



COMUNE DI NAPOLI

FUTURA LA SCUOLA
PER L'ITALIA DI DOMANI



Ministero dell'Istruzione



PIANO NAZIONALE DI RIPRESA E RESILIENZA MISSIONE 4: ISTRUZIONE E RICERCA

Componente 1 - Potenziamento dell'offerta dei servizi di istruzione: dagli asili nido alle Università -Investimento 3.3
"Piano di messa in sicurezza e riqualificazione delle scuole"



ADEGUAMENTO SISMICO ED EFFICIENTAMENTO ENERGETICO SCUOLA I.C. RUSSO VIA V. MARRONE, 67/69 NAPOLI

PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA

Cod. Edificio ARES 0630490032

Progettista:
Ing. Giulio Davini

Responsabile del Procedimento:
Arch. Alfonso Ghezzi

DESCRIZIONE ELABORATO:

Relazione Interventi strutturali

COD. ELABORATO :

B

SCALA :

-

DATA :

GENNAIO 2022

INDICE:

1	INTRODUZIONE E INQUADRAMENTO DEL FABBRICATO.....	2
2	DESCRIZIONE GENERALE DEL MANUFATTO	3
2.1	Dati Geometrici e Strutturali	3
3	LIVELLO DI CONOSCENZA E CARATTERIZZAZIONE MECCANICA DEI MATERIALI	4
3.1	Livello di conoscenza struttura in c.a.	4
3.2	CARATTERIZZAZIONE MECCANICA DEI MATERIALI	6
4	SINTESI SULLA VULNERABILITÀ SISMICA DEL FABBRICATO	8
5	ANALISI CRITICA DEI RISULTATI E CONCLUSIONI SULLO STATO DI FATTO	14
6	PROBLEMATICHE RISCONTRATE	20
7	PROPOSTA DI INTERVENTI DI ADEGUAMENTO.....	20
7.1	Incremento di resistenza dei pilastri non verificati a taglio/pressoflessione mediante incamiciatura in c.a.	20
7.2	Incremento di resistenza dei nodi, scale e travi in c.a. mediante fasciatura in FRP	21
8	MODELLAZIONE SISMICA-STATO DI PROGETTO-ADEGUAMENTO SISMICO.	25
9	DETERMINAZIONE DEGLI INDICI DI RISCHIO-STATO DI PROGETTO	27
10	CLASSIFICAZIONE DEL RISCHIO SISMICO	30
11	CONFRONTO TRA STATO DI FATTO- STATO DI PROGETTO	35
12	CONCLUSIONI.....	36

1 INTRODUZIONE E INQUADRAMENTO DEL FABBRICATO

Al fine della valutazione della sicurezza ai sensi della NTC 2018 dell'edificio scolastico, "I.C. Ferdinando Russo" ubicato in via Vincenzo Marrone, 67/69, in Napoli, si è proceduto alla verifica dei livelli di sicurezza dell'edificio esistente, volta a determinare l'entità delle azioni che la struttura è in grado di sostenere con il livello di sicurezza minimo richiesto dalla suddetta normativa.

La valutazione della sicurezza, argomentata con apposita relazione, deve permettere di stabilire se:

- l'uso della costruzione possa continuare senza interventi;
- l'uso debba essere modificato (declassamento, cambio di destinazione e/o imposizione di limitazioni e/o cautele nell'uso);
- sia necessario aumentare la sicurezza strutturale, mediante interventi.

Di seguito si riporta un inquadramento territoriale dell'edificio oggetto di studio.

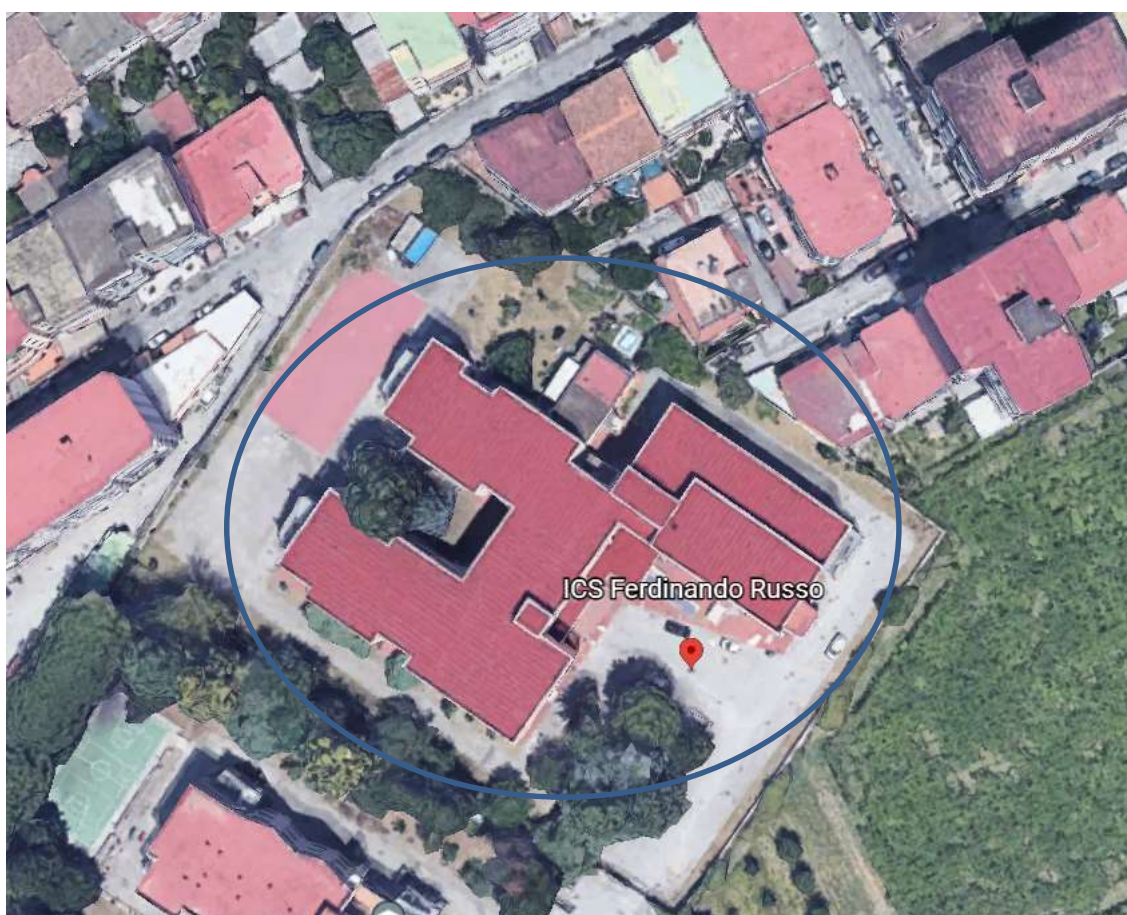


Foto 1 – Localizzazione dell'edificio

2 DESCRIZIONE GENERALE DEL MANUFATTO

2.1 DATI GEOMETRICI E STRUTTURALI

Il fabbricato oggetto di studio è composto da tre piani fuori terra ed un piano seminterrato con uno schema planimetrico piuttosto irregolare sia in pianta che in altezza. Non sono stati rilevati la presenza di giunti.

La superficie del piano seminterrato e del piano rialzato è di circa 2295 mq, la superficie del piano primo è di circa 1611 mq mentre il piano secondo ha una superficie pari a 2295 mq.

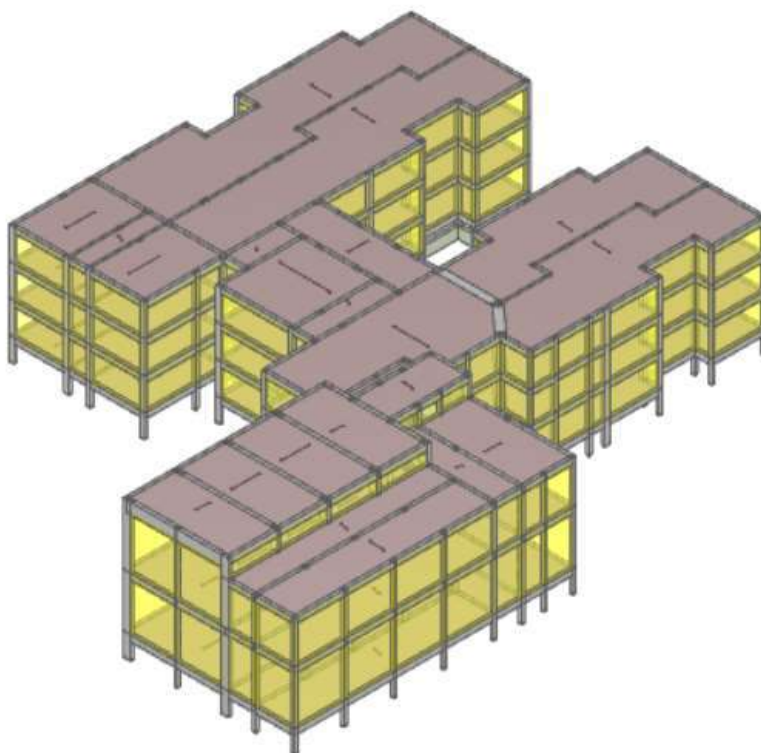
La differenza di estensione superficiale tra il piano primo e gli altri piani è dovuta alla presenza di un corpo palestra, il quale presenta un'altezza maggiore rispetto al corpo scuola siccome si innalza per ben due piani.

La struttura del manufatto è costituita da telai monodirezionale con pilastri e travi in c.a. le cui sezioni sono variabili. In generale, è diffusa la presenza di pilastri in c.a. di sezioni 40x40, 40x60 e 45x90.

La palestra invece è costituita da telai bidirezionali costituito da pilastri di dimensioni 45x90 cm, travi perimetrali di dimensioni 30x75 e travi interne ortogonali a quelle perimetrali di dimensione 45x135. Vengono riportate di seguito due viste assonometriche contrapposte, allo scopo di consentire una migliore comprensione della struttura oggetto della presente relazione:

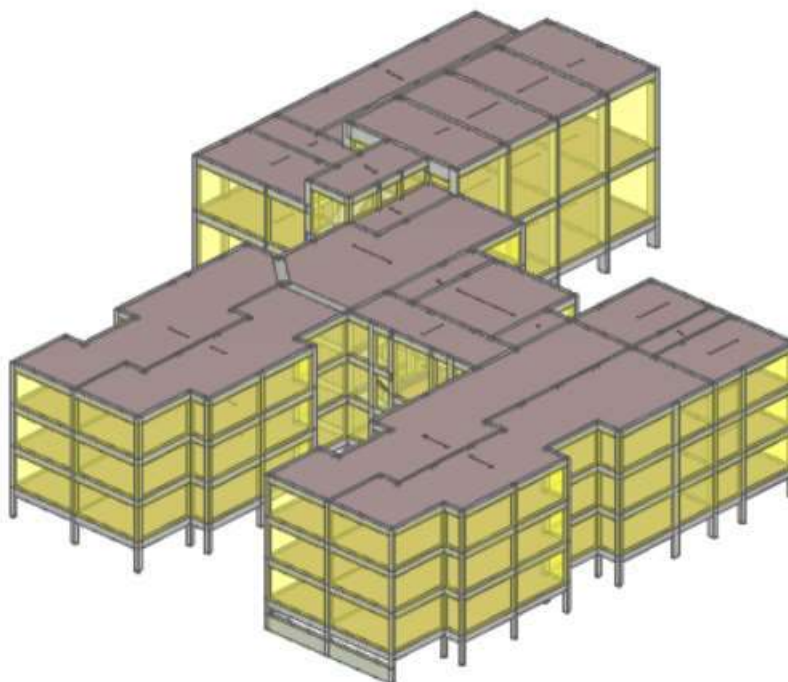
Vista Anteriore

La direzione di visualizzazione (bisettrice del cono ottico), relativamente al sistema di riferimento globale 0,X,Y, Z, ha versore (1;1;-1)



Vista Posteriore

La direzione di visualizzazione (bisettrice del cono ottico), relativamente al sistema di riferimento globale 0,X,Y, Z, ha versore $(-1;-1;-1)$



3 LIVELLO DI CONOSCENZA E CARATTERIZZAZIONE MECCANICA DEI MATERIALI

3.1 LIVELLO DI CONOSCENZA STRUTTURA IN C.A.

Così come riportato nella Circolare 7/2019 al paragrafo C8.5.4, ai fini della scelta del tipo di analisi e dei valori dei fattori di confidenza da utilizzare nell'analisi e verifica degli edifici esistenti, si distinguono i tre livelli di conoscenza seguenti:

- LC1: Conoscenza Limitata;
- LC2: Conoscenza Adeguata;
- LC3: Conoscenza Accurata.

Gli aspetti che definiscono i livelli di conoscenza sono:

- geometria, ossia le caratteristiche geometriche degli elementi strutturali;
- dettagli strutturali;
- materiali, ossia le proprietà meccaniche dei materiali.

Il livello di conoscenza acquisito determina il metodo di analisi e i fattori di confidenza da applicare alle proprietà dei materiali.

