	5,701	0.80	185,596	0.031	5,377	0.78	181,033	0.030	27,629	0.79	181,974	0.152	No

- CAPITOLO 5 -

PROPOSTA DI ADEGUAMENTO, INTERPRETAZIONE DEI RISULTATI E CONFRONTO CON LE NUOVE NTC DEL 2008

In questo capitolo verranno anzitutto presentate le proposte di intervento al fine di rendere sismicamente adeguate le due coloniche.

Si provvederà quindi a riportare in maniera schematica i risultati delle analisi di pushover eseguite col programma di calcolo 3MURI e già illustrate nei capitoli precedenti, con l'intento di evidenziare "quanto" le verifiche risultino soddisfatte o non soddisfatte.

Infine verrà effettuato un breve confronto tra i risultati ottenuti con le NTC del 2005 [4], utilizzate durante tutte le procedure di verifica, e quelli ottenuti con le nuove NTC del 2008 [7] di recente emanazione.

5.1 Proposta di adeguamento

L'intervento di consolidamento pensato per rendere le due coloniche sismicamente adeguate consiste nell'applicazione di betoncino armato sulle due facce della murature al fine di aumentare la resistenza a forza orizzontale di pannelli, fasce e maschi murari, con funzione strutturale. La tecnica di consolidamento mediante intonaci armati consiste nel realizzare in aderenza alla superficie muraria, delle lastre di materiale a base cementizia (betoncino), armate con una rete metallica, e rese solidali ad essa da tiranti passanti in acciaio.

La tecnica consente di migliorare le caratteristiche di resistenza dell'apparato murario, grazie all'incremento di sezione resistente apportato dalle lastre e all'effetto di confinamento esercitato sulla muratura degradata, e di aumentarne nel contempo la duttilità. L'applicazione delle pareti non prevede alterazioni allo stato di sollecitazione della struttura durante l'esecuzione, ma modifica in maniera sostanziale la rigidità delle pareti e quindi la loro risposta sismica.

Dal punto di vista esecutivo, il metodo prevede tecnologie e materiali di basso costo e facile reperibilità, e l'impiego di attrezzature generalmente adoperate per operazioni d'intonacatura. Ne

derivano i vantaggi di economicità, rapidità di esecuzione e non necessità di manodopera specializzata.



Foto V-1: Esempio di applicazione del betoncino armato



Foto V-2: Risvolto della rete els.

La procedura di esecuzione consiste nelle seguenti fasi:

- rimozione completa di intonaco con pulizia accurata di tutta la superficie muraria su cui si deve intervenire ;
- scrostatura e scalfitura della malta degli interstizi dei giunti, pulizia accurata finale delle superfici murarie ;
- consolidamento della muratura in corrispondenza delle lesioni più consistenti con iniezioni di malta ;
- perforazioni passanti nella muratura, eseguite con fioretto o trapano a sola rotazione ottenendo fori di diametro non superiore a 30mm per l'alloggiamento delle armature. Le perforazioni, almeno 5 per m² di superficie trattata, devono realizzare una maglia regolare con opportuno sfalsamento e devono essere inclinate di circa 20° per facilitare il colaggio della boiacca ;
- posizionamento delle reti elettrosaldate sulle due facce, posizionate ad almeno 1cm dal muro con opportuni distanziatori, curando la sovrapposizione dei fogli per almeno 2 maglie e risvoltandole in corrispondenza degli spigoli per almeno 50cm.

