

RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE**INDICE**

A)	PREMESSA	3
B)	CARATTERISTICHE DELL'INTERVENTO	6
C)	NORMATIVE DI RIFERIMENTO	6
D)	ELENCO ELABORATI	7
1	RELAZIONE ILLUSTRATIVA	8
1.1	Descrizione Generale dell'Opera allo Stato di Fatto	8
1.1.1	Elaborati Grafici dello Stato di Fatto	8
1.2	Categoria, Metodologia e Descrizione degli Interventi	9
1.2.1	Nastrature sommitali in FRCM	9
1.2.2	Rinforzi angolate e unioni a martello	10
1.2.3	Rinforzi di alcuni setti in FRCM	10
1.2.4	Interventi vari	10
1.2.5	Elaborati Grafici dello Stato di Progetto	11
1.3	Relazione sui Materiali	12
1.4	Vita Nominale, Classe d'Uso e Periodo di Riferimento	14
1.4.1	Vita Nominale	14
1.4.2	Classe d'Uso	14
1.4.3	Periodo di Riferimento	14
1.5	Azioni sulla Costruzione	15
1.5.1	Combinazione delle Azioni	15
1.5.2	Analisi dei Carichi	16
1.5.3	Analisi di Regolarità	16
1.5.4	Determinazione dell'Azione Sismica	17
1.5.5	Determinazione dell'Azione della Neve	19
1.6	Criteri di Verifica agli Stati Limite	19
1.7	Criteri di Modellazione e Progettazione	20
1.7.1	Modellazione del Complesso Edilizio allo Stato di Progetto	20
1.7.2	Codici di Calcolo ed Accettabilità dei Risultati	20
1.8	Metodi di Analisi	21
1.8.1	Verifiche Globali – Analisi Statica Non Lineare (Pushover)	21
1.8.2	Verifiche Globali – Analisi Dinamica Lineare	23
1.8.3	Verifiche Locali – Analisi dei Meccanismi Locali di Collasso	23
2	RELAZIONE DI CALCOLO	25

2.1	Verifiche Globali – Analisi Statica Non Lineare – Stato di Fatto	25
2.2	Verifiche Globali – Analisi Statica Non Lineare – Stato di Progetto.....	27
2.3	Verifiche Globali – Analisi Dinamica Lineare – Stato di Fatto	30
2.4	Verifiche Globali – Analisi Dinamica Lineare – Stato di Progetto	31
2.5	Verifiche Locali – Analisi dei Meccanismi Locali di Collasso – Stato di Fatto	32
2.6	Verifiche Locali – Analisi dei Meccanismi Locali di Collasso – Stato di Progetto.....	38
3	RELAZIONE SULLE FONDAZIONI E GEOTECNICA	43
4	DETERMINAZIONE DELL'INDICATORE DI RISCHIO (IR)	44
4.1	Meccanismi Globali	44
4.2	Meccanismi Locali	44
4.3	Riepilogo dei Risultati.....	44
4.4	Confronto tra gli Indicatori di Rischio pre e post Intervento.....	45

A) PREMESSA

La presente relazione ha per oggetto il progetto di adeguamento/Miglioramento Sismico del Complesso Scolastico sito nel Comune di Fossombrone, in Via Zoccolanti n°1, località Borgo Sant'Antonio.

L'edificio, destinato a Scuola Materna e realizzato a metà degli anni '60, ospita aule per la didattica, un locale palestra, servizi igienici, un locale mensa e locali tecnici.



Vista Aerea del Complesso Scolastico di Fossombrone (PU)

L'ingombro planimetrico è inscrivibile in un rettangolo di lati 36,00m e 13,00m.

In linea generale, l'edificio presenta una pianta non regolare con altezza al colmo di 7,14 m rispetto al piano di calpestio esterno.

L'immobile è composto da un piano fuori terra e da sottotetti non praticabili.

I vari livelli del fabbricato hanno la seguente consistenza:

Livello	Superficie (mq)	Altezza di interpiano (m)	
		Lato aule	Lato palestra
Piano Terra	313	3,4	3,4
Piano Sottotetto	313	1,84	0,55
Totali	626	5,24	3,95

La cubatura del complesso è di 1.563 m³.

L'edificio scolastico ha una struttura in muratura portante costituita da pareti in mattoni di laterizio tipo doppio UNI (o 21 fori) a due teste con elementi trasversali di collegamento.

La copertura è a due falde con solaio in laterocemento di tipo spingente.

I solai di sottotetto risultano essere tutti in laterocemento.

Sul fronte zona ingresso è presente una trave in c.a. che porta, oltre al solaio, una pensilina a sbalzo in c.a. di luce 1,20m.

Le indagini condotte per la redazione della Verifica di Vulnerabilità Sismica redatta nel Maggio 2018 dallo "Studio Ingenium", hanno permesso di accertare la presenza di un cordolo perimetrale a livello del solaio di orizzontamento nonché la presenza di tubazioni dell'impianto di riscaldamento incassati dentro le murature.

La verifica di vulnerabilità sismica redatta sulla base della NTC 2008 sopracitata, fornisce come risultato finale, degli indici di sicurezza derivanti da analisi globali, da cinematismi locali e da sisma diagonale come di seguito riportato.

	I_R
Analisi Globale	1,12
Cinematismi locali	0,32
Sisma Ortogonale	4,98

NTC 2008

Vengono inoltre indicate le vulnerabilità/criticità:

1. Concezione strutturale basata su normative non sismiche;
2. Pareti perimetrali zona palestra con lunghezza 9m;
3. Assenza di catene;
4. Presenza di nicchie;
5. Presenza di tubazioni incassate nella muratura;
6. Espulsione del copriferro in corrispondenza delle barre d'armatura dei cornicioni;
7. Pareti murarie non efficacemente ammorsate tra loro;
8. Copertura in laterocemento di tipo spingente;

nonché interventi di consolidamento in grado di aumentare la capacità di resistenza nei confronti dei "cinematismi locali" con una serie di ipotesi di intervento:

1. Ammorsamento con cuciture armate delle connessioni murarie;
2. Inserimento di catene;
3. Rinforzo degli elementi non strutturali (divisori) con interventi di solidarizzazione agli elementi strutturali ad esempio attraverso reti in fibre;
4. Chiusura di nicchie con ad esempio intervento di scuci e cucì;
5. Protezione e passivazione dei ferri e ripristino del cls dei cornicioni.

Le indagini condotte in sede di Verifica della Vulnerabilità Sismica, non sono state estese al sistema fondale, ipotizzato come “piastra in c.a.”

L'assenza di stati fessurativi permette comunque di considerare idoneo il sistema fondale, che ora si ipotizza di tipo nastriforme in c.a. continuo al di sotto di tutte le pareti murarie.

Per la caratterizzazione geotecnica dei terreni si è fatto riferimento alla Relazione del Geologo Bisiccia.

Nella Verifica di Vulnerabilità non sono state condotte analisi dei meccanismi locali delle pareti disposte nella direzione della lunghezza maggiore della struttura, inoltre negli elaborati sono contenute imprecisioni sulla geometria dei pannelli murari della zona palestra.

L'ipotesi di “pareti murarie non efficacemente ammortate tra loro” risulta alquanto cautelativa.

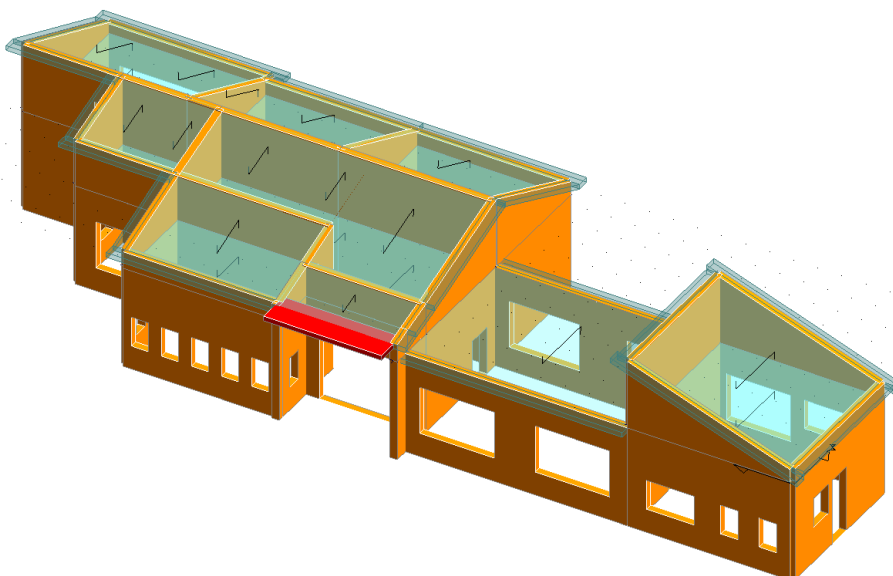
Non è stato considerato l'elemento “pensilina a sbalzo frontale” per la quale sono necessari interventi di risanamento e consolidamento.

La valutazione di sicurezza e del livello di vulnerabilità sismica, è riportata nel fascicolo allegato alla presente Relazione di Calcolo Strutturale (All.01 STRU SP) condotta con le NTC 2018 che aggiorna ed integra pertanto la Verifica di Vulnerabilità redatta nel maggio 2018.

	I _R
Analisi Globale	0,98
Cinematismi locali	0,19
Sisma Ortogonale	1,65

“Tabulati di Calcolo”

Indici di Sicurezza Stato di Fatto
NTC 2018



Modello 3D del Fabbricato

B) CARATTERISTICHE DELL'INTERVENTO

Il progetto si basa sui risultati delle Verifiche di Sicurezza ottenuti attraverso il percorso conoscitivo e di analisi dell'organismo edilizio.

Sono stati condotti vari studi per individuare idonee metodologie di intervento in relazione ai valori dell'Indicatore di Rischio posti come obiettivo finale.

Gli interventi previsti e sottoelencati permettono di raggiungere l'adeguamento che, in termini di indici di sicurezza, assume valori di IR_{SLV} sempre maggiori di 1:

- Disposizione di nastrature sommitali in FRCC su tutte le murature a livello del solaio con funzione di "catena";
- Disposizione di rinforzi delle angolate e delle unioni a martello con FRCC;
- Rinforzo integrale di alcuni setti con FRCC;
- Risanamento e consolidamento della pensilina a sbalzo frontale;
- Chiusura di nicchie e vuoti sulle pareti murarie;
- Ripristino c.a. ammalorato dei cornicioni;
- Disposizione di reti antiribaltamento su alcune tramezzature.

Le opere di miglioramento sismico sono accompagnate naturalmente da una serie di lavorazioni che prevedono i necessari ripristini.

C) NORMATIVE DI RIFERIMENTO

La valutazione della sicurezza viene redatta in conformità alle seguenti normative:

- D.M. 17/01/2018 "Norme Tecniche per le Costruzioni 2018";
- Circolare 21/01/2019, n.7 C.S.LL.PP. Istruzioni per l'applicazione delle "Norme Tecniche per le costruzioni 2018";
- OPCM n.3274 del 08/05/2003;
- D.Lgs n°42/2004;
- D.G.R. Marche n. 1168 del 26/07/2010 "Linee di indirizzo per la stesura della relazione tecnica per le verifiche di vulnerabilità di edifici esistenti ai sensi del D.M. del 14/01/2008 e della Circolare n.617 del 02/02/2009";
- DPCM del 9 febbraio 2011 "Valutazione e riduzione del rischio sismico del patrimonio culturale con riferimento alle Norme tecniche per le costruzioni di cui al D.M. 14/01/2008".

REFERENZE TECNICHE (Cap.12 D.M. 17/01/2018)

Studi specialistici, ricerche ed analisi sul comportamento delle strutture e tecniche di intervento per il miglioramento / adeguamento sismico.

D) ELENCO ELABORATI**PROGETTO ARCHITETTONICO**

RTI		Relazione Tecnica Illustrativa
Doc. 01	Stato di fatto	Documentazione fotografica
Tav. A.01	Stato di fatto	Inquadramento e Piante
Tav. A.02	Stato di fatto	Prospetti e Sezioni

PROGETTO STRUTTURALE

Tav. S.01	Stato di progetto	Pianta, Prospetto e Sezioni
Tav. S.02	Stato di progetto	Pianta, Prospetto e Particolari
RC	Stato di progetto	Relazione di Calcolo Strutturale
TC	Stato di progetto	Tabulati di calcolo

PIANO DI MANUTENZIONE

PM	Piano di Manutenzione
----	-----------------------

ELABORATI ESTIMATIVI

CME	Stato di progetto	Computo metrico estimativo
EP	Stato di progetto	Elenco prezzi unitari
AP	Stato di progetto	Analisi nuovi prezzi
OS	Stato di progetto	Oneri della sicurezza
IMdO	Stato di progetto	Incidenza manodopera
QE	Stato di progetto	Quadro economico

PIANO DI SICUREZZA E COORDINAMENTO

PSC	Stato di progetto	Piano di sicurezza e coordinamento
FO	Stato di progetto	Fascicolo dell'opera
Gantt	Stato di progetto	Cronoprogramma dei Lavori

CAPITOLATO SPECIALE D'APPALTO (CSA)

CSA	Stato di progetto	Capitolato Speciale d'Appalto
SC	Stato di progetto	Schema di contratto

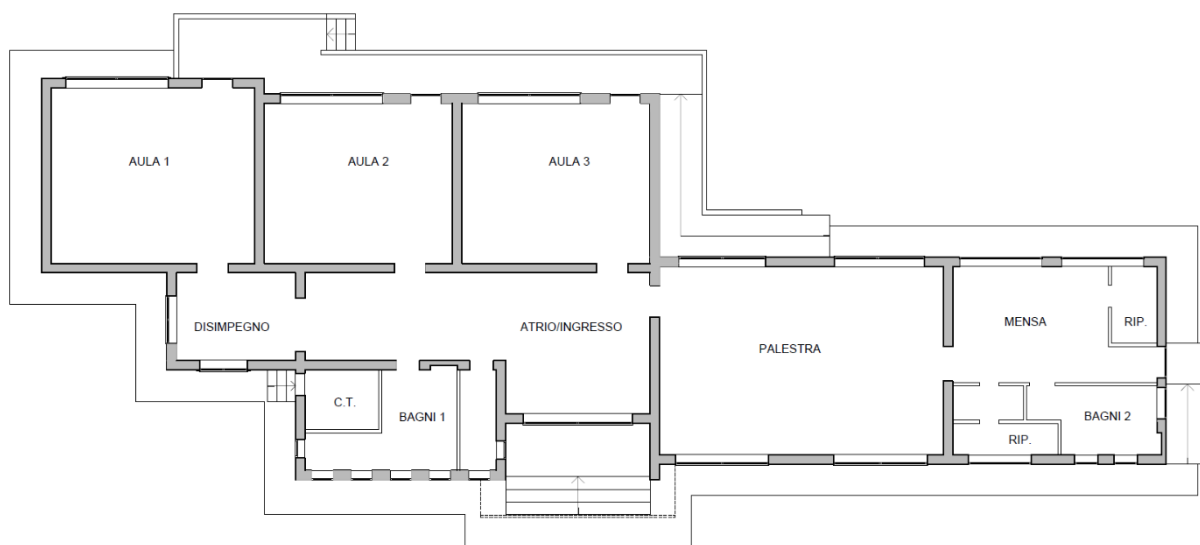
1 RELAZIONE ILLUSTRATIVA

1.1 Descrizione Generale dell'Opera allo Stato di Fatto

L'intero edificio scolastico, situato nel centro abitato di Fossombrone, comprende n. 3 aule, n.1 palestra, n.1 mensa, n.1 corridoio, n.3 bagni, n.1 disimpegno, n.2 ripostigli e n.1 locale tecnico caldaia.