La conoscenza della costruzione in c.a. oggetto della verifica è di fondamentale importanza ai fini di una adeguata analisi, e può essere conseguita con diversi livelli di approfondimento, in funzione dell'accuratezza delle operazioni di rilievo, dell'analisi storica e delle indagini sperimentali. Tali operazioni saranno funzione degli obiettivi preposti ed andranno ad interessare tutto o in parte la costruzione, a seconda della ampiezza e della rilevanza dell'intervento previsto.

Dall'analisi dello stato dei luoghi è stata riscontrata la possibilità di raggiungere il livello di conoscenza LC3 per la struttura in cemento armato. Pertanto il **livello di conoscenza conseguito è LC3 con adozione del fattore di confidenza F.C. = 1,00.**

Di seguito si riporta in maniera riassuntiva e tabellare i passaggi eseguiti per la definizione del livello di conoscenza e del fattore di confidenza.

Livello di Conoscenza	Geometria (carpenterie)	Dettagli strutturali	Proprietà dei materiali	Metodi di analisi	FC
LC1	Da disegni di carpenteria originali con rilievo visivo a campione oppure rilievo ex-novo completo	Progetto simulato in accordo alle norme dell'epoca e <i>limitate</i> verifiche in-situ	Valori usuali per la pratica costruttiva dell'epoca e <i>limitate</i> prove in-situ	Analisi lineare statica o dinamica	1.35
LC2		Disegni costruttivi incompleti con <i>limitate</i> verifiche in situ oppure estese verifiche in-situ	Dalle specifiche originali di progetto o dai certificati di prova originali con <i>limitate</i> prove in-situ oppure estese prove in-situ	Tutti	1.20
LC3		Disegni costruttivi completi con <i>limitate</i> verifiche in situ oppure esaustive verifiche in-situ	Dai certificati di prova originali o dalle specifiche originali di progetto con estese prove in situ oppure esaustive prove in-situ	Tutti	1.00

- **La conoscenza della geometria strutturale:** la geometria della struttura è nota o in base a un rilievo o dai disegni originali. In quest'ultimo caso è effettuato un rilievo visivo a campione per verificare l'effettiva corrispondenza del costruito ai disegni. I dati raccolti sulle dimensioni degli elementi strutturali, insieme a quelli riguardanti i dettagli strutturali, saranno tali da consentire la messa a punto di un modello strutturale idoneo ad un'analisi lineare o non lineare.
- **I dettagli costruttivi:** dettagli sono noti o da un'esaustiva verifica in-situ oppure dai disegni costruttivi originali. In quest'ultimo caso è effettuata una limitata verifica in-situ delle armature e dei collegamenti presenti negli elementi più importanti. I dati raccolti saranno tali da consentire, nel caso si esegua un'analisi lineare, verifiche locali di resistenza, oppure la messa a punto di un modello strutturale non lineare.

- **Proprietà dei materiali:** informazioni sulle caratteristiche meccaniche dei materiali sono disponibili in base ai disegni costruttivi o ai certificati originali, o da esaustive verifiche in-situ. Nel primo caso sono anche eseguite estese prove in-situ; se i valori ottenuti dalle prove in-situ sono minori di quelli disponibili dai disegni o dai certificati originali, sono eseguite esaustive prove in-situ. I dati raccolti saranno tali da consentire, nel caso si esegua un'analisi lineare, verifiche locali di resistenza, oppure la messa a punto di un modello strutturale non lineare.
- **Valutazione della sicurezza:** La valutazione della sicurezza nel caso di conoscenza accurata verrà eseguita mediante metodi di analisi lineare o non lineare, statici o dinamici.

3.2 CARATTERIZZAZIONE MECCANICA DEI MATERIALI

Al fine di raggiungere il livello di conoscenza prefissato, ovvero LC3, è stato necessario eseguire un accurata campagna di indagine, effettuando delle prove esaustive di tipo distruttivo e non distruttivo per la caratterizzazione meccanica dei materiali.

Di seguito si riportano i risultati delle prove distruttive; prove di rottura a compressione di carote di cls.

Laboratorio
CSW ENGINEERING S.R.L.
SETTORE A – Circolare 7617/STC 08/09/2010

Via della Libertà, 25 – 84085 – ROCCAPIEMONTE (SA) - P. IVA/C.F. 05404540659
Tel. 081/18222445 e-mail: laboratorio@cswsrl.it Pec: csw@pec.it



Laboratorio Autorizzato con D.M. 48 del 3.3.21 ai sensi della Legge 1086/71 e successivi

Certificato	N. 594/2021	Verbale di	N. 824/2021
	del 10/12/2021	accettazione	del 09/12/2021

CERTIFICATO DI PROVA Prova di Rottura a Compressione di Carote di Calcestruzzo Indurito

Tecnico Incaricato		Ing. Fabio Mastellone di Castelvetere									
Proprietario		Comune di Napoli									
Località Lavori		Via V.Marrone, 67-69 - Napoli (NA)									
Oggetto dei lavori		Campagna d'indagine strutturale edificio scolastico "35 - Centrale I.C. Russo"									
Società Affidataria dell'incarico		Mastellone di Castelvetere engineering S.r.l.									
NORMA DI PROVA				UNI EN 12390-1 / UNI EN 12390-3 / DM 17.01.2018							
N	Sigla	Indicazione Prelievo	Data Prelievo	R.*	d (cm)	H (cm)	Ac (cmq)	Peso (kg)	fc (MpA)	T.R.**	Data Prova
1	C1	Trave - primo implacato	26/11/2021	S2	9,47	9,32	70,44	1,49	46,04	S	10/12/2021
2	C2	Pilastro - primo implacato	26/11/2021	S2	9,48	9,23	70,58	1,43	51,31	S	10/12/2021
3	C3	Pilastro - primo implacato	26/11/2021	S2	9,47	9,08	70,44	1,47	40,97	S	10/12/2021
4	C4	Trave - primo implacato	26/11/2021	S2	9,48	9,35	70,58	1,49	44,10	S	10/12/2021
5	C5	Pilastro - primo implacato	26/11/2021	S2	9,47	9,15	70,44	1,46	48,31	S	10/12/2021
6	C6	Trave - primo implacato	26/11/2021	S2	9,46	9,13	70,29	1,53	62,88	S	10/12/2021
7	C7	Pilastro - primo implacato	26/11/2021	S2	9,47	9,33	70,44	1,54	40,01	S	10/12/2021
8	C8	Trave - primo implacato	26/11/2021	S2	9,47	9,23	70,44	1,43	39,81	S	10/12/2021
9	C9	Pilastro - primo implacato	26/11/2021	S2	9,46	9,37	70,29	1,47	29,95	S	10/12/2021
10	C10	Trave - primo implacato	26/11/2021	S2	9,46	9,25	70,29	1,51	65,20	S	10/12/2021
11	C11	Pilastro - primo implacato	26/11/2021	S2	9,47	9,36	70,44	1,53	33,92	S	10/12/2021
12	C12	Trave - primo implacato	26/11/2021	S2	9,48	9,12	70,58	1,42	56,03	S	10/12/2021
13	C13	Pilastro - primo implacato	26/11/2021	S2	9,48	9,39	70,58	1,44	54,90	S	10/12/2021
14	C14	Pilastro - primo implacato	26/11/2021	S2	9,46	9,04	70,29	1,52	64,07	S	10/12/2021
15	C15	Trave - primo implacato	26/11/2021	S2	9,47	9,23	70,44	1,52	53,98	S	10/12/2021
16	C16	Trave - secondo implacato	26/11/2021	S2	9,47	9,13	70,44	1,48	69,18	S	10/12/2021
17	C17	Pilastro - secondo implacato	26/11/2021	S2	9,48	9,40	70,58	1,44	44,20	S	10/12/2021

17	C17	Pilastro - secondo implacato	26/11/2021	S2	9,48	9,40	70,58	1,44	44,20	S	10/12/2021
18	C18	Pilastro - secondo implacato	26/11/2021	S2	9,48	9,02	70,58	1,51	59,80	S	10/12/2021
19	C19	Pilastro - secondo implacato	26/11/2021	S2	9,47	9,11	70,44	1,55	51,31	S	10/12/2021
20	C20	Trave - secondo implacato	26/11/2021	S2	9,48	9,38	70,58	1,55	58,24	S	10/12/2021
21	C21	Pilastro - secondo implacato	26/11/2021	S2	9,48	9,22	70,58	1,54	53,92	S	10/12/2021
22	C22	Pilastro - secondo implacato	26/11/2021	S2	9,46	9,18	70,29	1,55	57,94	S	10/12/2021
23	C23	Pilastro - secondo implacato	26/11/2021	S2	9,46	9,06	70,29	1,50	47,50	S	10/12/2021
24	C24	Trave - secondo implacato	26/11/2021	S2	9,48	9,14	70,58	1,55	60,62	S	10/12/2021
25	C25	Pilastro - secondo implacato	26/11/2021	S2	9,47	9,11	70,44	1,47	55,60	S	10/12/2021
26	C26	Pilastro - secondo implacato	26/11/2021	S2	9,46	9,02	70,29	1,43	60,20	S	10/12/2021
27	C27	Pilastro - secondo implacato	26/11/2021	S2	9,47	9,14	70,44	1,45	63,70	S	10/12/2021
28	C28	Pilastro - secondo implacato	07/12/2021	S2	9,46	9,18	70,29	1,55	49,52	S	10/12/2021
29	C29	Trave - secondo implacato	07/12/2021	S2	9,47	9,36	70,44	1,46	39,95	S	10/12/2021
30	C30	Trave - secondo implacato	07/12/2021	S2	9,47	9,32	70,44	1,47	43,79	S	10/12/2021
31	C31	Trave - terzo implacato	07/12/2021	S2	9,47	9,38	70,44	1,47	51,96	S	10/12/2021
32	C32	Pilastro - terzo implacato	07/12/2021	S2	9,46	9,23	70,29	1,47	35,34	S	10/12/2021
33	C33	Pilastro - terzo implacato	07/12/2021	S2	9,47	9,39	70,44	1,54	32,47	S	10/12/2021
34	C34	Pilastro - terzo implacato	07/12/2021	S2	9,46	9,18	70,29	1,47	30,44	S	10/12/2021
35	C35	Pilastro - terzo implacato	07/12/2021	S2	9,46	9,08	70,29	1,42	31,66	S	10/12/2021
36	C36	Trave - terzo implacato	07/12/2021	S2	9,47	9,07	70,44	1,54	48,72	S	10/12/2021
37	C37	Trave - quarto implacato	07/12/2021	S2	9,48	9,34	70,58	1,50	44,65	S	10/12/2021
38	C38	Pilastro - quarto implacato	07/12/2021	S2	9,46	9,14	70,29	1,55	26,79	S	10/12/2021
39	C39	Pilastro - quarto implacato	07/12/2021	S2	9,46	9,02	70,29	1,51	32,45	S	10/12/2021
40	C40	Pilastro - quarto implacato	26/11/2021	S2	9,46	9,40	70,29	1,46	32,70	S	10/12/2021
41	C41	Pilastro - quarto implacato	26/11/2021	S2	9,46	9,05	70,29	1,55	32,53	S	10/12/2021
42	C42	Trave - quarto implacato	26/11/2021	S2	9,47	9,29	70,44	1,50	36,14	S	10/12/2021

La richiesta prove non è stata sottoscritta dal Direttore dei Lavori;

Prelievo eseguito come disposto dal §8.5.3 o dal §11.2.2 delle NTC 2018.

* rettifica (No – S1 (rett.meccanica) – S2 (cappatura));

** tipo di rottura (Soddisfacente – Non Soddisfacente)

Lo Sperimentatore

Matteo Grimaldi

Il Direttore del Laboratorio

Dott. Ing. Alfonso Belmonte



CERT 229128-2017
AQ-ITA-ACCREDITA

Mod. A2.2.1.2 CER - Rev. 02 del 04/03/21

Pagina 1/1

Per una maggior omogeneità delle caratteristiche in sito si è infine ricavato un valore medio ottenendo un valore di resistenza cilindrica pari a 47.5 N/mm^2 . Il passaggio alla resistenza cubica viene fatto dividendo tale valore per 0.83 e si ottiene in tal modo un valore medio di resistenza cubica pari a: $R_{cm}=57.23 \text{ N/mm}^2$.

Inoltre, sono stati effettuati anche le prove durometriche, al fine della caratterizzazione dei parametri di resistenza dell'acciaio della struttura esistente.

Attrezzatura di prova

- Durometro portatile a rimbalzo SAP 180 – SAMA Tools

Norma di riferimento

- UNI EN ISO 6506-1

Risultati delle prove

Strumentazione Utilizzata: Durometro portatile a rimbalzo SAP 180 – SAMA Tools

Riepilogo prove eseguite

N°	Riferimento Struttura	1	2	3	4	5	Media Stima Resistenza a Rottura Mpa
D1	Trave – Primo impalcato	576	571	579	583	577	577,2
D2	Pilastro – Primo impalcato	596	602	594	593	592	595,4
D3	Trave – Secondo impalcato	566	562	558	567	561	562,8
D4	Trave – Secondo impalcato	553	554	559	561	567	558,8
D5	Trave – Terzo impalcato	589	581	572	576	589	581,4
D6	Pilastro – Terzo impalcato	564	563	557	559	560	560,6
D7	Trave – Quarto impalcato	576	571	579	583	577	577,2
D8	Pilastro – Quarto impalcato	596	602	594	593	592	595,4

* I valori riportati sono stimati sulla base della curva di correlazione fornita a corredo dello strumento di misura da parte del produttore. Restano puramente indicativi e a supporto di un'analisi statistica.

