

COMUNE DI DERUTA

REGIONE DELL'UMBRIA

*Servizio di Verifica di Vulnerabilità Sismica di livello 2 (LC2) da eseguire su edifici scolastici ammessi a finanziamento con Decreto del Direttore della Direzione Generale per interventi in materia di edilizia scolastica, per la gestione dei fondi strutturali per l'istruzione e per l'innovazione digitale 18 luglio 2018, n. 363*



**SCUOLA DELL'INFANZIA E SECONDARIA DI PRIMO GRADO - VIA GIOSUE' CARDUCCI, SAN NICOLO' DI CELLE - DERUTA (PG)**



Via Orazio Tramontani n.52,  
P. S. Giovanni 06135 Perugia,  
tel. 075/394485 fax. 075/395926  
E-mail:mtprogetti@mtprogetti.it  
Pec:umberto.tassi2@ingpec.eu  
P.IVA 01983250547

*Committente:*  
**AREA TECNICA DEL COMUNE DI DERUTA**  
Geom. Marco Ricciarelli

TAV.:

**RT**

**RELAZIONE TECNICA**

REV.	DATA	REDATTO	APPROVATO	MOTIVAZIONE
A	30/01/2019		U. TASSI	PRIMA EMISSIONE
B				
C				



## **RELAZIONE FINALE SULLE VERIFICHE TECNICHE**

<b>0. OGGETTO.....</b>	<b>3</b>
<b>1. INTRODUZIONE .....</b>	<b>3</b>
<b>2. NORME DI RIFERIMENTO.....</b>	<b>4</b>
<b>3. RILIEVO GEOMETRICO STRUTTURALE.....</b>	<b>5</b>
3.1. ESAME DELLA DOCUMENTAZIONE DISPONIBILE ED ANALISI STORICO-CRITICA .....	5
3.2. DATI DIMENSIONALI E SCHEMI PLANO-ALTIMETRICI.....	5
3.2.1. Dati dimensionali.....	5
3.2.2. Inquadramento generale.....	7
3.2.3. Descrizione delle destinazioni d'uso dei diversi locali .....	7
3.2.4. Rilievo materico e dei particolari costruttivi .....	7
3.2.5. Documentazione fotografica .....	8
3.3. CARATTERISTICHE GEOMORFOLOGICHE DEL SITO .....	8
3.4. QUADRO FESSURATIVO E DI DEGRADO .....	9
3.5. RILIEVO MATERICO E DEI PARTICOLARI COSTRUTTIVI .....	9
3.6. IDENTIFICAZIONE DELLA STRUTTURA DI FONDAZIONE .....	9
3.7. DESCRIZIONE DELLA STRUTTURA PORTANTE E SINTESI DELLE VULNERABILITA' RISCONTRATE E/O POSSIBILI .....	10
<b>4. AZIONE SISMICA DI RIFERIMENTO .....</b>	<b>12</b>
4.1 Definizione dell'azione sismica .....	14
<b>5. INDAGINI SPECIALISTICHE .....</b>	<b>16</b>
<b>6. VERIFICHE NUMERICHE .....</b>	<b>19</b>
6.1. PREMESSA .....	19
6.2. ANALISI DEI CARICHI .....	19
6.2.1. Valutazione del carico neve .....	19
6.2.2. Valutazione dell'azione del vento .....	20
6.2.3. Primo Impalcato .....	21
6.2.4. Secondo Impalcato .....	21
6.2.5. Impalcato Sottotetto - Copertura .....	23
6.2.6. Azione sismica di progetto .....	23
6.2.7. Combinazione delle azioni .....	23

---

6.3. CARATTERISTICHE DEI MATERIALI .....	24
6.4. DESCRIZIONE DELLE ANALISI CONDOTTE .....	28
6.5. VALUTAZIONE DELLA SICUREZZA – ANALISI SISMICA GLOBALE .....	28
6.5.1. Premessa .....	28
6.5.2. Identificazione e descrizione del modello di calcolo strutturale .....	28
6.5.3. Risultati delle elaborazioni .....	30
6.5.3.1. <i>Principali risultati dell'Analisi Statica Non Lineare – Pushover</i> .....	30
6.5.3.2. <i>Principali risultati dell'Analisi Dinamica Modale</i> .....	32
6.6. VALUTAZIONE DELLA SICUREZZA – ANALISI SISMICA DEI MECCANISMI LOCALI .....	35
6.7. VALUTAZIONE DELLA SICUREZZA – ANALISI PER CARICHI STATICI .....	36
6.7.1. Premessa .....	36
6.7.2. Identificazione e descrizione del modello di calcolo strutturale .....	36
6.7.3. Parametri di calcolo .....	36
6.7.4. Principali risultati dell'Analisi Statica Lineare Non Sismica .....	36
6.8. RIEPILOGO E COMMENTO DEI RISULTATI. SOLUZIONI PROPOSTE .....	38
6.8.1. Riepilogo degli indicatori di rischio sismici (analisi globali e locali) .....	38
6.8.2. Riepilogo delle verifiche statiche .....	38
6.8.3. Commento ai risultati e soluzioni proposte .....	39
6.8.4. Scheda di sintesi .....	39

**ALLEGATO A1:** Relazioni e certificati delle prove effettuate in situ o presso un laboratorio accreditato

**ALLEGATO A2:** Tabulati di calcolo

**ALLEGATO A3:** Scheda di sintesi della verifica sismica per gli edifici strategici ai fini della protezione civile o rilevanti in caso di collasso a seguito di evento sismico.

## 0. OGGETTO

La presente relazione si riferisce alla stima di vulnerabilità sismica dell'edificio scolastico ospitante la Scuola dell'Infanzia e Secondaria di Primo Grado di San Nicolò di Celle, sito in Via Carducci n. 20 nel Comune di Deruta.

## 1. INTRODUZIONE

L'edificio scolastico di San Nicolò di Celle è una costruzione realizzata in muratura ordinaria tradizionale, composta da un unico corpo di fabbrica del tutto simile agli altri edifici scolastici esistenti nel Comune di Deruta e Comuni limitrofi.

È stato realizzato nei primi anni del 1900, e oggetto poi di un ampliamento con sopraelevazione nei primi anni '70.

L'area dove sorge il plesso scolastico è ubicato lungo Via Giosuè Carducci, la via di maggior scorrimento del paese di S. Nicolò di Celle, in una posizione pressoché centrale rispetto allo sviluppo dell'abitato cittadino. E' circondata da edifici sorti anch'essi nei primi anni del 1900 e anni '70 che di fatto ne impediscono, se necessario, qualsiasi ampliamento.



**Figura 1: Sito di interesse e vista in pianta della struttura in esame**

## 2. NORME DI RIFERIMENTO

### ***Normativa adottata per le verifiche tecniche***

La verifica di vulnerabilità sismica si rifà alle seguenti normative nazionali o regionali:

- D.M. del 17/01/2018
- Circolare del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici del 02/02/2009 n°617 - Istruzioni per l'applicazione delle "Nuove norme tecniche per le costruzioni" di cui al DM 14 gennaio 2008
- Ordinanza PCM 3274 del 20 Marzo 2003

### **3. RILIEVO GEOMETRICO STRUTTURALE**

Ai fini di una corretta individuazione del sistema strutturale esistente e del suo stato di sollecitazione è importante ricostruire il processo di realizzazione e le successive modifiche subite nel tempo dal manufatto, nonché gli eventi che lo hanno interessato.

Il rilievo geometrico-strutturale effettuato ha interessato sia la geometria complessiva dell'organismo che quella degli elementi costruttivi. Si è individuato l'organismo resistente della costruzione, tenendo anche presente la qualità e lo stato di conservazione dei materiali e degli elementi costitutivi.