All'esterno, l'edificio è dotato di un giardino recintato e di un cortile.

Per semplicità espositiva, si riporta una planimetria del fabbricato.



Planimetria

Per la descrizione dell'edificio, si fa riferimento alla verifica di vulnerabilità del Maggio 2018.

1.1.1 Elaborati Grafici dello Stato di Fatto

Gli elaborati grafici, tratti dalla Verifica di Vulnerabilità sismica dell'edificio, sono stati aggiornati in base a nuove verifiche in sito con nuovo rilievo di dettaglio.

Di seguito elenco degli elaborati di progetto allo Stato di Fatto:

Pianta Piano Terra e Pianta delle Coperture – **Tav. A.01**

Prospetti e Sezioni – **Tav. A.02**

1.2 Categoria, Metodologia e Descrizione degli Interventi

Il progetto è finalizzato all'Adeguamento Sismico dell'edificio scolastico, e prevede i seguenti interventi:

- a) Disposizione di nastrature sommitali in FRCM su tutte le murature a livello del solaio con funzione di “catena”;
- b) Disposizione di rinforzi delle angolate e delle unioni a martello con FRCM;
- c) Rinforzo integrale di alcuni setti con FRCM;
- d) Risanamento e consolidamento della pensilina a sbalzo frontale;
- e) Chiusura di nicchie e vuoti sulle pareti murarie;
- f) Ripristino c.a. ammalorato dei cornicioni;
- g) Disposizione di reti antiribaltamento in FRCM

1.2.1 Nastrature sommitali in FRCM

In corrispondenza della sommità delle pareti portanti vengono disposte nastrature in FRCM di altezza pari a 20 cm del TIPO PBO MESH GOLD 44/88 unidirezionale su entrambi i lati unite da connettori TIPO PBO JOINT GOLD 6.0.

Sulle pareti esterne viene disposta una fasciatura bidirezionale di altezza 50 cm che si estende a tutto lo spessore del cordolo di solaio tipo PBO MESH GOLD 22-22, anch'essa ancorata alle pareti con connettori, passanti e non passanti, del tipo PBO JOINT GOLD 6.0.

Le nastrature vengono disposte in monostrato o doppio strato a seconda dell'azione che devono contrastare (per maggiori dettagli si vedano gli elaborati grafici di progetto Tav. S.01 e Tav. S.02).

La funzione è quella di contrastare le azioni sismiche orizzontali poste al livello del solaio di piano.

Il presidio viene disposto in quanto, non potendo accertare l'efficacia degli orizzontamenti e dei cordoli, viene garantito il comportamento scatolare dell'edificio soprattutto in corrispondenza della zona di unione tra i due corpi dell'edificio di larghezza diversa.

1.2.2 Rinforzi angolate e unioni a martello

Le unioni ad angolo e quelle a martello, pur apparendo efficaci dal punto di vista costruttivo, sono comunque oggetto d'intervento, seguendo le indicazioni della Valutazione di Vulnerabilità redatta nel maggio 2018. Allo scopo però non si ritengono idonei gli interventi in essa indicati per le murature semipiene di cui trattasi (cuciture armate).

Il progetto prevede un rinforzo in FRM, con fibre di PBO MESH GOLD 22-22 bidirezionali, da disporre su entrambi i lati, per tutt'altezza, con connettori tipo PBO JOINT GOLD 6.0, uniformando così la tipologia di intervento con quello adottato per le nastrature e di integrarsi con le caratteristiche delle murature esistenti (vedi Tav. S.02).

1.2.3 Rinforzi di alcuni setti in FRM

L'analisi globale permette di individuare la posizione di formazione delle prime cerniere plastiche che portano al meccanismo di collasso.

Esse avvengono in corrispondenza di due maschi murari.

Essi vengono pertanto rinforzati per tutta la loro estensione con FRM utilizzando una rete bidirezionale tipo PBO MESH GOLD 22x22.

1.2.4 Interventi vari

d) Risanamento e consolidamento della pensilina e sbalzo frontale in c.a. che presenta uno stato di degrado piuttosto esteso.

Viene attuato un intervento particolare composto da tre fasi:

- 1) Ripulitura del sottofondo da vecchia guaina, applicazione di una prima mano di aggrappo e regolarizzazione realizzato con un'apposita malta da rinzaffo premiscelata a base di leganti idraulici ad alta pozzolanicità, posa di rete in acciaio galvanizzata con resistenza a trazione (a snervamento) del filo non inferiore a 550 N/mm² (tipo STUCANET SN) ancorata al supporto con tasselli metallici vincolati;
- 2) Posa malta tixotropica M25, macroporosa ad alta durabilità a base di leganti ecopozzolatici ed inerti selezionati (tipo R4 EXOCEM TX) con spessore variabile per formazione di pendenza (se necessario);
- 3) Posa nuova guaina impermeabile in doppio strato.

e) Chiusura di alcune nicchie e vuoti sulle pareti murarie al fine di ridurre zone di discontinuità nel comportamento del pannello murario (vedi Tav. S01);

f) I cornicioni presentano uno stato di degrado che, in alcuni tratti, ha determinato il distacco del copriferro. Viene attuato un intervento di ripristino con cicli di trattamento passivante delle armature e ricostruzione con malte tixotropiche;

g) Disposizione di reti antiribaltamento dei tramezzi interni di maggior estensione e non controventati, mediante realizzazione di intonaco armato a basso spessore, realizzato come ai punti 1) e 2) descritti al precedente intervento d).

1.2.5 Elaborati Grafici dello Stato di Progetto

Si riporta di seguito l'elenco degli elaborati dello stato di progetto:

Pianta, Prospetto e Sezioni – **Tav. S.01**

Pianta Prospetto e Particolari – **Tav. S.02**

1.3 Relazione sui Materiali

Per quanto riguarda la caratterizzazione meccanica dei materiali dello stato di fatto si rimanda alla **Verifica di Vulnerabilità Sismica del maggio 2018 ed alle tabelle delle NTC 2018**.

Muratura – Stato di Fatto:

Le caratteristiche di resistenza delle murature costituite da mattoni semipieni con malta cementizia tipo doppio UNI presenti, sono state assunte in linea con la Circolare n. 7 del 21/04/2019 del C.S.LL.PP., ovvero:

Tabella C8.5.I -Valori di riferimento dei parametri meccanici della muratura, da usarsi nei criteri di resistenza di seguito specificati (comportamento a tempi brevi), e peso specifico medio per diverse tipologie di muratura. I valori si riferiscono a: f = resistenza media a compressione, τ_0 = resistenza media a taglio in assenza di tensioni normali (con riferimento alla formula riportata, a proposito dei modelli di capacità, nel §C8.7.1.3), f_{v0} = resistenza media a taglio in assenza di tensioni normali (con riferimento alla formula riportata, a proposito dei modelli di capacità, nel §C8.7.1.3), E = valore medio del modulo di elasticità normale, G = valore medio del modulo di elasticità tangenziale, w = peso specifico medio.

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

Resistenze: si adottano i valori medi degli intervalli riportati nella Tab. C8.5.I;

Moduli elastici: si adottano i valori medi degli intervalli riportati nella Tab. C8.5.I

$$f_m = 65 \text{ kg/cm}^2 \quad \tau_0 = 2,8 \text{ kg/cm}^2 \quad E = 45500 \text{ kg/cm}^2 \quad G = 11375 \text{ N/mm}^2$$

$$W = 1500 \text{ kg/m}^3$$

(f_{v0} non è riportato come dato perché il calcolo è fatto con NTC 2018 senza Circolare 2019 perché il software non è aggiornato)

Nelle analisi strutturali, le Resistenze Caratteristiche si riducono per effetto del Fattore di Confidenza $FC=1,20$ (associato al Livello di Conoscenza LC2).

I valori utilizzati nei calcoli sono:

$$f_{k \text{ mur}} = 54.16 \text{ kg/cm}^2 \quad f_{kv \text{ mur}} = 2.33 \text{ kg/cm}^2$$

Muratura – Stato di Progetto:

Per i due maschi murari di cui al Par. 1.2.3, rinforzati con FRCM, viene utilizzato un materiale con caratteristiche incrementate di un fattore 1,30 rispetto a quelle dello stato di fatto, perché sono state soddisfatte certe clausole come si può notare nella tabella sottostante della normativa:

Tabella C8.5.II -Coefficienti correttivi massimi da applicarsi in presenza di: malta di caratteristiche buone; ricorsi o listature; sistematiche connessioni trasversali; consolidamento con iniezioni di malta; consolidamento con intonaco armato; ristilatura armata con connessione dei paramenti.

Tipologia di muratura	Stato di fatto			Interventi di consolidamento			
	Malta buona	Ricorsi o listature	Connessione trasversale	Iniezione di miscele leganti (*)	Intonacoarmato (**)	Ristilatura armata con connessione dei paramenti (**)	Massimo coefficiente complessivo
Muratura in pietrame disordinata (ciottoli, pietre erratiche e irregolari)	1,5	1,3	1,5	2	2,5	1,6	3,5
Muratura a conci sbozzati, con paramenti di spessore disomogeneo	1,4	1,2	1,5	1,7	2,0	1,5	3,0
Muratura in pietre a spacco con buona tessitura	1,3	1,1	1,3	1,5	1,5	1,4	2,4
Muratura irregolare di pietra tenera (tufo, calcarenite, ecc.,)	1,5	1,2	1,3	1,4	1,7	1,1	2,0
Muratura a conci regolari di pietra tenera (tufo, calcarenite, ecc.,)	1,6	-	1,2	1,2	1,5	1,2	1,8
Muratura a blocchi lapidei squadriati	1,2	-	1,2	1,2	1,2	-	1,4
Muratura in mattoni pieni e malta di calce	(***)	-	1,3 (****)	1,2	1,5	1,2	1,8
Muratura in mattoni semipieni con malta cementizia (es.: doppio UNI foratura ≤40%)	1,2	-	-	-	1,3	-	1,3

$$f_m = 84,5 \text{ kg/cm}^2$$

$$\tau_0 = 3,64 \text{ kg/cm}^2$$

$$E = 59150 \text{ kg/cm}^2$$

$$G = 14787,5 \text{ N/mm}^2$$

$$W = 1500 \text{ kg/m}^3$$

(f_{vo} non è riportato come dato perché il calcolo è fatto con NTC 2018 senza Circolare 2019 perché il software non è aggiornato).

Nelle analisi strutturali, le Resistenze Caratteristiche si riducono per effetto del Fattore di Confidenza $FC=1,20$ (associato al Livello di Conoscenza LC2).

I valori utilizzati nei calcoli sono:

$$f_{k \text{ mur}} = 70,416 \text{ kg/cm}^2$$

$$f_{kv \text{ mur}} = 3,033 \text{ kg/cm}^2$$

1.4 Vita Nominale, Classe d'Uso e Periodo di Riferimento

1.4.1 Vita Nominale

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.

Tab. 2.4.I – Valori minimi della Vita nominale V_N di progetto per i diversi tipi di costruzioni

TIPI DI COSTRUZIONI		Valori minimi di V_N (anni)
1	Costruzioni temporanee e provvisorie	10
2	Costruzioni con livelli di prestazioni ordinari	50
3	Costruzioni con livelli di prestazioni elevati	100

Per la costruzione oggetto della presente relazione si assume $V_N = 50$ anni.

1.4.2 Classe d'Uso

In presenza di azioni sismiche, con riferimento alle conseguenze di una interruzione di operatività o di un eventuale collasso, le costruzioni sono suddivise in classi d'uso.

Per la costruzione in oggetto si assume, in accordo con la Committenza, la **Classe d'Uso III**.

Classe III: Costruzioni il cui uso preveda affollamenti significativi. Industrie con attività pericolose per l'ambiente. Reti viarie extraurbane non ricadenti in Classe d'uso IV. Ponti e reti ferroviarie la cui interruzione provochi situazioni di emergenza. Dighe rilevanti per le conseguenze di un loro eventuale collasso.

Nella classe III ricadono scuole, teatri, musei (punto C.2.4.2 della Circ. 21.01.2019)

Il valore del coefficiente d'uso C_U è definito, al variare della classe d'uso, nella Tab. 2.4.II.

Tab. 2.4.II – Valori del coefficiente d'uso C_U

CLASSE D'USO	I	II	III	IV
COEFFICIENTE C_U	0,7	1,0	1,5	2,0

1.4.3 Periodo di Riferimento

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 :

$$V_R = V_N \times C_U = 50 \times 1,5 = 75 \text{ ANNI}$$

1.5 Azioni sulla Costruzione

Nelle analisi numeriche vengono considerate le seguenti azioni:

Permanenti (G): azioni che agiscono durante tutta la vita nominale della costruzione, la cui variazione di intensità nel tempo è così piccola e lenta da poterle considerare con sufficiente approssimazione costanti nel tempo:

- Peso proprio di tutti gli elementi strutturali (G1);
- Peso proprio di tutti gli elementi non strutturali (G2).

Variabili (Q): azioni sulla struttura o sull'elemento strutturale con valori istantanei che possono risultare sensibilmente diversi fra loro nel tempo:

- Di lunga durata: agiscono con un'intensità significativa, anche non continuativamente, per un tempo non trascurabile rispetto alla vita nominale della struttura;
- Di breve durata: azioni che agiscono per un periodo di tempo breve rispetto alla vita nominale della struttura.

Sismiche (E): azioni derivanti dai terremoti.