Dalle indagini effettuate, inoltre, emerge un acciaio con una resistenza a rottura, misurata in Mpa, pari a **576.1 Mpa**.

A fronte di tale risultato, in particolare, importante dal punto di vista intensivo in termini di resistenza, si è scelto di modellare con un acciaio del tipo FeB 44K, comunque con dei valori in linea rispetto ai risultati ottenuti.

4 SINTESI SULLA VULNERABILITÀ SISMICA DEL FABBRICATO

L'edificio in oggetto, è stato verificato considerando una **Vita Nominale** pari a **50 anni** e **Classe d'Uso** pari a **3**.

Si riportano di seguito le coordinate geografiche del sito rispetto al Datum **ED50**:

Latitudine	Longitudine	Altitudine
[°]	[°]	[m]
40.853889	14.250556	17

Nella valutazione della domanda per strutture a comportamento **NON Dissipativo** tutte le membrature e i collegamenti rimangono in campo sostanzialmente elastico. La domanda derivante dall'azione sismica e dalle altre azioni è calcolata, in funzione dello stato limite cui ci si riferisce, ma indipendentemente dalla tipologia strutturale e senza tener conto delle non linearità del materiale, attraverso un modello elastico.

L'edificio è stato progettato per una **Vita Nominale** pari a **50** e per **Classe d'Uso** pari a **3**.

In base alle indagini geognostiche effettuate si è classificato il **suolo** di fondazione di **categoria C**, cui corrispondono i seguenti valori per i parametri necessari alla costruzione degli spettri di risposta orizzontale e verticale:

Stato Limite	a_g/g	F_0	Parametri di pericolosità sismica					
			T^*_c	C_c	T_B	T_c	T_D	S_s
			[s]		[s]	[s]	[s]	
SLO	0.0558	2.337	0.304	1.56	0.157	0.472	1.823	1.50
SLD	0.0737	2.325	0.321	1.53	0.164	0.491	1.895	1.50
SLV	0.1916	2.410	0.339	1.50	0.170	0.509	2.367	1.42
SLC	0.2397	2.495	0.341	1.50	0.170	0.511	2.559	1.34

Per la definizione degli spettri di risposta, oltre all'accelerazione (a_g) al suolo (dipendente dalla classificazione sismica del Comune) occorre determinare il Fattore di Comportamento (q).

Il Fattore di comportamento q è un fattore riduttivo delle forze elastiche introdotto per tenere conto delle capacità dissipative della struttura che dipende dal sistema costruttivo adottato, dalla Classe di Duttività e dalla regolarità in altezza.

Si è inoltre assunto il **Coefficiente di Amplificazione Topografica** (S_T) pari a **1.00**.

Tali succitate caratteristiche sono riportate negli allegati "Tabulati di calcolo" al punto "DATI GENERALI ANALISI SISMICA".

Per la struttura in esame sono stati utilizzati i seguenti valori:

4.1.1.1.1 Stato Limite di Danno

Fattore di Comportamento (q_X) per sisma orizzontale in direzione X: 1.00;

X:

Fattore di Comportamento (q_Y) per sisma orizzontale in direzione Y: 1.00;

Y:

Fattore di Comportamento (q_Z) per sisma verticale: 1.00 (se richiesto).

4.1.1.1.2 Stato Limite di salvaguardia della Vita

Verifica meccanismi "Duttili"

Fattore di Comportamento (q_X) per sisma orizzontale in direzione X: **3.000** ;

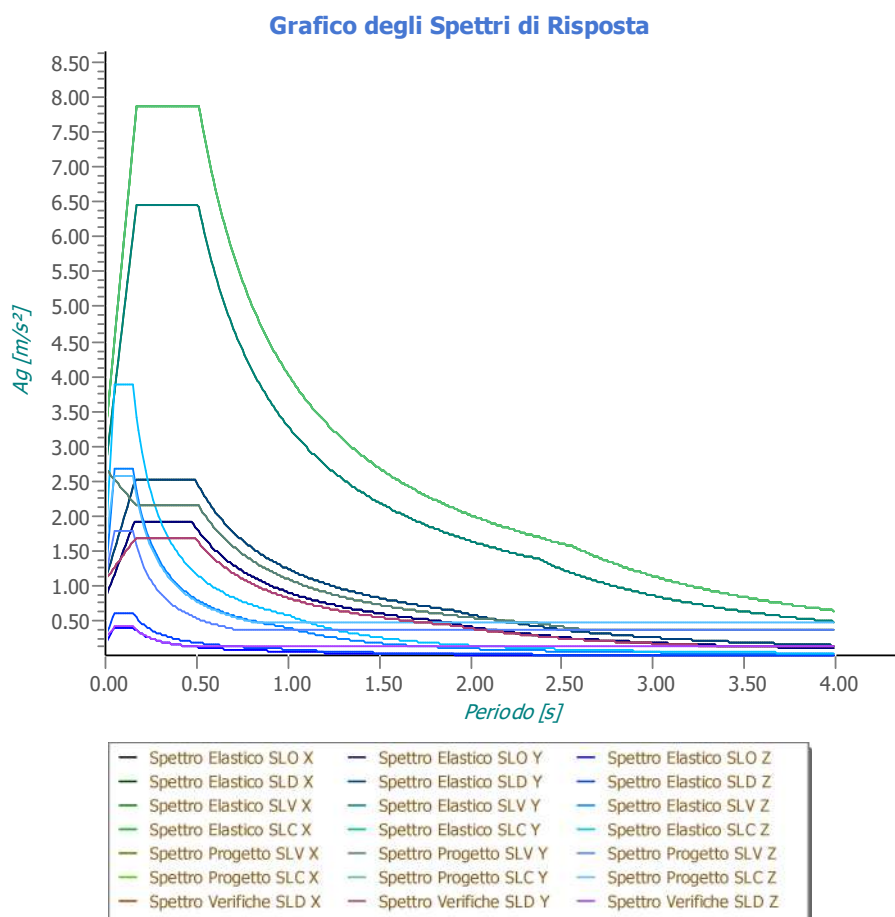
Fattore di Comportamento (q_Y) per sisma orizzontale in direzione Y: **3.000** ;

Fattore di Comportamento (q_z) per sisma verticale:

1.50 (se richiesto).

Verifica meccanismi “Fragili”

Il fattore di comportamento utilizzato per la verifica di tali meccanismi è pari a **1,50**. Gli spettri utilizzati sono riportati nella successiva figura.



L'indicatore di rischio è stato determinato mediante spettro ridotto del fattore di struttura q . Con questa procedura è possibile valutare tutti gli stati limite previsti dalla norma.

Di seguito si riportano i risultati ottenuti.

PERIODI FONDAMENTALI E MASSE PARTECIPANTI

Periodi fondamentali e masse partecipanti				
Direzione	Periodo	Modo di vibrare	Masse partecipanti	Coefficiente di partecipazione
	[s]		[%]	
X	0.637	2	54.12	2254.43
Y	0.603	1	60.47	2383.00

LEGENDA: Periodi fondamentali e masse partecipanti

Periodo	Periodo di vibrazione nella direzione considerata.
Modo di vibrare	Modo di vibrare che presenta il massimo coefficiente di partecipazione in valore assoluto nella direzione considerata. [-] = Non significativo per il tipo di analisi scelto.
Masse partecipanti	Percentuale di masse partecipanti relative al modo di vibrare che presenta il massimo coefficiente di partecipazione in valore assoluto nella direzione considerata. [-] = Non significativo per il tipo di analisi scelto.
Coefficiente di partecipazione	di Coefficiente di partecipazione massimo, in valore assoluto, nella direzione considerata.

CAPACITA' - ENTITA' DELL'AZIONE SISMICA SOSTENIBILE

Capacità - Entità dell'azione sismica sostenibile				
SL	Tipo di rottura	Materiale/Terreno	PGA _C [a _g /g]	T _{RC} [anni]
SLD	Spostamento Interpiano (SLD)	-	0.1494	137
SLO	Spostamento Interpiano (SLO)	-	0.1020	64
SLV	Flessione o Pressoflessione	CA	0.0831	49
SLV	Taglio	CA	0.0304	14

LEGENDA: Capacità - Entità dell'azione sismica sostenibile

Stato Limite	Stato limite raggiunto per il tipo di rottura considerato: [SLV] = stato limite di salvaguardia della vita - [SLD] = stato limite di danno - [SLO] = stato limite di operatività.
Materiale	Tipologia di materiale per il tipo di rottura considerato: [CA] = Cemento Armato - [AC] = Acciaio - [MU] = Muratura - [TER] = Terreno - [-] = Parametro non significativo per il tipo di rottura.
Tipo di rottura	Tipo di rottura per differenti elementi o meccanismi.
PGA_C	Capacità, per il tipo di rottura considerato, in termini di accelerazione al suolo. Se PGA _C =0 -> l'elemento risulta non verificato già per i carichi verticali presenti nella combinazioni sismica $[G_k + \sum_i (\psi_{2,i} \cdot Q_{k,i})]$. Se PGA _C =NS -> Non significativo per valori di PGA _C >= 1000.
T_{RC}	Capacità, per il tipo di rottura considerato, in termini di periodo di ritorno.

- DOMANDA - ENTITA' DELL'AZIONE SISMICA ATTESA

Domanda - Entità dell'azione sismica attesa		
Stato Limite	PGA _D [a _g /g]	T _{RD} [anni]
SLO	0.0837	45
SLD	0.1106	75
SLV	0.2727	712
SLC	0.3215	1462

LEGENDA: Domanda - Entità dell'azione sismica attesa

Stato Limite	Stato limite raggiunto per il tipo di rottura considerato: [SLV] = stato limite di salvaguardia della vita - [SLD] = stato limite di danno - [SLO] = stato limite di operatività - [SLC] = stato limite prevenzione collasso.
PGA_D	Domanda in termini di accelerazione al sito ($S_s \cdot S_T \cdot a_g/g$).
T_{RD}	Domanda in termini di periodo di ritorno.

INDICATORI DI RISCHIO SISMICO

Stato Limite	Indicatori di rischio sismico	
	$\zeta_E (\alpha_{PGA})$	α_{TR}
SLO	1.218	1.155
SLD	1.351	1.280
SLV	0.112	0.200

LEGENDA: Indicatori di rischio sismico

Stato Limite Stato limite raggiunto per il tipo di rottura considerato: [SLV] = stato limite di salvaguardia della vita - [SLD] = stato limite di danno - [SLO] = stato limite di operatività.

$\zeta_E (\alpha_{PGA})$ Indicatore di rischio (rapporto tra capacità e domanda) in termini di accelerazione: PGA_C/PGA_D - [NS] = non significativo, per valori superiori o uguali a 100. [0] -> la minima capacità, fra tutti i meccanismi di verifica considerati, è nulla.

N.B.

ζ_E : simbologia NTC18;

α_{PGA} : simbologia NTC08.

α_{TR} Indicatore di rischio (rapporto tra capacità e domanda) in termini di periodo di ritorno: $(T_{RC}/T_{RD})^{0,41}$ - [NS] = non significativo, per valori superiori o uguali a 100.

Per la classificazione del rischio sismico della costruzione si fa riferimento alle “*Linee Guida per la Classificazione del Rischio Sismico delle Costruzioni*” approvate con D.M. n. 58 del 28/02/2017, che adottano il **metodo convenzionale**, per il quale sono previste otto Classi di Rischio, con rischio crescente da A⁺ a G.

Il metodo convenzionale consente di assegnare una classe di rischio (da A⁺ a G) pari alla minima tra due classi di rischio distinte e funzione di due parametri:

- l’Indice di Sicurezza (**IS-V**);
- la Perdita Annuale Media attesa (**PAM**).

L’Indice di Sicurezza è un parametro di sicurezza strutturale (noto anche come Indice di Rischio), dato da:

$$IS - V = \frac{PGA_C(SLV)}{PGA_D(SLV)};$$

dove:

$PGA_C(SLV)$ e $PGA_D(SLV)$ sono, rispettivamente, le accelerazioni di picco al suolo di *capacità* e di *domanda* corrispondenti al raggiungimento dello Stato Limite di Salvaguardia della Vita (SLV).

