



COMUNE DI NAPOLI



Unione Europea



Italiadomani

PIANO NAZIONALE DI RIPRESA E RESILIENZA

**Coesione
Napoli**



Riqualficazione funzionale e messa in
sicurezza del 21° Circolo Didattico
scuola dell'infanzia "Marco Aurelio"
C.U.P. : **B68I22000170006**

PROGETTO ESECUTIVO

IL RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO

Ing. Giulio Davini

I PROGETTISTI

S.IN.T.E.C. s.r.l.



S.IN.T.E.C. S.R.L.

SOCIETÀ DI INGEGNERIA PER IL TERRITORIO EDILE E CIVILE

Tel e Fax: 081.5263349

Via Oriani n.2, Pozzuoli (NA) 80078 - P.IVA.0778920636



Amm. Ing. Rodolfo Fisciano

Mandante

Ing. Luigi Passante



Mandante

Ing. Massimo Di Palma



Mandante

Geol. Loredana Cimmino



Mandante

Ing. Francesca Rosaria Fele



ELABORATO N.

ESD_RMS

TITOLO ELABORATO

**Relazione sulla Modellazione
Sismica**

SCALA

REVISIONE



OGGETTO: RIQUALIFICAZIONE FUNZIONALE E MESSA IN SICUREZZA DEL 21°
CIRCOLO DIDATTICO SCUOLA DELL'INFANZIA "MARCO AURELIO"

C.U.P. : B68I22000170006

PROGETTO ESECUTIVO

RELAZIONE DI MODELLAZIONE SISMICA

INDICE

1. PREMESSA.....	3
2. NORMATIVA DI RIFERIMENTO.....	4
3. DESCRIZIONE E INQUADRAMENTO DELLA COSTRUZIONE	5
3.1 Dati geometrici e strutturali.....	6
4. SINTESI SULLA VULNERABILITÀ SISMICA DEL FABBRICATO	10
4.1. Parametri di pericolosità sismica	10
4.2. Periodi fondamentali e masse partecipanti.....	12
4.3. Capacità – entità dell’azione sismica sostenibile.....	13
4.4. Domanda – entità dell’azione sismica attesa	14
4.5. Indicatori di rischio sismico	15
5. CLASSIFICAZIONE DEL RISCHIO SISMICO ALLO STATO DI FATTO	16
6. CALCOLO DEL TEMPO DI INTERVENTO	22
7. PROBLEMATICHE RISCONTRATE.....	24
7.1. Considerazioni sulla vulnerabilità sismica.....	24
7.1.1. Struttura in calcestruzzo armato.....	24
7.1.2. Strutture in acciaio	25
8. ANALISI CRITICA DEI RISULTATI E CONCLUSIONI SULLO STATO DI FATTO.....	27
9. INTERVENTI DI ADEGUAMENTO SISMICO	35
10. MODELLAZIONE SISMICA ALLO STATO DI PROGETTO	36
11. DETERMINAZIONE DEGLI INDICI DI RISCHIO SISMICO ALLO STATO DI PROGETTO.....	38
12. CLASSIFICAZIONE DEL RISCHIO SISMICO ALLO STATO DI PROGETTO	45
13. CONFRONTO TRA STATO DI FATTO E STATO DI PROGETTO	51

1. PREMESSA

La presente relazione si pone l'obiettivo di definire le opere architettoniche relative all'intervento di "RIQUALIFICAZIONE FUNZIONALE E MESSA IN SICUREZZA DEL 21° CIRCOLO DIDATTICO SCUOLA DELL'INFANZIA "MARCO AURELIO". L'edificio oggetto di intervento, che ospita il 21° Circolo Scuola dell'Infanzia "Marco Aurelio" ricade in "Municipalità 9 – Soccavo" ed è sito in Napoli alla via Marco Aurelio n° 93. I lavori da eseguire prevedono principalmente i seguenti interventi:

- Opere di miglioramento sismico ed isolamento-impermeabilizzazione delle coperture dei corpi esagonali, tramite realizzazione di nuova copertura con soletta in calcestruzzo e lamiera grecata;
- Abbattimento e ricostruzione dei corridoi di collegamento tra il corpo centrale e i corpi esagonali e realizzazione di giunti sismici, adeguamento dell'altezza interna e nuova configurazione di uscita di emergenza, come da grafici di progetto;
- Opere di miglioramento sismico di alcuni telai strutturali del corpo A, tramite ringrosso dei pilastri strutturali esistenti;
- Rimozione delle lastre di marmo e arrotondamento degli spigoli interni delle aule, al fine di rendere gli ambienti più sicuri per i bambini;
- Sostituzione degli infissi esterni con adeguamento delle altezze dei parapetti che allo stato dei luoghi risultano inferiori ad 1.00 m, prevedendo sottoluce non apribili al di sotto delle ante scorrevoli apribili;
- Opere impiantistiche: installazione di split con pompa di calore/chiller, sostituzione di caldaia esistente con caldaia a condensazione e radiatori esistenti con radiatori in alluminio, sostituzione di boiler elettrici con collettori solari ed accumulo (integrazione con caldaia); nuovo impianto di ricambio d'aria; installazione di impianto fotovoltaico; sostituzione lampade esistenti con lampade LED; nuovo impianto idrico-sanitario.
- Posa in opera di nuovo controsoffitto modulare per passaggio impianti nel corridoio distributivo e nel refettorio;
- Riorganizzazione dei servizi igienici degli alunni con incremento del numero di vasi e lavabi;
- Realizzazione di nuovo servizio igienico per disabili;
- Tinteggiatura.

2. NORMATIVA DI RIFERIMENTO

La normativa vigente di riferimento per gli edifici esistenti è la seguente:

- Decreto Ministeriale 14/01/2008 – “Norme tecniche per le Costruzioni”;
- Circolare n. 617 del 02/02/2009 – “Istruzioni per l'applicazione delle Norme Tecniche per le Costruzioni di cui al D.M. 14/01/2008 – NTC08”;
- Decreto Ministeriale 17/01/2018 – Aggiornamento delle “Norme tecniche per le Costruzioni NTC18”;
- Circolare del 21/01/2019 – “Istruzioni per l'applicazione dell'aggiornamento delle Norme Tecniche per le Costruzioni di cui al D.M. 17/01/2018 – NTC18”.
- Linee Guida per la valutazione e riduzione del rischio sismico del patrimonio culturale – allineamento alle nuove Norme Tecniche per le costruzioni;
- D.P.R. 380/2001 s.m.i. "Testo unico delle disposizioni legislative e regolamentari in materia edilizia”;
- D.P.R. 207/2010 s.m.i. per la parte non abrogata;
- D.lgs 18 aprile 2016, n. 50 "Codice dei contratti pubblici" e s.m.i.;
- D.P.R. 18 aprile 1994, n. 383 - Regolamento recante disciplina dei procedimenti di localizzazione delle opere di interesse statale;
- D. Lgs. 09/04/2008 n. 81 "Attuazione dell'articolo 1 della legge 3 agosto 2007, n. 123, in materia di tutela della salute e della sicurezza nei luoghi di lavoro”;
- D.Lgs. 42/2004 s.m.i. "Codice dei beni culturali e del paesaggio, ai sensi dell'articolo 1 O della legge 6 luglio 2002, n. 137”;
- Linee Guida ANAC N°1 - Indirizzi generali sull'affidamento dei servizi attinenti all'architettura e all'ingegneria.
- Norme relative alla verifica della vulnerabilità sismica e valutazione della sicurezza strutturale
- D.Lgs. 152/2006 e s.m.i. - Decreto legislativo 3 aprile 2006, n. 152 Norme in materia ambientale;
- Legge 77/2009 s.m.i.;
- D.P.C.M. 09/02/2011 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;
- Regolamento Regionale Lazio 13 luglio 2016 n. 14 "Regolamento regionale per lo snellimento e la semplificazione delle procedure per l'esercizio delle funzioni regionali in materia di prevenzione del rischio sismico e di repressione delle violazioni della normativa sismica”.
- O.P.C.M. 3274 del 20/03/2003 s.m.i.;
- O.P.C.M. 3431 del 03/05/2005 s.m.i.;
- D.P.C.M. del 21/10/2003 Presidenza del Consiglio dei ministri Dipartimento della Protezione Civile.

3. DESCRIZIONE E INQUADRAMENTO DELLA COSTRUZIONE

A seguito dell'incarico conferito dal Comune di Napoli si è proceduto alla progettazione degli interventi di adeguamento sismico dell'Edificio scolastico "Marco Aurelio" ubicato in via Marco Aurelio, 93, in Soccavo (NA), in Soccavo (NA).



Foto 1 – Localizzazione dell'edificio

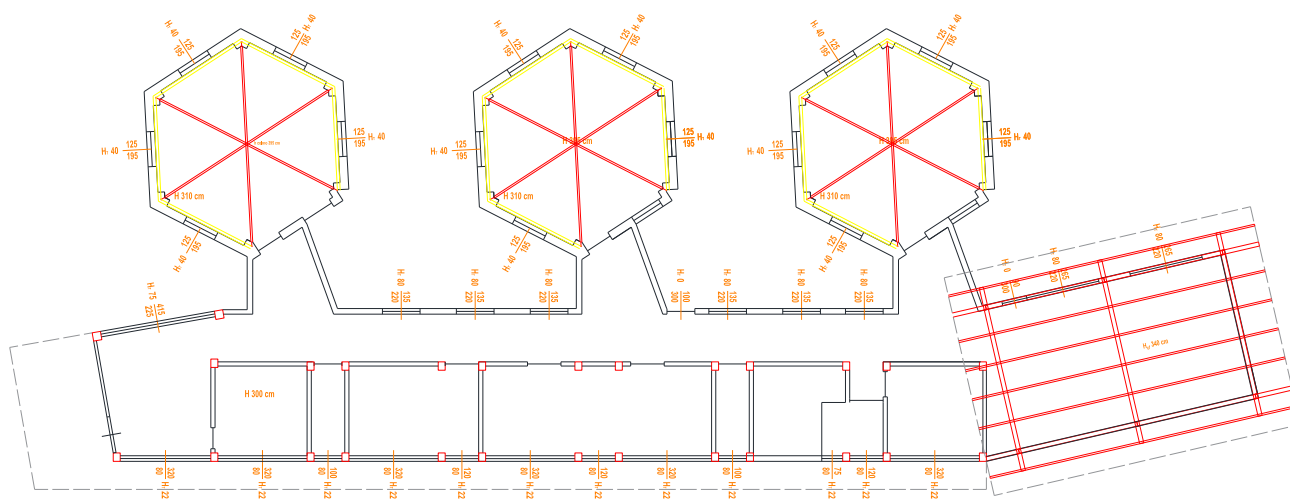
Il fabbricato in questione è un edificio scolastico costituito da un unico corpo di fabbrica, caratterizzato da diverse tipologie costruttive di strutture. La struttura portante principale è costituita da travi e pilastri in c.a. (CORPO A), mentre quella delle aule è costituita da pilastri e travi in acciaio (CORPI B e C); gli orizzontamenti sono costituiti da solai latero-cementizi nel Corpo A, coperture in legno lamellare nel Corpo B e solaio sandwich in lamiera grecata nel Corpo C. L'edificio presenta uno schema planimetrico a pianta irregolare, la cui superficie del singolo livello è di circa 330 mq. Si riporta nell'immagine che segue, la suddivisione in corpi della scuola:



La scuola è costituita da un unico livello fuori terra, caratterizzato da un'altezza interna media di circa 3,50 m.

3.1 Dati geometrici e strutturali

Il rilievo geometrico e strutturale è stato effettuato in sito tramite distanziometro laser, si riporta di seguito lo schema planimetrico di rilievo degli spazi:



Come anticipato ad inizio capitolo, la struttura si sviluppa su un unico livello ed è suddivisibile, per le diverse tecnologie costruttive che la compongono, in tre diversi corpi:

- Il primo, quello principale per estensione (Corpo A), caratterizzato da una struttura portante costituita da telai monodirezionali in calcestruzzo armato con pilastri avente sezioni 30x25 e 30x30 cm e travi a spessore. Il solaio, in latero-cemento classico, ha un'altezza strutturale di 25 cm e risulta essere ordito lungo la luce corta del corpo di fabbrica.

Oggetto: *Riqualificazione funzionale e messa in sicurezza del 21° circolo didattico scuola dell'infanzia "Marco Aurelio"*

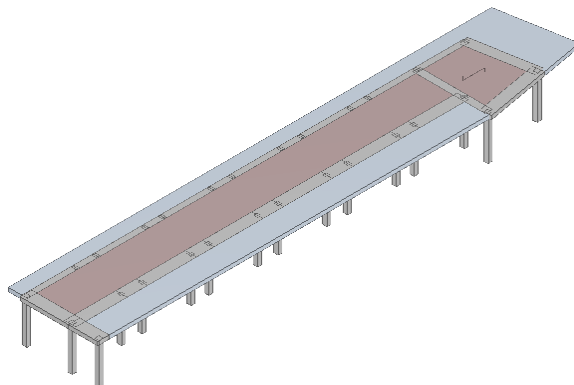
- Il secondo (Corpo B), caratterizzato da tre aule esagonali collegate al corpo in c.a. attraverso un corridoio avente altezza interna inferiore. Tali corpi di fabbrica sono costituiti da pilastri e travi in acciaio su cui insiste una copertura in legno spiovente avente altezza di colmo pari a 3,95 m e un'altezza minima di 3,10 m.
- Il terzo ed ultimo corpo (Corpo C) riguarda un'aula posta nella parte terminale del corpo A ed è costituito da una struttura intelaiata in acciaio i cui collegamenti sono costituiti da squadrette e flange bullonate; la copertura di tale corpo è costituito da un solaio sandwich in lamiera grecata.

Vengono riportate di seguito diverse viste assonometriche contrapposte dei vari corpi in cui è stata la struttura, allo scopo di consentire una migliore comprensione dello stato di progetto del fabbricato oggetto della relazione:

CORPO A

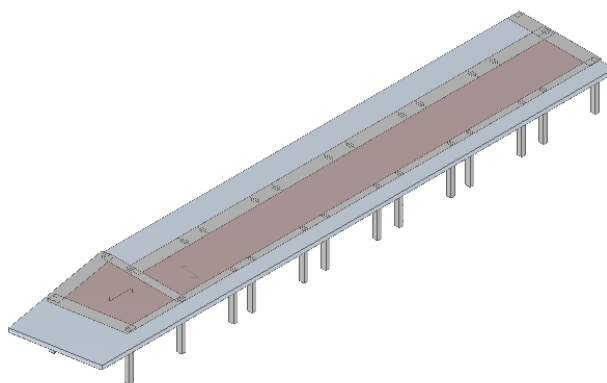
Vista Anteriore

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

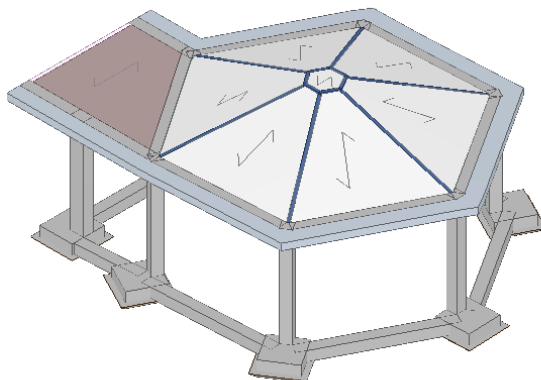
La direzione di visualizzazione (bisettrice del cono ottico), relativamente al sistema di riferimento globale 0,X,Y, Z, ha versore (-1;-1;-1)



