



**COMUNE DI DERUTA**  
**SETTORE LAVORI PUBBLICI**  
Servizio Edilizia Scolastica e Patrimonio

**PROGETTAZIONE DEFINITIVA/ ESECUTIVA PER IL MIGLIORAMENTO SISMICO DELL'EDIFICIO SCOLASTICO  
SEDE DELLA SCUOLA DELL'INFANZIA E DELLA PRIMARIA - COMUNE DI DERUTA, VIA FRANCESCANI,  
FRAZIONE PONTENUOVO**

**Responsabile dell'Area Lavori Pubblici**  
Geom. Marco Ricciarelli

**Responsabile Unico del Procedimento**  
Geom. Fabio Tamantini

**FIGURE PROFESSIONALI**

**Responsabile di Commessa e delle Attività di Coordinamento della  
Progettazione, Supporto al RUP in fase di Validazione e Gara d'appalto,  
Coordinatore per la Sicurezza in fase di Progettazione**  
Arch. Roberto Di Ramio

**Responsabile Progettazione Impianti Meccanici**  
Ing. Massimo Gerosolimo Porziella

**Responsabile Progettazione Edile ed  
Architettonica**  
Arch. Pietro La Gatta

**Responsabile verifica documentaria, referente Enti, Contabilità**  
Geom. Luca Caroselli

**Co-responsabile Progettazione Edile ed Architettonica**  
Ing. Maurizio Ciarrocchi

**Responsabile CAM**  
Ing. Claudia Viscioni

**Responsabile Progettazione Strutturale**  
Ing. Sebastiano Ortu

**Professionista incaricato nel team per la redazione  
del CSP-giovane professionista**  
Ing. Francesca Orsini

**Co-responsabile Progettazione Strutturale**  
Ing. Daniele Cianchetta

**Responsabile della relazione Geologica**  
Geol. Tiziano Desiderio

**Responsabile Progettazione Impianti Elettrici**  
Ing. Vincenzo Di Cretico

**Consulenti** (nel rispetto dell'art. 91, comma 3 del D.lgs 163/2006 e.s.m.i.)  
Arch. Clelia Dell'Arciprete, Arch. Sara Menna,  
Arch. Michele D'Amico, Arch. Laura Di Scipio

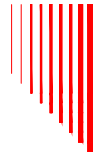
**Capogruppo**



**INSIGHT & Co. S.r.l.**

Via Tiburtina Valeria, 149/1  
65129 Pescara (PE)  
Tel. 085/4159367 - Fax. 085.2192520  
e-mail: direzione@insight.co.it  
PEC: insight@arubapec.it

**Mandante**



**S.A.G.I. S.r.l.**

Società per l'Ambiente,  
la Geologia e l'Ingegneria

Via Pasubio, 20  
63074 San Benedetto del Tronto (AP)  
Tel. e Fax. 0735.757580  
e-mail: info@sagistudio.it  
PEC: info@pec.sagistudio.it

**Mandante**



Via Spaventa, 10  
63039 Sulmona (AQ)  
Tel. 0864.51619 e Fax. 0864.576003  
e-mail: studiotecnico@progettointegrato.it  
PEC: massimo.gerosolimoporziella@ing.pe.eu

**Mandante**



**Geol. Tiziano  
Desiderio**

Strada San Fele, 29/B  
Tel. 347.5780523  
e-mail: studiogeotd@gmail.com  
PEC:

**CODICE**

**Doc.07\_STR\_A**

**SCALA**

**CLASSE**

**Elaborati Documentali**

**TITOLO**

**Relazione Sintetica del Progetto Strutturale**



## INDICE

1	INTRODUZIONE .....	4
2	INQUADRAMENTO DEL FABBRICATO .....	4
3	DESCRIZIONE GENERALE DELL'OPERA .....	5
4	NORMATIVA DI RIFERIMENTO .....	6
5	DOCUMENTAZIONE DISPONIBILE SULLA STRUTTURA .....	7
5.1	Informazioni sulla struttura .....	7
5.2	Caratteristiche meccaniche della muratura ante - operam .....	7
5.3	Caratteristiche meccaniche della muratura post - operam .....	7
5.4	Geologia .....	8
6	AZIONI SULLE COSTRUZIONI .....	10
6.1	Azioni permanenti (Ante - Operam) .....	10
6.2	Azioni permanenti (Post - Operam) .....	10
6.3	Sovraccarichi e azioni variabili .....	10
6.4	Azione del sisma .....	10
7	COMBINAZIONI DELLE AZIONI .....	12
8	METODO DI VALUTAZIONE IN CONDIZIONI SISMICHE .....	12
8.1	Analisi globale .....	12
8.2	Analisi dei meccanismi locali di collasso .....	13
8.3	Verifica a pressoflessione fuori piano .....	13
9	DESCRIZIONE DEGLI INTERVENTI PREVISTI .....	14
10	SINTESI DEI RISULTATI .....	16
10.1	Verifiche globali in condizioni sismiche .....	16
10.1.1	Risultati analisi ante operam .....	17
10.1.2	Risultati analisi post operam .....	25
10.1.1	.....	33
10.1.2	.....	33
10.1.3	.....	33
10.1.4	.....	33
10.2	Verifica dei cinematismi di collasso: .....	33
10.2.1	Risultati ante operam .....	33



10.2.2	Risultati post operam .....	39
10.3	Verifica a pressoflessione fuori piano: .....	45
10.3.1	Sintesi dei risultati.....	46
10.4	Verifiche a carichi verticali in condizioni statiche: .....	47
10.4.1	Sintesi dei risultati.....	48
11	ELEMENTI NON STRUTTURALI ED IMPIANTI.....	49
12	CONSIDERAZIONI SULLE FONDAZIONI.....	49
13	SOFTWARE UTILIZZATI.....	50
13.1	Codice di calcolo, solutore e affidabilità dei risultati .....	50
13.2	Valutazione dei risultati e giudizio motivato sulla loro accettabilità.....	50
14	CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE .....	51



## **RELAZIONE SINTETICA DEL PROGETTO STRUTTURALE**

### **1 INTRODUZIONE**

Il presente elaborato costituisce parte integrante del progetto definitivo – esecutivo per il miglioramento sismico dell'edificio scolastico sede della scuola dell'infanzia e della primaria sito in via Franciscana n.79, nella frazione Pontenuovo del Comune di Deruta in provincia di Perugia.

Nel seguito saranno descritte le caratteristiche principali della struttura in oggetto, del contesto edilizio, urbanistico e geomorfologico del sito in cui essa ricade. Saranno descritte inoltre, in maniera sintetica, le procedure adottate per l'analisi del manufatto, si riporteranno tutti gli aspetti salienti e le criticità emerse nonché le strategie che, in accordo con la committenza, saranno adottate per la riduzione e/o risoluzione delle vulnerabilità individuate. Saranno infine riportati in maniera chiara e sintetica i risultati più significativi legati alla vulnerabilità della struttura nelle configurazioni ante e post-intervento.

### **2 INQUADRAMENTO DEL FABBRICATO**

L'edificio scolastico della frazione di Pontenuovo, sorge lungo via Franciscana (al civico 79), la via di maggior scorrimento del paese, in una posizione pressoché centrale rispetto allo sviluppo del centro abitato. È circondata sui lati Nord-Est, Sud-Est e Sud-Ovest da edifici sorti nei primi anni del '900 e negli anni '70, mentre il fronte Nord-Ovest è rivolto verso il fiume Tevere.

Dal punto di vista geografico il fabbricato è individuato dalle seguenti coordinate (WGS 84): Lat.: 43,009105°; Lon.:12,428840°, la sua altitudine rispetto al livello del mare medio è pari a 175 metri.

L'Immobile è censito in catasto al foglio N. 4 con la particella n.75 del comune di Deruta.



Figura 1: Inquadramento - Lat.: 43,009105°; Lon.: 12,428840°; H=175m s.l.m.

### 3 DESCRIZIONE GENERALE DELL'OPERA

Come visibile dagli elaborati grafici di rilievo l'edificio scolastico in esame possiede un'architettura tipica degli anni '50, questa presenta una forma in pianta compatta pressoché rettangolare, seppur con un perimetro più articolato con presenza corpi sporgenti e lievi rientranze.

La pianta dell'edificio presenta nelle due direzioni principali, dimensioni massime pari a circa 28 m x 13 m, per un'altezza complessiva fuori terra pari a circa 12 metri.

Funzionalmente il fabbricato si presenta suddiviso su tre livelli, dei quali il primo parzialmente interrato, all'interno dei quali sono ospitate le aule per lo svolgimento delle lezioni della scuola primaria e dell'infanzia, e i relativi servizi connessi (bagni, mensa, palestra ecc.).

Dal punto di vista strutturale, il fabbricato possiede una struttura portante in muratura costituita prevalentemente da conci sbozzati in pietra calcarea, disposti su due paramenti accostati. Lungo il perimetro del fabbricato sono presenti, su tutti i livelli, delle ampie finestrate, praticamente quasi a nastro, intervallate da dei pilastri in muratura rivestiti in mattoni pieni. Gli elementi in mattoni pieni sono ricorrenti all'interno del fabbricato, dove sono stati utilizzati per la realizzazione di alcuni setti interni in





corrispondenza del vano scala, e sono presenti anche alle angolate ed in corrispondenza dell'atrio d'ingresso della scuola con delle colonne di dimensione pari a circa 50 cm x 50 cm realizzate in mattoni pieni.

Le indagini visive e strumentali condotte hanno accertato che gli impalcati sono costituiti da solai piani tipo SAP, (la cui sigla sta ad indicare Senza Armatura Provvisoria) i quali erano largamente in uso dalla prima metà del '900 fino agli anni '60. La caratteristica di questo solaio è quella di essere formato da travetti ottenuti mediante l'assemblaggio di elementi in laterizio forato disposti di testa uno di seguito all'altro, che presentavano delle scanalature dove venivano alloggiati dei tondini d'acciaio lisci poi ricoperti da malta cementizia. Tali travetti, venivano quindi posti in opera affiancati, quindi si procedeva ad un getto di completamento in calcestruzzo che andava a riempire gli interstizi tra un travetto e l'altro.

Anche la copertura presenta la medesima tipologia costruttiva con una geometria a falde inclinate, e manto di copertura in tegole marsigliesi. Un controsoffitto realizzato da travetti tipo SAP e tavelloni, divide la copertura dal terzo livello.

Il collegamento verticale tra i vari livelli è ottenuto per mezzo di una scala situata all'estremità Nord-Est del fabbricato, realizzata con gradini in c.a. aventi schema strutturale a mensola dalle murature d'ambito. È altresì presente una scala esterna in c.a. avente funzione di scala di emergenza, la quale tuttavia è stata realizzata successivamente all'edificio scolastico e presenta una struttura indipendente da quella dell'edificio in oggetto.

Per quanto riguarda le fondazioni, dalle informazioni acquisite si ipotizza la presenza di travi continue in conglomerato cementizio armato.

In sintesi, le caratteristiche principali della struttura portante sono:

- Fondazioni a cordolo continue in conglomerato cementizio armato;
- Struttura portante in conci sbozzati di pietra calcarea e nucleo interno;
- Presenza di elementi in mattoni pieni;
- Piano terra con pavimento contro terra rialzato mediante massicciata e massetto;
- Solai di calpestio, sottotetto e tetto in latero-cemento, tipo SAP;
- Scale realizzate mediante gradini in c.a. a sbalzo;
- Scala esterna di sicurezza in c.a. svincolata rispetto all'edificio principale.

#### 4 **NORMATIVA DI RIFERIMENTO**

Nello sviluppo della progettazione si farà riferimento alle seguenti normative:

- D. M. 17/01/2018 – Aggiornamento delle Norme Tecniche per le Costruzioni;
- Circ. Ministero Infrastrutture e Trasporti 21 gennaio 2019, n. 7 Istruzioni per l'applicazione dell'“Aggiornamento delle norme tecniche per le costruzioni” di cui al D. M. 17 gennaio 2018;



## 5 DOCUMENTAZIONE DISPONIBILE SULLA STRUTTURA

### 5.1 Informazioni sulla struttura

Per quanto riguarda la conoscenza della struttura relativamente alla geometria tutte le informazioni sono state reperite mediante rilievo geometrico-strutturale approfondito degli ingombri interni ed esterni e successiva restituzione grafica.

Per la definizione delle caratteristiche meccaniche dei materiali e del livello di conoscenza si farà riferimento alle informazioni desunte dai risultati della campagna di indagini condotta nell'ambito del "Servizio di verifica di Vulnerabilità Sismica di livello 2 da eseguire su edifici scolastici ammessi a finanziamento con Decreto del Direttore Generale per interventi in materia di edilizia scolastica, per la gestione dei fondi strutturali per l'istruzione e per l'innovazione digitale 18 luglio 2018, n. 363". In particolare, si farà riferimento ai seguenti elaborati che si intendono integralmente richiamati, e fanno parte del presente progetto esecutivo.

- **TAV.1** Piante prospetti stato attuale, rilievo strutturale e fotografico dei materiali e posizionamento delle prove;
- **TAV.A1** Indagini sperimentali;
- **TAV.DF** Documentazione fotografica.

L'entità delle indagini è stata determinata in accordo con quanto previsto al §C8.5.4 della circolare ministeriale del 21 gennaio 2019, e calibrata al fine di raggiungere per la tipologia muraria prevalente, un **livello di conoscenza pari a LC2**, in virtù del livello di conoscenza raggiunto, è stato assunto il seguente fattore di confidenza: **FC = 1,20**. In particolare, è stato eseguito un rilievo geometrico approfondito dell'intera struttura, completato da prove in-situ ed indagini in-situ estese.

### 5.2 Caratteristiche meccaniche della muratura ante - operam

Per quanto riguarda la classificazione della muratura questa è stata eseguita in riferimento alla tabella C8.5.I della circolare ministeriale del 21 gennaio 2019. Per le murature costituite da elementi artificiali, non contemplati nella precedente tabella, per la determinazione delle caratteristiche meccaniche, si è fatto riferimento alle indicazioni riportate al §11.10.3 delle NTC 2018.

Si riporta nel seguito una tabella con le grandezze caratteristiche delle murature individuate e utilizzate nel calcolo opportunamente corrette.

ID	DESCRIZIONE	Coefficiente Correttivo		$f_m$ [N/cm <sup>2</sup> ]	$\tau_0$ [N/cm <sup>2</sup> ]	$f_{v0}$ [N/cm <sup>2</sup> ]	E [N/mm <sup>2</sup> ]	G [N/mm <sup>2</sup> ]	w [kN/m <sup>3</sup> ]
M - A	Muratura a conci sbozzati, con paramenti di spessore disomogeneo LC2	-		200	4,3	-	1230	410	20
M - B	Muratura in mattoni pieni e malta di calce LC2	-		345	9,0	20,0	1500	500	18

### 5.3 Caratteristiche meccaniche della muratura post - operam

Per quanto riguarda gli interventi sulle murature, saranno eseguite iniezioni di miscele leganti in corrispondenza della muratura a conci sbozzati, e stilatura armata dei giunti di malta sia per la muratura a conci sbozzati (in aggiunta alle iniezioni), sia per la muratura in mattoni pieni.

A seguito degli interventi saranno adottati, nel modello di calcolo post - operam, i seguenti valori delle caratteristiche meccaniche della muratura:





ID	DESCRIZIONE	Coefficiente Correttivo		$f_m$ [N/cm <sup>2</sup> ]	$\tau_0$ [N/cm <sup>2</sup> ]	$f_{v0}$ [N/cm <sup>2</sup> ]	E [N/mm <sup>2</sup> ]	G [N/mm <sup>2</sup> ]	w [kN/m <sup>3</sup> ]
MA-I	Muratura a conci sbozzati, con paramenti di spessore disomogeneo LC2, consolidata con iniezioni di miscele leganti	1,7	Iniezione di miscele leganti	340	7,31	-	2091	697	20
MA-I-S	Muratura a conci sbozzati, con paramenti di spessore disomogeneo LC2, consolidata con iniezioni di miscele leganti, e stilatura armata	1,7	Iniezione di miscele leganti	510	10,97	-	2613,75	871,25	20
		1,5	Ristilatura armata con connessione dei paramenti (1,25 per i moduli elastici)						
MB-S	Muratura in mattoni pieni e malta di calce LC2	1,2	Ristilatura armata con connessione dei paramenti (1,1 per i moduli elastici)	414	10,8	24	1650	550	18

## 5.4 Geologia

Le informazioni sulla natura litostratigrafica del sito nonché sulla sismicità dei terreni, sono state desunte dai risultati delle indagini geotecniche e geofisiche condotte su indicazione del Dott. Geol. Tiziano Desiderio, e riportati in maniera estensiva nella relazione geologica che costituisce parte integrante del presente progetto e cui si rimanda per informazioni più dettagliate.

Nel seguito è riportata, la successione schematica dei profili di terreno individuati per l'area di intervento:

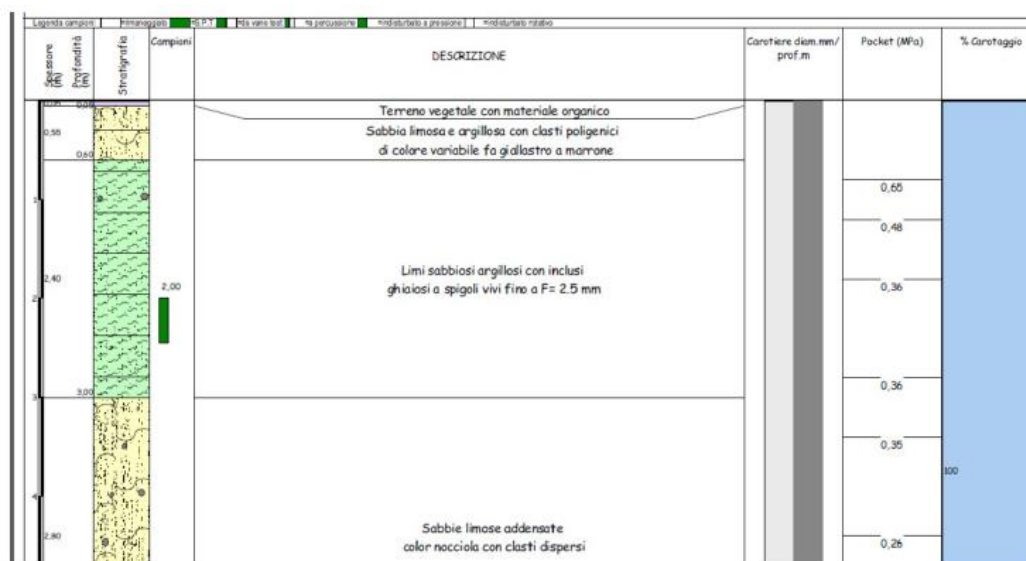


Figura 2: Successione schematica dei profili stratigrafici di terreno presenti nell'area di intervento.

I parametri meccanici dei diversi profili di terreno sono stati determinati tramite N.2 prove DPSH (eseguite una a monte ed una a valle del fabbricato), e tramite analisi di laboratorio su un campione di terreno indisturbato prelevato alla quota di circa 2,00 metri dal piano campagna. Si riportano i risultati delle prove condotte:





**Prova DPSH 1 (lato valle del fabbricato)**

Committente:	Insight&Co. S.r.l.									
Località:	Ponte Nuovo - Comune di Torgiano (PG)							Quota s.l.m.(m):		
Data inizio cantiere:	8 luglio 2022		Data fine cantiere:	8 luglio 2022		Sigla:	DPSH 1			
Attrezzatura:	Pagani TG 63/200									
Coordinate geografiche:										
TABELLA RIASSUNTIVA DEI PARAMETRI GEOTECNICI										
N.	Prof.(m)	Nspt eq.	Phi picco(°)	Phi c.v.(°)	Gamma(kg/mc)	Dr %	Cu(kg/cmq)	EY(kg/cmq)	Eed.(kg/cmq)	
1	1,1	10	30,0	27,8	1800,0	35,0	0,67	270,28	45,0	
2	5,9	5	28,3	28,3	1733,0	18,0	0,34	105,73	22,5	
3	6,3	71	41,0	34,7	1900,0	85,0	4,76	4014,24	319,5	

**Prova DPSH 2 (lato monte del fabbricato)**

Committente:	Insight&Co. S.r.l.									
Località:	Ponte Nuovo - Comune di Torgiano (PG)							Quota s.l.m.(m):		
Data inizio cantiere:	8 luglio 2022			Data fine cantiere:	8 luglio 2022			Sigla:	DPSH 2	
Attrezzatura:	Pagani TG 63/200									
Coordinate geografiche:										
TABELLA RIASSUNTIVA DEI PARAMETRI GEOTECNICI										
N.	Prof.(m)	Nspt eq.	Phi picco(°)	Phi c.v.(°)	Gamma(kg/mc)	Dr %	Cu(kg/cmq)	EY(kg/cmq)	Eed.(kg/cmq)	
1	1,7	11	30,3	27,8	1905,0	37,0	0,74	309,56	49,5	
2	8,1	5	28,3	28,3	1833,0	18,0	0,34	105,73	22,5	
3	8,5	94	41,0	33,7	2000,0	85,0	6,3	4454,86	423,0	

Dal **campione indisturbato**, prelevato alla profondità di circa **2,00 m dal p.c.** si sono ottenuti i seguenti parametri:

- Peso di volume: **20,6 kN/m<sup>3</sup>**;
- Peso di volume secco **17,7 kN/m<sup>3</sup>**;
- Peso di volume saturo **20,6 kN/m<sup>3</sup>**;
- Angolo di attrito di picco  **$\Phi' = 34,7^\circ$** ;
- Coesione  **$C' = 0,085 \text{ kg/cm}^2$** ;
- Coesione non drenata  **$C_u = 0,940 \text{ kg/cm}^2$** ;

Dall'analisi granulometrica, il terreno esaminato rientra nel campo di possibile liquefazione. Sono state pertanto eseguite le opportune verifiche di liquefazione dei terreni condotte sia secondo il **Metodo di Ohsaki (1970)**, che secondo il **Metodo di Kishida (1969)**. La verifica (riportata nella relazione geologica allegata) ha restituito l'esito che il terreno di sedime **non risulta potenzialmente liquefacibile**.