Ai sensi del §3.2.4 del D.M.17.01.2018 non si ritiene necessario adottare, ai fini della definizione dell'azione sismica, gli effetti della variabilità spaziale del moto.

1.5.1 Combinazione delle Azioni

Le combinazioni sismiche precedentemente riportate sono quelle previste al §2.5.3 del D.M. 17/01/2018 e sono ottenute facendo riferimento ai coefficienti ψ_{02} di tabella 2.5.I

Tab. 2.5.I – Valori dei coefficienti di combinazione

Categoria/Azione variabile	Ψ_{0j}	Ψ_{1j}	Ψ_{2j}
Categoria A - Ambienti ad uso residenziale	0,7	0,5	0,3
Categoria B - Uffici	0,7	0,5	0,3
Categoria C - Ambienti suscettibili di affollamento	0,7	0,7	0,6
Categoria D - Ambienti ad uso commerciale	0,7	0,7	0,6
Categoria E – Aree per immagazzinamento, uso commerciale e uso industriale Biblioteche, archivi, magazzini e ambienti ad uso industriale	1,0	0,9	0,8
Categoria F - Rimesse , parcheggi ed aree per il traffico di veicoli (per autoveicoli di peso ≤ 30 kN)	0,7	0,7	0,6

Categoria G – Rimesse, parcheggi ed aree per il traffico di veicoli (per autoveicoli di peso > 30 kN)	0,7	0,5	0,3
Categoria H - Coperture accessibili per sola manutenzione	0,0	0,0	0,0
Categoria I – Coperture praticabili	da valutarsi caso per caso		
Categoria K – Coperture per usi speciali (impianti, eliporti, ...)			
Vento	0,6	0,2	0,0
Neve (a quota ≤ 1000 m s.l.m.)	0,5	0,2	0,0
Neve (a quota > 1000 m s.l.m.)	0,7	0,5	0,2
Variazioni termiche	0,6	0,5	0,0

1.5.2 Analisi dei Carichi

Le strutture sono soggette agli usuali carichi verticali costituiti dai carichi permanenti, carichi di esercizio e carichi accidentali; stabilite le caratteristiche geometriche dell'opera e gli elementi strutturali che la compongono, sono stati determinati i carichi ed i sovraccarichi agenti.

I carichi presenti nel fabbricato non hanno subito variazioni rispetto allo Stato di Fatto, e pertanto si rimanda.

I solai del fabbricato sono tutti in laterocemento; le tipologie di solaio più ricorrenti presenti nel fabbricato allo Stato di Fatto, sono:

	Solaio di sottotetto [kg/m²]	Solaio di copertura [kg/m²]	Sottotetto + Copertura [kg/m²]
G1	250,00	250,00	500,00
G2	100,00	100,00	200,00
Qk	50,00	120,00	120,00
TOTALE	400,00	470,00	820,00

1.5.3 Analisi di Regolarità

Il complesso scolastico, ai sensi del §7.2.1 del DM 17/01/2018, risulta non regolare in pianta ed in altezza.

La non regolarità in pianta è dovuta al non soddisfacimento del punto a) in quanto la configurazione in pianta non è né compatta né simmetrica rispetto alle direzioni ortogonali in relazione alla distribuzione delle masse e delle rigidezze.

La non regolarità in altezza è dovuta al non soddisfacimento del punto e),f), in quanto i muri presenti in alcune parti causano una sensibile variazione di rigidezza con il livello superiore.

1.5.4 Determinazione dell'Azione Sismica

L'azione sismica viene determinata sulla base dei seguenti parametri:

Ubicazione: Fossombrone (PU):	Lat. Nord: 43,68671°	Lon. Est: 12,80322°
Vita nominale: ≥50 anni	Classe d'Uso: III	Coefficiente d'Uso: 1,5
Categoria di Suolo: E	Coefficiente Topografico: T1=1,0	
Tempi di Ritorno (Azione Sismica):	TR _{SLD} = 75anni	TR _{SLV} = 712anni

Il progetto di Adeguamento Sismico dell'edificio, è stato condotto mediante analisi statica non lineare, che comporta l'utilizzo di spettri inelastici.

L'edificio, ai sensi delle NTC2018, risulta non regolare in pianta ed in altezza.

Il fattore di struttura utilizzato è stato determinato in linea con quanto riportato ai §7.3.1 e §7.8.1.3, ovvero:

$$q = q_0 \cdot K_R = \left(1,75 \cdot \frac{\alpha_u}{\alpha_1}\right) \cdot K_R = (1,75 \cdot 1,35) \cdot 0,8 = 1,88$$

Dove:

$q_0 = 1,75 \cdot (\alpha_u/\alpha_1) \rightarrow$ In quanto costruzione di muratura ordinaria, $(\alpha_u/\alpha_1)=1,7$.

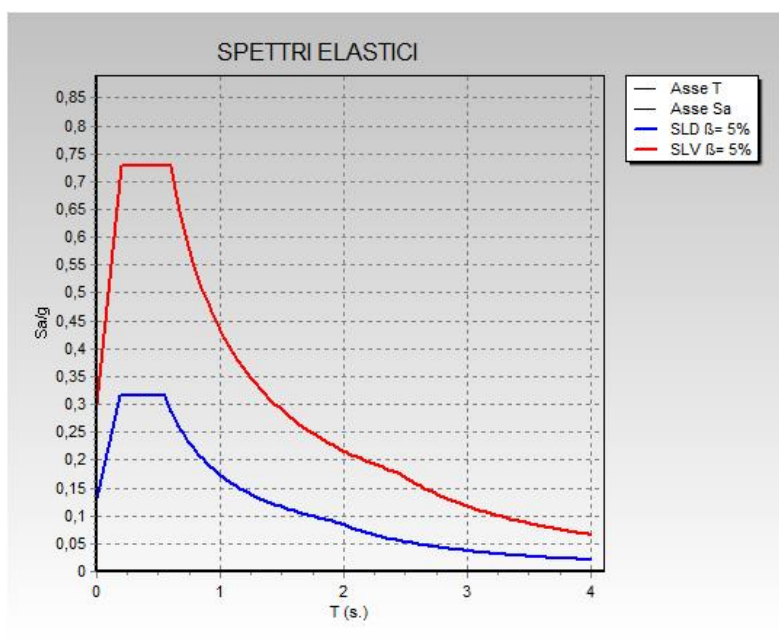
Per tener conto della irregolarità in pianta, si adotta un valore di (α_u/α_1) pari alla media tra 1 ed il valore sopra citato. $\rightarrow (\alpha_u/\alpha_1)=(1+1,7)/2=1,35$

$K_R = 0,8 \rightarrow$ In quanto costruzione non regolare in altezza.

L'intervento previsto è di Adeguamento Sismico.

L'accelerazione sismica allo SLV prevista con TR=712 anni è pari a: $a_g/g=0,207$.

Si riportano in seguito i parametri e gli spettri di risposta elastici, relativi a SLD ed SLV:



Si riportano in seguito i parametri e gli spettri di risposta elastici relativi a SLD e quello inelastico ($q=1,88$) relativo allo SLV:

C.D.S.

DATI GENERALI DI STRUTTURA

D A T I G E N E R A L I D I S T R U T T U R A			
Massima dimens. dir. X (m)	12,75	Altezza edificio (m)	7,14
Massima dimens. dir. Y (m)	35,50	Differenza temperatura (°C)	15
P A R A M E T R I S I S M I C I			
Vita Nominale (Anni)	50	Classe d' Uso	TERZA
Longitudine Est (Grd)	12,80322	Latitudine Nord (Grd)	43,68671
Categoria Suolo	E	Coeff. Condiz. Topogr.	1,00000
Sistema Costruttivo Dir.1	Muratura	Sistema Costruttivo Dir.2	Muratura
Regolarita' in Altezza	NO (KR=.8)	Regolarita' in Pianta	NO
Direzione Sisma (Grd)	0	Sisma Verticale	ASSENTE
Effetti P/Delta	NO	Quota di Zero Sismico (m)	0,00000
Tipo Intervento	ADEGUAMENTO	Tipo Analisi Sismica	PUSH-OVER
Livello Sicurezza Min. (%)	100		
PARAMETRI SPETTRO ELASTICO - SISMA S.L.D.			
Probabilita' Pvr	0,63	Periodo di Ritorno Anni	75,00
Accelerazione Ag/g	0,08	Periodo T'c (sec.)	0,29
Fo	2,43	Fv	0,94
Fattore Stratigrafia'Ss'	1,60	Periodo TB (sec.)	0,18
Periodo TC (sec.)	0,55	Periodo TD (sec.)	1,93
PARAMETRI SPETTRO ELASTICO - SISMA S.L.V.			
Probabilita' Pvr	0,10	Periodo di Ritorno Anni	712,00
Accelerazione Ag/g	0,21	Periodo T'c (sec.)	0,33
Fo	2,44	Fv	1,50
Fattore Stratigrafia'Ss'	1,45	Periodo TB (sec.)	0,20
Periodo TC (sec.)	0,59	Periodo TD (sec.)	2,43
PARAMETRI SISTEMA COSTRUTTIVO MURATURA - D I R. 1			
Sistema Strutturale	Ordinaria	AlfaU/Alfa1	1,50
Fattore di comportam 'q'	1,88		
PARAMETRI SISTEMA COSTRUTTIVO MURATURA - D I R. 2			
Sistema Strutturale	Ordinaria	AlfaU/Alfa1	1,50
Fattore di comportam 'q'	1,88		
COEFFICIENTI DI SICUREZZA PARZIALI DEI MATERIALI			
Acciaio per CLS armato	1,15	Calcestruzzo CLS armato	1,50
Muratura azioni sismiche	2,00	Muratura azioni statiche	2,70
Legno per comb. eccez.	1,00	Legno per comb. fondament.:	1,50
Livello conoscenza	LC2		
FRP Collasso Tipo 'A'	1,10	FRP Delaminazione Tipo 'A'	1,20
FRP Collasso Tipo 'B'	1,25	FRP Delaminazione Tipo 'B'	1,50
FRP Resist. Press/Fless	1,00	FRP Resist. Taglio/Torsione	1,20
FRP Resist. Confinamento	1,10		

D A T I D I C A L C O L O P E R A Z I O N E N E V E			
Zona Geografica	I Medit.	Coefficiente Termico	1,00
Altitudine sito s.l.m. (m)	118	Coefficiente di forma	0,80
Tipo di Esposizione	Normale	Coefficiente di esposizione	1,00
Carico di riferimento kg/mq	150	Carico neve di calcolo kg/mq	120,00

1.5.5 Determinazione dell'Azione della Neve

Il carico provocato dalla neve sulle coperture, secondo il D.M.14/01/08 è valutato mediante la seguente espressione:

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

dove:

q_s è il carico neve sulla copertura;

μ_i è il coefficiente di forma della copertura, pari a 0.8;

q_{sk} è il valore caratteristico di riferimento del carico neve al suolo [kN/m²], fornito per un periodo di ritorno di 50 anni;

C_E è il coefficiente di esposizione, posto pari a 1 (vedi tab.3.4.I D.M.14.01.2008);

C_t è il coefficiente termico, posto pari a 1.

Si ipotizza che il carico agisca in direzione verticale e lo si riferisce alla proiezione orizzontale della superficie della copertura. Il sito in cui è ubicato l'edificio ricade in Zona I Mediterranea, ed è posto ad una altitudine di circa 118m s.l.m.

$$q_{sk} = 1,50 \text{ kN/m}^2 \quad \text{per } a_s < 200 \text{ m}$$

$$\text{Si ottiene dunque } \rightarrow q_s = 0,8 \times 1,50 \times 1 \times 1 = 1,20 \text{ kN/m}^2$$

1.6 Criteri di Verifica agli Stati Limite

Il metodo di verifica della sicurezza adottato è quello degli Stati Limite (SL) che prevede due insiemi di verifiche rispettivamente per gli stati limite ultimi S.L.U. e gli stati limite di esercizio S.L.E.

La sicurezza viene quindi garantita progettando i vari elementi resistenti in modo da assicurare che la loro resistenza di calcolo sia sempre maggiore della corrispondente domanda in termini di azioni di calcolo.

Le norme precisano che la sicurezza e le prestazioni di una struttura o di una parte di essa devono essere valutate in relazione all'insieme degli stati limite che verosimilmente si possono verificare durante la vita normale. Prescrivono inoltre che debba essere assicurata una robustezza nei confronti di azioni eccezionali.

Le prestazioni della struttura e la vita nominale sono riportati nei successivi tabulati di calcolo della struttura e saranno garantite verificando gli opportuni stati limite definiti di concerto al Committente in funzione dell'utilizzo della struttura, della sua vita nominale e di quanto stabilito dalle norme di cui al D.M. 17/01/2018 e successive modifiche ed integrazioni.

In particolare si è verificata:

- la sicurezza nei riguardi degli stati limite ultimi (SLU) che possono provocare eccessive deformazioni permanenti, crolli parziali o globali, dissesti, che possono compromettere

l'incolumità delle persone e/o la perdita di beni, provocare danni ambientali e sociali, mettere fuori servizio l'opera. Per le verifiche sono stati utilizzati i coefficienti parziali relativi alle azioni ed alle resistenze dei materiali in accordo con quanto previsto dal D.M. 17/01/2018 per i vari tipi di materiale. I valori utilizzati sono riportati nel fascicolo delle elaborazioni numeriche allegato;

- la sicurezza nei riguardi degli stati limite di esercizio (SLE) che possono limitare nell'uso e nella durata l'utilizzo della struttura per le azioni di esercizio. In particolare di concerto con il committente e coerentemente alle norme tecniche si sono definiti i limiti riportati nel fascicolo delle elaborazioni numeriche allegato;
- la sicurezza nei riguardi dello stato limite del danno (SLD) causato da azioni sismiche con opportuni periodi di ritorno definiti di concerto al committente ed alle norme vigenti per le costruzioni in zona sismica;
- la robustezza nei confronti di opportune azioni accidentali in modo da evitare danni sproporzionati in caso di incendi, urti, esplosioni, errori umani.

Per quando riguarda le fasi costruttive intermedie la struttura non risulta cimentata in maniera più gravosa della fase finale.

1.7 Criteri di Modellazione e Progettazione

1.7.1 Modellazione del Complesso Edilizio allo Stato di Progetto

Le analisi di calcolo della struttura vengono eseguite mediante codice di calcolo CDS2018 della STS licenza n.20661 il cui codice di validazione è consultabile al seguente link: <http://www.stsweb.it/download/Validazione>.