CORPO B

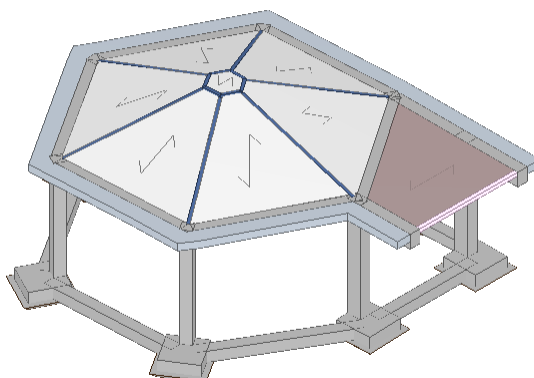
Vista Anteriore

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



Vista Posteriore

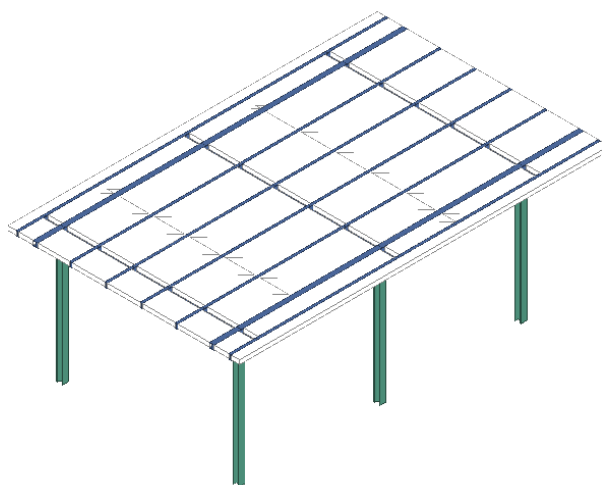
La direzione di visualizzazione (bisettrice del cono ottico), relativamente al sistema di riferimento globale O, X, Y, Z , ha versore $(-1;-1;-1)$



CORPO C

Vista Anteriore

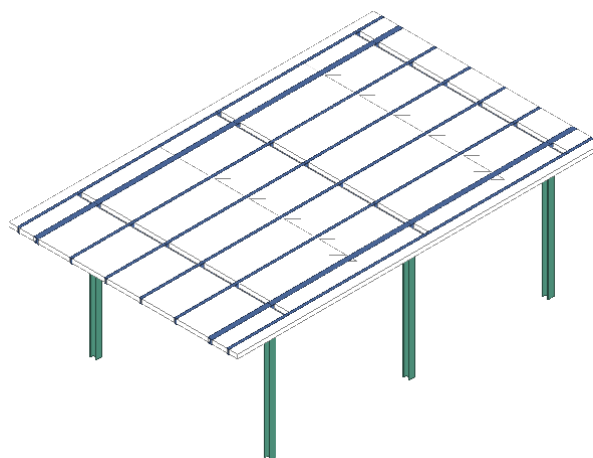
La direzione di visualizzazione (bisettrice del cono ottico), relativamente al sistema di riferimento globale O, X, Y, Z , ha versore $(1;1;-1)$



Oggetto: *Riqualificazione funzionale e messa in sicurezza del 21° circolo didattico scuola dell'infanzia "Marco Aurelio"*

Vista Posteriore

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



4. SINTESI SULLA VULNERABILITÀ SISMICA DEL FABBRICATO

4.1. Parametri di pericolosità sismica

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 Duttilità 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:

Stato Limite di Danno

Fattore di Comportamento (q_X) per sisma orizzontale in direzione X: 1.00;
 Fattore di Comportamento (q_Y) per sisma orizzontale in direzione Y: 1.00;
 Fattore di Comportamento (q_Z) per sisma verticale: 1.00 (se richiesto).

Stato Limite di salvaguardia della Vita

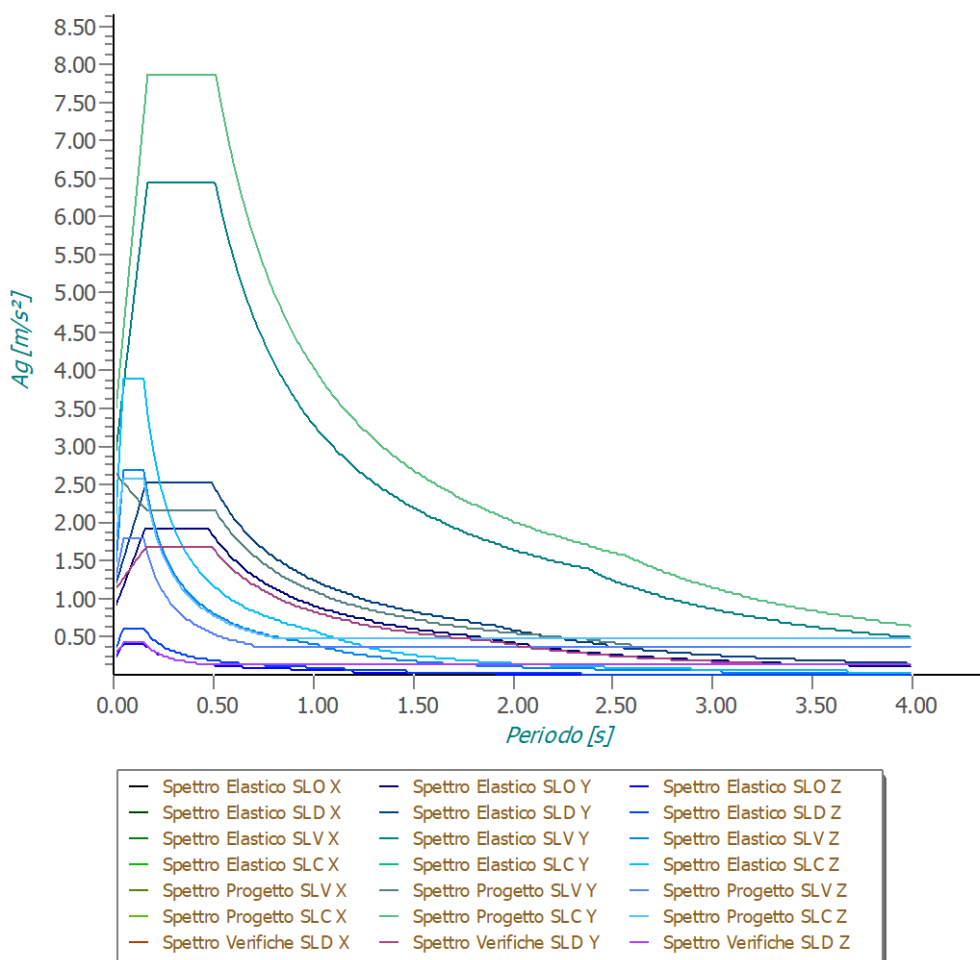
Verifica meccanismi "Duttili"

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.

Grafico degli Spettri di Risposta



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.

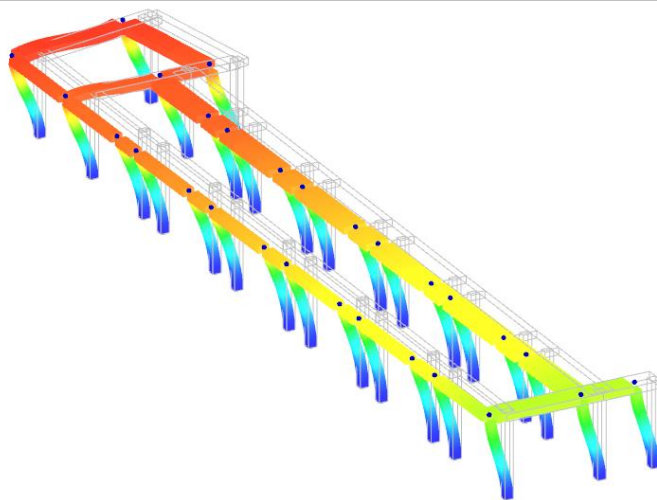
Di seguito si riportano i risultati ottenuti.

4.2. Periodi fondamentali e masse partecipanti

CORPO A:

Periodi fondamentali e masse partecipanti

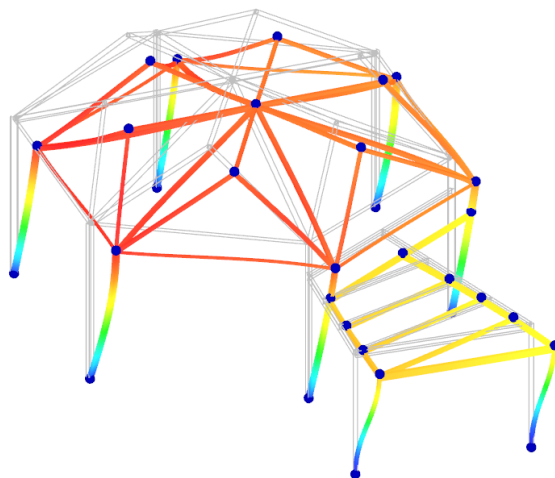
Direzione	Periodo	Modo di vibrare	Masse partecipanti	Coefficiente di partecipazione
	[s]		[%]	
X	0.217	2	96.84	354.32
Y	0.277	1	98.63	357.58



CORPO B:

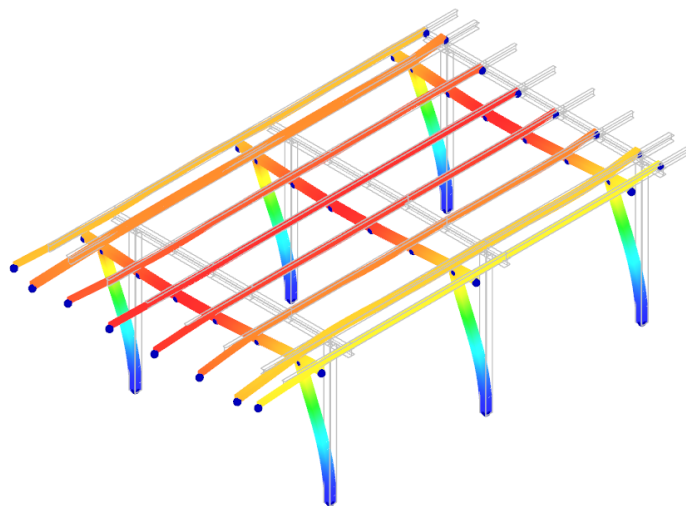
Periodi fondamentali e masse partecipanti

Direzione	Periodo	Modo di vibrare	Masse partecipanti	Coefficiente di partecipazione
	[s]		[%]	
X	0.936	2	53.56	54.11
Y	0.853	1	97.67	73.07



CORPO C:

Periodi fondamentali e masse partecipanti				
Direzione	Periodo	Modo di vibrare	Masse partecipanti	Coefficiente di partecipazione
	[s]		[%]	
X	0.707	1	99.25	118.26
Y	0.427	2	75.83	103.37



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	Coefficiente di partecipazione massimo, in valore assoluto, nella direzione considerata.

4.3. Capacità - entità dell'azione sismica sostenibile

CORPO A:

Capacità - Entità dell'azione sismica sostenibile				
SL	Tipo di rottura	Materiale/Terreno	PGA _C	T _{RC}
			[a _g /g]	[anni]
SLD	Spostamento Interpiano (SLD)	-	0.1643	167
SLO	Spostamento Interpiano (SLO)	-	0.0944	56
SLV	Flessione o Pressoflessione	CA	0.1771	223
SLV	Taglio	CA	0.1721	207
SLV	Rottura del Nodo	CA	0.0786	44

CORPO B:

Capacità - Entità dell'azione sismica sostenibile				
SL	Tipo di rottura	Materiale/Terreno	PGA _C	T _{RC}
			[a _g /g]	[anni]
SLV	Flessione o Pressoflessione	AC	0.1258	108
SLV	Taglio	AC	2.3161	>2475
SLV	Instabilità ACCIAIO	AC	0.1297	114

Oggetto: *Riqualificazione funzionale e messa in sicurezza del 21° circolo didattico scuola dell'infanzia "Marco Aurelio"*

CORPO C:

Capacità - Entità dell'azione sismica sostenibile				
SL	Tipo di rottura	Materiale/Terreno	PGA _c [a _g /g]	T _{RC} [anni]
SLV	Flessione o Pressoflessione	AC	0.3684	1903
SLV	Taglio	AC	5.9462	>2475
SLV	Instabilità ACCIAIO	AC	0.4743	>2475
SLV	Collegamenti - Connettori	AC	0.1875	258
SLV	Collegamenti - Cordoni	-	0.4342	>2475
SLV	Collegamenti - Punzonamento Beam	AC	0.5883	>2475
SLV	Collegamenti - Rifollamento Beam	AC	0.4516	>2475
SLV	Collegamenti - Punzonamento Piastre	-	0.4005	>2475
SLV	Collegamenti - Rifollamento Piastre	-	0.1255	107
SLV	Collegamenti - Tensioni	-	0.1108	83
SLV	Collegamenti - Flessione	-	54.5381	>2475

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.

4.4. Domanda - entità dell'azione sismica attesa

CORPO A:

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	

CORPO B:

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	

CORPO C:

Domanda - Entità dell'azione sismica attesa			
Stato Limite	PGA _D [a ₀ /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.

4.5. Indicatori di rischio sismico

CORPO A:

Indicatori di rischio sismico			
Stato Limite	ζ _B (α _{PGA})	α _{TR}	
SLO	1.128	1.094	
SLD	1.486	1.388	
SLV	0.288	0.319	

CORPO B:

Indicatori di rischio sismico			
Stato Limite	ζ _B (α _{PGA})	α _{TR}	
SLO	> 100	> 100	
SLD	> 100	> 100	
SLV	0.461	0.462	

CORPO C:

Indicatori di rischio sismico			
Stato Limite	ζ _B (α _{PGA})	α _{TR}	
SLO	> 100	> 100	
SLD	> 100	> 100	
SLV	0.406	0.414	

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.

ζ_B (α_{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_B: 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.

5. CLASSIFICAZIONE DEL RISCHIO SISMICO ALLO STATO DI FATTO

Si riportano di seguito 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:

CORPO A:

$PGA_C(SLV)$	$PGA_D(SLV)$	IS-V
0.0786	0.2727	28.83

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

CORPO B:

$PGA_C(SLV)$	$PGA_D(SLV)$	IS-V
0.1258	0.2727	46.13

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

CORPO C:

$PGA_C(SLV)$	$PGA_D(SLV)$	IS-V
0.1108	0.2727	40.63

In base al valore di IS-V è stato possibile assegnare una **classe di rischio** pari a **D** (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 $PGA_D(SLD)$]:

CORPO A:

Stato Limite	PGA_C [a _g /g]	PGA_D [a _g /g]
SLV	0.0786	0.2727
SLD	0.1643	0.1106

CORPO B:

Stato Limite	PGA_C [a _g /g]	PGA_D [a _g /g]
SLV	0.1258	0.2727
SLD	1000.0000	0.1106

CORPO C:

Stato Limite	PGA _C [a _g /g]	PGA _D [a _g /g]
SLV	0,1108	0,2727
SLD	1000,0000	0,1106

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

$T_{RC}(SLV)$	$T_{RC}(SLD)$
$\max \left[T_{RD}(SLV) \cdot \left(\frac{PGA_C(SLV)}{PGA_D(SLV)} \right)^\eta ; 10 \text{ anni} \right]$	$\min \left[T_{RD}(SLD) \left(\frac{PGA_C(SLD)}{PGA_D(SLD)} \right)^\eta ; T_{RC}(SLV) \right] > 10 \text{ anni}$

dove:

$\eta = 1/0,490$	se	$a_g > 0,25g$
$\eta = 1/0,430$	se	$0,15g < a_g \leq 0,25g$
$\eta = 1/0,356$	se	$0,05g < a_g \leq 0,15g$
$\eta = 1/0,340$	se	$a_g \leq 0,05g$

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.

