

INTERVENTI DI ADEGUAMENTO SISMICO

**RELAZIONE STATO DI CONSISTENZA
REV.01**

29 settembre 2022

Il committente

Comune di Rovetta

Sede Piazza Ferrari n° 24 -24020 - Rovetta

Il tecnico

Ing. Roberto Breviario



Finanziato dall'Unione Europea
NextGenerationEU

INDICE DEI CONTENUTI

1. PREMESSA.....	3
2. DESCRIZIONE DEL FABBRICATO.....	5
3. STRUMENTAZIONE.....	10
4. SOFTWARE DI CALCOLO: sismicad	12
5. NORMATIVA DI RIFERIMENTO.....	15
7. RILIEVO ARCHITETTONICO	17
6. ANALISI DI VULNERABILITÀ SISMICA: SINTESI PERCORSO PROGETTUALE.....	18
7. PROPRIETÀ DEI MATERIALI.....	19
7.1 INDAGINE PACOMETRICA.....	19
7.2 ESTRAZIONE DI PROVINI DI CLS: CAROTAGGI.....	20
7.3 ESTRAZIONE DI CAMPIONI DI ARMATURA.....	23
7.4 INDAGINI SONREB	28
8. ANALISI DINAMICA LINEARE.....	34
9. CARATTERIZZAZIONE GEOLOGICA.....	36
10. AZIONI DI PROGETTO.....	38
10.1 CARICHI PERMANENTI	38
10.2 CARICHI VARIABILI	40
10.3 SPETTRI NTC 2018.....	45
10.3.1 VITA NOMINALE	45
10.3.2 CLASSE D'USO.....	46
10.3.3 PERIODO DI RIFERIMENTO.....	47
10.3.4 AZIONE SISMICA.....	48
11. COMBINAZIONI DI CARICO.....	53
12. MODELLAZIONE AGLI ELEMENTI FINITI.....	55
13. VERIFICHE E RISULTATI FINALI.....	73
14. CONCLUSIONI	78

1. PREMESSA

La presente relazione illustra i risultati di un'analisi di vulnerabilità sismica eseguita sull' edificio adibito a Scuola Elementare, sito in Via Papa Giovanni XXIII, c/o il comune di Rovetta, in provincia di Bergamo.

Tale analisi ha permesso di definire il livello di sicurezza della struttura alla forzante sismica.

Le proprietà dei materiali sono state ottenute dalle prove di laboratorio eseguite sui campioni estratti in sito durante la campagna di indagini a supporto della vulnerabilità sismica svolte in data 03-04/12/2018.



Facciata Sud del fabbricato

In particolare, la localizzazione e il numero di prove è stata concordata con la Committenza, considerando le attività in corso all'interno dell'edificio, nonché i limiti logistici del fabbricato, quale presenza di controsoffitti antisfondellamento non removibili di recente installazione, ed infine facendo particolare attenzione alle tematiche di seguito riportate:

- Evitare il danneggiamento eccessivo della struttura,
- Privilegiare gli elementi che svolgono un ruolo più critico nella struttura, quali generalmente i pilastri
- Limitare i margini di incertezza dei dati di prova operando con metodi diversi accoppiabili tra loro e utilizzando le varie prove per tararne altre, sostituendo quindi un determinato numero di prove distruttive con altre non distruttive.

2. DESCRIZIONE DEL FABBRICATO

L'edificio scolastico oggetto d'indagine è sito in Via Papa Giovanni XXIII, c/o il comune di Rovetta, in provincia di Bergamo.

Di seguito si riporta l'immagine satellitare con l'individuazione dei fabbricati.



Individuazione Edificio-Immagine Satellitare

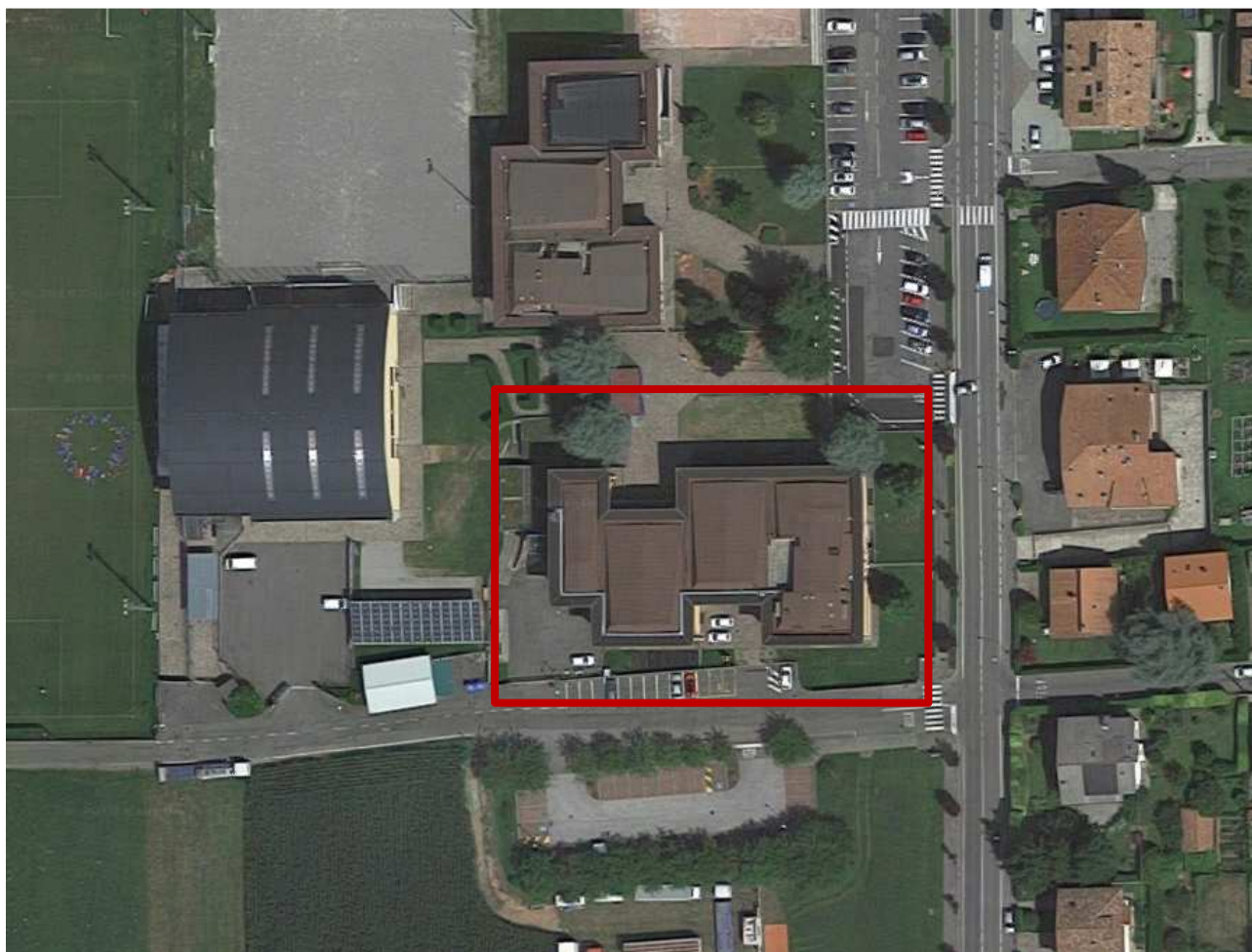
Ubicazione: Viale Papa Giovanni XXIII, 10 - Rovetta

Data: 28.03.2022

Oggetto: Progetto di adeguamento sismico – Relazione stato di consistenza

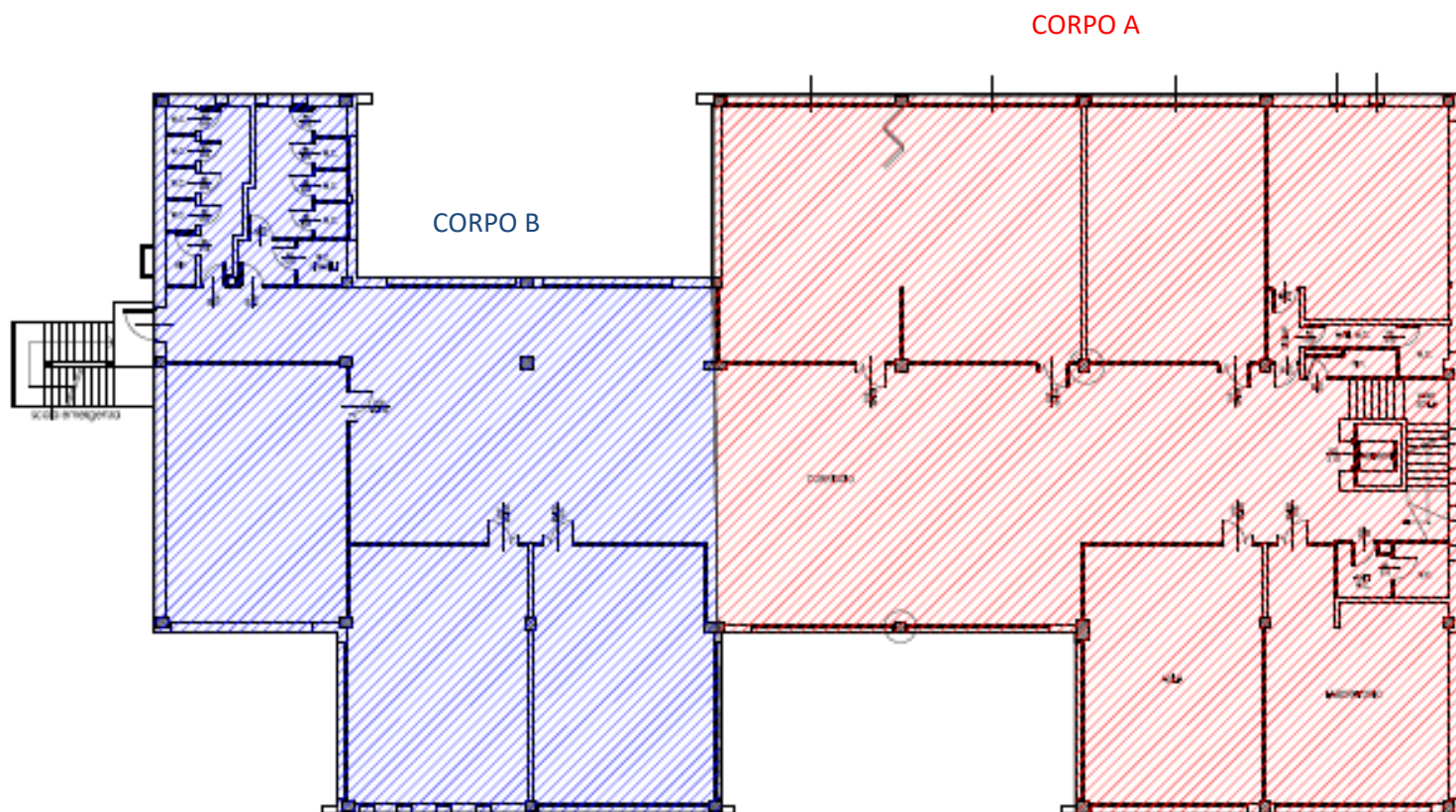
Richiedente: Scuola Primaria "A. Moro"

Pratica: 0455



Individuazione Edificio-Immagine Satellitare

Il complesso scolastico è formato da n.2 Corpi di Fabbrica distinti e sismicamente indipendenti, grazie alla presenza di un giunto di dilatazione, denominati *Corpo A* e *Corpo B*, schematizzati come di seguito:



In particolare, il *Corpo A* presenta una pianta irregolare e asimmetrica, riconducibile ad un rettangolo di lati rispettivamente 22 e 27 m, mentre il *Corpo B*, anch'esso di pianta irregolare e asimmetrica, è inscritto in un quadrato di lato 28 m.

Le due Unità Strutturali (*U.S*) individuate presentano la medesima tipologia costruttiva, avendo la comune epoca di costruzione risalente al 1982.

In particolare, entrambi gli edifici si sviluppano in altezza per circa 13 m, e sono formati da un piano seminterrato, adibito a biblioteca ed uffici ad uso della Polizia Locale, e da n.2 piani fuori terra, adibiti ad aule, di altezza interpiano costante pari a circa 3.3 m.

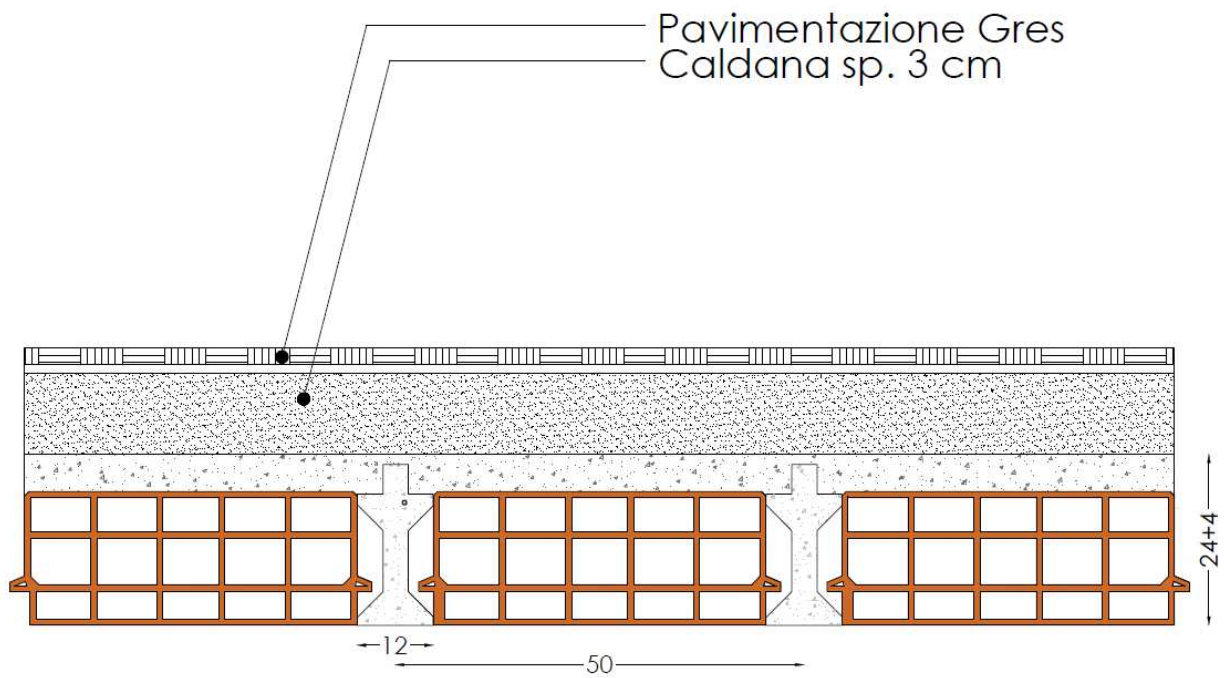
Oltre ai livelli definiti in precedenza, si aggiunge un sottotetto non accessibile e non abitabile di altezza interpiano variabile dai 1.2 m ai 3.3 m al colmo della copertura a più falde.

Le scale interne di accesso ai piani sono disposte al lato est del *Blocco A*, in posizione centrale.

La struttura portante verticale è costituita da telai in calcestruzzo armato, costituiti da pilastri di dimensione variabile e sia da travi ribassate di sezione a "T" e "L", sia da travi in spessore di sezione rettangolare.

I solai riscontrati risultano in laterocemento, con travetti di prefabbricati di tipo "Fert" in calcestruzzo di sezione 12x24 cm ed interasse 50 cm, con soletta collaborante di spessore 4

cm, a cui si aggiunge un massetto di spessore 3 cm ed una pavimentazione in gres, per un pacchetto di solaio di altezza complessiva di circa 35 cm.



3. STRUMENTAZIONE

Per l'esecuzione dell'indagine diagnostica è stata utilizzata la seguente strumentazione:

- TERMOCAMERA

- Marca FLIR MODELLO T1020
- Matricola n. 72501103
- Certificato di taratura allegato
- Lunghezza d'onda variabile: campo spettrale di operatività da 7,5 a 14 μm (LW)
- Sensibilità termica < 0,02°C a +30°C
- Sensore: 1024x768 pixels IFOV < 3 mrad

- CAROTATRICE ELETTRICA

- Marca EBM 250/2 RP 2500W

- SISTEMA DI ACQUISIZIONE ULTRASONORO

- Marca: MAE
- Modello: A5000U
- Matricola: MO43727
- N.2 sonde: emittente e ricevente di onde ultrasonore
- Barretta di taratura

- SCLEROMETRO

- Marca: DRC
- Modello: Etcha1000
- Matricola: 15MO402N
- Incudine di taratura

- PACOMETRO

Ubicazione: Viale Papa Giovanni XXIII, 10 - Rovetta

Data: 28.03.2022

Oggetto: Progetto di adeguamento sismico – Relazione stato di consistenza

Richiedente: Scuola Primaria "A. Moro"

Pratica: 0455

- Marca BOSCH
- Modello WALLSCANNER
- Matricola 130321320

- DISTANZIOMETRO LASER

- Marca Leica
- Modello: S910
- N°Serie: 5161930141-2/2

4. SOFTWARE DI CALCOLO: SISMICAD

Per la modellazione dell'edificio si è utilizzato il software *Sismicad 12.13*.

Si tratta di un programma di calcolo strutturale che nella versione più estesa è dedicato al progetto e verifica degli elementi in cemento armato, acciaio, muratura e legno di opere civili. Il programma utilizza come analizzatore e solutore del modello strutturale un proprio solutore agli elementi finiti tridimensionale fornito col pacchetto.

Il programma è sostanzialmente diviso in tre moduli: un pre-processore che consente l'introduzione della geometria e dei carichi e crea il file dati di input al solutore; il solutore agli elementi finiti; un post processore che a soluzione avvenuta elabora i risultati eseguendo il progetto e la verifica delle membrature e producendo i grafici ed i tabulati di output.

Il programma schematizza la struttura attraverso l'introduzione nell'ordine di fondazioni, poste anche a quote diverse, platee, platee nervate, plinti e travi di fondazione poggianti tutte su suolo elastico alla Winkler, di elementi verticali, pilastri e pareti in c.a. anche con fori, di orizzontamenti costituiti da solai orizzontali e inclinati (falde), e relative travi di piano e di falda.

I nodi strutturali possono essere connessi solo a travi, pilastri e pareti, simulando così impalcati infinitamente deformabili nel piano, oppure a elementi lastra di spessore dichiarato dall'utente simulando in tal modo impalcati a rigidità finita.

I nodi appartenenti agli impalcati orizzontali possono essere connessi rigidamente ad uno o più nodi principali giacenti nel piano dell'impalcato; generalmente un nodo principale coincide con il baricentro delle masse.

Per quanto concerne i carichi, in fase di immissione dati, vengono definite, in numero a scelta dell'utente, condizioni di carico elementari le quali, in aggiunta alle azioni sismiche e variazioni termiche, vengono combinate attraverso coefficienti moltiplicativi per fornire le combinazioni richieste per le verifiche successive.

L'effetto di disassamento delle forze orizzontali, indotto ad esempio dai torcenti di piano per

costruzioni in zona sismica, viene simulato attraverso l'introduzione di eccentricità planari aggiuntive le quali costituiscono ulteriori condizioni elementari di carico da cumulare e combinare.

Tipologicamente sono ammessi sulle travi e sulle pareti carichi uniformemente distribuiti e carichi trapezoidali; lungo le aste e nei nodi di incrocio delle membrature sono anche definibili componenti di forze e coppie concentrate comunque dirette nello spazio.

Sono previste distribuzioni di temperatura, di intensità a scelta dell'utente, agenti anche su singole porzioni di struttura.

Il calcolo delle sollecitazioni si basa sulle seguenti ipotesi e modalità:

- travi e pilastri deformabili a sforzo normale, flessione deviata, taglio deviato e momento torcente;
 - le pareti in muratura possono essere schematizzate con elementi lastra-piastra con spessore flessionale ridotto rispetto allo spessore membranale;
 - la deformabilità nel proprio piano di piani dichiarati non infinitamente rigidi e di falde (piani inclinati) può essere controllata attraverso la introduzione di elementi membranali nelle zone di solaio.
 - I disassamenti tra elementi asta sono gestiti automaticamente dal programma attraverso l'introduzione di collegamenti rigidi locali;
 - alle estremità di elementi asta è possibile inserire svincolamenti tradizionali così come cerniere parziali (che trasmettono una quota di ciò che trasmetterebbero in condizioni di collegamento rigido) o cerniere plastiche;
 - alle estremità di elementi bidimensionali è possibile inserire svincolamenti con cerniere parziali del momento flettente avente come asse il bordo dell'elemento;
 - il calcolo degli effetti del sisma è condotto, a scelta dell'utente, con analisi statica lineare, con analisi dinamica modale o con analisi statica non lineare, in accordo alle varie normative adottate.
-

Ubicazione: Viale Papa Giovanni XXIII, 10 - Rovetta

Data: 28.03.2022

Oggetto: Progetto di adeguamento sismico – Relazione stato di consistenza

Richiedente: Scuola Primaria "A. Moro"

Pratica: 0455

Le masse, nel caso di impalcati dichiarati rigidi sono concentrate nei nodi principali di piano altrimenti vengono considerate diffuse nei nodi giacenti sull'impalcato stesso.

5. NORMATIVA DI RIFERIMENTO

Per l'esecuzione della prova sono state seguite le normative di riferimento di seguito riportate:

- **D.M 17/01/2018** – Aggiornamento delle Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni
- **D.Lgs 09/04/2008 n.81** – Testo Unico sulla Salute e Sicurezza sul lavoro
- **Circolare 2 febbraio 2009, n. 617** - Istruzioni per l'applicazione delle “Nuove norme tecniche per le costruzioni” di cui al D.M. 14 gennaio 2008;
- **UNI EN ISO 9712** – Prove non distruttive - Qualificazione e certificazione del personale addetto alle prove non distruttive
- **UNI EN 16714-1** Prove non distruttive – Prove termografiche- Parte 1: Principi generali
- **UNI EN 16714-2** Prove non distruttive – Prove termografiche- Parte 2: Strumentazione
- **UNI EN 13187** – Prestazione termica degli edifici - Rilevazione qualitativa delle irregolarità termiche negli involucri edilizi - Metodo infrarosso
- **UNI 12504-1** Prove sul calcestruzzo nelle strutture - Parte 1: Carote - Prelievo, esame e prova di compressione
- **UNI 12504-2** Prove sul calcestruzzo nelle strutture - Parte 2: Determinazione dell'indice sclerometrico.
- **UNI 12504-4** – Prove sul calcestruzzo nelle strutture - Parte 4: Determinazione della velocità di propagazione degli impulsi ultrasonici
- **BS 1881- 204** - Testing concrete. Recommendations on the use of electromagnetic covermeters
- **BS 1881-207** – Testing Concrete Part 207. Recommendation for the Assessment of Concrete Strength by Near-to- Surface Tests.