Pannelli in Muratura

L'inserimento dei pannelli in muratura è modellato mediante elementi "asta". Nel modello di calcolo, tali elementi sono stati impostati come "elementi elastici".

1.7.2 Codici di Calcolo ed Accettabilità dei Risultati

Il software utilizzato permette di modellare analiticamente il comportamento fisico della struttura adottando 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.

Le sollecitazioni ottenute sulle travi per i carichi verticali direttamente agenti sono stati confrontati con semplici schemi a trave continua.

Per gli elementi inflessi di tipo bidimensionale si è provveduto a confrontare i valori ottenuti dall'analisi FEM con i valori di momento flettente ottenuti con gli schemi semplificati della Tecnica delle Costruzioni.

Si è inoltre verificato che tutte le funzioni di controllo ed autodiagnostica del software abbiano dato esito positivo.

1.8 Metodi di Analisi

1.8.1 Verifiche Globali – Analisi Statica Non Lineare (Pushover)

Il metodo di analisi sismica consiste nella modellazione dell'edificio con analisi di tipo "Analisi Statica Non Lineare" eseguite tramite il Software CDS2018 della STS.

Come riportato al §1.5.4 della presente relazione, per l'analisi statica non lineare è stato adottato il fattore di struttura $q=1,88$, in linea con quanto riportato al §C8.7.2.2.3 delle NTC2018.

Sono state valutate le condizioni di sicurezza del fabbricato valutando il soddisfacimento delle verifiche agli Stati Limite.

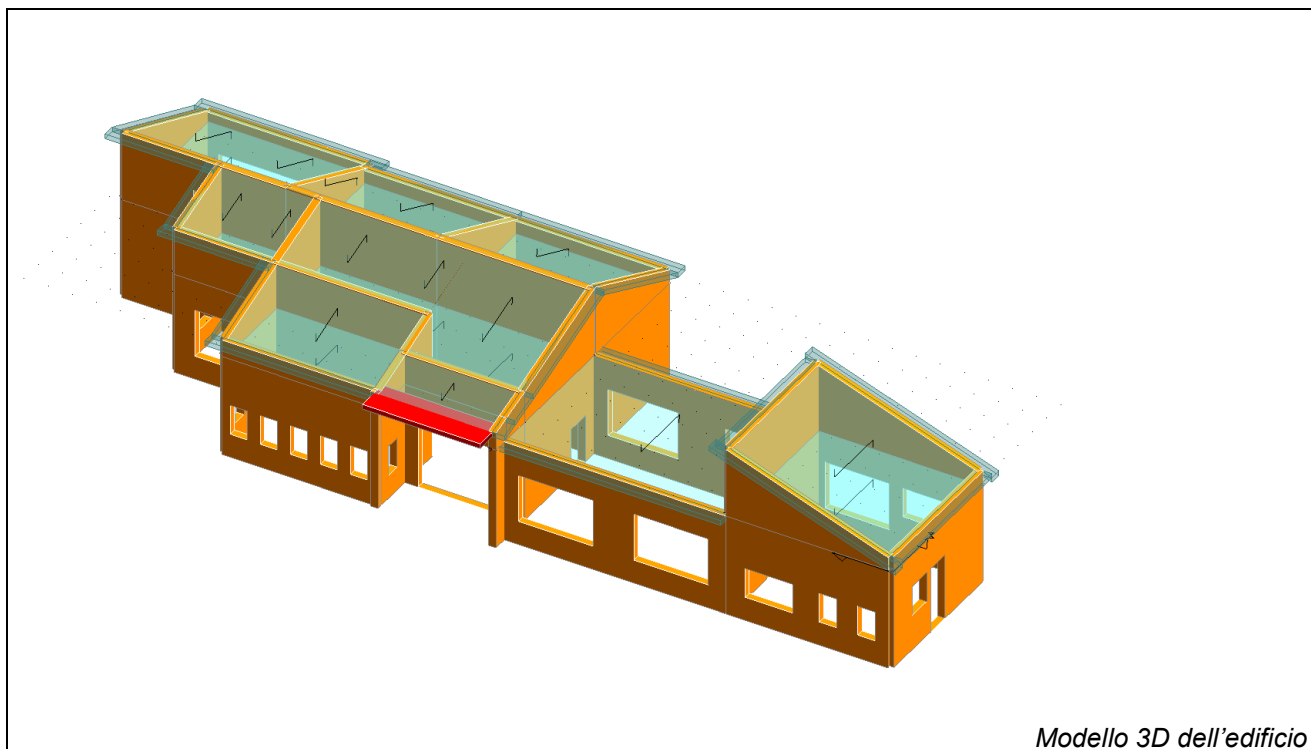
L'indicatore di rischio, si ottiene successivamente dal rapporto tra la PGA con cui la struttura risulta verificata (capacità), e la PGA prevista per il sisma allo SLV con TR di 712anni (domanda), ovvero:

$$IR_{PGA} = PGA_C/PGA_D$$

Tale valore è stato confrontato con l'indicatore di rischio in termini di tempo di ritorno, dato dalla formula:

$$IR_{TR} = (T_{R,C}/T_{R,D})^{0,41}$$

Si riporta un'immagine del modello di calcolo utilizzato:



Le verifiche sono illustrate al seguente §2.1 e 2.2

Il progetto è rivolto all'Adeguamento Sismico del complesso edilizio e si pone come obiettivo il raggiungimento di un Indicatore di Rischio Sismico, relativo allo Stato Limite di salvaguardia della Vita (SLV), non inferiore a 1.

Le sollecitazioni sugli elementi strutturali sono state determinate tramite Analisi Statica Non Lineare.

Il soddisfacimento delle verifiche per tale azione sismica, comporta il raggiungimento dei seguenti Indicatori di Rischio minimi, espressi rispettivamente in termini di PGA e TR:

$$IR_{SLV_PGA} = PGA_C/PGA_D = 0,214/0,207 = 1,035$$

$$IR_{SLV_TR} = (T_{R,C}/T_{R,D})^{0,41} = (781/712)^{0,41} = 1,039$$

dove :

0,214 è la PGA con cui la struttura risulta verificata (capacità) corrispondenti alle Pushover n°20 e n°24 dir. -y;

0,207 è la PGA prevista per il sisma allo SLV con TR di 712anni (domanda).

L'analisi viene condotta con n°2 distribuzioni di forze:

- Distribuzione Principale corrispondente ad una distribuzione di proporzionale alle forze statiche
- Distribuzione Secondaria corrispondente ad una distribuzione uniforme di forze, da intendersi come derivata di una distribuzione uniforme di accelerazioni lungo l'altezza della costruzione.

Poiché le due distribuzioni di forze si intendono applicate in direzione x, -x, y e -y e a loro volta spostate rispetto al baricentro dell'eccentricità accidentale prevista da normativa, vengono analizzate in totale n°32 curve Push-over.

I tabulati di calcolo sono riportati nell'Allegato **01 STRU SP**.

1.8.2 Verifiche Globali – Analisi Dinamica Lineare

Le verifiche a Sisma Ortogonale, vengono condotte utilizzando un'analisi di tipo "Analisi Dinamica Lineare".

Il metodo di analisi sismica consiste nella modellazione dell'edificio e nell'analisi di tipo "Analisi Dinamica Lineare" eseguite tramite il Software CDS2018 della STS.

Come riportato al §1.5.4 della presente relazione, per l'analisi dinamica lineare è stato adottato il fattore di struttura $q=1,88$, in linea con quanto riportato al §C8.7.2.2.2 delle NTC2018.

Sono state valutate le condizioni di sicurezza del fabbricato valutando il soddisfacimento delle verifiche agli Stati Limite.

1.8.3 Verifiche Locali – Analisi dei Meccanismi Locali di Collasso

Sono state condotte analisi dei meccanismi locali di collasso.

Conosciamo che in un edificio in muratura, a causa delle azioni sismiche, possono avvenire collassi parziali per perdita di equilibrio di porzioni murarie.

I meccanismi locali delle varie pareti si attivano, prevalentemente per azioni perpendicolari al loro piano medio, ma anche per azioni nel loro piano medio.

Le ipotesi adottate per modellare questo tipo di meccanismo locali sono le seguenti:

- Resistenza della muratura a trazione, nulla;
- Scorrimento tra i blocchi, assente;
- Resistenza a compressione della muratura, infinita.

L'analisi effettuata è un'analisi statica, in essa, l'analisi sismica è espressa da forze orizzontali di massa la cui intensità è rappresentata da moltiplicatore α , pari al rapporto tra le forze orizzontali e i corrispondenti pesi delle masse partecipanti.

La verifica è eseguita in termini di accelerazione con un approccio cinematico lineare.

L'approccio cinematico lineare si basa sulla valutazione dell'azione orizzontale che è in grado di attivare il cinematismo; la verifica consiste nel confronto tra l'accelerazione necessaria per attivare il cinematismo e la massima accelerazione al suolo corrispondente allo stato limite di interesse, opportunamente ridotta, nel caso di verifica allo SLV, attraverso il fattore di comportamento q .

In questo caso è stato utilizzato un fattore q pari a 2.

Per quanto riguarda lo Stato di Fatto, è stata scelta, come tipologia di meccanismo, il ribaltamento semplice, ipotizzando che tutta la parete muraria si ribalti, quindi trascurando l'effetto benefico del cordolo in c.a. che genera un'azione stabilizzante.

Nello Stato di Progetto, è stata scelta invece la flessione verticale; in questo modo, dopo gli interventi progettati da realizzare, sia a livello del cordolo in c.a. in tutte le pareti, sia per tutta l'altezza per alcune pareti, si tiene in conto dell'efficacia del cordolo in c.a.

Per quanto riguarda la presenza dei cordoli sia nello Stato di Fatto, sia nello Stato di Progetto, si ipotizza che siano ancorati efficacemente alle murature.

Inoltre si considera la resistenza allo schiacciamento della muratura.

Viene calcolata in prima fase la geometria della parete studiata (la massa complessiva, l'altezza del baricentro, ecc...), quindi la posizione della cerniera ipotizzata, i momenti ribaltanti e stabilizzanti, il moltiplicatore di collasso, la massa partecipante.

Poi ancora è stata eseguita la verifica dello stato limite di attivazione del meccanismo e la verifica dello stato limite di salvaguardia della vita ottenendo l'indicatore di rischio SLV.

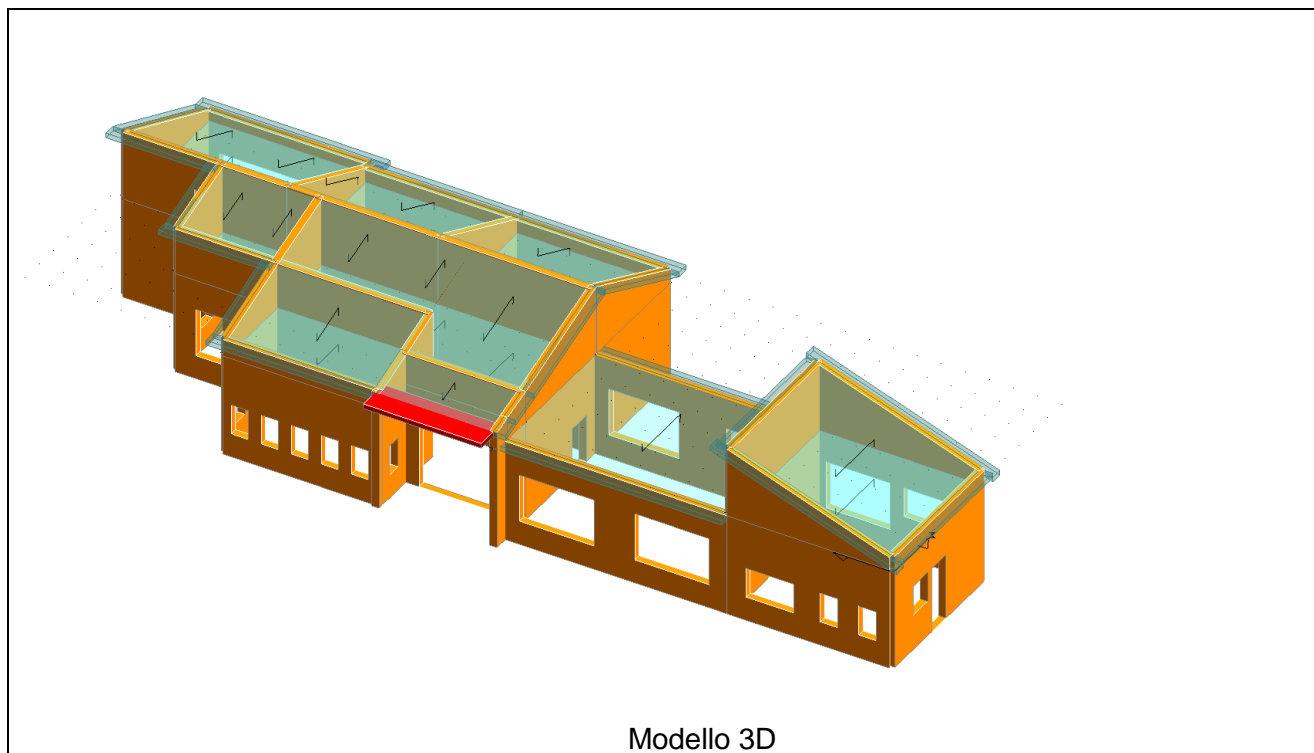
Le verifiche sono illustrate al seguente §2.3.1.

.