#### **3.1. ESAME DELLA DOCUMENTAZIONE DISPONIBILE ED ANALISI STORICO-CRITICA**

La fase di recupero del materiale di progetto originale è forse la più importante per una corretta stima della vulnerabilità di un edificio esistente.

Tra la documentazione fornita dal Comune di Deruta è stato possibile reperire il seguente materiale:

- Relazione Tecnica della Perizia di Variante dell'Ampliamento e sistemazione Scuola Elementare di S. Nicolò di Celle” del 1971 redatto dal Geom. Salvatore Turchetti;
- Computo metrico e stima dei lavori della Perizia di Variante;
- Capitolato Speciale d'appalto della Perizia di Variante;
- Registro di Contabilità;
- Certificato di Collaudo del 10/06/1974 redatto dall'Ingegnere Franco Marantoni.

In seguito alla documentazione reperita è stata condotta un'attenta operazione di rilievo, volte a verificare la geometria della struttura ed i dettagli costruttivi, ed una campagna d'indagine mediante la quale è stato possibile confermare il progetto di ampliamento degli anni '70.

### **3.2. DATI DIMENSIONALI E SCHEMI PLANO-ALTIMETRICI**

#### **3.2.1. Dati dimensionali**

In merito al progetto originale dell'edificio in esame, non si hanno notizie molto dettagliate, sebbene fu realizzato nel 1911 a seguito della campagna di alfabetizzazione del paese a 50 anni dalla sua unione.

Come riportato negli elaborati grafici allegati, trattasi di una architettura tipica di quel periodo, con altezze d'interpiano superiori a 4,00 m, ampie finestre ad arco a tutto sesto, servizi caratterizzati da piccole finestrelle e posti ai lati corti del fabbricato, corpo scale centrato rispetto al lato di maggior lunghezza e decentrato completamente rispetto al lato corto, corridoio centrale di smistamento.

Il 21 Luglio 1971 fu compilato il progetto di ampliamento da parte del Geom. Salvatore Turchetti, Tecnico Comunale incaricato, ed approvato con delibera del Consiglio Comunale di Deruta n° 110 in data 09 Ottobre 1971. Tale delibera venne approvata dal Comitato di Controllo della Regione dell'Umbria in data 16 Novembre 1971. In data 10 Giugno 1974 fu redatto il Certificato di Collaudo da parte dell'Ing. Franco Marcantoni.

Come si evince dagli elaborati grafici progettuali originali, dal certificato di collaudo e sulla scorta delle numerose ispezioni, la costruzione presenta le seguenti caratteristiche strutturali:

- fondazioni a cordolo continue in pietra, di sezione maggiore rispetto alla muratura sovrastante, con piano di posa approfondito rispetto al piano terra esterno;
- struttura portante del piano terra e piano primo in pietra irregolare;
- muratura di sopraelevazione in laterizi;
- piano terra con pavimento controterra rialzato mediante massicciata e massetto;
- solai di calpestio del piano primo in travi in acciaio e volticine, del piano secondo e sottotetto in latero-cemento, tipo Sap, copertura su murici in laterizio e tavelloni;
- manto di copertura in tegole marsigliesi e coppi;
- cordoli sono presenti al piano secondo e sottotetto; il piano primo è privo di cordoli;
- scale con struttura in acciaio e laterizio;
- tramezzi in laterizi forati;
- scala esterna di sicurezza in c.a. svincolata rispetto all'edificio principale.

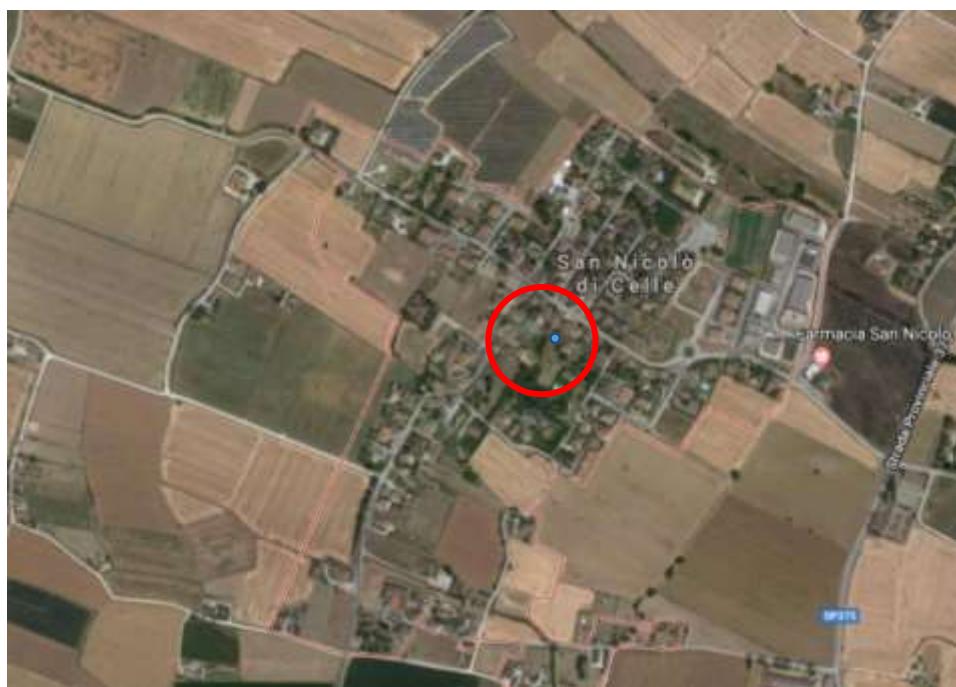
Dall'analisi dei documenti a disposizione e dalle ricognizioni effettuate vengono confermate le considerazioni fatte sulla struttura in analisi precedenti quali:

- ✓ l'edificio allo stato attuale non è attualmente in grado di sopportare i carichi orizzontali anche di un modesto sisma;
- ✓ il piano terra ed il piano primo sono sprovvisti di cordoli che possano garantire un comportamento "globale" dell'edificio ed un minimo "effetto scatola";
- ✓ i solai sono privi di soletta armata e pertanto possono considerarsi semirigidi;
- ✓ la copertura su murici con tavelloni in laterizio e caldana non armata costituisce una massa sismica rilevante posta in sommità e pertanto particolarmente gravosa sulla resistenza alle azioni sismiche delle strutture sottostanti;
- ✓ le altezze degli interpiani risultano notevoli con problemi di verifica delle pareti al ribaltamento ed a pressoflessione;
- ✓ il corpo fondale, realizzato anch'esso in muratura, non presenta segni di cedimento;
- ✓ si segnalano evidenti segni di risalita di umidità, dovuti al piano terra essere direttamente a contatto del terreno, previa massicciata e massetto anziché essere costituito da solaio rialzato;

- ✓ la distribuzione planimetrica dell'edificio comporta una notevole eccentricità ai vari piani fra baricentro delle rigidezze e baricentro delle masse con conseguente aggravio del comportamento in fase sismica della struttura;
- ✓ alcune aperture eseguite per esigenze didattiche sulle pareti di controventamento, hanno ridotto notevolmente la resistenza delle stesse e dell'intera struttura;
- ✓ le murature del vano scala risultano essere scarsamente vincolate ai vari piani e pertanto soggette a cinematismi locali nel piano e fuori dal piano.

### **3.2.2. Inquadramento generale**

L'immagine seguente mette in evidenza il posizionamento dell'edificio rispetto al centro di San Nicolò di Celle e la sua collocazione rispetto alle costruzioni adiacenti. E' censito catastalmente al Foglio n. 1 – Part. 156.



**Figura 2 Inquadramento della struttura**

### **3.2.3. Descrizione delle destinazioni d'uso dei diversi locali**

L'edificio ospita attualmente la scuola dell'infanzia e Secondaria di Primo Grado di San Nicolò di Celle. La destinazione d'uso originaria è la medesima. Per quanto riguarda le diverse destinazioni d'uso degli ambienti si fa riferimento all'elaborato grafico con le planimetrie dell'edificio.