Ubicazione: Viale Papa Giovanni XXIII, 10 - Rovetta

Data: 28.03.2022

Oggetto: Progetto di adeguamento sismico – Relazione stato di consistenza

Richiedente: Scuola Primaria "A. Moro"

Pratica: 0455

- **Din 1048-2** : Testing concrete; testing of hardened concrete.

7. RILIEVO GEOMETRICO E ARCHITETTONICO

Il rilievo geometrico-architettonico è stato riferito sia alla geometria complessiva dell'organismo che a quella degli elementi strutturali portanti, comprendendo i rapporti con le strutture in aderenza.

In generale si è eseguito un rilievo strutturale e architettonico, in cui sono riportati:

- Carpenteria e geometria di travi e pilastri
- Spessore delle Murature di Tamponamento
- Orditura dei solai

Tali rilievi sono visionabili nelle tavole in allegato.

6. ANALISI DI VULNERABILITÀ SISMICA: SINTESI PERCORSO PROGETTUALE

Lo studio riguarda la valutazione della vulnerabilità sismica di un edificio in calcestruzzo armato gettato in opera per definire il livello operativo della struttura.

Il modello di calcolo è stato sviluppato tramite software *Sismicad 12.13* con il quale è stata condotta un'Analisi Dinamica Lineare in funzione della tipologia, della geometria e della risposta modale delle unità strutturali del fabbricato.

In relazione alle ipotesi sulla scelta del metodo di analisi e delle caratteristiche dell'edificio, lo scrivente è consapevole come i metodi di analisi lineare siano molto restrittivi, tendendo a sottostimare le capacità di resistenza e deformative dei materiali, non considerando sia effetti di tipo meccanico (deformazioni plastiche, fessurazioni, snervamenti), che effetti di tipo geometrico (effetti del secondo ordine).

L'Analisi Pushover, presenta comunque dei limiti di applicabilità imposti dalla normativa: essa infatti consiste nell'applicazione di due distribuzioni di forze d'inerzia, ricadenti una nelle distribuzioni principali (Gruppo 1) e l'altra nelle secondarie (Gruppo 2), di cui la prima applicabile solo nel caso in cui il modo di vibrare fondamentale nella direzione considerata abbia una massa partecipante pari almeno al 75%.

Avendo quindi le U.S una massa partecipante rispettivamente pari a 50% in direzione Y per il Blocco A e 59.5% in direzione Y per il Blocco B, non sono rispettati i limiti normativi di applicabilità dell'analisi statica non lineare, e sono quindi stati modellati tramite *un'Analisi Dinamica Lineare*.

In generale si è deciso di raggiungere un livello di conoscenza **LC2**; così come previsto da NTC 2018, questo livello si intende raggiunto quando siano effettuati il rilievo geometrico, verifiche in situ estese sui dettagli costruttivi ed indagini in situ estese sulle proprietà dei materiali, per cui viene definito il corrispondente fattore di confidenza pari a **FC = 1.2**

7. PROPRIETÀ DEI MATERIALI

Le proprietà meccaniche del calcestruzzo e delle armature che costituiscono gli elementi portanti dell'edificio sono state ottenute dalle prove distruttive e non distruttive eseguite in sito.

Di seguito sono elencate e descritte le tipologie di prove eseguite, mentre la localizzazione delle stesse in planimetria è riportata negli elaborati grafici in allegato

7.1 INDAGINE PACOMETRICA

In generale tale indagine consente di rilevare la presenza delle armature, la loro profondità, ovvero il copriferro, e di stimarne il diametro.

Di seguito si descrive la procedura operativa certificata eseguita dagli operatori certificati:

- Rimozione dell'intonaco e preparazione della superficie;
- Applicazione del pacometro in direzione perpendicolare alle armature longitudinali per determinarne il posizionamento, profondità e interasse.
- Applicazione del pacometro in direzione perpendicolare alle staffe per determinarne il passo e profondità.

In allegato si riportano le sezioni ed i particolari costruttivi degli elementi primari indagati.

7.2 ESTRAZIONE DI PROVINI DI CLS: CAROTAGGI

In generale i prelievi di provini di calcestruzzo sono eseguiti al fine di determinare il valore della resistenza a compressione di un conglomerato cementizio derivante da prove di compressione effettuate in laboratorio su provini cilindrici (carote) prelevati in sito mediante macchina carotatrice.

Le modalità di estrazione di carote sono riportate dalle UNI EN 12504-1.

L'operazione di carotaggio deve essere eseguita in modo tale da non compromettere i risultati della prova di compressione.

Di seguito si descrive la procedura operativa certificata eseguita dagli operatori certificati:

- Rimozione dell'intonaco e preparazione della superficie;
- Indagine pacometrica al fine di determinare la presenza e posizione delle armature;
- Fissaggio rigido della colonna della carotatrice per limitare la presenza di vibrazioni durante l'esecuzione della prova;
- Esecuzione della prova raffreddando costantemente la punta della carotatrice per evitare eventuali surriscaldamenti;
- Estrazione della carota e controllo dei seguenti parametri:
 - $D \geq 3 d_{max}$ (= diametro massimo dell'inerte)
 - $H \approx 2 D$ oppure $H \approx D$ (non sono ammessi valori intermedi)
- Prova di carbonatazione attraverso l'uso della Fenolftaleina.

Successivamente sono riportati valori, per ogni carota, della relativa lunghezza e profondità di carbonatazione (ove presente) oltre alla dimensione massima degli aggregati e valore di rottura a compressione fornita dal certificato di laboratorio consultabile in allegato.

Ubicazione: Viale Papa Giovanni XXIII, 10 - Rovetta

Data: 28.03.2022

Oggetto: Progetto di adeguamento sismico – Relazione stato di consistenza

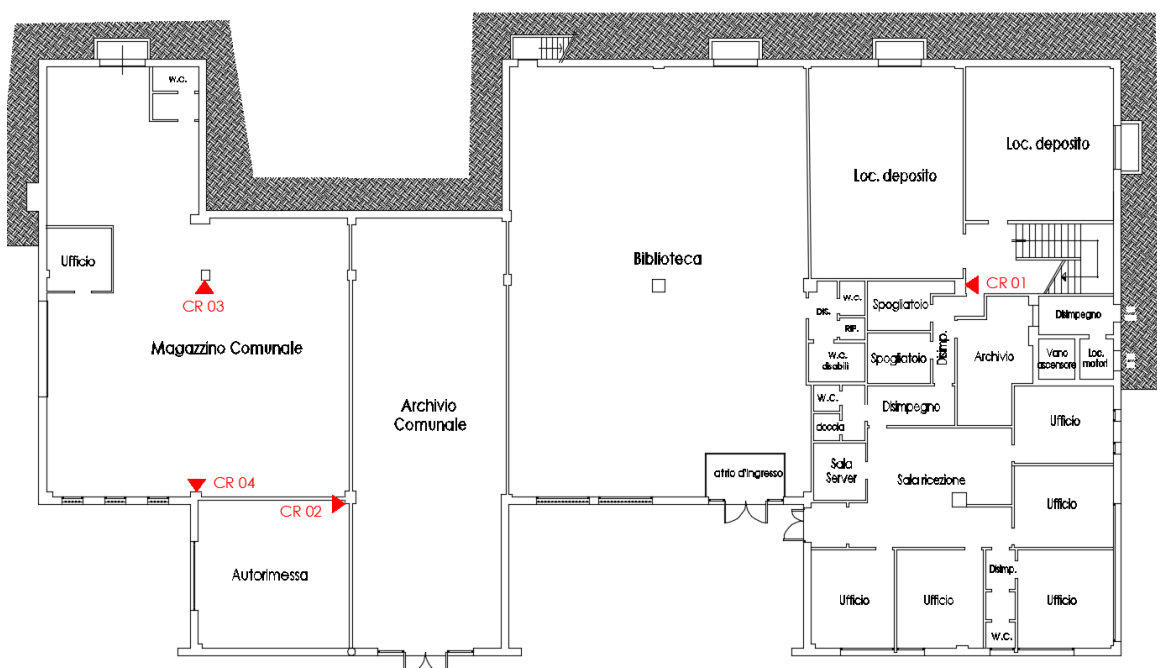
Richiedente: Scuola Primaria "A. Moro"

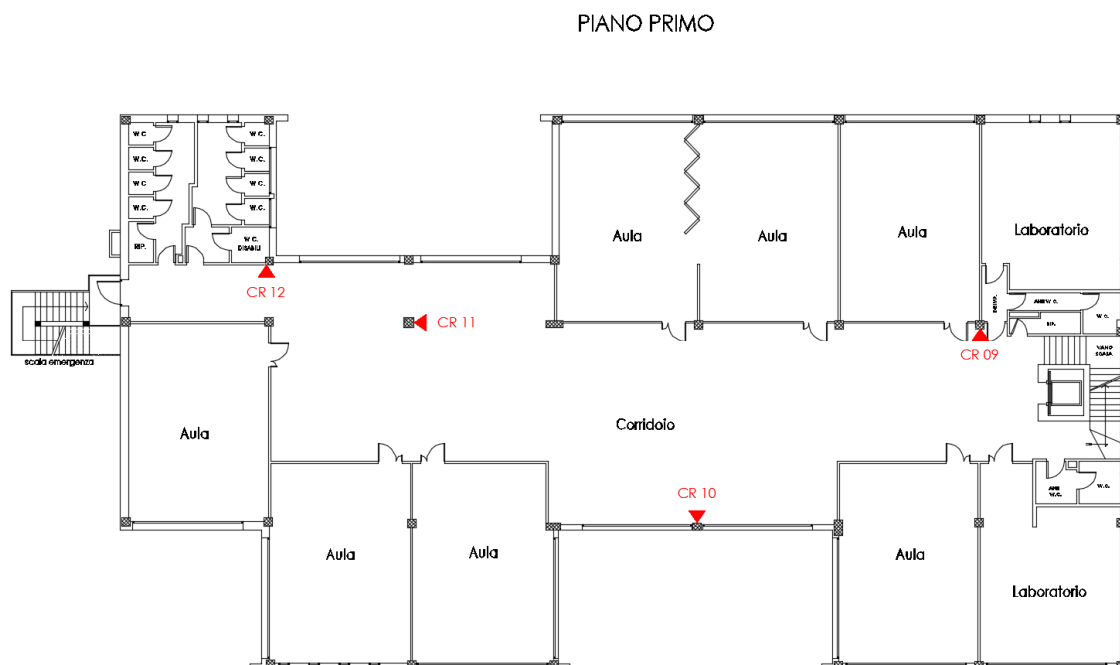
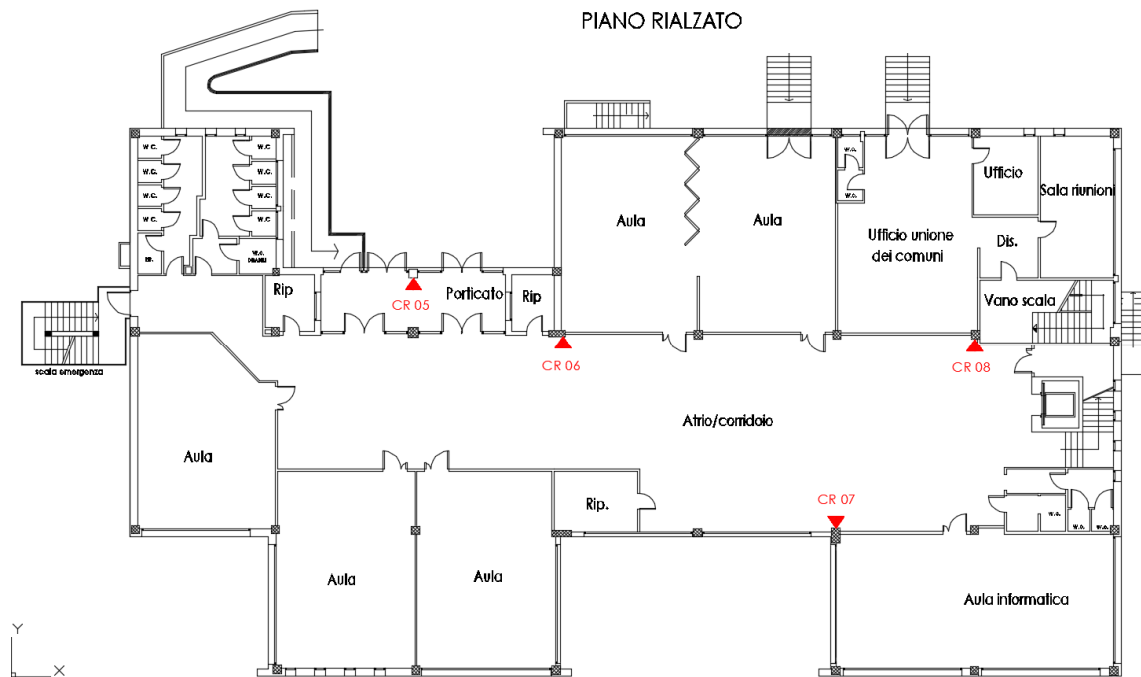
Pratica: 0455

- **LOCALIZZAZIONE INDAGINI**

1

PIANO SEMINTERRATO





- **CAROTAGGIO 1**

		DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA
<p>Fotogramma 1: Fase di esecuzione del carotaggio.</p>	<p>Fotogramma 2: Fase di estrazione del provino.</p>	
		
<p>Fotogramma 3: Altezza della carota.</p>	<p>Fotogramma 4: Prova di carbonatazione.</p>	

- ALTEZZA CAROTA: 140 mm
- DIAMETRO CAROTA: 72 mm
- PROFONDITA' CARBONATAZIONE: 45 mm
- ROTTURA A COMPRESSIONE: 31 N/mm²

7.3 ESTRAZIONE DI CAMPIONI DI ARMATURA

In generale i prelievi di campioni di armatura sono eseguiti al fine di determinare il valore della resistenza caratteristica a trazione del provino prelevato in situ.

Le modalità di estrazione di carote sono riportate dalle UNI EN 12504-1. L'operazione di carotaggio deve essere eseguita in modo tale da non compromettere i risultati della prova di compressione.

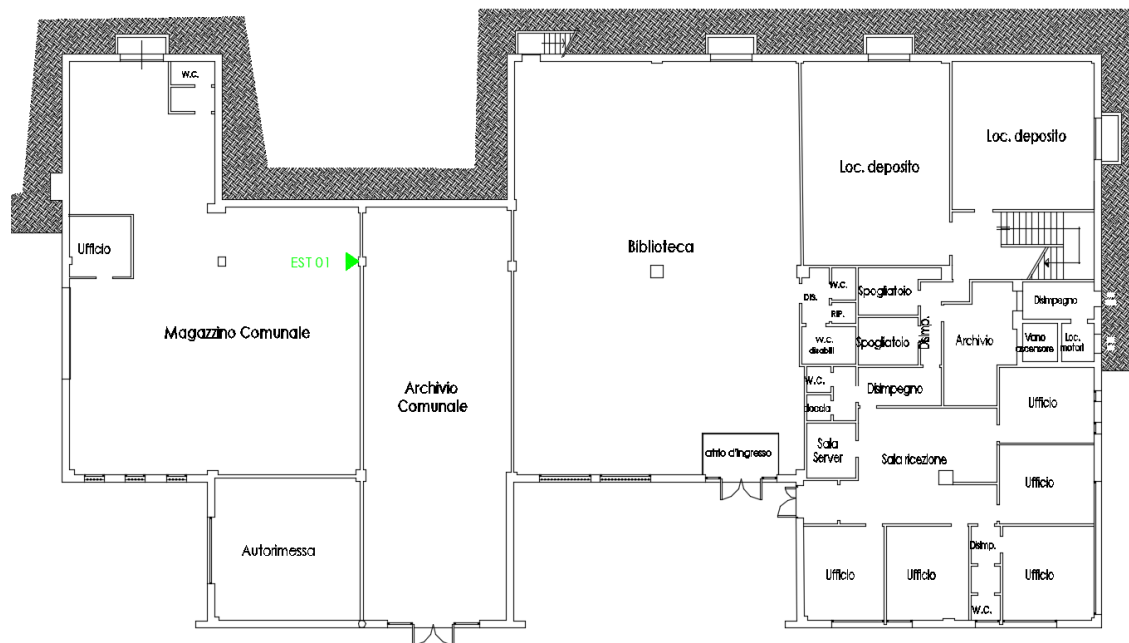
Di seguito si descrive la procedura operativa certificata eseguita dagli operatori:

- Individuazione dei ferri di armatura tramite indagine pacometrica;
- Rimozione del copriferro fino a totale scoperta del ferro di armatura mediante l'utilizzo di trapano/distruttore;
- Taglio del ferro mediante l'uso di smerigliatrice;
- Catalogazione, misurazione e esecuzione di documentazione fotografica del provino prelevato.

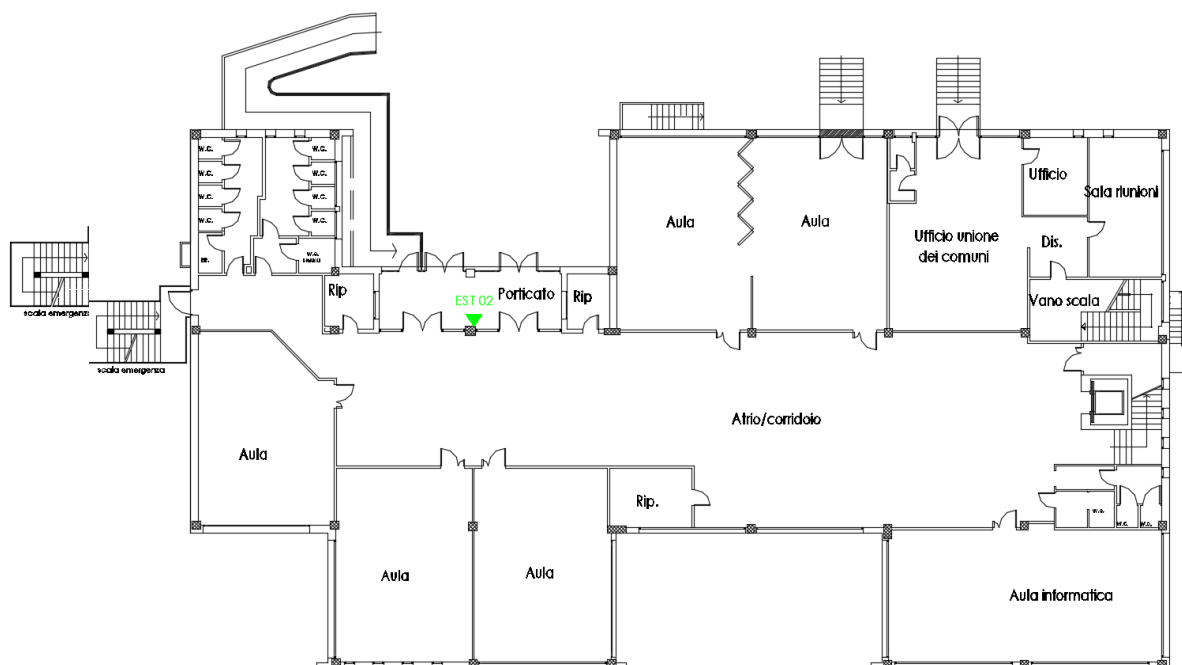
Successivamente sono riportati la localizzazione dei campioni estratti ed i valori, per ogni campione, della relativa lunghezza, diametro e del valore di rottura a trazione fornita dal certificato di laboratorio consultabile in allegato.

- **LOCALIZZAZIONE INDAGINI**

PIANO SEMINTERRATO



PIANO RIALZATO



Ubicazione: Viale Papa Giovanni XXIII, 10 - Rovetta



Data: 28.03.2022





Oggetto: Progetto di adeguamento sismico – Relazione stato di consistenza

Richiedente: Scuola Primaria “A. Moro”

Pratica: 0455

- **ESTRAZIONE 1**

		DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA
Fotogramma 1: Rimozione del copriferro.	Fotogramma 2: Rimozione del copriferro.	

		
<p>Fotogramma 3: Diametro delle staffe.</p>	<p>Fotogramma 4: Passo delle staffe.</p>	
		<p style="writing-mode: vertical-rl; transform: rotate(180deg);">DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA</p>
<p>Fotogramma 5: Diametro ferro longitudinale.</p>	<p>Fotogramma 6: Rilievo geometrico del campione prelevato in sito.</p>	

- LUNGHEZZA PROVINO: 500 mm

- DIAMETRO PROVINO: 18 mm

- ROTTURA A TRAZIONE: 743,5 N/mm²

7.4 INDAGINI SONREB

In generale tale indagine consiste nella combinazione dell'indagine sclerometrica e di quella ultrasonora al fine di determinare la resistenza R_{ck} di un calcestruzzo in opera.

Tale prova si basa sulla correlazione tra la velocità ultrasonica V , ottenuta con prove ultrasoniche, e l'indice di rimbalzo S , ottenuto con prove sclerometriche.

Le prove devono essere effettuate entrambe nell'area in cui è previsto il carotaggio.