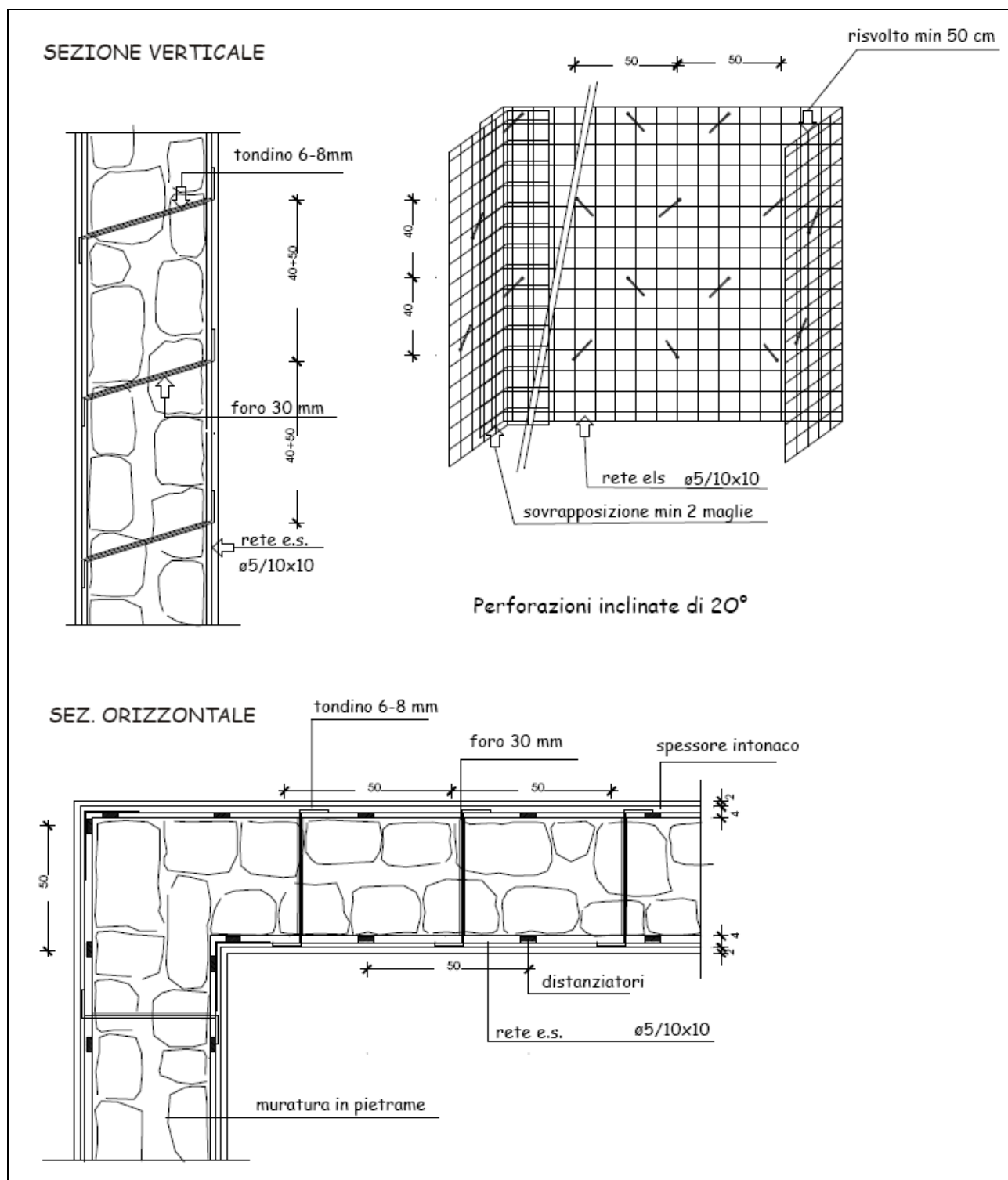


Figura V-1: Caratteristiche dell'intonaco armato

L'intervento sopra descritto è stato inserito nel programma 3MURI amplificando i parametri meccanici delle murature (f_m , τ_0 , E , G) tramite i coefficienti correttivi riportati in *Tabella 11.D.2* dell'Ordinanza 3431 [3]. Nel caso in esame, relativo a tipologie murarie costituite da *pietra a spacco con buona tessitura* o da *mattoni pieni a malta di calce*, l'incremento delle caratteristiche meccaniche è del 50%.

5.1.1 Colonica di Ugnano

Per quanto riguarda la colonica di Ugnano, l'intervento sopra descritto (*Tavola 8*) ha interessato le pareti n° 2, 5 e 9 (esclusivamente al piano terra dell'edificio) relative alla pianta già riportata in *Figura IV-5* al *Paragrafo 4.3.1* (pag. 81).

I risultati ottenuti dall'analisi di pushover sono riassunti nella tabella seguente.

N.	Direzione sisma	Carico sismico prop.	SLU				SLD			α_u	α_e
			D_{max} [cm]	D_u [cm]	q^*	Verificato	D_{max} [cm]	D_d [cm]	Verificato		
1	+X	Masse	0.714	0.962	1.467	Sì	0.195	0.703	Sì	1.169	2.432
2	+X	1° modo	0.920	1.112	1.612	Sì	0.232	0.618	Sì	1.114	2.001
3	-X	Masse	0.648	0.776	1.326	Sì	0.199	0.691	Sì	1.086	2.447
4	-X	1° modo	0.801	0.917	1.377	Sì	0.235	0.838	Sì	1.068	2.595
5	+Y	Masse	1.020	1.598	1.653	Sì	0.253	0.566	Sì	1.320	1.791
6	+Y	1° modo	1.285	1.762	1.795	Sì	0.314	0.646	Sì	1.229	1.726
7	-Y	Masse	0.937	1.787	1.530	Sì	0.248	0.605	Sì	1.480	1.940
8	-Y	1° modo	1.272	1.341	1.831	Sì	0.303	0.518	Sì	1.034	1.491

Tabella V-1: Risultati dell'analisi pushover relativa all'intervento di adeguamento

Come si può notare in modo evidente, le verifiche risultano tutte soddisfatte per cui l'intervento con intonaco armato si è rivelato sufficiente a garantire l'adeguamento sismico della struttura.

5.1.2 Colonica di Barberino di Mugello

Per quanto concerne invece la colonica di Barberino di Mugello si è ipotizzato di effettuare un intervento analogo al precedente, applicando betoncino armato in modo diffuso sui vari pannelli murari. Svolgendo l'analisi sismica di pushover si è riscontrato che l'intervento ha prodotto un miglioramento significativo sul comportamento globale della struttura, rivelandosi però insufficiente a garantire un adeguamento sismico; ciò lo si evince valutando che lo scarto tra i valori di D_{max} e D_u è inferiore rispetto a quello dell'analisi effettuata in precedenza nel *Capitolo 4* (in particolare si veda la *Tabella IV-7* a pag. 107) ma l'analisi rimane non soddisfatta.