CORPO A:

Stato Limite	SL	T_{RC} [anni]	λ [anni] ⁻¹	C_R [%]	i
Stato Limite di Inizio Danno	SLID	10	0,100000	0	1
Stato Limite di Operatività	SLO	24	0,042294	7	2
Stato Limite di Danno	SLD	39	0,025326	15	3
Stato Limite di Salvaguardia della Vita	SLV	39	0,025326	50	4
Stato Limite di Collasso	SLC	81	0,012410	80	5
Stato Limite di Ricostruzione	SLR	81	0,012410	100	6

CORPO B:

Stato Limite	SL	T_{RC} [anni]	λ [anni] ⁻¹	C_R [%]	i
Stato Limite di Inizio Danno	SLID	10	0,100000	0	1
Stato Limite di Operatività	SLO	71	0,014176	7	2
Stato Limite di Danno	SLD	118	0,008489	15	3
Stato Limite di Salvaguardia della Vita	SLV	118	0,008489	50	4
Stato Limite di Collasso	SLC	240	0,004160	80	5
Stato Limite di Ricostruzione	SLR	240	0,004160	100	6

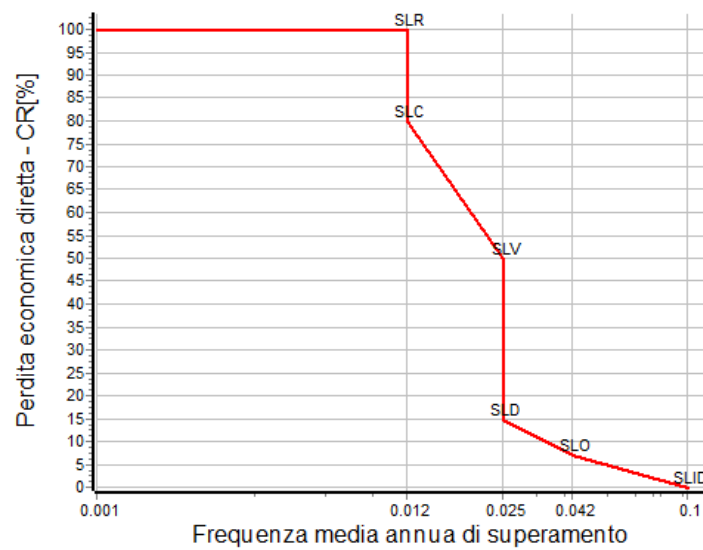
CORPO C:

Stato Limite	SL	T _{RC}	λ	C _R	i
		[anni]	[anni] ⁻¹	[%]	
Stato Limite di Inizio Danno	SLID	10	0.100000	0	1
Stato Limite di Operatività	SLO	52	0.019055	7	2
Stato Limite di Danno	SLD	88	0.011410	15	3
Stato Limite di Salvaguardia della Vita	SLV	88	0.011410	50	4
Stato Limite di Collasso	SLC	179	0.005591	80	5
Stato Limite di Ricostruzione	SLR	179	0.005591	100	6

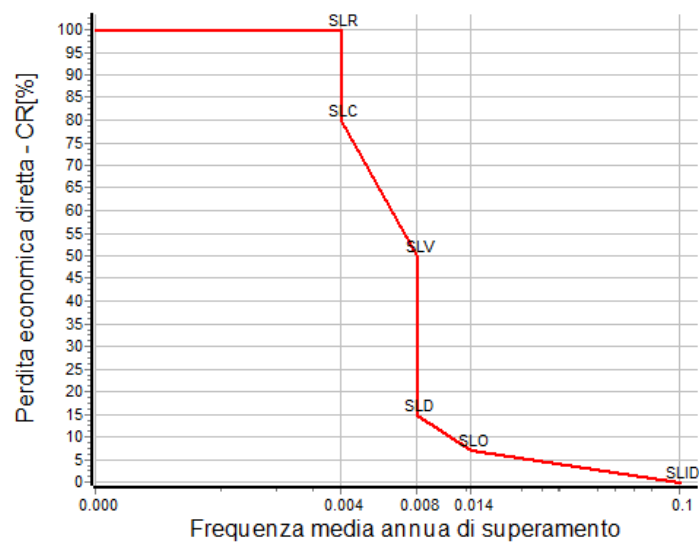
4) calcolo del PAM:

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

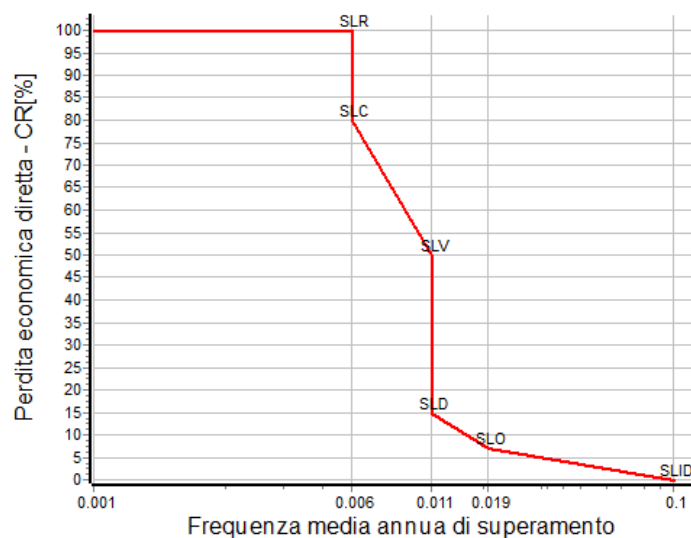
CORPO A:



CORPO B:



CORPO C:



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:

CORPO A:

PAM	Classe PAM
2.47	C

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
E	C	E



CORPO B:

PAM	Classe PAM
1.06	B

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
C	B	C



CORPO C:

PAM	Classe PAM
1.60	B

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
D	B	D



6. CALCOLO DEL TEMPO DI INTERVENTO

Per stabilire l'azione sismica si utilizza la vita nominale per calcolare il **tempo di ritorno** del sisma, in funzione della **probabilità di superamento** P_{vr} per un dato stato limite. Quindi, utilizzando la **distribuzione di Poisson**, si ipotizza che in una data finestra temporale (**periodo di riferimento** V_r) è previsto che mediamente si verifichi **almeno un terremoto** di una data intensità (**accelerazione** a_g) avente un dato **tempo di ritorno** T_r (frequenza media annua $\lambda = 1/T_r$). L'accelerazione a_g viene ricavata dalle **curve di pericolosità sismica** in funzione di P_{vr} , considerando lo stato limite da analizzare.

$$V_N \rightarrow V_r = V_N \cdot C_u \rightarrow T_r = \frac{-V_r}{\ln(1 - P_{vr})} \rightarrow a_g$$

Dopo queste precisazioni, definiamo in maniera più completa i due tipi di durata:

- **Vita nominale** → numero di anni nel quale è previsto che l'opera, purché soggetta alla necessaria manutenzione, mantenga specifici livelli prestazionali;
- **Periodo di riferimento** → periodo convenzionale di valutazione delle azioni sismiche.

Nel caso della **valutazione della vulnerabilità** di un edificio esistente, il concetto di "**vita nominale**" viene modificato trasformandolo dapprima in "**vita nominale restante**", e poi in "**tempo di intervento** T_{int} " per un dato meccanismo vulnerabile (circolare DPC/SISM/83283 del 4/11/2010). Inoltre, già per le opere che caratterizzano il patrimonio culturale è regolarmente ammesso un compromesso tra interventi e rischio, ammettendo anche vita nominale restante inferiore ai 50 anni.

La **vita nominale restante** è un parametro relativo solo alla perdita economica dei beni e non alla perdita di vite umane. Il **tempo di intervento** dovrebbe essere utilizzato per programmare e differire nel tempo gli interventi da realizzare.

Operativamente, per una **struttura esistente** si dovrà calcolare:

1. **Resistenza** in termini di **accelerazione** (PGA_r);
2. **Tempo di ritorno** T_{rR} della PGA_r ;
3. **Tempo di intervento** T_{int} considerando anche la classe d'uso dell'edificio C_u ;

$$T_{int} = -\frac{T_r}{C_u} \ln(1 - P_{vr})$$

In base alla DPC/SISM/83283 per T_{int} **superiore a 30 anni** si ritiene non necessaria un'immediata programmazione degli interventi. Se T_{int} **invece risulta minore o uguale a 2 anni** si configura un "particolare elemento di rischio" che implica l'**urgenza** degli interventi. Nel caso in cui T_{int} risulti nullo, la verifica non è risultata soddisfatta neanche per i soli carichi statici ed è obbligatorio intervenire immediatamente. In ogni caso il **parametro** T_{int} **è utile per la programmazione degli**

interventi per il relativo periodo, considerando anche la possibilità di fare un piano di emergenza in caso di sisma.

Il tempo di intervento è comunque da intendere in **termini probabilistici**.

Nel nostro caso in esame, con un fabbricato adibito a scuola, dunque C_u pari a 1,5 ed un tempo di ritorno avremo:

$$T_{int} = -\frac{T_r}{C_u} \ln(1 - P_{vr})$$

CORPO A $T_{int} = -\frac{44}{1,5} \ln(1 - 0,1) = 2,5 \text{ anni}$

CORPO B $T_{int} = -\frac{108}{1,5} \ln(1 - 0,1) = 6,2 \text{ anni}$

CORPO C $T_{int} = -\frac{83}{1,5} \ln(1 - 0,1) = 4,8 \text{ anni}$

Ciò vuol dire che per i prossimi 2,5 anni c'è la probabilità del 10% che la struttura in seguito ad un terremoto distruttivo (che avviene ogni 475 anni – SLV), possa subire danni importanti.

7. PROBLEMATICHE RISCONTRATE

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

- L'edificio risulta verificato in termini di resistenza per carichi verticali allo Stato Limite Ultimo;
- Le armature longitudinali e trasversali degli elementi portanti del Corpo A 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;
- Le caratteristiche di resistenza dei collegamenti e piastre del Corpo C risultano incapaci di garantire l'opportuno grado di sicurezza della struttura in funzione della destinazione d'uso in condizioni sismiche; inoltre, si è riscontrato un forte fenomeno di martellamento tra il corpo A e il corpo C in quanto sprovvisto di giunto sismico;
- Le caratteristiche degli elementi portanti del corpo B risultano incapaci di garantire l'opportuno grado di sicurezza della struttura in funzione della destinazione d'uso in condizioni sismiche, inoltre il corridoio di collegamento tra il corpo in esame ed il corpo A risulta essere costituito da una struttura in acciaio leggero non idonea a sostenere gli eventuali sovraccarichi conseguenti ad un sisma.

7.1. Considerazioni sulla vulnerabilità sismica

7.1.1. Struttura in calcestruzzo armato

Un buon comportamento sismico delle strutture intelaiate in c.a. è legato alla formazione di un meccanismo di collasso globale, che coinvolge l'intera struttura sotto sismi violenti, producendo deformazioni anelastiche alle estremità delle travi di tutti i piani e alla base dei soli pilastri del piano terra (meccanismo a travi deboli – colonne forti). La realizzazione di un tale meccanismo richiede, però, un'accurata progettazione antisismica, basata sul principio di gerarchia delle resistenze, o "*Capacity Design*" in Italia introdotto a livello normativo solo con la recente Ordinanza 3274/2003 per le costruzioni in zona sismica ad alta duttilità. È quindi più probabile che, in un edificio esistente, si realizzi un meccanismo di collasso di piano, ossia un meccanismo a travi forti. che coinvolge prevalentemente i pilastri di un solo piano, con la formazione di cerniere plastiche alle loro estremità. Il coinvolgimento di un numero ridotto di elementi strutturali di un unico piano alla dissipazione di energia e, in particolare, di pilastri soggetti, per la funzione che svolgono, a elevati sforzi di compressione, determina una ridotta duttilità disponibile e una limitata capacità dissipativa d'insieme della struttura. Valori bassi degli sforzi di compressione, rispetto alla resistenza, favoriscono un comportamento relativamente duttile dei pilastri, mentre valori elevati possono determinare rotture fragili per schiacciamento e favorire un collasso anticipato della struttura. Comportamenti fragili possono anche derivare da elevate percentuali di armatura longitudinale, associate ad insufficiente armatura trasversale (staffe) o la presenza di pilastri corti, nei quali è prevalente la sollecitazione tagliente rispetto a quella flessionale. In tali

casi la rottura fragile a taglio può anticipare la plasticizzazione a flessione. Le strutture in c.a. esistenti, spesso progettate per soli carichi verticali, sono abitualmente caratterizzate da bassi quantitativi di armatura longitudinale nei pilastri, per cui, salvo particolari condizioni geometriche, il meccanismo di collasso più probabile è quello a colonne deboli e travi forti.

Per quanto riguarda il meccanismo a taglio, trattandosi di una crisi fragile è fortemente da evitare. Intervenendo mediante ringrossi in c.a. o cerchiature è possibile ottenere un incremento dell'indicatore di rischio allo SLV, quindi una risposta migliore della struttura.

Per poter auspicare un meccanismo di crisi di tipo duttile, ovvero una crisi a flessione, è necessario intervenire sui nodi. In base alle consuetudini dell'epoca non era prevista la staffatura dei nodi, che pertanto risultano uno degli elementi più vulnerabili degli edifici. Con i ringrossi in cemento armato è possibile intervenire anche sui nodi strutturali, ottenendo un decisivo miglioramento del comportamento sismico globale. Inoltre altre strategie di intervento sono il Metodo CAM, e la fasciatura mediante fibre FRP.

7.1.2.Strutture in acciaio

Il materiale "acciaio" è dotato di una notevole duttilità intrinseca, che consente allungamenti a rottura sempre superiori al 20% e quindi sembrerebbe l'ideale in situazioni dove sono richieste elevate deformazioni plastiche.

Le Norme Tecniche per le Costruzioni 2018 prevedono, per le costruzioni soggette ad azioni sismiche, due criteri generali di progettazione:

- Comportamento strutturale **non dissipativo** ($1 \leq q \leq 1.5$)
- Comportamento strutturale **dissipativo** ($q > 1.5$)

Riportando quanto previsto dalle sopracitate norme tecniche: per **comportamento strutturale non dissipativo** si prevede che nella valutazione della domanda tutte le membrature ed i collegamenti rimangano in campo elastico o sostanzialmente elastico; per **comportamento strutturale dissipativo** si prevede, invece, che un numero elevato di membrature e/o collegamenti evolvano in campo plastico, mentre la restante parte della struttura rimane in campo elastico o sostanzialmente elastico.

La novità interessante rispetto alle precedenti norme tecniche (NTC08) riguarda proprio quest'ultima specifica, ovvero la possibilità di considerare, all'interno di strutture a comportamento dissipativo, porzioni di struttura che lavorino in campo elastico o sostanzialmente elastico.

Entrando nello specifico della progettazione di costruzioni in acciaio, il principale beneficio di avere un comportamento strutturale non dissipativo per l'intera struttura (o per porzioni di essa) è legato al fatto che, non dovendo espletare un comportamento plastico, non è necessario soddisfare nessun requisito di gerarchia delle resistenze per garantire una progettazione in duttilità. I principali vantaggi si ottengono soprattutto nel dimensionamento dei collegamenti;

progettando una struttura in campo dissipativo, infatti, i collegamenti trave-colonna e colonna-fondazione devono essere progettati in modo da consentire la formazione delle cerniere plastiche rispettivamente alle estremità di travi e colonne in modo da anticipare la rottura dell'elemento rispetto a quella del collegamento stesso.

Di contro, progettare una struttura (o una porzione di essa) in campo non dissipativo significa assicurare che rimanga in campo elastico o sostanzialmente elastico. Ai fini della progettazione questo si traduce nell'utilizzare un fattore di comportamento molto ridotto ($1 \leq q \leq 1.5$), ovvero considerare le azioni provenienti dallo spettro elastico senza sfruttare la duttilità del materiale.

Un buon comportamento sismico delle strutture intelaiate è legato alla formazione di un meccanismo di collasso globale, che coinvolge l'intera struttura sotto sismi violenti, producendo deformazioni anelastiche alle estremità delle travi di tutti i piani e alla base dei soli pilastri del piano terra (meccanismo a travi deboli – colonne forti). La realizzazione di un tale meccanismo richiede, però, un'accurata progettazione antisismica, basata sul principio di gerarchia delle resistenze, o "Capacity Design" in Italia introdotto a livello normativo solo con la recente Ordinanza 3274/2003 per le costruzioni in zona sismica ad alta duttilità. È quindi più probabile che, in un edificio esistente, si realizzi un meccanismo di collasso di piano, ossia un meccanismo a travi forti, che coinvolge prevalentemente i pilastri di un solo piano, con la formazione di cerniere plastiche alle loro estremità. Il coinvolgimento di un numero ridotto di elementi strutturali di un unico piano alla dissipazione di energia e, in particolare, di pilastri soggetti, per la funzione che svolgono, a elevati sforzi di compressione, determina una ridotta duttilità disponibile e una limitata capacità dissipativa d'insieme della struttura. Valori bassi degli sforzi di compressione, rispetto alla resistenza, favoriscono un comportamento relativamente duttile dei pilastri, mentre valori elevati possono determinare rotture fragili per schiacciamento e favorire un collasso anticipato della struttura.

Per quanto riguarda il meccanismo a taglio, trattandosi di una crisi fragile è fortemente da evitare. Intervenendo mediante ringrossi delle sezioni è possibile ottenere un incremento dell'indicatore di rischio allo SLV, quindi una risposta migliore della struttura.

Per poter auspicare un meccanismo di crisi di tipo duttile, ovvero una crisi a flessione, è necessario intervenire sui nodi. In base alle consuetudini dell'epoca non era prevista la staffatura dei nodi, che pertanto risultano uno degli elementi più vulnerabili degli edifici.