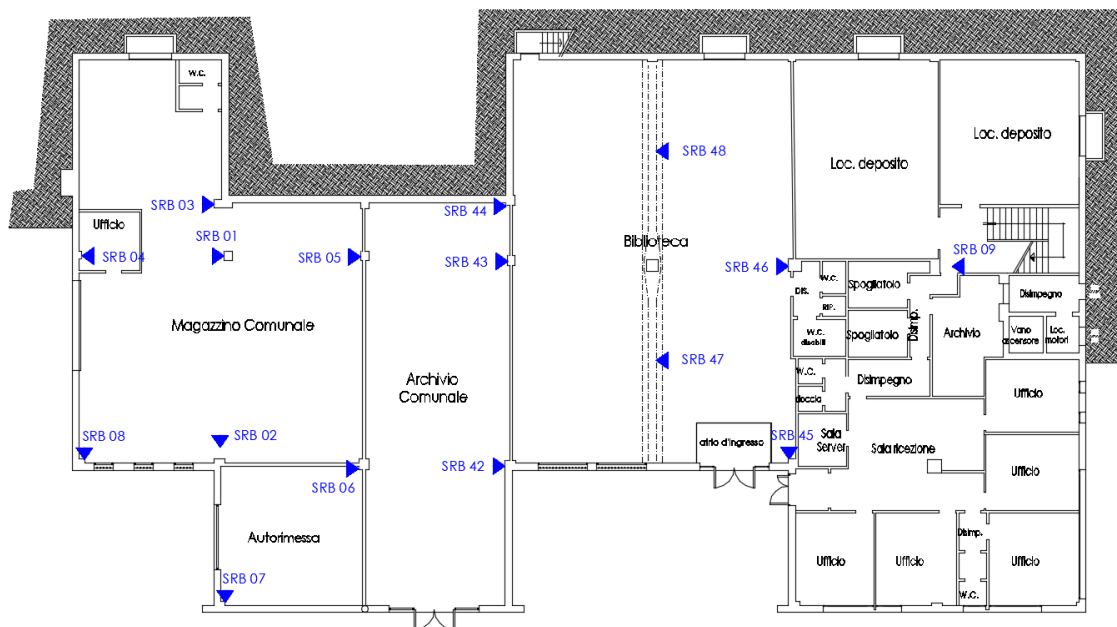
Di seguito si descrive la procedura operativa certificata eseguita dagli operatori:

- Rimozione dell'intonaco e pulizia della zona ove eseguire l'indagine;
- Indagine pacometrica per determinare l'eventuale presenza e posizione dei ferri di armatura;
- Taratura dello sclerometro mediante l'utilizzo di apposito incudine di taratura;
- Tracciamento dei 10 punti di battitura mediante apposita griglia fornita dal produttore dello sclerometro;
- Esecuzione delle battiture nei punti prestabiliti;
- Taratura delle sonde per ultrasuoni mediante l'utilizzo di apposita barretta di taratura e mediante le sonde a contatto;
- Esecuzione della prova e annotazione di tutti i valori.

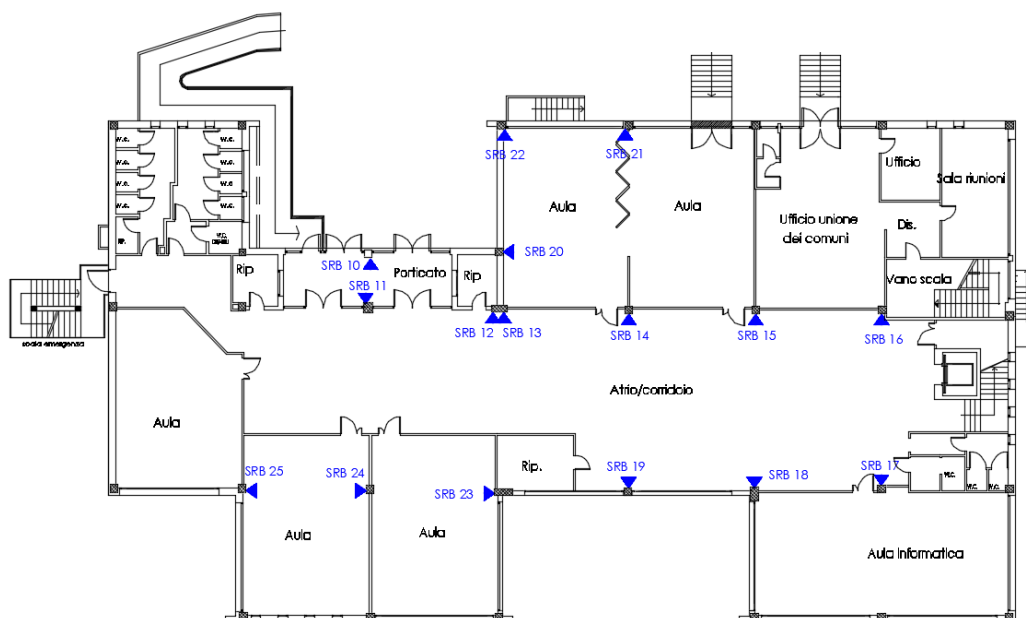
Successivamente sono riportati i dati raccolti in situ ed elaborati in relazione ai valori di R_{ck} ottenuti dai certificati di taratura delle carote.

• LOCALIZZAZIONE INDAGINI

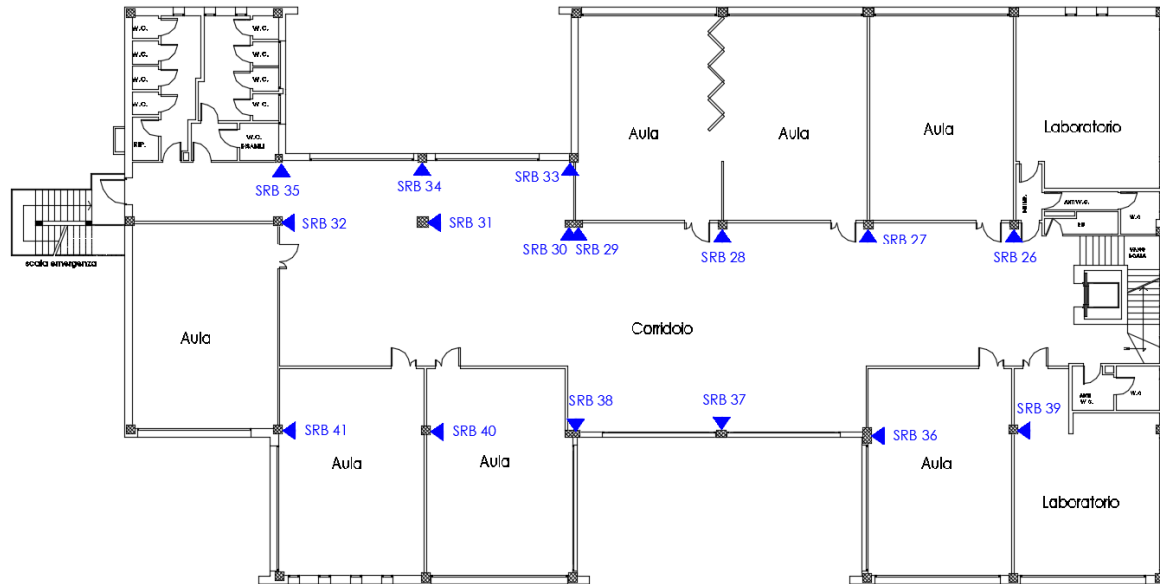
PIANO SEMINTERRATO



PIANO RIALZATO



PIANO PRIMO



Dalla combinazione dei risultati ottenuti attraverso le due metodologie, è stato possibile ricavare un valore di R_{ck} medio.

Tale valore è ottenuto inserendo i valori medi dell'indice sclerometrico S e delle velocità di propagazione media delle onde V all'interno della seguente relazione:

$$R_{C1} = 9,27 * 10^{-11} * S^{1,4} * V^{2,6} \quad \text{Norme RILEM}$$

$$R_{C2} = 8,06 * 10^{-8} * S^{1,246} * V^{1,85} \quad \text{GASPARIK}$$

$$R_{C3} = 1,2 * 10^{-9} * S^{1,058} * V^{2,446} \quad \text{DI LEO-PASCALE}$$

Dove:

- S = Rimbalzo sclerometro
- V = Velocità di propagazione delle onde con metodologia ultrasonica.

R_{ck} ottenuto viene poi calibrato sulla base di indagini dirette, ovvero correlando i valori ottenuti dalle prove a rottura a compressione su campioni cilindrici prelevati dalla struttura mediante carotaggi.

RISULTATI PROVA DI COMPRESSIONE		C12
N/mm ²		26,10
Kg/cm ²		266
CORREZIONE DI FORMA		
Altezza provino	cm	7,30
Diametro provino	cm	7,30
h/d		1,00
Coefficiente di correzione (ASTM C 42:68)		1,00
RESISTENZA CILINDRICA CORRETTA		
N/mm ²		26,1
Kg/cm ²		266
RESISTENZA CILINDRICA RICONDOTTA A CUBICA		
N/mm ²		31,45
Kg/cm ²		320,75

Coefficiente di correzione (ASTM C 42:68)

FATTORE DI CORREZIONE 1 PER H/D UGUALE 2

FATTORE DI CORREZIONE 0,99 PER H/D UGUALE 1,75

FATTORE DI CORREZIONE 0,97 PER H/D UGUALE 1,5

FATTORE DI CORREZIONE 0,94 PER H/D UGUALE 1,25

FATTORE DI CORREZIONE 0,91 PER H/D UGUALE 1,0

$$R_{cub} = R_{cil} / 0,83$$

Utilizzando infine un coefficiente di correzione, ottenuto attraverso il passaggio da resistenza cilindrica corretta a cubica (Sonreb-Rilem), otteniamo i seguenti valori di R_s corretta, indicativi della resistenza caratteristica del calcestruzzo del manufatto:

CANTIERE: Istituto comprensivo Andrea Fantoni		
LOCALITA': Comune di Rovetta		
TIPO DI CONTROLLO: Metodo: Sonreb		
Coefficiente Correzione: (SONREB - RILEM) 2,062		
ZONA	R_s N/mm²	R_s corretta N/mm²
SONREB 32	15,25	31,71
SONREB 34	19,24	40,00
SONREB 35	24,89	51,74
SONREB 41	21,32	44,33
Media	20,18	41,94

Nella seguente tabella si riporta il numero complessivo delle prove eseguite in sito:

Ubicazione: Viale Papa Giovanni XXIII, 10 - Rovetta
Oggetto: Progetto di adeguamento sismico – Relazione stato di consistenza
Richiedente: Scuola Primaria “A. Moro”

Data: 28.03.2022

Pratica: 0455

Tipologia Prova	TOTALE
CAROTAGGI	12
ESTRAZIONE ARMATURA	3
PACOMETRIA	35% ELEMENTI
SCLEROMETRIA	48
ULTRASUONI	48

Le proprietà dei materiali ottenute mediante tali prove sono state inserite nel software di calcolo agli elementi finiti Sismicad ai fini di eseguire suddetta analisi di vulnerabilità sismica del fabbricato.

Si sottolinea che, a seguito dell'accesso agli atti eseguito c/o gli uffici di competenza, è stata reperita una documentazione storica parziale dei fabbricati.

8. ANALISI DINAMICA LINEARE

Come già specificato, in relazione alle ipotesi sulla scelta del metodo di analisi e delle caratteristiche dell'edificio, lo scrivente è consapevole come i metodi di analisi lineare siano molto restrittivi, tendendo a sottostimare le capacità di resistenza e deformative dei materiali, non considerando sia effetti di tipo meccanico (deformazioni plastiche, fessurazioni, snervamenti), che effetti di tipo geometrico (effetti del secondo ordine).

L'Analisi Pushover, presenta comunque dei limiti di applicabilità imposti dalla normativa: essa infatti consiste nell'applicazione di due distribuzioni di forze d'inerzia, ricadenti una nelle distribuzioni principali (Gruppo 1) e l'altra nelle secondarie (Gruppo 2), di cui la prima applicabile solo nel caso in cui il modo di vibrare fondamentale nella direzione considerata abbia una massa partecipante pari almeno al 75%.

Avendo quindi le U.S una massa partecipante rispettivamente pari a 50% in direzione Y per il Blocco A e 59.5% in direzione Y per il Blocco B, non sono rispettati i limiti normativi di applicabilità dell'analisi statica non lineare, e sono quindi stati modellati tramite *un'Analisi Dinamica Lineare*.

In generale, l'analisi è condotta secondo tre passaggi fondamentali:

- 1) Determinazione dei modi di vibrare naturali della struttura (analisi modale)
- 2) Calcolo degli effetti dell'azione sismica, rappresentata dallo spettro di risposta di progetto, per ciascuno dei modi di vibrare individuati.
- 3) Combinazione degli effetti relativi a ciascun modo di vibrare tramite combinazione quadratica completa (CQC)

$$E = \sqrt{\sum_i \sum_j \rho_{ij} \cdot E_i \cdot E_j}$$

con:

E_j valore dell'effetto relativo al modo j ;

ρ_{ij} coefficiente di correlazione tra il modo i e il modo j , calcolato con formule di comprovata validità quale:

$$\rho_{ij} = \frac{8\sqrt{\xi_i \cdot \xi_j} \cdot (\beta_{ij} \cdot \xi_i + \xi_j) \cdot \beta_{ij}^{3/2}}{(1 - \beta_{ij}^2)^2 + 4 \cdot \xi_i \cdot \xi_j \cdot \beta_{ij} (1 + \beta_{ij}^2) + 4 \cdot (\xi_i^2 + \xi_j^2) \cdot \beta_{ij}^2} \quad [7.3.5a]$$

$\xi_{i,j}$ smorzamento viscoso dei modi i e j ;

β_{ij} rapporto tra l'inverso dei periodi di ciascuna coppia i - j di modi ($\beta_{ij} = T_j / T_i$).

La [7.3.5a], nel caso di uguale smorzamento ξ dei modi i e j , si esprime come:

$$\rho_{ij} = \frac{8\xi^2 \beta_{ij}^{3/2}}{(1 + \beta_{ij}) \cdot [(1 - \beta_{ij})^2 + 4\xi^2 \beta_{ij}]} \quad [7.3.5b]$$

Consiste quindi nella soluzione delle equazioni del moto della struttura, considerata elastica, in condizioni di oscillazioni libere e nella individuazione delle particolari configurazioni deformate che costituiscono i modi di vibrare naturali.

9. CARATTERIZZAZIONE GEOLOGICA: SISMICITA' DELL'AREA

L'influenza del profilo stratigrafico sulla risposta sismica locale viene valutato con riferimento alle 5 categorie di sottosuolo di riferimento, definite dal D.M. 14.01.

Ai fini dell'identificazione della categoria di sottosuolo, la classificazione si effettua in base ai valori della velocità equivalente V_{s30} di propagazione delle onde di taglio entro i primi 30 m di profondità.

Tale parametro è definito dall'espressione:

$$V_{s30} = \frac{30}{\sum_{i=1}^N \frac{h_i}{V_i}}$$

Dove:

- h_i è lo spessore in metri dell'i-esimo strato compreso nei primi 30 m di profondità
- $V_{s,i}$ è la velocità delle onde dell'i-esimo strato
- N è in numero degli strati compresi nei primi 30 m di profondità

Dalla Relazione geologica eseguita, è stata definita la categoria di riferimento del suolo **B**, come visibile nella seguente tabella.

Categoria	Descrizione
A	Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di $V_{s,30}$ superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie uno strato di alterazione, con spessore massimo pari a 3 m.
B	Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ compresi tra 360 m/s e 800 m/s (ovvero $N_{SPT,30} > 50$ nei terreni a grana grossa e $c_{u,30} > 250$ kPa nei terreni a grana fina).
C	Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero $15 < N_{SPT,30} < 50$ nei terreni a grana grossa e $70 < c_{u,30} < 250$ kPa nei terreni a grana fina).
D	Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti, con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ inferiori a 180 m/s (ovvero $N_{SPT,30} < 15$ nei terreni a grana grossa e $c_{u,30} < 70$ kPa nei terreni a grana fina).
E	Terreni dei sottosuoli di tipo C o D per spessore non superiore a 20 m, posti sul substrato di riferimento (con $V_s > 800$ m/s).

10. AZIONI DI PROGETTO

Nelle verifiche di sicurezza le azioni e le combinazioni dei carichi da utilizzare sono le medesime impiegate nelle nuove costruzioni, in riferimento al cap.3 delle NTC2018.

Le tipologie delle azioni da considerare, oltre al peso proprio, sono i carichi permanenti e accidentale, in relazione alla destinazione d'uso dell'immobile, l'azione sismica ed i carichi da neve e vento.

10.1 CARICHI PERMANENTI

Le azioni permanenti (G) sono i carichi che agiscono durante tutta la vita nominale della costruzione, la cui variazione di intensità nel tempo è così rada da essere considerata permanente.

Di seguito di riporta l'analisi dei carichi eseguita per ogni tipologia di solaio in funzione della stratigrafia degli impalcati.

PIANO RIALZATO-PRIMO					
STRUTTURALI	□□□KN/m3)	h (m)	i (m)	L	KN/m2
Pignatta	11	0,24	0,5	0,38	2
Travetto	25	0,24	0,5	0,12	1,4
Soletta	25	0,04	-	-	1
TOT					4,4
PERMANENTI PORTATI	□□□KN/m3)	h (m)	i (m)	L	KN/m2
Sottofondo Allegharito	10	0,03	-	-	0,3
Tavolati Ripartiti	-	-	-	-	1,2
Pavimentazione	-	-	-	-	0,2
Intonaco	1	0,02	-	-	0,02
TOT					1,7

SOTTOTETTO					
STRUTTURALI	□□□KN/m3)	h (m)	i (m)	L	KN/m2
Pignatta	11	0,24	0,5	0,38	2
Travetto	25	0,24	0,5	0,12	1,4

Ubicazione: Viale Papa Giovanni XXIII, 10 - Rovetta

Data: 28.03.2022

Oggetto: Progetto di adeguamento sismico – Relazione stato di consistenza

Richiedente: Scuola Primaria "A. Moro"

Pratica: 0455

Soletta	25	0,04	-	-	1
TOT					4,4
PERMANENTI PORTATI	□□□KN/m3)	h (m)	i (m)	L	KN/m2
Intonaco	-	-	-	-	0,2
TOT					0,2

COPERTURA					
STRUTTURALI	□□□KN/m3)	h (m)	i (m)	L	KN/m2
Tavelloni	-	-	-	-	3
Travetto	25	0,06	0,8	0,1	0,2
TOT					3,2
PERMANENTI PORTATI	□□□KN/m3)	h (m)	i (m)	L	KN/m2
Manto impermeabilizzante	-	-	-	-	0,5
TOT					0,5

10.2 CARICHI VARIABILI

10.2.1 CARICO DI ESERCIZIO

Il carico di esercizio è determinato dalla seguente tabella secondo la Norma cogente in funzione della categoria dell'edificio, in particolare si considerano gli impalcati di calpestio di ogni U.S. appartenenti alla categoria C1, Ambienti suscettibili ad affollamento, il cui carico verticale uniformemente distribuito corrisponde a $q_k = 3 \text{ KN/m}^2$, mentre i sottotetti di ogni fabbricato appartiene alla categoria H, Coperture accessibili per manutenzione, il cui carico verticale uniformemente distribuito corrisponde a $q_k = 0.5 \text{ KN/m}^2$.

Tab. 3.1.II - Valori dei sovraccarichi per le diverse categorie d'uso delle costruzioni

Cat.	Ambienti	q_k [kN/m ²]	Q_k [kN]	H_k [kN/m]
A	Ambienti ad uso residenziale			
	Aree per attività domestiche e residenziali; sono compresi in questa categoria i locali di abitazione e relativi servizi, gli alberghi (ad esclusione delle aree soggette ad affollamento), camere di degenza di ospedali	2,00	2,00	1,00
	Scale comuni, balconi, ballatoi	4,00	4,00	2,00
B	Uffici			
	Cat. B1 Uffici non aperti al pubblico	2,00	2,00	1,00
	Cat. B2 Uffici aperti al pubblico	3,00	2,00	1,00
	Scale comuni, balconi e ballatoi	4,00	4,00	2,00
C	Ambienti suscettibili di affollamento			
	Cat. C1 Aree con tavoli, quali scuole, caffè, ristoranti, sale per banchetti, lettura e ricevimento	3,00	3,00	1,00
	Cat. C2 Aree con posti a sedere fissi, quali chiese, teatri, cinema, sale per conferenze e attesa, aule universitarie e aule magne	4,00	4,00	2,00
	Cat. C3 Ambienti privi di ostacoli al movimento delle persone, quali musei, sale per esposizioni, aree d'accesso a uffici, ad alberghi e ospedali, ad atri di stazioni ferroviarie	5,00	5,00	3,00
	Cat. C4. Aree con possibile svolgimento di attività fisiche, quali sale da ballo, palestre, palcoscenici	5,00	5,00	3,00
	Cat. C5. Aree suscettibili di grandi affollamenti, quali edifici per eventi pubblici, sale da concerto, palazzetti per lo sport e relative tribune, gradinate e piattaforme ferroviarie.	5,00	5,00	3,00
	Scale comuni, balconi e ballatoi	Secondo categoria d'uso servita, con le seguenti limitazioni		
		≥ 4,00	≥ 4,00	≥ 2,00

Ubicazione: Viale Papa Giovanni XXIII, 10 - Rovetta

Data: 28.03.2022

Oggetto: Progetto di adeguamento sismico – Relazione stato di consistenza

Richiedente: Scuola Primaria “A. Moro”

Pratica: 0455

Cat.	Ambienti	q_k [kN/m ²]	Q_k [kN]	H_k [kN/m]
D	Ambienti ad uso commerciale			
	Cat. D1 Negozi	4,00	4,00	2,00
	Cat. D2 Centri commerciali, mercati, grandi magazzini	5,00	5,00	2,00
	Scale comuni, balconi e ballatoi	Secondo categoria d'uso servita		
E	Aree per immagazzinamento e uso commerciale ed uso industriale			
	Cat. E1 Aree per accumulo di merci e relative aree d'accesso, quali biblioteche, archivi, magazzini, depositi, laboratori manifatturieri	≥ 6,00	7,00	1,00*
	Cat. E2 Ambienti ad uso industriale	da valutarsi caso per caso		
F-G	Rimesse e aree per traffico di veicoli (esclusi i ponti)			
	Cat. F Rimesse, aree per traffico, parcheggio e sosta di veicoli leggeri (peso a pieno carico fino a 30 kN)	2,50	2 x 10,00	1,00**
	Cat. G Aree per traffico e parcheggio di veicoli medi (peso a pieno carico compreso fra 30 kN e 160 kN), quali rampe d'accesso, zone di carico e scarico merci.	da valutarsi caso per caso e comunque non minori di		
		5,00	2 x 50,00	1,00**
H-I-K	Coperture			
	Cat. H Coperture accessibili per sola manutenzione e riparazione	0,50	1,20	1,00
	Cat. I Coperture praticabili di ambienti di categoria d'uso compresa fra A e D	secondo categorie di appartenenza		
	Cat. K Coperture per usi speciali, quali impianti, eliporti.	da valutarsi caso per caso		

* non comprende le azioni orizzontali eventualmente esercitate dai materiali immagazzinati.