Quindi, per adeguare sismicamente l'edificio di Barberino di Mugello, sarebbe necessario realizzare un intervento più invasivo che andrebbe a modificare in modo radicale l'organizzazione strutturale dell'edificio.

5.1.3 Proposta di intervento per la verifica a carichi verticali

Come già visto nei *Paragrafi 4.3.3 e 4.4.3*, la verifica di resistenza risulta soddisfatta per tutte le pareti ad eccezione della parete 8 nella colonica di Ugnano e della parete 2 nella colonica di Barberino di Mugello. Per queste pareti l'intervento di consolidamento consiste nell'affiancare alla muratura esistente una fila di mattoni ad una testa in modo da incrementare lo spessore della parete stessa.

Per le verifiche di eccentricità, invece, non viene proposto nessun intervento.

5.2 Interpretazione dei risultati

Vengono adesso confrontati, in termini di rapporto D_{max} / D_u (dove D_{max} è lo spostamento massimo richiesto dalla Normativa e D_u è lo spostamento massimo offerto dalla struttura), i risultati emersi dalle analisi di pushover relativi ai diversi stati in cui si trovano le due strutture. Lo scopo è quello di evidenziare il miglioramento apportato dai vari interventi effettuati sul comportamento strutturale globale sotto l'azione sismica.

Nelle tabelle che seguono, se $D_{max} / D_u < 1$ la verifica risulta soddisfatta; se $D_{max} / D_u \geq 1$ la verifica risulta non soddisfatta.

5.2.1 Colonica di Ugnano

Si riportano di seguito le tabelle riassuntive corrispondenti ai tre livelli di intervento analizzati precedentemente.

STATO ATTUALE									
N.	Direzione sisma	Carico sismico proporzionale	SLU			SLD			q* SLU
			D_{max} [cm]	D_u [cm]	D_{max} / D_u	D_{max} [cm]	D_d [cm]	D_{max} / D_u	
1	+X	Masse	1.231	1.881	0.65	0.276	0.594	0.46	2.017
2	+X	1° modo	1.462	2.129	0.69	0.338	1.141	0.30	2.744
3	-X	Masse	1.166	0.516	2.26	0.259	0.313	0.83	1.989
4	-X	1° modo	1.672	2.300	0.73	0.436	0.412	1.06	2.136
5	+Y	Masse	1.298	0.809	1.60	0.299	0.188	1.59	3.125
6	+Y	1° modo	1.374	0.817	1.68	0.330	0.347	0.95	2.628
7	-Y	Masse	1.273	0.638	2.00	0.300	0.201	1.49	2.358
8	-Y	1° modo	1.504	1.089	1.38	0.379	0.159	2.38	2.584

STATO MIGLIORATO									
N.	Direzione sisma	Carico sismico proporzionale	SLU			SLD			q* SLU
			D _{max} [cm]	D _u [cm]	D _{max} / D _u	D _{max} [cm]	D _d [cm]	D _{max} / D _d	
1	+X	Masse	0.697	0.955	0.73	0.195	0.699	0.28	1.429
2	+X	1° modo	0.907	1.186	0.76	0.237	0.766	0.31	1.550
3	-X	Masse	0.611	0.752	0.81	0.197	0.684	0.29	1.277
4	-X	1° modo	0.781	0.831	0.94	0.236	0.831	0.28	1.342
5	+Y	Masse	1.311	1.600	0.82	0.312	0.654	0.48	1.900
6	+Y	1° modo	1.508	1.506	1.00	0.374	0.797	0.47	1.998
7	-Y	Masse	1.276	1.572	0.81	0.307	0.519	0.59	1.844
8	-Y	1° modo	1.508	1.354	1.11	0.366	0.962	0.38	2.053

STATO ADEGUATO									
N.	Direzione sisma	Carico sismico proporzionale	SLU			SLD			q* SLU
			D _{max} [cm]	D _u [cm]	D _{max} / D _u	D _{max} [cm]	D _d [cm]	D _{max} / D _d	
1	+X	Masse	0.714	0.962	0.74	0.195	0.703	0.28	1.467
2	+X	1° modo	0.920	1.112	0.83	0.232	0.618	0.38	1.612
3	-X	Masse	0.648	0.776	0.84	0.199	0.691	0.29	1.326
4	-X	1° modo	0.801	0.917	0.87	0.235	0.838	0.28	1.377
5	+Y	Masse	1.020	1.598	0.64	0.253	0.566	0.45	1.653
6	+Y	1° modo	1.285	1.762	0.73	0.314	0.646	0.49	1.795
7	-Y	Masse	0.937	1.787	0.52	0.248	0.605	0.41	1.530
8	-Y	1° modo	1.272	1.341	0.95	0.303	0.518	0.58	1.831

N.	Direzione sisma	Carico sismico proporzionale	SLU			SLD		
			STATO ATTUALE	STATO MIGLIORATO	STATO ADEGUATO	STATO ATTUALE	STATO MIGLIORATO	STATO ADEGUATO
			D _{max} / D _u	D _{max} / D _u	D _{max} / D _u	D _{max} / D _d	D _{max} / D _d	D _{max} / D _d
1	+X	Masse	0.65	0.73	0.74	0.46	0.28	0.28
2	+X	1° modo	0.69	0.76	0.83	0.30	0.31	0.38
3	-X	Masse	2.26	0.81	0.84	0.83	0.29	0.29
4	-X	1° modo	0.73	0.94	0.87	1.06	0.28	0.28
5	+Y	Masse	1.60	0.82	0.64	1.59	0.48	0.45
6	+Y	1° modo	1.68	1.00	0.73	0.95	0.47	0.49
7	-Y	Masse	2.00	0.81	0.52	1.49	0.59	0.41
8	-Y	1° modo	1.38	1.11	0.95	2.38	0.38	0.58