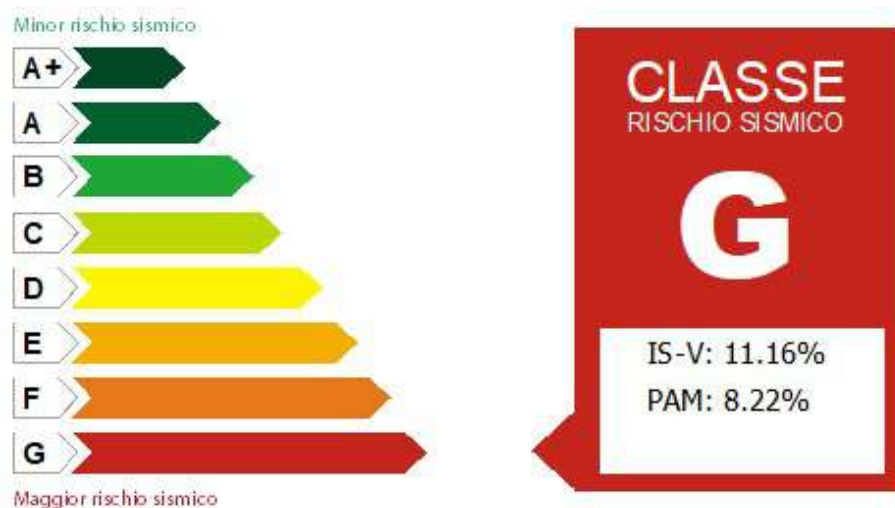
Il PAM è un parametro di tipo economico che dipende dai costi di ricostruzione (CR) associati a ciascuno stato limite. L'indice PAM è pari all'area sottesa alla curva delle percentuali dei costi di ricostruzione in funzione delle frequenze corrispondenti ad ogni stato limite.

Per la struttura in oggetto, dall'analisi si ottiene:

PAM	Classe PAM
8.22	G

In definitiva, la classe di rischio sismico (CRS) risultante della struttura sarà la minima tra la *classe IS-V* e la *classe PAM*:

Classe IS-V	Classe PAM	CRS
F	G	G



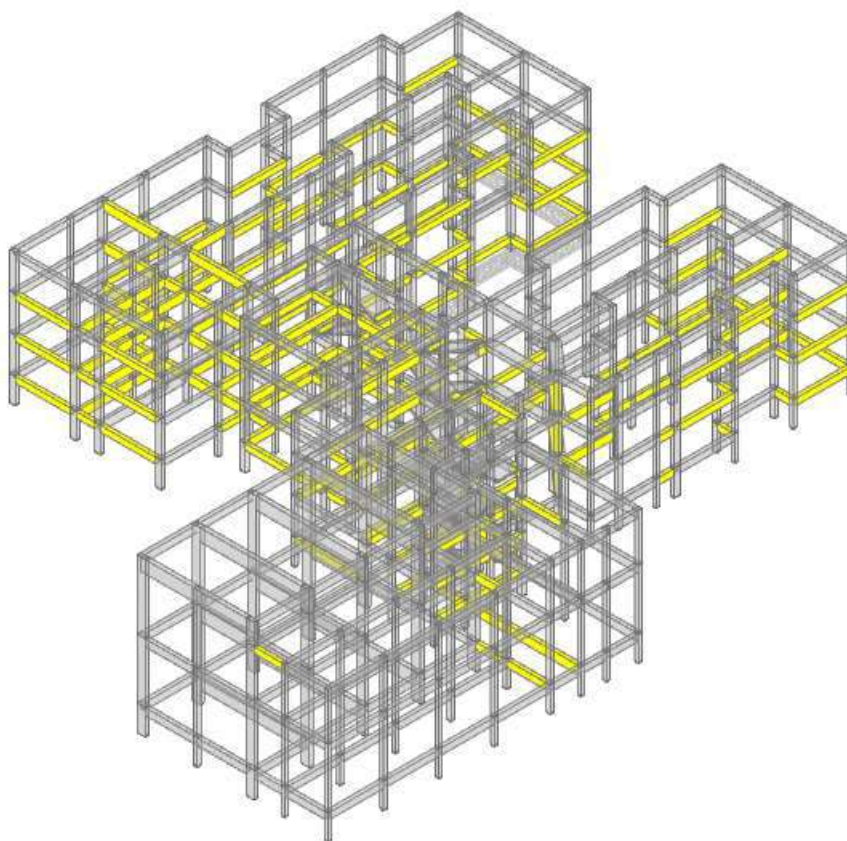
5 ANALISI CRITICA DEI RISULTATI E CONCLUSIONI SULLO STATO DI FATTO

A seguito delle analisi e delle verifiche effettuate dunque, la classe di rischio sismico (CRS) della struttura risulta essere la classe G (Maggior rischio sismico) .

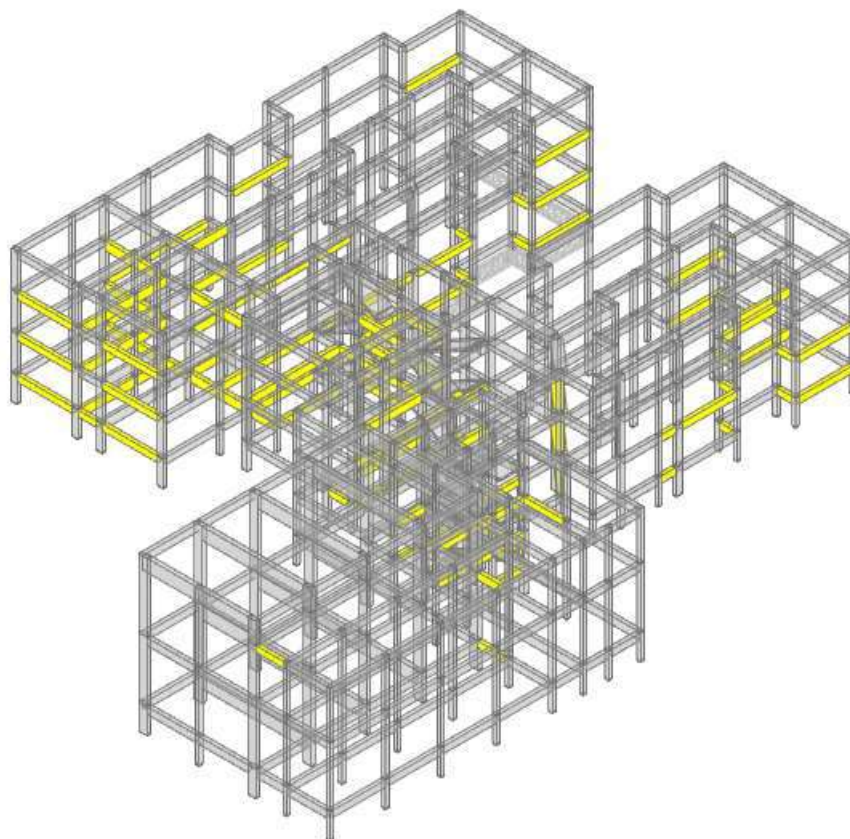
Allo stato attuale, la struttura risulta non verificata allo Stato Limite di Salvaguardia della Vita. La struttura risulta essere pertanto non idonea a sopportare le azioni sismiche calcolate come prescritto dalla normativa vigente e pertanto è non adeguata secondo i dettami del D.M. 17 Gennaio 2018.

Gli elementi non verificati sono evidenziati nelle figure seguenti, nelle quali è riportata la motivazione della crisi.