** per i soli parapetti o partizioni nelle zone pedonali. Le azioni sulle barriere esercitate dagli autoveicoli dovranno essere valutate caso per caso.

10.2.2 CARICO DA NEVE

Il carico da neve si ricava dalla seguente espressione:

$$q_s = \mu_i \cdot s_k \cdot C_e \cdot C_t$$

Dove:

- q_{sk} è il valore di riferimento del carico della neve al suolo, di cui al § 3.4.2;
- μ_i è il coefficiente di forma della copertura, di cui al § 3.4.3;
- C_e è il coefficiente di esposizione di cui al § 3.4.4;
- C_t è il coefficiente termico di cui al § 3.4.5.

La struttura è ubicata, come specificato in precedenza, nel comune di Rovetta (BG) e, di conseguenza, appartiene alla **Zona I Alpina** (§ 3.4.2. NTC 2018), il cui valore di riferimento del carico della neve al suolo è valutato in funzione dell'altezza sul livello del mare come specificato di seguito:

- $q_{sk} = 1.5 \text{ kN/m}^2$ per $a_s \leq 200 \text{ m}$
- $q_{sk} = 1.39 [1 + (a_s/728)^2] \text{ kN/m}^2$ per $a_s > 200 \text{ m}$

dove a_s è l'altitudine sul livello del mare del sito in questione.

Trovandosi l'area ad una quota massima di 650 m s.l.m. si rientra nel caso in cui il carico al suolo caratteristico della neve va considerato pari a:

$$q_{sk} = 1.39 [1 + (a_s/728)^2] \text{ kN/m}^2 = 2.5 \text{ kN/m}^2$$

Questo valore viene quindi moltiplicato per il coefficiente di forma, in funzione dell'angolo d'inclinazione delle falde della copertura (α), come riportato in Tab 3.4.II delle NTC 2018.

Ubicazione: Viale Papa Giovanni XXIII, 10 - Rovetta

Data: 28.03.2022

Oggetto: Progetto di adeguamento sismico – Relazione stato di consistenza

Richiedente: Scuola Primaria "A. Moro"

Pratica: 0455

Tab. 3.4.II – Valori del coefficiente di forma

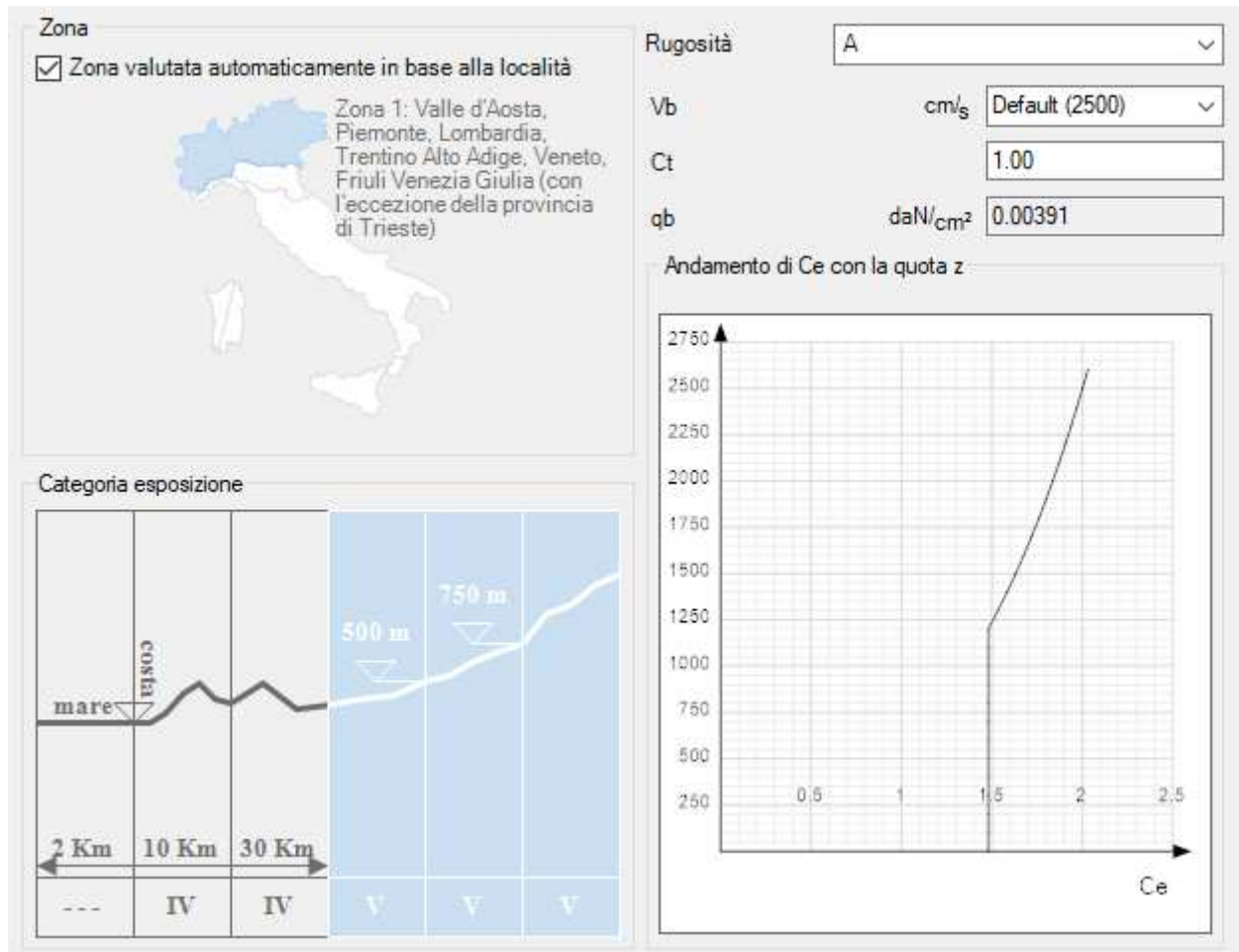
Coefficiente di forma	$0^\circ \leq \alpha \leq 30^\circ$	$30^\circ < \alpha < 60^\circ$	$\alpha \geq 60^\circ$
μ_1	0,8	$0,8 \cdot \frac{(60 - \alpha)}{30}$	0,0

Coefficienti di forma Tab 3.4.II NTC 2018.

Assumendo il coefficiente di forma pari a 0.8 e C_e e C_t unitari, si ottiene un carico da neve al suolo pari a **2 kN/m²**.

10.2.1 CARICO DA VENTO

Per il calcolo di tali azioni si considera una rugosità di tipo “A”.



10.3 SPETTRI NTC 18

Il calcolo di un edificio richiede la conoscenza di un determinato numero di parametri esterni che ne definiscono le azioni orizzontali che vanno a gravare sulla struttura stessa.

Tali azioni devono essere valutate in funzione al sito, al terreno di fondazione e della destinazione d'uso dell'edificio.

10.3.1 VITA NOMINALE

La vita nominale di un'opera V_n è intesa come il numero di anni nel quale una struttura, purchè soggetta alla manutenzione ordinaria, deve essere usata per lo scopo al quale è destinata.

TIPO DI COSTRUZIONE		Vita Nominale V_N (in anni)
1	Opere provvisorie – Opere provvisionali - Strutture in fase costruttiva	≤ 10
2	Opere ordinarie, ponti, opere infrastrutturali e dighe di dimensioni contenute o di importanza normale	≥ 50
3	Grandi opere, ponti, opere infrastrutturali e dighe di grandi dimensioni o di importanza strategica	≥ 100

10.3.2 CLASSE D'USO

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

Classe I: Costruzioni con presenza solo occasionale di persone, edifici agricoli.

Classe II: Costruzioni il cui uso preveda normali affollamenti, senza contenuti pericolosi per l'ambiente e senza funzioni pubbliche e sociali essenziali. Industrie con attività non pericolose per l'ambiente. Ponti, opere infrastrutturali, reti viarie non ricadenti in Classe d'uso III o in Classe d'uso IV, reti ferroviarie la cui interruzione non provochi situazioni di emergenza. Dighe il cui collasso non provochi conseguenze rilevanti.

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

Classe IV: Costruzioni con funzioni pubbliche o strategiche importanti, anche con riferimento alla gestione della protezione civile in caso di calamità. Industrie con attività particolarmente pericolose per l'ambiente. Reti viarie di tipo A o B, di cui al DM 5/11/2001, n. 6792, “Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle strade”, e di tipo C quando appartenenti ad itinerari di collegamento tra capoluoghi di provincia non altresì serviti da strade di tipo A o B. Ponti e reti ferroviarie di importanza critica per il mantenimento delle vie di comunicazione, particolarmente dopo un evento sismico. Dighe connesse al funzionamento di acquedotti e a impianti di produzione di energia elettrica.

10.3.3 PERIODO DI RIFERIMENTO

Le azioni sismiche su ciascuna costruzione vengono valutate in relazione ad un periodo di riferimento V_r ottenuto dal prodotto della vita nominale per il coefficiente d'uso C_u definito a seconda della classe d'uso.

$$V_R = V_N \cdot C_U$$

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

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

Nel caso oggetto d'indagine otteniamo quindi V_r pari a 75 anni.

Il periodo di riferimento di una costruzione riveste un ruolo fondamentale in quanto, assumendo la legge di ricorrenza sismica come un processo poissoniano, è utilizzato per la valutazione, per una data Probabilità di Superamento P_{vr} al determinato stato limite, il periodo di ritorno T_r dell'azione sismica a cui fare riferimento per la verifica.

10.3.4 AZIONE SISMICA

Le azioni sismiche di progetto in base alle quali valutare il rispetto dei diversi stati limite considerati si definiscono a partire dalla pericolosità sismica di base del sito di costruzione.

Essa è definita in termini di accelerazione orizzontale massima attesa a_g in condizioni di campo libero su sito di riferimento rigido con superficie topografica orizzontale di categoria A, nonché di ordinate dello spettro di risposta elastico in accelerazione ad essa corrispondente $S_e(T)$ con riferimento a prefissate probabilità di eccedenza P_{vr} .

Per il D.M le forme spettrali sono definite, per ciascun stato limite, a partire dai valori dei seguenti parametri su sito di riferimento rigido orizzontale:

- a_g , accelerazione orizzontale massima al suolo
 - F_0 , amplificazione spettrale massima al suolo
 - T_c^* , periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale
- .

Ubicazione: Viale Papa Giovanni XXIII, 10 - Rovetta

Data: 28.03.2022

Oggetto: Progetto di adeguamento sismico – Relazione stato di consistenza

Richiedente: Scuola Primaria "A. Moro"

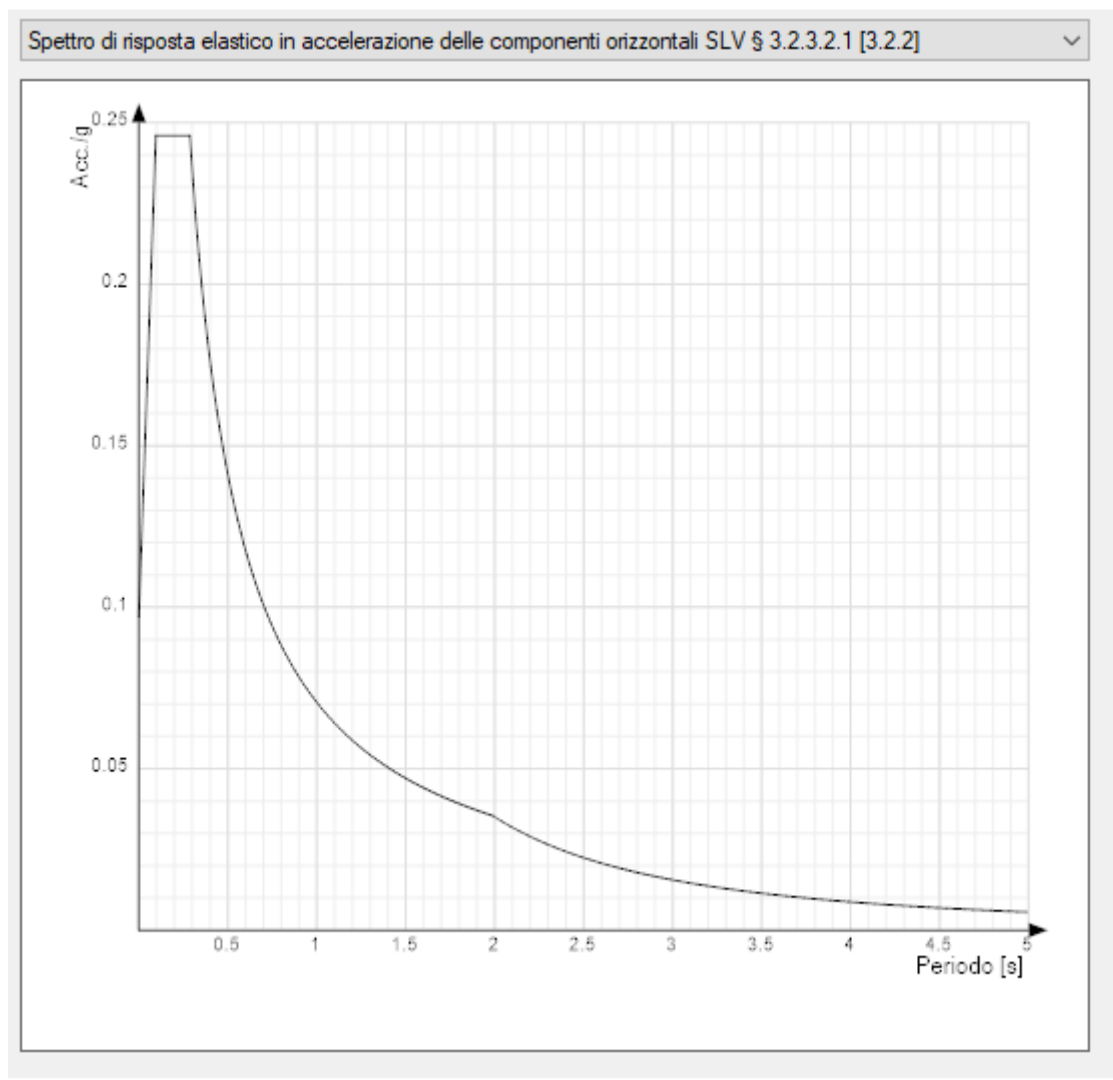
Pratica: 0455

In sintesi, di seguito sono riportati gli input del software e gli spettri relativi.

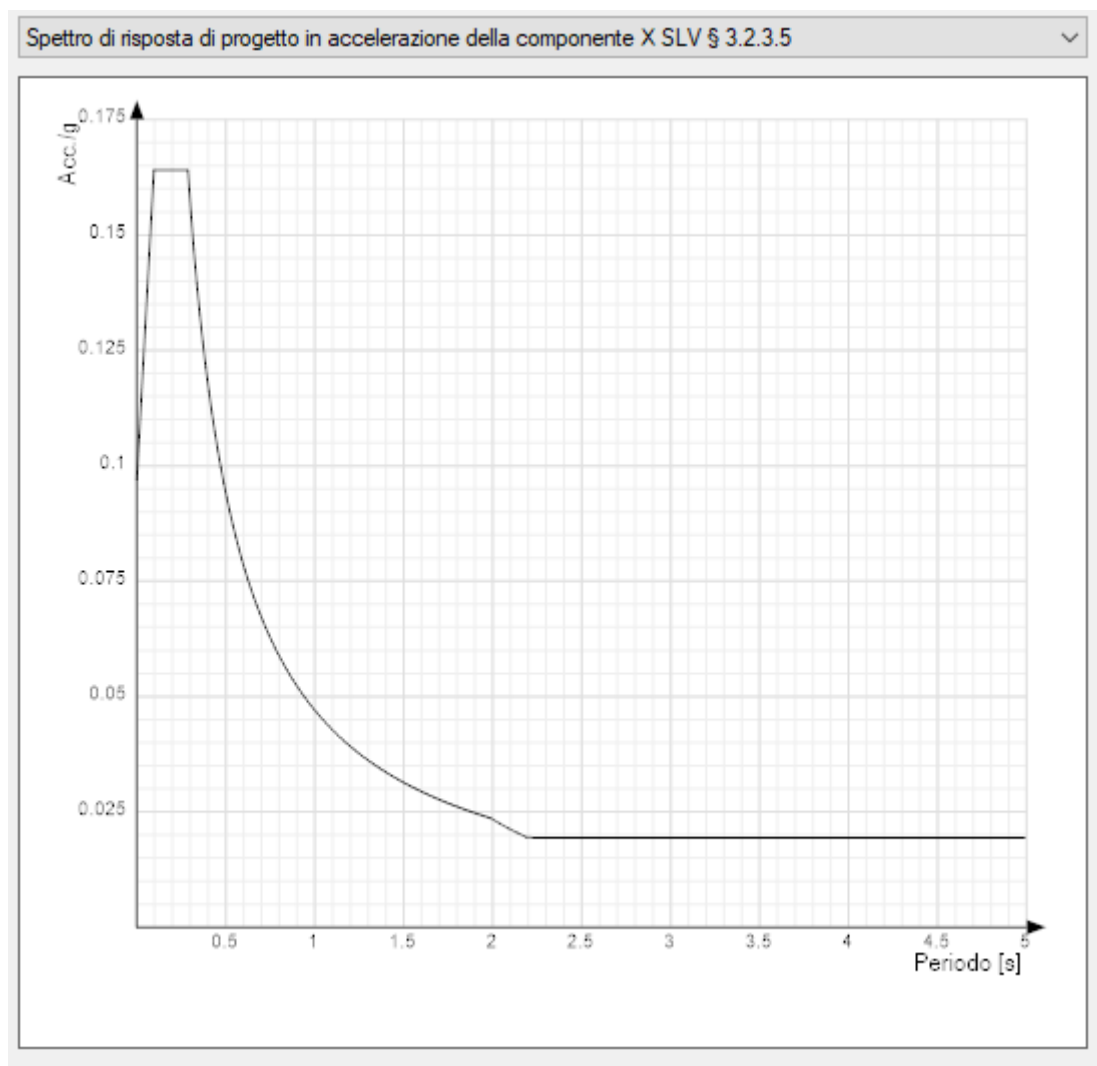
Tipo di costruzione	2 - Costruzioni con livelli di prestazioni ordinari				
Vn	Default (50)				
Classe d'uso	III				
Località:	Bergamo, Rovetta Latitudine ED50 45,8893° (45° 53' 21") Longitudine ED50 9,9826° (9° 58' 57") Altitudine s.l.m. 650 m				Dettagli...
Vr	Default (75)				
Stato limite	Pvr(%)	Tr(anni)	Ag/g	Fo	Tc*(s)
SLO	Default (81)	45	Default (0,0348)	Default (2,531)	Default (0,208)
SLD	Default (63)	75	Default (0,0426)	Default (2,547)	Default (0,223)
SLV	Default (10)	712	Default (0,097)	Default (2,535)	Default (0,287)
SLC	Default (5)	1462	Default (0,1225)	Default (2,548)	Default (0,297)

Stati limite, % di superamento e T_r e P_{ga} associate.

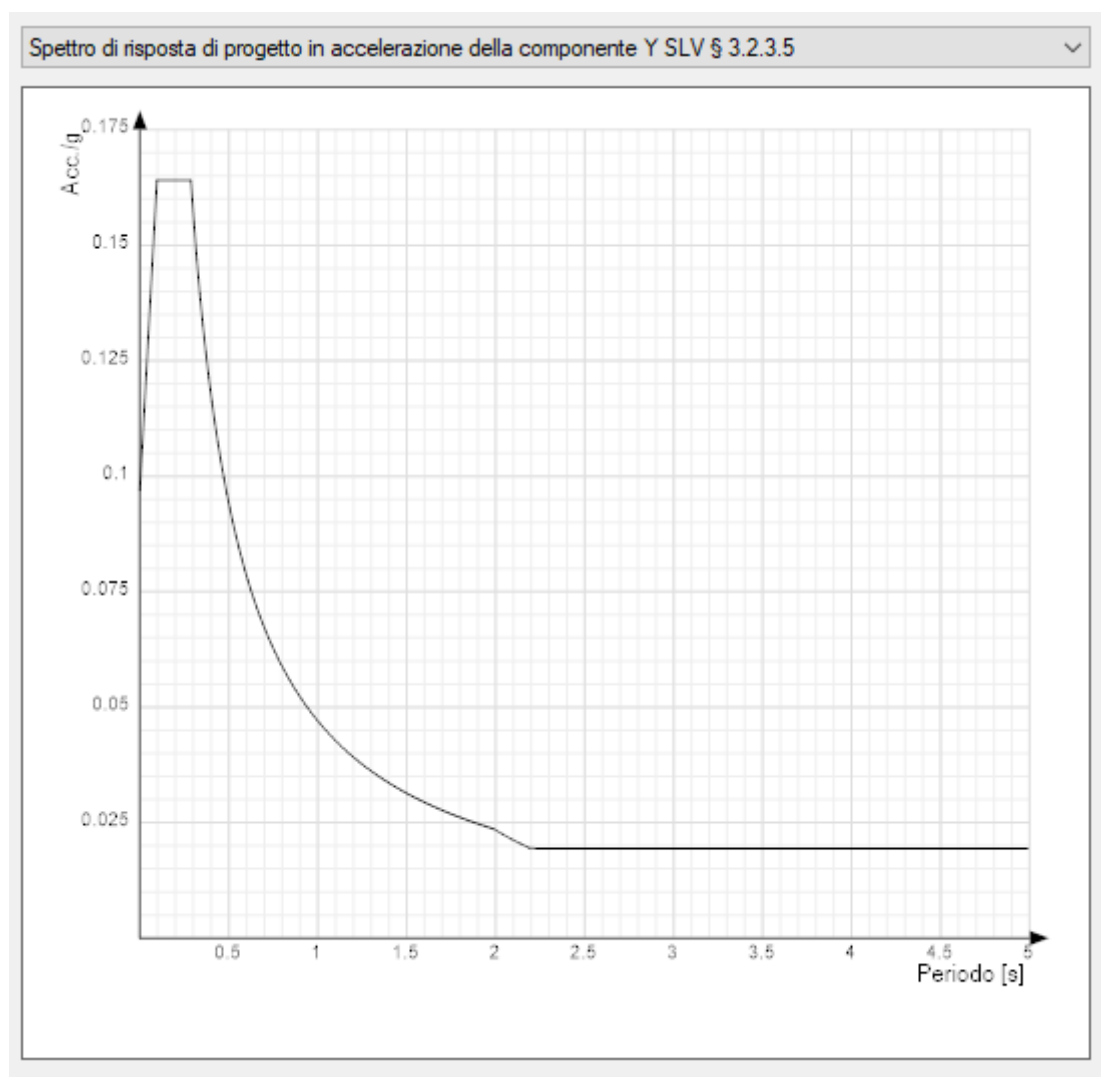
SPETTRO DI RISPOSTA ELASTICO IN ACCELERAZIONE DELLE COMPONENTI ORIZZONTALI SLV



Spettro di risposta elastico in accelerazione delle componenti orizzontali Slv.