 Tabella V-2: Confronto tra i risultati corrispondenti ai tre livelli di intervento in termini di D_{max} / D_u

5.2.2 Colonica di Barberino di Mugello

Si riportano di seguito le tabelle riassuntive corrispondenti ai tre livelli di intervento analizzati precedentemente.

STATO ATTUALE									
N.	Direzione sisma	Carico sismico proporzionale	SLU			SLD			q* SLU
			D _{max} [cm]	D _u [cm]	D _{max} / D _u	D _{max} [cm]	D _d [cm]	D _{max} / D _d	
1	+X	Masse	1.590	0.767	2.07	0.418	0.447	0.93	3.429
2	+X	1° modo	1.856	0.749	2.48	0.486	0.402	1.21	4.887
3	-X	Masse	2.078	0.980	2.12	0.583	0.353	1.65	3.171
4	-X	1° modo	2.225	0.886	2.51	0.591	0.397	1.49	4.663
5	+Y	Masse	0.648	1.012	0.64	0.176	0.385	0.46	1.473
6	+Y	1° modo	0.812	1.067	0.76	0.200	0.351	0.57	1.655
7	-Y	Masse	0.638	1.082	0.59	0.169	0.486	0.35	1.512
8	-Y	1° modo	0.794	1.184	0.67	0.198	0.519	0.38	1.633

STATO MIGLIORATO									
N.	Direzione sisma	Carico sismico proporzionale	SLU			SLD			q* SLU
			D _{max} [cm]	D _u [cm]	D _{max} / D _u	D _{max} [cm]	D _d [cm]	D _{max} / D _d	
1	+X	Masse	1.103	1.531	0.72	0.256	1.531	0.17	1.846
2	+X	1° modo	1.452	0.901	1.61	0.340	0.601	0.56	2.712
3	-X	Masse	1.120	1.167	0.96	0.255	0.367	0.69	1.901
4	-X	1° modo	1.436	0.804	1.79	0.336	0.403	0.83	2.627
5	+Y	Masse	0.356	0.724	0.49	0.141	0.282	0.50	1.142
6	+Y	1° modo	0.482	0.885	0.54	0.162	0.483	0.33	1.244
7	-Y	Masse	0.361	0.764	0.47	0.143	0.281	0.51	1.140
8	-Y	1° modo	0.481	0.803	0.60	0.165	0.320	0.51	1.230

N.	Direzione sisma	Carico sismico proporzionale	SLU		SLD	
			STATO ATTUALE	STATO MIGLIORATO	STATO ATTUALE	STATO MIGLIORATO
			D _{max} / D _u	D _{max} / D _u	D _{max} / D _d	D _{max} / D _d
1	+X	Masse	2.07	0.72	0.93	0.17
2	+X	1° modo	2.48	1.61	1.21	0.56
3	-X	Masse	2.12	0.96	1.65	0.69
4	-X	1° modo	2.51	1.79	1.49	0.83
5	+Y	Masse	0.64	0.49	0.46	0.50
6	+Y	1° modo	0.76	0.54	0.57	0.33
7	-Y	Masse	0.59	0.47	0.35	0.51
8	-Y	1° modo	0.67	0.60	0.38	0.51

Tabella V-3: Confronto tra i risultati corrispondenti ai due livelli di intervento in termini di D_{max} / D_u

5.3 Confronto con le NTC del 2008

5.3.1 Cenni sulle NTC del 2008

Le Norme Tecniche per le Costruzioni (NTC) del 2008 [7] adottano un approccio prestazionale alla progettazione delle strutture nuove e alla verifica di quelle esistenti. Nei riguardi dell'azione sismica l'obiettivo è il controllo del livello di danneggiamento della costruzione a fronte dei terremoti che possono verificarsi nel sito di costruzione.

VITA NOMINALE, CLASSI D'USO E PERIODO DI RIFERIMENTO

La vita nominale di un'opera strutturale V_N è intesa come il numero di anni nel quale la struttura, purché soggetta alla manutenzione ordinaria, deve potere essere usata per lo scopo al quale è destinata. La vita nominale è, nel nostro caso (*opere ordinarie*), assunta pari a 50 anni.

In presenza di azioni sismiche, con riferimento alle conseguenze di una interruzione di operatività o di un eventuale collasso, le costruzioni sono suddivise in 4 *Classi d'uso*; le nostre coloniche ricadono in *Classe II (Costruzioni il cui uso preveda normali affollamenti, senza contenuti pericolosi per l'ambiente e senza funzioni pubbliche e sociali essenziali)*.