Per quanto riguarda la sismicità del terreno, sulla base delle indagini effettuate, si adotterà una **categoria stratigrafica "B"** ai sensi della NTC 2018. Per quanto riguarda le caratteristiche topografiche del sito, l'area in esame appartiene alla categoria topografica **T1: Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media  $\leq 15^\circ$** .



## 6 AZIONI SULLE COSTRUZIONI

### 6.1 Azioni permanenti (Ante - Operam)

Nella tabella seguente si riportano i carichi permanenti considerati nei calcoli:

ID	DESCRIZIONE	G <sub>1,k</sub> [daN/m <sup>2</sup> ]	G <sub>2,k</sub> [daN/m <sup>2</sup> ]
A (a)	Solaio di piano tipo SAP	250	350
B (a)	Solaio tipo SAP di copertura	250	260
C (a)	Scala in c.a. (Carichi in proiezione piana)	620	145

### 6.2 Azioni permanenti (Post - Operam)

A seguito degli interventi, le azioni permanenti considerate sulla costruzione saranno le seguenti:

ID	DESCRIZIONE	G <sub>1,k</sub> [daN/m <sup>2</sup> ]	G <sub>2,k</sub> [daN/m <sup>2</sup> ]
D (p)	Nuovo solaio di piano in acciaio e lamiera grecata	220	340
E (p)	Nuovo solaio di copertura in acciaio e lamiera grecata	220	230

### 6.3 Sovraccarichi e azioni variabili

Sulla base delle destinazioni d'uso previste e dell'ubicazione del sito sono state considerate, in accordo a quanto riportato sulle NTC 2018, le seguenti azioni variabili, con i relativi coefficienti di combinazione:

CATEGORIA	Descrizione	Q <sub>k</sub> [daN/m <sup>2</sup> ]	ψ <sub>0,j</sub>	ψ <sub>2,j</sub>
C1	Ambienti suscettibili di affollamento ( <i>scuole</i> )	300	0,7	0,6
C	Ambienti suscettibili di affollamento ( <i>balconi e scale comuni</i> )	400	0,7	0,6
H	Coperture accessibili per sola manutenzione	50	0,0	0,0
NEVE	Neve - H = 175 m s.l.m. (Deruta)	80	0,5	0,0
VENTO	Pressione massima sulle superfici orizzontali	66	0,6	0,0

### 6.4 Azione del sisma

L'azione sismica è stata valutata sulla base di quanto riportato al §3.2 delle NTC 2018, per gli stati limite considerati, facendo riferimento ai seguenti parametri:

VITA NOMINALE	CLASSE D'USO	CU	VR	CATEGORIA DI SOTTOSUOLO	CATEGORIA TOPOGRAFICA	LATITUDINE (WGS 84)	LONGITUDINE (WGS 84)
50 anni	III	1,5	75 anni	B	T1	43.009105	12.428840



L'azione sismica è definita per ciascuno dei punti del reticolo di riferimento che copre l'intero territorio nazionale con una griglia quadrata avente lato pari a 10 km. In funzione delle coordinate geografiche (latitudine, longitudine), sono forniti (anche per interpolazione) i parametri necessari a tracciare lo spettro. Tali parametri sono:

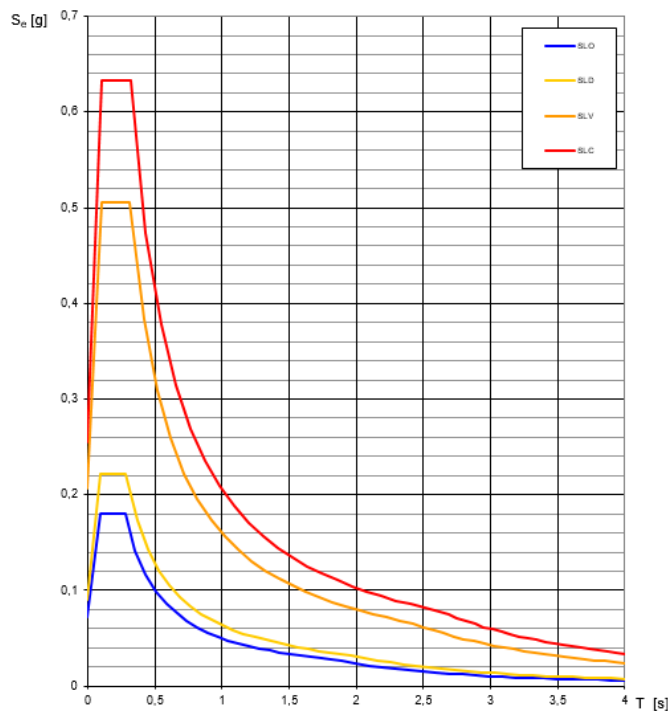
- $a_g$ : accelerazione orizzontale massima del terreno;
- $F_0$ : valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale;
- $T_c^*$ : periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale.

La terna di valori qui descritta è definita per un periodo di ritorno assegnato ( $T_R$ ), in base alla probabilità di superamento di ciascuno degli stati limite. Tali valori, saranno pertanto definiti per ciascuno degli stati limite esaminati.

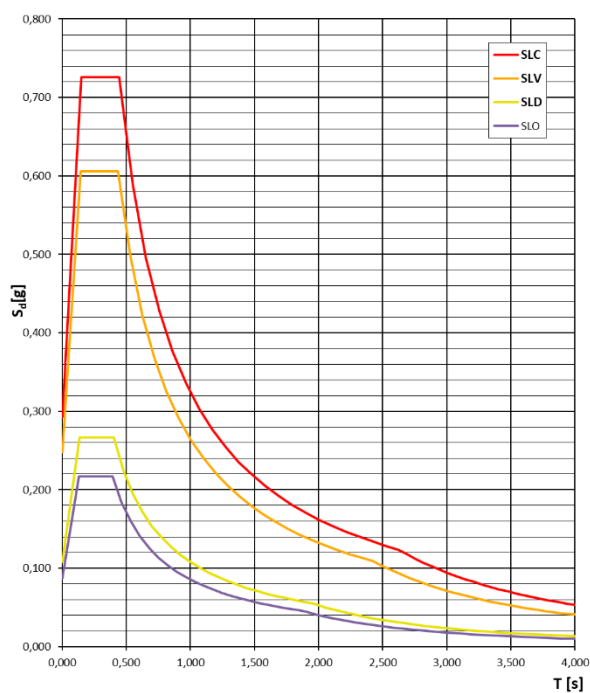
Gli spettri di risposta per gli stati limite considerati saranno pertanto definiti dai seguenti parametri:

STATO LIMITE CONSIDERATO	$a_g$	$F_0$	$T_c^*$	$T_R$	$P_{VR}$	$S_s$	$S_T$	$T_B$	$T_c$	$T_D$
SLC	0,255	2,479	0,324	1462	5%	1,147	1,000	0,149	0,447	2,621
SLV	0,207	2,449	0,315	712	10%	1,198	1,000	0,146	0,437	2,427
SLD	0,090	2,458	0,286	75	63%	1,200	1,000	0,135	0,404	1,962
SLO	0,073	2,480	0,277	45	81%	1,200	1,000	0,128	0,385	1,845

Di seguito si riportano le immagini degli spettri di risposta per il sito in esame:



(a)



(b)



Figura 3: (a) Spettri di risposta elastici su suolo rigido orizzontale per il sito in esame.  
(b) Spettri di risposta elastici su suolo di categoria B e categoria topografica T1 per il sito in esame.

## 7 COMBINAZIONI DELLE AZIONI

Le azioni precedentemente descritte saranno combinate ai fini delle verifiche degli stati limite considerati, secondo quanto previsto al §2.5.3 delle NTC 2018. In particolare, si considereranno le seguenti combinazioni:

- **SLU:**  $1,3 \cdot G_{1,k} + 1,5 \cdot G_{2,k} + 1,5 \cdot Q_{1,k} + \sum_{j=2}^n \psi_{0,j} \cdot Q_j$ ;
- **SLV/SLD:**  $E + G_{1,k} + G_{2,k} + \sum_j \psi_{2,j} \cdot Q_j$ ;
- **SLE/SLO:**  $G_{1,k} + G_{2,k} + Q_{1,k} + \sum_j \psi_{0,j} \cdot Q_j$ .

Gli effetti dell'azione sismica saranno valutati tenendo conto delle masse associate ai seguenti carichi gravitazionali:  $G_{1,k} + G_{2,k} + \sum_j \psi_{2,j} \cdot Q_j$ .

## 8 METODO DI VALUTAZIONE IN CONDIZIONI SISMICHE

### 8.1 Analisi globale

Per la valutazione del comportamento globale della struttura nei confronti delle azioni sismiche, sarà adottato uno dei metodi descritti al §7.3 delle NTC 2018, in particolare sarà adottata una **analisi di tipo statico non lineare**. Le verifiche si concretizzano nel confronto tra la curva di capacità per le diverse combinazioni previste e la domanda prevista dalla normativa. La curva di capacità è individuata mediante un diagramma spostamento-taglio massimo alla base.

L'analisi, eseguita assumendo come parametro di controllo lo spostamento di un punto di riferimento detto "nodo di controllo", procede al calcolo della distribuzione di forze che genera il valore dello spostamento richiesto. L'analisi prosegue fino a che non si verifica il decadimento del taglio alla base del 20% rispetto al suo valore di picco. Lo spostamento registrato dal nodo di controllo per ciascuno step consente il tracciamento della curva di capacità. La curva di capacità sarà rappresentata, ai fini delle verifiche, da una curva bilineare di un sistema equivalente ad un grado di libertà (SDOF). Il primo tratto della curva bilineare si ottiene intersecando la curva di capacità, partendo dall'origine, in corrispondenza del 70% del valore di picco, il secondo tratto, orizzontale, deriverà dall'equivalenza delle aree dei diagrammi del sistema reale e di quello equivalente. La determinazione della curva relativa al sistema equivalente permette di determinare il periodo con cui ricavare lo spostamento massimo richiesto dal sisma, secondo gli spettri precedentemente definiti.

Le forze orizzontali che saranno applicate per il tracciamento delle curve di capacità saranno proporzionali, in accordo a quanto previsto dalla norma, ad una distribuzione principale e ad una secondaria così definite:

- **Prima distribuzione del "Gruppo 1"** (§7.3.4.2 delle NTC 2018), ovvero proporzionale alle forze statiche definite al §7.3.3.2 delle NTC 2018 e definite nel software di analisi come "Forze Statiche":

$$F_i = \frac{F_h \cdot Z_i \cdot W_i}{\sum_j Z_j W_j}$$

- **Prima distribuzione del "Gruppo 2"** (§7.3.4.2 delle NTC 2018), ovvero distribuzione uniforme di forze, da intendersi come derivata da una distribuzione uniforme di accelerazioni lungo l'altezza, e definite nel software di analisi come "uniforme":



$$F_i = \frac{m_i}{\sum_i m_i}$$

Ciascuna delle distribuzioni di forze sarà applicata secondo ciascun verso di due direzioni mutuamente ortogonali, considerando anche la presenza di una eccentricità accidentale dei carichi pari al 5% della dimensione massima del manufatto nella direzione considerata. Si avrà così un totale di 24 combinazioni di calcolo da utilizzare per le verifiche in condizioni sismiche.

Occorre precisare che l'introduzione dell'eccentricità accidentale dei carichi può essere condotta senza essere condizionati dal tipo di vincolo di piano utilizzato nelle analisi (piano rigido o piano deformabile), in quanto il programma di calcolo svolge tale operazione applicando un coefficiente  $\alpha$  comune a tutte le masse di piano, il quale viene calcolato in modo da ottenere una traslazione del baricentro delle masse nella posizione richiesta

Le analisi non lineari saranno condotte attraverso l'impiego di un software di calcolo agli elementi finiti.

Per quanto riguarda il modello agli elementi finiti, il software discretizza la struttura modellata tridimensionalmente in macroelementi, sostanzialmente di due tipologie, maschi murari e fasce di piano, collegati attraverso dei nodi rigidi che vanno quindi a formare un telaio equivalente. I solai sono modellati come elementi finiti a membrana ortotropa a 3 nodi con due gradi di libertà, la cui rigidità è determinata in automatico dal software di calcolo sulla base di un modulo elastico parallelo all'orditura, uno perpendicolare all'orditura e di un modulo di elasticità tangenziale, determinati sulla base della qualità e della consistenza delle strutture costituenti l'orizzontamento.

## 8.2 Analisi dei meccanismi locali di collasso

Per quanto riguarda l'analisi dei meccanismi locali di collasso, questi sono stati condotti attraverso l'approccio cinematico, la valutazione della sicurezza allo SLV è stata condotta mediante verifica semplificata con fattore di struttura  $q$  (**analisi cinematica lineare**), per le verifiche si è fatto riferimento al **§C8.7.1.2.1** della circolare ministeriale del 21 gennaio 2019, in particolare alla relazione **[C8.7.1.1]**.

In accordo a quanto precedentemente richiamato, è stato adottato, per le verifiche, un fattore di struttura  **$q=2$** .

## 8.3 Verifica a pressoflessione fuori piano

Per l'esecuzione delle verifiche a pressoflessione fuori piano sui maschi murari, è stata svolta sui singoli elementi una **analisi statica lineare**. In accordo a quanto previsto al **§7.8.1.5.2** delle NTC 2018 le sollecitazioni sono state determinate applicando le forze equivalenti indicate al **§7.2.3** per gli elementi strutturali secondari e non strutturali, assumendo un fattore di struttura dell'elemento  **$q_a=3$** . Calcolate le sollecitazioni, le verifiche a pressoflessione saranno condotte secondo la relazione **[7.8.2]** riportata al **§7.8.2.2.1** delle NTC 2018, impiegata per le verifiche a pressoflessione nel piano, nella quale saranno invertiti " $l$ " (*lunghezza della parete*) e " $t$ " (*spessore della parete*) coerentemente con la direzione del momento flettente che sollecita la parete.





## 9 DESCRIZIONE DEGLI INTERVENTI PREVISTI

La strategia di intervento proposta è stata stabilita, a valle di uno studio suddiviso in vari step. La prima fase ha avuto come finalità la conoscenza dell'edificio. In questa fase si è provveduto al rilievo geometrico dell'intero manufatto, ed all'acquisizione dei risultati delle indagini geologiche e geotecniche, oltre che a quelle sui materiali e sulle tecnologie costruttive. Sono inoltre stati effettuati gli opportuni sopralluoghi in sito volti a chiarire i vari aspetti legati alla conoscenza della struttura. Il tutto è stato calibrato al fine di ottenere un livello di conoscenza, pari a **LC2**.

La fase successiva è stata dedicata all'analisi strutturale del manufatto, la quale è stata svolta da un lato considerando il fabbricato nella sua interezza, anche ricorrendo all'ausilio di modelli di calcolo tridimensionali, e dall'altro analizzando le criticità locali riscontrate e risultanti dai sopralluoghi in sito.

A valle delle analisi si è passati alla progettazione dell'intervento strutturale. Questo è stato stabilito con la finalità di ridurre, e laddove possibile eliminare, le criticità risultanti dalle analisi, e calibrato in modo tale da ottimizzare le risorse disponibili.

Dalla verifica globale del manufatto, come tra l'altro ci si attendeva, è emersa una importante carenza legata alla qualità della muratura base. L'intervento principale pertanto sarà incentrato nel consolidamento della stessa. In quest'ottica, in prima battuta, su ambo i lati della muratura, si procederà alla rimozione degli intonaci, alla scarnitura profonda dei giunti di malta (in modo da rimuovere tutto il materiale incoerente ed ammalorato) ed al successivo rinzafo con malte tipologicamente compatibili con il supporto presente. Questo intervento conferirà alla muratura un discreto grado di compattezza e andrà a mitigare i fenomeni di degrado che interessano le porzioni superficiali di malta. Successivamente, per la muratura in pietra sarà eseguita l'iniezione di miscele leganti con l'impiego di malte a base di calce in modo da riempire i vuoti presenti all'interno del nucleo murario.

Inoltre, sui prospetti esterni, in corrispondenza degli elementi verticali che dividono le finestrate a nastro, sarà eseguita 8in aggiunta a quanto già previsto, una ristilatura armata dei giunti di malta, con connessione trasversale, tale intervento sarà esteso cielo-terra per questi elementi. Anche per le colonne in mattoni pieni presenti all'ingresso dell'edificio, saranno consolidate con la tecnica della ristilatura armata.

I solai presentano un'elevata vulnerabilità insita nella tecnologia costruttiva con la quale sono stati realizzati. I solai tipo SAP, infatti, presentano un bassissimo spessore di copriferro in corrispondenza delle armature inferiori, che sono quindi esposte a fenomeni di degrado e corrosione per carbonatazione del calcestruzzo. Inoltre, la struttura del travetto in laterizio forato rende assai oneroso e di esito incerto, un eventuale intervento di consolidamento. Pertanto, visto anche l'uso cui la struttura è destinata, si è deciso di procedere con la sostituzione di tutti i solai di piano e della copertura, con l'eccezione del corpo scala, realizzato in c.a., il quale non manifesta particolari criticità.

I nuovi solai avranno una struttura costituita da travi metalliche con sovrapposta lamiera grecata con soletta collaborante in c.a. dello spessore di 5 cm (oltre l'altezza della lamiera).

I nuovi solai avranno un comportamento rigido nel loro piano e saranno dotati di accorgimenti tali da permettere un efficace collegamento con le pareti. Questo intervento riuscirà a garantire una migliore ripartizione delle azioni orizzontali ed un buon comportamento scatolare al fabbricato, oltre che un miglioramento della performance degli impalcati dal punto di vista statico, sia in condizioni limite che in condizioni di esercizio.



Per migliorare il comportamento scatolare, inoltre, saranno inseriti, ove possibile, tiranti in acciaio e saranno realizzati una serie di cordoli sommitali in c.a.

Infine, a livello locale, si procederà ad una serie di interventi quali la ripresa delle lesioni mediante scuci – cucì, la realizzazione di cerchiature metalliche opportunamente ammorsate alle murature.

In sintesi, gli interventi possono essere raggruppati nelle seguenti tipologie:

- Riparazione e consolidamento mediante scarnitura profonda e stilatura dei giunti.
- Iniezioni di malta a base di calce;
- Ristilatura armata dei giunti di malta con connessione trasversale dei paramenti;
- Riparazione e consolidamento di tipo locale mediante tecnica del cucì e scuci;
- Riduzione delle criticità locali mediante l'inserimento di cerchiature metalliche e catene;
- Inserimento di cordoli di coronamento in c.a. per un efficace collegamento delle nuove coperture alle strutture verticali e tra le pareti;
- Demolizione e ricostruzione degli orizzontamenti e delle coperture con nuovi solai in acciaio e lamiera grecata collaborante;



## 10 SINTESI DEI RISULTATI

### 10.1 Verifiche globali in condizioni sismiche

È stata eseguita sulla struttura in esame l'analisi di vulnerabilità sismica sia nella condizione ante - operam che post - operam, secondo le modalità precedentemente descritte. Le analisi sono state svolte attraverso un modello di calcolo agli elementi finiti, realizzato con il software 3Muri del quale sono riportate delle viste assonometriche.