Spettro di risposta di progetto in accelerazione delle componenti X Slv.



Spettro di risposta di progetto in accelerazione delle componenti Y Slv.

11. COMBINAZIONI DI CARICO

Ai fini delle verifiche si definiscono le seguenti combinazioni di carico secondo normativa:

- Combinazione fondamentale, generalmente impiegata per gli stati limite ultimi (SLU):

$$\gamma_{G1} \cdot G_1 + \gamma_{G2} \cdot G_2 + \gamma_P \cdot P + \gamma_{Q1} \cdot Q_{k1} + \gamma_{Q2} \cdot \psi_{02} \cdot Q_{k2} + \gamma_{Q3} \cdot \psi_{03} \cdot Q_{k3} + \dots \quad [2.5.1]$$

- Combinazione caratteristica, cosiddetta rara, generalmente impiegata per gli stati limite di esercizio (SLE) irreversibili:

$$G_1 + G_2 + P + Q_{k1} + \psi_{02} \cdot Q_{k2} + \psi_{03} \cdot Q_{k3} + \dots \quad [2.5.2]$$

- Combinazione frequente, generalmente impiegata per gli stati limite di esercizio (SLE) reversibili:

$$G_1 + G_2 + P + \psi_{11} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \psi_{23} \cdot Q_{k3} + \dots \quad [2.5.3]$$

- Combinazione quasi permanente (SLE), generalmente impiegata per gli effetti a lungo termine:

$$G_1 + G_2 + P + \psi_{21} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \psi_{23} \cdot Q_{k3} + \dots \quad [2.5.4]$$

- Combinazione sismica, impiegata per gli stati limite ultimi e di esercizio connessi all'azione sismica E:

$$E + G_1 + G_2 + P + \psi_{21} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \dots \quad [2.5.5]$$

- Combinazione eccezionale, impiegata per gli stati limite ultimi connessi alle azioni eccezionali A:

$$G_1 + G_2 + P + A_d + \psi_{21} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \dots \quad [2.5.6]$$

Gli effetti dell'azione sismica saranno valutati tenendo conto delle masse associate ai seguenti carichi gravitazionali:

$$G_1 + G_2 + \sum_j \psi_{2j} Q_{kj} \quad [2.5.7]$$

Tab. 2.6.I – Coefficienti parziali per le azioni o per l'effetto delle azioni nelle verifiche SLU

		Coefficiente γ_F	EQU	A1	A2
Carichi permanenti G_1	Favorevoli	γ_{G1}	0,9	1,0	1,0
	Sfavorevoli		1,1	1,3	1,0
Carichi permanenti non strutturali $G_2^{(1)}$	Favorevoli	γ_{G2}	0,8	0,8	0,8
	Sfavorevoli		1,5	1,5	1,3
Azioni variabili Q	Favorevoli	γ_{Qk}	0,0	0,0	0,0
	Sfavorevoli		1,5	1,5	1,3

⁽¹⁾ Nel caso in cui l'intensità dei carichi permanenti non strutturali o di una parte di essi (ad es. carichi permanenti portati) sia ben definita in fase di progetto, per detti carichi o per la parte di essi nota si potranno adottare gli stessi coefficienti parziali validi per le azioni permanenti.

Tab. 2.5.I – Valori dei coefficienti di combinazione

Categoria/Azione variabile	Ψ_0	Ψ_{1j}	Ψ_{2j}
Categoria A - Ambienti ad uso residenziale	0,7	0,5	0,3
Categoria B - Uffici	0,7	0,5	0,3
Categoria C - Ambienti suscettibili di affollamento	0,7	0,7	0,6
Categoria D - Ambienti ad uso commerciale	0,7	0,7	0,6
Categoria E – Aree per immagazzinamento, uso commerciale e uso industriale Biblioteche, archivi, magazzini e ambienti ad uso industriale	1,0	0,9	0,8
Categoria F - Rimesse , parcheggi ed aree per il traffico di veicoli (per autoveicoli di peso ≤ 30 kN)	0,7	0,7	0,6
Categoria G – Rimesse, parcheggi ed aree per il traffico di veicoli (per autoveicoli di peso > 30 kN)	0,7	0,5	0,3
Categoria H - Coperture accessibili per sola manutenzione	0,0	0,0	0,0
Categoria I – Coperture praticabili	da valutarsi caso per caso		
Categoria K – Coperture per usi speciali (impianti, eliporti, ...)			
Vento	0,6	0,2	0,0
Neve (a quota ≤ 1000 m s.l.m.)	0,5	0,2	0,0
Neve (a quota > 1000 m s.l.m.)	0,7	0,5	0,2
Variazioni termiche	0,6	0,5	0,0

Famiglia "SLV"												
	Descrizione	Pesi strutturali	Permanenti portati	Neve	Variabile C	Variabile H	ΔT	Sisma X SLV	Sisma Y SLV	Sisma Z SLV	Eccentricità Y per sisma X SLV	Eccentricità X per sisma Y SLV
1	1	1	1	0	0,6	0	0	-1	-0,3	0	-1	0,3
2	2	1	1	0	0,6	0	0	-1	-0,3	0	1	-0,3
3	3	1	1	0	0,6	0	0	-1	0,3	0	-1	0,3
4	4	1	1	0	0,6	0	0	-1	0,3	0	1	-0,3
5	5	1	1	0	0,6	0	0	-0,3	-1	0	-0,3	1
6	6	1	1	0	0,6	0	0	-0,3	-1	0	0,3	-1
7	7	1	1	0	0,6	0	0	-0,3	1	0	-0,3	1
8	8	1	1	0	0,6	0	0	-0,3	1	0	0,3	-1
9	9	1	1	0	0,6	0	0	0,3	-1	0	-0,3	1
10	10	1	1	0	0,6	0	0	0,3	-1	0	0,3	-1
11	11	1	1	0	0,6	0	0	0,3	1	0	-0,3	1
12	12	1	1	0	0,6	0	0	0,3	1	0	0,3	-1
13	13	1	1	0	0,6	0	0	1	-0,3	0	-1	0,3
14	14	1	1	0	0,6	0	0	1	-0,3	0	1	-0,3
15	15	1	1	0	0,6	0	0	1	0,3	0	-1	0,3
16	16	1	1	0	0,6	0	0	1	0,3	0	1	-0,3

Combinazioni di Carico SLV, Analisi Dinamica Lineare

Ubicazione: Viale Papa Giovanni XXIII, 10 - Rovetta

Data: 28.03.2022

Oggetto: Progetto di adeguamento sismico – Relazione stato di consistenza

Richiedente: Scuola Primaria "A. Moro"

Pratica: 0455

Famiglia "SLU"						
	Descrizione	Pesi strutturali	Permanenti portati	Neve	Variabile C	Variabile H
► 1	1	1	0,8	0	0	0
2	2	1	0,8	0	0	1,5
3	3	1	0,8	0	1,05	1,5
4	4	1	0,8	0	1,5	0
5	5	1	0,8	0,75	0	1,5
6	6	1	0,8	0,75	1,05	1,5
7	7	1	0,8	0,75	1,5	0
8	8	1	0,8	1,5	0	0
9	9	1	0,8	1,5	1,05	0
10	10	1	1,5	0	0	0
11	11	1	1,5	0	0	1,5
12	12	1	1,5	0	1,05	1,5
13	13	1	1,5	0	1,5	0
14	14	1	1,5	0,75	0	1,5
15	15	1	1,5	0,75	1,05	1,5
16	16	1	1,5	0,75	1,5	0
17	17	1	1,5	1,5	0	0
18	18	1	1,5	1,5	1,05	0
19	19	1,3	0,8	0	0	0
20	20	1,3	0,8	0	0	1,5
21	21	1,3	0,8	0	1,05	1,5
22	22	1,3	0,8	0	1,5	0
23	23	1,3	0,8	0,75	0	1,5
24	24	1,3	0,8	0,75	1,05	1,5
25	25	1,3	0,8	0,75	1,5	0
26	26	1,3	0,8	1,5	0	0
27	27	1,3	0,8	1,5	1,05	0
28	28	1,3	1,5	0	0	0
29	29	1,3	1,5	0	0	1,5
30	30	1,3	1,5	0	1,05	1,5
31	31	1,3	1,5	0	1,5	0
32	32	1,3	1,5	0,75	0	1,5
33	33	1,3	1,5	0,75	1,05	1,5
34	34	1,3	1,5	0,75	1,5	0
35	35	1,3	1,5	1,5	0	0
36	36	1,3	1,5	1,5	1,05	0

Combinazioni Carico SLU

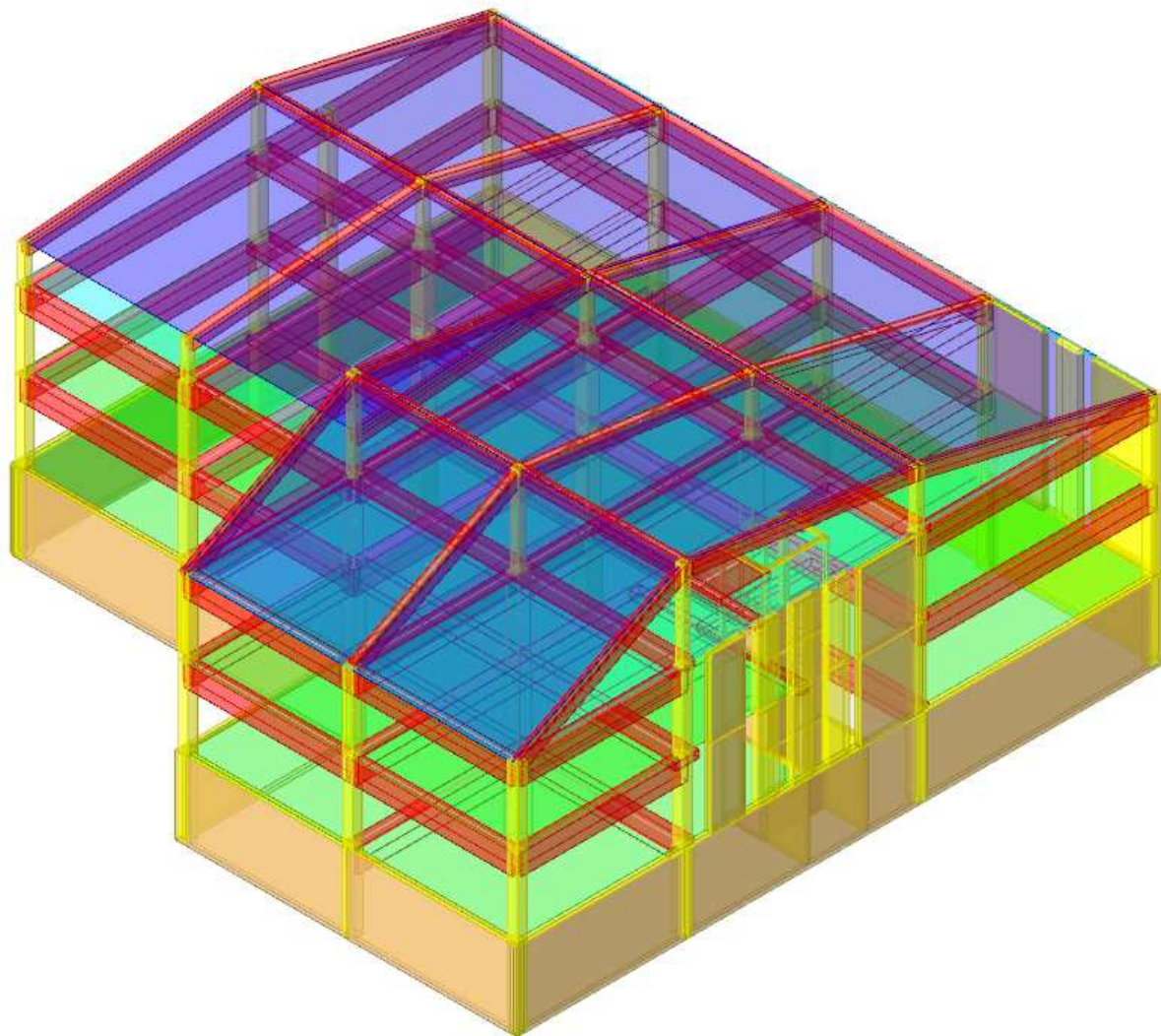
12. MODELLAZIONE AGLI ELEMENTI FINITI

Le immagini sottostanti rappresentano la modellazione avvenuta tramite il software di calcolo agli elementi finiti *Sismicad 12.13*.

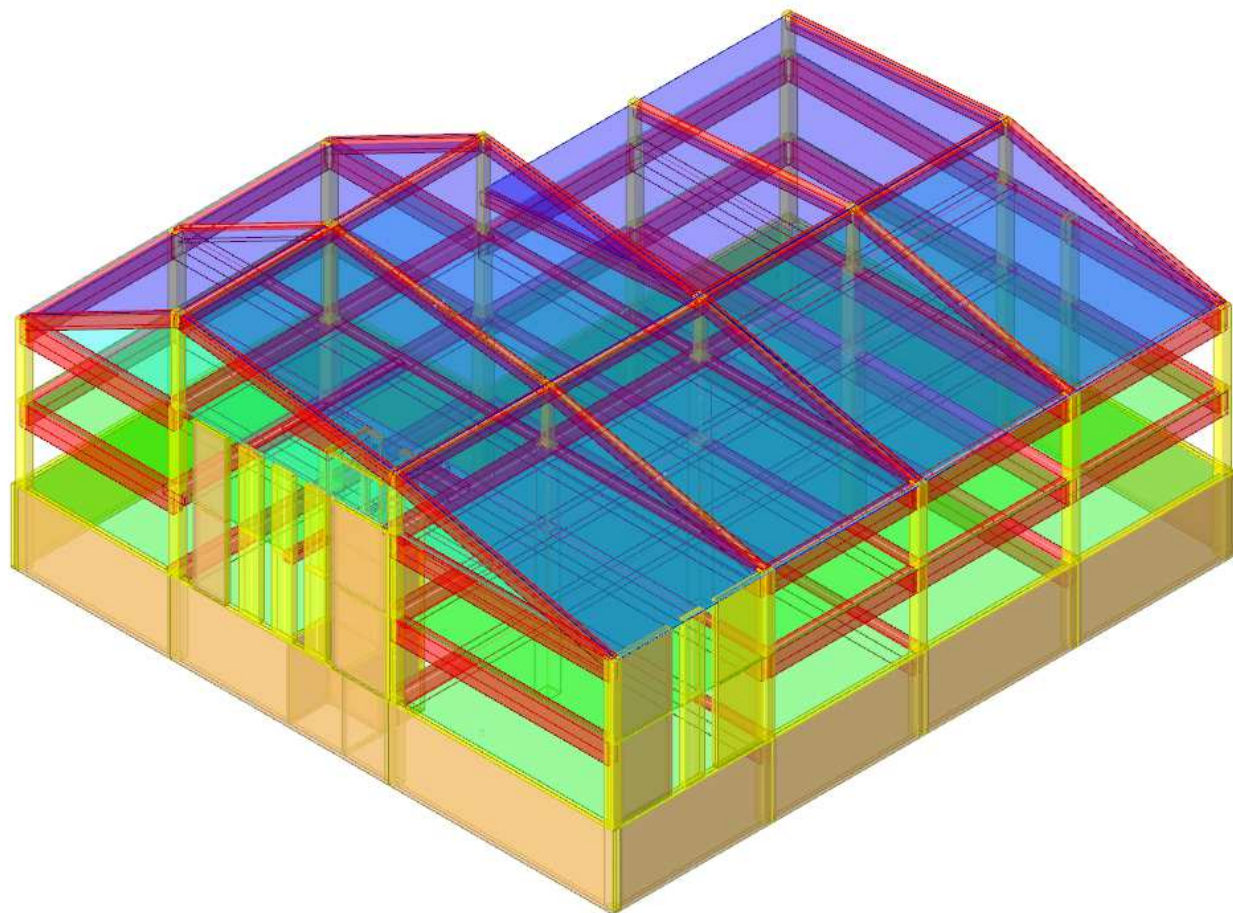
Si sottolinea come gli impalcati siano stati modellati con comportamento rigido, essendo solai in laterocemento tradizionale con una soletta di 40 mm, eccezione della copertura a falde, alla quale è stato associato un comportamento membranale.

In particolare si riporta la struttura e il modello delle unità strutturali del fabbricato oggetto d'indagine.