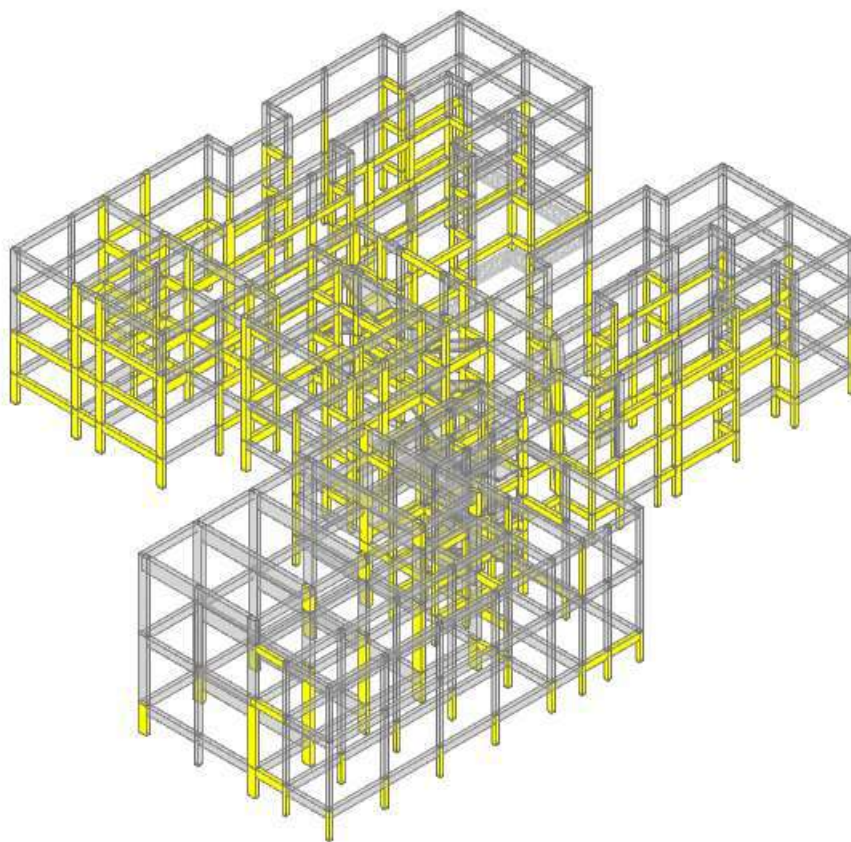
ELEMENTI NON VERIFICATI A PRESSOFLESSIONE RETTA, SLV



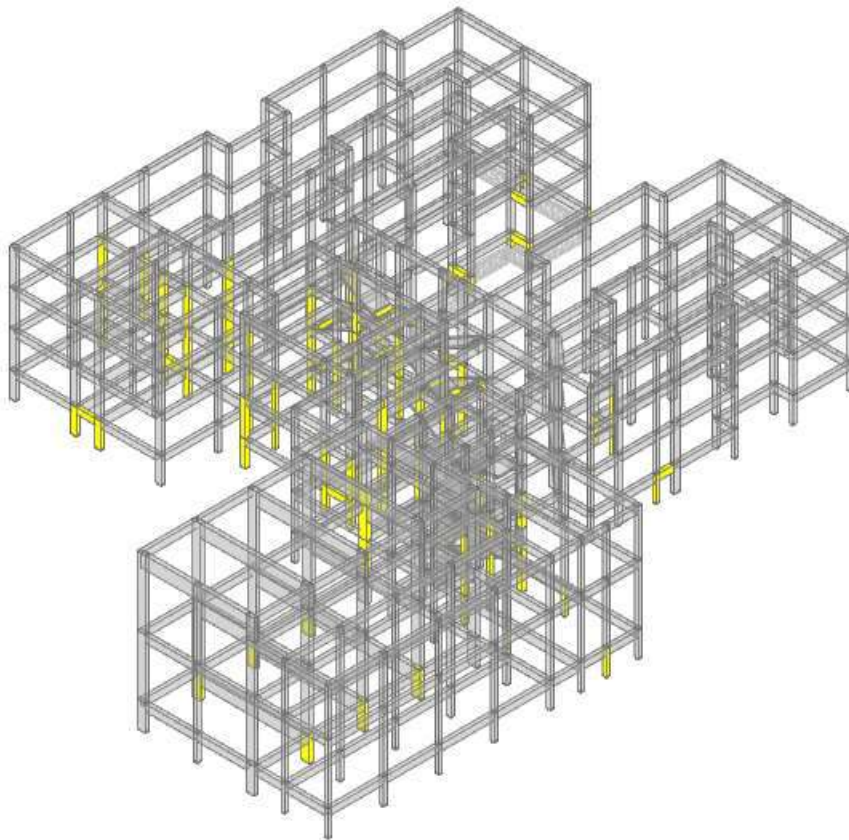
ELEMENTI NON VERIFICATI A PRESSOFLESSIONE RETTA, SLD



ELEMENTI NON VERIFICATI A TAGLIO, SLV

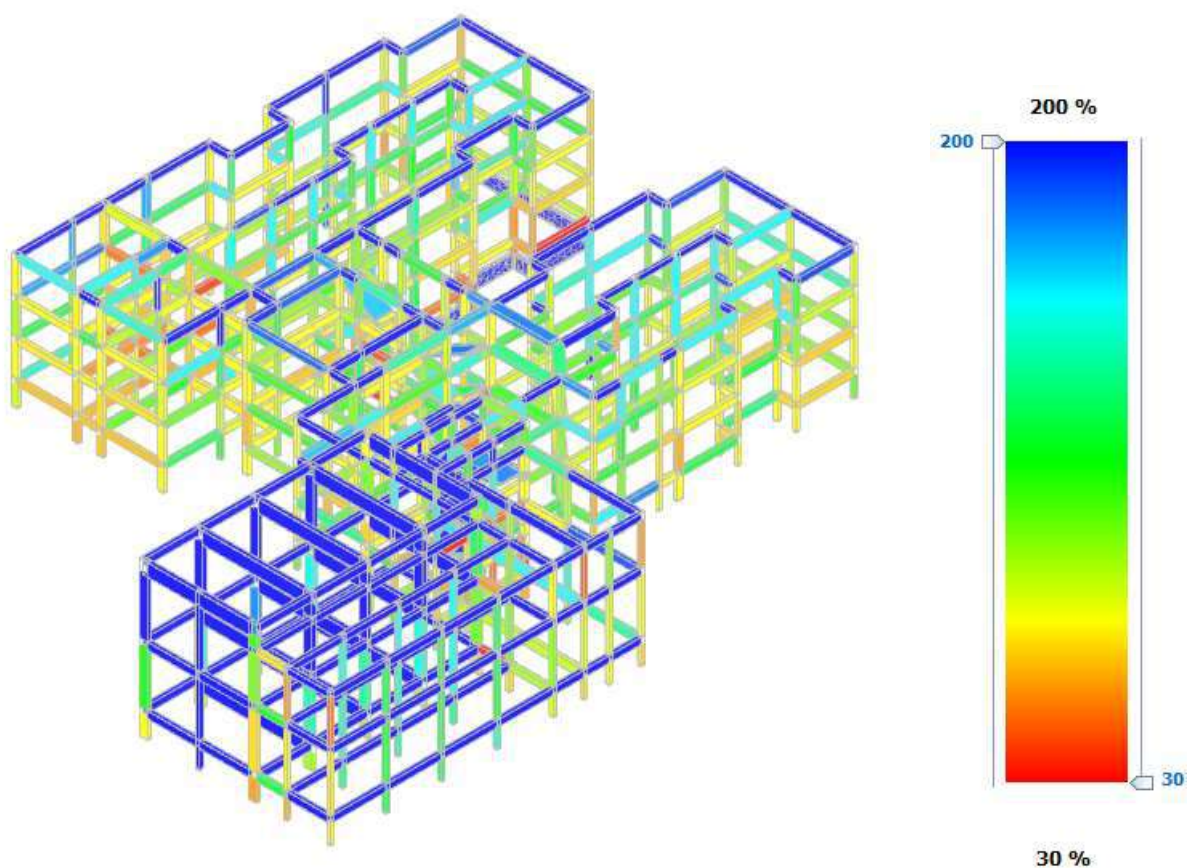


ELEMENTI NON VERIFICATI A TAGLIO, SLD

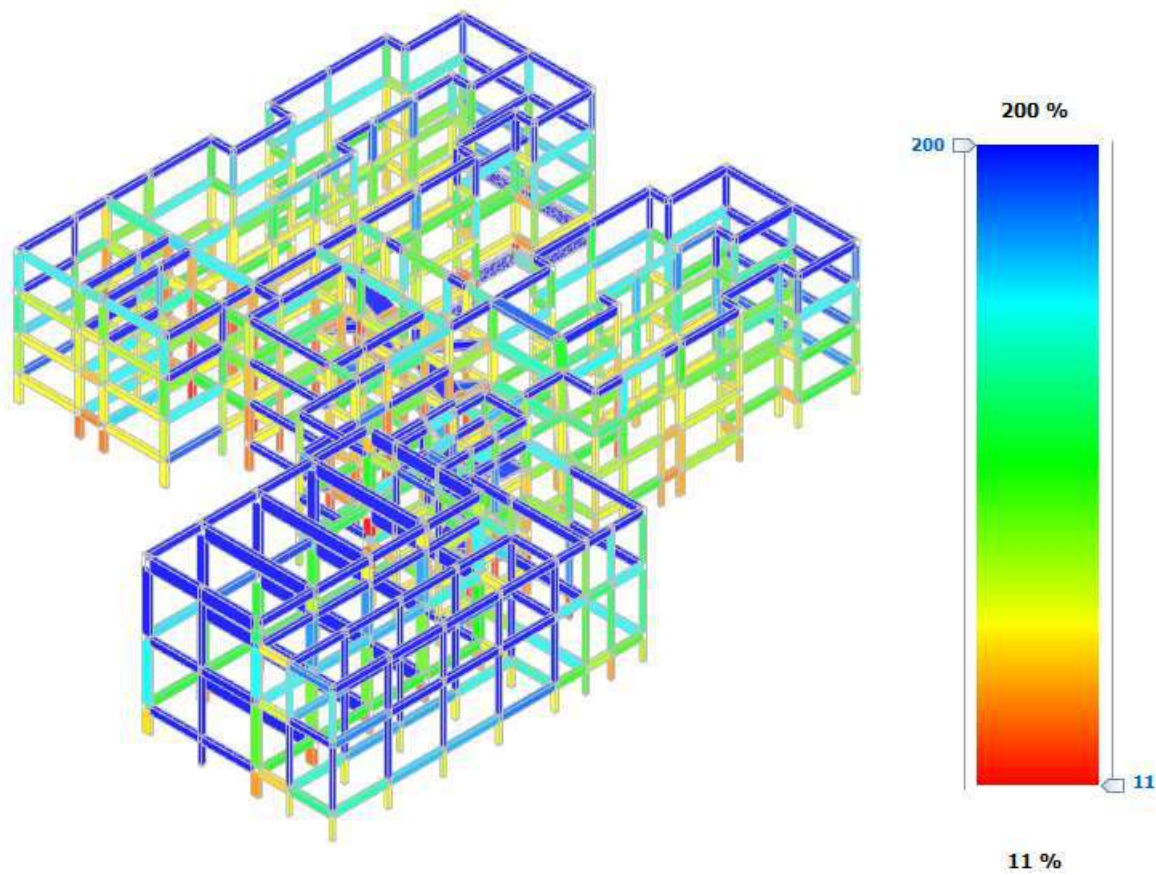


Di seguito sono invece riportati i valori di PGA capace per i diversi meccanismi di collasso, espressa in termini percentuali della PGA richiesta allo Stato Limite di Salvaguardia della Vita:

ACCELERAZIONE DI COLLASSO CAPACE PER FLESSIONE RETTA E DEVIATA (ELEMENTI IN C.A.)



ACCELERAZIONE DI COLLASSO CAPACE PER TAGLIO (ELEMENTI IN C.A.)



In conclusione, le verifiche eseguite in merito alla stabilità globale e locale del manufatto esistente hanno dato esito negativo per forze sismiche nel rispetto dei D.M. Min. LL. PP. 17 Gennaio 2018, e dunque sismicamente non adeguata alle normative tecniche vigenti per tutti gli stati limite di interesse.

6 PROBLEMATICHE RISCONTRATE

Alla luce delle indagini effettuate e delle analisi condotte sono emerse le seguenti problematiche:

- L'edificio risulta verificati in termini di resistenza per carichi verticali allo Stato Limite Ultimo;
- Le armature longitudinali e trasversali degli elementi portanti sono sottodimensionate rispetto alle esigenze normative attuali e risultano incapaci di garantire l'opportuno grado di sicurezza della struttura in funzione della destinazione d'uso in condizioni sismiche.

7 PROPOSTA DI INTERVENTI DI ADEGUAMENTO

Di seguito si presentano gli interventi di consolidamento strutturale che hanno come obiettivo quello di incrementare la capacità sismica dell'edificio, ottenendo l'adeguamento dell'edificio nei confronti dei carichi sismici:

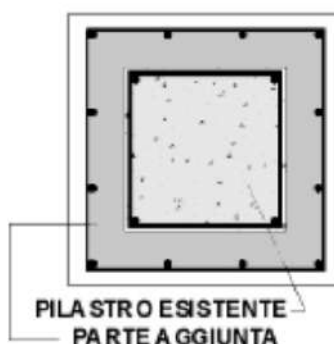
- Incremento della resistenza di pilastri non verificati a taglio/ flessione mediante incamiciatura in c.a.;
- Risoluzione dei nodi non verificati mediante fasciatura in FRP;
- Incremento della resistenza a taglio e flessione delle travi e scale mediante fasciatura in FRP.

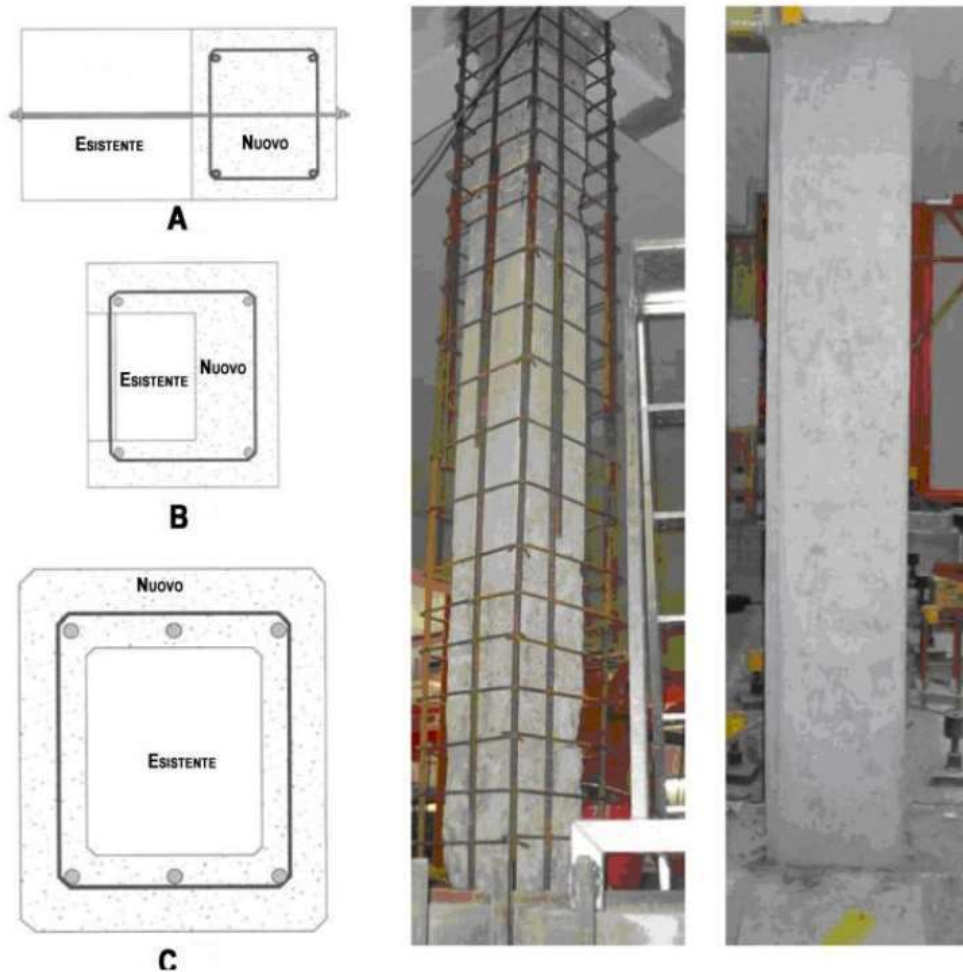
7.1 INCREMENTO DI RESISTENZA DEI PILASTRI NON VERIFICATI A TAGLIO/PRESSOFLESSIONE MEDIANTE INCAMICIATURA IN C.A.

Alcuni elementi strutturali del fabbricato risultano inadeguati a sopportare i carichi sismici previsti dalla normativa attuale; si può prevedere, pertanto, il ringrosso delle sezioni dei pilastri in c.a. non verificati.

La soluzione proposta per incrementare la resistenza e duttilità necessarie di singoli elementi strutturali è l'incamiciatura in c.a., ringrossando le sezioni dei pilastri in c.a. di 10 cm.

Nella fattispecie, per ciò che concerne i pilastri, si tratterebbe di realizzare dei getti integrativi opportunamente armati e connessi agli elementi preesistenti, di spessore minimo su ciascun lato non inferiore ad 80-100mm, per l'altezza necessaria, secondo quanto schematicamente rappresentato di seguito:



Schema tipo ringrosso dei pilastri

7.2 INCREMENTO DI RESISTENZA DEI NODI, SCALE E TRAVI IN C.A. MEDIANTE FASCIATURA IN FRP

I rinforzi realizzati con FRP consistono in placcaggi e fasciature in modo da perseguire:

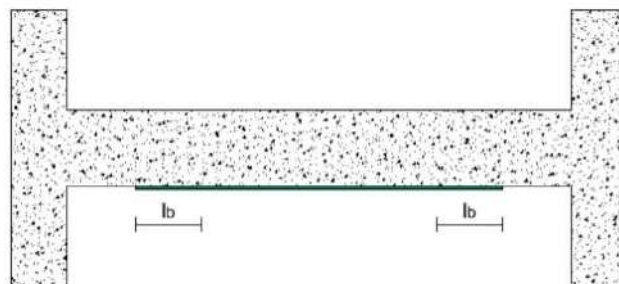
- ☐ Aumento della resistenza a taglio (eliminazione collassi “fragili”);
- ☐ Aumento della duttilità delle zone critiche;
- ☐ Aumento della resistenza a flessione.