Le azioni sismiche su ciascuna costruzione vengono valutate in relazione ad un periodo di riferimento V_R che si ricava, per ciascun tipo di costruzione, moltiplicandone la vita nominale V_N per il *coefficiente d'uso* C_U :

$$V_R = V_N \cdot C_U .$$

Il valore del coefficiente d'uso C_U , definito al variare della classe d'uso, vale 1 per la classe d'uso II. Per cui si ottiene un valore di V_R pari a 50 anni.

PERICOLOSITÀ SISMICA

L'azione sismica sulle costruzioni è valutata a partire da una "pericolosità sismica di base", in condizioni ideali di sito di riferimento rigido con superficie topografica orizzontale (di categoria "A" nelle NTC). La "pericolosità sismica di base", nel seguito chiamata semplicemente *pericolosità sismica*, costituisce l'elemento di conoscenza primario per la determinazione delle azioni sismiche.

La *pericolosità sismica* in un generico sito deve essere descritta in modo da renderla compatibile con le NTC e da dotarla di un sufficiente livello di dettaglio, sia in termini geografici che in termini temporali; tali condizioni possono ritenersi soddisfatte se i risultati dello studio di pericolosità sono forniti:

- in termini di valori di accelerazione orizzontale massima a_g e dei parametri che permettono di definire gli spettri di risposta ai sensi delle NTC, nelle condizioni di sito di riferimento rigido orizzontale sopra definite ;
- in corrispondenza dei punti di un reticolo (*reticolo di riferimento*) i cui nodi sono sufficientemente vicini fra loro (non distano più di 10 km) ;
- per diverse probabilità di superamento in 50 anni e/o diversi periodi di ritorno T_R ricadenti in un *intervallo di riferimento* compreso almeno tra 30 e 2475 anni, estremi inclusi.

L'azione sismica così individuata viene successivamente variata, nei modi chiaramente precisati dalle NTC, per tener conto delle modifiche prodotte dalle condizioni locali stratigrafiche del sottosuolo effettivamente presente nel sito di costruzione e dalla morfologia della superficie. Tali modifiche caratterizzano la risposta sismica locale.

La disponibilità di informazioni così puntuali e dettagliate, in particolare il riferimento a più probabilità di superamento, consente di adottare, nella progettazione e verifica delle costruzioni, valori dell'azione sismica meglio correlati alla pericolosità sismica del sito, alla vita nominale della costruzione e all'uso cui essa è destinata, consentendo così significative economie e soluzioni più agevoli del problema progettuale, specie nel caso delle costruzioni esistenti.

Allo stato attuale, la *pericolosità sismica* su *reticolo di riferimento* nell'*intervallo di riferimento* è fornita dai dati pubblicati dall'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia.