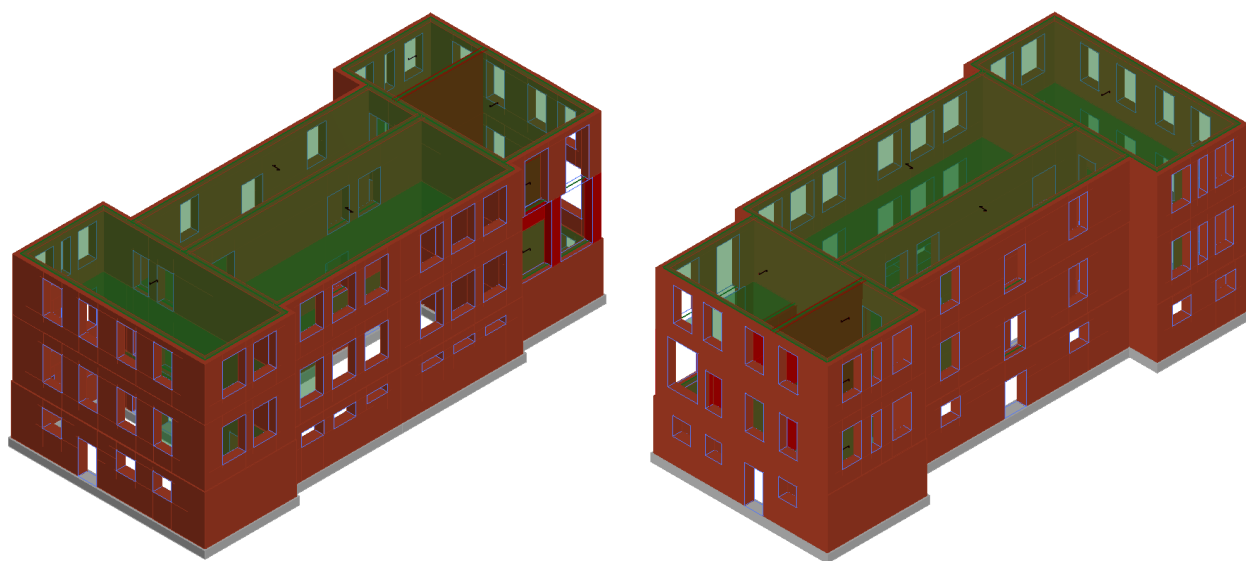


Figura 4: Viste assonometriche del modello di calcolo

In particolare, sono state svolte le seguenti verifiche:

#### Stato limite di Collasso (SLC):

$$D_{max}^{SLC} \leq D_u^{SLC}$$

$D_{max}^{SLC}$ : Spostamento massimo richiesto dalla normativa individuato dallo spettro elastico.

$D_u^{SLC}$ : Spostamento massimo offerto dalla struttura corrispondente al minore tra:

- Il valore di taglio di base residuo pari all'80% di quello massimo;
- Il valore corrispondente al raggiungimento della soglia limite della deformazione angolare a SLC in tutti i maschi murari verticali di qualunque livello in una qualunque parete ritenuta significativa ai fini della sicurezza.

$$q^* < 4$$

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

#### Stato limite Ultimo (SLV):



$$D_{max}^{SLV} \leq D_u^{SLV}$$

$D_{max}^{SLV}$ : Spostamento massimo richiesto dalla normativa individuato dallo spettro elastico;

$D_u^{SLV}$ : Spostamento massimo offerto dalla struttura individuato in corrispondenza di  $0,75 \cdot D_u^{SLC}$ .

$$q^* < 3$$

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

#### Stato limite di Danno (SLD):

$$D_{max}^{SLD} \leq D_u^{SLD}$$

$D_{max}^{SLD}$ : Spostamento massimo richiesto dalla normativa, calcolato in base allo spettro sismico definito per lo stato limite di danno;

$D_u^{SLD}$ : Spostamento minore tra:

- quello corrispondente al limite elastico della bilineare equivalente definita a partire dallo spostamento ultimo a SLC;
- quello corrispondente al raggiungimento della resistenza massima a taglio in tutti i maschi murari verticali in un qualunque livello di una qualunque parte ritenuta significativa ai fini dell'uso della costruzione (e comunque non prima dello spostamento per il quale si raggiunge un taglio alla base pari a 0,7500 del taglio di base massimo).

#### Stato limite di Operatività (SLO):

$$D_{max}^{SLO} \leq D_u^{SLO}$$

$D_{max}^{SLO}$ : Spostamento massimo richiesto dalla normativa, calcolato in base allo spettro sismico definito per lo stato limite di operatività;

$D_u^{SLO}$ : Spostamento pari a 0,6670 di quello allo SLD:

#### 10.1.1 Risultati analisi ante operam

Nella tabella seguente sono riportati i risultati dell'analisi modale del modello di calcolo per i primi 20 modi di vibrare

Modo	T [s]	mx [kg]	Mx [%]	my [kg]	My [%]	mz [kg]	Mz [%]
1	0,44458	26604	1,69	792825	50,34	40	0,00
2	0,39098	107215	6,81	485792	30,85	15	0,00
3	0,31394	1027075	65,22	7179	0,46	20	0,00
4	0,21166	1363	0,09	889	0,06	2	0,00
5	0,19253	14634	0,93	324	0,02	56	0,00
6	0,16869	20123	1,28	86201	5,47	26	0,00
7	0,15697	43727	2,78	88332	5,61	67	0,00
8	0,14975	355	0,02	7687	0,49	666	0,04
9	0,14205	8020	0,51	29819	1,89	842	0,05
10	0,13556	10373	0,66	14	0,00	2460	0,16



11	0,12832	3888	0,25	5983	0,38	1323	0,08
12	0,12254	52482	3,33	399	0,03	112	0,01
13	0,11467	11070	0,70	3067	0,19	2443	0,16
14	0,11266	1135	0,07	23637	1,50	3	0,00
15	0,10736	11251	0,71	22	0,00	13775	0,87
16	0,10475	28270	1,80	1211	0,08	8722	0,55
17	0,10258	47431	3,01	641	0,04	36436	2,31
18	0,10167	2703	0,17	400	0,03	12960	0,82
19	0,10125	930	0,06	11711	0,74	1575	0,10
20	0,09958	9672	0,61	589	0,04	406778	25,83

Di seguito si riporta la tabella con i risultati delle analisi statiche non lineari:

N.	Dir. sisma	Car. sismico prop.	Ecc. [cm]	SLC				SLV				SLD			SLO			$\alpha$ SLC	$\alpha$ SLU	$\alpha$ SLD	$\alpha$ SLO
				Dmax [cm]	Du [cm]	q*	Ver.	Dmax [cm]	Du [cm]	q*	Ver.	Dmax [cm]	Dd [cm]	Ver.	Dmax [cm]	Dd [cm]	Ver.				
1	+X	Uniforme	0	3,79	4,62	2,76	Si	3,14	3,47	2,30	Si	1,26	1,13	No	1,02	0,75	No	1,206	1,099	0,900	0,737
2	+X	F. Statiche	0	4,65	4,47	3,83	No	3,88	3,35	3,20	No	1,58	1,13	No	1,25	0,75	No	0,962	0,864	0,718	0,604
3	-X	Uniforme	0	4,45	3,20	3,36	No	3,71	2,40	2,81	No	1,53	1,29	No	1,21	0,86	No	0,723	0,653	0,844	0,711
4	-X	F. Statiche	0	5,25	4,06	4,38	No	4,38	3,05	3,66	No	1,78	1,20	No	1,41	0,8	No	0,774	0,695	0,674	0,567
5	+Y	Uniforme	0	4,72	3,45	5,19	No	3,94	2,59	4,33	No	1,60	0,91	No	1,27	0,61	No	0,731	0,656	0,568	0,479
6	+Y	F. Statiche	0	5,44	4,22	5,04	No	4,55	3,16	4,21	No	1,85	1,08	No	1,46	0,72	No	0,775	0,696	0,586	0,493
7	-Y	Uniforme	0	4,57	2,99	4,86	No	3,82	2,25	4,06	No	1,56	0,93	No	1,23	0,62	No	0,656	0,590	0,598	0,503
8	-Y	F. Statiche	0	5,24	3,34	4,94	No	4,37	2,51	4,12	No	1,78	1,06	No	1,41	0,71	No	0,639	0,573	0,598	0,503
9	+X	Uniforme	62	3,75	4,61	2,76	Si	3,09	3,46	2,31	Si	1,24	1,22	No	1	0,81	No	1,218	1,110	0,986	0,808
10	+X	Uniforme	-62	3,84	4,70	2,76	Si	3,18	3,53	2,30	Si	1,28	1,08	No	1,04	0,72	No	1,213	1,104	0,843	0,691
11	+X	F. Statiche	62	4,57	4,39	3,88	No	3,82	3,29	3,24	No	1,56	1,16	No	1,23	0,78	No	0,960	0,863	0,747	0,629
12	+X	F. Statiche	-62	4,71	4,44	3,75	No	3,93	3,33	3,13	No	1,60	1,14	No	1,26	0,76	No	0,943	0,847	0,715	0,602
13	-X	Uniforme	62	4,40	3,28	3,19	No	3,66	2,46	2,66	No	1,51	1,34	No	1,2	0,89	No	0,748	0,676	0,883	0,743
14	-X	Uniforme	-62	4,49	3,15	3,55	No	3,75	2,36	2,96	No	1,54	1,24	No	1,22	0,83	No	0,703	0,634	0,806	0,679
15	-X	F. Statiche	62	5,18	3,72	4,17	No	4,33	2,79	3,48	No	1,76	1,24	No	1,39	0,83	No	0,717	0,644	0,707	0,596
16	-X	F. Statiche	-62	5,31	3,62	4,49	No	4,44	2,71	3,75	No	1,80	1,18	No	1,43	0,79	No	0,681	0,611	0,657	0,553
17	+Y	Uniforme	137,8	4,67	2,45	5,65	No	3,90	1,84	4,72	No	1,58	0,83	No	1,25	0,55	No	0,525	0,471	0,522	0,440
18	+Y	Uniforme	-137,8	4,67	2,87	5,07	No	3,90	2,16	4,23	No	1,58	0,92	No	1,25	0,61	No	0,616	0,553	0,582	0,490
19	+Y	F. Statiche	137,8	5,45	3,04	5,30	No	4,55	2,28	4,43	No	1,85	1,03	No	1,46	0,69	No	0,559	0,502	0,556	0,469
20	+Y	F. Statiche	-137,8	5,39	3,91	4,94	No	4,50	2,93	4,13	No	1,83	1,09	No	1,45	0,73	No	0,725	0,651	0,597	0,503
21	-Y	Uniforme	137,8	4,65	2,59	5,07	No	3,88	1,95	4,23	No	1,58	0,92	No	1,25	0,61	No	0,558	0,501	0,581	0,490
22	-Y	Uniforme	-137,8	4,50	2,59	4,99	No	3,75	1,94	4,16	No	1,53	0,88	No	1,21	0,59	No	0,578	0,521	0,575	0,484
23	-Y	F. Statiche	137,8	5,37	2,96	4,96	No	4,49	2,22	4,15	No	1,82	1,08	No	1,44	0,72	No	0,551	0,495	0,594	0,500
24	-Y	F. Statiche	-137,8	5,24	3,51	5,05	No	4,37	2,63	4,21	No	1,78	1,04	No	1,41	0,69	No	0,670	0,602	0,585	0,492





Dall'analisi della tabella si evince che, nella condizione ante-operam, l'analisi più sfavorevole lungo la direzione "X" è la numero 16, ovvero quella eseguita con una distribuzione di forze proporzionale alle forze statiche applicata in direzione "-X" considerando un'eccentricità accidentale del 5%. Per questa analisi si ha un indicatore del rischio di collasso (Alfa SLC) pari al **68%** rispetto ad un edificio adeguato ed un valore dell'indice di vulnerabilità sismica (Alfa SLV) pari al **61%** rispetto ad un edificio adeguato. L'analisi più sfavorevole lungo la direzione "Y" è la numero 17 ovvero quella eseguita con una distribuzione di forze uniforme applicata in direzione "+Y" considerando un'eccentricità accidentale del 5%. Per questa analisi si ha un indicatore del rischio di collasso (Alfa SLC) pari al **52%** rispetto ad un edificio adeguato ed un valore dell'indice di vulnerabilità sismica (Alfa SLV) pari al **47%** rispetto ad un edificio adeguato.

Alcune analisi presentano un valore di  $q^* > 4$  per lo SLC ed un valore di  $q^* > 3$  per lo SLV. Al fine di valutare la validità dei risultati ottenuti per le analisi nella configurazione ante-operam, si ripeteranno le analisi utilizzando degli spettri le cui ordinate spettrali saranno ridotte tramite un coefficiente pari a 0,47 che corrisponde al minimo dei valori di  $\alpha_{SLC}$  e  $\alpha_{SLV}$  per le analisi effettuate

Nell'immagine seguente sono riportati gli spettri ridotti adottati:

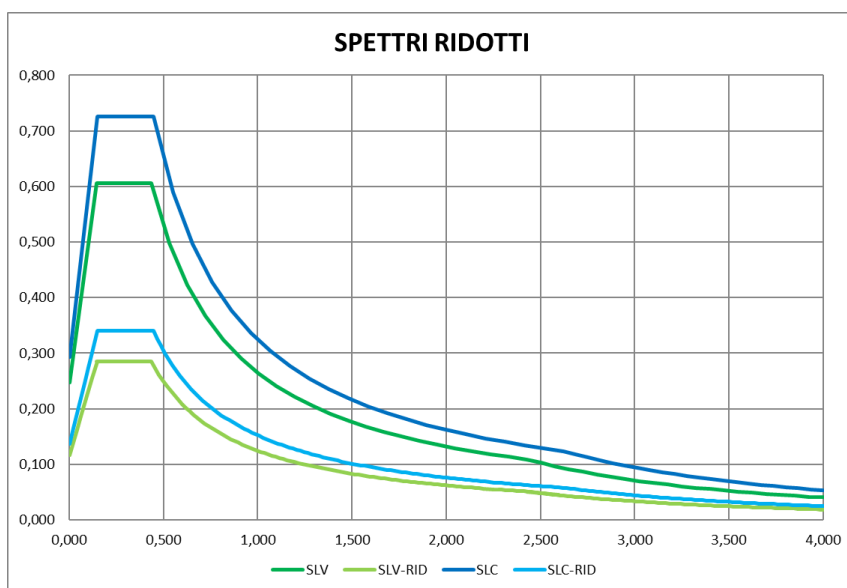


Figura 5: Spettri ridotti

Sono state nuovamente eseguite la analisi non lineari nei riguardi dello SLV e dello SLC, nel seguito è riportata una tabella con i risultati delle verifiche:

N.	Dir. sisma	Car. sismico prop.	Ecc. [cm]	SLC		SLV	
				$q^*$	Ver.	$q^*$	Ver.
1	+X	Uniforme	0	1,30	Sì	1,08	Sì
2	+X	F. Statiche	0	1,80	Sì	1,50	Sì
3	-X	Uniforme	0	1,58	Sì	1,32	Sì



4	-X	F. Statiche	0	2,06	Sì	1,72	Sì
5	+Y	Uniforme	0	2,44	Sì	2,04	Sì
6	+Y	F. Statiche	0	2,37	Sì	1,98	Sì
7	-Y	Uniforme	0	2,29	Sì	1,91	Sì
8	-Y	F. Statiche	0	2,32	Sì	1,94	Sì
9	+X	Uniforme	62	1,30	Sì	1,09	Sì
10	+X	Uniforme	-62	1,30	Sì	1,08	Sì
11	+X	F. Statiche	62	1,82	Sì	1,52	Sì
12	+X	F. Statiche	-62	1,76	Sì	1,47	Sì
13	-X	Uniforme	62	1,50	Sì	1,25	Sì
14	-X	Uniforme	-62	1,67	Sì	1,39	Sì
15	-X	F. Statiche	62	1,96	Sì	1,64	Sì
16	-X	F. Statiche	-62	2,11	Sì	1,76	Sì
17	+Y	Uniforme	137,8	2,65	Sì	2,22	Sì
18	+Y	Uniforme	-137,8	2,38	Sì	1,99	Sì
19	+Y	F. Statiche	137,8	2,49	Sì	2,08	Sì
20	+Y	F. Statiche	-137,8	2,32	Sì	1,94	Sì
21	-Y	Uniforme	137,8	2,38	Sì	1,99	Sì
22	-Y	Uniforme	-137,8	2,34	Sì	1,96	Sì
23	-Y	F. Statiche	137,8	2,33	Sì	1,95	Sì
24	-Y	F. Statiche	-137,8	2,37	Sì	1,98	Sì

I risultati evidenziano che riducendo lo spettro i valori di  $q^*$  rientrano nei limiti previsti dalla norma sia per quanto riguarda lo SLV che per lo SLC, pertanto i risultati possono ritenersi accettabili:

Si riportano nel seguito le curve di capacità e alcune immagini del modello di calcolo 3D relativo alle analisi N. 16 e N. 17 che risultano essere quelle più penalizzanti. Nelle figure sono rappresentati con diversi colori lo stato del danno ed il tipo di meccanismo di rottura attivato dei vari macroelementi che costituiscono il telaio equivalente. Le figure si riferiscono all'ultimo step dell'analisi incrementale.