Tali rinforzi sono di tipo “selettivo”, pertanto è possibile ottimizzare l’intervento in modo da raggiungere l’obiettivo di rendere l’elemento “duatile”. I materiali fibrorinforzati a matrice polimerica (FRP) a fibre continue sono materiali compositi che mostrano un comportamento prevalentemente elastico lineare fino al collasso. Rispetto ad altri materiali da costruzione più comuni, gli FRP presentano caratteristiche di leggerezza, elevate proprietà meccaniche, e non subiscono la corrosione. Inoltre presentano il vantaggio che la loro applicazione non comporta aumenti di spessore degli elementi strutturali. Questo tipo di materiale si trova in commercio secondo varie forme: lamine,

barre, tessuti. Per le applicazioni legate al rinforzo di strutture esistenti le forme più comuni sono i tessuti bidirezionali, i quali si adattano facilmente alla superficie sui quali vengono applicati. La famiglia degli FRP è formata dai principali tipi di polimeri: fibre di vetro (GFRP), fibre di carbonio (CFRP) e fibre aramidiche (AFRP). L'applicazione di queste fibre viene effettuata mediante una matrice (resina epossidica), la quale consente la perfetta adesione con il supporto sottostante in calcestruzzo. Il rinforzo a taglio viene realizzato mediante l'applicazione di "fasce" ortogonali all'asse dell'elemento (trave o pilastro) e può essere utilizzato per ripristinare i criteri della gerarchia delle resistenze. Il rinforzo a flessione viene realizzato applicando nelle zone da rinforzare una o più lamine preformate, oppure in alternativa, uno o più strati di tessuto impregnati in situ. Il rinforzo a flessione è da utilizzare per elementi strutturali soggetti ad un momento flettente di progetto maggiore della corrispondente resistenza. Nel caso di elementi "duttili", l'aumento della resistenza a flessione potrebbe creare un meccanismo di tipo "fragile", pertanto è spesso necessario accoppiare anche il rinforzo a taglio.

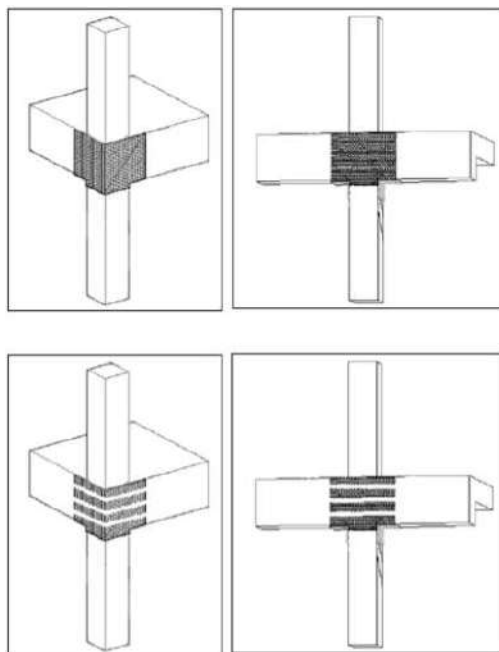
L'aumento della resistenza a flessione è previsto in presenza di elementi con debole armatura, in quanto la presenza di elevate quantità di armatura esistente rende inefficace il contributo dell'FRP.

La massima efficacia del rinforzo a flessione si ottiene ad una certa distanza l_b dall'estremo della fibra, la quale deve essere superiore alla lunghezza ottimale di ancoraggio, calcolata in funzione delle caratteristiche della fibra e del calcestruzzo di supporto.



Lunghezze di ancoraggio l_b

Per i nodi trave-pilastro l'intervento con FRP risulta, rispetto ad altre soluzioni, di facile realizzazione in quanto l'applicazione oltre ad essere esterna all'elemento strutturale, si adatta alle diverse forme geometriche del nodo. Come ogni rinforzo con fibre è importante creare un supporto il più omogeneo e resistente possibile. Si riportano di seguito degli esempi tipologici di rinforzo dei nodi trave-pilastro in c.a. mediante FRP.



Interventi sui nodi con FRP

L'intervento progettato prevede l'utilizzo di un tessuto unidirezionale in fibra di acciaio galvanizzato Hardwire ad altissima resistenza, formato da micro-trefoli di acciaio fissati su una micro rete in fibradi vetro. Tipo GeoSteel G600 della Kerakoll a matrici minerali tipo GeoCalce e GeoLiteo matrice organica GeoLite Gel a seconda delle esigenze progettuali e di cantiere. Si riportano di seguito le caratteristiche tecniche del sistema utilizzato.

Dati tessuto non impregnato

Trefolo 3x2 ottenuto unendo fra loro 5 filamenti, di cui 3 rettilinei e 2 in avvolgimento con elevato angolo di torsione:

- area effettiva di un trefolo 3x2 (5 fili)	A_{trefolo}	0,538 mm ²
- n° trefoli/cm		1,57 trefoli/cm
- massa (comprensivo di termosaldatura)		≈ 670 g/m ²
- carico di rottura a trazione di un trefolo		> 1500 N
- resistenza a trazione del nastro, valore caratteristico	σ_{nastro}	> 3000 MPa
- resistenza a trazione per unità di larghezza		> 2,35 kN/cm
- modulo di elasticità normale del nastro, valore medio	E_{nastro}	> 190 GPa
- deformazione a rottura del nastro, valore caratteristico	ϵ_{nastro}	> 1,5%
- spessore equivalente	t_f	≈ 0,084 mm
Confezione	rotoli 50 m (h 30 cm)	
Peso 1 rotolo	≈ 24 kg inclusa confezione	

PERFORMANCE

Sistemi GeoSteel SRP – ETA n° 18/0314

SRP – GeoLite® Gel & GeoSteel G600

Caratteristica prestazionale	Metodo di prova		Prestazioni sistema GeoSteel SRP G600 (1 strato)	Prestazioni sistema GeoSteel SRP G600 (3 strati)	Dati di progetto secondo CNR-DT 200 R1/2013
Resistenza a trazione (valore caratteristico)	EN 2561	σ_{SRP}	3073 MPa	3013 MPa	3000 MPa
Modulo Elastico (valore medio)	EN 2561	E_{SRP}	212 GPa	204 GPa	200 GPa
Allungamento a rottura (valore medio)	EN 2561	ϵ_{SRP}	1,90%	1,89%	1,90%
Lap tensile strength ¹ (valore caratteristico)	EN 2561	σ_{lap}	2888 MPa	NPD	-
Resistenza a trazione del tessuto piegato (valore caratteristico)	EN 2561	$\sigma_{b,trans}$	2416 MPa	NPD	-
Temperatura di transizione vetrosa	EN 12614	T_g	+60 °C	+60 °C	-

ADESIONE AL SUPPORTO ²

Pull-off strength (valore caratteristico)	EN 1542	f_h	2,3 MPa	NPD	-
Single-lap shear test (valore caratteristico)	Annex B EAD 340210-00-0104	σ_{deb}	Rottura fibre oltre la lunghezza di ancoraggio	NPD	-
Pull-out from substrate (valore medio)	Annex C EAD 340210-00-0104	$\sigma_{pull-out}$	2726 MPa	NPD	-

CONDIZIONI DI INSTALLAZIONE

Temperatura massima (aria e superficie)	-	-	< +35 °C
Temperatura minima (aria e superficie)	-	-	> +5 °C
Umidità relativa dell'aria	-	-	20 – 90 %
Umidità relativa della superficie di incollaggio ³	-	-	< 5 %

CONDIZIONI DI ESERCIZIO

Temperatura massima (aria e superficie)	-	-	< +45 °C
Temperatura minima (aria e superficie)	-	-	> -25 °C
Umidità relativa dell'aria	-	-	ininfluyente
Contatto con acqua ⁴	-	-	occasionale
Reazione al fuoco ⁵	EN 13501-1	-	Euroclasse D – s2, d0

In presenza di temperature d'installazione e d'esercizio oltre i limiti sopra indicati, contattare l'ufficio tecnico Kerakoll per predisporre idonei sistemi protettivi nei confronti dell'applicazione e dell'esercizio del sistema di rinforzo GeoSteel SRP.

¹ Lunghezza di sovrapposizione $l_{lap} = 200$ mm.

² Test effettuati su prismi in calcestruzzo con resistenza a compressione $f_{ck} = 57,5$ MPa.

³ In presenza di supporto umido attendere la sua completa asciugatura o facilitarla in modo opportuno, prima di eseguire l'applicazione.

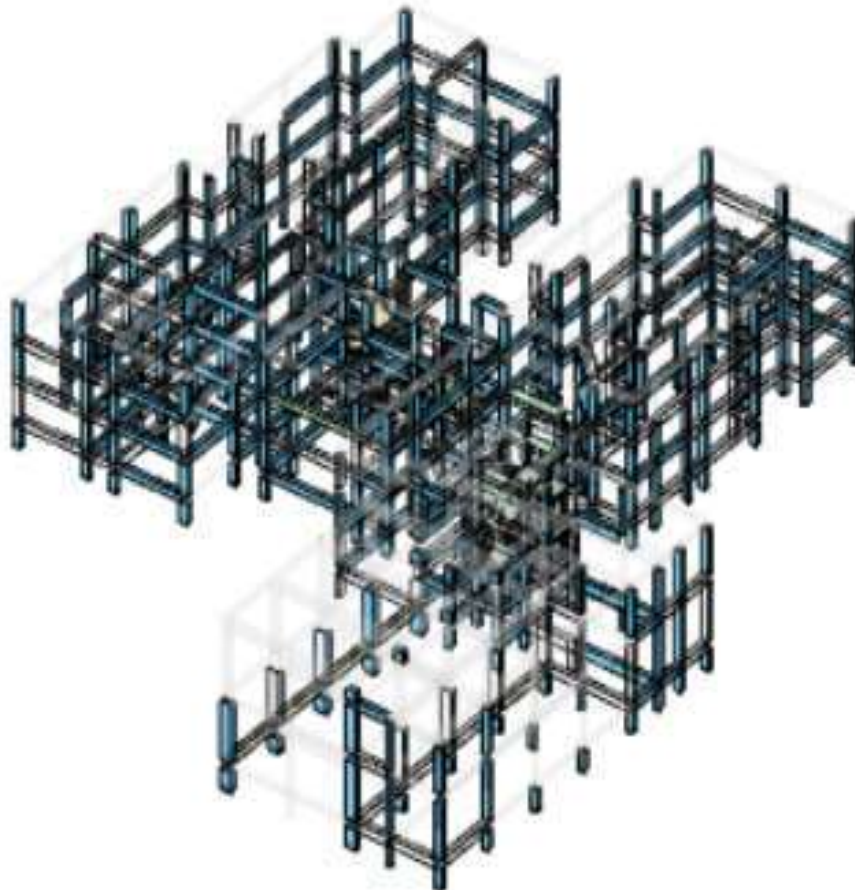
⁴ In caso di contatto permanente con sostanze liquide, contattare l'ufficio tecnico Kerakoll per predisporre il sistema di protezione più idoneo.

⁵ In caso di esposizione a carico di incendio, ovvero di resistenza al fuoco, proteggere il sistema di rinforzo GeoSteel SRP mediante opportuno sistema certificato REI. Il sistema GeoSteel SRP non presenta alcuna resistenza al fuoco.

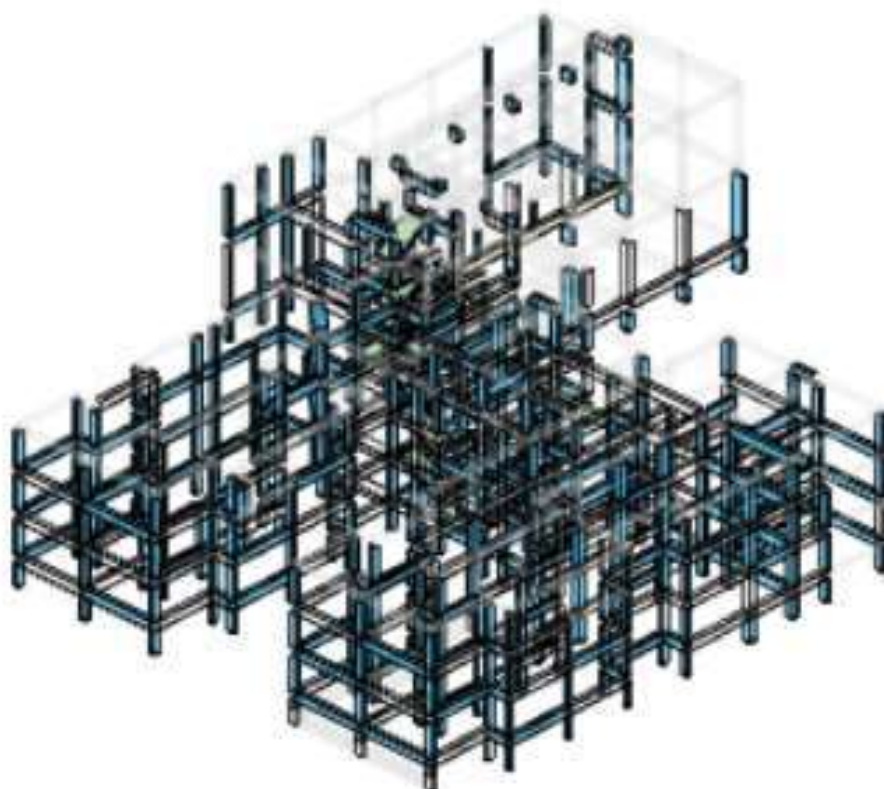
8 MODELLAZIONE SISMICA-STATO DI PROGETTO-ADEGUAMENTO SISMICO

Vengono riportate di seguito due viste assonometriche contrapposte, allo scopo di consentire una migliore comprensione della struttura oggetto della presente relazione:

Vista Anteriore



Vista Posteriore



9 DETERMINAZIONE DEGLI INDICI DI RISCHIO-STATO DI PROGETTO

Per la determinazione degli indicatori di rischio sismico allo Stato di Progetto si è seguita la medesima procedura adottata per lo Stato di Fatto, di seguito richiamata:

- si procede modificando in modo iterativo il valore del periodo di ritorno dello spettro di domanda $T_{R,D}$ (ad esempio a steps di 10 anni) fino a trovare il valore di $T_{R,C}$ sotto il quale sono soddisfatte le verifiche in termini di resistenza per i meccanismi duttili e per quelli fragili;
- si calcola l'indicatore di Rischio facendo il rapporto $I_{R_SL} = (T_{R,C} / T_{R,D})^{0,41}$
- si calcola l'indicatore di Rischio in termini di accelerazione anche mediante il seguente rapporto:

$$I_{R_SL} = a_g[T_{R,C}] / a_g[T_{R,D}].$$

Si riportano di seguito i punti fondamentali della valutazione della sicurezza sismica del manufatto post-interventi.