### **3.2.4. Rilievo materico e dei particolari costruttivi**

Per la qualificazione tipologico-materica degli elementi resistenti si è fatto riferimento ai rilievi eseguiti e alla campagna prove eseguita dal Laboratorio Certificato ISTITEDIL S.p.a..

Per ulteriori dettagli si rimanda alle tavole grafiche di rilievo materico e strutturale e al rapporto di prova del Laboratorio.

### 3.2.5. Documentazione fotografica

Si rimanda all'Allegato fotografico.

## 3.3. CARATTERISTICHE GEOMORFOLOGICHE DEL SITO

I caratteri geologici, geomorfologici, geotecnici e sismici dell'area in cui è ubicato l'edificio oggetto d'intervento, sono stati determinati dalla relazione geologica-geotecnica redatta dal Dott. Geol. Simone Sforna di cui si allega copia firmata.

Secondo le indagini svolte, secondo la Tabella 3.2.II del DM 17/01/2018, la categoria di suolo è "C" e la categoria topografica T1.

**Tabella 3.2.II – Categorie di sottosuolo**

Categoria	Descrizione
A	<i>Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di <math>V_{s,30}</math> superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie uno strato di alterazione, con spessore massimo pari a 3 m.</i>
B	<i>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 <math>V_{s,30}</math> compresi tra 360 m/s e 800 m/s (ovvero <math>N_{SPT,30} &gt; 50</math> nei terreni a grana grossa e <math>c_{u,30} &gt; 250</math> kPa nei terreni a grana fina).</i>
C	<i>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 <math>V_{s,30}</math> compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero <math>15 &lt; N_{SPT,30} &lt; 50</math> nei terreni a grana grossa e <math>70 &lt; c_{u,30} &lt; 250</math> kPa nei terreni a grana fina).</i>
D	<i>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 <math>V_{s,30}</math> inferiori a 180 m/s (ovvero <math>N_{SPT,30} &lt; 15</math> nei terreni a grana grossa e <math>c_{u,30} &lt; 70</math> kPa nei terreni a grana fina).</i>
E	<i>Terreni dei sottosuoli di tipo C o D per spessore non superiore a 20 m, posti sul substrato di riferimento (con <math>V_s &gt; 800</math> m/s).</i>

Vista la superficie pianeggiante del terreno la categoria topografica è T1.

**Tabella 3.2.IV – Categorie topografiche**

Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
T1	Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$
T2	Pendii con inclinazione media $i > 15^\circ$
T3	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $15^\circ \leq i \leq 30^\circ$
T4	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $i > 30^\circ$

### **3.4. QUADRO FESSURATIVO E DI DEGRADO**

Sulla base degli elaborati strutturali reperiti è stata condotta una accurata analisi delle strutture portanti principali finalizzata all'individuazione di un eventuale quadro fessurativo e di degrado. Non sono emerse problematiche riconducibili a carenze dimensionali della struttura in elevazione né riguardanti il sistema fondale.

Si precisa che non si incorre in nessuno dei punti indicati al capitolo 8.3 delle N.T.C. relativo alla valutazione sulla sicurezza degli edifici e riportati qui di seguito:

- riduzione evidente della capacità resistente e/o deformativa della struttura o di alcune sue parti dovuta ad azioni ambientali (sisma, vento, neve e temperatura), significativo degrado e decadimento delle caratteristiche meccaniche dei materiali, azioni eccezionali (urti, incendi, esplosioni), situazioni di funzionamento ed uso anomalo, deformazioni significative imposte da cedimenti del terreno di fondazione;
- provati gravi errori di progetto o di costruzione;
- cambio della destinazione d'uso della costruzione o di parti di essa, con variazione significativa dei carichi variabili e/o della classe d'uso della costruzione;
- interventi non dichiaratamente strutturali, qualora essi interagiscano, anche solo in parte, con elementi aventi funzione strutturale e, in modo consistente, ne riducano la capacità o ne modifichino la rigidezza.

Allo stato attuale il fabbricato oggetto della presente verifica si presenta in buono stato conservativo.

### **3.5. RILIEVO MATERICO E DEI PARTICOLARI COSTRUTTIVI**

Sulla base degli elaborati reperiti, di pari passo all'individuazione di un eventuale quadro fessurativo e di degrado è stato condotto il rilievo materico e dei particolari costruttivi.

La campagna prove ha permesso di rilevare due differenti tipologie murarie:

- Muratura in conci di pietra sbozzati con nucleo interno (primi due livelli);
- Muratura in mattoni forati (terzo livello – sopraelevazione anni '70).

Per maggiori dettagli si rimanda all'elaborato grafico allegato.

### **3.6. IDENTIFICAZIONE DELLA STRUTTURA DI FONDAZIONE**

Il sistema fondale è caratterizzato dal prolungamento delle murature al di sotto del piano di campagna.

Per quanto concerne la presente verifica di vulnerabilità si fa presente che per l'edificio in esame sono rispettati i punti riportati al C8A.5.11 della Circolare del 2 febbraio 2009, n. 617 delle NTC validi per le strutture in muratura e riportate qui di seguito:

- Nella costruzione non siano presenti importanti dissesti di qualsiasi natura attribuibili

a cedimenti delle fondazioni e sia stato accertato che i dissesti della stessa natura non siano stati prodotti neppure in precedenza.

- La previsione di possibili interventi non comporta alterazioni dello schema strutturale del fabbricato.
- La previsione di possibili interventi non comporta modifiche delle sollecitazioni trasmesse alle fondazioni.
- Sono esclusi fenomeni di ribaltamento della costruzione per effetto delle azioni sismiche.

Si ritiene quindi che si possano omettere le verifiche sulle strutture di fondazione.

### **3.7. DESCRIZIONE DELLA STRUTTURA PORTANTE E SINTESI DELLE VULNERABILITÀ RISCONTRATE E/O POSSIBILI**

La struttura verticale portante originaria è in muratura ordinaria costituita per i primi due livelli da conci sbozzati con nucleo interno e da blocchi laterizi semipieni all'ultimo livello. I solai sono eterogenei: in travi in acciaio e volticine il primo impalcato mentre il secondo impalcato ed il sottotetto in sap. Copertura, a muricci, costituita da travi prefabbricate in c.a. e tavelloni, manto in tegole e coppi.

#### ***Vulnerabilità nei confronti delle azioni statiche***

Da quanto è stato possibile riscontrare nel corso dei sopralluoghi e della campagna conoscitiva, dal punto di vista statico la struttura non presenta vulnerabilità evidenti. Come già accennato le strutture si presentano in buono stato di conservazione.

#### **Considerazioni sulla regolarità dell'edificio**

Risulta poi necessario verificare la regolarità della struttura in pianta ed in altezza come indicato al paragrafo C8A.1.B.2 in riferimento al paragrafo 7.2.2 delle NTC 2018.

##### **REGOLARITA' IN PIANTA:**

- a) La configurazione in pianta deve essere compatta e approssimativamente simmetrica rispetto a due direzioni ortogonali, in relazione alla distribuzione di masse e rigidezze. SI
- b) Il rapporto tra lati di un rettangolo in cui la costruzione risulta inscritta deve essere < 4. SI
- c) Nessuna dimensione di eventuali rientri o sporgenze supera il 25% della dimensione totale della costruzione nella corrispondente direzione. SI
- d) Gli orizzontamenti possono essere considerati infinitamente rigidi nel loro piano rispetto agli elementi verticali e sufficientemente resistenti: NO

*Struttura Non Regolare in Pianta*

**REGOLARITA' IN ALTEZZA:**

- a) Tutti i sistemi resistenti verticali si estendono per tutta l'altezza della costruzione SI
- b) Massa e rigidezza rimangono costanti o variano gradualmente, senza bruschi cambiamenti, dalla base alla sommità della costruzione della costruzione: NO

*Struttura Non Regolare in Altezza*

La struttura in esame non risulta regolare né in pianta né in altezza.