### Analisi N.16

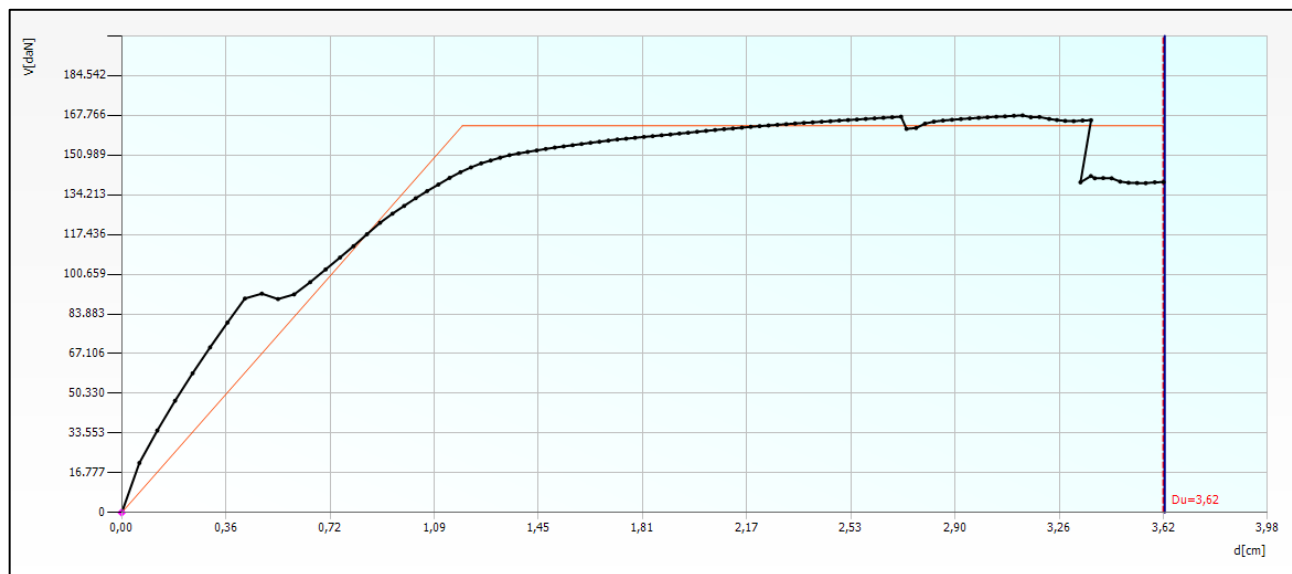


Figura 6: Curva di Push-over - Analisi N.16

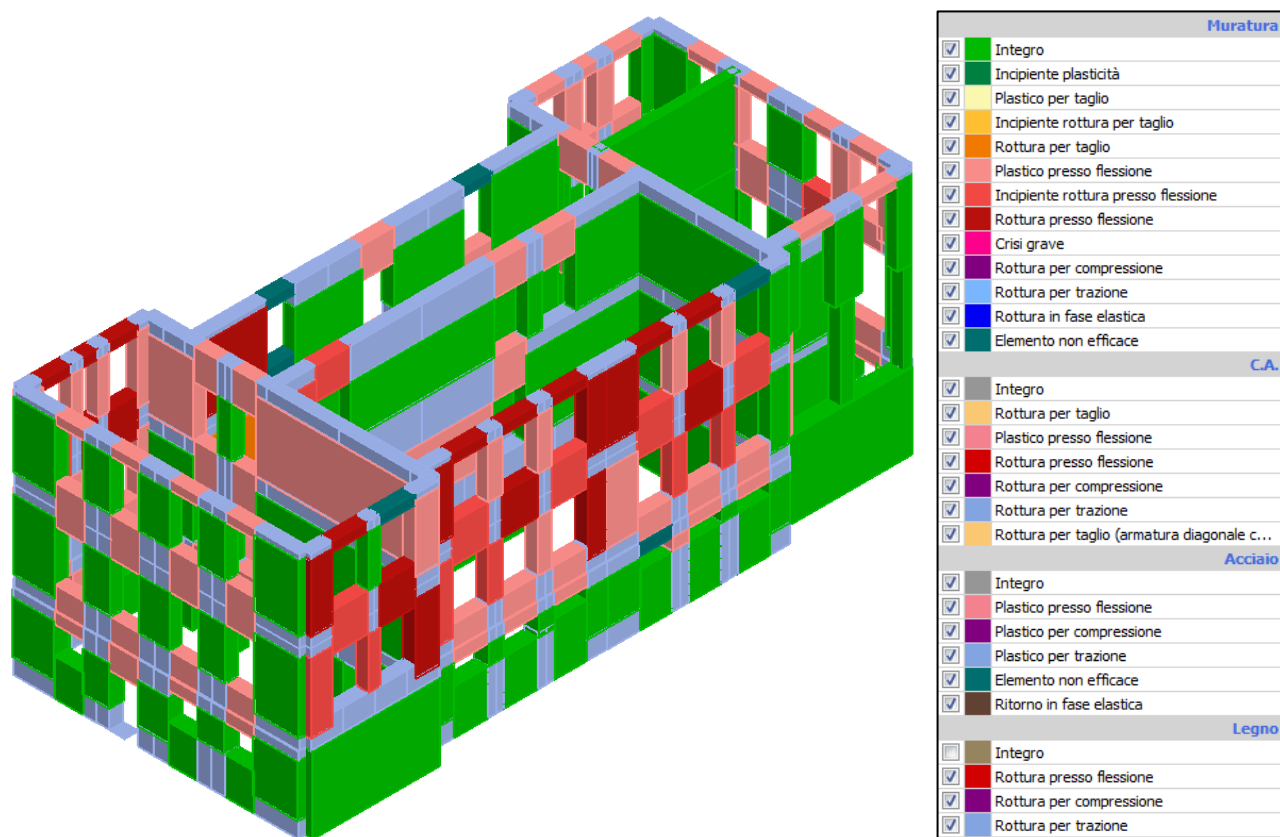


Figura 7: Vista 3D del modello di calcolo - Analisi N.16

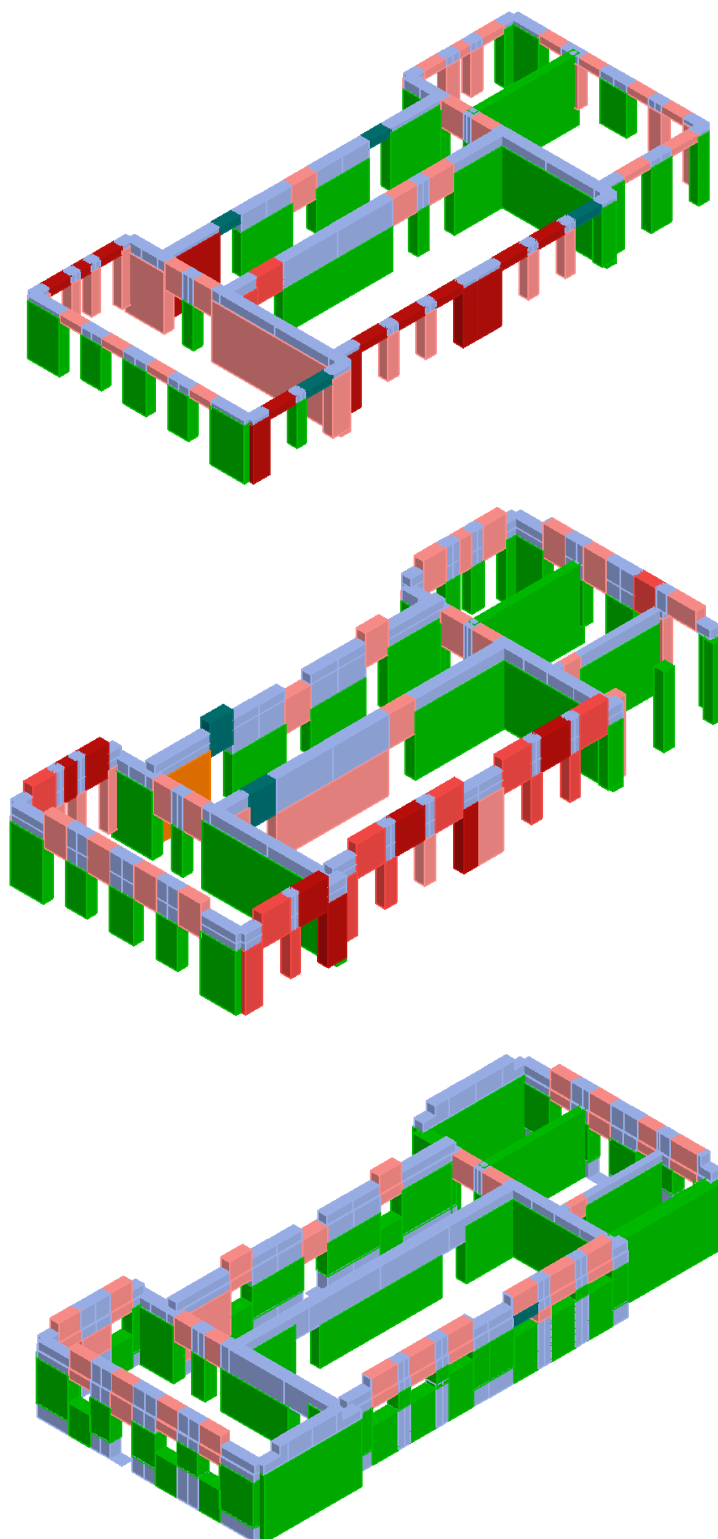


Figura 8: Vista 3D esplosa del modello di calcolo - Analisi N.16



### Analisi N.17

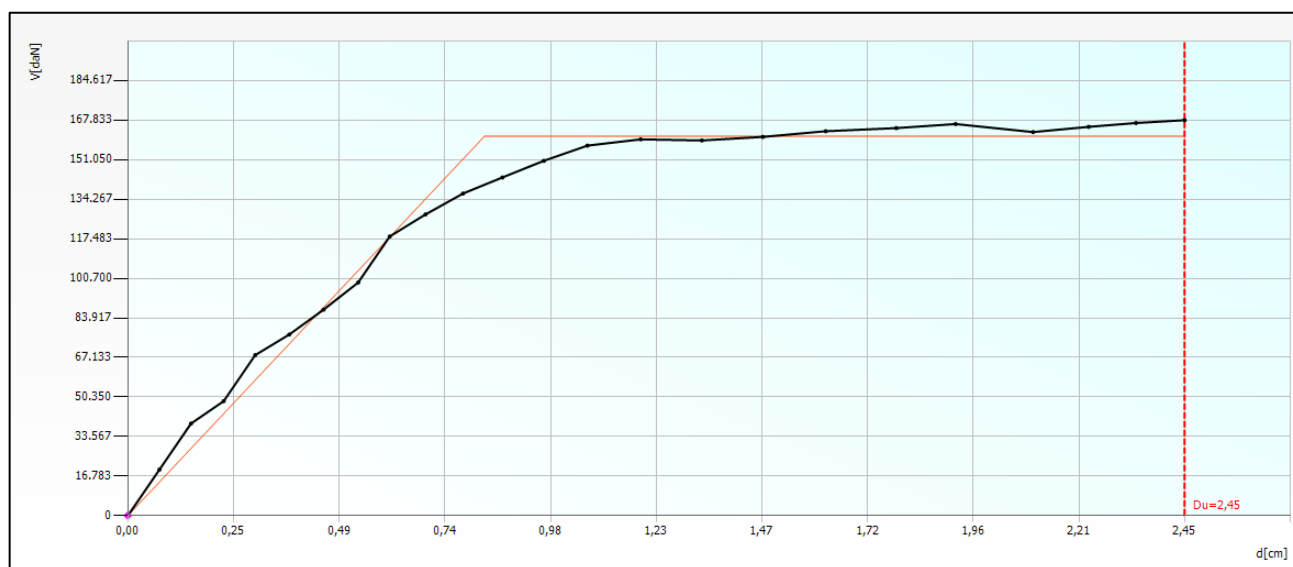


Figura 9: Curva di Push-over - Analisi N.17



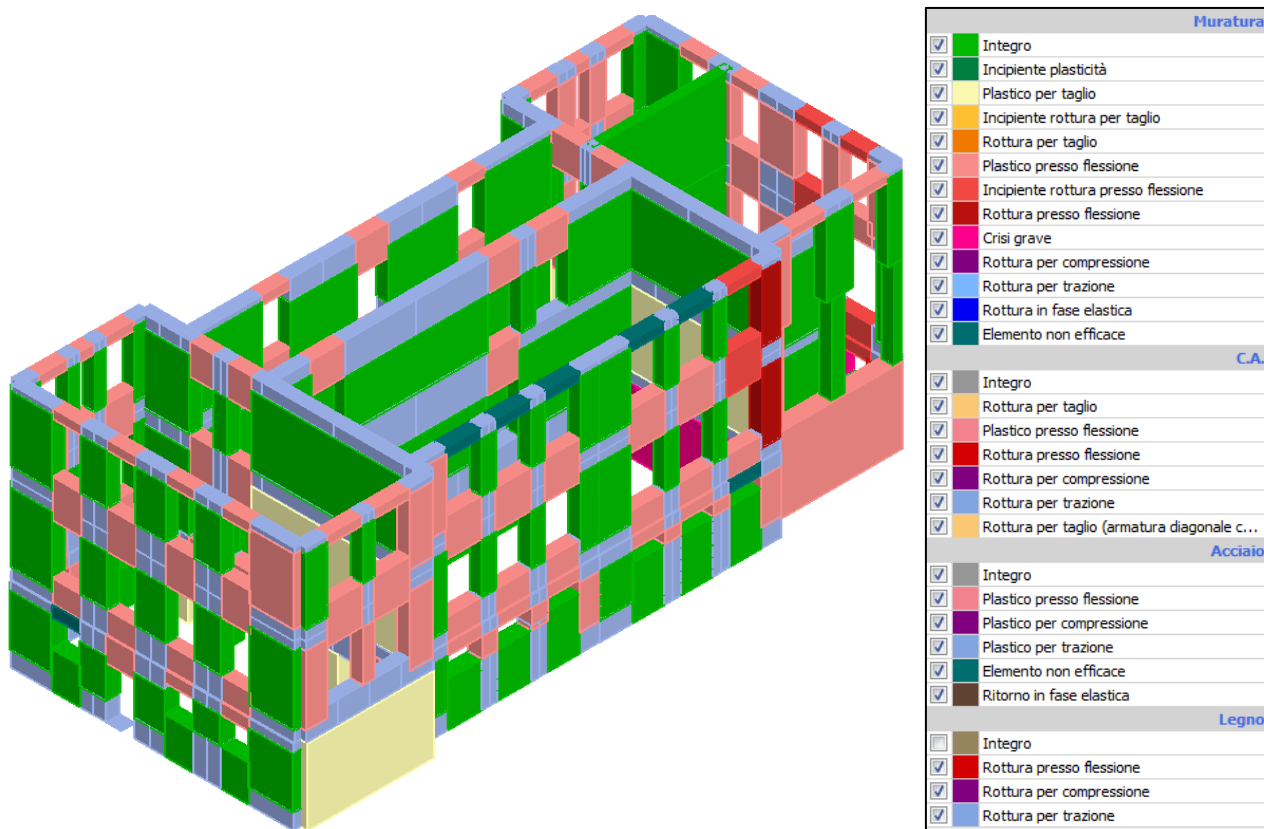
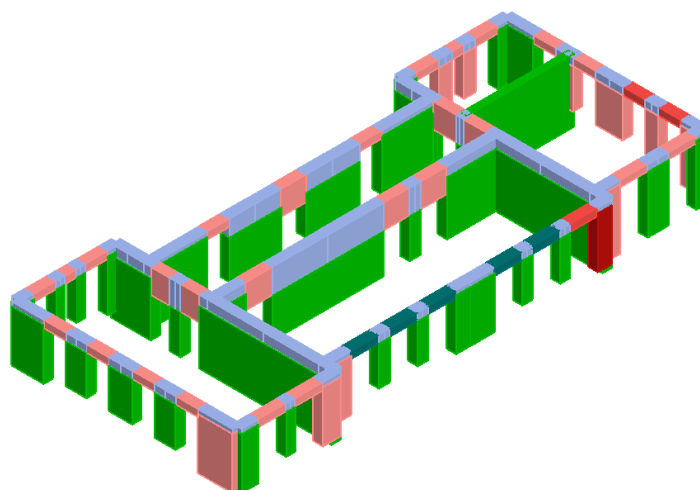


Figura 10: Vista 3D del modello di calcolo - Analisi N.17



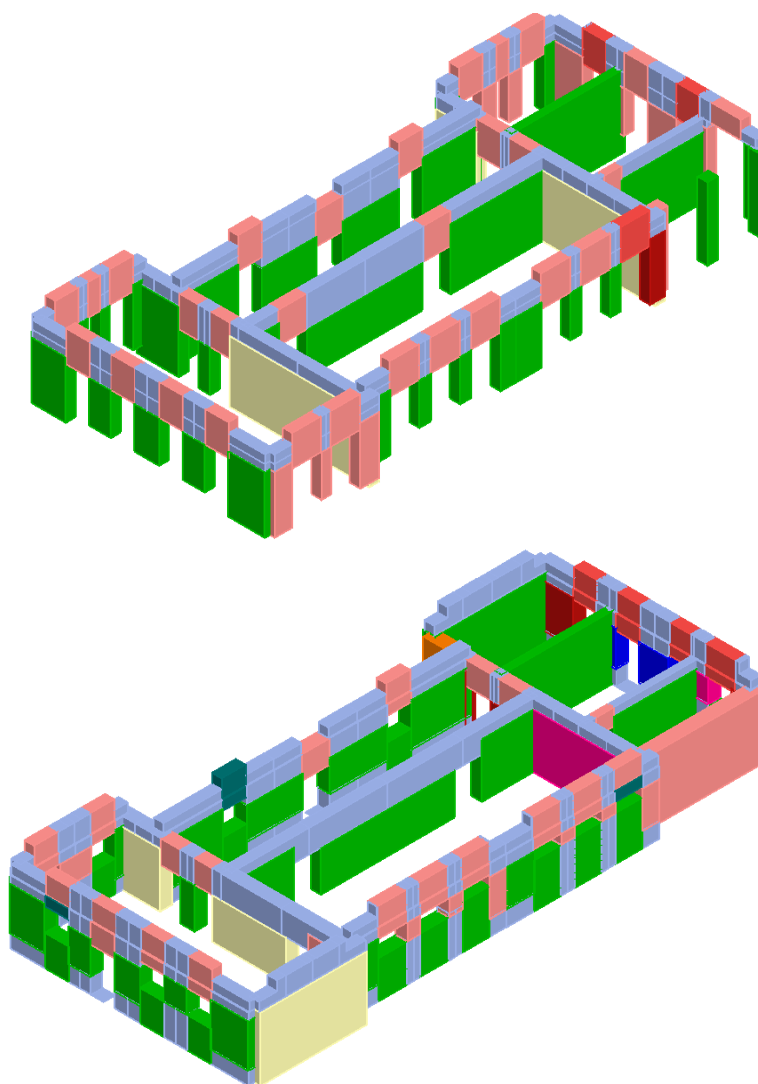


Figura 11: Vista 3D esplosa del modello di calcolo - Analisi N.17

### 10.1.2 Risultati analisi post operam

Nella tabella seguente sono riportati i risultati dell'analisi modale del modello di calcolo per i primi 20 modi di vibrare della struttura nella configurazione post – operam:

Modo	T [s]	mx [kg]	Mx [%]	my [kg]	My [%]	mz [kg]	Mz [%]
1	0,32882	25631	1,67	811331	52,92	18	0,00
2	0,28877	106073	6,92	427692	27,90	47	0,00
3	0,23386	1017033	66,34	4594	0,30	2	0,00
4	0,12295	13230	0,86	123759	8,07	97	0,01
5	0,11008	37152	2,42	97341	6,35	412	0,03
6	0,09604	98099	6,40	3099	0,20	895	0,06



7	0,08658	6689	0,44	16483	1,08	725	0,05
8	0,08207	7107	0,46	5344	0,35	6	0,00
9	0,08072	15560	1,01	6444	0,42	6852	0,45
10	0,07712	18	0,00	133	0,01	30511	1,99
11	0,07456	36592	2,39	20997	1,37	44795	2,92
12	0,07367	2287	0,15	1124	0,07	788388	51,42
13	0,07204	7056	0,46	3052	0,20	7194	0,47
14	0,07049	329	0,02	91	0,01	39503	2,58
15	0,06872	53433	3,49	131	0,01	55404	3,61
16	0,06838	32730	2,13	111	0,01	6277	0,41
17	0,06752	4809	0,31	59	0,00	124222	8,10
18	0,06639	15618	1,02	68	0,00	67204	4,38
19	0,06502	4446	0,29	308	0,02	9759	0,64
20	0,06470	14581	0,95	225	0,01	150	0,01

Di seguito si riporta la tabella con i risultati delle analisi statiche non lineari:

N.	Dir. sisma	Car. sismico prop.	Ecc. [cm]	SLC				SLV				SLD			SLO			$\alpha$ SLC	$\alpha$ SLU	$\alpha$ SLD	$\alpha$ SLO
				Dmax [cm]	Du [cm]	q*	Ver.	Dmax [cm]	Du [cm]	q*	Ver.	Dmax [cm]	Dd [cm]	Ver.	Dmax [cm]	Dd [cm]	Ver.				
1	+X	Uniforme	0	2,68	4,09	2,34	Si	2,17	3,07	1,95	Si	0,76	0,72	No	0,62	0,48	No	1,450	1,345	0,947	0,776
2	+X	F. Statiche	0	3,51	4,10	3,10	Si	2,89	3,07	2,59	Si	1,12	0,96	No	0,89	0,64	No	1,156	1,058	0,880	0,720
3	-X	Uniforme	0	2,70	4,78	2,12	Si	2,17	3,58	1,77	Si	0,79	1,01	Si	0,64	0,68	Si	1,652	1,529	1,284	1,052
4	-X	F. Statiche	0	3,66	4,84	2,88	Si	3,02	3,63	2,41	Si	1,19	1,02	No	0,96	0,68	No	1,302	1,187	0,866	0,709
5	+Y	Uniforme	0	3,45	3,39	3,65	No	2,84	2,55	3,05	No	1,10	0,78	No	0,86	0,52	No	0,985	0,903	0,746	0,611
6	+Y	F. Statiche	0	4,04	3,87	4,37	No	3,36	2,90	3,65	No	1,36	0,75	No	1,10	0,50	No	0,914	0,821	0,564	0,462
7	-Y	Uniforme	0	3,26	3,44	3,48	Si	2,68	2,58	2,91	No	1,01	0,75	No	0,79	0,50	No	1,049	0,964	0,783	0,641
8	-Y	F. Statiche	0	3,96	3,57	4,04	No	3,28	2,67	3,37	No	1,33	0,87	No	1,06	0,58	No	0,904	0,822	0,675	0,553
9	+X	Uniforme	62	2,62	4,03	2,34	Si	2,11	3,02	1,96	Si	0,74	0,78	Si	0,60	0,52	No	1,458	1,354	1,063	0,870
10	+X	Uniforme	-62	2,68	4,10	2,33	Si	2,16	3,08	1,95	Si	0,76	0,73	No	0,62	0,48	No	1,455	1,349	0,952	0,780
11	+X	F. Statiche	62	3,50	4,03	3,09	Si	2,88	3,02	2,58	Si	1,11	0,96	No	0,89	0,64	No	1,142	1,046	0,881	0,722
12	+X	F. Statiche	-62	3,42	4,16	3,13	Si	2,82	3,12	2,62	Si	1,08	0,85	No	0,86	0,57	No	1,201	1,099	0,804	0,658
13	-X	Uniforme	62	2,64	4,58	2,14	Si	2,13	3,43	1,78	Si	0,76	0,90	Si	0,62	0,60	No	1,616	1,498	1,179	0,966
14	-X	Uniforme	-62	2,76	4,77	2,15	Si	2,22	3,58	1,79	Si	0,81	0,97	Si	0,66	0,65	No	1,624	1,502	1,191	0,976
15	-X	F. Statiche	62	3,50	5,30	2,91	Si	2,88	3,98	2,43	Si	1,11	1,03	No	0,90	0,69	No	1,373	1,233	0,936	0,766
16	-X	F. Statiche	-62	3,68	4,54	2,90	Si	3,04	3,41	2,42	Si	1,20	1,03	No	0,97	0,68	No	1,220	1,113	0,863	0,707
17	+Y	Uniforme	137,8	3,57	3,34	3,83	No	2,94	2,50	3,20	No	1,15	0,78	No	0,91	0,52	No	0,939	0,859	0,712	0,583
18	+Y	Uniforme	-137,8	3,40	3,68	3,60	Si	2,80	2,76	3,01	No	1,07	0,77	No	0,84	0,52	No	1,077	0,987	0,757	0,620
19	+Y	F. Statiche	137,8	4,16	3,37	4,76	No	3,46	2,52	3,97	No	1,42	0,80	No	1,14	0,53	No	0,814	0,737	0,573	0,469
20	+Y	F. Statiche	-137,8	4,00	4,66	4,30	No	3,32	3,50	3,59	No	1,34	0,83	No	1,08	0,55	No	0,930	0,835	0,634	0,519
21	-Y	Uniforme	137,8	3,35	4,38	3,52	Si	2,76	3,28	2,94	Si	1,05	0,77	No	0,82	0,52	No	1,135	1,020	0,774	0,634
22	-Y	Uniforme	-137,8	3,22	3,43	3,50	Si	2,65	2,57	2,93	No	0,99	0,73	No	0,77	0,49	No	1,059	0,974	0,778	0,637
23	-Y	F. Statiche	137,8	4,02	3,05	4,12	No	3,33	2,29	3,44	No	1,35	0,88	No	1,09	0,59	No	0,767	0,698	0,661	0,542
24	-Y	F. Statiche	-137,8	3,80	3,73	4,08	No	3,15	2,80	3,41	No	1,25	0,81	No	1,00	0,54	No	0,981	0,881	0,668	0,547

Dall'analisi della tabella si evince che, nella condizione **post-operam**, l'analisi più sfavorevole lungo la direzione "X" è la numero 11, ovvero quella eseguita con una distribuzione di forze proporzionale alle forze statiche applicata in direzione "+X" considerando un'eccentricità accidentale del 5%. Per questa analisi si ha un indicatore del rischio di collasso (Alfa SLC) pari al **114%** rispetto ad un edificio adeguato ed un valore dell'indice di vulnerabilità sismica (Alfa SLV) pari al **105%** rispetto ad un edificio adeguato. L'analisi più sfavorevole lungo la direzione "Y" è la numero 23 ovvero quella eseguita con una distribuzione di forze proporzionale alle forze statiche applicata in direzione "-Y" considerando un'eccentricità accidentale del 5%. Per questa



analisi si ha un indicatore del rischio di collasso (Alfa SLC) pari al **77%** rispetto ad un edificio adeguato ed un valore dell'indice di vulnerabilità sismica (Alfa SLV) pari al **70%** rispetto ad un edificio adeguato.