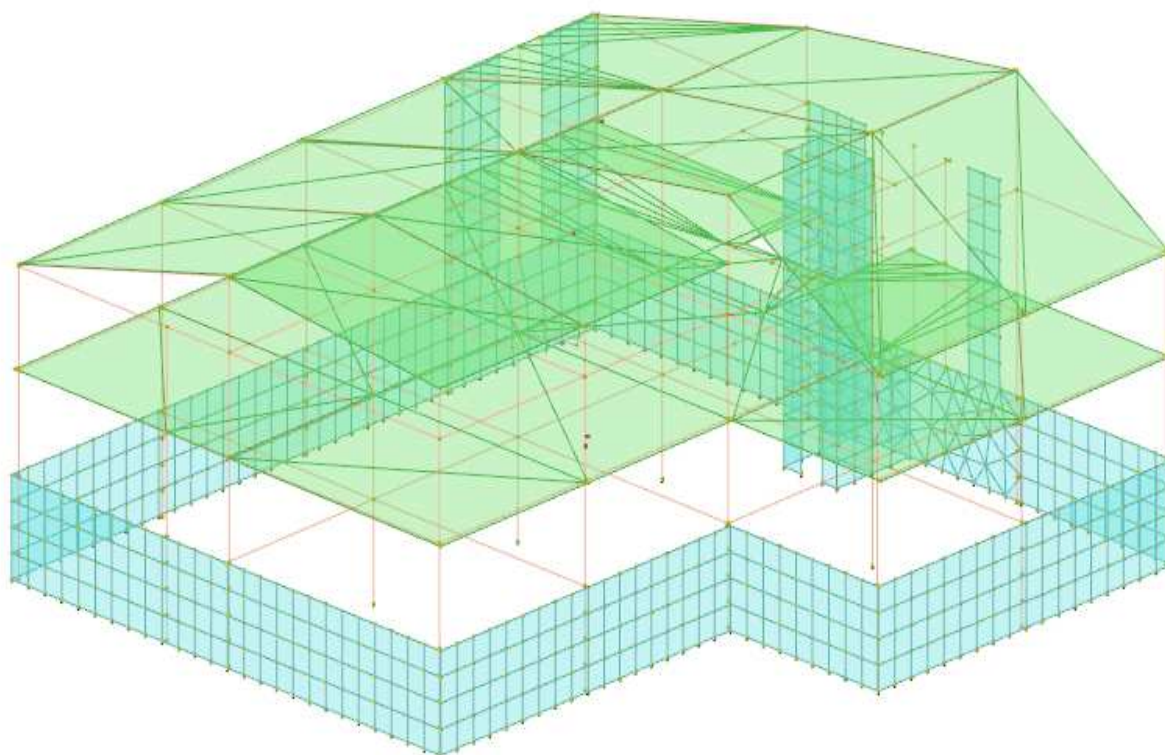
- **Blocco A**



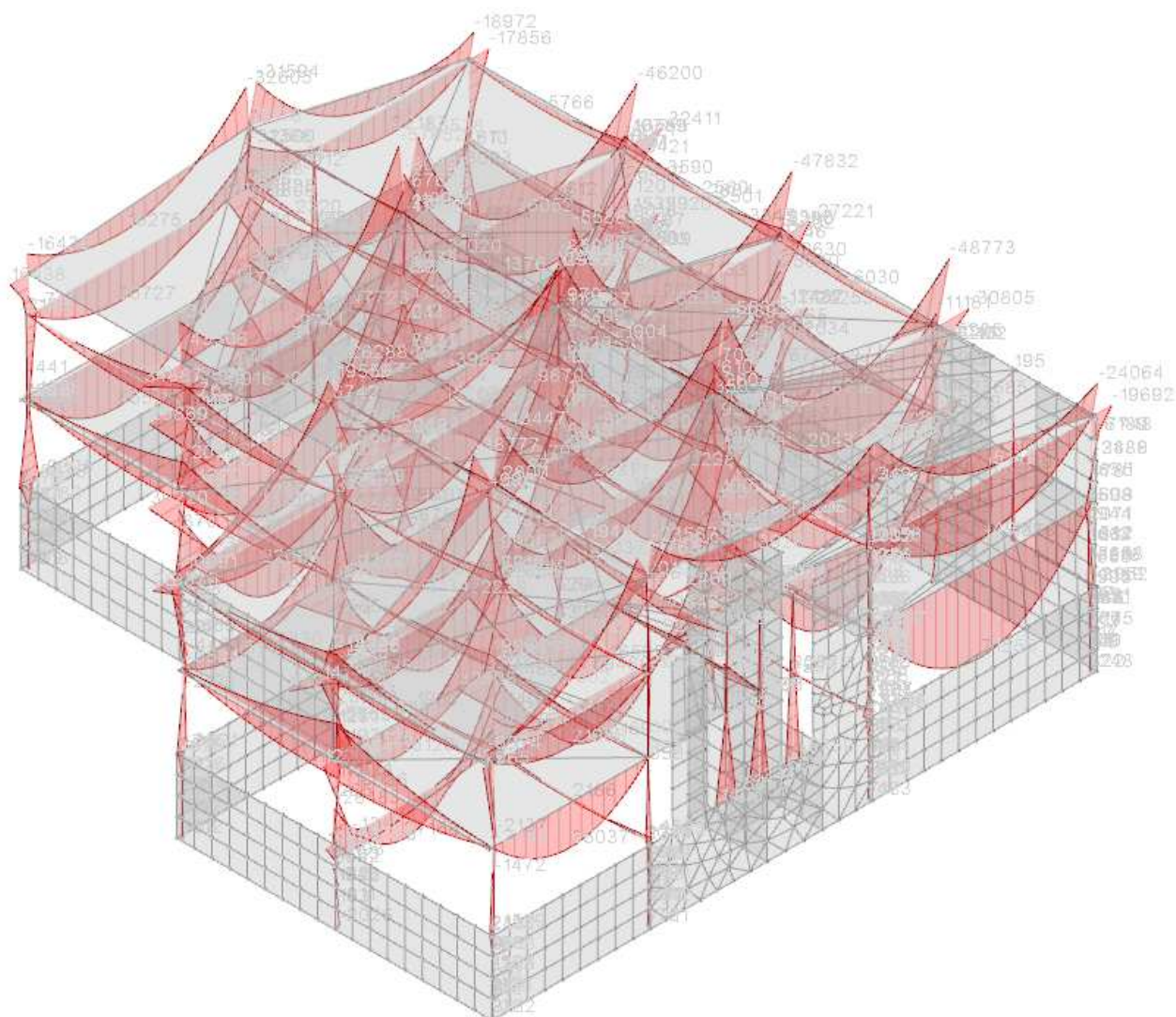
Vista assonometrica N-E



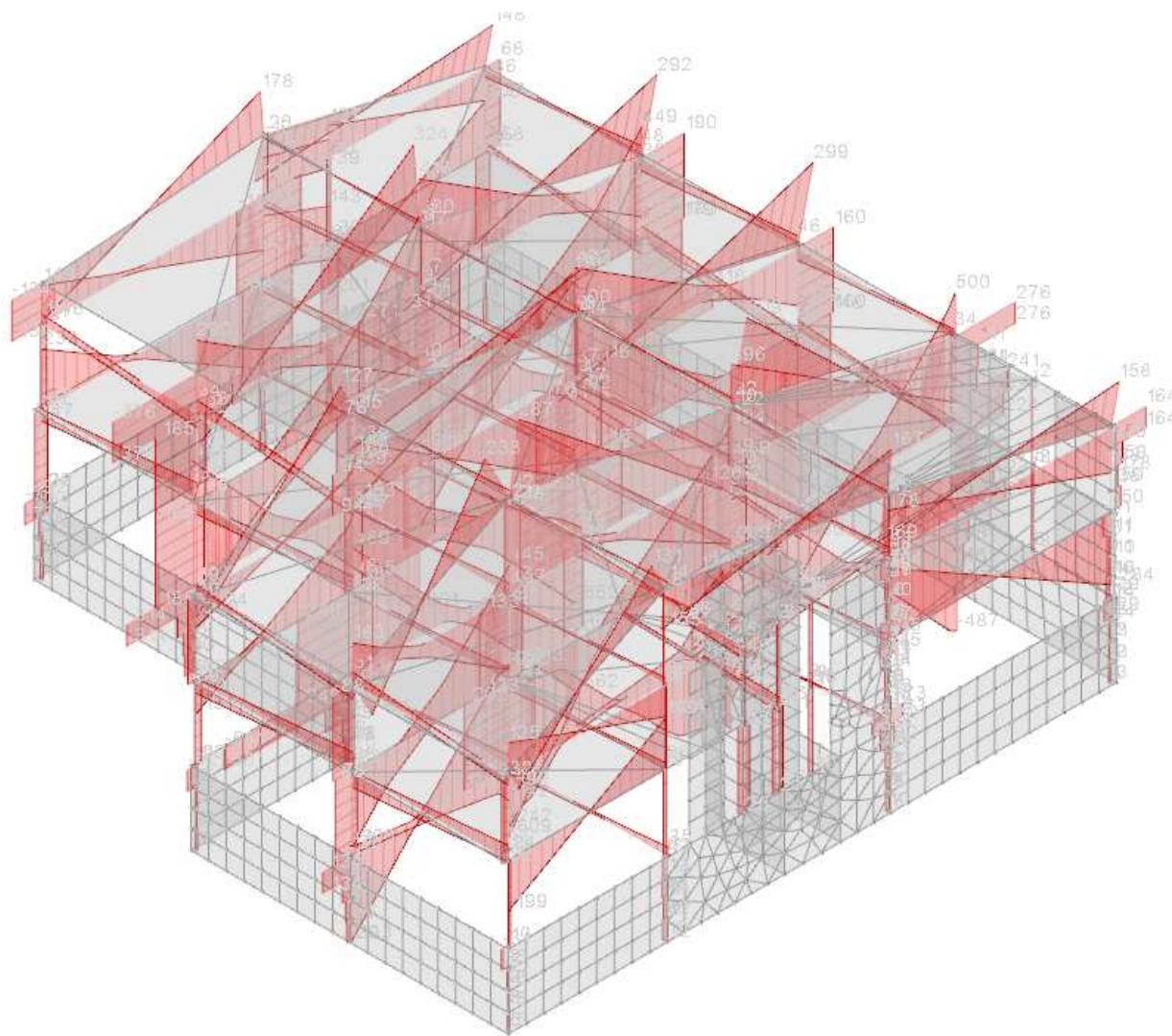
Vista assometrica S-O



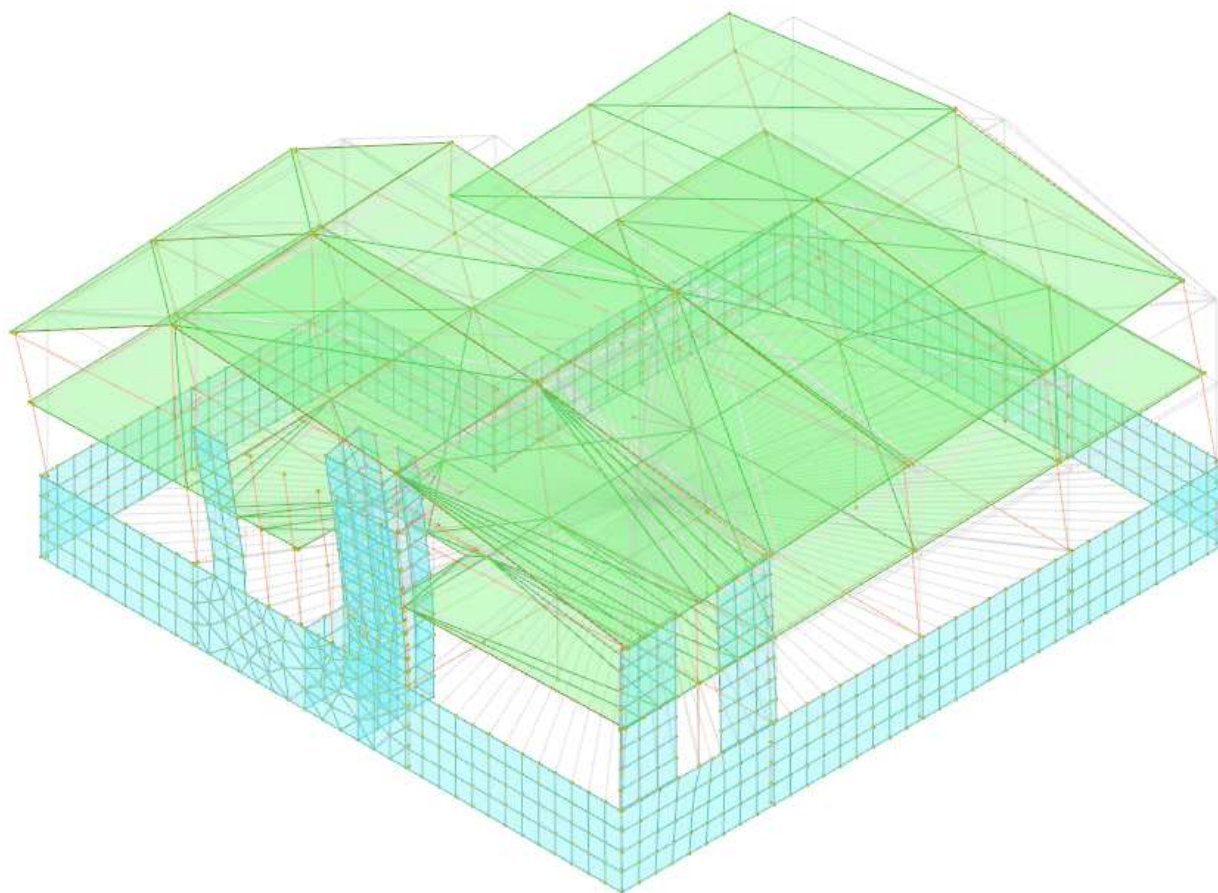
Modello ad Aste



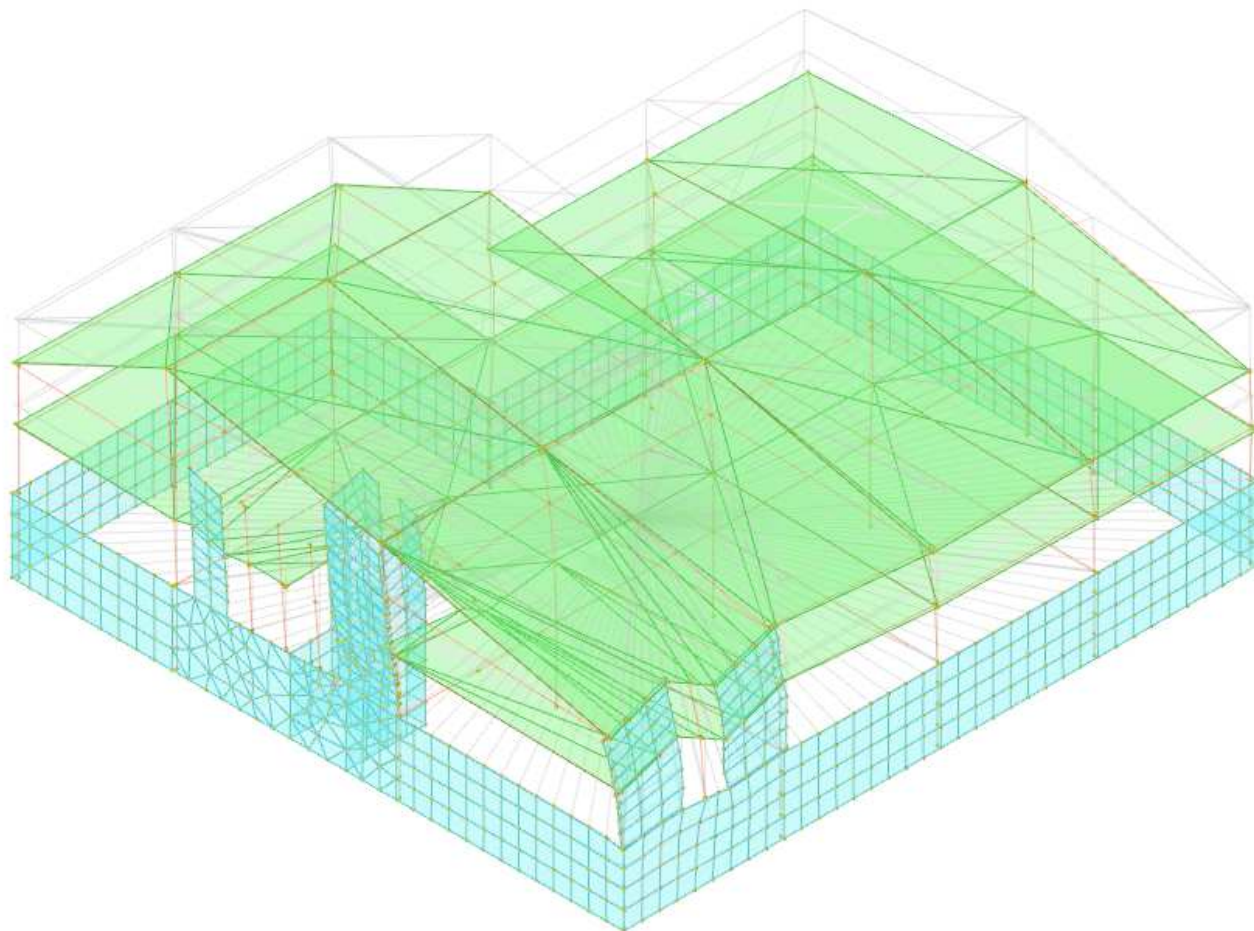
Sollecitazione Aste, involucro SLV e SLU, Diagramma a Momento Flettente



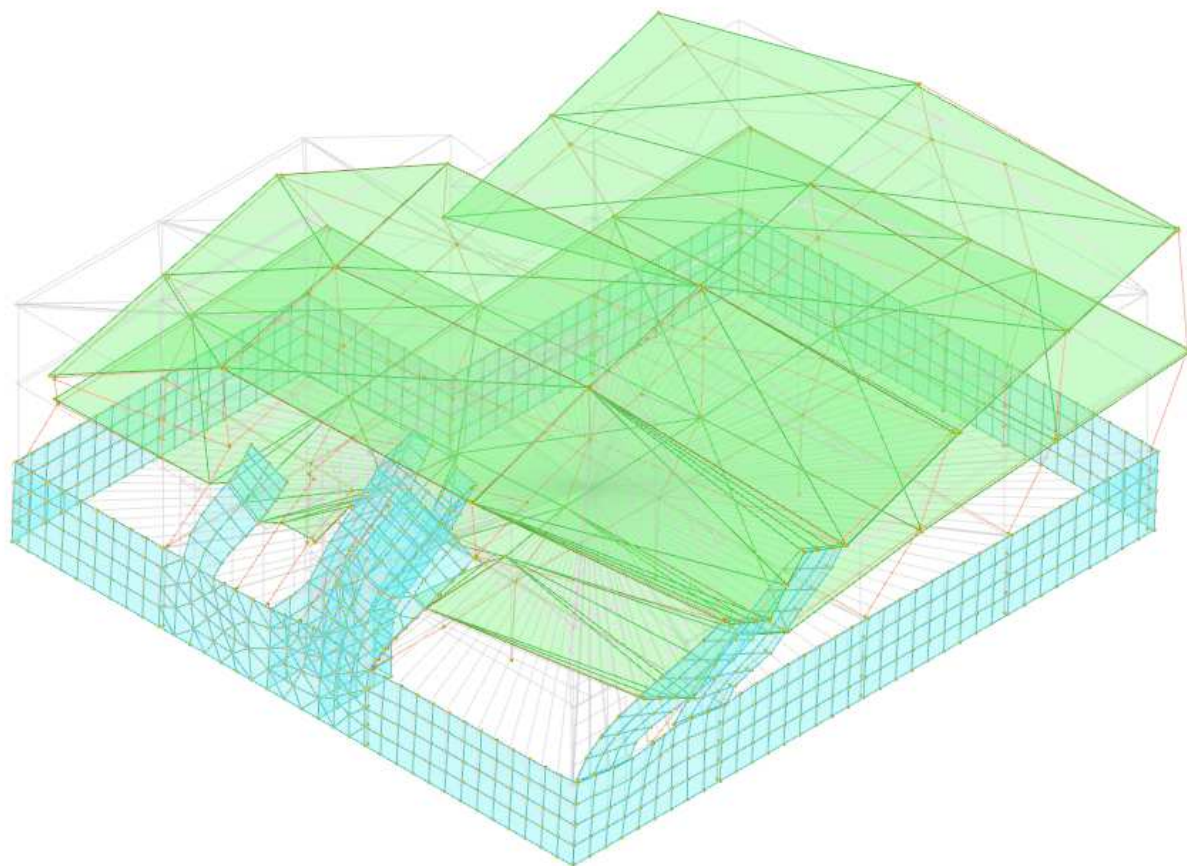
Sollecitazione Aste, involucro SLV e SLU a Taglio