#### 4. AZIONE SISMICA DI RIFERIMENTO

Ai sensi del DM 17/01/2018 “Norme tecniche per le costruzioni” ai fini della determinazione delle azioni sismiche gravanti sulle opere in progetto, risulta necessaria la conoscenza della cosiddetta **“pericolosità sismica di base”** e della risposta sismica locale, ossia della **“categoria di sottosuolo”**.

La pericolosità sismica viene introdotta in termini di accelerazione orizzontale massima attesa in condizioni di campo libero su sito di riferimento e suolo rigido (Tipo “A” secondo la Tab. 3.2.II) con superficie topografica orizzontale ( $a_g$ ), di ordinate dello spettro di risposta elastico in termini di accelerazione ( $S_e(T)$ ), con riferimento a prefissate probabilità di eccedenza  $P_{VR}$  nel periodo di riferimento  $V_R$  definito in fase di scelte progettuali (vedi tabella 3.2.I delle norme sotto riportata).

**Tabella 3.2.I – Probabilità di superamento  $P_{VR}$  al variare dello stato limite considerato**

Stati Limite		$P_{V_R}$ : Probabilità di superamento nel periodo di riferimento $V_R$
Stati limite di esercizio	SLO	81%
	SLD	63%
Stati limite ultimi	SLV	10%
	SLC	5%

Le forme spettrali vengono dunque definite, in funzione delle probabilità di superamento nel periodo di riferimento (da 30 a 2475 anni), a partire dai seguenti parametri di sito:

$a_g$  = accelerazione orizzontale massima al sito;

$F_o$  = valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale.

$T_c^*$  = periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale.

#### Vita nominale della costruzione

-  $V_N \geq 50$  anni  $\Rightarrow$  “Opere ordinarie, ponti, opere infrastrutturali e dighe di dimensioni contenute o di importanza normale” - Tab. 2.4.I, punto 2, D.M. 17-01-2018.

**Tabella 2.4.I – Vita nominale  $V_N$  per diversi tipi di opere**

TIPI DI COSTRUZIONE		Vita Nominale $V_N$ (in anni)
1	Opere provvisorie – Opere provvisionali - Strutture in fase costruttiva <sup>1</sup>	$\leq 10$
2	Opere ordinarie, ponti, opere infrastrutturali e dighe di dimensioni contenute o di importanza normale	$\geq 50$
3	Grandi opere, ponti, opere infrastrutturali e dighe di grandi dimensioni o di importanza strategica	$\geq 100$

## Classe d'uso

- Classe III ⇒ “Costruzioni il cui uso preveda affollamenti significativi. Industrie con attività pericolose per l’ambiente. Reti viarie [...] Digue rilevanti per il loro eventuale collasso”.

## Periodo di riferimento per l’azione sismica

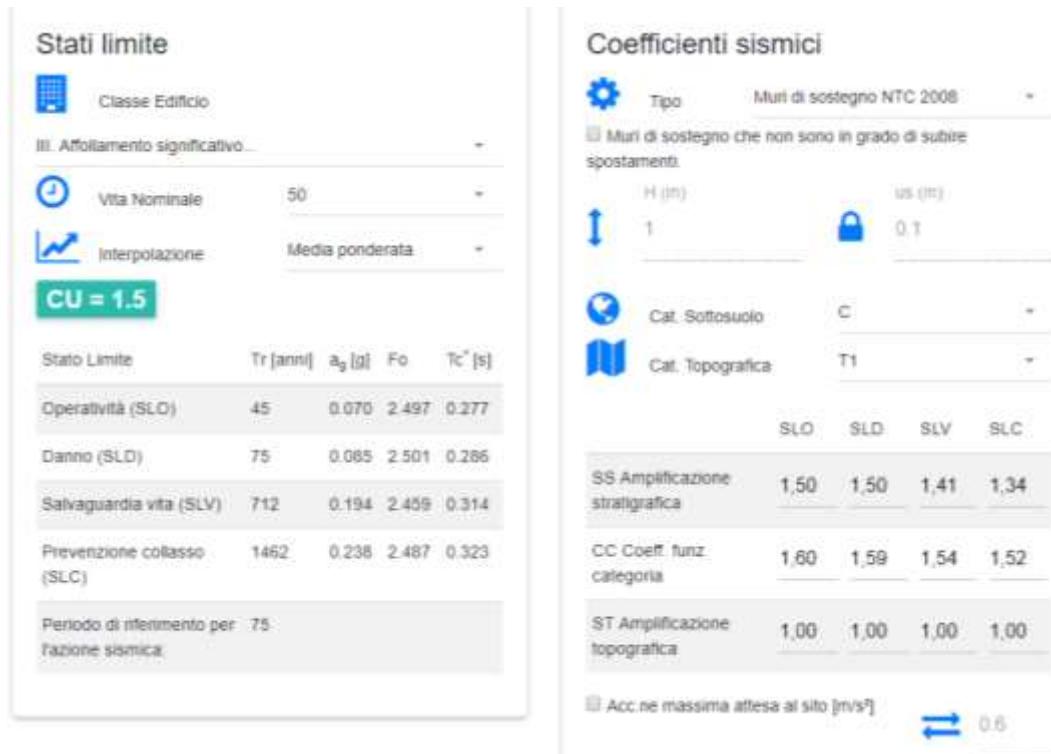
-  $V_R = V_N \times C_U = 50 \times 1.50 = 75$  anni

⇒  $C_U = 1.5$  per Classe d'uso III - Tab. 2.4.II, DM 17/01/2018.

## Ubicazione dell’opera

Al fine della determinazione dei parametri di sito, è necessaria la conoscenza dell’ubicazione dell’opera. Nel caso in oggetto le coordinate del sito di costruzione risultano (ED50):

⇒ Ubicazione fabbricato: **12.384751° E - 43.015811° N**



**Figura 3 Coordinate geografiche**

## Condizioni topografiche

Le condizioni topografiche sono tali da considerare la costruzione ricadente nella categoria “T1” della Tab. 3.2.IV del DM 17/01/2018.

**Tabella 3.2.IV – Categorie topografiche**

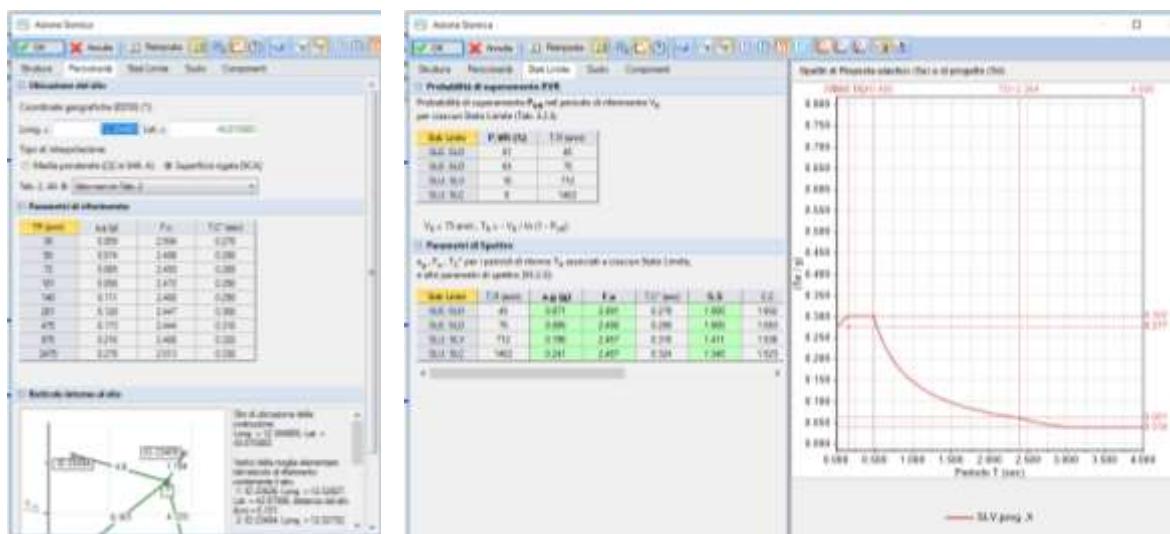
Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
T1	Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$
T2	Pendii con inclinazione media $i > 15^\circ$
T3	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $15^\circ \leq i \leq 30^\circ$
T4	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $i > 30^\circ$

### Categoria di sottosuolo

La categoria di sottosuolo individuata tra quelle previste nella Tabella 3.2.II del DM 17/01/2018, è la “C”.