Alcune analisi presentano un valore di  $q^* > 4$  per lo SLC ed un valore di  $q^* > 3$  per lo SLV. Al fine di valutare la validità dei risultati ottenuti per le analisi nella configurazione *ante-operam*, si ripeteranno le analisi utilizzando degli spettri le cui ordinate spettrali saranno ridotte tramite un coefficiente pari a **0,70** che corrisponde al minimo dei valori di  $\alpha_{SLC}$  e  $\alpha_{SLV}$  per le analisi effettuate

Nell'immagine seguente sono riportati gli spettri ridotti adottati:

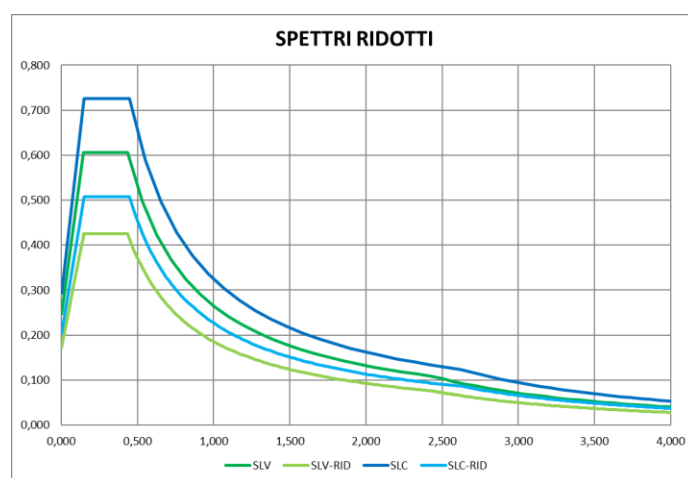


Figura 12: Spettri ridotti

Sono state nuovamente eseguite la analisi non lineari nei riguardi dello SLV e dello SLC, nel seguito è riportata una tabella con i risultati delle verifiche:

N.	Dir. sisma	Car. sismico prop.	Ecc. [cm]	SLC		SLV	
				$q^*$	Ver.	$q^*$	Ver.
1	+X	Uniforme	0	1,63	Sì	1,36	Sì
2	+X	F. Statiche	0	2,16	Sì	1,80	Sì
3	-X	Uniforme	0	1,48	Sì	1,24	Sì
4	-X	F. Statiche	0	2,01	Sì	1,68	Sì
5	+Y	Uniforme	0	2,55	Sì	2,13	Sì
6	+Y	F. Statiche	0	3,05	Sì	2,55	Sì
7	-Y	Uniforme	0	2,43	Sì	2,03	Sì
8	-Y	F. Statiche	0	2,82	Sì	2,35	Sì
9	+X	Uniforme	62	1,63	Sì	1,36	Sì
10	+X	Uniforme	-62	1,63	Sì	1,36	Sì
11	+X	F. Statiche	62	2,16	Sì	1,80	Sì
12	+X	F. Statiche	-62	2,18	Sì	1,82	Sì
13	-X	Uniforme	62	1,49	Sì	1,24	Sì
14	-X	Uniforme	-62	1,50	Sì	1,25	Sì
15	-X	F. Statiche	62	2,03	Sì	1,70	Sì
16	-X	F. Statiche	-62	2,02	Sì	1,69	Sì
17	+Y	Uniforme	137,8	2,67	Sì	2,23	Sì



18	+Y	Uniforme	-137,8	2,51	Si	2,10	Si
19	+Y	F. Statiche	137,8	3,32	Si	2,77	Si
20	+Y	F. Statiche	-137,8	3,00	Si	2,50	Si
21	-Y	Uniforme	137,8	2,46	Si	2,05	Si
22	-Y	Uniforme	-137,8	2,44	Si	2,04	Si
23	-Y	F. Statiche	137,8	2,87	Si	2,40	Si
24	-Y	F. Statiche	-137,8	2,84	Si	2,37	Si

I risultati evidenziano che riducendo lo spettro i valori di **q\*** rientrano nei limiti previsti dalla norma sia per quanto riguarda lo SLV che per lo SLC, pertanto **i risultati possono ritenersi accettabili**:

Si riportano nel seguito le curve di capacità e alcune immagini del modello di calcolo 3D relativo alle analisi N. 11 e N. 23 che risultano essere quelle più penalizzanti. Nelle figure sono rappresentati con diversi colori lo stato del danno ed il tipo di meccanismo di rottura attivato dei vari macroelementi che costituiscono il telaio equivalente. Le figure si riferiscono all'ultimo step dell'analisi incrementale.

### Analisi N.11

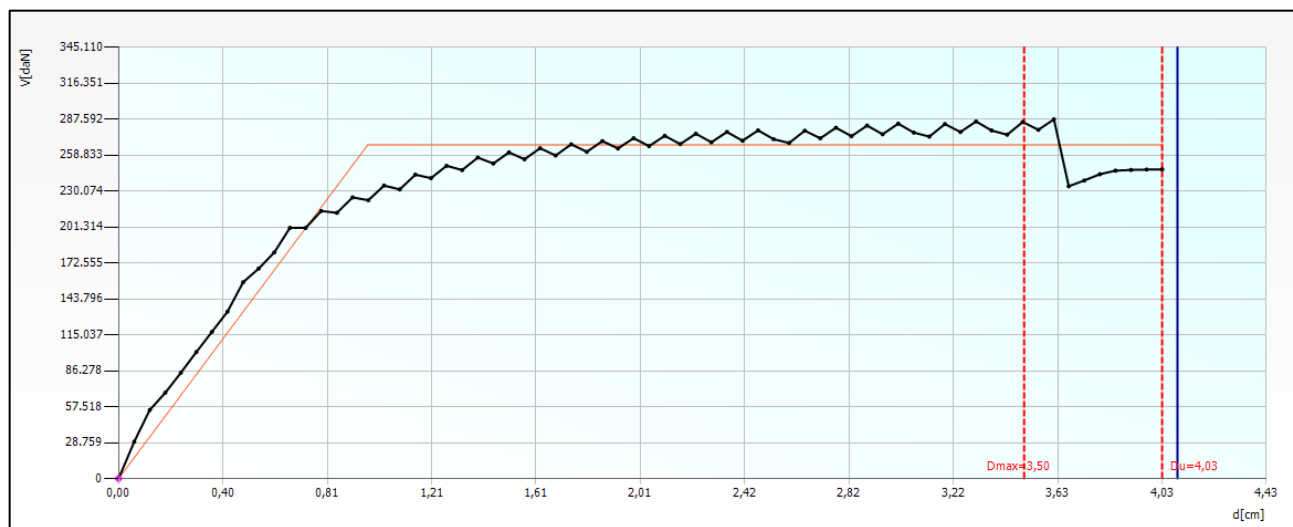


Figura 13: Curva di Push-over - Analisi N.11



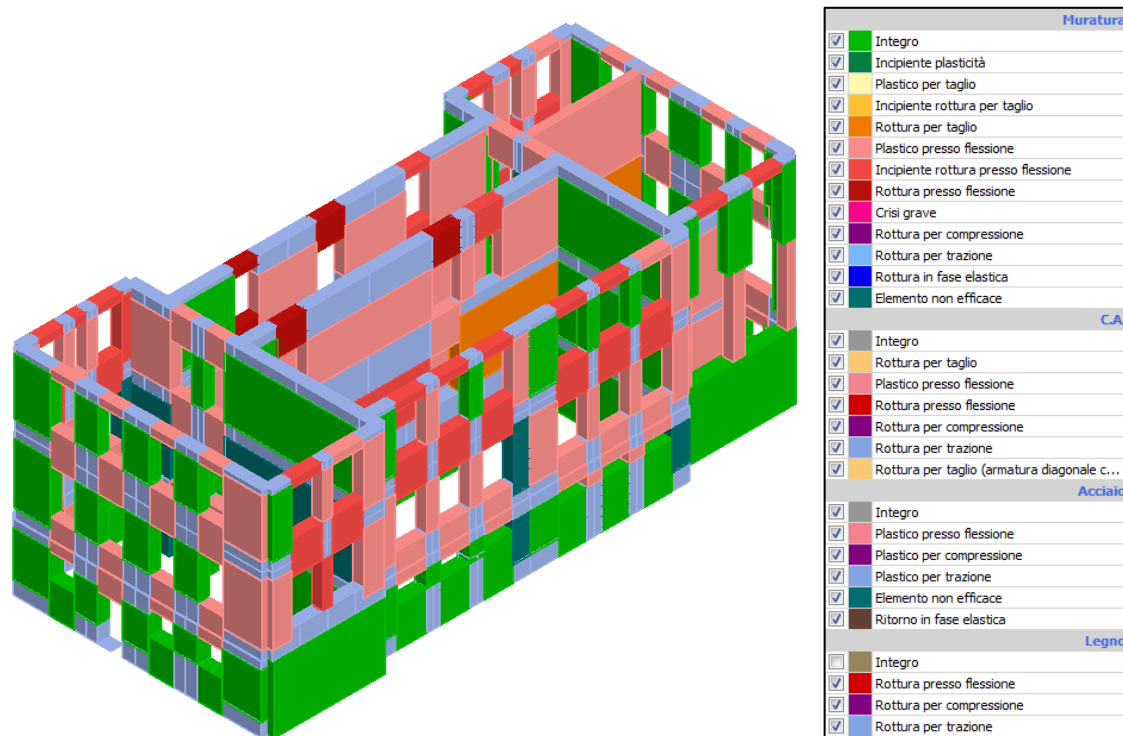
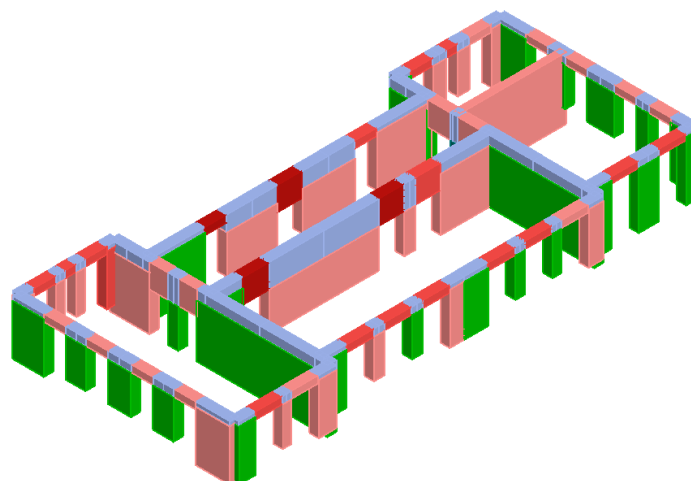


Figura 14: Vista 3D del modello di calcolo - Analisi N.11



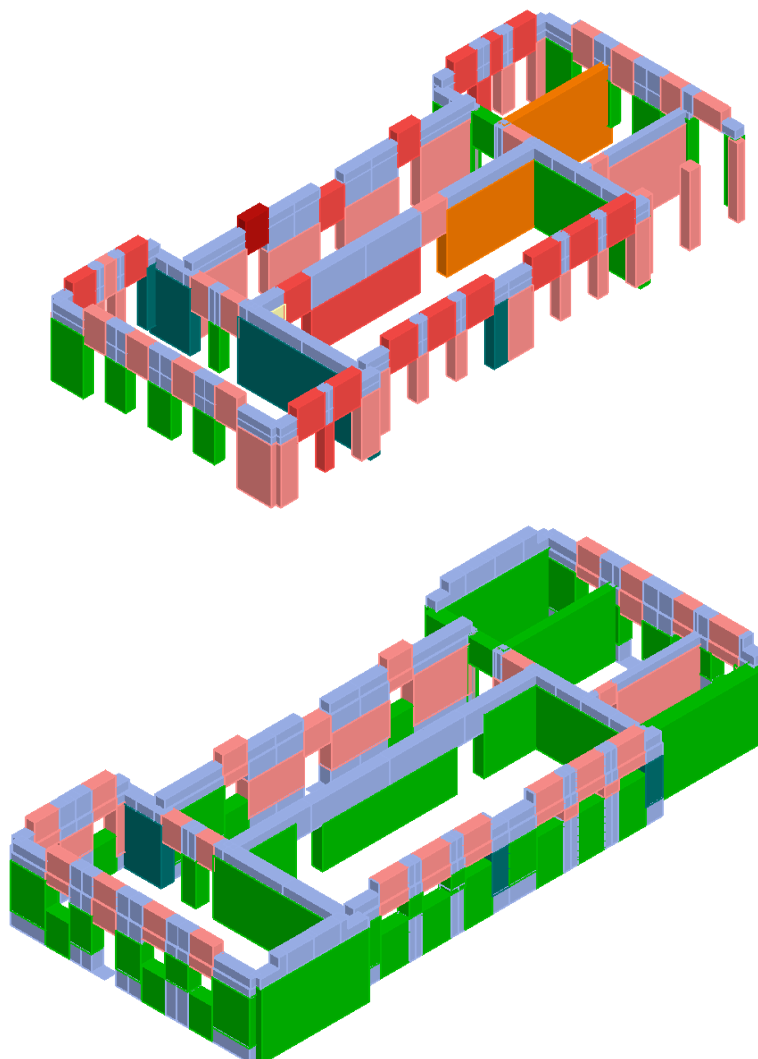


Figura 15: Vista 3D esplosa del modello di calcolo - Analisi N.11

### Analisi N.23

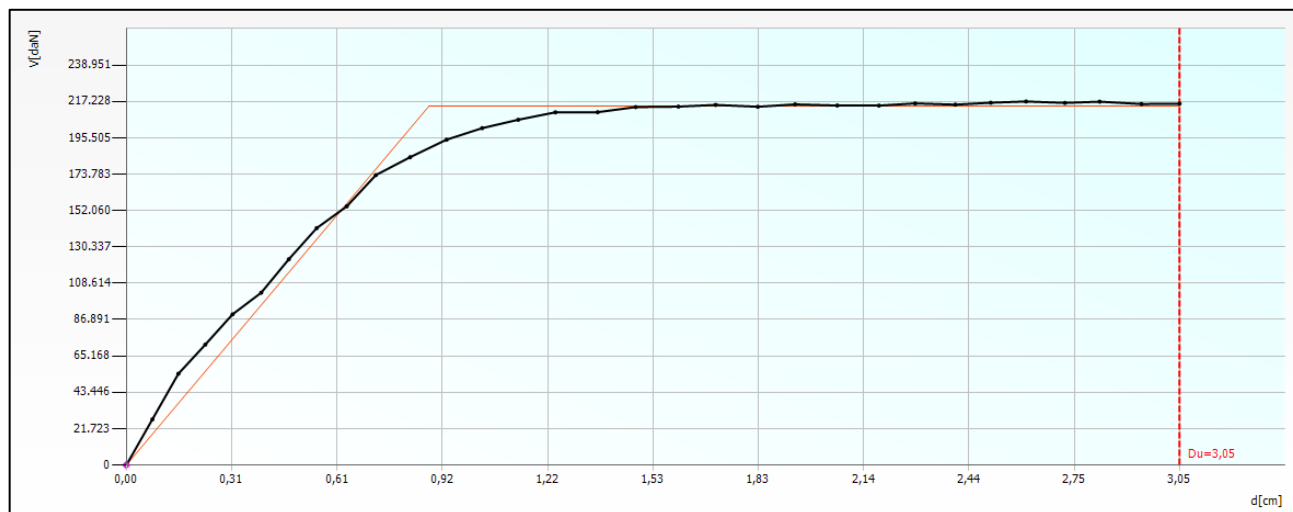


Figura 16: Curva di Push-over - Analisi N.23

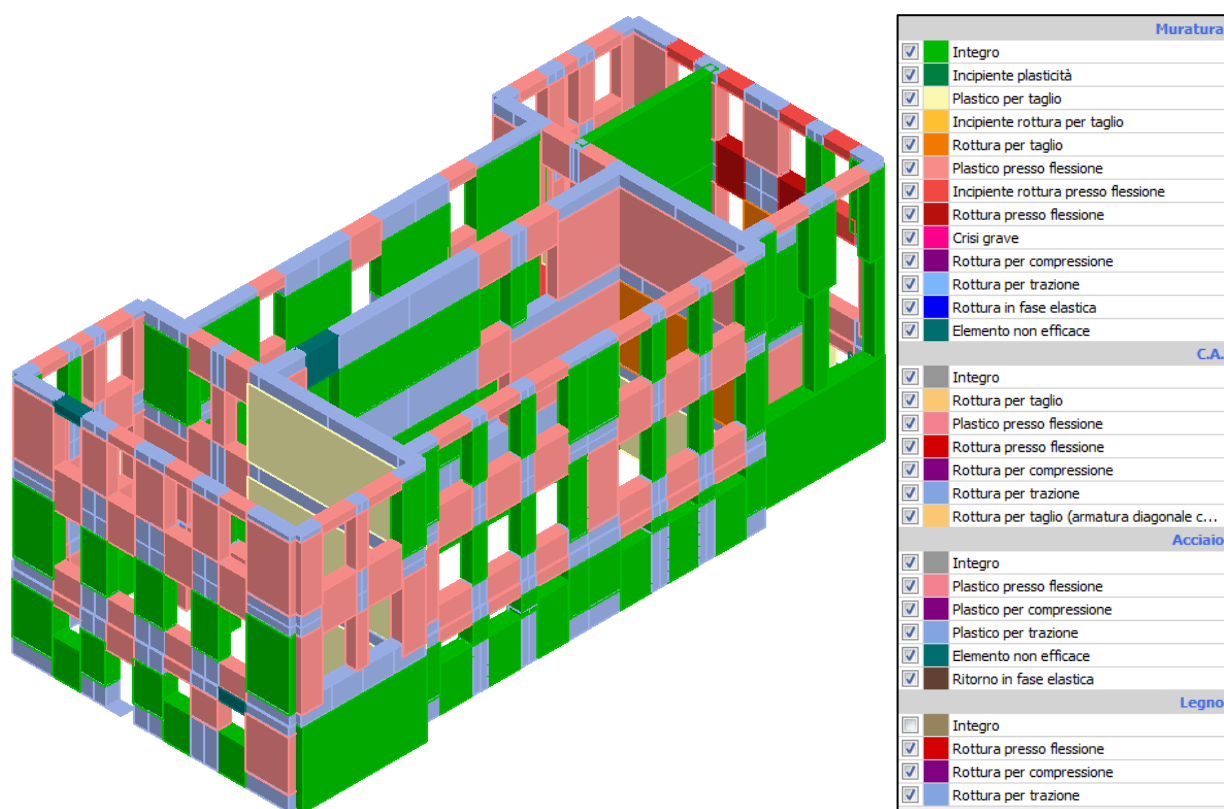


Figura 17: Vista 3D del modello di calcolo - Analisi N.23

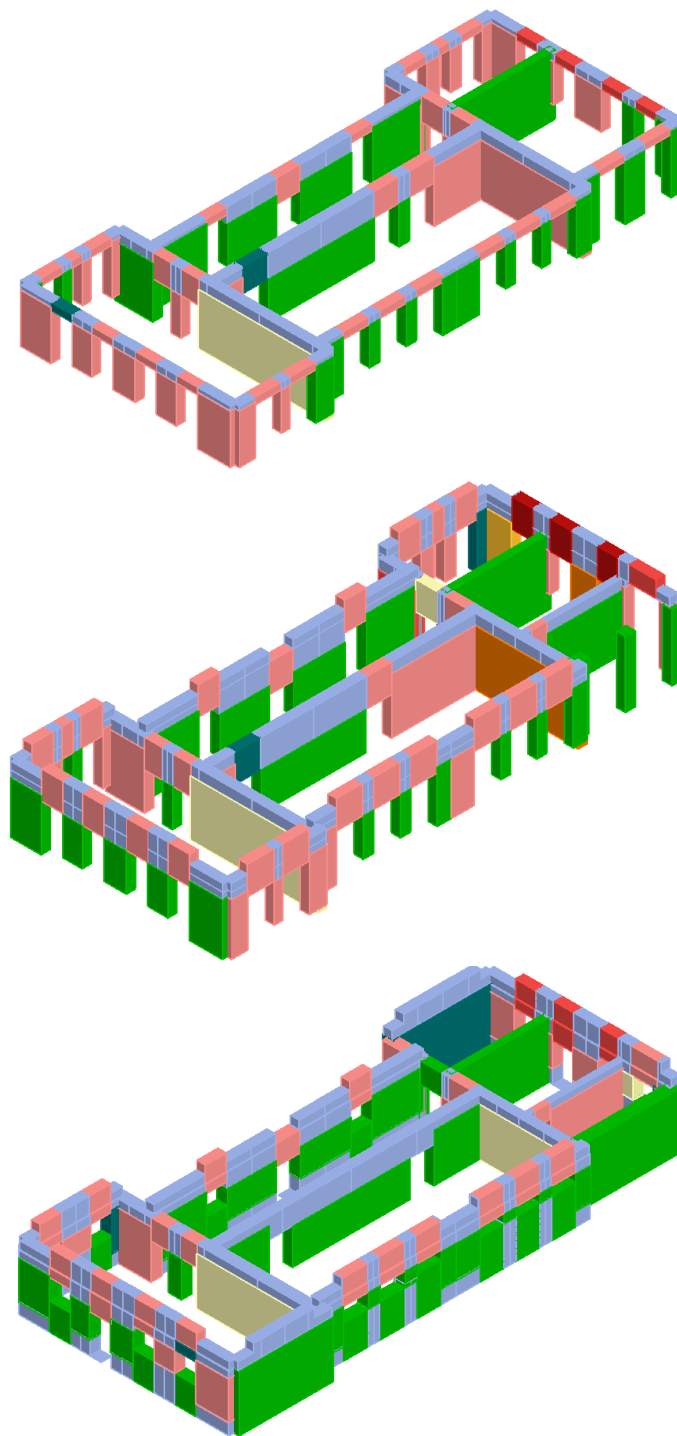


Figura 18: Vista 3D esplosa del modello di calcolo - Analisi N.23



## 10.2 Verifica dei cinematismi di collasso:

Sono state svolte per l'edificio in oggetto delle verifiche nei confronti dei possibili cinematismi di collasso. Analizzando la geometria del fabbricato si ipotizza per questo come possibile cinematismo di collasso, il meccanismo di ribaltamento semplice della parete. Si è deciso pertanto di analizzare tale meccanismo di collasso prendendo in esame una parete nella direzione "X" ed una parete nella direzione "Y".