Spostamenti, Primo Modo di Vibrare

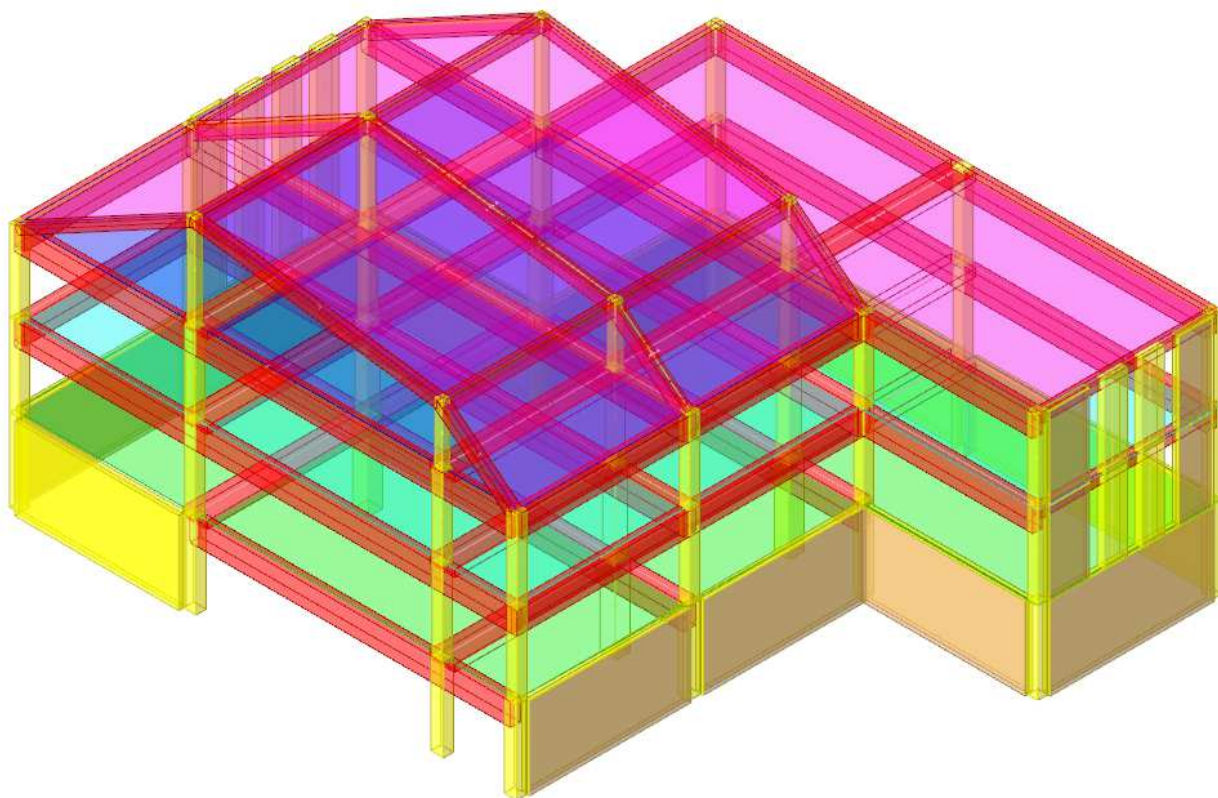


Spostamenti, Secondo Modo di Vibrare

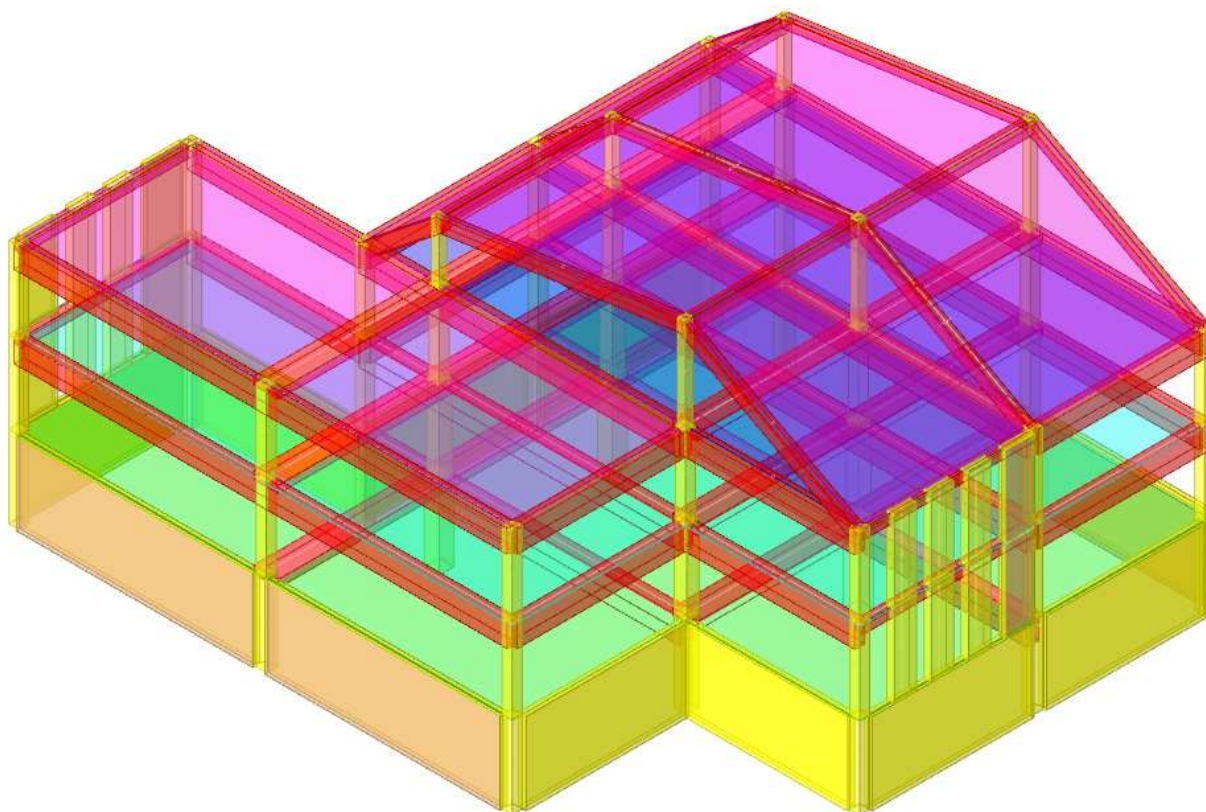


Spostamenti, Terzo Modo di Vibrare

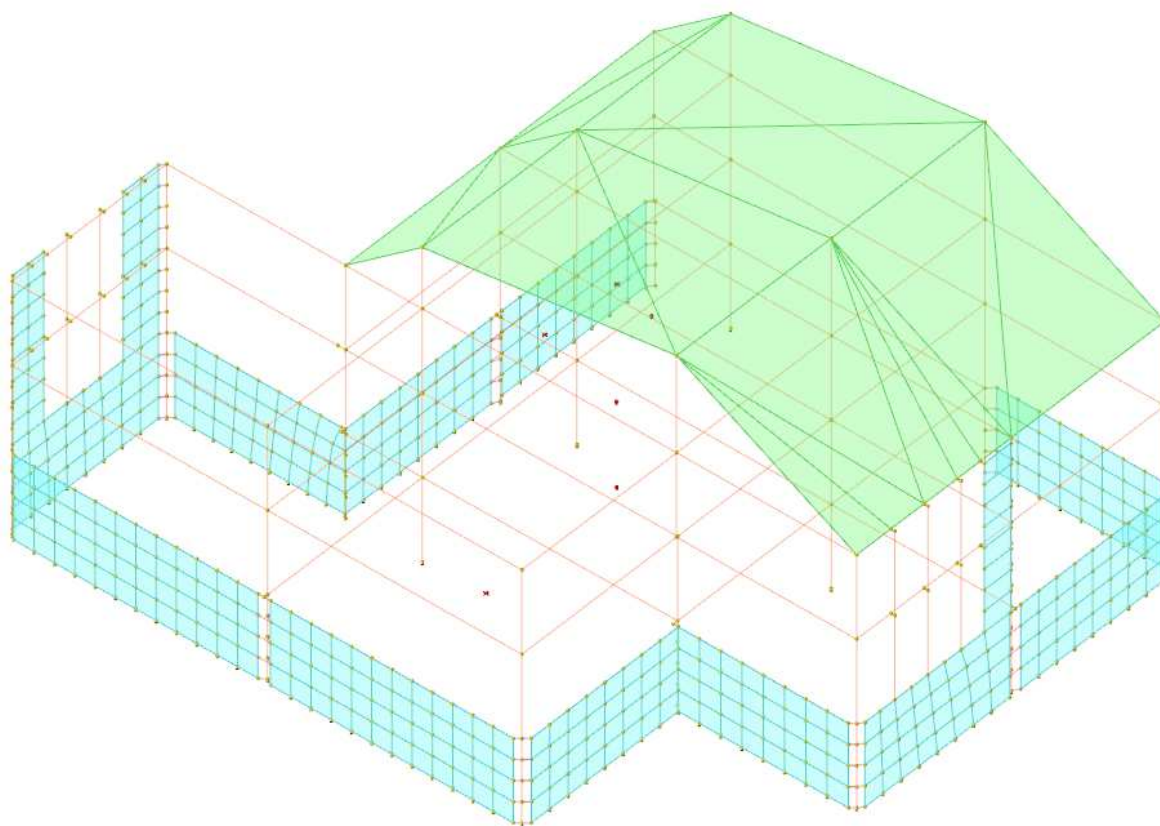
- **Blocco B**



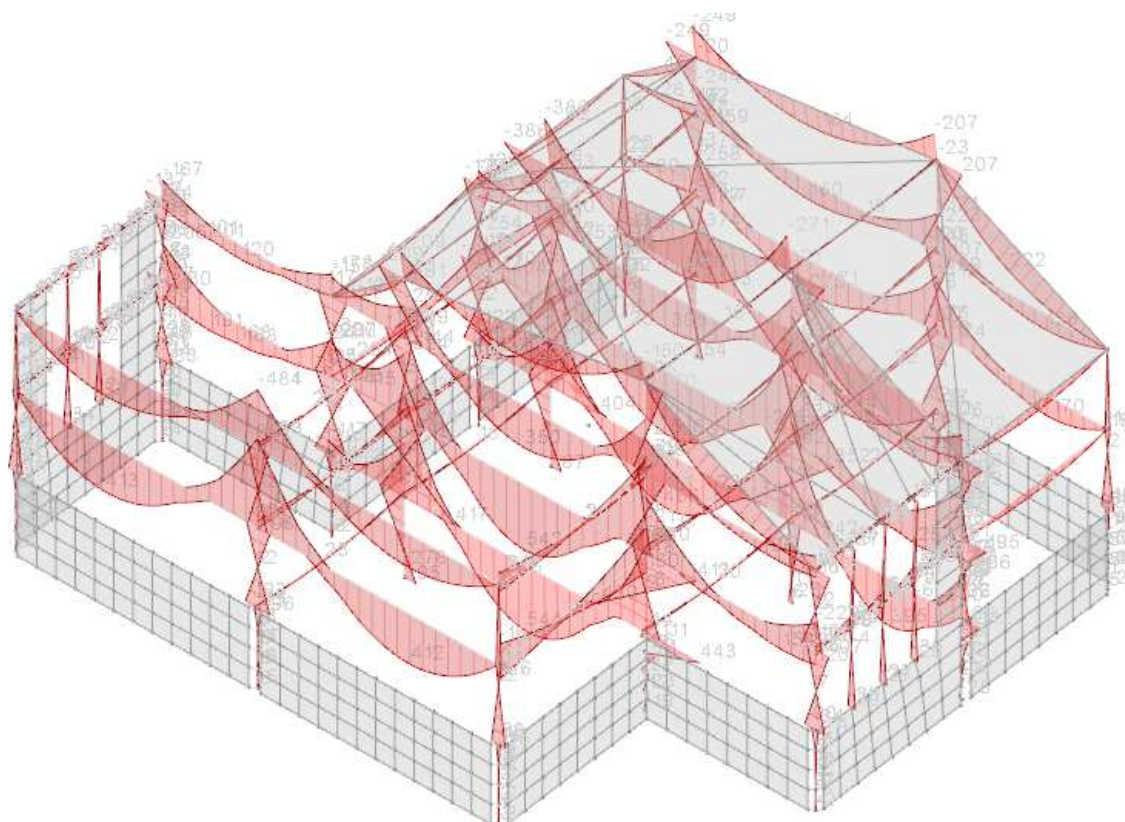
Vista assonometrica N-E



Vista assonometrica S-O



Modello ad Aste



Sollecitazione Aste, Diagramma involucro SLU e SLV a Momento Flettente

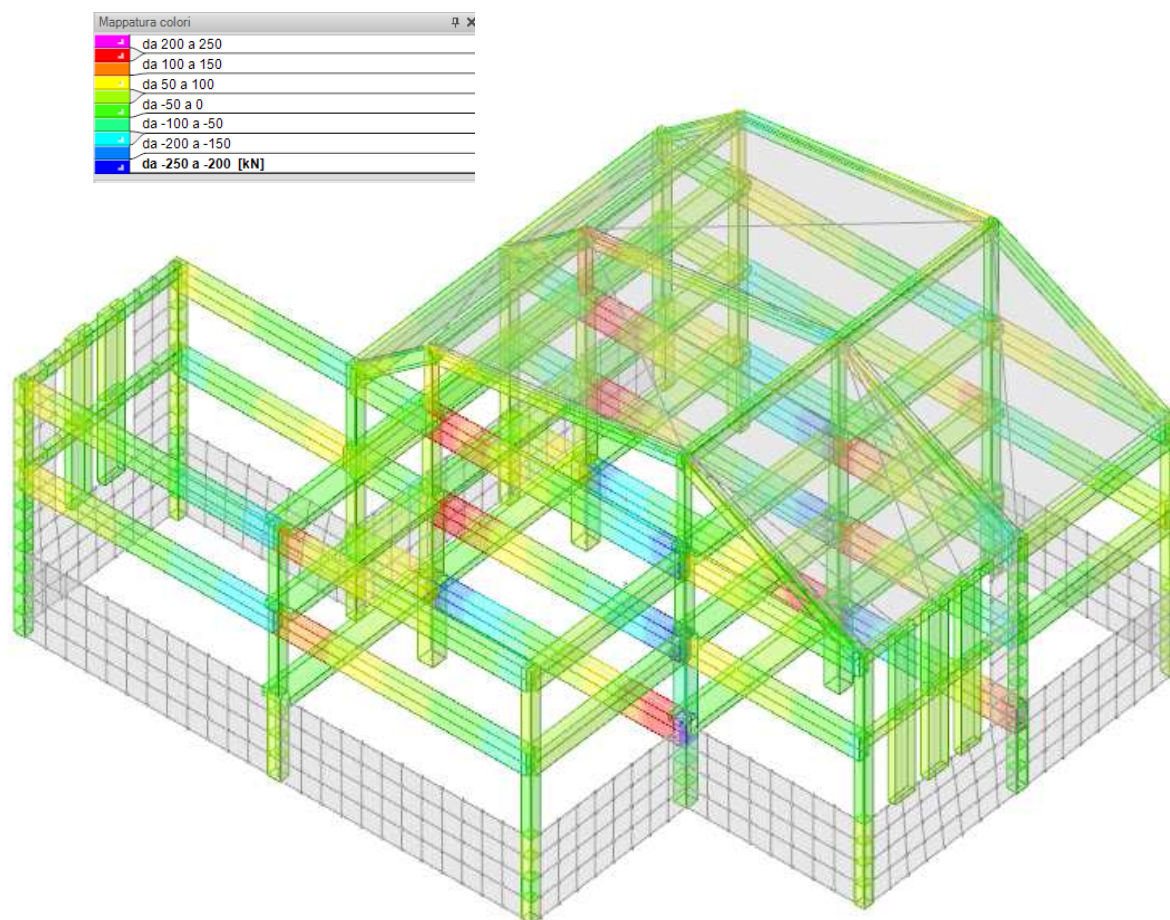
Ubicazione: Viale Papa Giovanni XXIII, 10 - Rovetta

Data: 28.03.2022

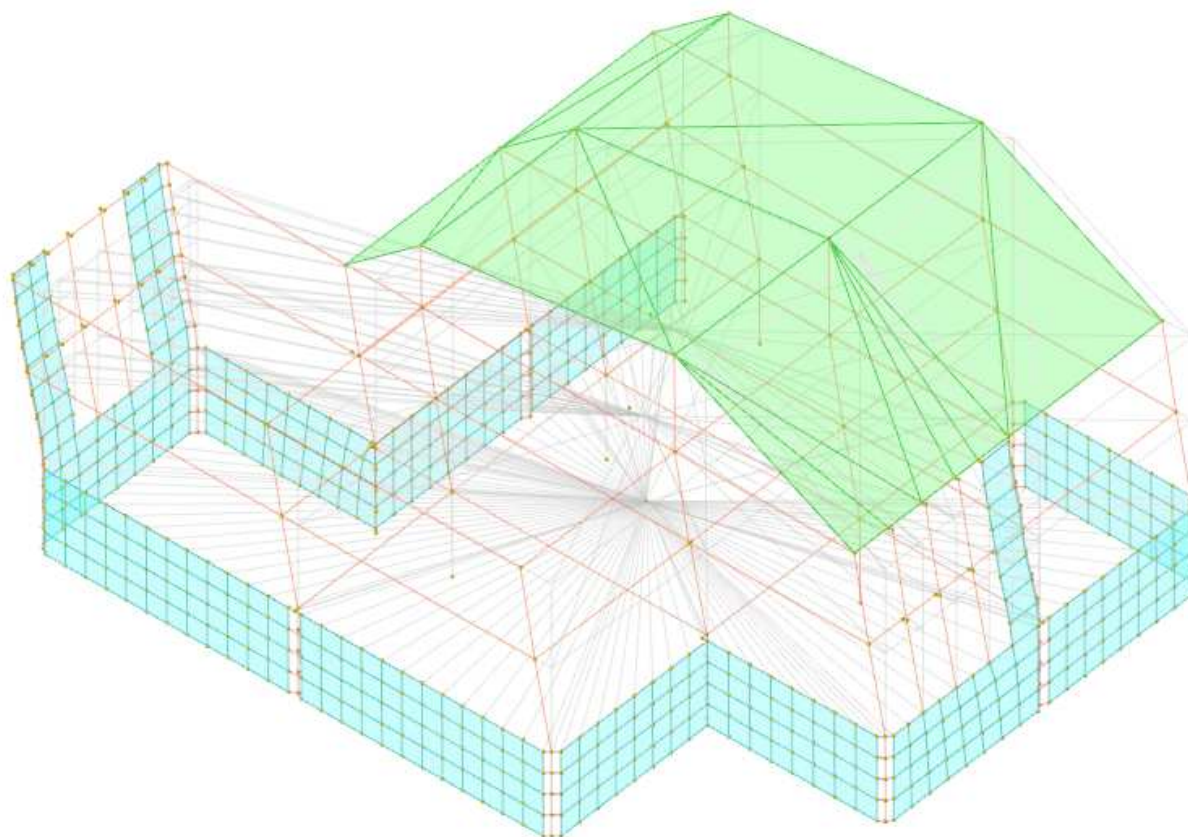
Oggetto: Progetto di adeguamento sismico – Relazione stato di consistenza

Richiedente: Scuola Primaria "A. Moro"

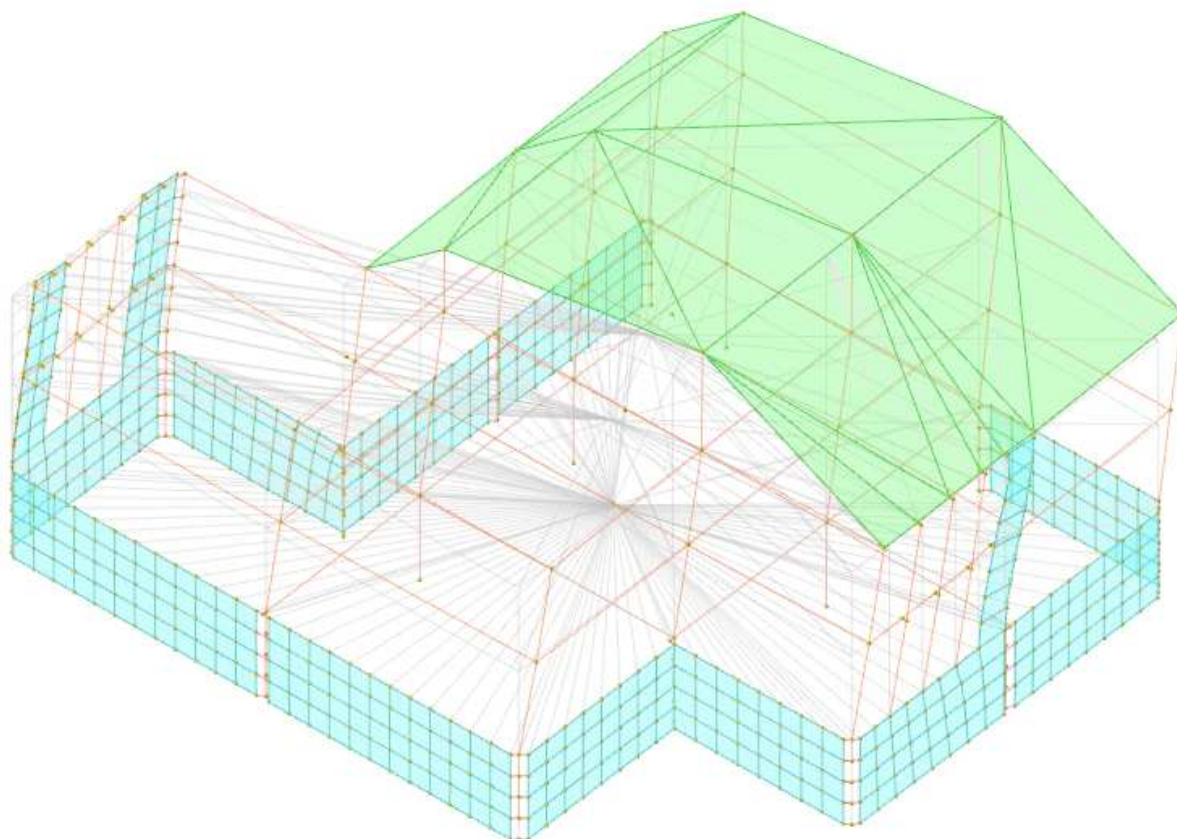
Pratica: 0455



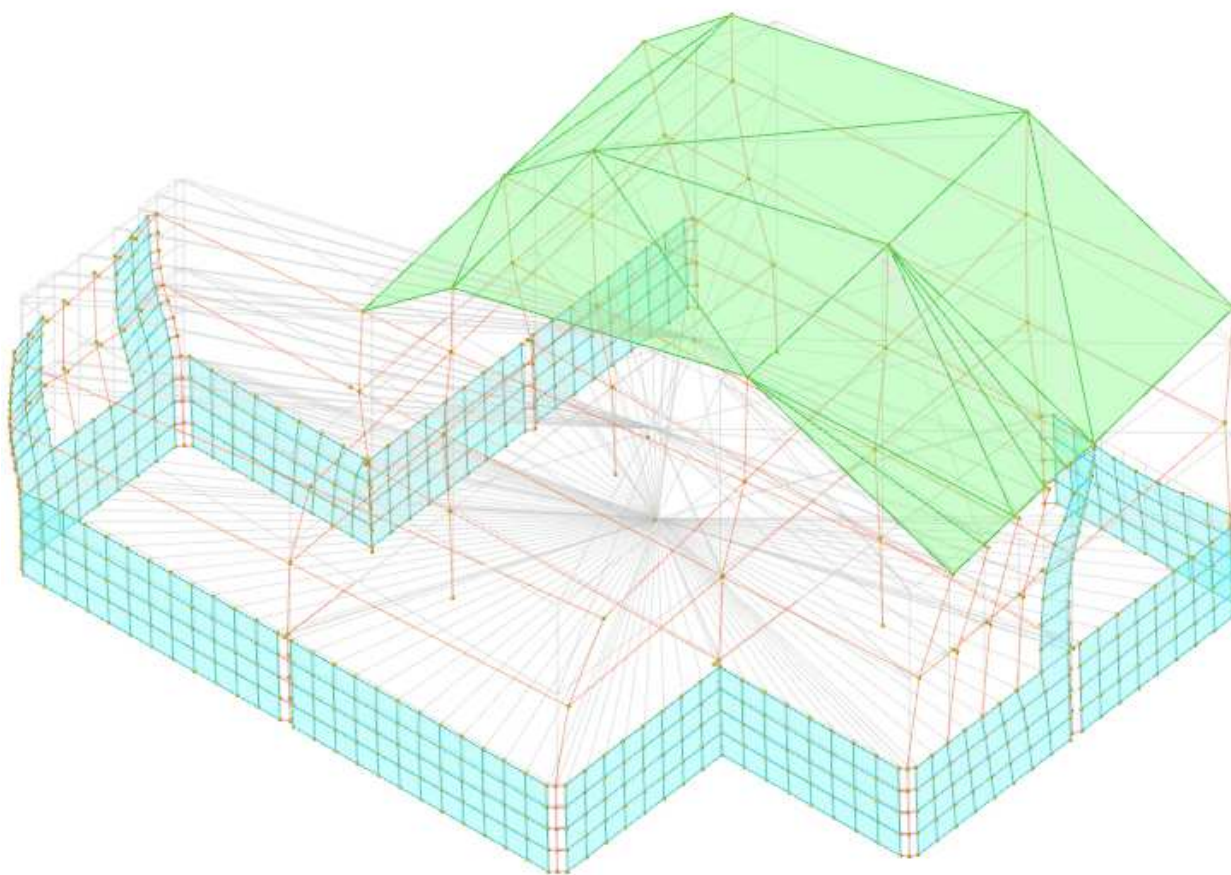
Sollecitazione Aste, involucro SLU e SLV a Taglio