8. ANALISI CRITICA DEI RISULTATI E CONCLUSIONI SULLO STATO DI FATTO

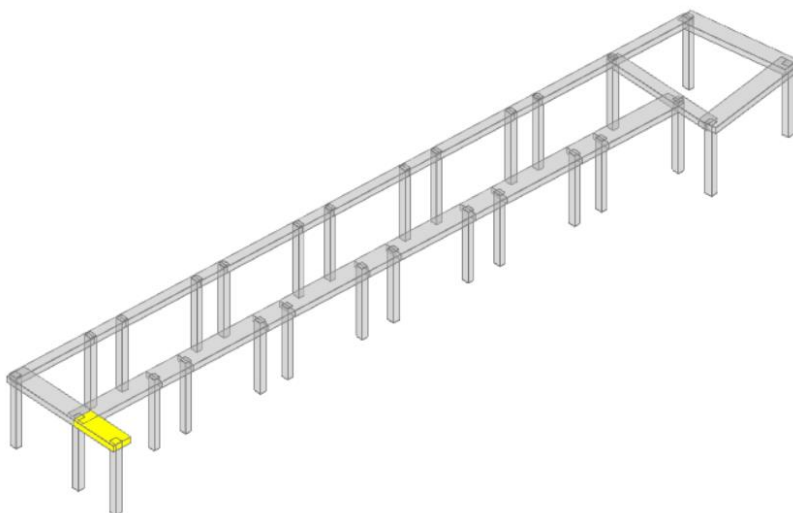
A seguito delle analisi e delle verifiche effettuate dunque, la classe di rischio sismico (CRS) della struttura risulta essere la classe **E**.

Allo stato attuale, la struttura risulta non verificata allo Stato Limite di Salvaguardia della Vita per sollecitazioni taglianti e flessionali. Pertanto, la struttura non risulta essere 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.

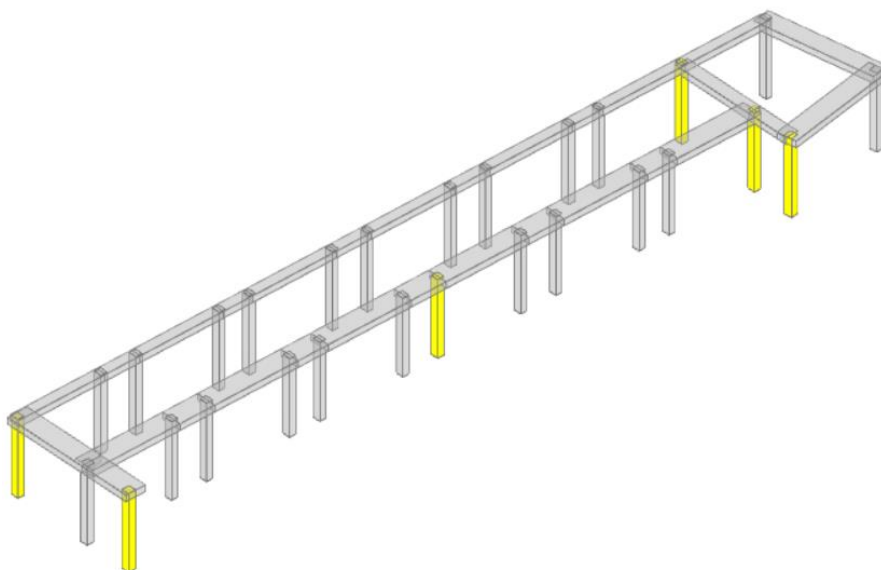
Gli elementi non verificati alle azioni sismiche di progetto sono evidenziati nelle figure seguenti.

CORPO A

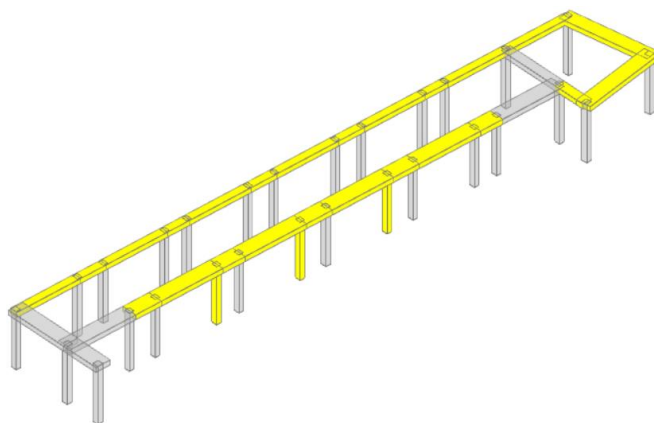
ELEMENTI IN C.A. NON VERIFICATI A PRESSOFLESSIONE RETTA, SLV



ELEMENTI IN C.A. NON VERIFICATI A PRESSOFLESSIONE DEVIATA, SLV

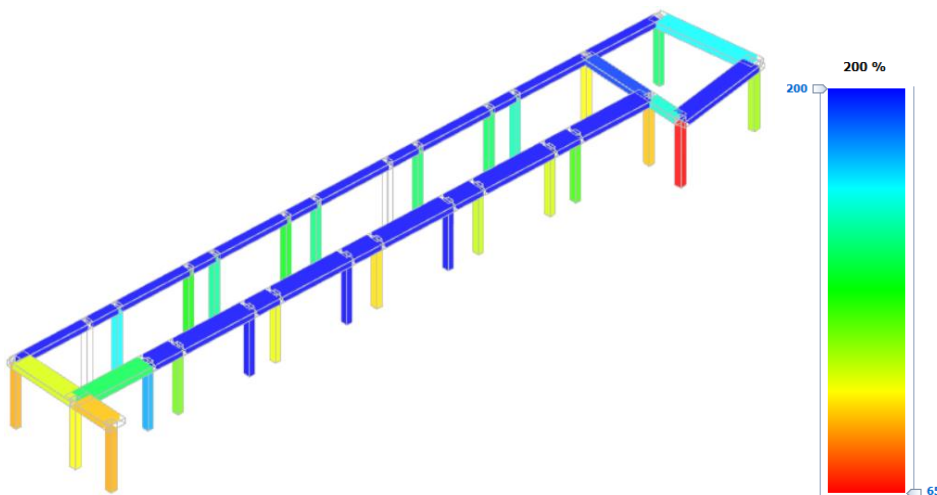


ELEMENTI IN C.A. NON VERIFICATI A TAGLIO, SLV

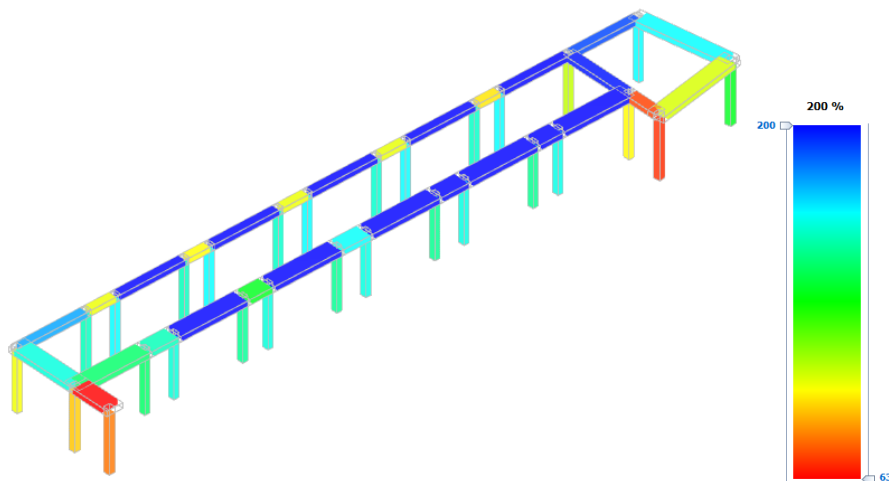


Di seguito sono invece riportati, allo stato di fatto, i valori di PGA capace per i diversi meccanismi di collasso, espressa in termini percentuali della PGA richiesta allo Stato Limite di Salvaguardia della Vita:

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

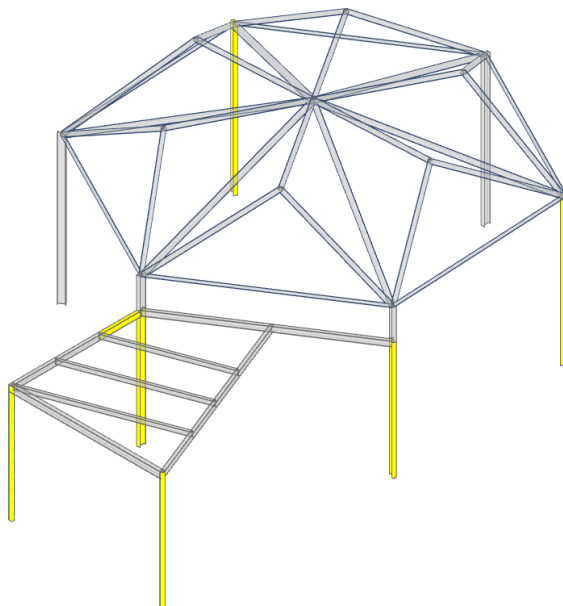


ACCELERAZIONE DI COLLASSO CAPACE PER TAGLIO (ELEMENTI IN C.A.)

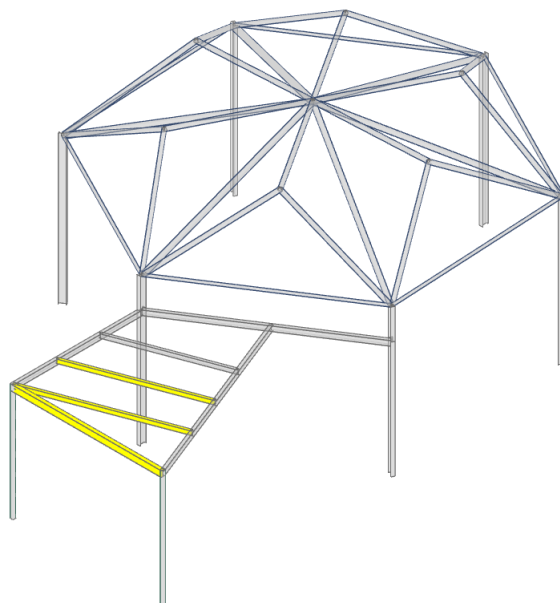


CORPO B

ELEMENTI IN ACCIAIO NON VERIFICATI A PRESSOFLESSIONE ED INSTABILITÀ, SLV

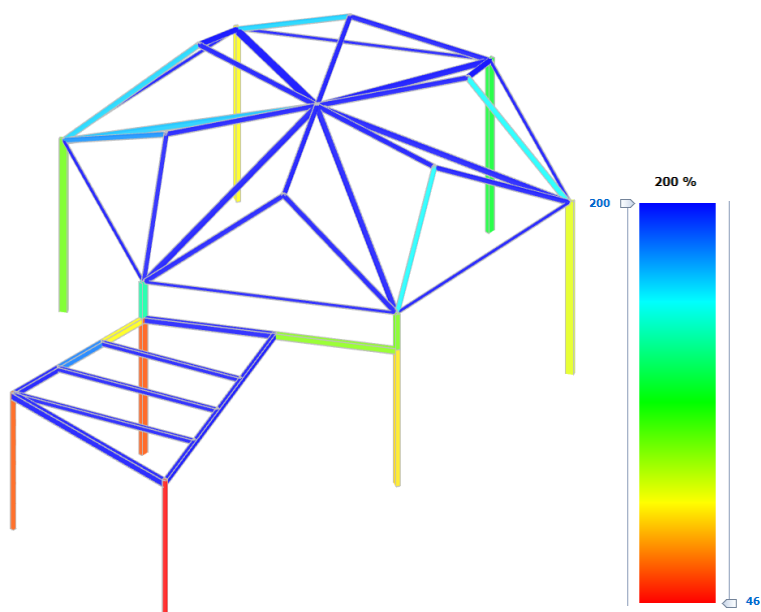


ELEMENTI IN ACCIAIO NON VERIFICATI A SNELLEZZA, SLV

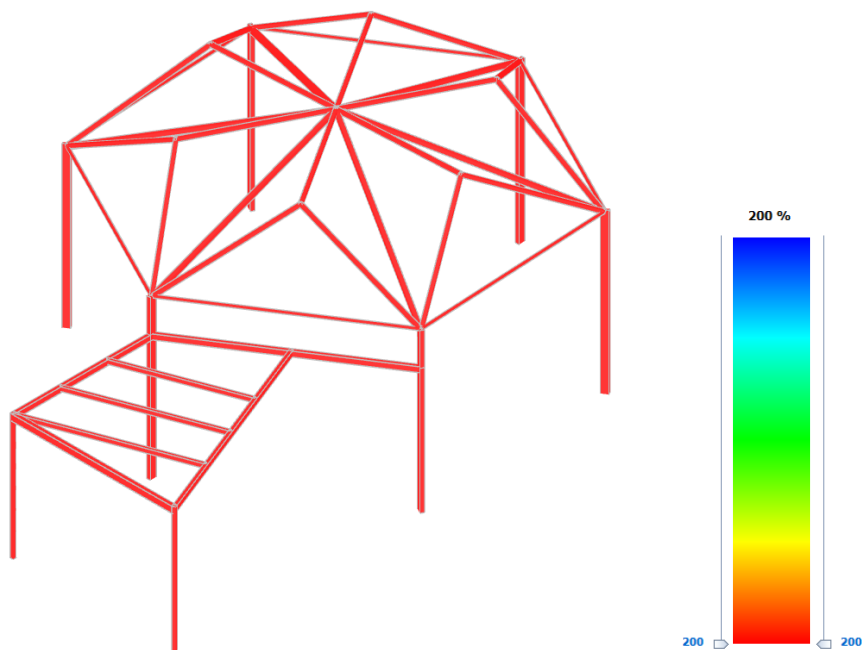


Di seguito sono invece riportati, allo stato di fatto, i valori di PGA capace per i diversi meccanismi di collasso, espressa in termini percentuali della PGA richiesta allo Stato Limite di Salvaguardia della Vita:

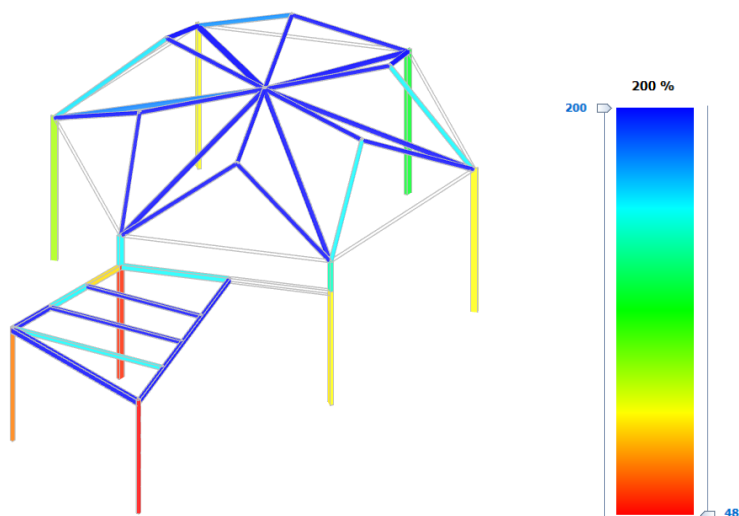
ACCELERAZIONE DI COLLASSO CAPACE PER FLESSIONE RETTA E DEVIATA (ELEMENTI IN ACCIAIO)



ACCELERAZIONE DI COLLASSO CAPACE PER TAGLIO (ELEMENTI IN ACCIAIO)

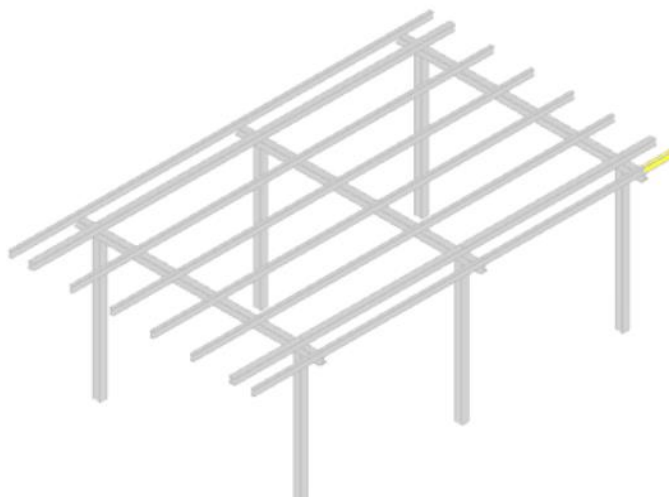


ACCELERAZIONE DI COLLASSO CAPACE PER INSTABILITÀ (ELEMENTI IN ACCIAIO)