### 4.1 Definizione dell’azione sismica

Tutti i parametri sopra descritti sono funzionali alla determinazione dell’azione sismica. Si riportano di seguito le immagini relative al software di calcolo dove è possibile prendere visione dei diversi parametri sismici adottati nell’analisi.



**Figura - Parametri sismici adottati nell’analisi**

### Azioni sismiche

In definitiva le accelerazioni di ancoraggio (PGA) definite in funzione dei vari Stati Limite risultano:

#### Su suolo di fondazione (tipo “C”)

$$\Rightarrow \text{PGA}_{\text{SLV,RIF}} = 0.277 \text{ m/s}^2$$

$$\Rightarrow \text{PGA}_{\text{SLD,RIF}} = 0.129 \text{ m/s}^2$$

$$\Rightarrow \text{PGA}_{\text{SLO,RIF}} = 0.106 \text{ m/s}^2$$

I corrispondenti periodi di riferimento, sempre in funzione dei vari Stati Limite, risultano:

$$\Rightarrow \mathbf{T_{R,SLV,RIF} = 712 \text{ anni}}$$

$$\Rightarrow \mathbf{T_{R,SLD,RIF} = 75 \text{ anni}}$$

$$\Rightarrow \mathbf{T_{R,SLO,RIF} = 45 \text{ anni}}$$

## 5. INDAGINI SPECIALISTICHE

L'esecuzione delle indagini specialistiche, unitamente all'analisi della documentazione progettuale reperita ed al rilievo geometrico/strutturale e del quadro fessurativo/degrado, costituisce la fase di campagna conoscitiva necessaria all'acquisizione di un Livello di Conoscenza e quindi propedeutica all'esecuzione delle verifiche tecniche finali.

L'obiettivo prefissato era di raggiungere un livello di conoscenza **LC2**.

Conseguentemente la campagna effettivamente posta in essere in situ è stata condotta nel rispetto di quanto ipotizzato e riducendo il più possibile le interferenze ed i disagi con le attività didattiche all'interno della struttura il tutto in accordo con le esigenze della Pubblica Amministrazione.

Le indagini sperimentali sui materiali e strutture sono state effettuate da **Istedil S.p.a.**, laboratorio autorizzato all'esecuzione di prove sui materiali da costruzione ai sensi dell'art. 20 della Legge 1086 del 05/11/1971, alle certificazioni CE, Notificato CEE n. 0529.

In relazione alla Tabella C8A.1.2 della Circ.617/2009 sotto riportata, si specifica:

Tabella C8A.1.2 – Livelli di conoscenza in funzione dell'informazione disponibile e conseguenti metodi di analisi ammessi e valori dei fattori di confidenza per edifici in calcestruzzo armato o in acciaio

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

- **Geometria:** è stata dedotta dalle tavole architettoniche messe a disposizione dall'Ente e poi verificata o determinata ex novo con rilievi e campagna prove eseguiti sulla struttura.
- **Dettagli costruttivi:** saggi visivi in più punti della struttura e campagna prove (Prove Videoendoscopiche).
- **Proprietà dei materiali:** mediante prove con martinetti piatti singoli e doppi e chimica su malta;

Di seguito un riepilogo delle prove eseguite, per una conoscenza più approfondita si rimanda al rapporto di prova del laboratorio certificato e alla tavola grafica.

<b><i>Indagini diagnostiche eseguite</i></b>				
<b><i>Tipo di prova</i></b>	<b><i>Sigla</i></b>	<b><i>N° prove</i></b>	<b><i>Ubicazione delle prove</i></b>	<b><i>Motivazione</i></b>
<i>Saggi Visivi</i>	SV	16	<i>Piano Terra</i> <i>Piano Primo</i> <i>Piano Secondo</i> <i>Sottotetto</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Rilievo tipologia muraria;</li> <li>- Qualità del collegamento tra pareti verticali;</li> <li>- Confronto dei collegamenti con quelli di progetto</li> </ul>
<i>Martinetti piatti singoli e doppi</i>	M	2	<i>Piano Terra</i> <i>Secondo Piano</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Resistenza a compressione della muratura (martinetto doppio)</li> <li>- Modulo di elasticità normale (martinetto doppio)</li> <li>- Stato tensionale di esercizio della muratura (martinetto singolo)</li> </ul>
<i>Chimica su malta</i>	PM	1	<i>Piano Terra</i>	- qualità malta;
<i>Prova Videoendoscopica</i>	VE	3	<i>Piano Terra</i> <i>Piano Primo</i> <i>Piano Secondo</i>	<p><i>Solai</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Individuazione pacchetto di solai e stima dei carichi di piano.</li> </ul> <p><i>Muratura - Proprieta' dei materiali</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Tipologia della muratura (a un paramento, a due o più paramenti, con o senza riempimento, a sacco, con o senza collegamenti trasversali...)</li> <li>- Caratteristiche costruttive (eseguita in mattoni o in pietra, regolare, irregolare...)</li> <li>- Visualizzare i materiali utilizzati nella costruzione</li> </ul>

				<p><i>Dettagli costruttivi</i></p> <ul style="list-style-type: none"><li>- <i>Rilievo della consistenza dello spessore murario</i></li><li>- <i>Capire la tecnica costruttiva</i></li><li>- <i>Individuare eventuali vuoti o cavità</i></li></ul>
--	--	--	--	---

## 6. VERIFICHE NUMERICHE

### 6.1. PREMESSA

A seguito della fase di reperimento della documentazione e della fase conoscitiva/diagnostica, si è passati alle verifiche numeriche e alla stima del grado di sicurezza dell'edificio.

### 6.2. ANALISI DEI CARICHI

Nel presente paragrafo si stimano i carichi che gravano sulla struttura in accordo con le prescrizioni contenute al capitolo 2 del D.M. 17/01/2018.

#### 6.2.1. Valutazione del carico neve

Il carico neve viene valutato secondo quanto indicato al punto 3.4 del D.M.17/01/2018 mediante l'espressione:

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

$q_{sk}$  ⇒ valore caratteristico di riferimento del carico neve al suolo

- Deruta (Perugia) ⇒ Zona II
- $a_s$  ( $h_{s.l.m.}$ ) ⇒ m ( $< 200m$ )  
 $q_{sk} = 1.00 \text{ kN/m}^2$

$C_E$  ⇒ coefficiente di esposizione

$$C_E = 1 \text{ (Area con esposizione normale)}$$

$C_t$  ⇒ coefficiente termico

$$C_t = 1$$

$\mu_i$  ⇒ coefficiente di forma

- Copertura ad una falda
  - $0^\circ \leq \alpha \leq 30^\circ$
- $$\mu_i = \mu_1 = 0.8 \text{ } (\alpha=0^\circ)$$

In definitiva i valori del carico neve da utilizzare per l'analisi delle strutture risultano pari a:

$$q_s = \mu_i q_{sk} C_E C_t = 0.8 \text{ kN/m}^2 \Rightarrow 80 \text{ kN/m}^2$$

Nel modello di calcolo si è assunto cautelativamente il valore di  $100 \text{ kg/m}^2$  di modo che il carico variabile neve risulta sempre più sfavorevole rispetto al carico per la manutenzione ordinaria della copertura (Cat. H -  $50 \text{ kg/m}^2$ ) e si evita pertanto di elaborare la combinazione in cui la manutenzione della copertura è l'azione variabile dominante e la neve quella secondaria.