Si faccia riferimento alle immagini seguenti:

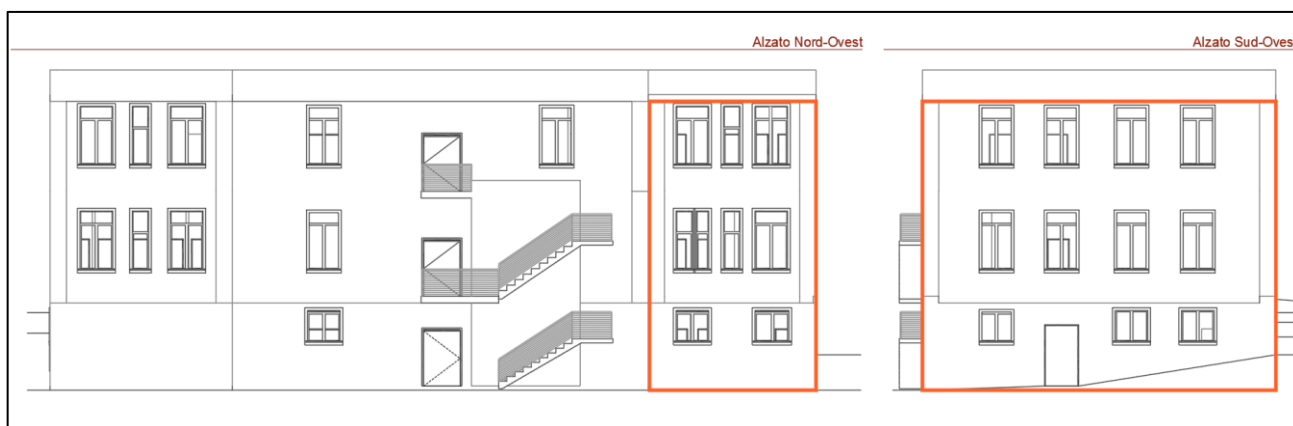


Figura 19: Pareti oggetto di analisi.

### 10.2.1 Risultati ante operam

Si riportano delle immagini riepilogative con l'esito delle verifiche nella configurazione ante-operam.

#### ➤ PROSPETTO SUD-OVEST - "CINEMATISMO 1"

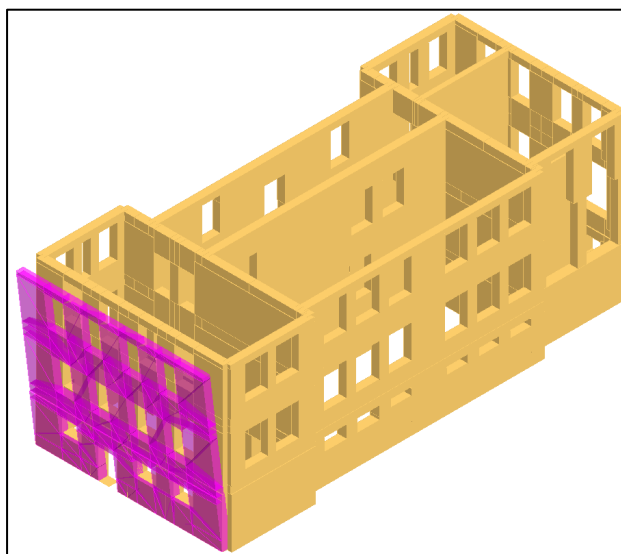


Figura 20: Rappresentazione grafica cinematismo analizzato.

Si riporta la tabella riepilogativa con i risultati delle verifiche:



Moltiplicatore attivazione ( $a_0$ )	0,062
$a_z$ ,SLV [m/s <sup>2</sup> ]	1,2513
$a_z(0)$ (SLV) [m/s <sup>2</sup> ]	2,4222
<b>Coefficiente sicurezza PGAc/PGAd (SLV)</b>	<b>0,52</b>
$a_z$ ,SLD [m/s <sup>2</sup> ]	0,6256
$a_z(0)$ (SLD) [m/s <sup>2</sup> ]	1,0595
<b>Coefficiente sicurezza PGAc/PGAd (SLD)</b>	<b>0,59</b>

➤ PROSPETTO SUD-OVEST - "CINEMATISMO 2"

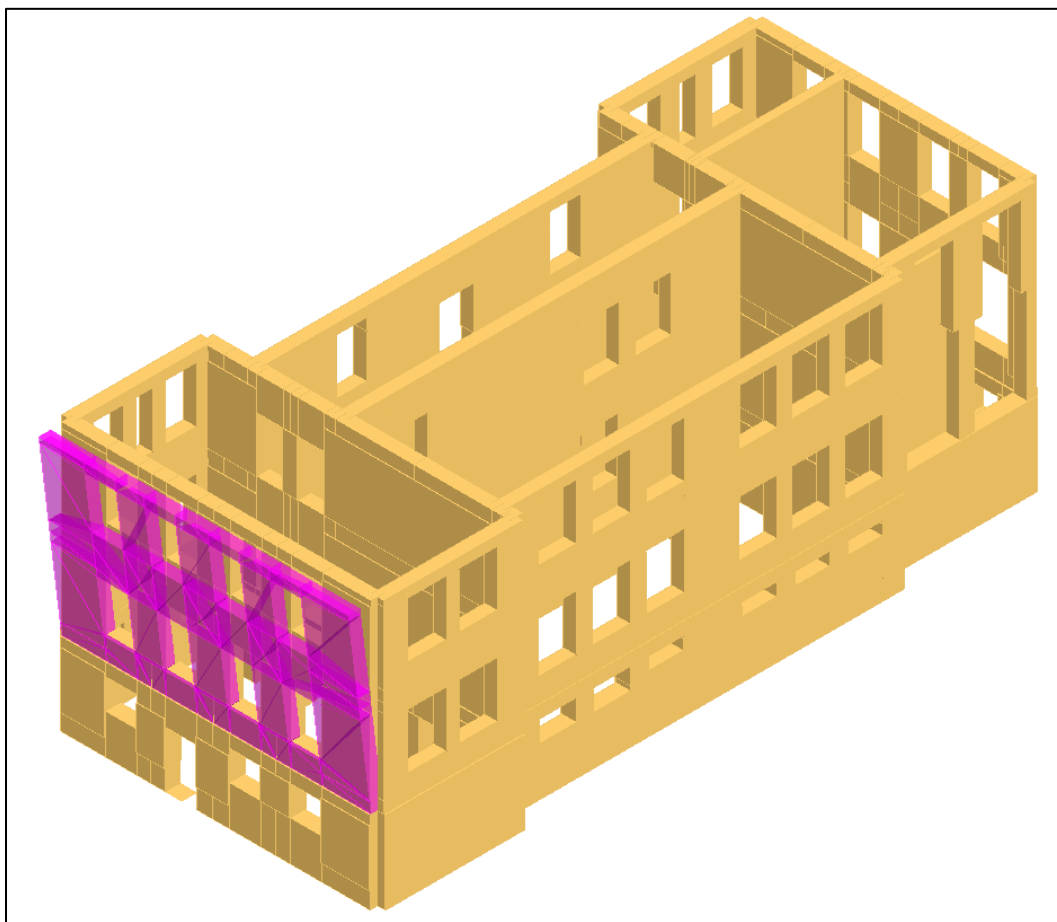


Figura 21: Rappresentazione grafica cinematismo analizzato.

Si riporta la tabella riepilogativa con i risultati delle verifiche:

Moltiplicatore attivazione ( $a_0$ )	0,062
$a_z$ ,SLV [m/s <sup>2</sup> ]	1,1550
$a_z(0)$ (SLV) [m/s <sup>2</sup> ]	2,4222
<b>Coefficiente sicurezza PGAc/PGAd (SLV)</b>	<b>0,48</b>
$a_z$ ,SLD [m/s <sup>2</sup> ]	0,5775
$a_z(0)$ (SLD) [m/s <sup>2</sup> ]	1,0595
<b>Coefficiente sicurezza PGAc/PGAd (SLD)</b>	<b>0,55</b>

➤ PROSPETTO SUD-OVEST - "CINEMATISMO 3"



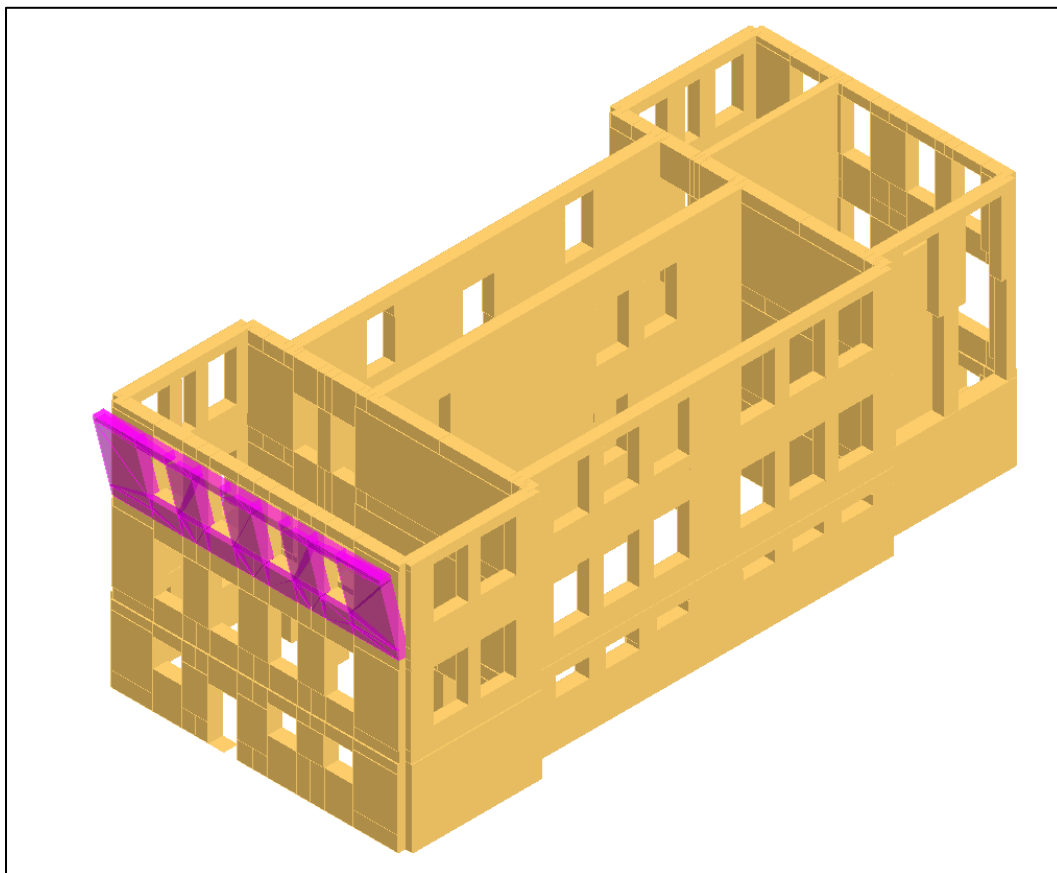


Figura 22: Rappresentazione grafica cinematismo analizzato.

Si riporta la tabella riepilogativa con i risultati delle verifiche:

Moltiplicatore attivazione ( $a_0$ )	0,122
$a_z, SLV$ [ $m/s^2$ ]	2,2068
$a_z(z)$ (SLV) [ $m/s^2$ ]	5,1121
<b>Coefficiente sicurezza <math>PGAc/PGAd</math> (SLV)</b>	<b>0,43</b>
$a_z, SLD$ [ $m/s^2$ ]	1,1034
$a_z(z)$ (SLD) [ $m/s^2$ ]	2,2452
<b>Coefficiente sicurezza <math>PGAc/PGAd</math> (SLD)</b>	<b>0,49</b>



➤ PROSPETTO NORD-OVEST – “CINEMATISMO 1”

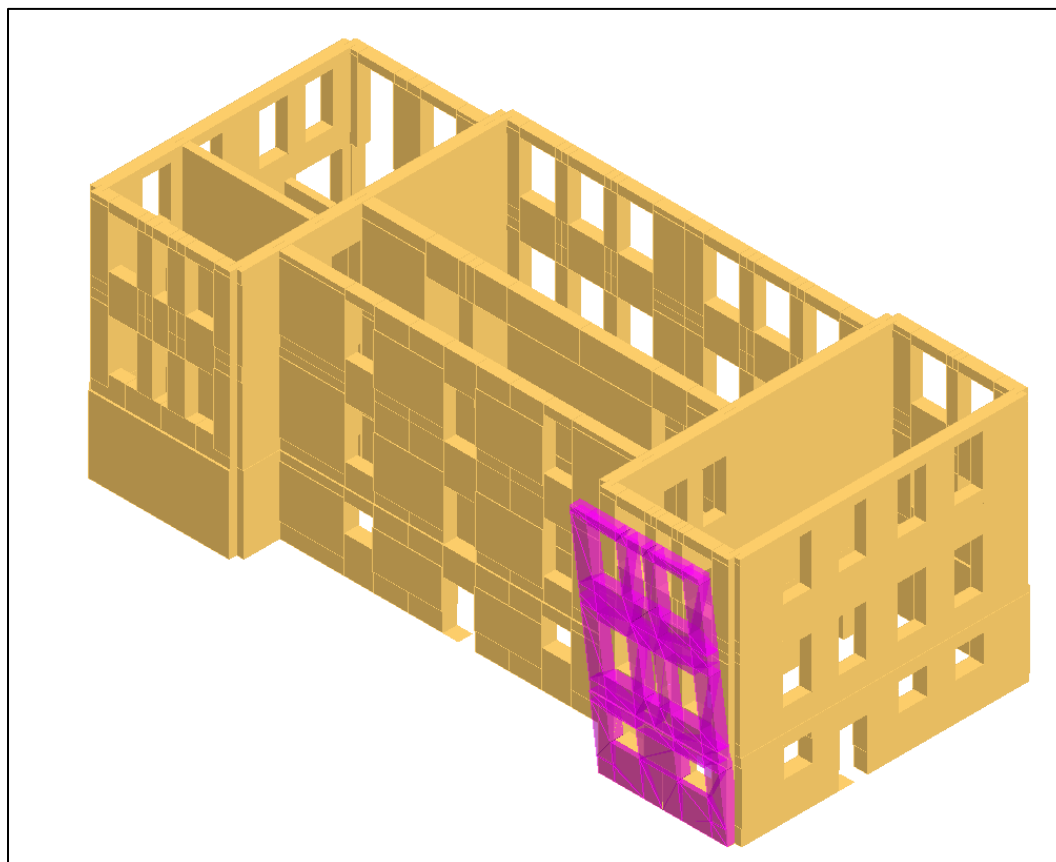


Figura 23: Rappresentazione grafica cinematismo analizzato.

Si riporta la tabella riepilogativa con i risultati delle verifiche:

Moltiplicatore attivazione ( $a_0$ )	0,060
$az, SLV$ [m/s <sup>2</sup> ]	1,2600
$az(0)$ (SLV) [m/s <sup>2</sup> ]	2,4222
<b>Coefficiente sicurezza PGAc/PGAd (SLV)</b>	<b>0,52</b>
$az, SLD$ [m/s <sup>2</sup> ]	0,6300
$az(0)$ (SLD) [m/s <sup>2</sup> ]	1,0595
<b>Coefficiente sicurezza PGAc/PGAd (SLD)</b>	<b>0,59</b>

➤ PROSPETTO NORD-OVEST – “CINEMATISMO 2”

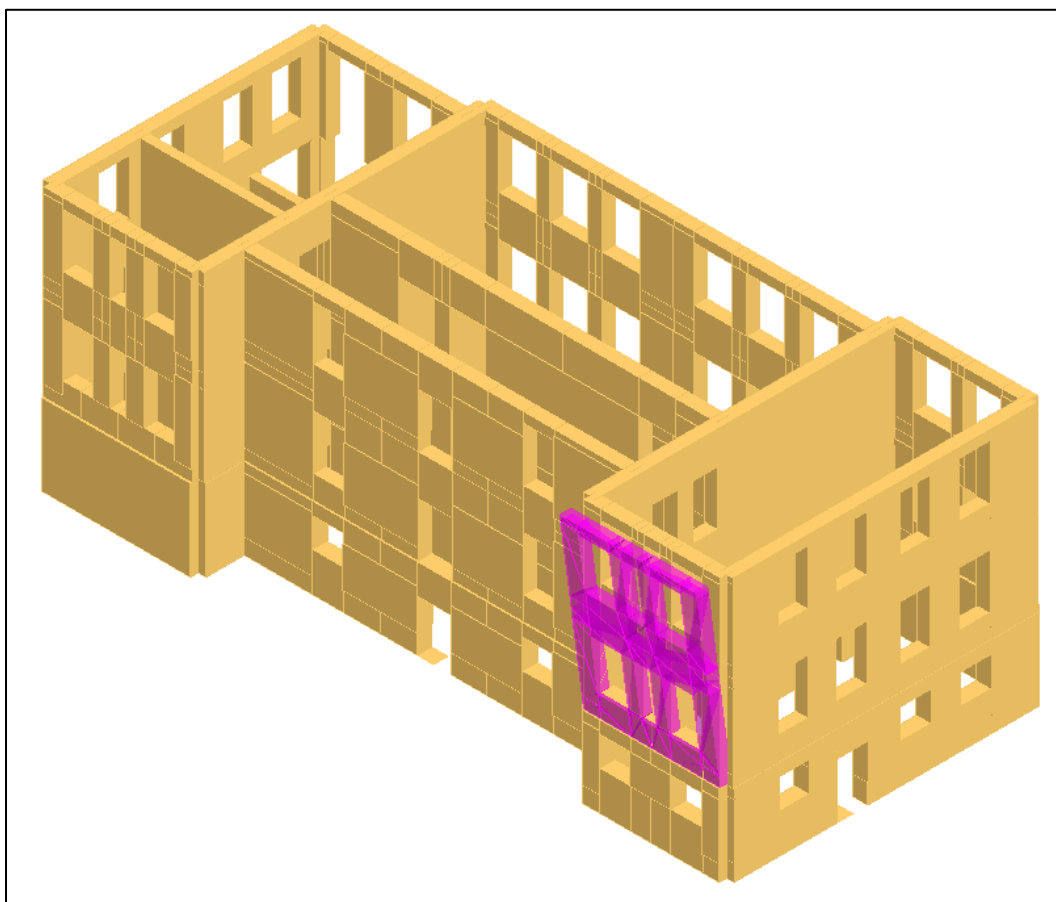


Figura 24: Rappresentazione grafica cinematismo analizzato.