METODO DI ANALISI

Analisi	Metodo di analisi	
	Fattore di comportamento q nella direzione del sisma	Sisma orizzontale in
	Sisma orizzontale in direzione X	direzione Y
Dinamica modale con fattore di struttura q	3.000	3.000

LEGENDA: Metodo di analisi

Analisi

Tipo di analisi usata per la verifica sismica e il calcolo degli indicatori di rischio sismico.

Fattore di comportamento q

[-] = Non significativo per il tipo di analisi usata.

PERIODI FONDAMENTALI E MASSE PARTECIPANTI

Periodi fondamentali e masse partecipanti				
Direzio ne	Periodo	Modo di vibrare	Masse partecipanti	Coefficiente di partecipazione
	[s]		[%]	
X	0.493	2	51.69	2281.21
Y	0.455	1	62.39	2506.18

LEGENDA: Periodi fondamentali e masse partecipanti

Periodo

Periodo di vibrazione nella direzione considerata.

Modo di vibrare

Modo di vibrare che presenta il massimo coefficiente di partecipazione in valore assoluto nella direzione considerata. [-] = Non significativo per il tipo di analisi scelto.

Masse partecipanti	Percentuale di masse partecipanti relative al modo di vibrare che presenta il massimo coefficiente di partecipazione in valore assoluto nella direzione considerata. [-] = Non significativo per il tipo di analisi scelto.
Coefficiente di partecipazione	di Coefficiente di partecipazione massimo, in valore assoluto, nella direzione considerata.

CAPACITA' - ENTITA' DELL'AZIONE SISMICA SOSTENIBILE

Capacità - Entità dell'azione sismica sostenibile				
SL	Tipo di rottura	Materiale/Terreno	PGAc	TRC
			[a _g /g]	[anni]
SLD	Spostamento Interpiano (SLD)	-	0.1954	250
SLO	Spostamento Interpiano (SLO)	-	0.1331	108
SLV	Flessione o Pressoflessione	CA	0.2783	757
SLV	Taglio	CA	0.2727	712

LEGENDA: Capacità - Entità dell'azione sismica sostenibile

Stato Limite	Stato limite raggiunto per il tipo di rottura considerato: [SLV] = stato limite di salvaguardia della vita - [SLD] = stato limite di danno - [SLO] = stato limite di operatività.
Materiale	Tipologia di materiale per il tipo di rottura considerato: [CA] = Cemento Armato - [AC] = Acciaio - [MU] = Muratura - [TER] = Terreno - [-] = Parametro non significativo per il tipo di rottura.
Tipo di rottura	di Tipo di rottura per differenti elementi o meccanismi.
PGAc	Capacità, per il tipo di rottura considerato, in termini di accelerazione al suolo. Se PGAc=0 -> l'elemento risulta non verificato già per i carichi verticali presenti nella combinazioni sismica $[G_k + \sum_i (\psi_{2,i} \cdot Q_{k,i})]$. Se PGAc=NS -> Non significativo per valori di PGAc ≥ 1000 .
TRC	Capacità, per il tipo di rottura considerato, in termini di periodo di ritorno.

DOMANDA - ENTITA' DELL'AZIONE SISMICA ATTESA

Domanda - Entità dell'azione sismica attesa			
Stato Limite	PGA _D	TRD	
	[a _g /g]	[anni]	
SLO	0.0837	45	
SLD	0.1106	75	
SLV	0.2727	712	
SLC	0.3215	1462	

LEGENDA: Domanda - Entità dell'azione sismica attesa

Stato Limite	Stato limite raggiunto per il tipo di rottura considerato: [SLV] = stato limite di salvaguardia della vita - [SLD] = stato limite di danno - [SLO] = stato limite di operatività - [SLC] = stato limite prevenzione collasso.
PGA_D	Domanda in termini di accelerazione al sito ($S_s \cdot S_T \cdot a_g/g$).
TRD	Domanda in termini di periodo di ritorno.

INDICATORI DI RISCHIO SISMICO

Indicatori di rischio sismico		
Stato Limite	$\zeta_B (\alpha_{PGA})$	α_{TR}

SLO	1589	1432
SLD	1767	1638
SLV	1.001	1.001

LEGENDA: Indicatori di rischio sismico

Stato Limite Stato limite raggiunto per il tipo di rottura considerato: [SLV] = stato limite di salvaguardia della vita - [SLD] = stato limite di danno - [SLO] = stato limite di operatività.

$\zeta_E (\alpha_{PGA})$ Indicatore di rischio (rapporto tra capacità e domanda) in termini di accelerazione: PGA_C/PGA_D - [NS] = non significativo, per valori superiori o uguali a 100. [0] -> la minima capacità, fra tutti i meccanismi di verifica considerati, è nulla.

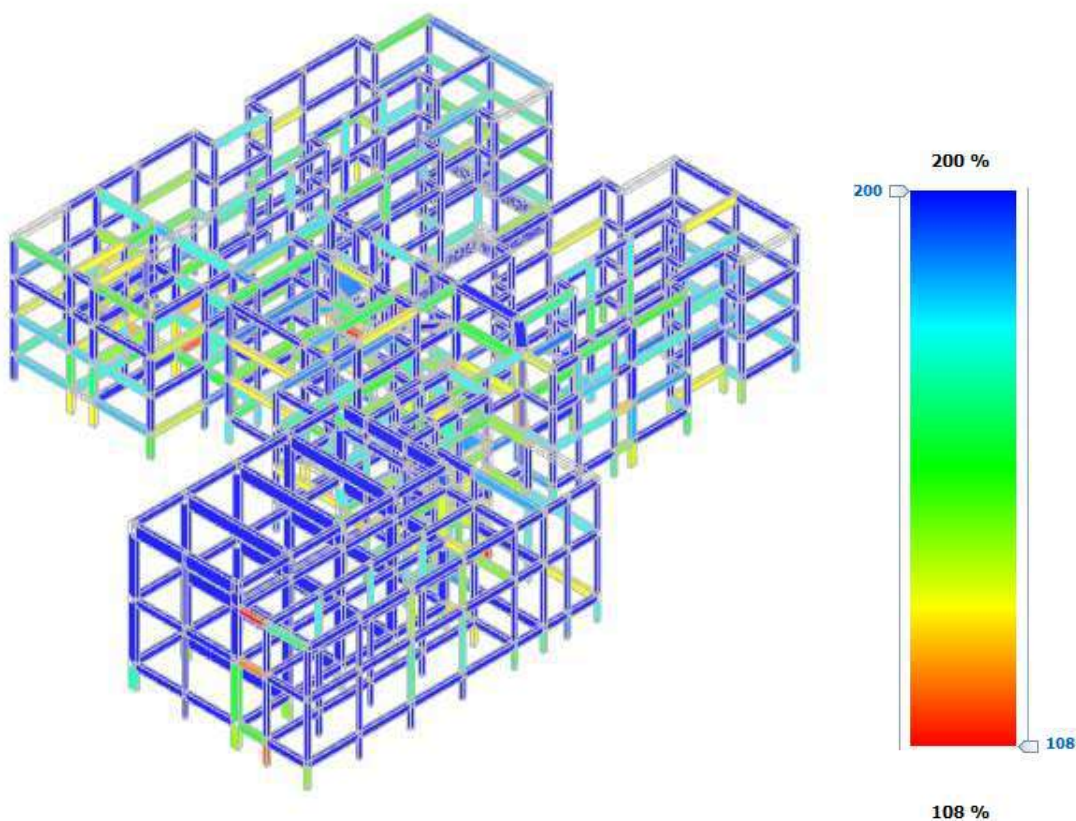
N.B.

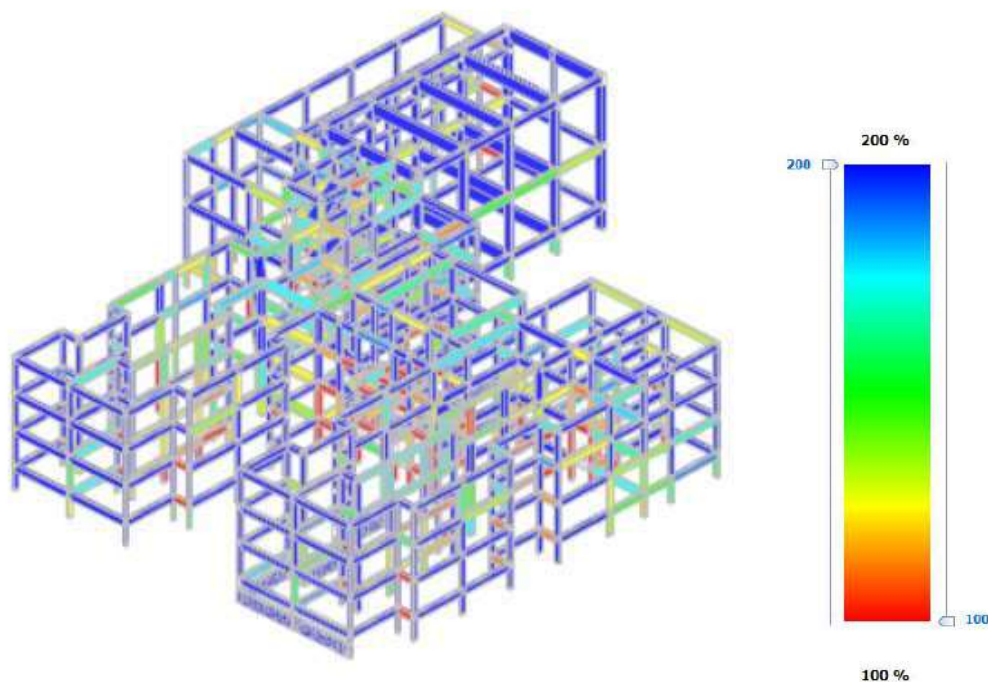
ζ_E : simbologia NTC18;

α_{PGA} : simbologia NTC08.

α_{TR} Indicatore di rischio (rapporto tra capacità e domanda) in termini di periodo di ritorno: $(T_{RC}/T_{RD})^{0,41}$ - [NS] = non significativo, per valori superiori o uguali a 100.

ACCELERAZIONE DI COLLASSO CAPACE PER PRESSOFLESSIONE– STATO DI PROGETTO



ACCELERAZIONE DI COLLASSO CAPACE PER TAGLIO– STATO DI PROGETTO

10 CLASSIFICAZIONE DEL RISCHIO SISMICO

Il presente elaborato riporta i risultati ottenuti per la classificazione del rischio sismico della costruzione secondo le “*Linee Guida per la Classificazione del Rischio Sismico delle Costruzioni*” approvate con D.M. n. 58 del 28/02/2017.

Come previsto dalle suddette linee guida, la classificazione sismica è stata effettuata adottando il **metodo convenzionale**, per il quale sono previste otto Classi di Rischio, con rischio crescente da A⁺ a G.

Il metodo convenzionale consente di assegnare una classe di rischio (da A⁺ a G) pari alla minima tra due classi di rischio distinte e funzione di due parametri:

- l’Indice di Sicurezza (**IS-V**);
- la Perdita Annuale Media attesa (**PAM**).

L’Indice di Sicurezza è un parametro di sicurezza strutturale (noto anche come Indice di Rischio), dato da:

$$IS - V = \frac{PGA_c(SLV)}{PGA_d(SLV)};$$

dove:

$PGA_c(SLV)$ e $PGA_D(SLV)$ sono, rispettivamente, le accelerazioni di picco al suolo di *capacità* e di *domanda* corrispondenti al raggiungimento dello Stato Limite di Salvaguardia della Vita (SLV).

Per la struttura in oggetto, dall'analisi si ottiene:

$PGA_c(SLV)$	$PGA_D(SLV)$	IS-V
0.2727	0.2727	100.06

In base al valore di IS-V è stato possibile assegnare una **classe di rischio** pari a **C** (cfr. Tabella 1).

Tabella 1 - Attribuzione della Classe di Rischio IS-V in funzione dell'entità dell'Indice di Sicurezza.