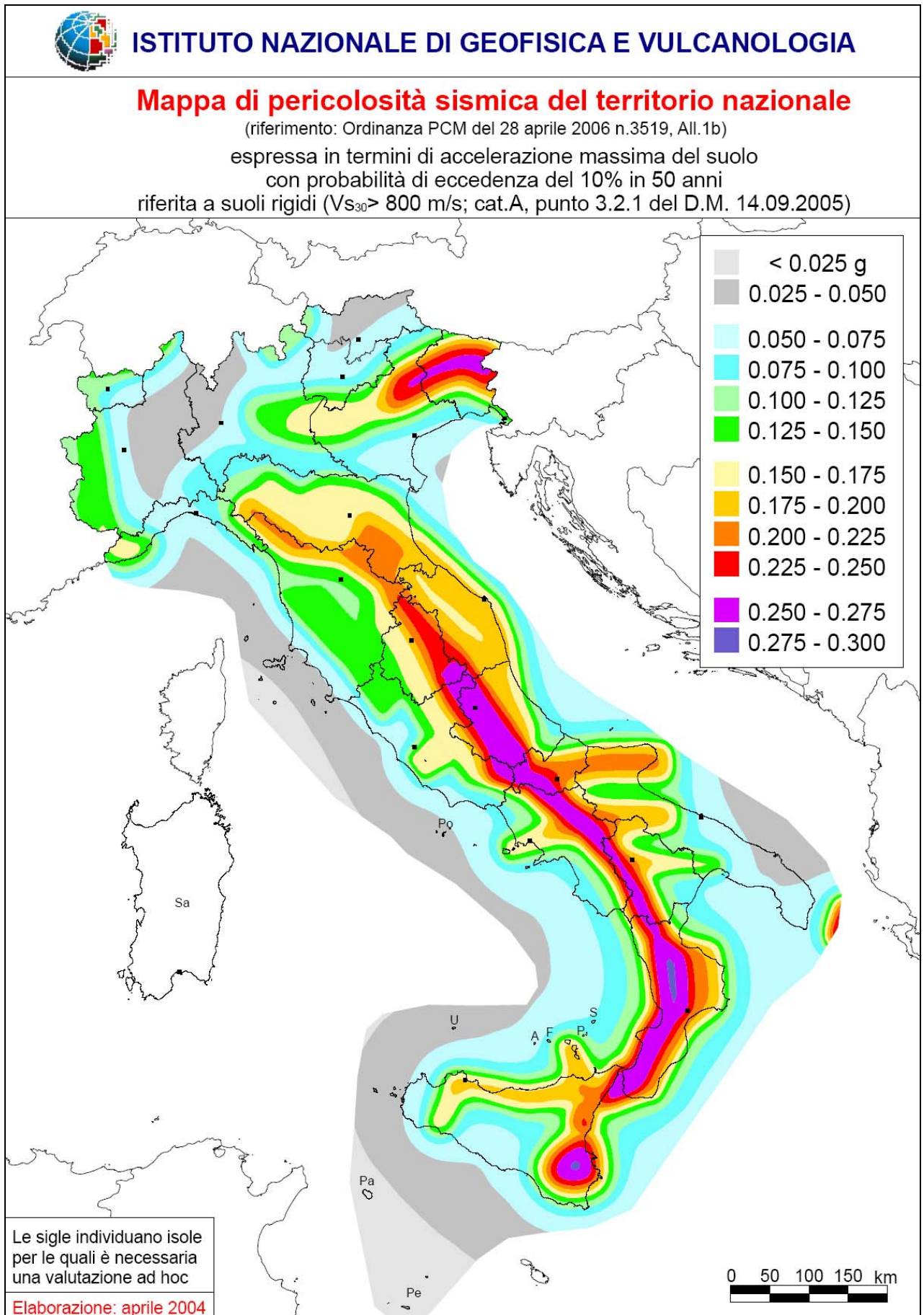


Figura V-2: Mappa di pericolosità sismica di riferimento per il territorio nazionale

Le forme spettrali previste dalle NTC sono definite, su sito di riferimento rigido orizzontale, in funzione dei tre parametri:

- a_g accelerazione orizzontale massima del terreno ;
- F_0 valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale ;
- T_C^* periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale.

Le forme spettrali previste dalle NTC sono caratterizzate da prescelte probabilità di superamento e vite di riferimento. A tal fine occorre fissare:

- la vita di riferimento V_R della costruzione ,
- le probabilità di superamento nella vita di riferimento P_{VR} associate a ciascuno degli stati limite considerati ,

per individuare infine, a partire dai dati di *pericolosità sismica* disponibili, le corrispondenti azioni sismiche.

Tale operazione deve essere possibile per tutte le vite di riferimento e tutti gli stati limite considerati dalle NTC; a tal fine è conveniente utilizzare, come parametro caratterizzante la pericolosità sismica, il periodo di ritorno dell'azione sismica T_R , espresso in anni. Fissata la vita di riferimento V_R , i due parametri T_R e V_{RP} sono immediatamente esprimibili, l'uno in funzione dell'altro, mediante l'espressione:

$$T_R = \frac{V_R}{\ln(1 - P_{VR})}.$$

I valori dei parametri a_g , F_0 e T_C^* relativi alla *pericolosità sismica* su *reticolo di riferimento* nell'*intervallo di riferimento* sono forniti nelle tabelle riportate nell'*ALLEGATO B* delle NTC.

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

Gli stati limite di esercizio sono i seguenti:

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

Gli stati limite ultimi sono:

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

Le probabilità di superamento nel periodo di riferimento P_{VR} , cui riferirsi per individuare l'azione sismica agente in ciascuno degli stati limite considerati, sono riportate nella tabella seguente.

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

Tabella V-4: Probabilità di superamento P_{VR} al variare dello stato limite considerato

Considerando un periodo di riferimento V_R della costruzione pari a 50 anni e prendendo in esame lo Stato Limite di Salvaguardia della Vita, al quale corrisponde una probabilità di superamento P_{VR} pari al 10%, mediante la formula sopra riportata si ottiene il valore del periodo di ritorno dell'azione sismica $T_R = 475$ anni. Per cui, noto il parametro T_R e le coordinate geografiche del sito in cui si trova l'edificio, è possibile risalire ai valori di a_g , F_O e T_C^* forniti dalle tabelle dell'ALLEGATO B delle NTC.

I parametri che definiscono lo spettro di risposta elastico in accelerazione delle componenti orizzontali, caratterizzando quindi l'azione sismica, e che sono stati utilizzati nel programma 3MURI per eseguire le analisi di pushover, sono stati ottenuti mediante le seguenti formule:

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

$$S = S_S \cdot S_T ,$$

essendo S_T il coefficiente di amplificazione topografica (posto pari a 1 per pendenze minori del 15%) e S_S il coefficiente di amplificazione stratigrafica definito come:

$$S_S : 1.00 \leq 1.70 - 0.60 \cdot F_O \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1.50 \quad (\text{sottosuolo di categoria C}) ;$$

- F_O è il fattore che quantifica l'amplificazione spettrale massima, su sito di riferimento rigido orizzontale, ed ha valore minimo pari a 2,2 ;
- T_C è il periodo corrispondente all'inizio del tratto a velocità costante dello spettro, dato da

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

dove T_C^* è il periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale e C_C è un coefficiente funzione della categoria di sottosuolo definito come

$$C_C = 1.05 \cdot (T_C^*)^{-0.33} \quad (\text{sottosuolo di categoria C}) ;$$

- T_B è il periodo corrispondente all'inizio del tratto dello spettro ad accelerazione costante:

$$T_B = \frac{T_C}{3} ;$$

- T_D è il periodo corrispondente all'inizio del tratto a spostamento costante dello spettro, espresso in secondi mediante la relazione

$$T_D = 4.0 \cdot \frac{a_g}{g} + 1.6 .$$

Nei prossimi paragrafi verrà effettuato un confronto, relativamente allo stato migliorato, tra i risultati già ottenuti svolgendo l'analisi seguendo quanto prescritto dalle NTC del 2005 e i nuovi risultati ottenuti seguendo le recenti NTC del 2008.