### 6.2.2. Valutazione dell'azione del vento

La pressione del vento è stata valutata secondo quanto indicato al paragrafo 3.3 delle NTC 2018.

Il sito si trova in Provincia di Perugia e quindi, da quanto indicato in Tab. 3.3.I e Fig. 3.3.1 ricade in Zona III.

L'altezza del sito  $a_s$  dove sorge la costruzione è inferiore di  $a_0$  per cui il valore caratteristico della velocità del vento risulta pari a  $v_b = 27 \text{ m/s}$ .

La pressione cinetica di riferimento  $q_b$ , considerando che la densità dell'aria è assunta convenzionalmente pari a  $\rho = 1,25 \text{ kg/m}^3$ , vale:

$$q_b = 45.5 \text{ kg/m}^2$$

La rugosità del terreno relativa al sito di costruzione può essere ricondotta ad una classe di rugosità B.

Tabella 3.3.III - Classi di rugosità del terreno

Classe di rugosità del terreno	Descrizione
A	Aree urbane in cui almeno il 15% della superficie sia coperto da edifici la cui altezza media superi i 15m
B	Aree urbane (non di classe A), suburbane, industriali e boschive
C	Aree con ostacoli diffusi (alberi, case, muri, recinzioni,...); aree con rugosità non riconducibile alle classi A, B, D
D	Aree prive di ostacoli (aperta campagna, aeroporti, aree agricole, pascoli, zone paludose o sabbiose, superfici innevate o ghiacciate, mare, laghi,...)
L'assegnazione della classe di rugosità non dipende dalla conformazione orografica e topografica del terreno. Affinché una costruzione possa dirsi ubicata in classe A o B è necessario che la situazione che contraddistingue la classe permanga intorno alla costruzione per non meno di 1 km e comunque non meno di 20 volte l'altezza della costruzione. Laddove sussistano dubbi sulla scelta della classe di rugosità, a meno di analisi dettagliate, verrà assegnata la classe più sfavorevole.	

In base alle tabelle riportate in Fig. 3.3.2 delle NTC 2018 si assume di conseguenza una categoria di esposizione IV.

I parametri per la definizione del coefficiente di esposizione risultano:

Tabella 3.3.II – Parametri per la definizione del coefficiente di esposizione

Categoria di esposizione del sito	$k_r$	$z_0$ [m]	$z_{\min}$ [m]
I	0,17	0,01	2
II	0,19	0,05	4
III	0,20	0,10	5
IV	0,22	0,30	8
V	0,23	0,70	12

L'altezza da terra è inferiore al valore limite per la suddetta classe di esposizione ed il valore

del coefficiente di topografia è assunto pari all'unità come indicato al paragrafo 3.3.7 delle NTC 2018; poiché si determina un coefficiente di esposizione:  $c_e(z=10m) = 1.98$

Il valore del coefficiente di forma (o di pressione) viene assunto pari a:

$C_p=0.8$ .

Il valore del coefficiente dinamico può essere cautelativamente assunto pari ad 1, come indicato al paragrafo 3.3.8 delle NTC 2018.

Il carico a metro quadrato della pressione del vento vale, genericamente:

$$p = q_b \cdot c_e \cdot c_p \cdot c_d$$

Si possono dunque calcolare i valori della pressione a metro quadrato:

$$P = q_b \cdot C_e \cdot C_p \cdot C_d = 45.5 \times 1.98 \times 0.8 \times 1 = 72 \text{ kg/m}^2$$

### 6.2.3. Primo Impalcato

Il primo impalcato è in travi in acciaio e volticine, è stato indagato con prove videoendoscopiche (Vedi E2).

Profili metallici ..... 50 kg/m<sup>2</sup>

Mattoni forati ..... 80 kg/m<sup>2</sup>

*Carico permanente strutturale totale caratteristico* .....  $G_{1k} = 130 \text{ kg/m}^2$

Pavimento ..... 30 kg/m<sup>2</sup>

Massetto e allettamento ..... 140 kg/m<sup>2</sup>

Tramezzature ..... 50 kg/m<sup>2</sup>

Intonaco ..... 30 kg/m<sup>2</sup>

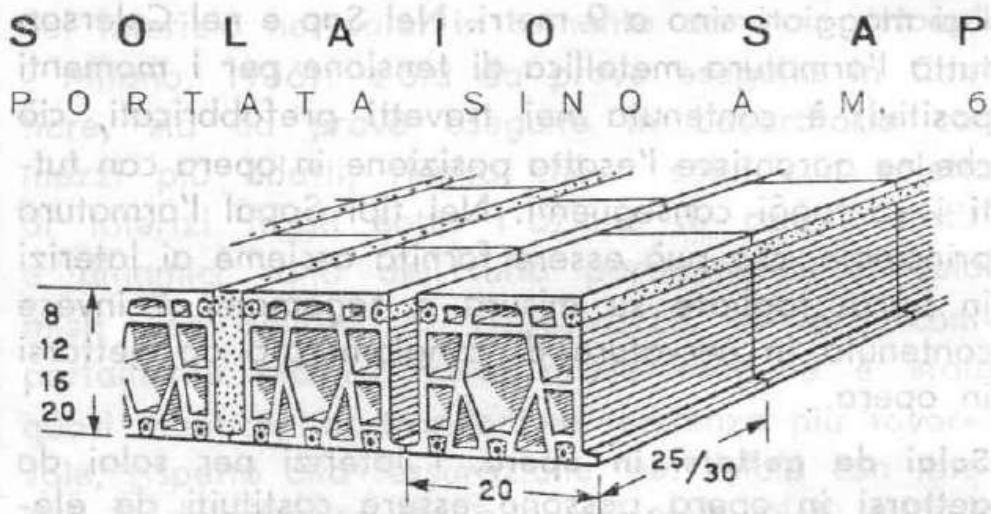
*Carico permanente non strutturale totale caratteristico* .....  $G_{2k} = 250 \text{ kg/m}^2$

*Carico variabile caratteristico*

(Cat. C1 – Scuole) .....  $Q_{1k}=300 \text{ kg/m}^2$

### 6.2.4. Secondo Impalcato

Il secondo impalcato è solaio tipo Sap (Vedi videoendoscopica E1). Il peso proprio del solaio tipo Sap è stato stimato dagli estratti del Bolletino “Il laterizio” di Erredibi Piacenza 1958.



SAP	Peso laterizio	Peso travi confezionate		CONFEZIONE TRAVI				Conglom.	Peso totale
		Cem.	Sabbia	Muratore	Manovale				
cm.	Kg/mq	Kg/mq	Kg/mq	Kg/mq	l/mq	h/mq	h/mq	l/mq	Kg/mq
8	50	14	70	5	7	0,40	0,40	7	85
12	70	18	90	5	7	0,40	0,40	11	110
16	80	20	105	5	7	0,40	0,40	15	130
20	95	22	110	5	7	0,40	0,40	30	175

Solaio Tipo SAP ..... 150 kg/m<sup>2</sup>

Carico permanente strutturale totale caratteristico.....G<sub>1k</sub> = 150 kg/m<sup>2</sup>

Pavimento (s=1 cm; γ=1800 kg/m<sup>3</sup>) ..... 30 kg/m<sup>2</sup>

Massetto e allettamento (s = 10 cm , γ=2200 kg/m<sup>3</sup>) ..... 220 kg/m<sup>2</sup>

Tramezzature ..... 50 kg/m<sup>2</sup>

Intonaco ..... 20 kg/m<sup>2</sup>

Carico permanente non strutturale totale caratteristico.....G<sub>2k</sub> = 320 kg/m<sup>2</sup>

*Carico variabile caratteristico*

(Cat. C1 – Scuole)..... $Q_{1k}=300 \text{ kg/m}^2$

**6.2.5. Impalcato Sottotetto - Copertura**

L'impalcato di sottotetto è in sap, la copertura, a muricci, costituita da travi prefabbricate in c.a. e tavelloni, manto in tegole e coppi.