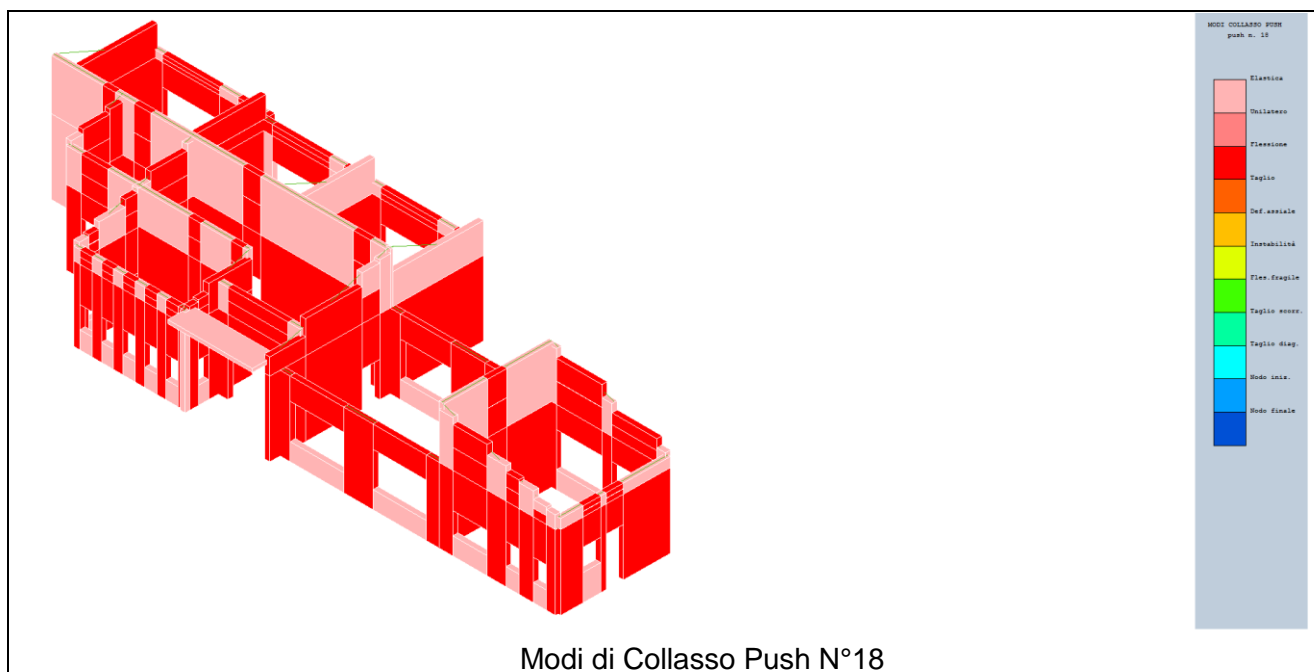
2 RELAZIONE DI CALCOLO

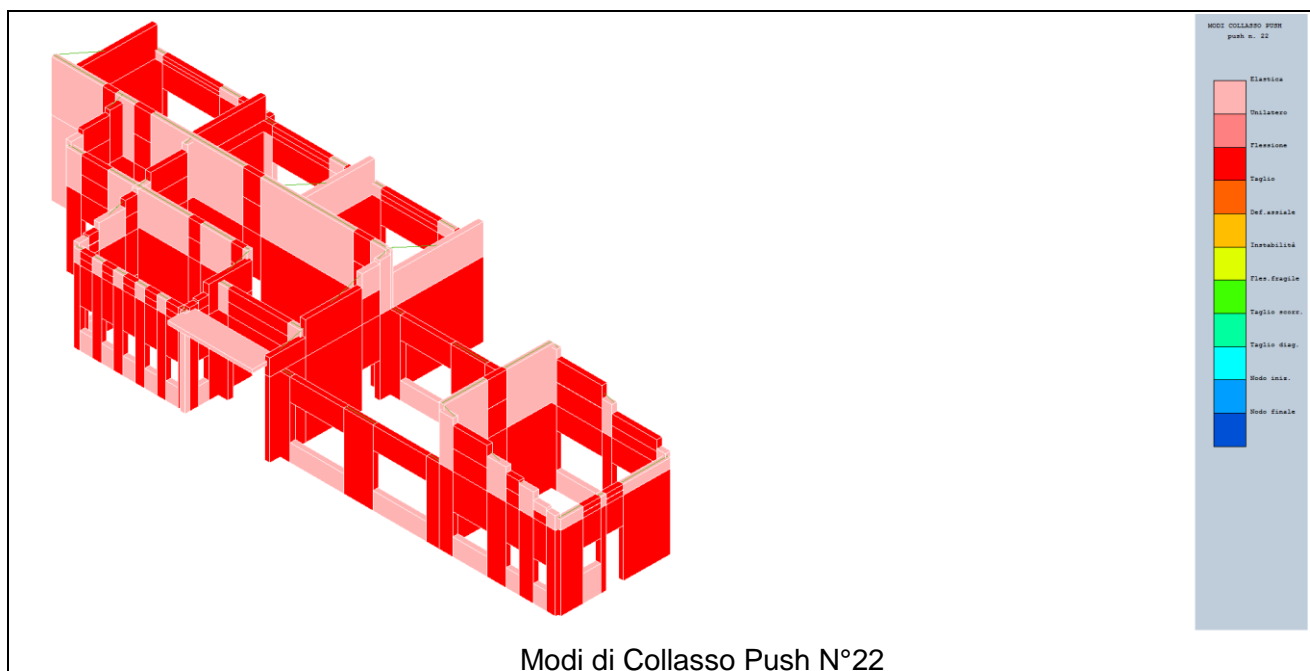
2.1 Verifiche Globali – Analisi Statica Non Lineare – Stato di Fatto

Il modello utilizzato per il calcolo è il seguente :



Vengono riportati i Modi di Collasso delle Push-over che forniscono indici di rischio più bassi, ovvero le Push-over n°18 e n°22.





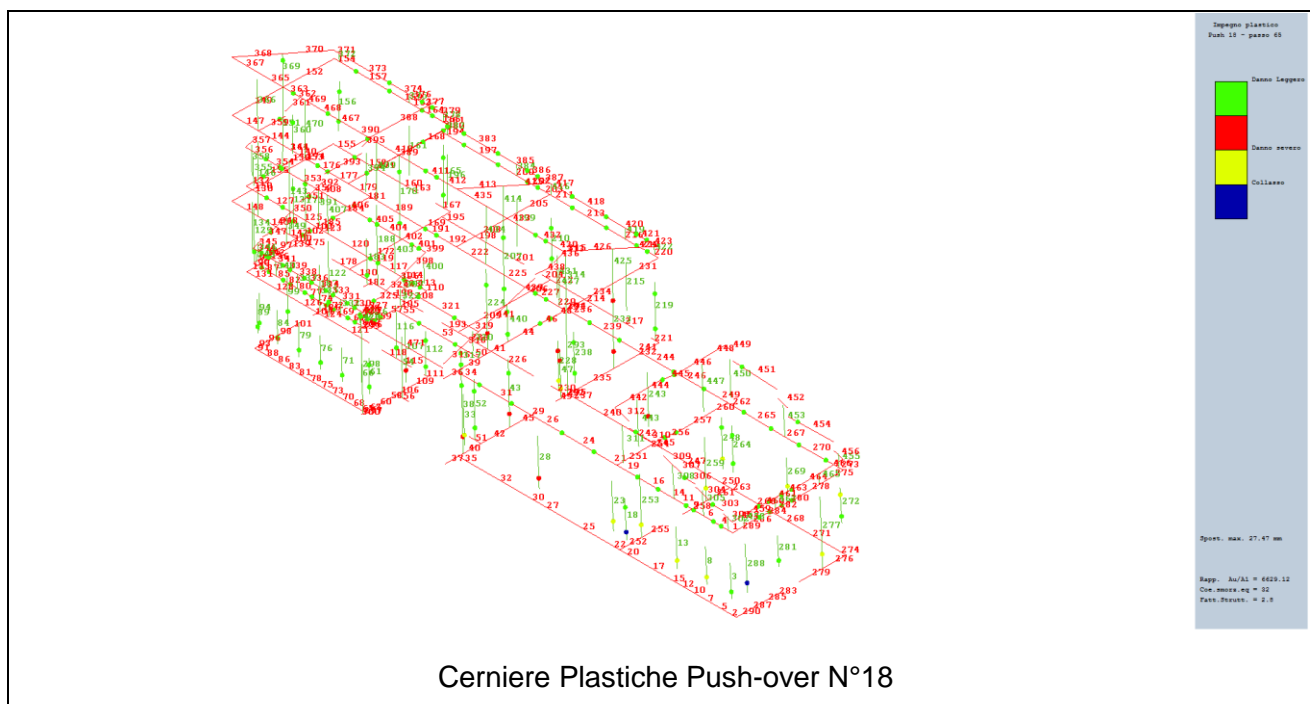
I risultati sono indicati nella Tabella riepilogativa riportata nel precedente paragrafo A).

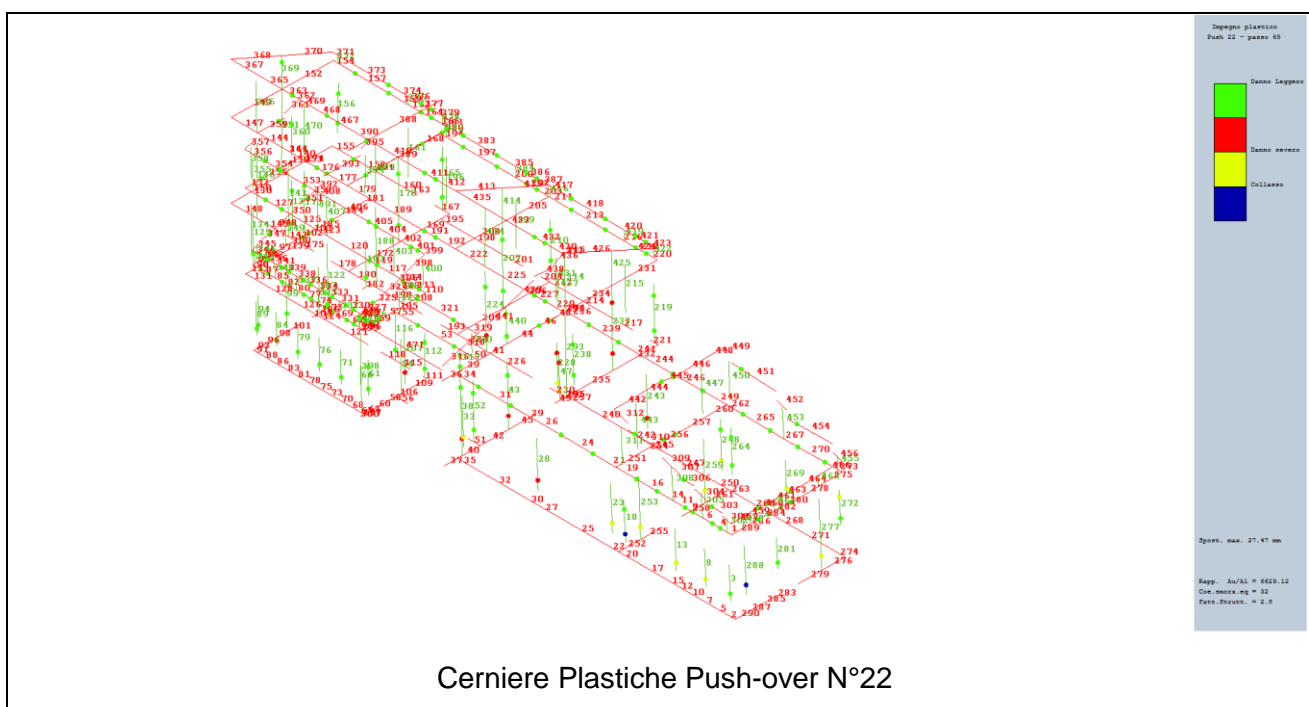
I tabulati sono riportati nell'Allegato **01 STRU SP**.

Vengono riportate anche le posizioni di formazione delle cerniere plastiche rispettivamente per le Push-over n°18 e n°22.

I risultati dell'analisi Push-over eseguito per lo Stato di Fatto evidenziano la formazione di cerniere plastiche alla base di due maschi murari : n°18 e n°288, come da tabulati che seguono.

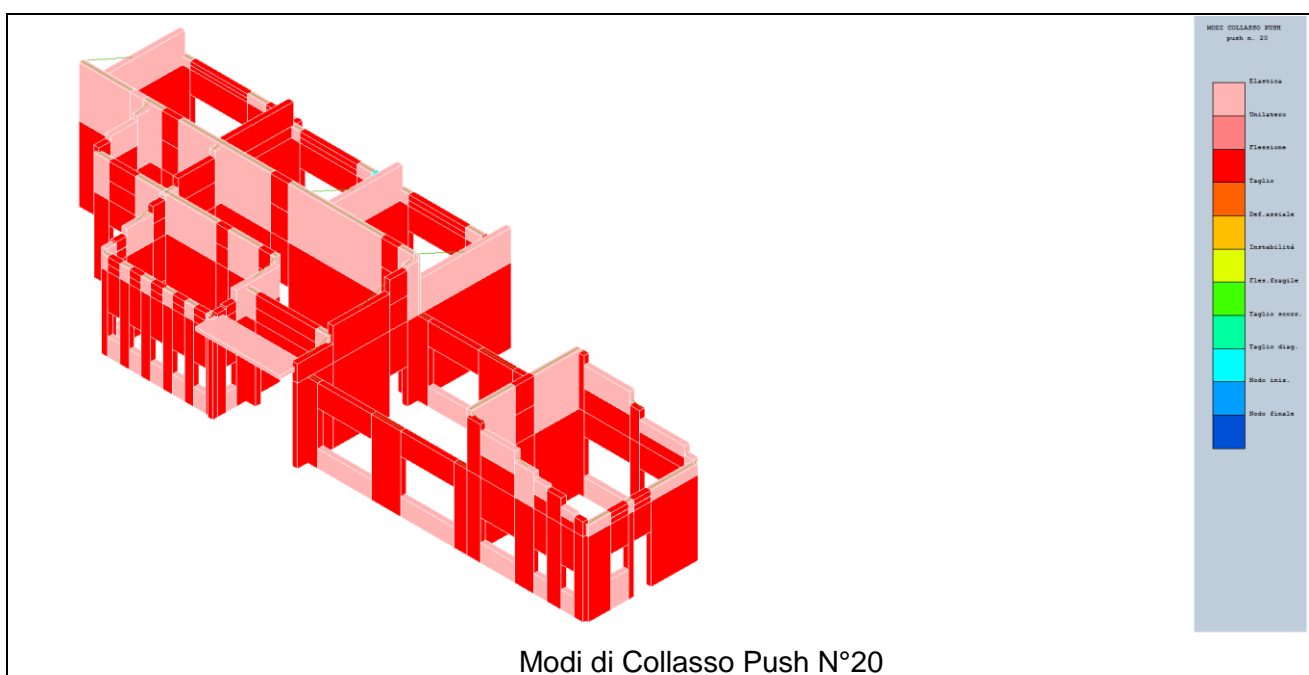
Le cerniere plastiche che portano a collasso sono di colore blu.