Indice di Sicurezza (IS-V)	Classe IS-V
$100 \% < IS-V$	A^+_{IS-V}
$80 \% < IS-V \leq 100 \%$	A_{IS-V}
$60 \% < IS-V \leq 80 \%$	B_{IS-V}
$45 \% < IS-V \leq 60 \%$	C_{IS-V}
$30 \% < IS-V \leq 45 \%$	D_{IS-V}
$15 \% < IS-V \leq 30 \%$	E_{IS-V}
$IS-V \leq 15 \%$	F_{IS-V}

Il PAM è un parametro di tipo economico che dipende dai costi di ricostruzione (CR) associati a ciascuno stato limite. L'indice PAM è pari all'area sottesa alla curva delle percentuali dei costi di ricostruzione in funzione delle frequenze corrispondenti ad ogni stato limite. Vengono definiti gli stati limite indicati nella Tabella 2, con i corrispondenti costi di ricostruzione (CR).

Tabella 2 - Percentuale del costo di ricostruzione (CR), associata al raggiungimento di ciascuno stato limite.

Stato Limite		CR [%]
Stato Limite di Ricostruzione	SLR	100
Stato Limite di Collasso	SLC	80
Stato Limite di Salvaguardia della Vita	SLV	50
Stato Limite di Danno	SLD	15
Stato Limite di Operatività	SLO	7
Stato Limite di Inizio Danno	SLID	0

Per la determinazione del PAM si percorrono i seguenti passi:

- 1) analisi della struttura e determinazione delle accelerazioni di picco al suolo di capacità e di domanda corrispondenti agli stati limite di salvaguardia della vita [$PGA_c(SLV)$ e $PGA_c(SLD)$] e di danno [$PGA_D(SLV)$ e $PGA_D(SLD)$]:

Stato Limite	PGA _c	PGA _d
	[a _g /g]	[a _g /g]
SLV	0.2727	0.2727
SLD	0.2131	0.1106

2) calcolo dei periodi (T_{rc}) di ritorno associati a $PGA_c(SLV)$ e $PGA_c(SLD)$ utilizzando la relazione:

$$\max \left[T_{RD}(SLV) \cdot \left(\frac{PGA_c(SLV)}{PGA_d(SLV)} \right)^\eta ; 10 \text{ anni} \right] \quad \left| \quad \min \left[T_{RD}(SLD) \left(\frac{PGA_c(SLD)}{PGA_d(SLD)} \right)^\eta ; T_{RC}(SLV) \right] \geq 10 \text{ anni} \right.$$

dove:

$$\begin{array}{ll} \eta = 1/0,490 & \text{se } a_g > 0,25g \\ \eta = 1/0,430 & \text{se } 0,15g < a_g \leq 0,25g \\ \eta = 1/0,356 & \text{se } 0,05g < a_g \leq 0,15g \\ \eta = 1/0,340 & \text{se } a_g \leq 0,05g \end{array}$$

3) calcolo delle frequenze medie annue per ognuno dei seguenti stati limite:

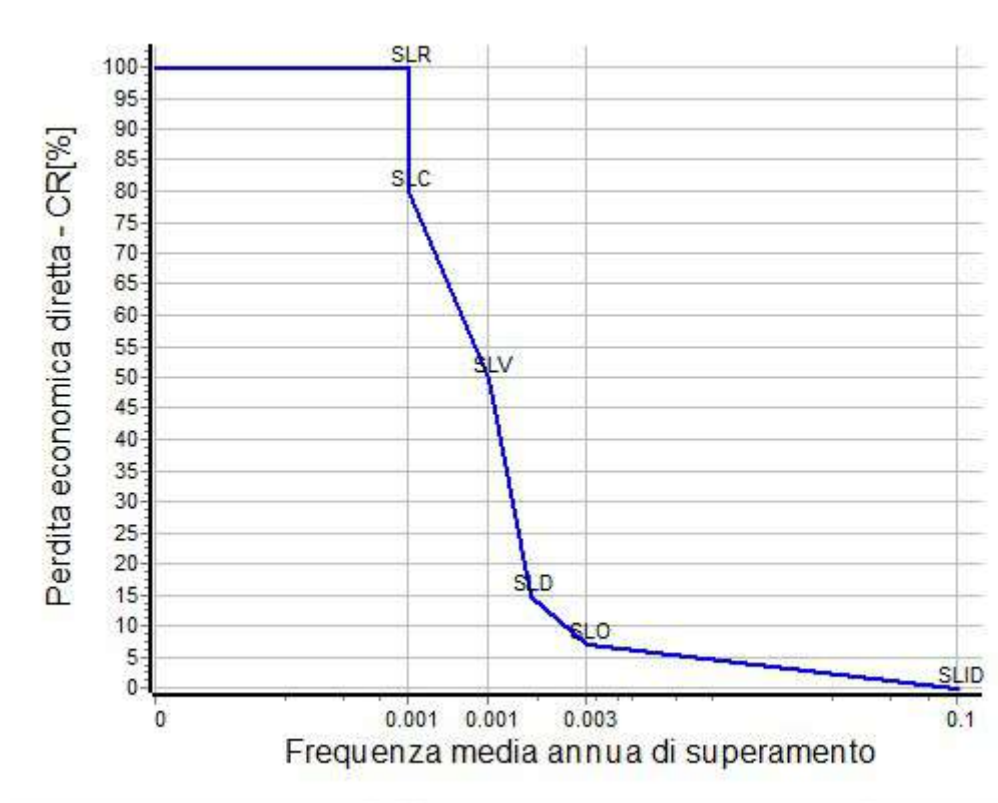
$\lambda(SLID)$	$\lambda(SLO)$	$\lambda(SLD)$	$\lambda(SLV)$	$\lambda(SLC)$	$\lambda(SLR)$
0,1	$\min[1,67 \cdot \lambda(SLD); 0,1]$	$1/T_{rc}(SLD)$	$1/T_{rc}(SLV)$	$0,49 \cdot \lambda(SLV)$	$\lambda(SLC)$

Nel seguito sono riportati i risultati del calcolo dei periodi e delle frequenze.

Stato Limite	SL	T_{RC}	λ	C_R
		[anni]	[anni] ⁻¹	
Stato Limite di Ricostruzione	SLR	1455	0.000687	100
Stato Limite di Collasso	SLC	1455	0.000687	80
Stato Limite di Salvaguardia della Vita	SLV	713	0.001402	50
Stato Limite di Danno	SLD	371	0.002695	15
Stato Limite di Operatività	SLO	222	0.004500	7
Stato Limite di Inizio Danno	SLID	10	0.100000	0

4) calcolo del PAM:

$$PAM = \frac{1}{2} \sum_{i=2}^5 ([\lambda(SL_{i-1}) - \lambda(SL_i)] [C_{R\%}(SL_{i-1}) + C_{R\%}(SL_i)]) + \lambda(SLC) C_{R\%}(SLR)$$



La classe di rischio associata al PAM viene determinata sulla base della seguente Tabella 3.

Tabella 3 - Attribuzione della Classe di Rischio PAM in funzione dell'entità delle perdite medie annue attese.

Perdita Media Annua attesa (PAM)	Classe PAM
$PAM \leq 0,5 \%$	A^+_{PAM}
$0,5 \% < PAM \leq 1,0 \%$	A_{PAM}
$1,0 \% < PAM \leq 1,5 \%$	B_{PAM}
$1,5 \% < PAM \leq 2,5 \%$	C_{PAM}
$2,5 \% < PAM \leq 3,5 \%$	D_{PAM}
$3,5 \% < PAM \leq 4,5 \%$	E_{PAM}
$4,5 \% < PAM \leq 7,5 \%$	F_{PAM}
$7,5 \% < PAM$	G_{PAM}

Per la struttura in oggetto, dall'analisi si ottiene:

PAM	Classe PAM
0.51	A

In definitiva, la classe di rischio sismico (CRS) risultante della struttura sarà la minima tra la *classe IS-V* e la *classe PAM*:

Classe IS-V

A

Classe PAM

A

CRS

A



11 CONFRONTO TRA STATO DI FATTO- STATO DI PROGETTO

In seguito agli interventi di consolidamento ipotizzati la struttura ha avuto un miglioramento della capacità sismica del 86% (in rapporto alla domanda sismica attesa).

Di seguito si riporta una scheda riepilogativa del confronto delle situazioni ante e post intervento di consolidamento.

CONFRONTO STATO DI FATTO - STATO DI PROGETTO

Tabella di confronto dati di FATTO - dati di PROGETTO

SL	D_{PGA}		C_{MinPGA}		C_{MinTR}		ζ_R (avg)		α_{TR}	
	FATTO	PROGETTO	FATTO	PROGETTO	FATTO	PROGETTO	FATTO	PROGETTO	FATTO	PROGETTO
SLO	0.0837	0.0837	0.1020	0.1331	64	108	1.218	1.589	1.155	1.432
SLD	0.1106	0.1106	0.1494	0.1954	137	250	1.351	1.767	1.280	1.638
SLV	0.2727	0.2727	0.0304	0.2729	14	714	0.112	1.001	0.200	1.001

LEGENDA: Tabella di confronto dati di FATTO - dati di PROGETTO

SL	Stato limite raggiunto per il tipo di rottura considerato: [SLV] = stato limite di salvaguardia della vita - [SLD] = stato limite di danno - [SLO] = stato limite di operatività - [SLC] = stato limite di collasso.
D_{PGA}	Domanda espressa in termini di Accelerazione al suolo
C_{MinPGA}	Capacità minima dell'edificio espressa in termini di Accelerazione al Suolo
C_{MinTR}	Capacità minima dell'edificio espressa in termini di Periodo di Ritorno
ζ_R (avg)	Indicatori di Rischio in termini di Accelerazione al Suolo
α_{TR}	Indicatori di Rischio in termini di Tempo di Ritorno

CONFRONTO STATO DI FATTO - STATO DI PROGETTO IN TERMINI DI CAPACITA'

Tabella di confronto dati di FATTO - dati di PROGETTO in termini di capacità

SL	Tipo di rottura	Materiale		PGA_c		T_{RC}	
		FATTO	PROGETTO	FATTO [Ag/g]	PROGETTO [Ag/g]	FATTO [anni]	PROGETTO [anni]
SLD	Spostamento Interpiano (SLD)	-	-	0.1494	0.1954	137	250
SLV	Taglio	CA	CA	0.0304	0.2729	14	714
SLO	Spostamento Interpiano (SLO)	-	-	0.1020	0.1331	64	108
SLV	Flessione o Pressoflessione	CA	CA	0.0831	0.2946	49	897

LEGENDA: Tabella di confronto dati di FATTO - dati di PROGETTO in termini di capacità

SL	Stato limite raggiunto per il tipo di rottura considerato: [SLV] = stato limite di salvaguardia della vita - [SLD] = stato limite di danno - [SLO] = stato limite di operatività - [SLC] = stato limite di collasso.
Tipo di rottura	Tipo di rottura per differenti elementi o meccanismi
Materiale	Tipologia di materiale per il tipo di rottura considerato: [-] = Parametro non significativo per il tipo di rottura
PGA_c	Capacità, per il tipo di rottura considerato, in termini di accelerazione al suolo per lo stato di Fatto e di Progetto
T_{RC}	Capacità, per il tipo di rottura considerato, in termini di periodo di ritorno per lo stato di Fatto e di Progetto

SITUAZIONE DI FATTO (ANTE intervento)



Classe IS-V = F_{IS-V}

Classe PAM = G_{PAM}

SITUAZIONE DI PROGETTO (POST intervento)



Classe IS-V = $A+_{IS-V}$

Classe PAM = A_{PAM}

12 CONCLUSIONI

In seguito al raggiungimento del livello di conoscenza LC3 ottenuto attraverso una campagna di indagine esaustiva, si è evinto che la classe di resistenza del calcestruzzo, il quantitativo di armatura presente negli elementi portanti e la configurazione strutturale del fabbricato, hanno inciso sull'esito negativo delle verifiche di stabilità globale e locale della struttura esistente, infatti le verifiche hanno restituito esito negativo allo SLV per condizioni sismiche.

Allo stato attuale, la classe di rischio sismico determinata secondo le *“Linee Guida per la Classificazione del Rischio Sismico delle Costruzioni”* approvate con D.M. n. 58 del 28/02/2017 è G.

Le verifiche eseguite in merito alla stabilità globale e locale della struttura allo Stato di Progetto inseguito alla progettazione degli interventi di adeguamento sismico hanno restituito esito positivo allo SLV per condizioni sismiche. Infatti la struttura allo stato di progetto risulta essere adeguata.

In particolare allo Stato di Progetto, la classe di rischio sismico determinata secondo le *“Linee Guida per la Classificazione del Rischio Sismico delle Costruzioni”* approvate con D.M. n. 58 del 28/02/2017 è A. Il miglioramento del comportamento sismico ottenuto grazie agli interventi proposti risulta essere pari al 88.9%. La struttura allo Stato di Progetto è dunque da ritenersi adeguata sismicamente, in accordo con quanto previsto al punto 8.4.3 del D.M. 7 gennaio 2018 *“Norme Tecniche per le Costruzioni”*.

Le verifiche eseguite in merito alla stabilità globale e locale della struttura sono state eseguite nel rispetto dei D.M. Min. LL. PP. 17 Gennaio 2018.