Solaio Tipo SAP ..... 150  $\text{kg/m}^2$

Rigetto di completamento ..... 50  $\text{kg/m}^2$

*Carico permanente strutturale totale caratteristico*..... $G_{1k} = 200 \text{ kg/m}^2$

Intonaco ..... 20  $\text{kg/m}^2$

Muricci ..... 200  $\text{kg/m}^2$

Tavelle ..... 50  $\text{kg/m}^2$

Rigetto tavella ..... 50  $\text{kg/m}^2$

Isolamento – Tegoli - Coppi ..... 80  $\text{kg/m}^2$

*Carico permanente non strutturale totale caratteristico*..... $G_{2k} = 400 \text{ kg/m}^2$

*Carico variabile caratteristico*

(Neve)..... $Q_{1k}=100 \text{ kg/m}^2$

**6.2.6. Azione sismica di progetto**

Le azioni sismiche di riferimento per i vari Stati Limite, sono modellate mediante gli spettri di risposta elastici descritti al punto 4, cui si rimanda anche per l'individuazione di tutti i parametri che ne concorrono alla definizione.

**6.2.7. Combinazione delle azioni**

Al fine di condurre le verifiche strutturali sia allo stato limite ultimo sia allo stato limite di esercizio, sono state prese in considerazione le combinazioni di carico riportate al paragrafo 2.5.3 delle NTC2018.

- Combinazione fondamentale, generalmente impiegata per gli stati limite ultimi (SLU):
 
$$\gamma_{G1} \cdot G_1 + \gamma_{G2} \cdot G_2 + \gamma_P \cdot P + \gamma_{Q1} \cdot Q_{k1} + \gamma_{Q2} \cdot \Psi_{01} \cdot Q_{k2} + \gamma_{Q3} \cdot \Psi_{03} \cdot Q_{k3} + \dots \quad (2.5.1)$$
- Combinazione caratteristica (rara), generalmente impiegata per gli stati limite di esercizio (SLE) irreversibili, da utilizzarsi nelle verifiche alle tensioni ammissibili di cui al § 2.7:
 
$$G_1 + G_2 + P + Q_{k1} + \Psi_{02} \cdot Q_{k2} + \Psi_{03} \cdot Q_{k3} + \dots \quad (2.5.2)$$
- Combinazione frequente, generalmente impiegata per gli stati limite di esercizio (SLE) reversibili:
 
$$G_1 + G_2 + P + \Psi_{11} \cdot Q_{k1} + \Psi_{12} \cdot Q_{k2} + \Psi_{13} \cdot Q_{k3} + \dots \quad (2.5.3)$$
- 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 (v. § 3.2):
 
$$E + G_1 + G_2 + P + \Psi_{21} \cdot Q_{k1} + \Psi_{22} \cdot Q_{k2} + \dots \quad (2.5.5)$$
- Combinazione eccezionale, impiegata per gli stati limite ultimi connessi alle azioni eccezionali di progetto A<sub>d</sub> (v. § 3.6):
 
$$G_1 + G_2 + P + A_d + \Psi_{21} \cdot Q_{k1} + \Psi_{22} \cdot Q_{k2} + \dots \quad (2.5.6)$$

**Tabella 2.5.1 – Valori dei coefficienti di combinazione**

Categoria/Azione variabile	$\Psi_{0j}$	$\Psi_{1j}$	$\Psi_{2j}$
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 Biblioteche, archivi, magazzini e ambienti ad uso industriale	1,0	0,9	0,8
Categoria F Rimesse e parcheggi (per autoveicoli di peso $\leq 30$ kN)	0,7	0,7	0,6
Categoria G Rimesse e parcheggi (per autoveicoli di peso $> 30$ kN)	0,7	0,5	0,3
Categoria H Coperture	0,0	0,0	0,0
Vento	0,6	0,2	0,0
Neve (a quota $\leq 1000$ 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

I coefficienti parziali sono stati scelti secondo quanto riportato al punto 8.5.5 delle NTC ove viene data al progettista/verificatore la possibilità di scegliere coefficienti parziali modificati. **A seguito del rilievo effettuato è stato possibile definire un coefficiente parziale unitario per i carichi permanenti strutturali e 1,1 per i carichi permanenti portati.**

### 6.3. CARATTERISTICHE DEI MATERIALI

Trattandosi di edifici esistenti la valutazione della sicurezza è normalmente affetta da un grado di incertezza diverso da quello degli edifici di nuova progettazione. Ciò comporta l'impiego di adeguati fattori di confidenza (FC) nelle verifiche di sicurezza dipendenti dalla completezza e dall'affidabilità dell'informazione disponibile e quindi dal grado di conoscenza del manufatto raggiunto a seguito delle indagini effettuate.

La norma individua tre livelli di conoscenza definiti in funzione della completezza dei dati acquisiti su tre aspetti fondamentali:

- geometria
- dettagli strutturali
- materiali.

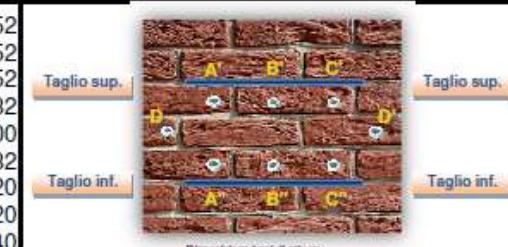
Il livello di conoscenza acquisito determina il metodo di analisi e i fattori di confidenza da applicare alle proprietà dei materiali.

Sulla base dell'accuratezza delle operazioni di rilievo, volte a definire la geometria della struttura e i dettagli costruttivi, i saggi visivi e la campagna di indagine svolta dal laboratorio certificato Istedil Spa si assume un **livello di conoscenza LC2 e il relativo fattore di confidenza FC=1,2**.

Dai saggi visivi eseguiti e dalla campagna prove **si sono rilevate due differenti tipologie murarie:**

- **Muratura a conci sbozzati e nucleo interno;**
- **Muratura in blocchi laterizi semipieni.**

Per i valori dei **parametri meccanici della muratura** si sono considerati **cautelativamente i valori medi** così come definiti dalla Circolare del Febbraio 2009 della tabella **Tab. C8A.2.1** per un livello di conoscenza adeguato (LC2) della costruzione. La prova con martinetti piatti doppi ha fornito valori di resistenza della muratura superiori a quelli proposti da Normativa, di seguito si riporta un'immagine estrapolata dal rapporto di prova.

SCHEDA DATI MARTINETTO PIATTO DOPPIO		
Prova n° 1		
Tipo di prova: DOPPIO		
Martinetti n° 1 e 2		
Area taglio superiore	(cm <sup>2</sup> )	286,52
Area taglio inferiore	(cm <sup>2</sup> )	286,52
Area martinetto	(cm <sup>2</sup> )	286,52
K <sub>m</sub>	---	0,82
K <sub>a</sub>	---	1,00
K <sub>tot</sub> = K <sub>a</sub> x K <sub>m</sub>	---	0,82
Distanza basi di misura verticali	(cm)	20
Distanza basi di misura orizzont.	(cm)	20
Distanza tagli	(cm)	40
<b>TENSIONE MASSIMA RILEVATA : 3,20 Mpa</b>		
		

Risultati Prova Martinetti Piatti Doppi

Nonostante il valore sperimentale sia superiore all'intervallo normativo per la tipologia muraria si è assunto nei calcoli il valore medio dell'intervallo così come consigliato dalla Tab. C8A.1.1.