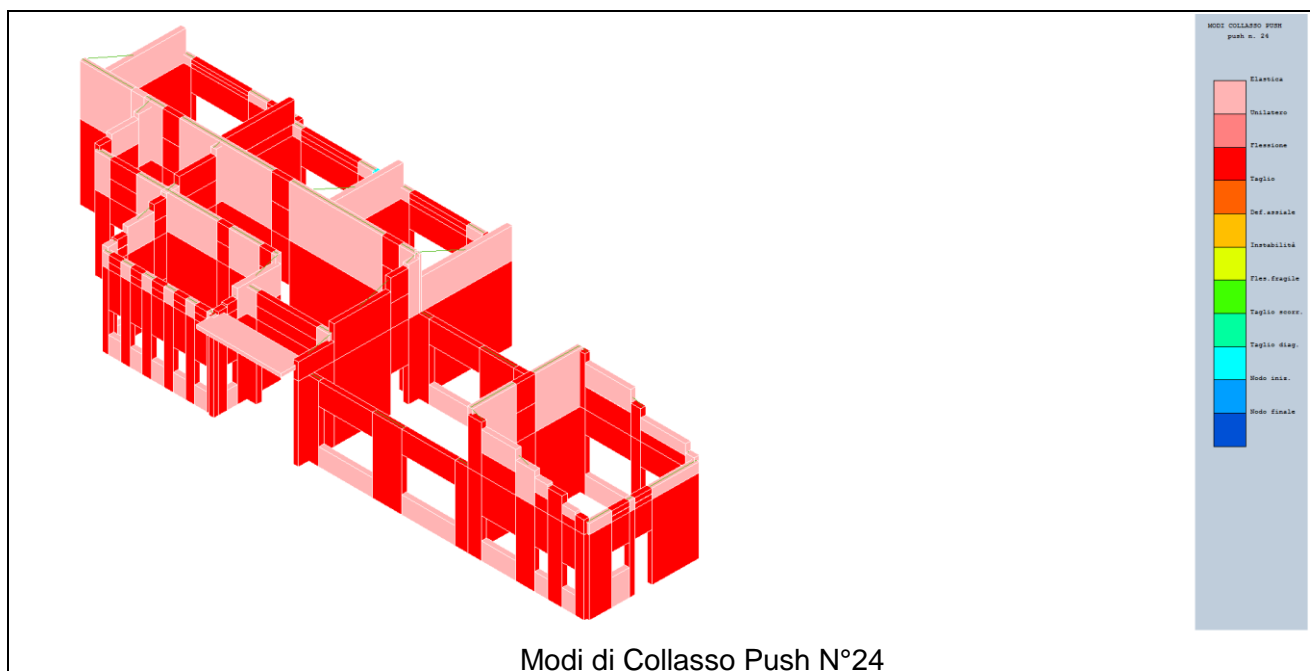




2.2 Verifiche Globali – Analisi Statica Non Lineare – Stato di Progetto

Vengono riportati i Modi di Collasso delle Push-over che forniscono indici di rischio più bassi, ovvero le Push-over n°20 e n°24, per ognuna $I_R = 1,035 > 1$.



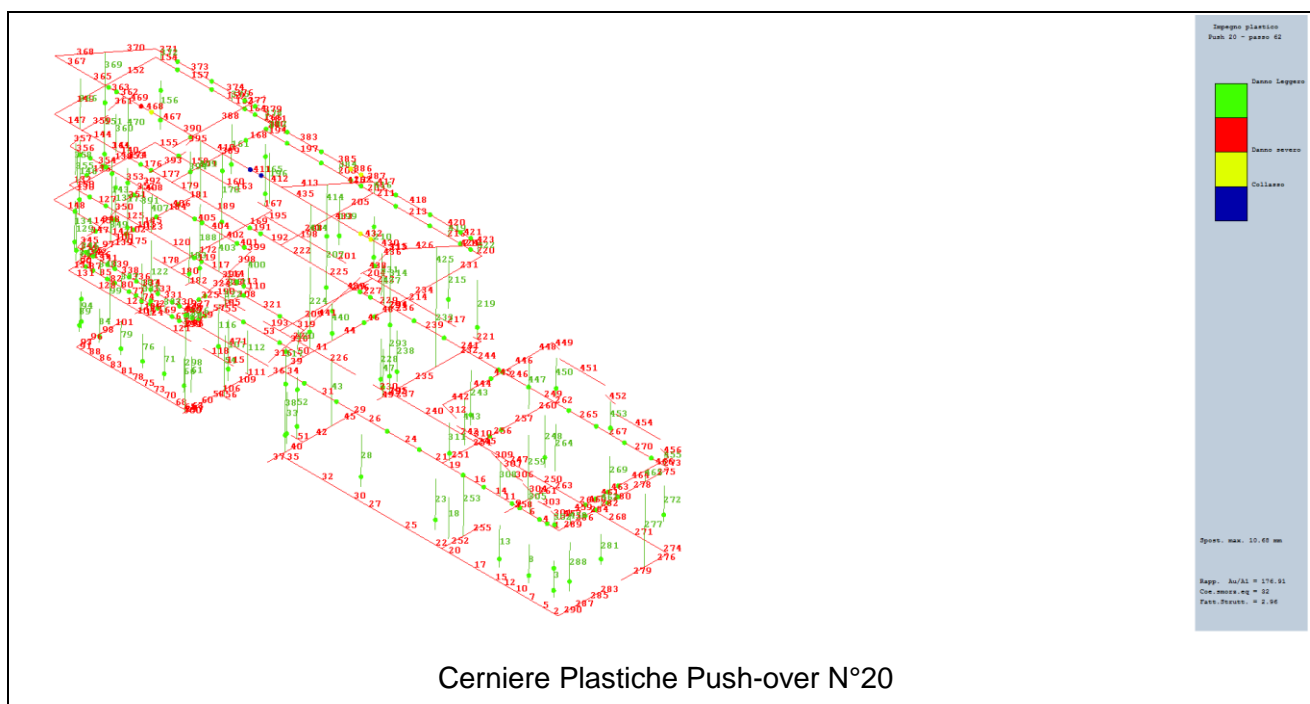


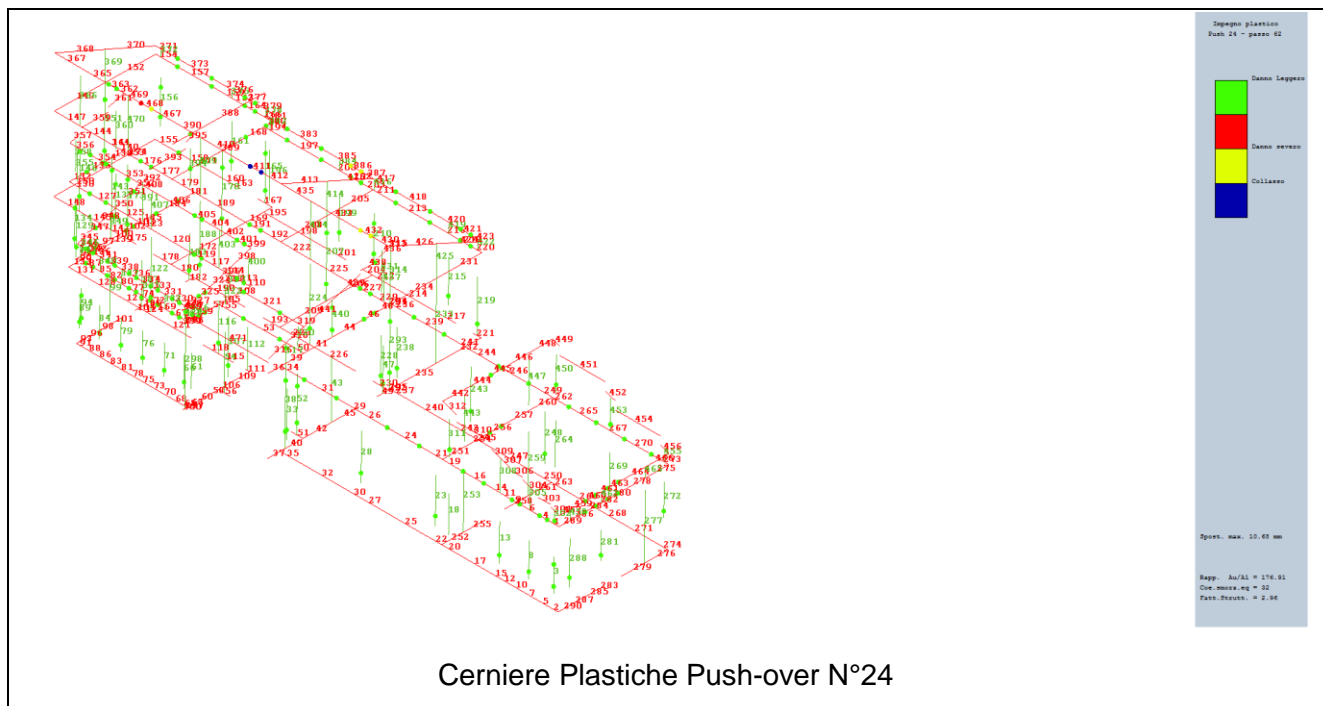
I risultati dell'analisi Push-over eseguita per la struttura allo Stato di Progetto sono riportati nell'Allegato **01 STRU SP**.

Vengono riportate anche le posizioni di formazione delle cerniere plastiche rispettivamente per le Push-over n°20 e n°24.

I risultati dell'analisi Push-over eseguito per lo Stato di Progetto evidenziano la formazione di cerniere plastiche alla sommità dell'edificio, in elementi non molto significativi, come da tabulati che seguono.

Le cerniere plastiche che portano a collasso sono di colore blu.

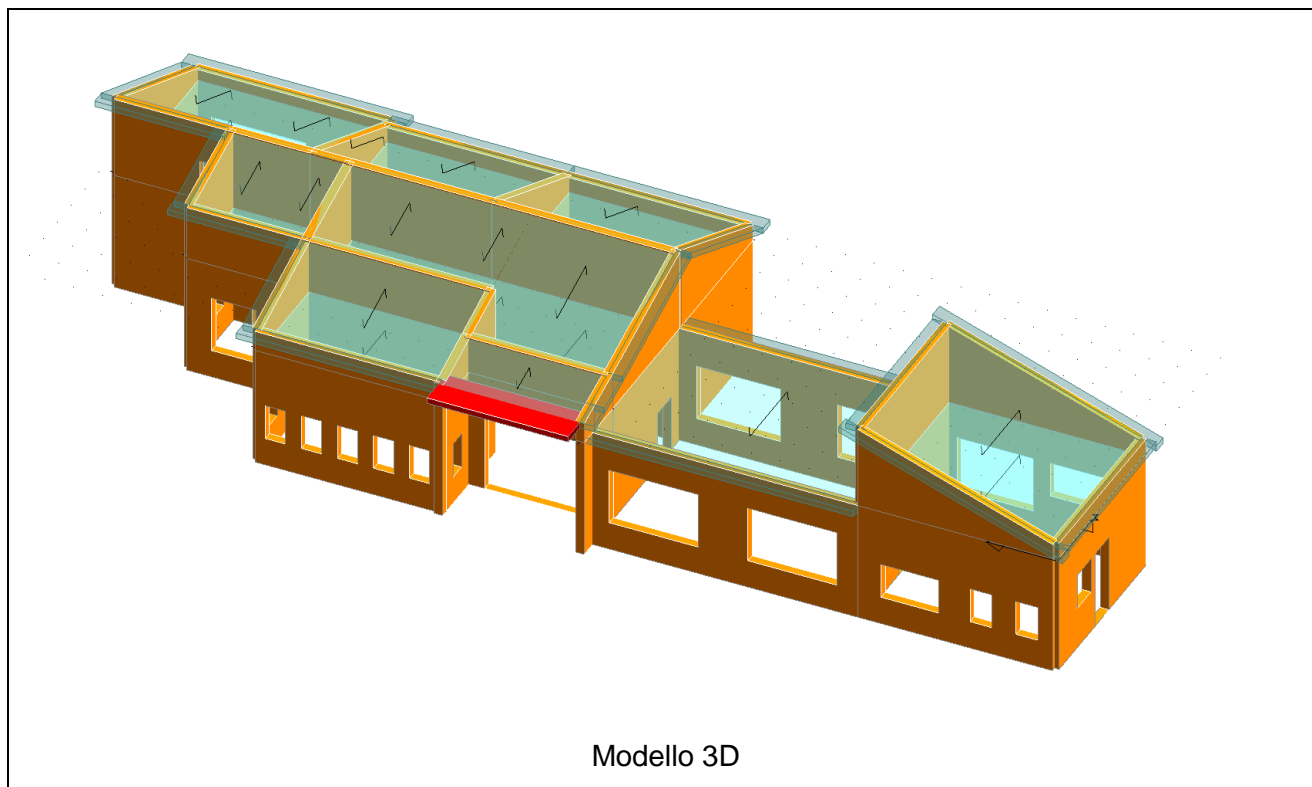




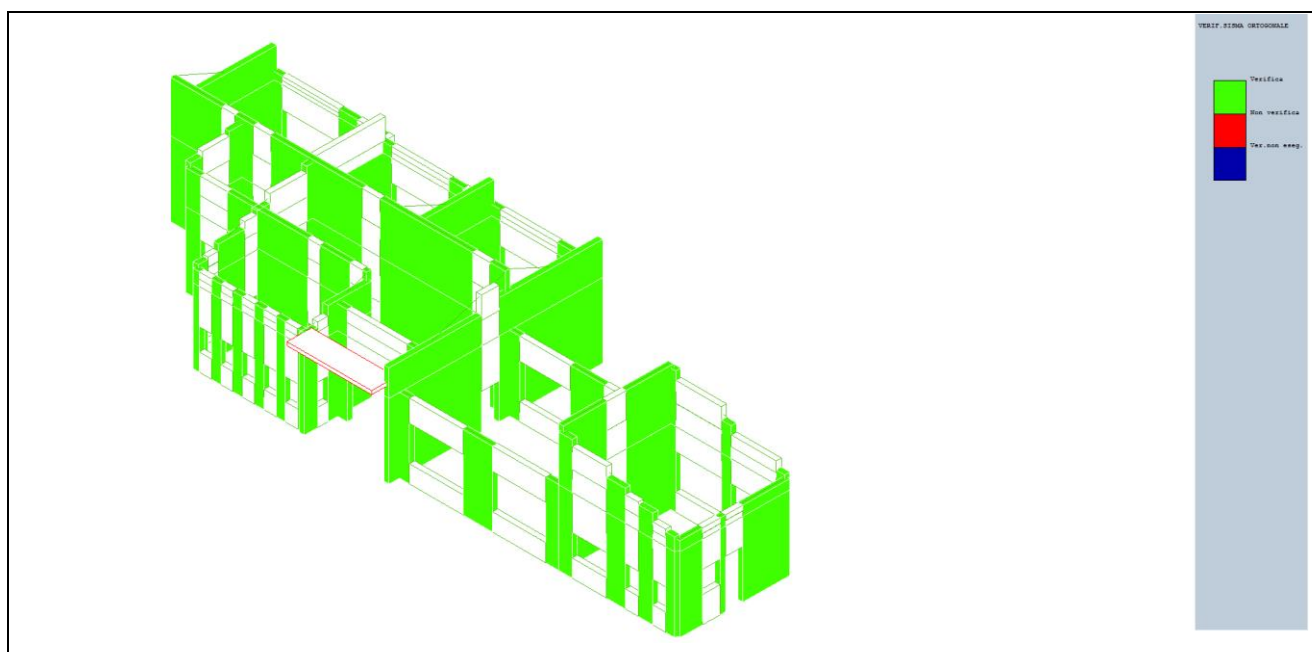
I risultati dell'analisi Push-over sono riportati anche nel par. 4.3

2.3 Verifiche Globali – Analisi Dinamica Lineare – Stato di Fatto

Il modello 3D utilizzato nelle verifiche di tipo Dinamico Lineare è il seguente :



La Verifica a Sisma Ortogonale fornisce un Indice di Rischio $I_R = 1,65$ in corrispondenza del muro n°41 alla quota n°2.