Il confronto viene adesso eseguito in termini del valore α_u definito come

$$\alpha_u = \frac{PGA_{\max}}{PGA_{SLU}} = \frac{PGADS}{a_g} ,$$

dove $PGADS$ è il valore dell'accelerazione di danno severo e a_g è l'accelerazione orizzontale massima del terreno fornita dalle NTC.

Se $\alpha_u > 1$, la verifica è soddisfatta; se $\alpha_u \leq 1$, la verifica non è soddisfatta.

5.3.2 Colonica di Ugnano

Seguendo quindi le prescrizioni delle NTC 2008 [7] sono stati calcolati i seguenti parametri.

Località	Longitudine	Latitudine	$T_R = 475$		
			a_g [m/sec ²]	F_o	T_c^* [sec]
Ugnano	11.166	43.784	1.263	2.38	0.30

Tabella V-5: Localizzazione geografica e parametri sismici

Utilizzando questi parametri, che modificano lo spettro di progetto, è stata nuovamente effettuata l'analisi di pushover sul modello relativo all'intervento di miglioramento (vedi *Paragrafo 4.3*). In particolare, si nota che l'accelerazione orizzontale massima del terreno a_g risulta inferiore di quasi il 50% rispetto al valore di a_g indicato dalle NTC del 2005 [4] (si passa infatti da 2.453 m/sec² a 1.263 m/sec²).

Sono emersi i seguenti risultati.

N.	Direzione sisma	Carico sismico proporzionale	NTC 2005	NTC 2008
			α_u	α_u
1	+X	Masse	1.176	2.022
2	+X	1° modo	1.163	2.009
3	-X	Masse	1.095	1.870
4	-X	1° modo	1.029	1.759
5	+Y	Masse	1.142	1.921
6	+Y	1° modo	0.999	1.668
7	-Y	Masse	1.146	1.936
8	-Y	1° modo	0.931	1.552

Tabella V-6: Confronto in termini di α_u tra le NTC del 2005 e del 2008

Come si può notare, le verifiche, esplicitate in termini di α_u , risultano adesso tutte soddisfatte, a differenza delle verifiche effettuate sullo stesso modello seguendo le NTC del 2005 [4]. Per cui, secondo le recenti NTC del 2008 [7], l'intervento di miglioramento si rivela sufficiente a garantire l'adeguamento sismico della colonica.

5.3.3 Colonica di Barberino di Mugello

Seguendo le prescrizioni delle NTC 2008 [7] sono stati calcolati i seguenti parametri.

Località	Longitudine	Latitudine	$T_R = 475$		
			a_g [m/sec ²]	F_0	T_c^* [sec]
Barberino di Mugello	11.19	43.98	1.584	2.39	0.30

Tabella V-7: Localizzazione geografica e parametri sismici

Utilizzando questi parametri, che modificano lo spettro di progetto, è stata nuovamente effettuata l'analisi di pushover sul modello relativo all'intervento di miglioramento (vedi *Paragrafo 4.4*). In particolare, si nota che l'accelerazione orizzontale massima del terreno a_g risulta inferiore di circa il 35% rispetto al valore di a_g indicato dalle NTC del 2005 [4] (si passa infatti da 2.453 m/sec² a 1.584 m/sec²).

Sono emersi i seguenti risultati.

N.	Direzione sisma	Carico sismico proporzionale	NTC 2005	NTC 2008
			α_u	α_u
1	+X	Masse	1.242	1.874
2	+X	1° modo	0.715	1.072
3	-X	Masse	1.027	1.540
4	-X	1° modo	0.673	1.004
5	+Y	Masse	1.330	1.971
6	+Y	1° modo	1.324	1.970
7	-Y	Masse	1.358	2.013
8	-Y	1° modo	1.256	1.862

Tabella V-8: Confronto in termini di α_u tra le NTC del 2005 e del 2008

Anche per questo edificio, si nota che le verifiche, esplicitate in termini di α_u , risultano adesso tutte soddisfatte, a differenza delle verifiche effettuate sullo stesso modello seguendo le NTC del 2005 [4]. Per cui, secondo le recenti NTC del 2008 [7], l'intervento di miglioramento si rivela sufficiente a garantire l'adeguamento sismico della colonica.

- CONCLUSIONI -

Le analisi di pushover effettuate hanno confermato che gli interventi di consolidamento realizzati sulle due coloniche hanno effettivamente apportato un miglioramento del comportamento strutturale globale sotto carico sismico. Ciò lo si evince dal confronto numerico in termini di rapporto D_{max} / D_u relativi ai diversi stati (stato attuale e stato migliorato) in cui si trovano le due strutture: nello stato migliorato aumenta il numero di verifiche in cui il rapporto D_{max} / D_u risulta minore di 1, ossia aumenta il numero di verifiche soddisfatte.

Comunque, tali interventi non sono sufficienti a garantire l'adeguamento sismico dei due edifici in quanto le verifiche non sono completamente soddisfatte.