Si riporta la tabella riepilogativa con i risultati delle verifiche:

Moltiplicatore attivazione ( $a_0$ )	0,065
$a_z, SLV$ [m/s <sup>2</sup> ]	1,2825
$a_z(0)$ (SLV) [m/s <sup>2</sup> ]	2,4222
<b>Coefficiente sicurezza PGAc/PGAd (SLV)</b>	<b>0,53</b>
$a_z, SLD$ [m/s <sup>2</sup> ]	0,6413
$a_z(0)$ (SLD) [m/s <sup>2</sup> ]	1,0595
<b>Coefficiente sicurezza PGAc/PGAd (SLD)</b>	<b>0,61</b>



➤ PROSPETTO NORD-OVEST – “CINEMATISMO 3”

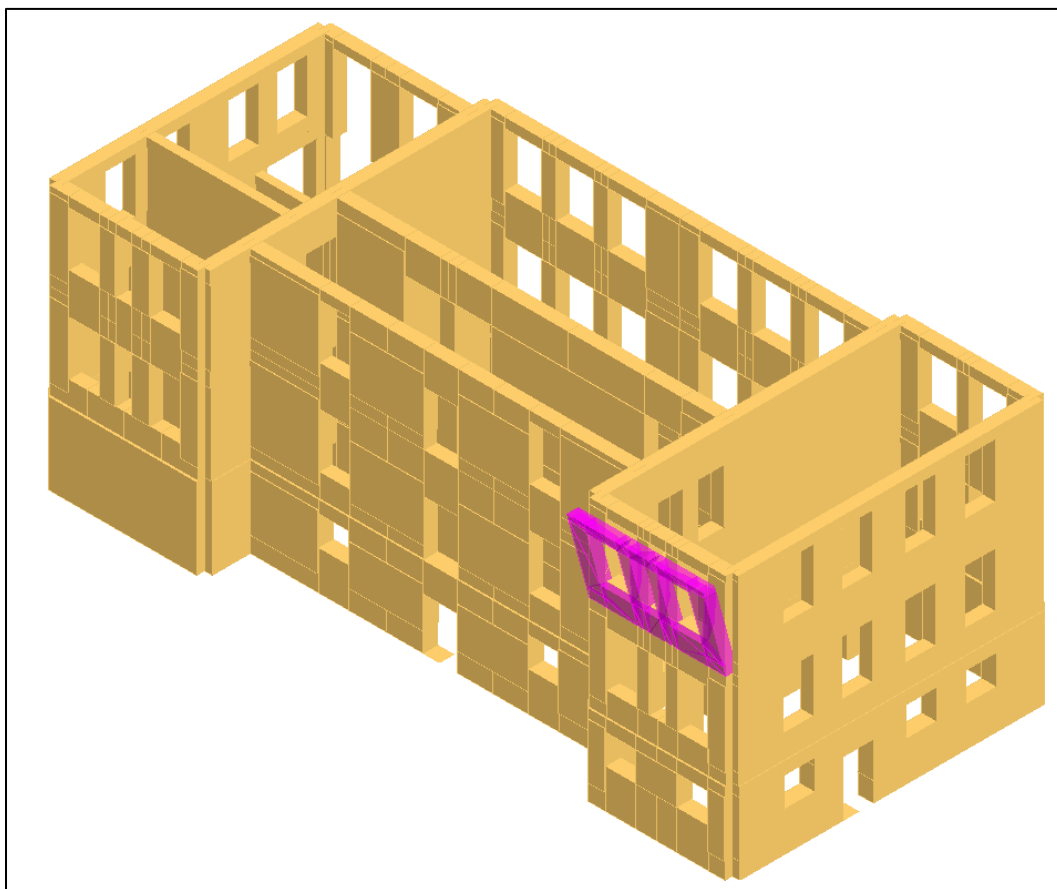


Figura 25: Rappresentazione grafica cinematismo analizzato.

Si riporta la tabella riepilogativa con i risultati delle verifiche:

Moltiplicatore attivazione ( $a_0$ )	0,132
$a_z, SLV$ [m/s <sup>2</sup> ]	2,6671
$a_z(z)$ (SLV) [m/s <sup>2</sup> ]	5,1121
<b>Coefficiente sicurezza PGAc/PGAd (SLV)</b>	<b>0,52</b>
$a_z, SLD$ [m/s <sup>2</sup> ]	1,3336
$a_z(z)$ (SLD) [m/s <sup>2</sup> ]	2,0850
<b>Coefficiente sicurezza PGAc/PGAd (SLD)</b>	<b>0,64</b>



## 10.2.2 Risultati post operam

Si riportano delle immagini riepilogative con l'esito delle verifiche nella configurazione post-operam.

### ➤ PROSPETTO SUD-OVEST – “CINEMATISMO 1”

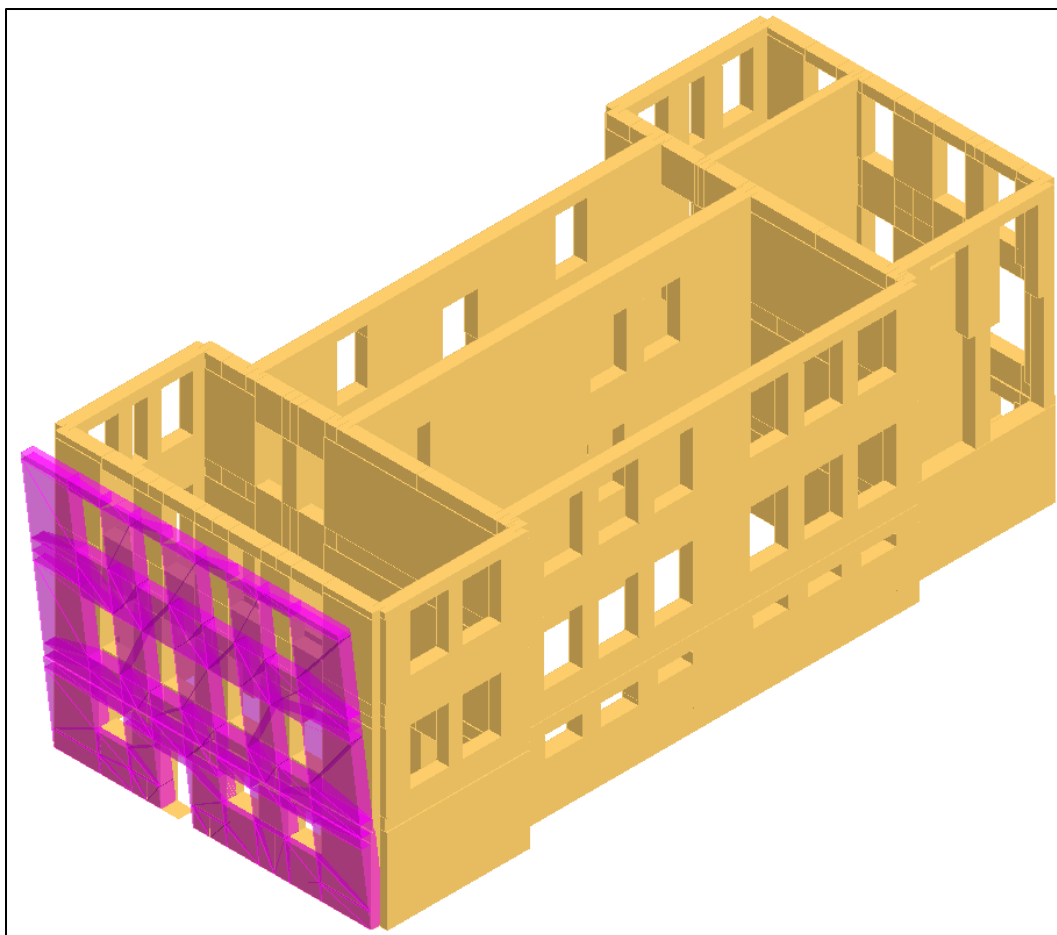


Figura 26: Rappresentazione grafica cinematismo analizzato.

Si riporta la tabella riepilogativa con i risultati delle verifiche:

Moltiplicatore attivazione ( $a_0$ )	0,284
$az_{SLV}$ [m/s <sup>2</sup> ]	5,6473
$az(0)$ (SLV) [m/s <sup>2</sup> ]	2,4222
<b>Coefficiente sicurezza PGAc/PGAd (SLV)</b>	<b>2,33</b>
$az_{SLD}$ [m/s <sup>2</sup> ]	2,8236
$az(0)$ (SLD) [m/s <sup>2</sup> ]	1,0595
<b>Coefficiente sicurezza PGAc/PGAd (SLD)</b>	<b>2,67</b>



➤ PROSPETTO SUD-OVEST – “CINEMATISMO 2”

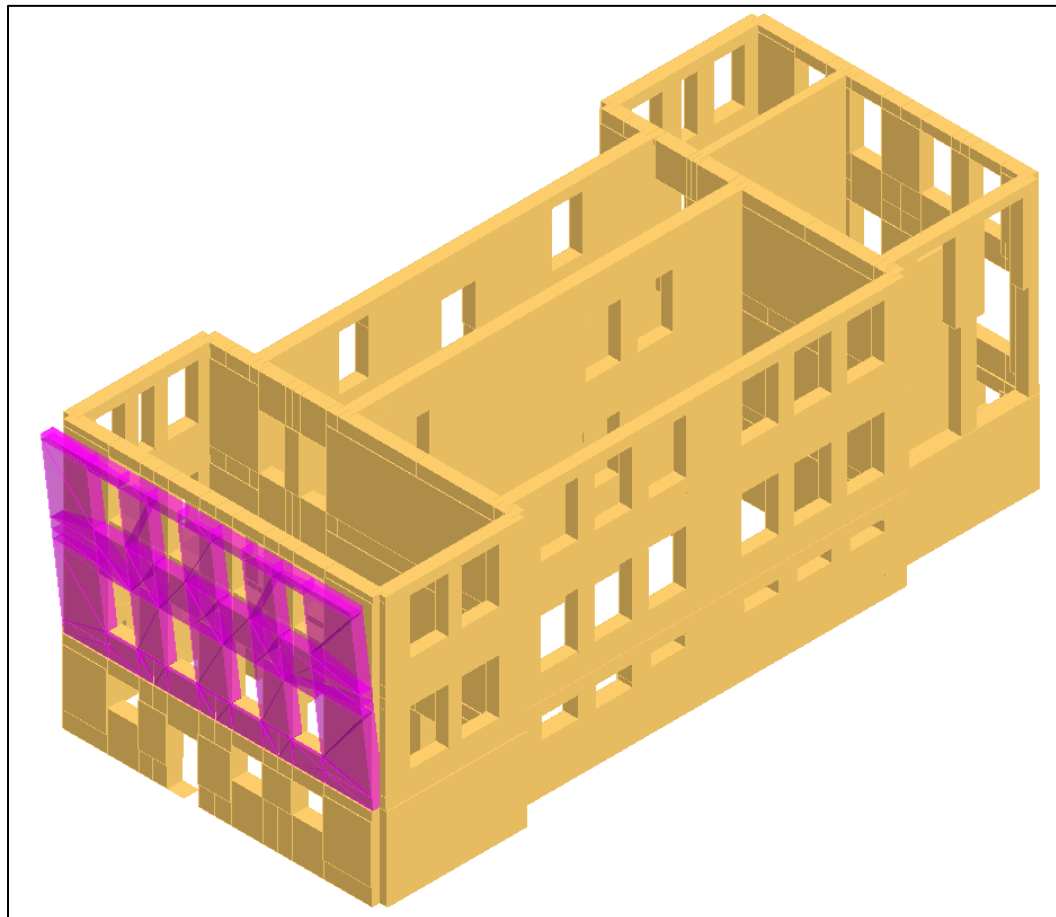


Figura 27: Rappresentazione grafica cinematismo analizzato.

Si riporta la tabella riepilogativa con i risultati delle verifiche:

Moltiplicatore attivazione ( $a_0$ )	0,327
$az, SLV$ [m/s <sup>2</sup> ]	6,1279
$az(0)$ (SLV) [m/s <sup>2</sup> ]	2,4222
<b>Coefficiente sicurezza PGAc/PGAd (SLV)</b>	<b>2,53</b>
$az, SLD$ [m/s <sup>2</sup> ]	3,0640
$az(0)$ (SLD) [m/s <sup>2</sup> ]	1,0595
<b>Coefficiente sicurezza PGAc/PGAd (SLD)</b>	<b>2,89</b>





➤ PROSPETTO SUD-OVEST - "CINEMATISMO 3"

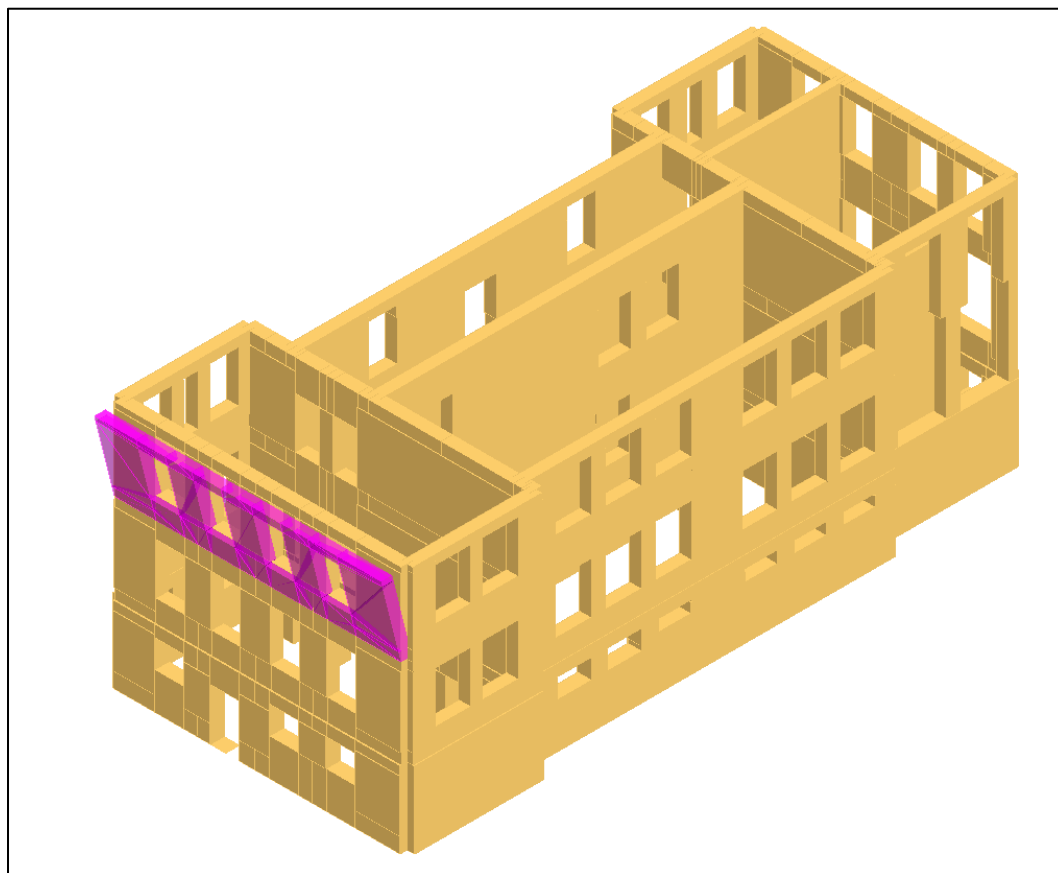


Figura 28: Rappresentazione grafica cinematismo analizzato.

Si riporta la tabella riepilogativa con i risultati delle verifiche:

Moltiplicatore attivazione ( $a_0$ )	0,423
$az, SLV$ [ $m/s^2$ ]	7,6054
$az(z)$ (SLV) [ $m/s^2$ ]	5,1121
<b>Coefficiente sicurezza <math>PGAc/PGAd</math> (SLV)</b>	<b>1,49</b>
$az, SLD$ [ $m/s^2$ ]	3,8027
$az(z)$ (SLD) [ $m/s^2$ ]	2,2452
<b>Coefficiente sicurezza <math>PGAc/PGAd</math> (SLD)</b>	<b>1,69</b>



➤ PROSPETTO NORD-OVEST – “CINEMATISMO 1”

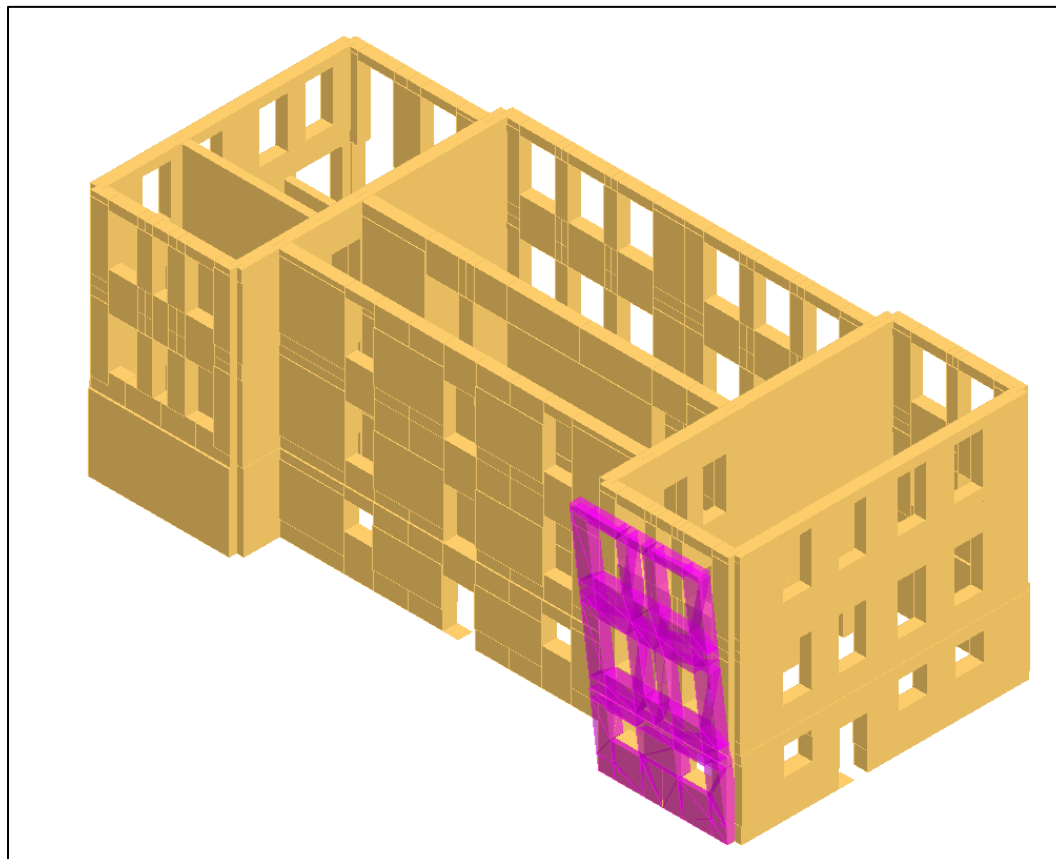


Figura 29: Rappresentazione grafica cinematismo analizzato.

Si riporta la tabella riepilogativa con i risultati delle verifiche:

Moltiplicatore attivazione ( $a_0$ )	0,586
$az,SLV$ [m/s <sup>2</sup> ]	12,0182
$az(0)$ (SLV) [m/s <sup>2</sup> ]	2,4222
<b>Coefficiente sicurezza PGAc/PGAd (SLV)</b>	<b>4,96</b>
$az,SLD$ [m/s <sup>2</sup> ]	6,0091
$az(0)$ (SLD) [m/s <sup>2</sup> ]	1,0595
<b>Coefficiente sicurezza PGAc/PGAd (SLD)</b>	<b>5,67</b>



➤ PROSPETTO NORD-OVEST - "CINEMATISMO 2"

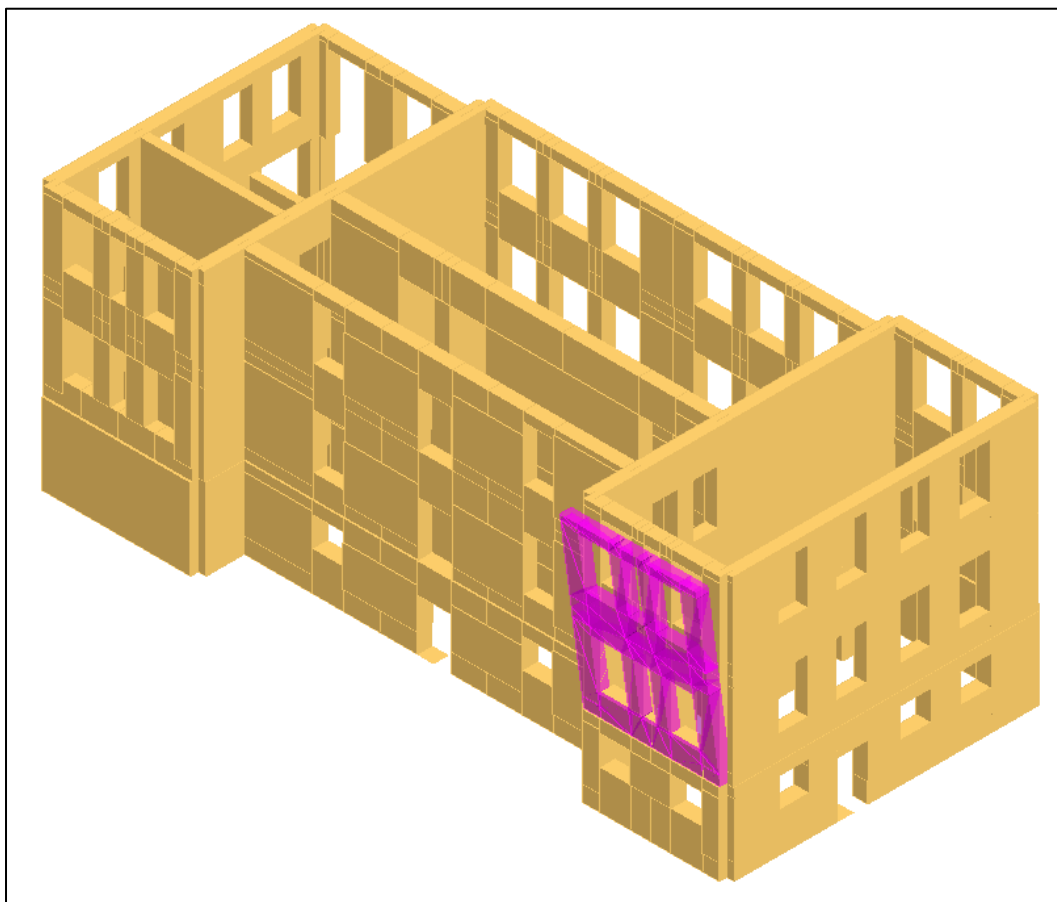


Figura 30: Rappresentazione grafica cinematismo analizzato.