Verifica Sisma Ortogonale

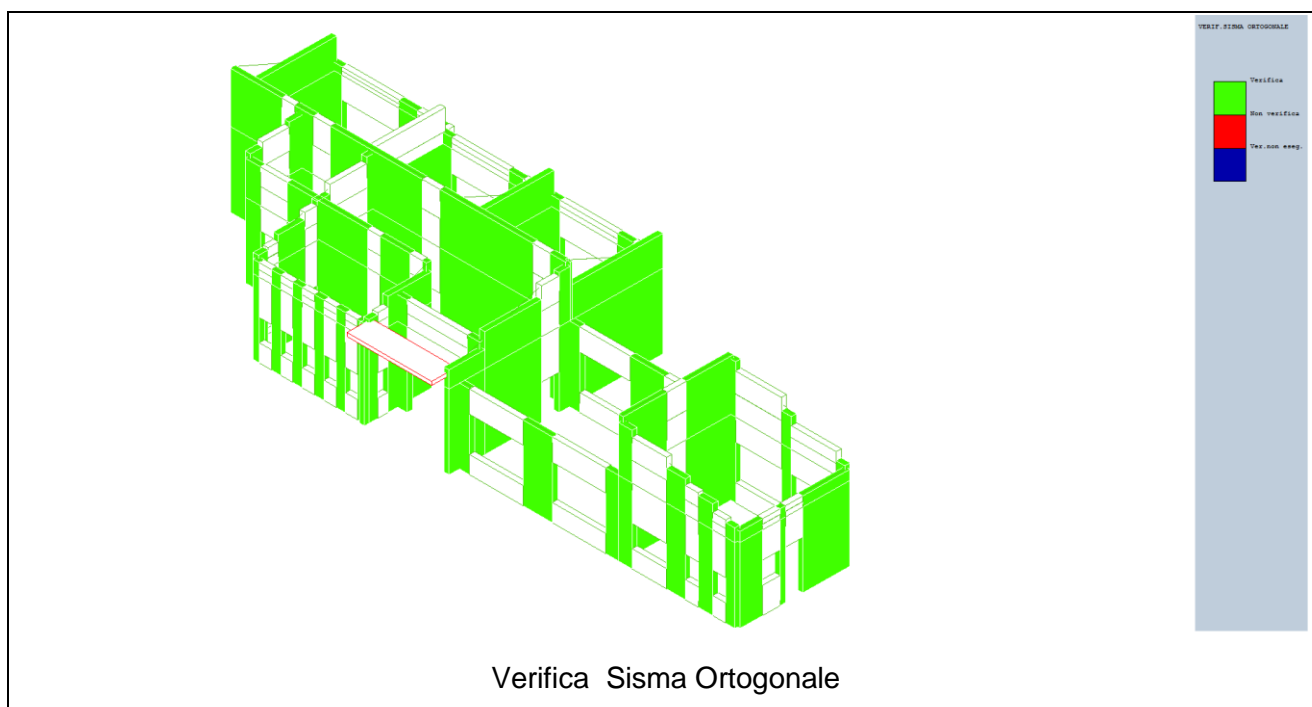
I risultati sono riportati nel par. A).

I tabulati sono riportati nell'Allegato **01 STRU SP**.

2.4 Verifiche Globali – Analisi Dinamica Lineare – Stato di Progetto

La verifica a Sisma Ortogonale è una verifica locale nei confronti dell'espulsione fuori dal piano del pannello murario (pressoflessione fuori dal piano o meccanismo di 1° modo).

La Verifica a Sisma Ortogonale fornisce un Indice di Rischio $I_R > 1$ per ogni pannello murario.

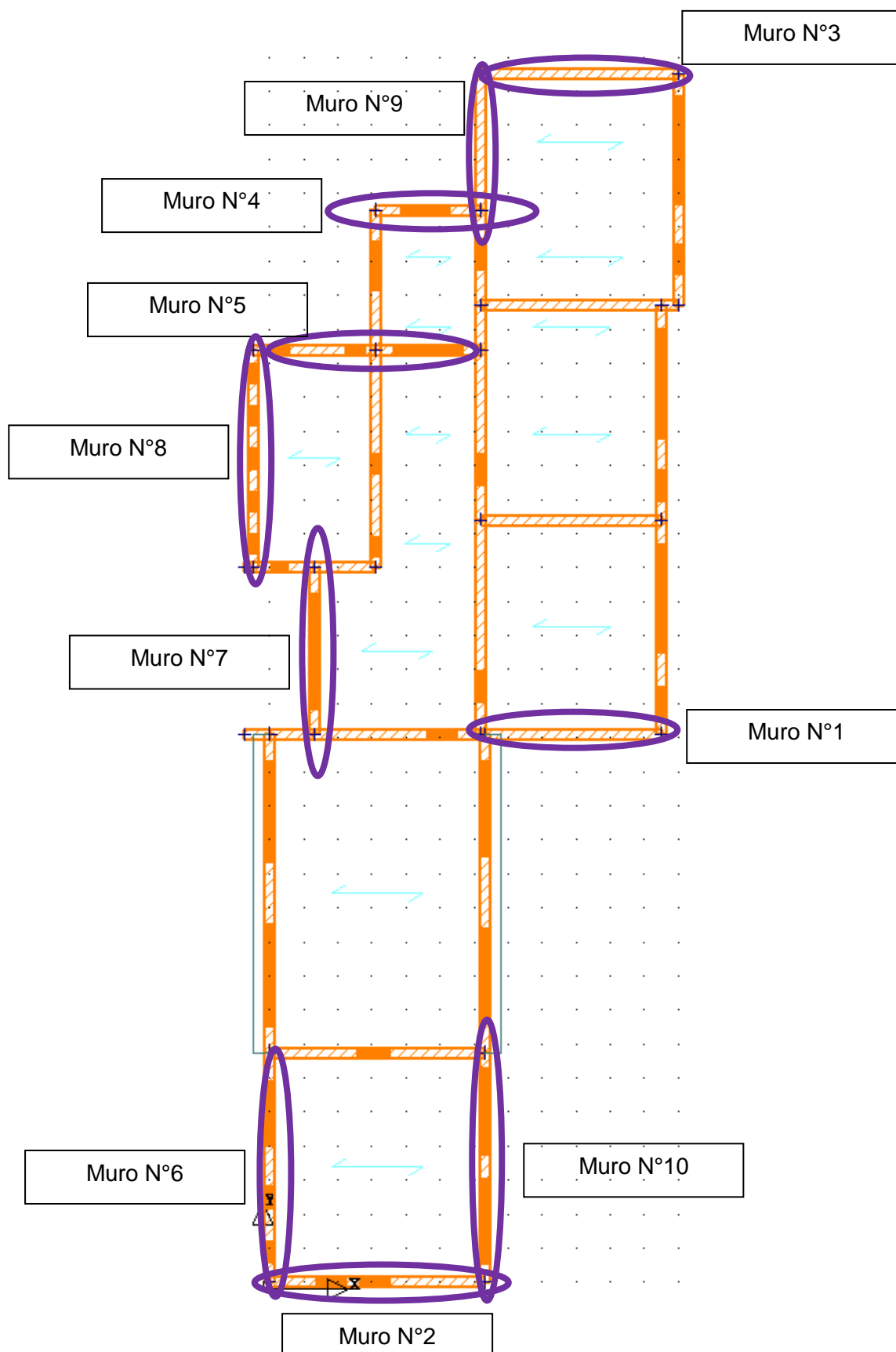


I risultati sono riportati nel par. 4.3

I tabulati sono riportati nell'Allegato **01 STRU SP**.

2.5 Verifiche Locali – Analisi dei Meccanismi Locali di Collasso – Stato di Fatto

Viene rappresentata la pianta dell'edificio con l'indicazione dei muri presi in considerazione per l'analisi dei meccanismi locali di collasso nello Stato di Fatto.

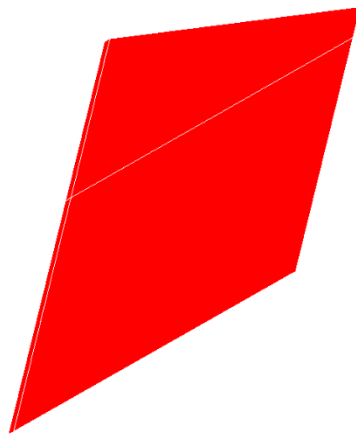


Il tipo di meccanismo scelto per lo Stato di Fatto è il ribaltamento semplice, quindi trascuriamo l'efficacia del cordolo in c.a. come già specificato al par. 1.8.3.

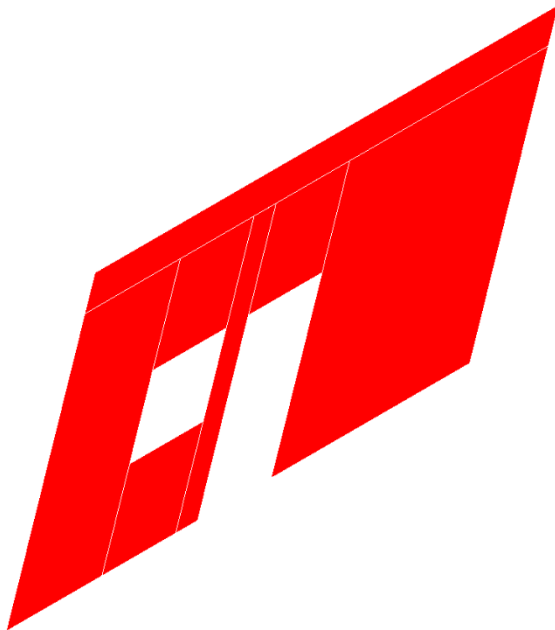
Si riportano i meccanismi di collasso presi in considerazione; essi presentano tutti Indicatore di Rischio $SLV < 1$.

I tabulati sono riportati nell'Allegato **01 STRU SP**.

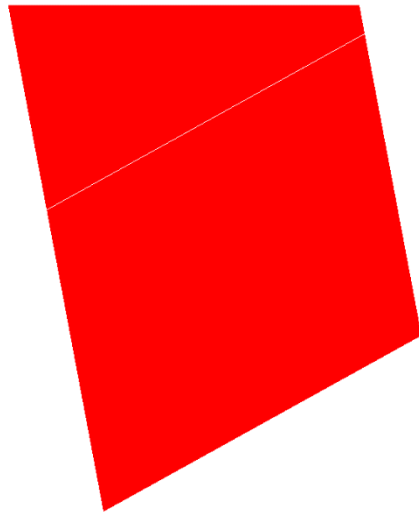
I risultati sono riportati nella Tabella All. A).