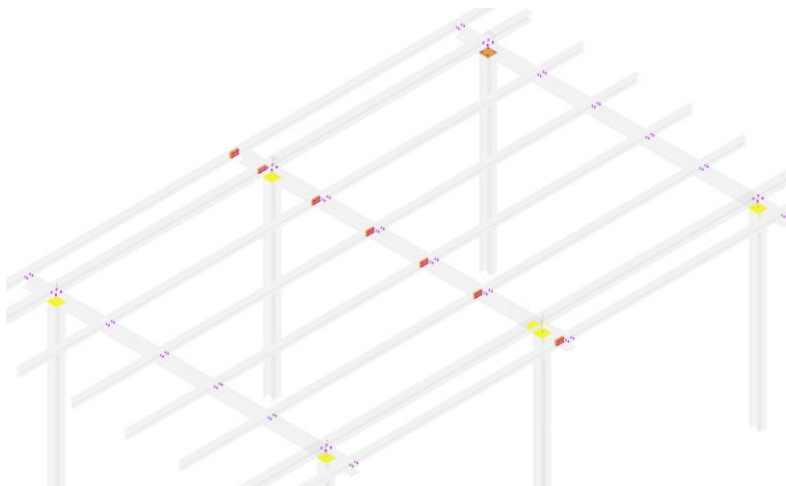


CORPO C

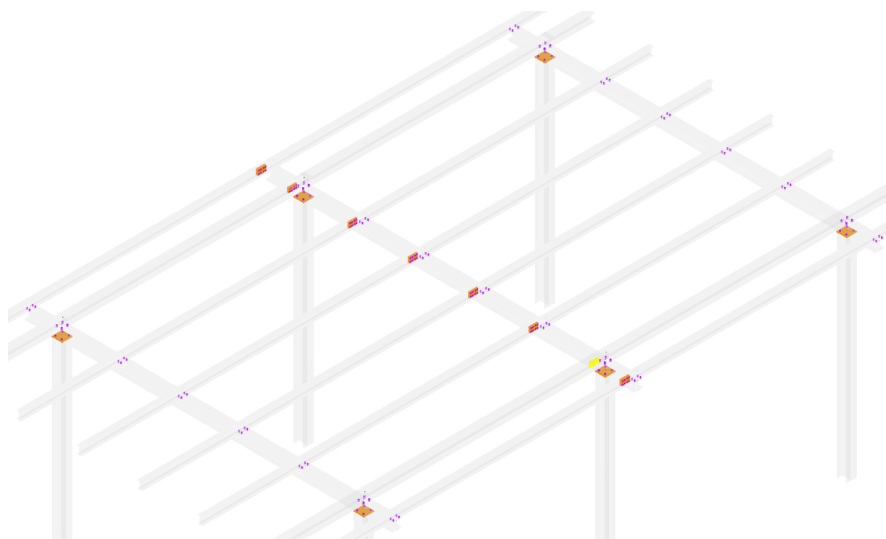
ELEMENTI IN ACCIAIO NON VERIFICATI A SNELLEZZA, SLV



BULLONI IN ACCIAIO NON VERIFICATI, SLV

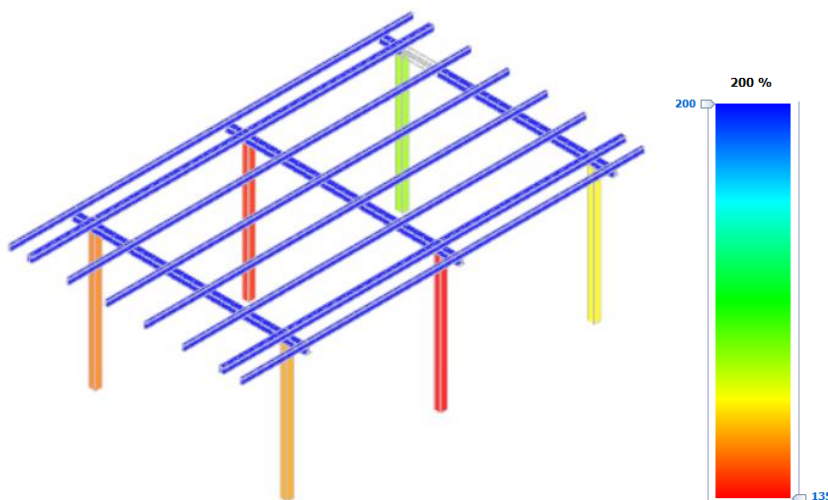


PIASTRE IN ACCIAIO NON VERIFICATI, SLV

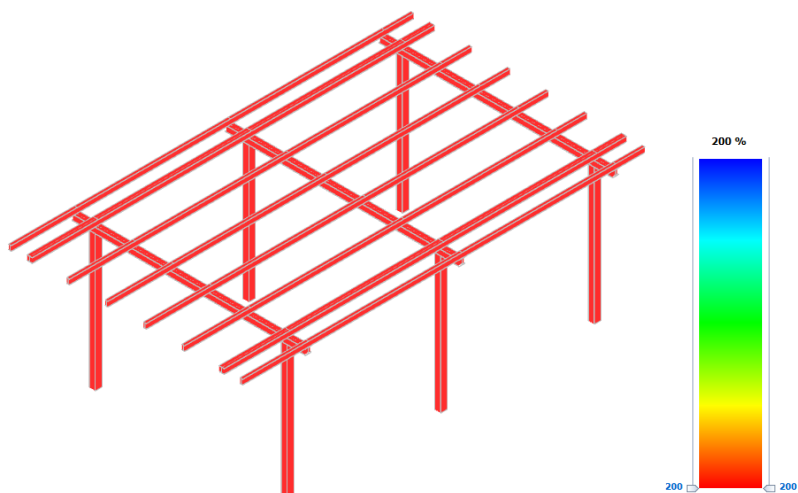


Di seguito sono invece riportati i valori di PGA capace per i diversi meccanismi di collasso, espressa in termini percentuali della PGA richiesta allo Stato Limite di Salvaguardia della Vita:

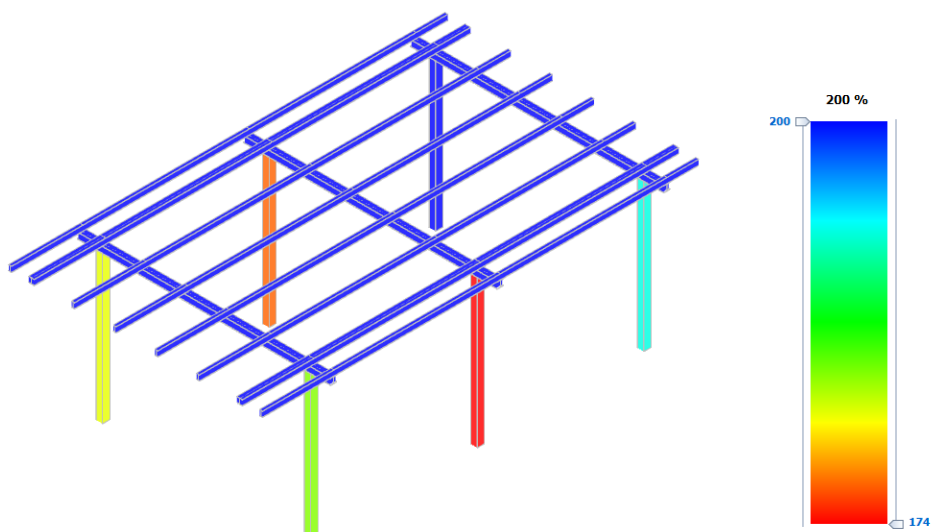
ACCELERAZIONE DI COLLASSO CAPACE PERFLESSIONE RETTA E DEVIATA (ELEMENTI IN ACCIAIO)



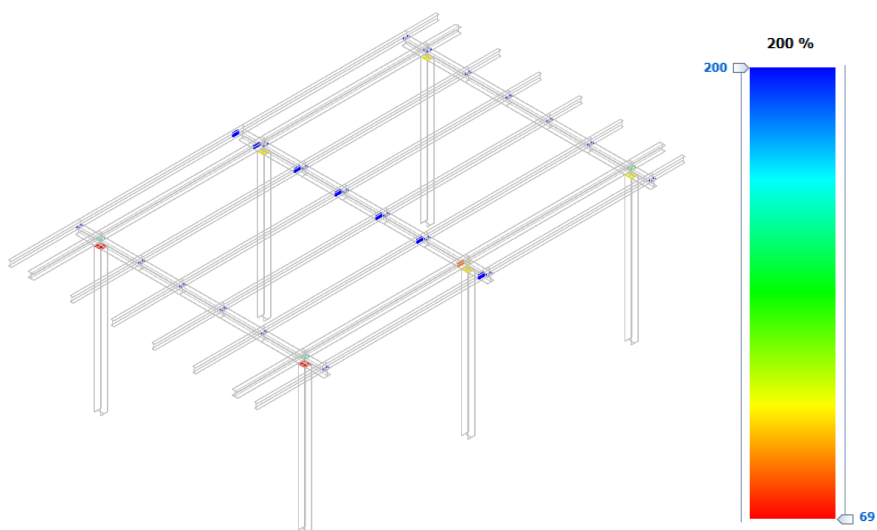
ACCELERAZIONE DI COLLASSO CAPACE PER TAGLIO (ELEMENTI IN ACCIAIO)



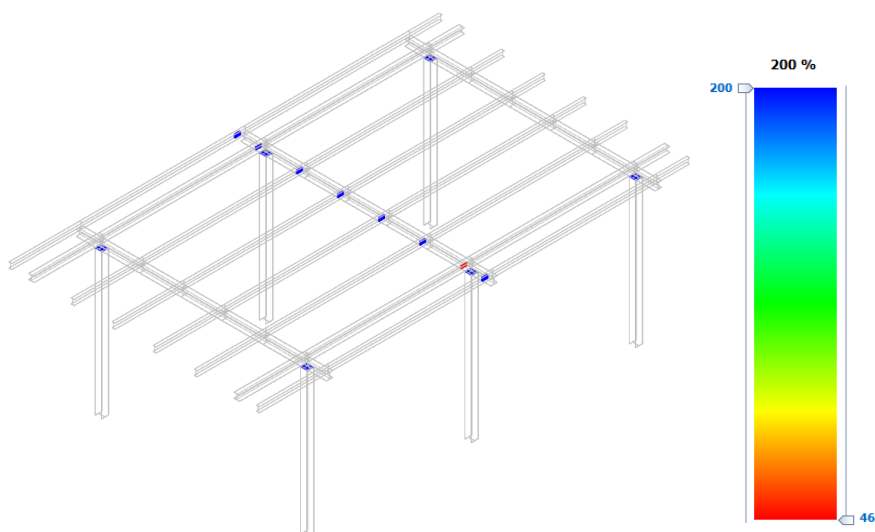
ACCELERAZIONE DI COLLASSO CAPACE PER INSTABILITÀ (ELEMENTI IN ACCIAIO)



ACCELERAZIONE DI COLLASSO CAPACE CONNETTORI (ELEMENTI IN ACCIAIO)



ACCELERAZIONE DI COLLASSO CAPACE RIFOLLAMENTO PIASTRE E TENSIONI (ELEMENTI IN ACCIAIO)



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.

9. INTERVENTI DI ADEGUAMENTO SISMICO

Dai risultati dell'analisi di vulnerabilità sismica dell'edificio oggetto di analisi si è evinto che la struttura si colloca in una classe di rischio sismico molto bassa **E**, essendo l'indice di rischio pari a 0.288 e quindi inferiore a quanto indicato nel capitolo 8 del NTC2018.

Ai fini della valutazione di sicurezza dell'edificio scolastico, si è proceduto con l'aumento della sicurezza strutturale mediante la progettazione di interventi di adeguamento sismico, portando l'indice di rischio maggiore dell'unità.

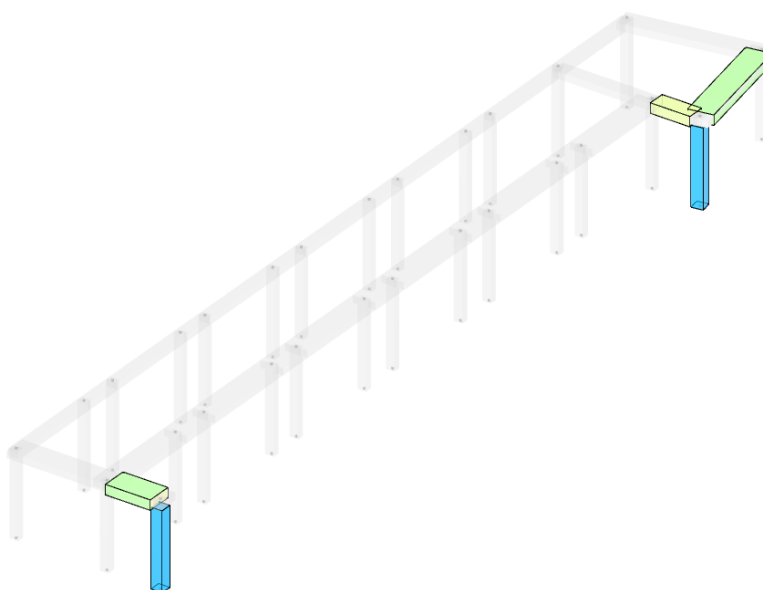
Di seguito si presentano gli interventi di consolidamento strutturale che hanno come obiettivo quello di incrementare la capacità sismica dell'edificio, ottenendo l'adeguamento dell'edificio nei confronti dei carichi sismici:

- Incremento della resistenza di travi non verificate a taglio/flessione mediante fasciatura con tessuti in fibra di acciaio galvanizzato e geomalta strutturale;
- Rinforzo dei nodi perimetrali in c.a. mediante fasciatura con tessuti in fibra di acciaio galvanizzato e geomalta strutturale;
- Incremento della resistenza di pilastri non verificati a taglio/flessione mediante incamiciatura in c.a.;
- Realizzazione di nuova struttura in c.a. con rifacimento della copertura del Corpo B;
- Realizzazione di giunto sismico da porre tra il Corpo A ed il Corpo B;
- Realizzazione di giunto sismico da porre tra il Corpo A e il Corpo C;
- Sostituzione di alcuni bulloni e piastre costituenti i collegamenti degli elementi in acciaio del Corpo C.

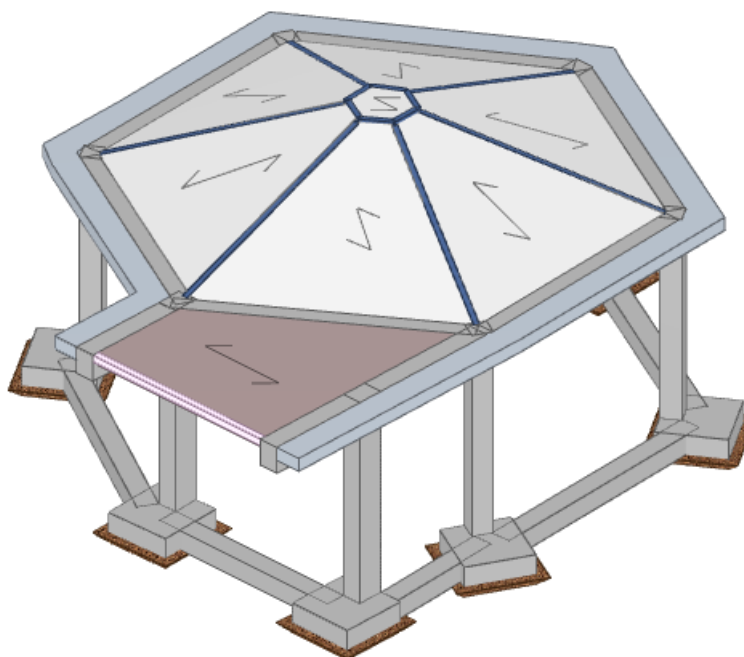
10. MODELLAZIONE SISMICA ALLO STATO DI PROGETTO

A seguito delle problematiche riscontrate, in tale elaborato si riporta la modellazione dei corpi di fabbrica con l'inserimento degli interventi previsti al fine del raggiungimento dell'adeguamento sismico nel rispetto dei D.M. Min. LL. PP. 17 Gennaio 2018. Pertanto, si riportano delle viste tridimensionali dei corpi strutturali ove sono evidenziati gli elementi oggetto di intervento. Per una maggiore comprensione degli interventi previsti su tali elementi strutturali, si rimanda alle tavole grafiche dedicate.