Si riporta la tabella riepilogativa con i risultati delle verifiche:

Moltiplicatore attivazione ( $a_0$ )	0,624
$az, SLV$ [ $m/s^2$ ]	12,0336
$az(0)$ (SLV) [ $m/s^2$ ]	2,4222
<b>Coefficiente sicurezza PGAc/PGAd (SLV)</b>	<b>4,97</b>
$az, SLD$ [ $m/s^2$ ]	6,0168
$az(0)$ (SLD) [ $m/s^2$ ]	1,0595
<b>Coefficiente sicurezza PGAc/PGAd (SLD)</b>	<b>5,68</b>



➤ PROSPETTO NORD-OVEST - "CINEMATISMO 3"

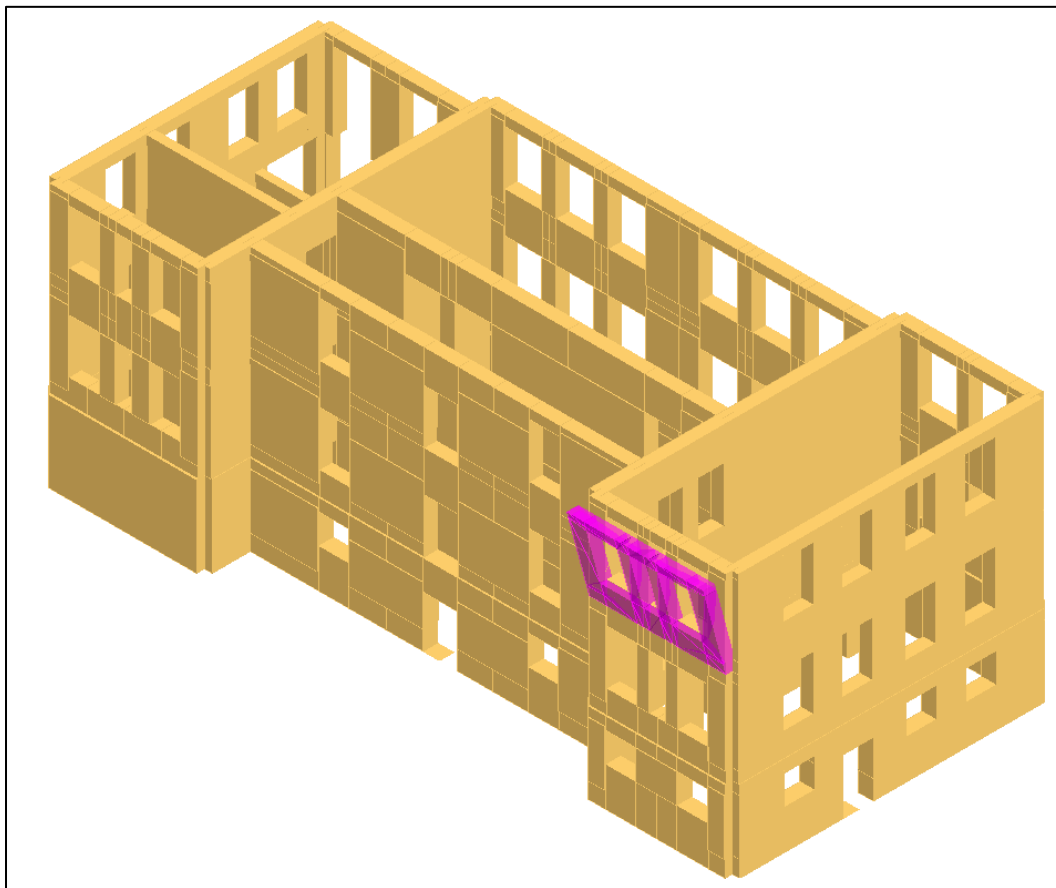


Figura 31: Rappresentazione grafica cinematismo analizzato.

Si riporta la tabella riepilogativa con i risultati delle verifiche:

Moltiplicatore attivazione ( $a_0$ )	0,756
$a_z, SLV$ [ $m/s^2$ ]	14,6517
$a_z(z)$ (SLV) [ $m/s^2$ ]	5,1121
<b>Coefficiente sicurezza <math>PGAc/PGAd</math> (SLV)</b>	<b>2,87</b>
$a_z, SLD$ [ $m/s^2$ ]	7,3258
$a_z(z)$ (SLD) [ $m/s^2$ ]	2,2452
<b>Coefficiente sicurezza <math>PGAc/PGAd</math> (SLD)</b>	<b>3,26</b>



### 10.3 Verifica a pressoflessione fuori piano:

È stata eseguita la verifica a pressoflessione fuori piano, le sollecitazioni sono state determinate applicando le forze equivalenti indicate al §7.2.3 per gli elementi non strutturali.

#### Momento sollecitante

Le verifiche fuori piano possono essere eseguite separatamente assumendo  $q_a = 3$ . Più precisamente l'azione sismica ortogonale alla parete può essere rappresentata da una forza orizzontale pari a  $S_a/q_a$  volte il carico verticale.

Per le pareti resistenti al sisma si può assumere per  $S_a$  la seguente espressione:

$$S_a = \alpha \cdot S \cdot [1,5 \cdot (1 - Z/H) - 0,5] \geq \alpha \cdot S$$

dove:

- $S_a$  accelerazione massima, adimensionalizzata rispetto a  $g$ , che l'elemento subisce durante il sisma e rispondente allo stato limite in esame;
- $\alpha$ : rapporto tra accelerazione massima del terreno  $a_g$  su sottosuolo di tipo A da considerare nello stato limite in esame e l'accelerazione di gravità;
- $S$ : è il coefficiente che tiene conto della categoria di sottosuolo e delle condizioni topografiche;
- $Z$ : quota del baricentro dell'elemento non strutturale misurata a partire dal piano di fondazione;
- $H$ : altezza della costruzione misurata a partire dal piano di fondazione.

Si assume quindi una forza orizzontale  $F_h$  definita dalla seguente relazione:

$$F_h = \frac{S_a \cdot N}{q_a}$$

dove  $N$  è il peso del maschio murario.

Tale forza deve però essere assunta uniformemente distribuita lungo l'altezza del pannello murario calcolata come:

$$q_h = F_h/h_e$$

Ipotizzando che il pannello murario sia incernierato in corrispondenza dei solai, il momento sollecitante massimo sarà a metà altezza del maschio definito come:

$$M_{ed} = \frac{q_h \cdot h_e^2}{coef}$$

dove  $h_e$  è l'altezza equivalente di calcolo del maschio pari all'altezza del livello e  $coef = 8$ .

#### Momento resistente

Per procedere al calcolo del momento ultimo  $M_{Rd}$  è necessario che sia superata la verifica a compressione centrata:

$$N \leq N_{Rd} = 0,85 \cdot f_d \cdot l \cdot t$$

dove:





$f_d$  resistenza di progetto della muratura;

$l$  lunghezza del pannello murario;

$t$  è lo spessore della parete;

Il momento ultimo sarà calcolato con la seguente formulazione:

$$M_u = \frac{t^2 l \sigma_0}{2} \cdot \left( 1 - \frac{\sigma_0}{0,85 f_d} \right);$$

$\sigma_0$  è definita come la tensione media nel maschio

### Verifica

La verifica viene condotta mediante il confronto  $M_{ed} \leq M_{Rd}$ , il corrispondente coefficiente di sicurezza sarà individuato mediante il rapporto  $M_{Rd}/M_{ed}$ . La verifica sarà pertanto da ritenersi superata qualora il coefficiente di sicurezza risulti maggiore di uno.

#### 10.3.1 Sintesi dei risultati

##### ANTE OPERAM

Parete	/	MRd/Med Min
1		2,15
2		2,92
3		2,01
4		4,30
5		2,80
6		1,45
7		2,58
8		2,29
9		2,01
10		2,45
11		2,44
12		2,38
13		2,55

##### POST OPERAM

Parete	/	MRd/Med Min
1		2,19
2		2,88
3		1,83
4		3,08
5		2,63
6		1,21
7		2,60
8		2,52
9		2,12
10		2,39
11		2,45
12		2,44
13		2,48





#### 10.4 Verifiche a carichi verticali in condizioni statiche:

Sulla struttura costituente l'aggregato sono state eseguite le seguenti verifiche statiche, le verifiche richieste si concretizzano nel confronto fra il valore del carico verticale agente ed il carico verticale resistente. Questa valutazione viene effettuata prendendo in esame i valori di snellezza ed eccentricità di cui al §4.5.6 delle NTC 2018.

##### Snellezza della muratura

La verifica di snellezza è eseguita in accordo con quanto riportato al punto 4.5.4. delle NTC 2018.

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

- $h_0$ : lunghezza libera di inflessione del muro pari a  $\rho \cdot h$ ;
- $t$ : spessore del muro;
- $h$ : l'altezza interna di piano;
- $\rho$ : il fattore laterale di vincolo.

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

$$h_0/t < 20$$

##### Eccentricità dei carichi

La verifica di snellezza è eseguita in accordo con quanto riportato al punto 4.5.6.2. del D.M.2008.

Tale verifica risulta soddisfatta qualora risultino verificate le seguenti condizioni:

$$e_1/t \leq 0.33$$

$$e_2/t \leq 0.33$$

in cui:

- $t$ : spessore del muro
- $e_1 = |e_s| + |e_a|$
- $e_2 = e_1/2 + |e_v|$
- $e_s$ : eccentricità totale dei carichi verticali
- $e_a$ :  $h/200$
- $e_v$ : eccentricità dovuta al vento  $e_v = M_v / N$

##### Verifica a carichi verticali

La verifica di snellezza è eseguita in accordo con quanto riportato al punto 4.5.6.2. del D.M.2008.

Tale verifica risulta soddisfatta qualora risulti verificata la seguente:

$$N_d \leq N_r$$

in cui:

- $N_d$ : carico verticale agente





**N<sub>r</sub>:** carico verticale resistente;  $N_r = \phi f_d/A$

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

**f<sub>d</sub>:** resistenza di calcolo della muratura;

**φ:** coefficiente di riduzione della resistenza del muro

Queste verifiche sono state eseguite in ogni maschio murario della struttura, nelle tre sezioni principali (inferiore, centrale, superiore).

I valori dello sforzo normale resistente saranno calcolabili solamente se le verifiche di snellezza ed eccentricità dei carichi risultano soddisfatte.

#### 10.4.1 Sintesi dei risultati

Nella tabella seguente si riportano gli esiti delle verifiche statiche effettuate per le pareti in condizioni ante - operam e post operam.

##### ANTE OPERAM

Parete	Maschi rotti	Nd/Nr Max	h0/t Max	e1/t Max	e2/t Max
2	20	2,63	7,30	0,265	0,128
10	7	1,78	7,30	0,243	0,122
12	4	1,77	7,30	0,244	0,081
11	3	1,65	7,30	0,251	0,089
5	5	1,63	7,30	0,097	0,042
13	6	1,55	7,50	0,249	0,126
4	1	1,22	12,17	0,061	0,072
6	1	1,20	12,17	0,084	0,061
7	4	1,09	7,30	0,208	0,105
1	0	0,87	7,30	0,037	0,058
8	0	0,86	7,30	0,037	0,058
9	0	0,71	7,30	0,037	0,060
3	0	0,62	7,30	0,037	0,063

##### POST OPERAM

Parete	Maschi rotti	Nd/Nr Max	h0/t Max	e1/t Max	e2/t Max
1	0	0,41	7,22	0,036	0,058
2	0	0,99	7,22	0,209	0,104
3	0	0,41	7,22	0,036	0,066
4	0	0,50	12,10	0,061	0,089
5	0	0,93	7,22	0,081	0,036
6	0	0,41	12,10	0,064	0,061
7	0	0,60	7,22	0,162	0,089
8	0	0,47	7,22	0,036	0,056
9	0	0,39	7,22	0,036	0,058
10	0	0,97	7,22	0,192	0,101
11	0	0,90	7,22	0,199	0,070
12	0	0,71	7,26	0,192	0,064
13	0	0,90	7,50	0,196	0,104

Si riportano nel seguito alcune immagini del modello di calcolo con la localizzazione degli elementi che condizionano l'esito dell'analisi statica nella configurazione ante - operam:

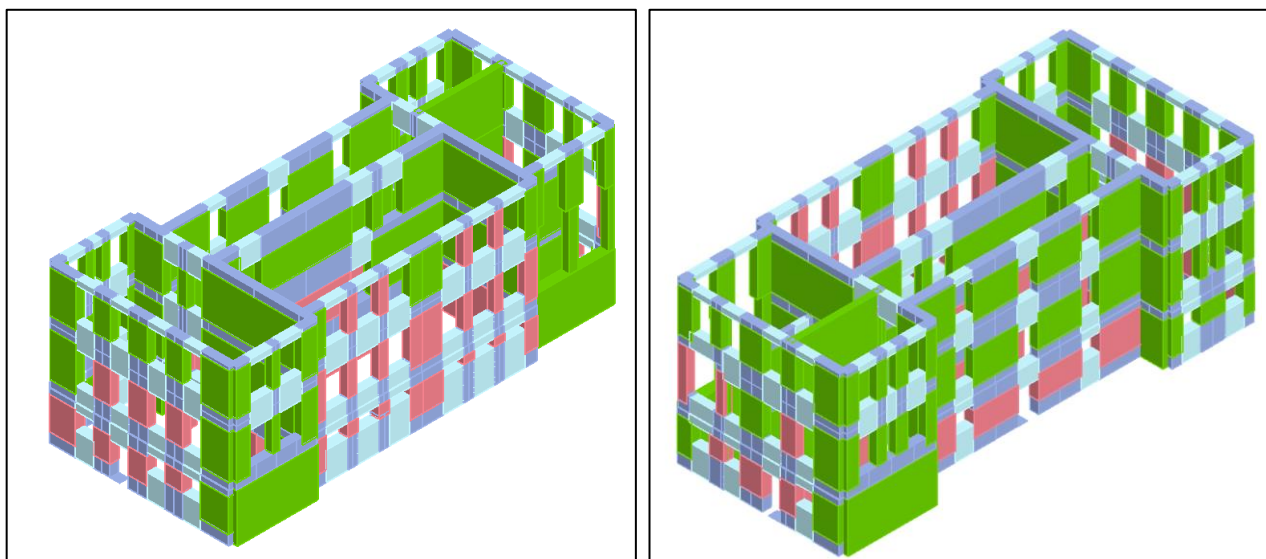


Figura 32: Risultati analisi statica – in rosso gli elementi che non soddisfano le verifiche allo SLU – ANTE OPERAM.

## 11 ELEMENTI NON STRUTTURALI ED IMPIANTI

Per quanto riguarda le verifiche degli elementi non strutturali ed impianti, le NTC 2018 prevedono al §7.3.6, che per questi, nelle costruzioni classe d'uso III siano condotte opportune verifiche in termini di stabilità e allo SLV e di funzionalità allo SLO. Per gli elementi non strutturali (es. tramezzi, tamponature) saranno impiegati opportuni accorgimenti (es. inserimento di leggere reti da intonaco su ambo le facce della muratura) per scongiurare collassi fragili, o l'espulsione di materiale sotto l'azione sismica. Per quanto riguarda gli impianti l'intervento non prevede la modifica degli impianti esistenti, bensì il solo ripristino di quegli elementi interessati dalle lavorazioni sulle parti strutturali dell'opera. Tra questi non vi sono elementi di massa tale da richiedere la verifica degli elementi di sostegno o di collegamento. Pertanto, a seguito delle precedenti valutazioni possono ragionevolmente omettersi le verifiche specifiche.

## 12 CONSIDERAZIONI SULLE FONDAZIONI

Le verifiche geotecniche sono omesse ai sensi del §8.3 del DM 17 gennaio 2018.



## 13 SOFTWARE UTILIZZATI

<b>Sigla:</b>	3MURI
<b>Produzione e distribuzione:</b>	S.T.A. DATA s.r.l. Corso Raffaello, 12 - 10126 TORINO (TO) tel. 0116699345 fax 0116699375 internet: <a href="http://www.stadata.com">http://www.stadata.com</a> email: <a href="mailto:info@stadata.com">info@stadata.com</a>
<b>Autori:</b>	Prodotto: S.T.A. DATA S.r.l.; Motore di calcolo: Responsabile Prof. Ing. Sergio LAGOMARSINO, Prof. Ing. Serena CATTARI, Prof. Ing. Andrea PENNA, Ing. Alessandro GALASCO
<b>Versione:</b>	13.2.0.14
<b>Numero Licenza:</b>	(53679)

### 13.1 Codice di calcolo, solutore e affidabilità dei risultati

Come previsto al punto 10.2 delle norme tecniche di cui al D.M. 14.01.2008 l'affidabilità del codice utilizzato è stata verificata sia effettuando il raffronto tra casi prova di cui si conoscono i risultati esatti sia esaminando le indicazioni, la documentazione ed i test forniti dal produttore stesso. Il software è inoltre dotato di filtri e controlli di autodiagnostica che agiscono a vari livelli sia della definizione del modello che del calcolo vero e proprio.

I controlli vengono visualizzati, sotto forma di tabulati, di videate a colori o finestre di messaggi.

In particolare, il software è dotato dei seguenti filtri e controlli:

- Filtri per la congruenza geometrica del modello di calcolo generato;
- Controlli a priori sulla presenza di elementi non connessi, interferenze, mesh non congruenti o non adeguate;
- Filtri sulla precisione numerica ottenuta, controlli su eventuali mal condizionamenti delle matrici, verifica dell'indice di condizionamento;
- Controlli sulle verifiche sezionali e sui limiti dimensionali per i vari elementi strutturali in funzione della normativa utilizzata.

### 13.2 Valutazione dei risultati e giudizio motivato sulla loro accettabilità

Il software utilizzato permette di modellare analiticamente il comportamento fisico della struttura utilizzando la libreria disponibile di elementi finiti.

Le funzioni di visualizzazione ed interrogazione sul modello permettono di controllare sia la coerenza geometrica che le azioni applicate rispetto alla realtà fisica. Inoltre, la visualizzazione ed interrogazione dei risultati ottenuti dall'analisi quali sollecitazioni, tensioni, deformazioni, spostamenti, reazioni vincolari hanno permesso un immediato controllo con i risultati ottenuti mediante schemi semplificati di cui è nota la soluzione in forma chiusa nell'ambito della Scienza delle Costruzioni. Si è inoltre controllato che le reazioni vincolari diano valori in equilibrio con i carichi applicati, in particolare per i valori dei taglianti di base delle azioni sismiche si è provveduto a confrontarli con valori ottenuti da modelli SDOF semplificati. Si è inoltre verificato che tutte le funzioni di controllo ed autodiagnostica del software abbiano dato esito positivo.



## 14 CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

In base alle analisi effettuate, si è messo in evidenza come grazie all'intervento progettato si sia riusciti ad ottenere dei livelli di sicurezza nei confronti degli SLV idonei ad adempiere a quanto previsto al §8.4.2 delle NTC 2018.

Si riportano nel seguito i valori dei principali indicatori di sicurezza nei riguardi delle azioni sismiche nella configurazione **ANTE OPERAM** si siano riusciti a conseguire i seguenti livelli di sicurezza:

ANALISI GLOBALE				MECCANISMI LOCALI	
SLC	SLV	SLD	SLO	SLV	SLD
52%	47%	52%	44%	43%	49%

Si riportano nel seguito i valori dei principali indicatori di sicurezza nei riguardi delle azioni sismiche nella configurazione **POST OEPRAM**:

ANALISI GLOBALE				MECCANISMI LOCALI	
SLC	SLV	SLD	SLO	SLV	SLD
77%	70%	56%	46%	149%	169%

I risultati pertanto soddisfano i requisiti prestazionali previsti dalla vigente normativa, con particolare riferimento a quanto previsto al §8.4.2 nel quale si specifica: "[...] per le costruzioni di classe III ad uso scolastico e di classe IV il valore di  $\zeta_E$  a seguito degli interventi di miglioramento, deve essere comunque non minore di 0,6, mentre per le rimanenti costruzioni di classe III e per quelle di classe II il valore di  $\zeta_E$ , sempre a seguito degli interventi di miglioramento, deve essere incrementato di un valore comunque non minore di 0,1 [...]".

Risultano altresì soddisfatte le verifiche di resistenza dei pannelli murari nei riguardi delle azioni statiche, e per le verifiche a pressoflessione fuori piano. Tutti i nuovi elementi oggetto di intervento (nuovi solai, nuove coperture) soddisfano le verifiche agli SLU ed SLE.

**I Progettisti**