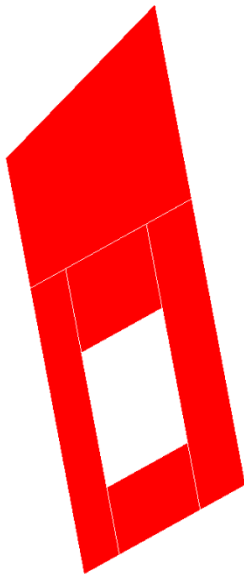
Meccanismo di Collasso N°1 – Muro N°1



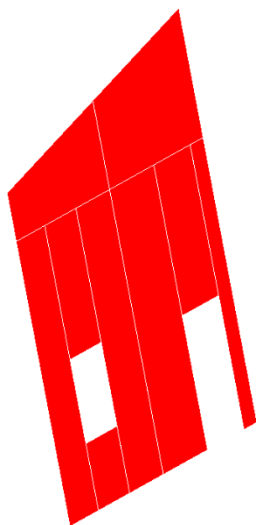
Meccanismo di Collasso N°2 – Muro N°2



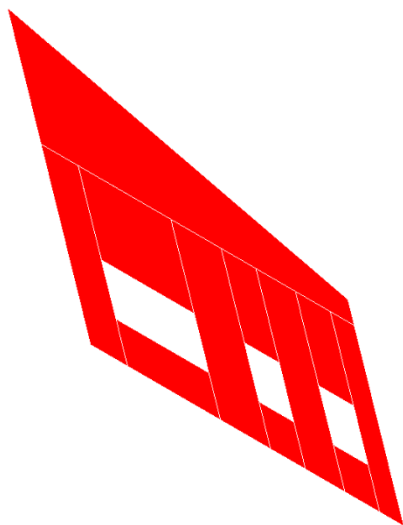
Meccanismo di Collasso N°3 – Muro N°3



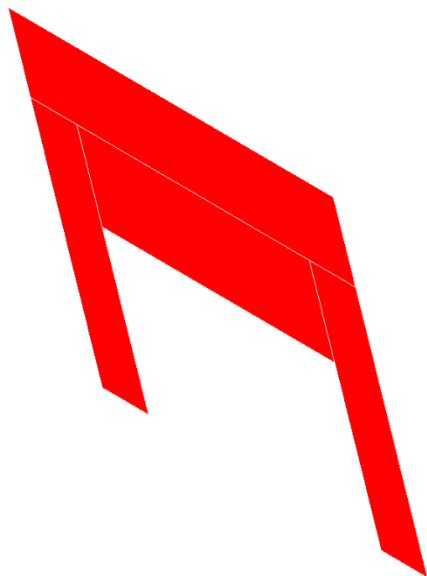
Meccanismo di Collasso N°4 – Muro N°4



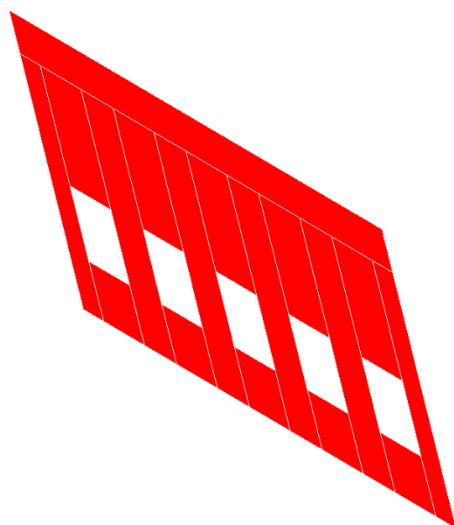
Meccanismo di Collasso N°5 – Muro N°5



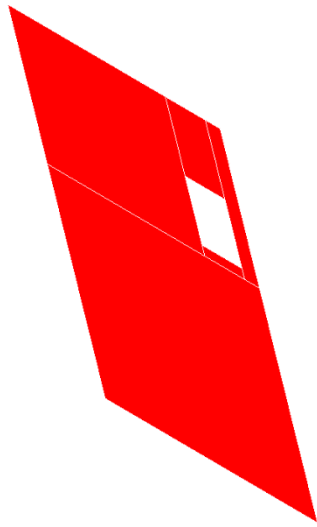
Meccanismo di Collasso N°11 – Muro N°6



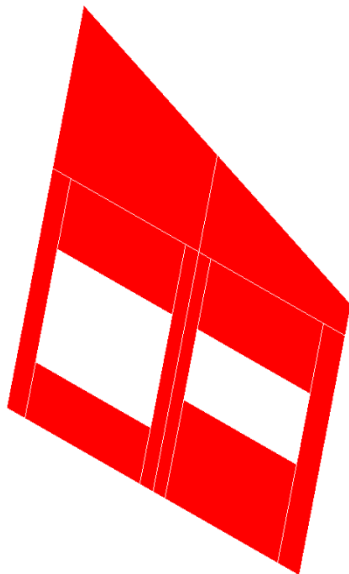
Meccanismo di Collasso N°12 – Muro N°7



Meccanismo di Collasso N°13 – Muro N°8



Meccanismo di Collasso N°14 – Muro N°9



Meccanismo di Collasso N°15 – Muro N°10

2.6 Verifiche Locali – Analisi dei Meccanismi Locali di Collasso – Stato di Progetto

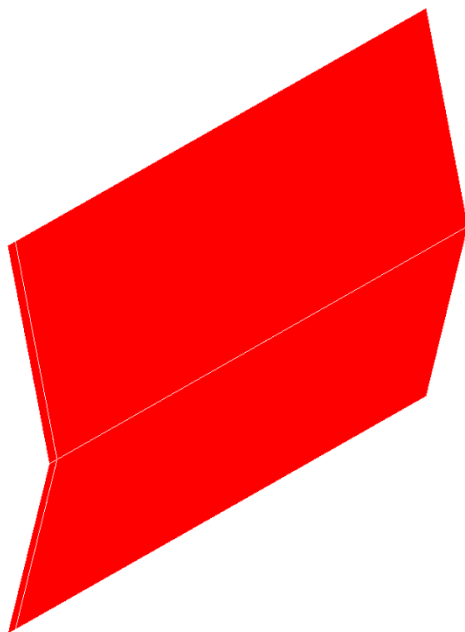
Per quanto riguarda l'analisi dei meccanismi locali di collasso nello Stato di Progetto vengono presi in considerazione gli stessi muri indicati nella pianta dell'edificio allo Stato di Fatto.

E' stata scelta, come tipologia di meccanismo, la flessione verticale, perché, come si è spiegato al par. 1.8.3, si ritiene che, dopo l'intervento di rinforzo delle pareti e a livello del cordolo in c.a, quest'ultimo abbia l'efficacia giusta per fare avvenire questo tipo di meccanismo.

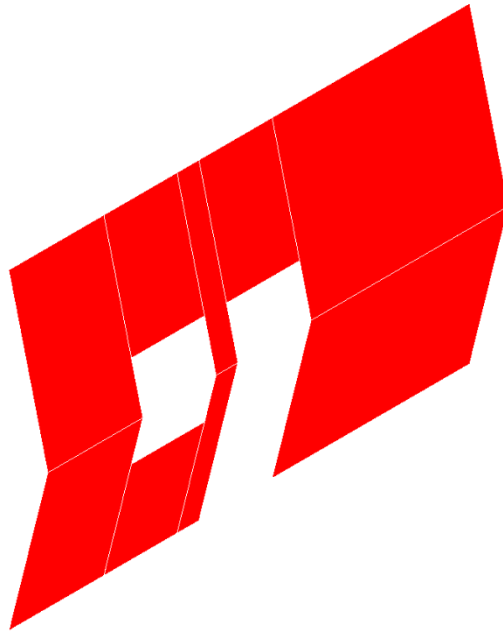
Si riportano i meccanismi di collasso presi in considerazione; essi presentano tutti Indicatore di Rischio $SLV > 1$.

I tabulati sono riportati nell'Allegato **01 STRU SP**.

I risultati sono riportati nel par. 4.3



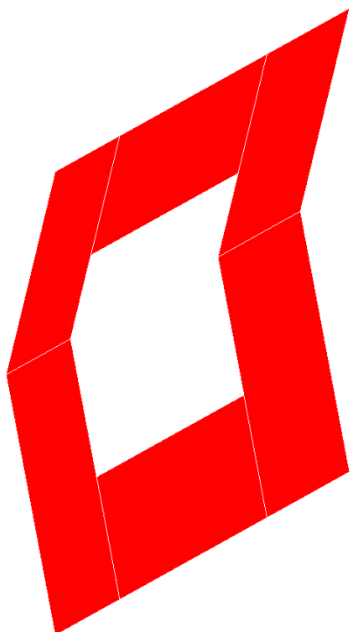
Meccanismo di Collasso N°6 – Muro N°1



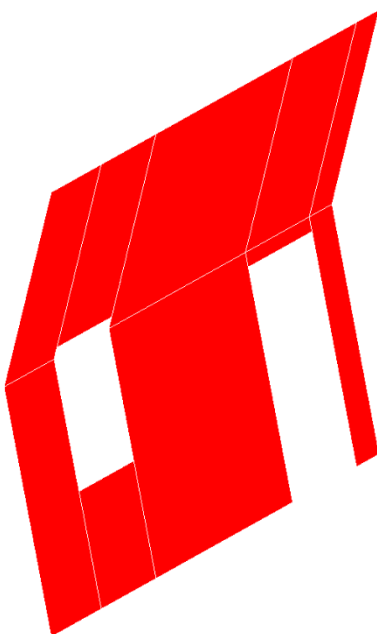
Meccanismo di Collasso N°7 – Muro N°2



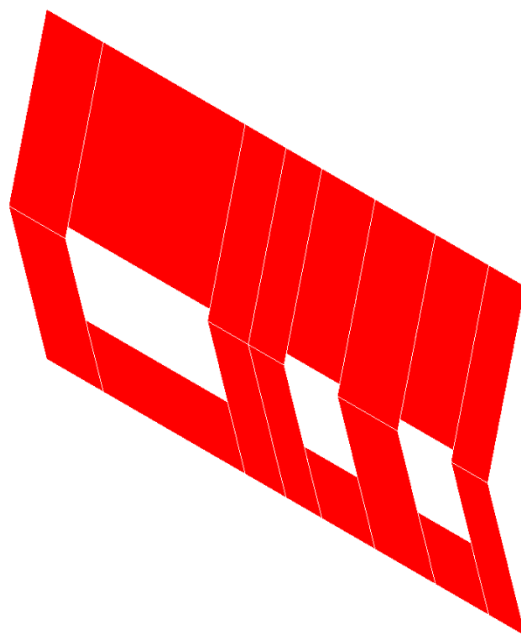
Meccanismo di Collasso N°8 – Muro N°3



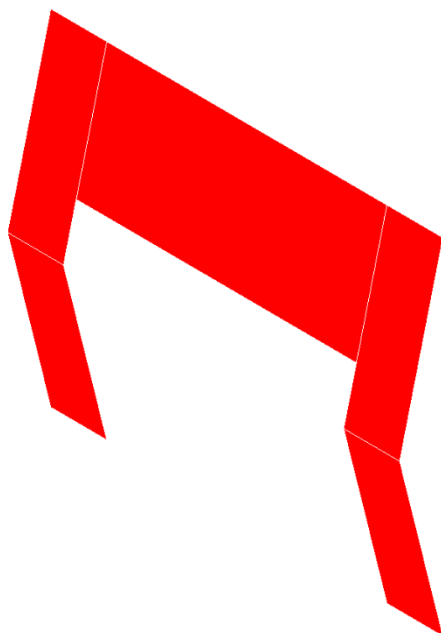
Meccanismo di Collasso N°9 – Muro N°4



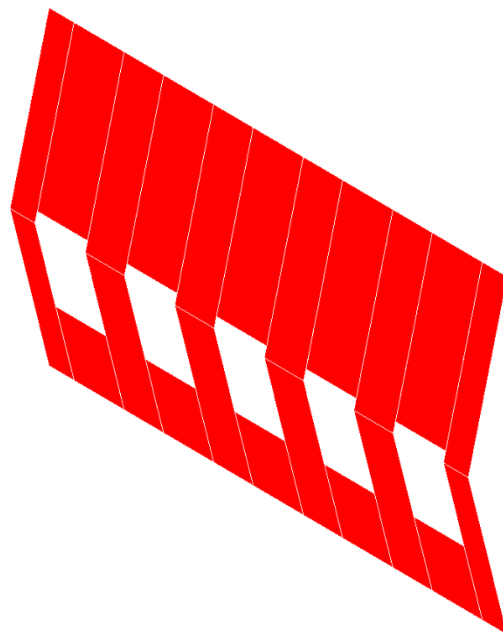
Meccanismo di Collasso N°10 – Muro N°5



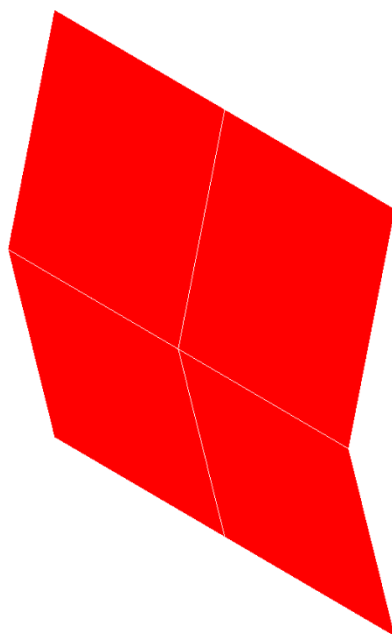
Meccanismo di Collasso N°16 – Muro N°6



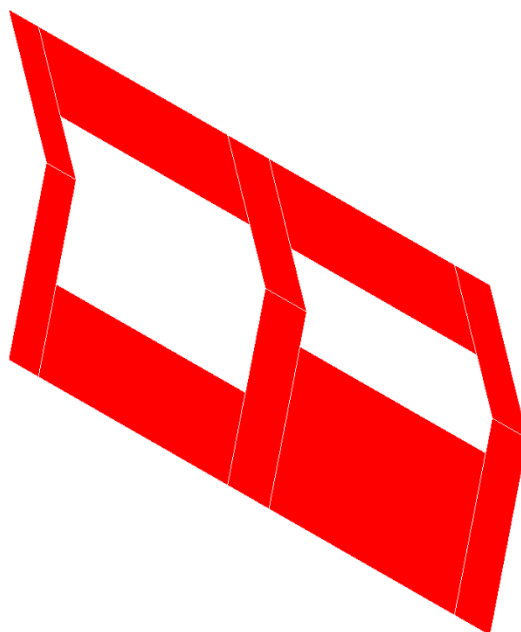
Meccanismo di Collasso N°17 – Muro N°7



Meccanismo di Collasso N°18 – Muro N°8



Meccanismo di Collasso N°19 – Muro N°9



Meccanismo di Collasso N°20 – Muro N°10

3 RELAZIONE SULLE FONDAZIONI E GEOTECNICA

L'intervento in oggetto non va a modificare né il comportamento globale del fabbricato né ad incrementare i carichi agenti rispetto allo stato attuale, pertanto non vi sono rilevanti modificazioni delle sollecitazioni trasmesse al terreno fondale.

Si omettono interventi e verifiche sulle fondazioni stesse poiché sono presenti contemporaneamente tutte le seguenti condizioni:

- nel fabbricato non sono presenti dissesti attribuibili a cedimenti delle fondazioni;
- gli interventi progettati non comportano alterazioni dello schema strutturale del fabbricato;
- gli interventi progettati non comportano rilevanti modificazioni delle sollecitazioni trasmesse alle fondazioni.

Il terreno di fondazione è analizzato negli elaborati della Relazione di Calcolo della Vulnerabilità redatta nel Maggio 2018.

4 DETERMINAZIONE DELL'INDICATORE DI RISCHIO (IR)

4.1 Meccanismi Globali

I meccanismi globali, relativi alla fase di progetto, studiati attraverso l'analisi Push-over e l'analisi dinamica lineare, forniscono Indicatori di Rischio maggiori di 1 (Vedi Tab. par. 4.3).

	IR
Analisi Globale	1,035
Cinematismi locali	1,55
Sisma Ortogonale	1,60

“Tabulati di Calcolo”

Indici di Sicurezza Stato di Progetto

NTC 2018

4.2 Meccanismi Locali

L'analisi dei meccanismi locali, relativi alla fase di progetto, fornisce Indicatori di Rischio maggiori di 1 (Vedi Tab. par. 4.3).

4.3 Riepilogo dei Risultati

I risultati relativi alla Fase di Progetto vengono rappresentati nella seguente tabella :

4.4 Confronto tra gli Indicatori di Rischio pre e post intervento

STATO DI FATTO		NTC 2018	STATO DI PROGETTO	
	I _R			I _R
Analisi Globale	0,98		Analisi Globale	1,035
Cinematismi locali	0,19		Cinematismi locali	1,55
Sisma Ortogonale	1,65		Sisma Ortogonale	1,60

Il confronto tra gli Indicatori di Rischio pre e post intervento mette in luce l'incidenza dell'intervento che è stato progettato.

Come si può vedere dalla tabella dello Stato di Progetto, gli Indicatori di Rischio sono tutti maggiori di 1, in particolare si nota il significativo incremento dell'indice di sicurezza riguardante i cinematismi locali.

Urbania, 10 maggio 2019

Il Progettista
Ing. Enea Rossi