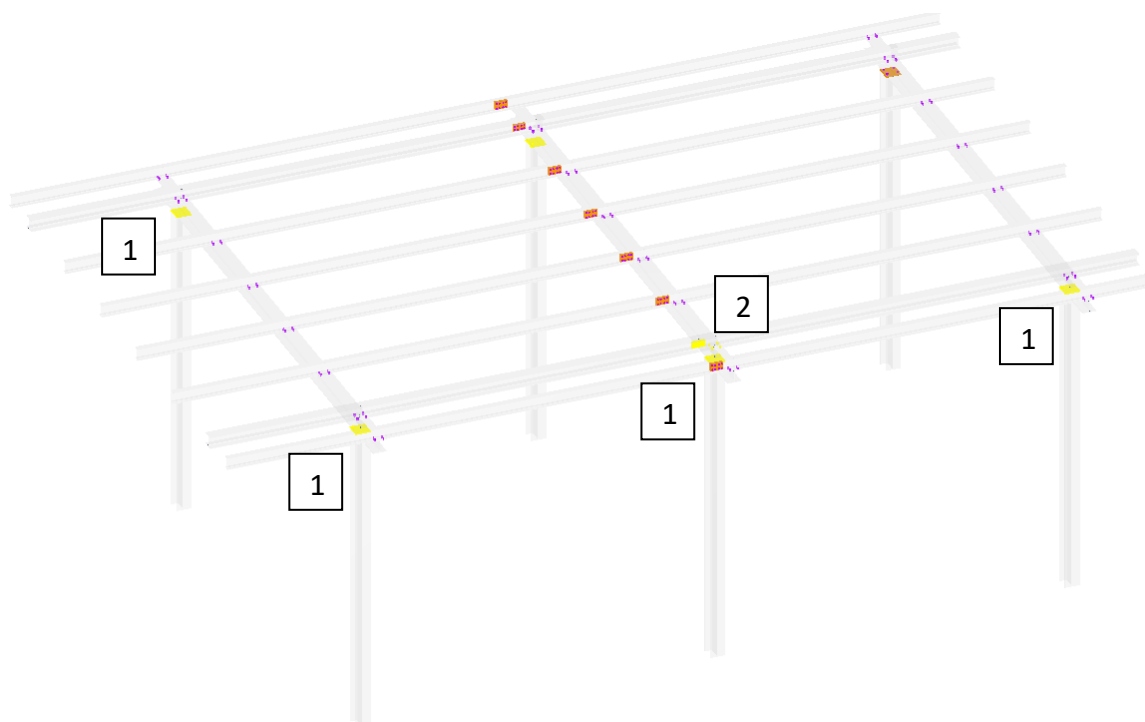
CORPO A



CORPO B



CORPO C



In particolare, i collegamenti su cui bisogna intervenire, sono di due tipologie:

1. collegamento trave-pilastro
2. collegamento trave-trave

11. DETERMINAZIONE DEGLI INDICI DI RISCHIO SISMICO ALLO 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, per ciascun corpo:

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

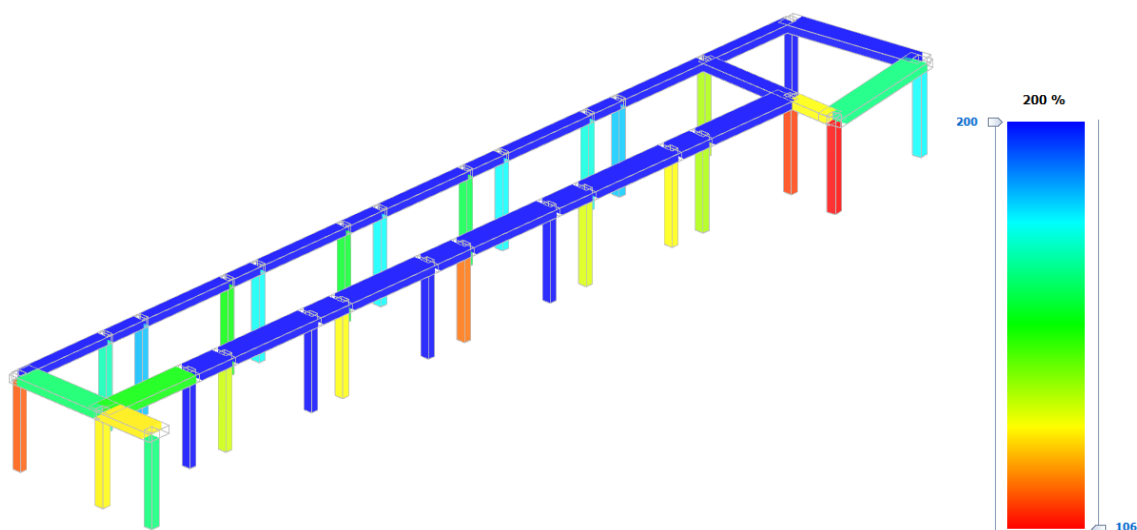
CORPO A

Periodi fondamentali e masse partecipanti				
Direzione	Periodo [s]	Modo di vibrare	Masse partecipanti [%]	Coefficiente di partecipazione
X	0.204	2	95.31	352.52
Y	0.240	1	99.29	359.80

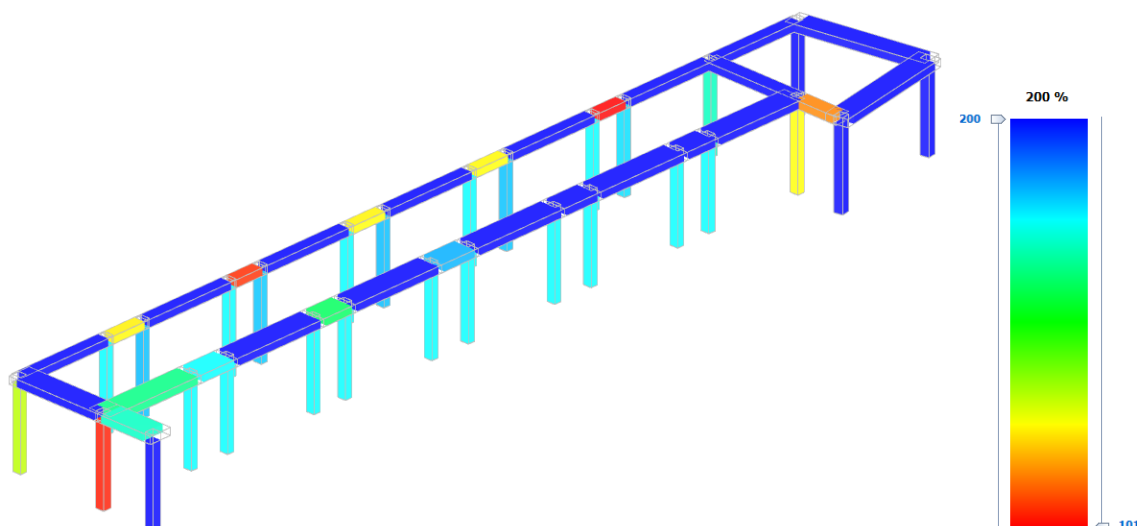
Capacità - Entità dell'azione sismica sostenibile				
SL	Tipo di rottura	Materiale/Terreno	PGA _C [a _g /g]	T _{RC} [anni]
SLD	Spostamento Interpiano (SLD)	-	0.1850	218
SLO	Spostamento Interpiano (SLO)	-	0.1047	68
SLV	Flessione o Pressoflessione	CA	0.2880	839
SLV	Taglio	CA	0.2743	725

Indicatori di rischio sismico			
Stato Limite	ζ _E (α _{PGA})	α _{TR}	
SLO	1.250	1.184	
SLD	1.673	1.549	
SLV	1.006	1.007	

ACCELERAZIONE DI COLLASSO CAPACE PER PRESSOFLESSIONE C.A. – STATO DI PROGETTO



ACCELERAZIONE DI COLLASSO CAPACE PER TAGLIO C.A. – STATO DI PROGETTO



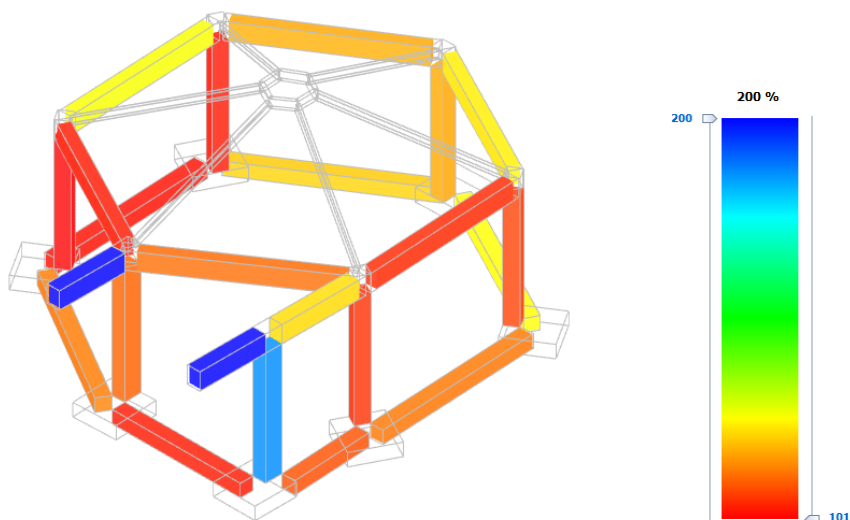
CORPO B

Periodi fondamentali e masse partecipanti				
Direzione	Periodo	Modo di vibrare	Masse partecipanti	Coefficiente di partecipazione
	[s]		[%]	
X	0.353	2	67.73	180.61
Y	0.330	1	67.81	180.72

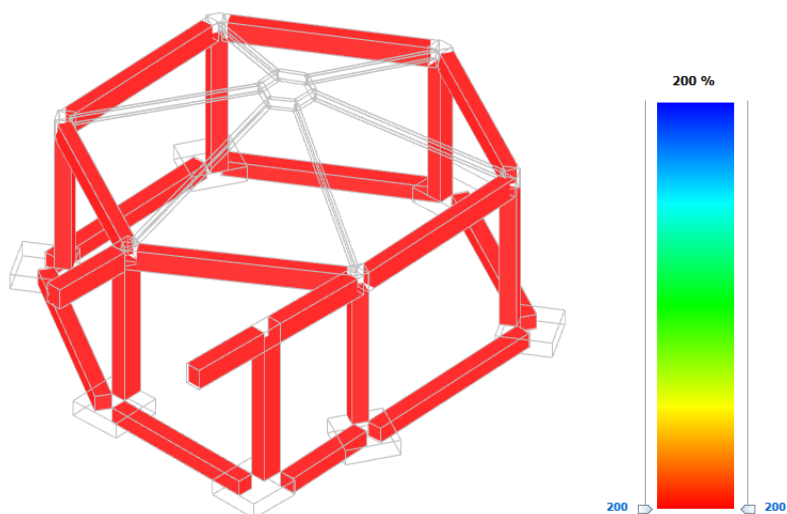
Capacità - Entità dell'azione sismica sostenibile				
SL	Tipo di rottura	Materiale/Terreno	PGA _c	T _{RC}
			[a _g /g]	[anni]
SLD	Spostamento Interpiano (SLD)	-	0.2658	563
SLO	Spostamento Interpiano (SLO)	-	0.1733	187
SLV	Carico Limite Terreno	TER	5.4597	>2475
SLV	Flessione o Pressoflessione	CA	0.2755	734
SLV	Taglio	CA	0.8896	>2475
SLV	Rottura del Nodo	CA	0.4026	>2475
SLV	Flessione o Pressoflessione	AC	1.6426	>2475
SLV	Taglio	AC	5.5469	>2475
SLV	Instabilità ACCIAIO	AC	1.9296	>2475

Indicatori di rischio sismico				
Stato Limite	$\zeta_E (\alpha_{PGA})$		α_{TR}	
SLO	2.069		1.793	
SLD	2.403		2.285	
SLV	1.010		1.013	

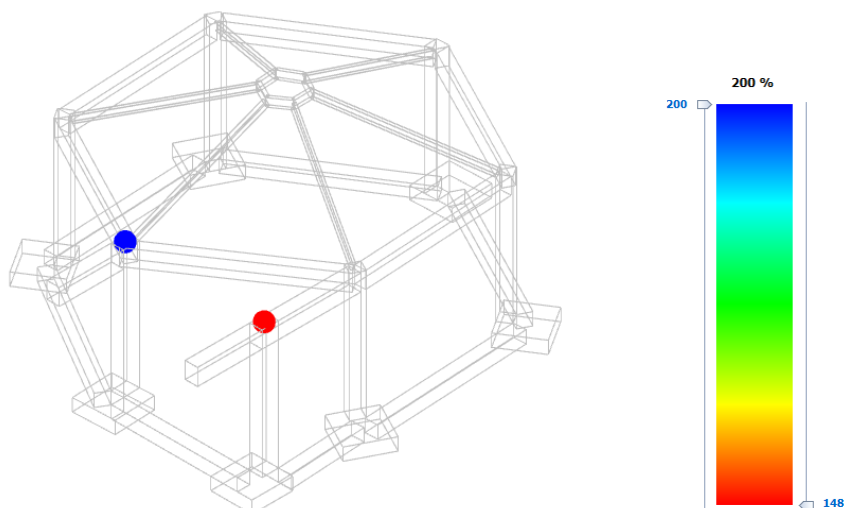
ACCELERAZIONE DI COLLASSO CAPACE PER PRESSOFLESSIONE C.A. – STATO DI PROGETTO



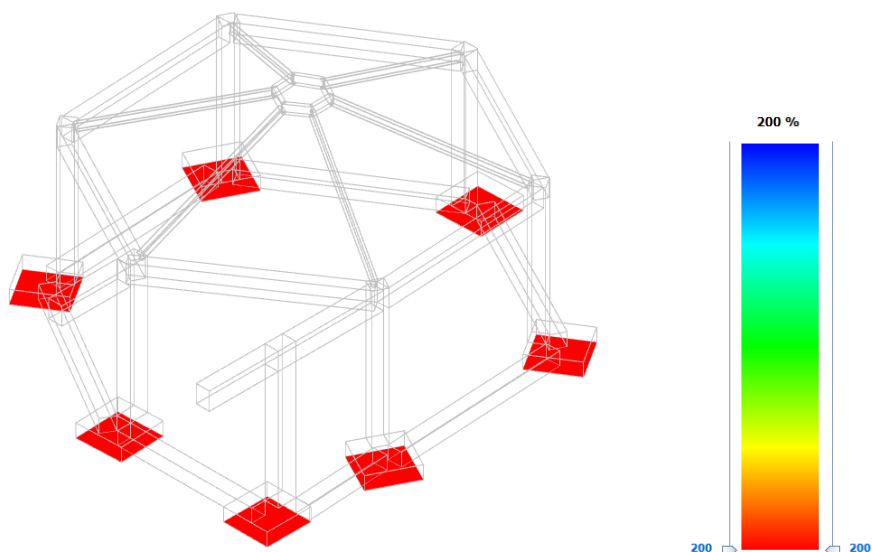
ACCELERAZIONE DI COLLASSO CAPACE PER TAGLIO C.A. – STATO DI PROGETTO



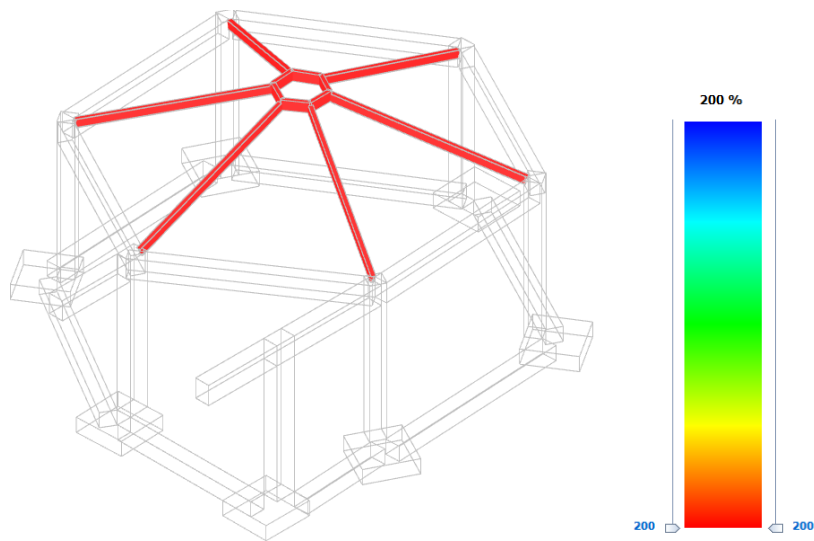
ACCELERAZIONE DI COLLASSO CAPACE PER ROTTURA DEL NODO IN C.A. – STATO DI PROGETTO