Spostamenti, Primo Modo di Vibrare



Spostamenti, Secondo Modo di Vibrare



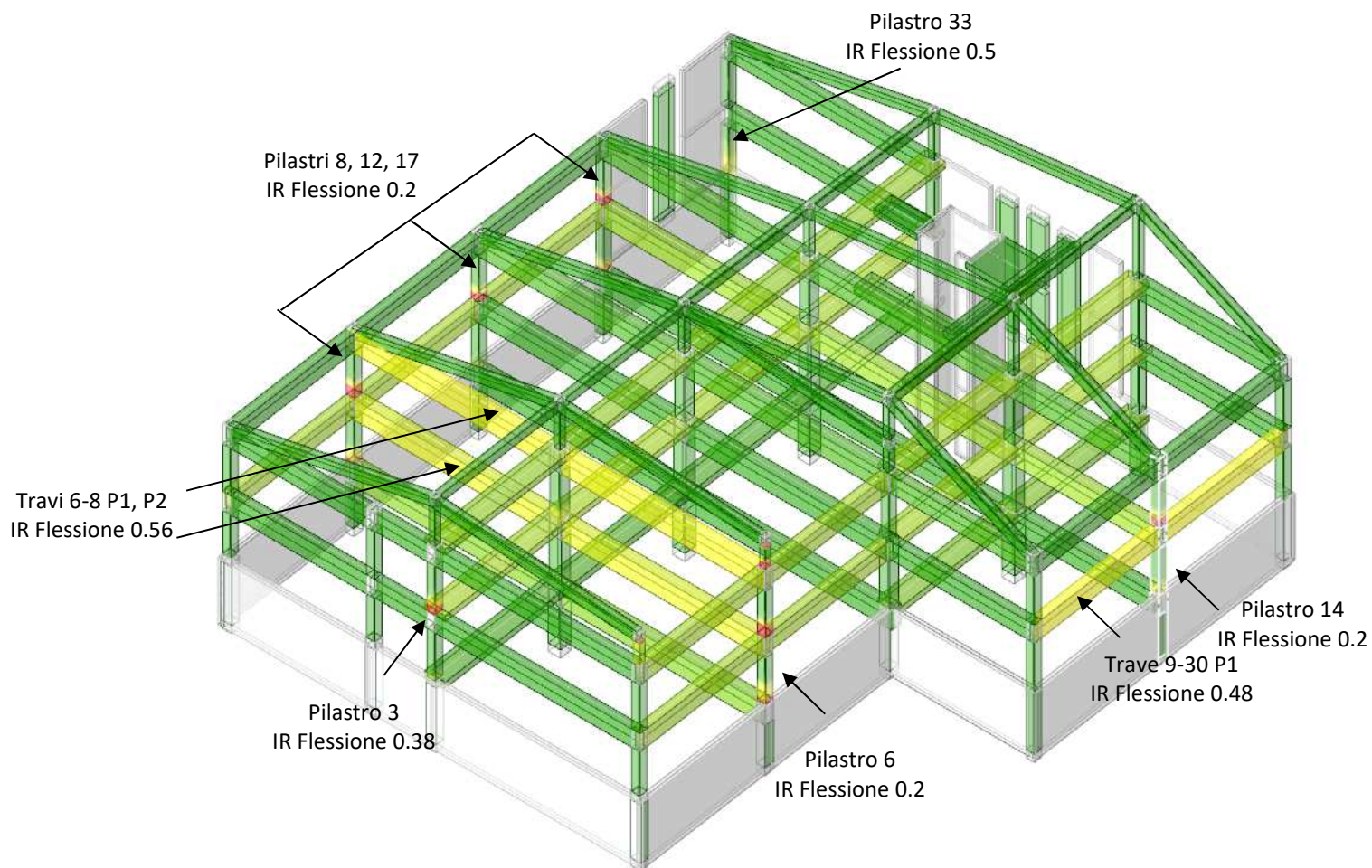
Spostamenti, Terzo Modo di Vibrare

13. VERIFICHE E RISULTATI FINALI

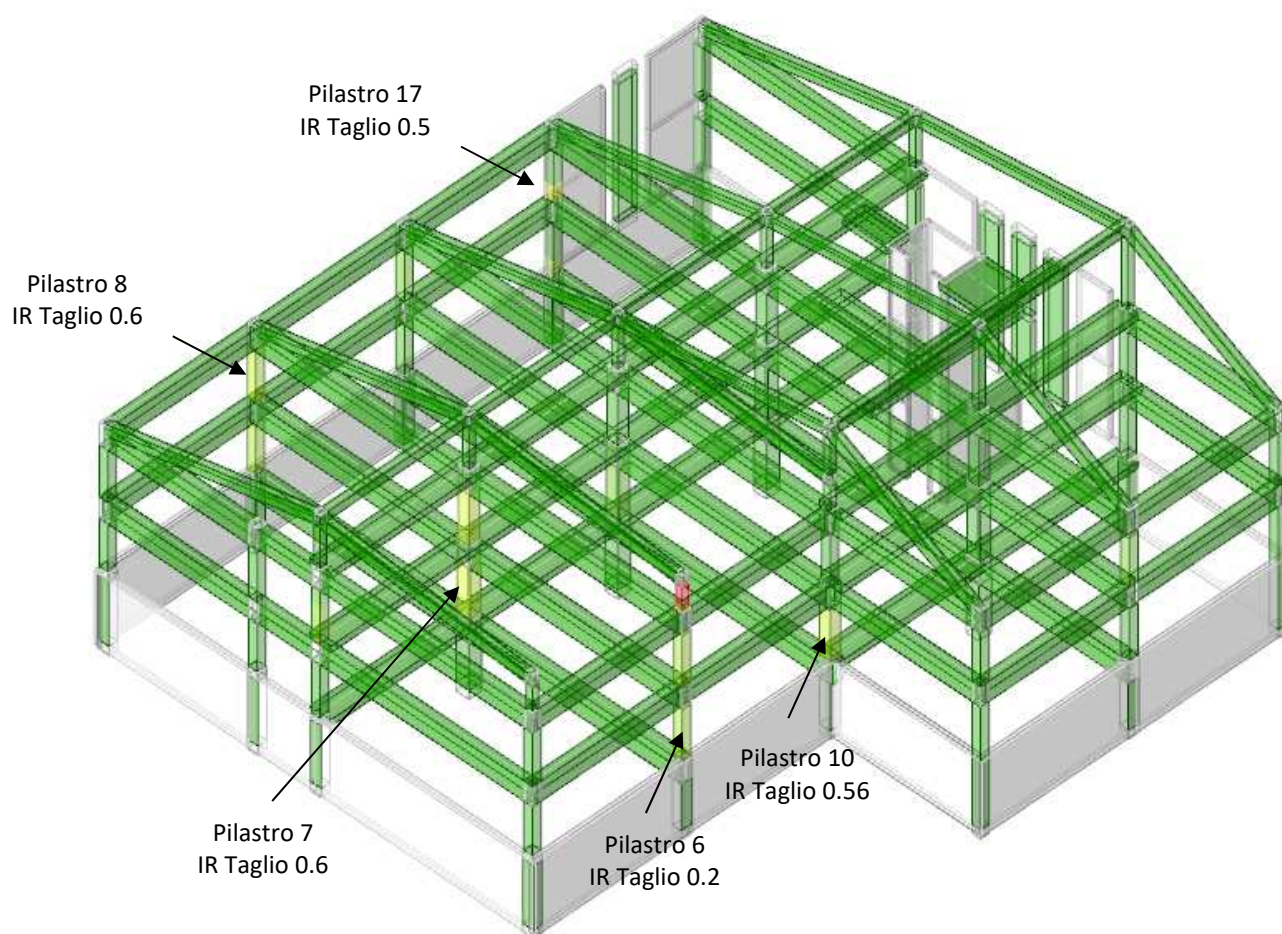
Di seguito vengono riportate le verifiche in funzione delle U.S dei fabbricati:

- **BLOCCO A**, *Analisi Dinamica Lineare*

Tale verifica consente di fare una valutazione di resistenza sugli elementi strutturali del fabbricato nei confronti delle sollecitazioni di pressoflessione e taglio rispetto alla normativa NTC 2018. In seguito alle analisi eseguite dal programma di calcolo possiamo perciò valutare i risultati. In primo luogo, si sottolinea come l'U.S. risulti verificata in condizioni statiche. Segue quindi la mappatura colorimetrica degli elementi più vulnerabili, a seconda delle sollecitazioni considerate, in cui è stato indicato il minimo indice di rischio riscontrato per ogni elemento



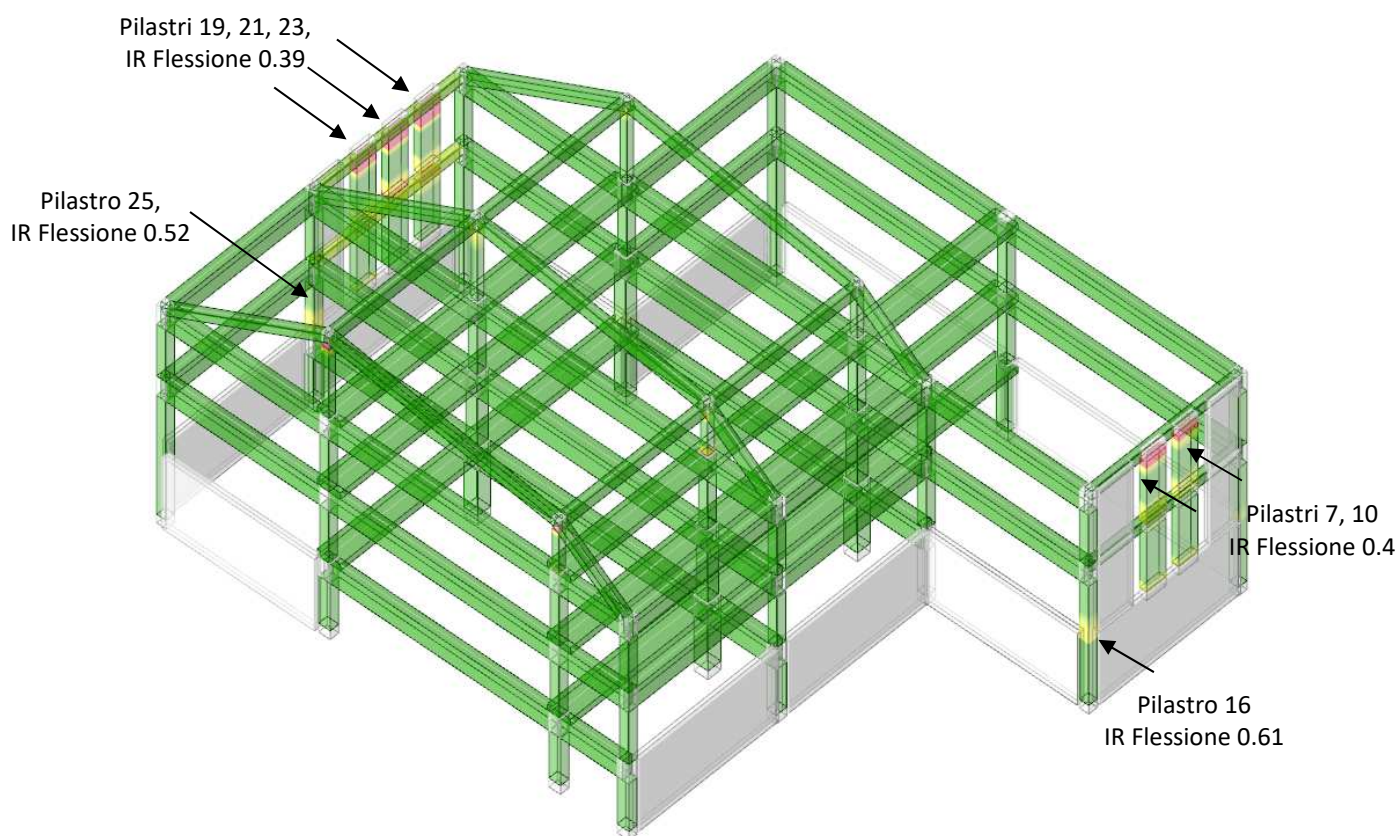
Verifica Flessione Sismica



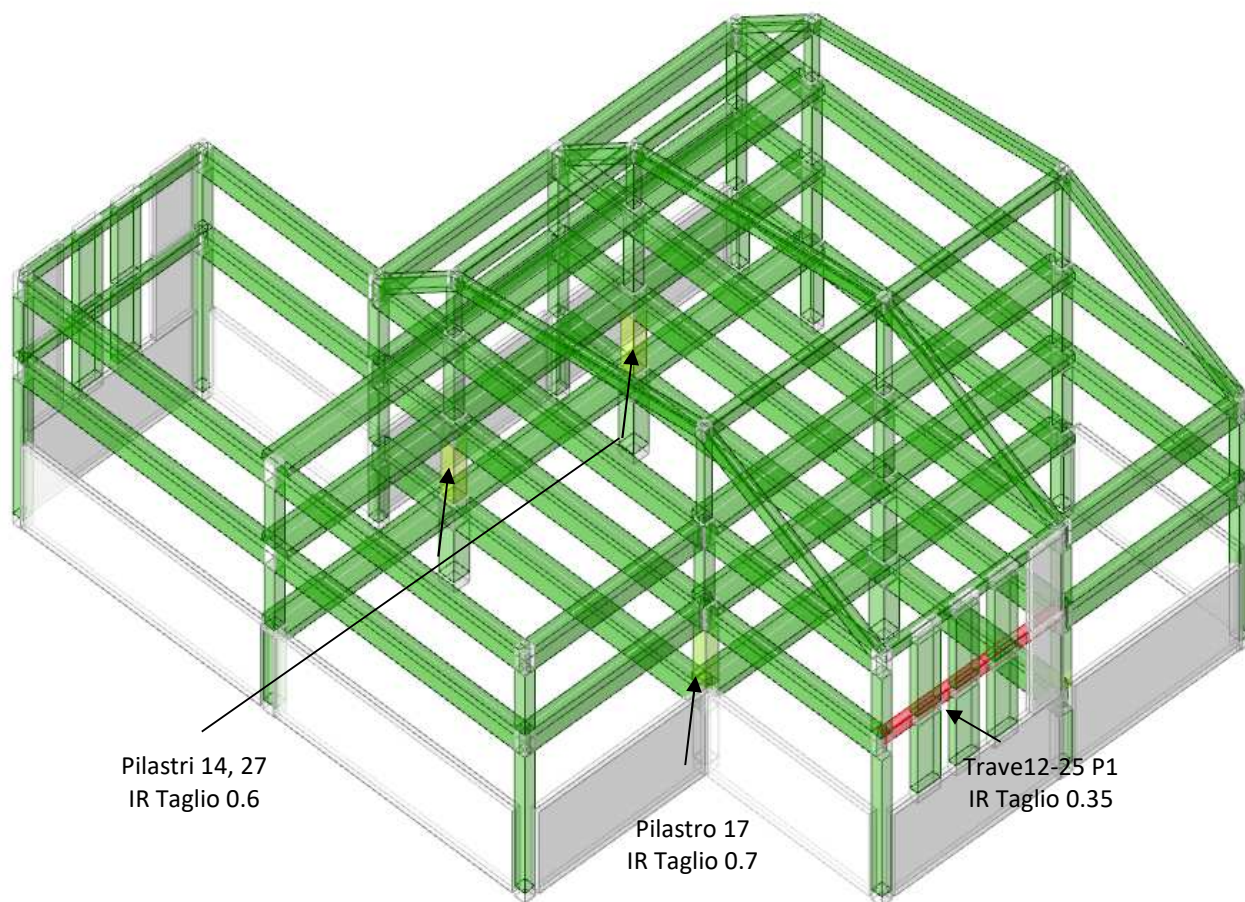
Verifica Taglio Sismico

- **BLOCCO B, Analisi Dinamica Lineare**

Tale verifica consente di fare una valutazione di resistenza sugli elementi strutturali del fabbricato nei confronti delle sollecitazioni di pressoflessione e taglio rispetto alla normativa NTC 2018. In seguito alle analisi eseguite dal programma di calcolo possiamo perciò valutare i risultati. In primo luogo, si sottolinea come l'U.S. risulta verificata in condizioni statiche. Segue quindi la mappatura colorimetrica degli elementi più vulnerabili, a seconda delle sollecitazioni considerate, in cui è stato indicato il minimo indice di rischio riscontrato per ogni elemento.



Verifica Flessione Sismica



Verifica Taglio Sismico

14. CONCLUSIONI

14.1 CRITICITA' E VULNERABILITA' RISCONTRATE

Le considerazioni di seguito elencate sono riferite alle Norme Tecniche per le Costruzioni 2018, in vigore per tutte le costruzioni dal 22 Marzo 2018.

L'obiettivo a monte di ogni intervento di adeguamento è quello di incrementare il coefficiente di sicurezza sismica del fabbricato.

Di conseguenza, è importante identificare le diverse criticità della struttura che determinano la vulnerabilità della stessa, prima e dopo l'intervento.

In merito al caso oggetto d'indagine si riporta di seguito la contrapposizione tra i requisiti richiesti dalla norma per gli edifici in calcestruzzo, e le carenze del fabbricato indagato.

In generale, gli edifici in cemento armato, sono caratterizzati da un funzionamento strutturale completamente diverso da quello pertinente agli edifici in muratura.

Questi ultimi, infatti, basano la resistenza essenzialmente sull'area geometrica dei maschi murari, i primi, invece, affidano la resistenza ad un sistema di elementi lineari intelaiati tra loro, la cui resistenza è definita dalla sinergica collaborazione tra calcestruzzo ed acciaio: il primo risulta un materiale fragile e coesivo che, grazie alla presenza delle armature in acciaio, assume anche la resistenza a trazione, di cui è per natura sprovvisto.

Il comportamento di un edificio in cemento armato soggetto ad azioni orizzontali può essere definito attraverso diverse scale differenti: la prima riguarda il comportamento dei materiali costituenti, ed è legato direttamente al loro livello di degrado.

Il secondo riguarda invece il comportamento delle sezioni strutturali: che devono possedere adeguati dettagli costruttivi tali da scongiurare rotture di tipo fragile (quali taglio e rotture dei nodi) a favore di rotture di tipo duttile.

Questa gerarchia di rotture, non è sempre garantita nel caso degli edifici esistenti, in particolare per quelli progettati antecedentemente all'avvento dei criteri di moderni di performance based design.

Nei criteri di gerarchia delle resistenze, infatti, si predilige la rottura duttile delle travi sui pilastri, favorendo la rottura a flessione, piuttosto che di taglio.

Infine si considera il terzo comportamento complessivo della struttura, influenzata in particolar modo dalla progettazione o meno secondo criteri di regolarità in pianta ed elevazione: la presenza di una forma geometrica regolare e compatta non è però assolutamente sinonimo di regolarità.

I fattori che infatti possono indurre comportamenti di tipo irregolare sono:

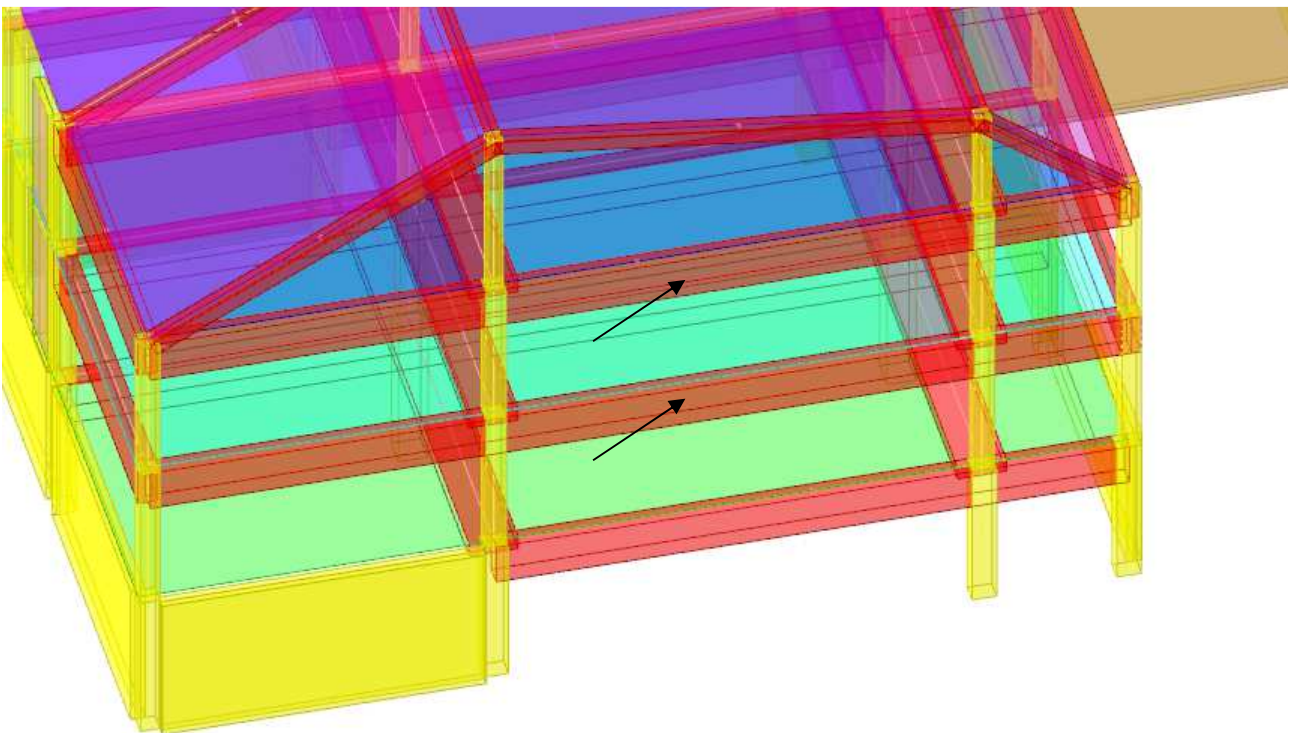
- *Elevata eccentricità del baricentro delle masse e delle rigidezze*, con conseguente deformabilità torsionale ed incremento della richiesta di resistenze e duttilità su un lato dell'edificio.
- *Irregolare distribuzione di masse e rigidezze in elevazione* che generano concentrazione di sforzi su determinati piani e/o elementi strutturali.
- Presenza di elementi in aderenza e/o *privi di giunto sismico o sottodimensionato*, che determina il martellamento degli elementi.
- Presenza di piani deboli, o *soft storey*, che può a sua volta essere causato da disposizione irregolare in altezza delle tamponature, piani non tamponati, altezze di interpiano differenti o travi sovradimensionate rispetto ai pilastri.
- Presenza di *pilastri tozzi*, maggiormente soggetti a rotture fragili a taglio, in seguito ad eventuali presenze di tamponature ad altezza intermedia e/o finestre a nastro.

Dalle analisi non invasive e dal rilievo eseguite in situ, alcuni di questi accorgimenti basilari secondo la normativa vigente non sono stati rispettati.

In particolare, in entrambe le U.S sono emerse le seguenti *criticità*:

1) *Irregolarità Strutturale*: ogni scostamento della simmetria e della compattezza in pianta del fabbricato comporta uno squilibrio di distribuzione delle sollecitazioni proporzionalmente alla presenza di conformazioni disordinate e asimmetriche.

2) *Travi di Luci estese superiori al limite di normativa ($10\text{ m} > 7\text{ m}$)*



3) *Presenza di copertura pesante, con travi a ginocchio ed elementi tozzi*

14.2 VERIFICHE

In merito alle risultanze ottenute, le verifiche delle unità strutturali possono essere riassunte come di seguito:

- **Blocco A:** Dall'Analisi Dinamica Lineare, gli elementi più vulnerabili risultano i pilastri, critici sia a flessione che a taglio.

In particolare, l'indice di rischio delle travi risulta infatti maggiore o uguale a 0.6, limite inferiore imposto dalla Normativa per garantire il miglioramento sismico di un edificio di Tipologia II e Classe III adibito ad edificio scolastico, ovvero il nostro caso oggetto d'indagine.

- **Blocco B:** Dall'Analisi Dinamica Lineare, gli elementi più vulnerabili risultano sia i pilastri, critici a flessione, che le travi, critiche a taglio, di cui è possibile definire il minimo Indice di Rischio pari a 0.35, localizzato per la Trave 12-25 del Piano 1.

Ad eccezione di tale valore, a cui si aggiunge IR a flessione dei pilastri 7, 10, 19, 21, 23, 25, si sottolinea come i rimanenti elementi abbiano un indice di rischio maggiore o uguale a 0.6, limite inferiore imposto dalla Normativa per garantire il miglioramento sismico di un edificio di Tipologia II e Classe III adibito ad edificio scolastico, ovvero il nostro caso oggetto d'indagine.