E' stato quindi pensato un intervento di adeguamento poco oneroso dal punto di vista progettuale (applicazione di betoncino armato), il quale però si è rivelato sufficiente solamente per la colonica di Ugnano.

Infine lo studio eseguito alla luce delle recenti NTC del 2008 [7] ha dimostrato che gli interventi di consolidamento realizzati sono sufficienti a garantire l'adeguamento sismico, in quanto la nuova Normativa prevede una più precisa definizione delle zone sismiche che comporta, nel nostro caso, un valore dell'accelerazione orizzontale massima del terreno a_g inferiore rispetto a quello previsto dalle NTC del 2005 [4].

- APPENDICE -
DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA

- COLONICA DI UGNANO -



Foto A-1: Magrone solaio piano terra



Foto A-2: Armatura cordoli di fondazione



Foto A-3: Cordolo di fondazione e bocche di areazione del solaio ventilato



Foto A-4: Cerchiatura e particolare attacco architrave



Foto A-5: Cordolo in acciaio



Foto A-6: Particolare ammorsamento trave in legno



Foto A-7: Nuovo solaio

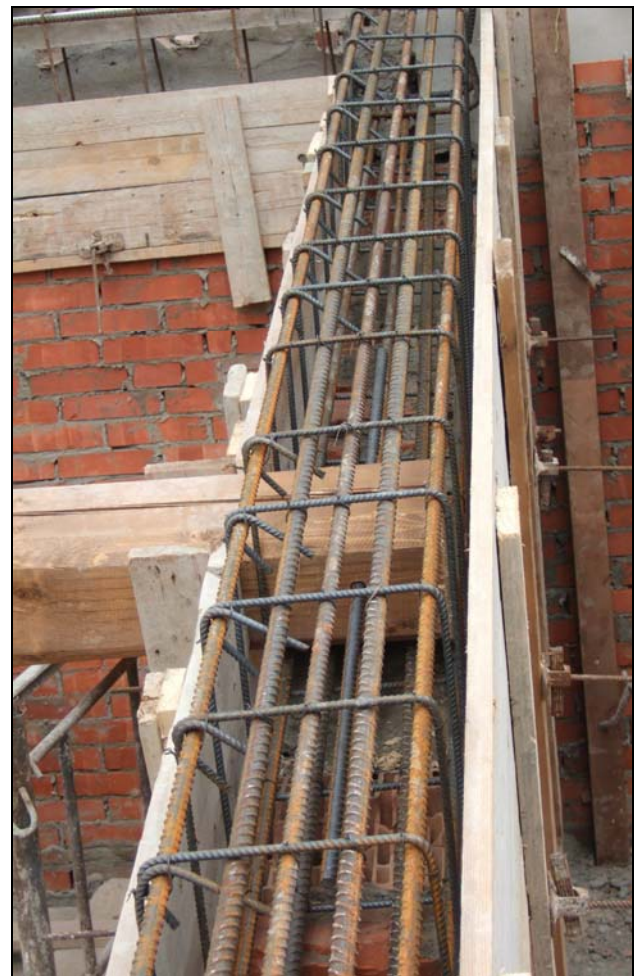


Foto A-8: Armatura dei cordoli della copertura



Foto A-9: Armatura della soletta di copertura



Foto A-10: Getto del cordolo di copertura e particolare ammorsamento trave

- COLONICA DI BARBERINO DI MUGELLO -



Foto A-11: Solaio in voltine originario



Foto A-12: Copertura originaria



Foto A-13: Armatura cordoli di fondazione



Foto A-14: Lato sud durante la fase di cantiere



Foto A-15: Lato ovest durante la fase di cantiere



Foto A-16: Lato nord durante la fase di cantiere



Foto 17: Lato sud durante la fase di cantiere



Foto A-18: Nuova copertura



Foto A-19: Particolare della nuova capriata



Foto A-20: Nuove tamponature al piano terra



Foto A-21: Nuovo soppalco



Foto A-22: Scala soppalco



Foto 15: Nuovi soppalchi

- BIBLIOGRAFIA E RIFERIMENTI NORMATIVI -

- [1] F. Niccolai, "Mugello e Val di Sieve", Multigrafica, Roma 1914 ;
- [2] S. Cattari, E. Curti, A. Falasco, S. Risemini, "Analisi sismica lineare e non lineare degli edifici in muratura", Sistemi Editoriali ;
- [3] Testo integrato dell'Allegato 2 – Edifici – all'Ordinanza 3274 come modificato dall'OPCM 3431 del 3/5/05 "Norme tecniche per il progetto, la valutazione e l'adeguamento sismico degli edifici" ;
- [4] Norme Tecniche per le Costruzioni del 14 settembre 2005 ;
- [5] Società S.T.A. DATA, "Manuale d'uso del software 3MURI", versione 3.1.0 ;
- [6] Decreto Ministeriale 20 Novembre 1987: "Norme tecniche per la progettazione, esecuzione e collaudo degli edifici in muratura e per il loro consolidamento" ;
- [7] Norme Tecniche per le Costruzioni del 14 gennaio 2008 ;
- [8] Legge del 9 Gennaio 1989, n.13: "Disposizioni per favorire il superamento e l'eliminazione delle barriere architettoniche negli edifici privati" .