ACCELERAZIONE DI COLLASSO CAPACE PER CARICO LIMITE DEL TERRENO – STATO DI PROGETTO



ACCELERAZIONE DI COLLASSO CAPACE PER PRESSOFLESSIONE E TAGLIO ACCIAIO – STATO DI PROGETTO



CORPO C

Periodi fondamentali e masse partecipanti

Direzione	Periodo	Modo di vibrare	Masse partecipanti	Coefficiente di partecipazione
	[s]		[%]	
X	0.707	1	99.25	118.26
Y	0.427	2	75.83	103.37

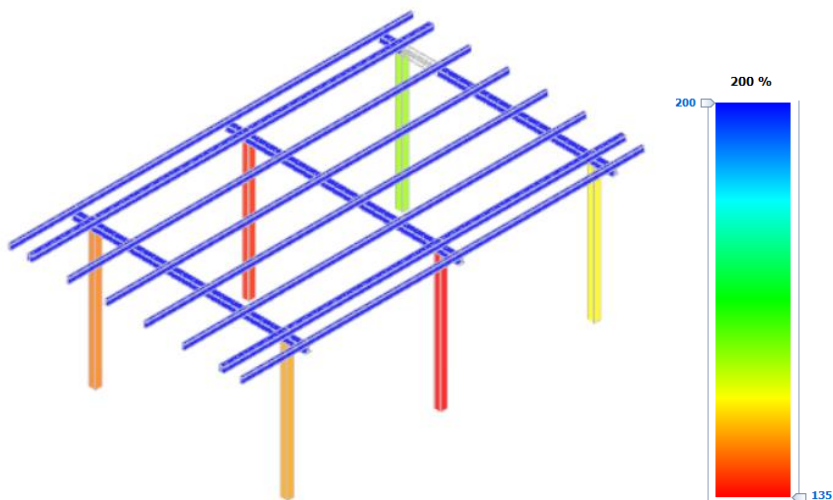
Capacità - Entità dell'azione sismica sostenibile

SL	Tipo di rottura	Materiale/Terreno	PGA _c	T _{RC}
			[a _g /g]	[anni]
SLV	Flessione o Pressoflessione	AC	0.3685	1903
SLV	Taglio	AC	5.9533	>2475
SLV	Instabilità ACCIAIO	AC	0.4744	>2475
SLV	Collegamenti - Connettori	AC	0.2770	746
SLV	Collegamenti - Cordon	-	0.4261	>2475
SLV	Collegamenti - Punzonamento Beam	AC	0.5882	>2475
SLV	Collegamenti - Rifollamento Beam	AC	0.4516	>2475
SLV	Collegamenti - Punzonamento Piastre	-	0.5641	>2475
SLV	Collegamenti - Rifollamento Piastre	-	0.3160	1127
SLV	Collegamenti - Tensioni	-	0.2812	780
SLV	Collegamenti - Flessione	-	54.5381	>2475

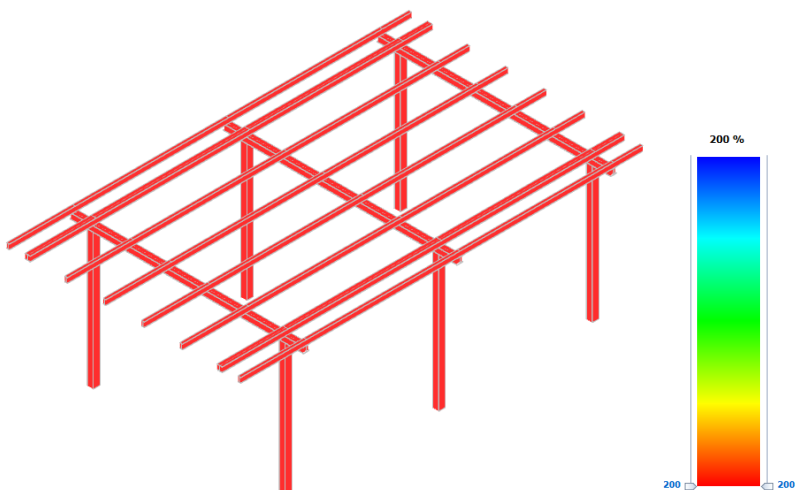
Indicatori di rischio sismico

Stato Limite	ζ _{SE} (α _{PGA})	α _{TR}
SLO	> 100	> 100
SLD	> 100	> 100
SLV	1.016	1.019

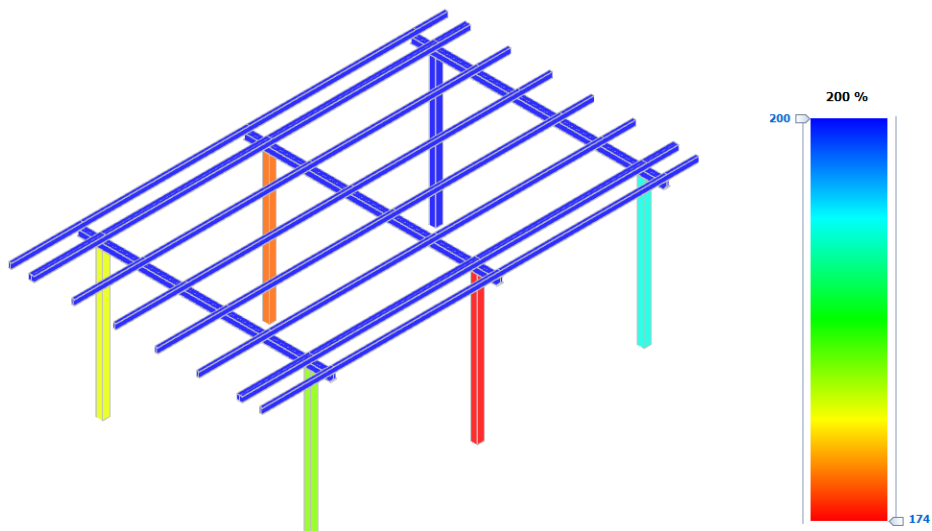
ACCELERAZIONE DI COLLASSO CAPACE PER FLESSIONE RETTA E DEVIATA (ELEMENTI IN ACCIAIO)



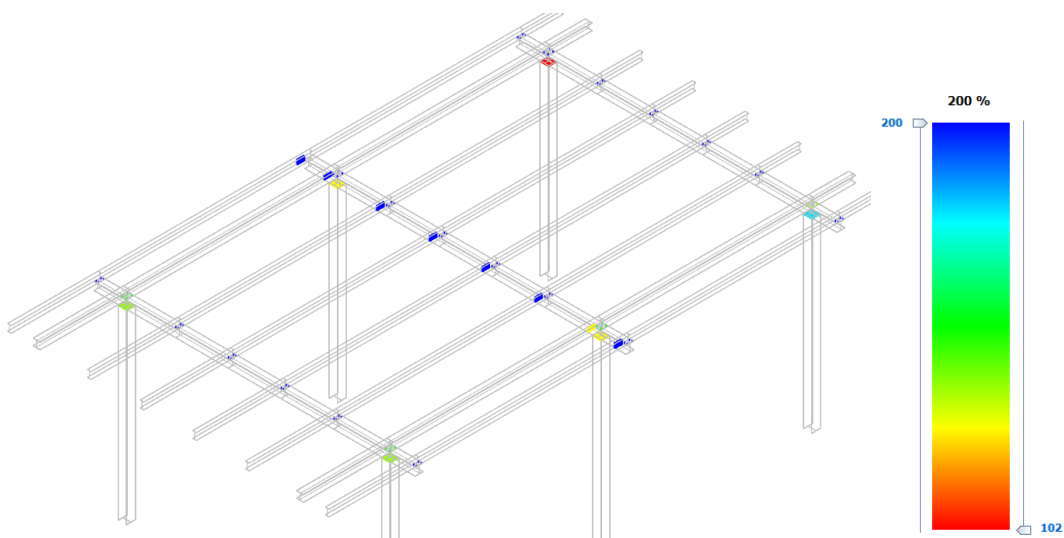
ACCELERAZIONE DI COLLASSO CAPACE PER TAGLIO (ELEMENTI IN ACCIAIO)



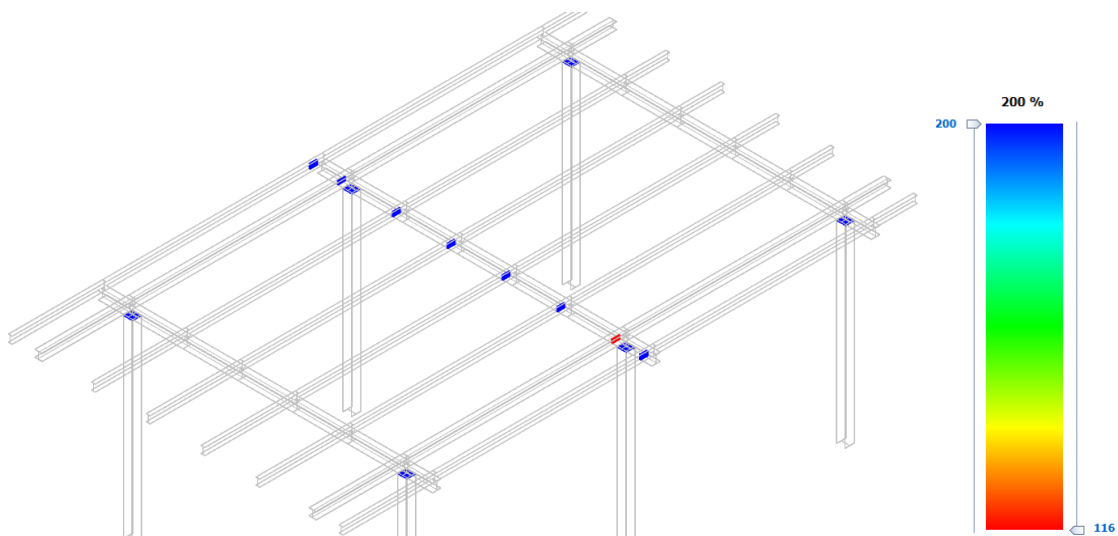
ACCELERAZIONE DI COLLASSO CAPACE PER INSTABILITÀ (ELEMENTI IN ACCIAIO)



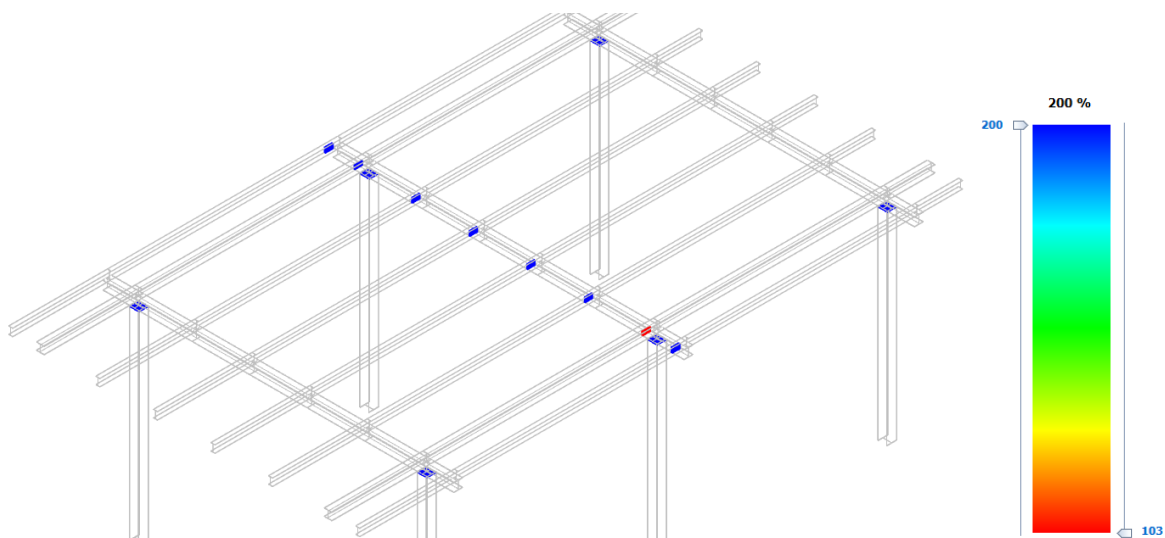
ACCELERAZIONE DI COLLASSO CAPACE CONNETTORI (ELEMENTI IN ACCIAIO)



ACCELERAZIONE DI COLLASSO CAPACE RIFOLLAMENTO PIASTRE (ELEMENTI IN ACCIAIO)



ACCELERAZIONE DI COLLASSO CAPACE TENSIONI (ELEMENTI IN ACCIAIO)



12. CLASSIFICAZIONE DEL RISCHIO SISMICO ALLO STATO DI PROGETTO

Si riportano di seguito 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:

CORPO A:

$PGA_c(SLV)$	$PGA_d(SLV)$	IS-V
0.2743	0.2727	100.59

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

CORPO B:

$PGA_c(SLV)$	$PGA_d(SLV)$	IS-V
0.2755	0.2727	101.02

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

CORPO C:

$PGA_c(SLV)$	$PGA_d(SLV)$	IS-V
0.2770	0.2727	101.56

In base al valore di IS-V è stato possibile assegnare una **classe di rischio** pari a **A+** (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:

- 5) 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 $PGA_D(SLD)$]:

CORPO A:

Stato Limite	$PGA_C [a_g/g]$	$PGA_D [a_g/g]$
SLV	0.2743	0.2727
SLD	0.1850	0.1106

CORPO B:

Stato Limite	$PGA_C [a_g/g]$	$PGA_D [a_g/g]$
SLV	0.2755	0.2727
SLD	0.2658	0.1106

CORPO C:

Stato Limite	PGA _C [a _g /g]	PGA _D [a _g /g]
SLV	0.2770	0.2727
SLD	1000.000	0.1106

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

$T_{RC}(SLV)$	$T_{RC}(SLD)$
$\max \left[T_{RD}(SLV) \cdot \left(\frac{PGA_C(SLV)}{PGA_D(SLV)} \right)^\eta ; 10 \text{ anni} \right]$	$\min \left[T_{RD}(SLD) \left(\frac{PGA_C(SLD)}{PGA_D(SLD)} \right)^\eta ; T_{RC}(SLV) \right] > 10 \text{ anni}$

dove:

$\eta = 1/0,490$	se	$a_g > 0,25g$
$\eta = 1/0,430$	se	$0,15g < a_g \leq 0,25g$
$\eta = 1/0,356$	se	$0,05g < a_g \leq 0,15g$
$\eta = 1/0,340$	se	$a_g \leq 0,05g$

7) 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.

CORPO A:

Stato Limite	SL	T_{RC}	λ	C_R
		[anni]	[anni] ⁻¹	[%]
Stato Limite di Ricostruzione	SLR	1'473	0.000679	100
Stato Limite di Collasso	SLC	1'473	0.000679	80
Stato Limite di Salvaguardia della Vita	SLV	722	0.001385	50
Stato Limite di Danno	SLD	318	0.003144	15
Stato Limite di Operatività	SLO	190	0.005250	7
Stato Limite di Inizio Danno	SLID	10	0.100000	0

CORPO B:

Stato Limite	SL	T_{RC}	λ	C_R
		[anni]	[anni] ⁻¹	[%]
Stato Limite di Ricostruzione	SLR	1'488	0.000672	100
Stato Limite di Collasso	SLC	1'488	0.000672	80
Stato Limite di Salvaguardia della Vita	SLV	729	0.001372	50
Stato Limite di Danno	SLD	729	0.001372	15
Stato Limite di Operatività	SLO	437	0.002291	7
Stato Limite di Inizio Danno	SLID	10	0.100000	0

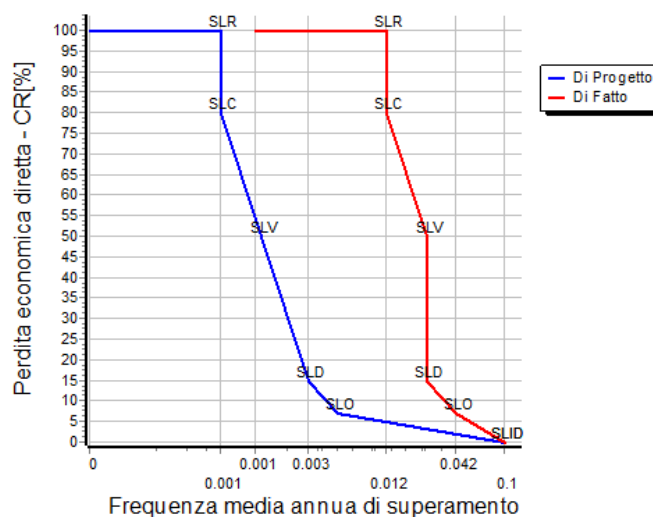
CORPO C:

Stato Limite	SL	T_{RC}	λ	C_R
		[anni]	[anni] ⁻¹	[%]
Stato Limite di Ricostruzione	SLR	1'506	0.000664	100
Stato Limite di Collasso	SLC	1'506	0.000664	80
Stato Limite di Salvaguardia della Vita	SLV	738	0.001355	50
Stato Limite di Danno	SLD	738	0.001355	15
Stato Limite di Operatività	SLO	442	0.002262	7
Stato Limite di Inizio Danno	SLID	10	0.100000	0

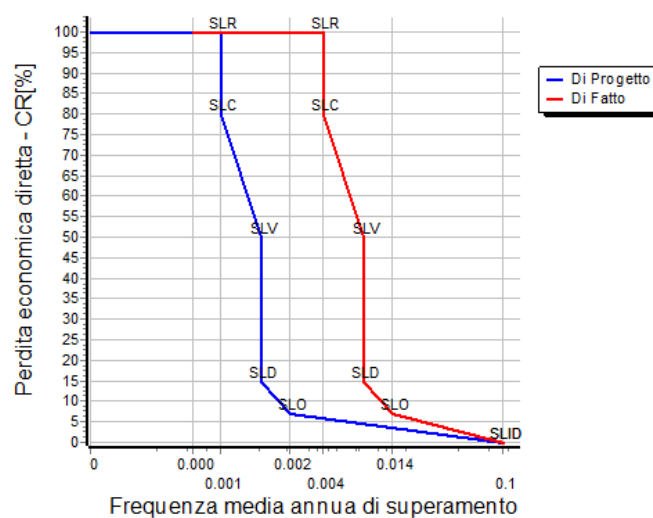
8) calcolo del PAM:

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

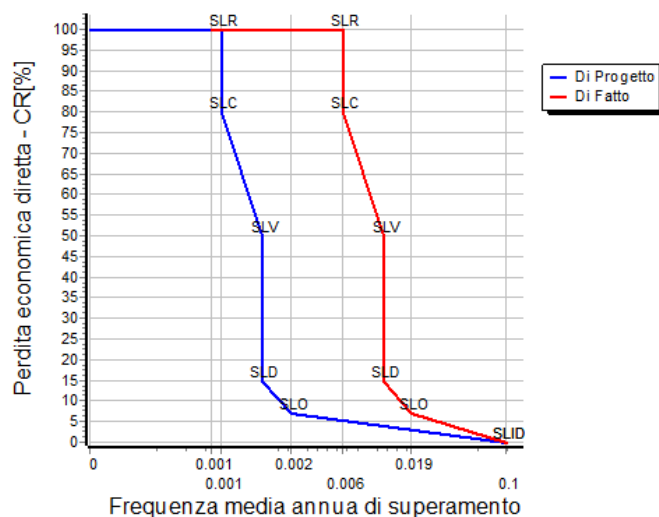
CORPO A:



CORPO B:



CORPO C:



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:

CORPO A:

PAM	Classe PAM
0.53	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	Classe PAM	CRS
A+	A	A

CORPO B:

PAM	Classe PAM
0.46	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	Classe PAM	CRS
A+	A+	A+

CORPO C:

PAM	Classe PAM
0.46	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	Classe PAM	CRS
A+	A+	A+

13. CONFRONTO TRA STATO DI FATTO E STATO DI PROGETTO

In seguito agli interventi di consolidamento previsti, la struttura ha avuto un miglioramento della capacità sismica del 72% circa (in rapporto alla domanda sismica attesa).

Di seguito si riporta una scheda riepilogativa del confronto delle situazioni ante e post-intervento di consolidamento, per ogni corpo di fabbrica

CORPO A

Tabella di confronto dati di FATTO - dati di PROGETTO

SL	D _{PGA}		C.Min _{PGA}		C.Min _{TR}		ζ _B (α _{PGA})		α _{TR}	
	FATTO	PROGETTO	FATTO	PROGETTO	FATTO	PROGETTO	FATTO	PROGETTO	FATTO	PROGETTO
SLO	0.0837	0.0837	0.0944	0.1047	56	68	1.128	1.250	1.094	1.184
SLD	0.1106	0.1106	0.1643	0.1850	167	218	1.486	1.673	1.388	1.549
SLV	0.2727	0.2727	0.0786	0.2743	44	725	0.288	1.006	0.319	1.007

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.Min_{PGA}	Capacità minima dell'edificio espressa in termini di Accelerazione al Suolo
C.Min_{TR}	Capacità minima dell'edificio espressa in termini di Periodo di Ritorno
ζ_B (α_{PGA})	Indicatori di Rischio in termini di Accelerazione al Suolo
α_{TR}	Indicatori di Rischio in termini di Tempo di Ritorno

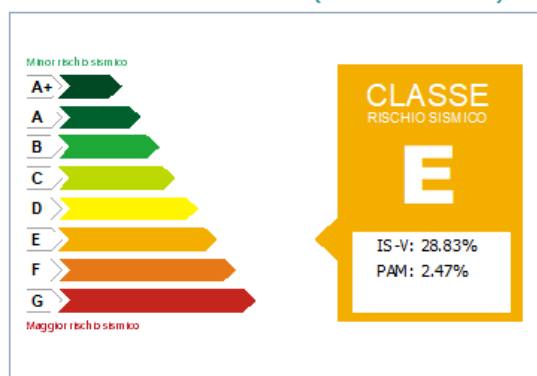
Tabella di confronto dati di FATTO - dati di PROGETTO in termini di capacità

SL	Tipo di rottura	Materiale		PGA _C		T _{RC}	
		FATTO	PROGETTO	FATTO	PROGETTO	FATTO	PROGETTO
				[Ag/g]	[Ag/g]	[anni]	[anni]
SLO	Spostamento Interpiano (SLO)	-	-	0.0944	0.1047	56	68
SLV	Flessione o Pressoflessione	CA	CA	0.1771	0.2880	223	839
SLV	Rottura del Nodo	CA	-	0.0786	-	44	-
SLD	Spostamento Interpiano (SLD)	-	-	0.1643	0.1850	167	218
SLV	Taglio	CA	CA	0.1721	0.2743	207	725

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

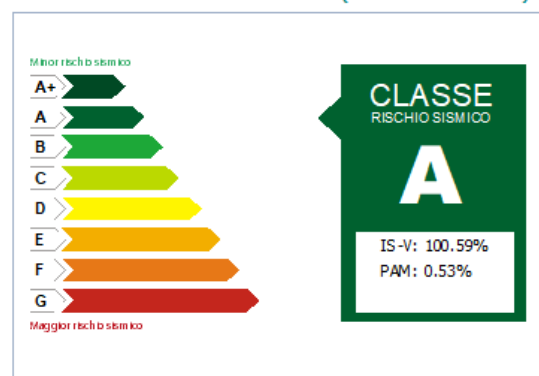
SITUAZIONE DI FATTO (ANTE intervento)



Classe IS-V = E_{IS-V}

Classe PAM = C_{PAM}

SITUAZIONE DI PROGETTO (POST intervento)



Classe IS-V = A_{IS-V}

Classe PAM = A_{PAM}

CORPO B

Tabella di confronto dati di FATTO - dati di PROGETTO

SL	D _{PGA}		C.Min _{PGA}		C.Min _{TR}		ζ _E (α _{PGA})		α _{TR}	
	FATTO	PROGETTO	FATTO	PROGETTO	FATTO	PROGETTO	FATTO	PROGETTO	FATTO	PROGETTO
SLO	0.0837	0.0837	NS	0.1733	>2475	187	NS	2.069	125.382	1.793
SLD	0.1106	0.1106	NS	0.2658	>2475	563	NS	2.403	101.689	2.285
SLV	0.2727	0.2727	0.1258	0.2755	108	734	0.461	1.010	0.462	1.013

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.Min_{PGA}	Capacità minima dell'edificio espressa in termini di Accelerazione al Suolo
C.Min_{TR}	Capacità minima dell'edificio espressa in termini di Periodo di Ritorno
ζ_E (α_{PGA})	Indicatori di Rischio in termini di Accelerazione al Suolo
α_{TR}	Indicatori di Rischio in termini di Tempo di Ritorno

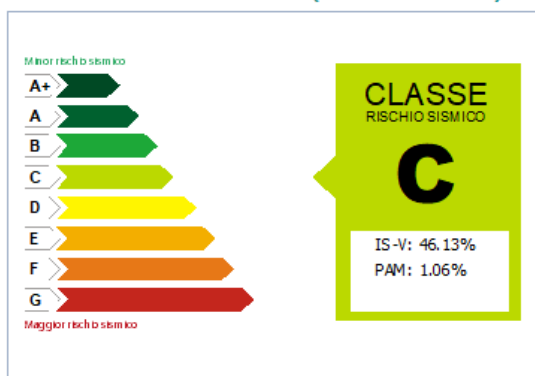
Tabella di confronto dati di FATTO - dati di PROGETTO in termini di capacità

SL	Tipo di rottura	Materiale		PGA _c		T _{RC}	
		FATTO	PROGETTO	FATTO	PROGETTO	FATTO	PROGETTO
				[Ag/g]	[Ag/g]	[anni]	[anni]
SLO	Spostamento Interpiano (SLO)	-	-	-	0.1733	-	187
SLV	Flessione o Pressoflessione	-	CA	-	0.2755	-	734
SLV	Rottura del Nodo	-	CA	-	0.4026	-	>2475
SLV	Taglio	AC	AC	2.3161	5.5469	>2475	>2475
SLD	Spostamento Interpiano (SLD)	-	-	-	0.2658	-	563
SLV	Carico Limite Terreno	-	TER	-	5.4597	-	>2475
SLV	Taglio	-	CA	-	0.8896	-	>2475
SLV	Flessione o Pressoflessione	AC	AC	0.1258	1.6426	108	>2475
SLV	Instabilità ACCIAIO	AC	AC	0.1297	1.9296	114	>2475

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

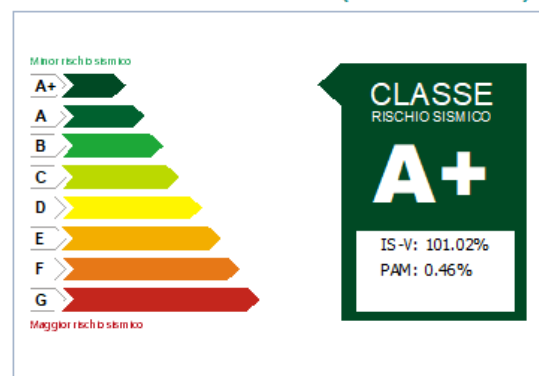
SITUAZIONE DI FATTO (ANTE intervento)



Classe IS-V = **C**_{IS-V}

Classe PAM = **B**_{PAM}

SITUAZIONE DI PROGETTO (POST intervento)



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

Classe PAM = **A+**_{PAM}

CORPO C

Tabella di confronto dati di FATTO - dati di PROGETTO

SL	D _{PGA}		C.Min _{PGA}		C.Min _{TR}		ζ _E (α _{PGA})		α _{TR}	
	FATTO	PROGETTO	FATTO	PROGETTO	FATTO	PROGETTO	FATTO	PROGETTO	FATTO	PROGETTO
SLO	0.0837	0.0837	NS	NS	>2475	>2475	NS	NS	125.382	125.382
SLD	0.1106	0.1106	NS	NS	>2475	>2475	NS	NS	101.689	101.689
SLV	0.2727	0.2727	0.1108	0.2770	83	746	0.406	1.016	0.414	1.019

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.Min_{PGA}	Capacità minima dell'edificio espressa in termini di Accelerazione al Suolo
C.Min_{TR}	Capacità minima dell'edificio espressa in termini di Periodo di Ritorno
ζ_E (α_{PGA})	Indicatori di Rischio in termini di Accelerazione al Suolo
α_{TR}	Indicatori di Rischio in termini di Tempo di Ritorno

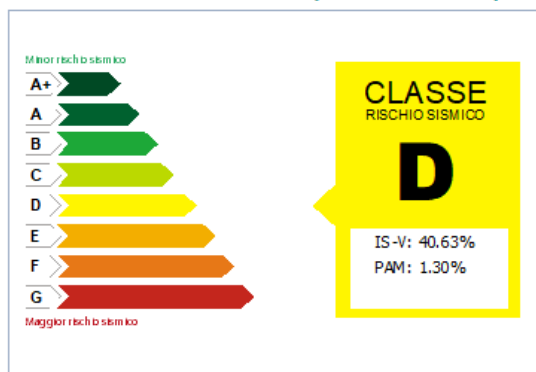
Tabella di confronto dati di FATTO - dati di PROGETTO in termini di capacità

SL	Tipo di rottura	Materiale		PGA _c		T _{RC}	
		FATTO	PROGETTO	FATTO	PROGETTO	FATTO	PROGETTO
				[Ag/g]	[Ag/g]	[anni]	[anni]
SLV	Flessione o Pressoflessione	AC	AC	0.3684	0.3685	1903	1903
SLV	Collegamenti - Cordoni	-	-	0.4342	0.4261	>2475	>2475
SLV	Collegamenti - Rifollamento Piastre	-	-	0.1255	0.3160	107	1127
SLV	Collegamenti - Connettori	AC	AC	0.1875	0.2770	258	746
SLV	Collegamenti - Punzonamento Piastre	-	-	0.4005	0.5641	>2475	>2475
SLV	Collegamenti - Flessione	-	-	54.5381	54.5381	>2475	>2475
SLV	Instabilità ACCIAIO	AC	AC	0.4743	0.4744	>2475	>2475
SLV	Collegamenti - Rifollamento Beam	AC	AC	0.4516	0.4516	>2475	>2475
SLV	Collegamenti - Tensioni	-	-	0.1108	0.2812	83	780
SLV	Taglio	AC	AC	5.9462	5.9533	>2475	>2475
SLV	Collegamenti - Punzonamento Beam	AC	AC	0.5883	0.5882	>2475	>2475

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

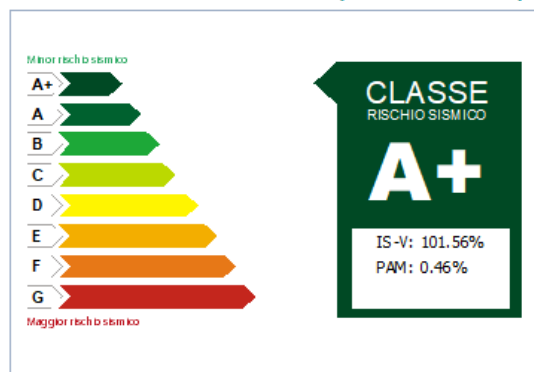
SITUAZIONE DI FATTO (ANTE intervento)



Classe IS-V = **D**_{IS-V}

Classe PAM = **B**_{PAM}

SITUAZIONE DI PROGETTO (POST intervento)



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

Classe PAM = **A+**_{PAM}

Oggetto: *Riqualificazione funzionale e messa in sicurezza del 21° circolo didattico scuola dell'infanzia "Marco Aurelio"*

Si rilascia per gli usi consentiti dalla legge.

Il Tecnico

Ing. Rodolfo Fisciano