Tipologia di muratura	$f_m$ (N/cm <sup>2</sup> )	$\tau_0$ (N/cm <sup>2</sup> )	E (N/mm <sup>2</sup> )	G (N/mm <sup>2</sup> )	w (kN/m <sup>3</sup> )
	Min-max	min-max	min-max	min-max	
Muratura in pietrame disordinata (ciottoli, pietre erratiche e irregolari)	100 180	2,0 3,2	690 1050	230 350	19
Muratura a conci sbozzati, con paramento di limitato spessore e nucleo interno	200 300 260	3,5 5,1 5,6	1020 1440 1500	340 480 500	20
Muratura in pietre a spacco con buona tessitura	380	7,4	1980	660	21
Muratura a conci di pietra tenera (tufo, calcarenite, ecc.)	140 240	2,8 4,2	900 1260	300 420	16
Muratura a blocchi lapidei quadrati	600 800	9,0 12,0	2400 3200	780 940	22
Muratura in mattoni pieni e malta di calce	240 400	6,0 9,2	1200 1800	400 600	18
Muratura in mattoni semipieni con malta cementizia (es.: doppio UNI foratura ≤ 40%)	500 800	24 32	3500 5600	875 1400	15
Muratura in blocchi laterizi semipieni (perc. foratura < 45%)	400 600	30,0 40,0	3600 5400	1080 1620	12
Muratura in blocchi laterizi semipieni, con giunti verticali a secco (perc. foratura < 45%)	300 400	10,0 13,0	2700 3600	810 1080	11
Muratura in blocchi di calcestruzzo o argilla espansa (perc. foratura tra 45% e 65%)	150 200	9,5 12,5	1200 1600	300 400	12
Muratura in blocchi di calcestruzzo semipieni (foratura < 45%)	300 440	18,0 24,0	2400 3520	600 880	14

Nel modello di calcolo sono stati inseriti i valori medi dei parametri meccanici per le due diverse tipologie di muratura.

#### Muratura a conci sbozzati e nucleo interno

$$f_m = 250 \text{ N/cm}^2$$

$$\tau_0 = 4.3 \text{ N/cm}^2$$

$$E = 1230 \text{ N/mm}^2$$

$$G = 410 \text{ N/mm}^2$$

$$W = 20 \text{ kN/m}^3$$

#### Muratura in blocchi laterizi semipieni

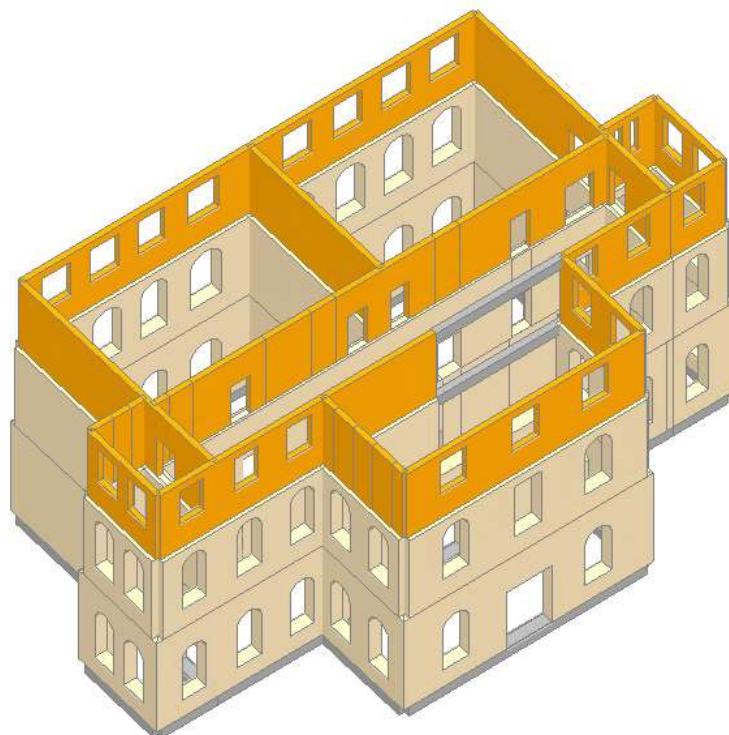
$$f_m = 350 \text{ N/cm}^2$$

$$\tau_0 = 11.5 \text{ N/cm}^2$$

$$E = 3150 \text{ N/mm}^2$$

$$G = 945 \text{ N/mm}^2$$

$$W = 11 \text{ kN/m}^3$$



*Modello di calcolo con evidenziate le diverse tipologie di materiale*

Report		Proprietà	Curva di capacità
Muratura esistente			
<b>Generale</b>			
Nome	Muratura esistente		
Tipologia	Conci sbozzati		
Fattore di Confidenza	1.20		
<b>Moduli elastici</b>			
Valori	Medi		
E	1230		
G	410		
<b>Resistenze</b>			
Valori	Medi		
f,m	2.500		
$\tau_0$	0.043		
f,tm	0.250		
f,hm	1.250		
<b>Altre proprietà meccaniche</b>			
w	20.00		
Coefficiente d'attrito	0.40		
$\alpha$	0.000010		
	Coefficienti correttivi		
<b>Proprietà grafiche</b>			
Colore 2D	169; 169; 169		
Colore 3D	245; 222; 179		
Texture	Pietra 1		
Muratura Sopraelevazione			
<b>Generale</b>			
Nome	Muratura Sopraelevazione		
Tipologia	Blocchi laterizi semipieni, con giunti vert		
Fattore di Confidenza	1.20		
<b>Moduli elastici</b>			
Valori	Medi		
E	3150		
G	945		
<b>Resistenze</b>			
Valori	Medi		
f,m	3.500		
$\tau_0$	0.115		
f,tm	0.350		
f,hm	1.750		
<b>Altre proprietà meccaniche</b>			
w	11.00		
Coefficiente d'attrito	0.40		
$\alpha$	0.000010		
	Coefficienti correttivi		
<b>Proprietà grafiche</b>			
Colore 2D	0; 0; 0		
Colore 3D	255; 165; 0		
Texture	Brick		

*Parametri meccanici della muratura*

## 6.4. DESCRIZIONE DELLE ANALISI CONDOTTE

La valutazione della sicurezza è stata condotta con riferimento sia all'analisi del comportamento globale che in relazione ai possibili meccanismi di collasso locali.

L'edificio ospitante la scuola dell'infanzia e Secondaria di Primo Grado di San Nicolò di Celle è stato modellato con il software AEDES PCM 2018 conducendo l'analisi statica lineare non sismica, analisi dinamica modale e analisi statica non lineare (Pushover) attraverso la quale sono stati definiti gli indicatori di rischio, che esprimono il rapporto tra capacità resistente della struttura e domanda sismica. Tali indicatori di rischio sono stati così definiti per diverse condizioni di sicurezza (resistenza a pressoflessione ortogonale, resistenza a taglio per fessurazione diagonale, resistenza a pressoflessione complanare) agli Stati Limite di Salvaguardia della Vita.

## 6.5. VALUTAZIONE DELLA SICUREZZA – ANALISI SISMICA GLOBALE

### 6.5.1. Premessa

L'analisi sismica globale è stata condotta attraverso un'analisi statica non lineare (Pushover) per le azioni nel piano dei pannelli murari e un'analisi dinamica modale per le azioni fuori piano.

Le verifiche sono state condotte nei confronti dello Stato Limite di Salvaguardia della Vita (SLV) e Stato Limite di Operatività (SLO).

### 6.5.2. Identificazione e descrizione del modello di calcolo strutturale

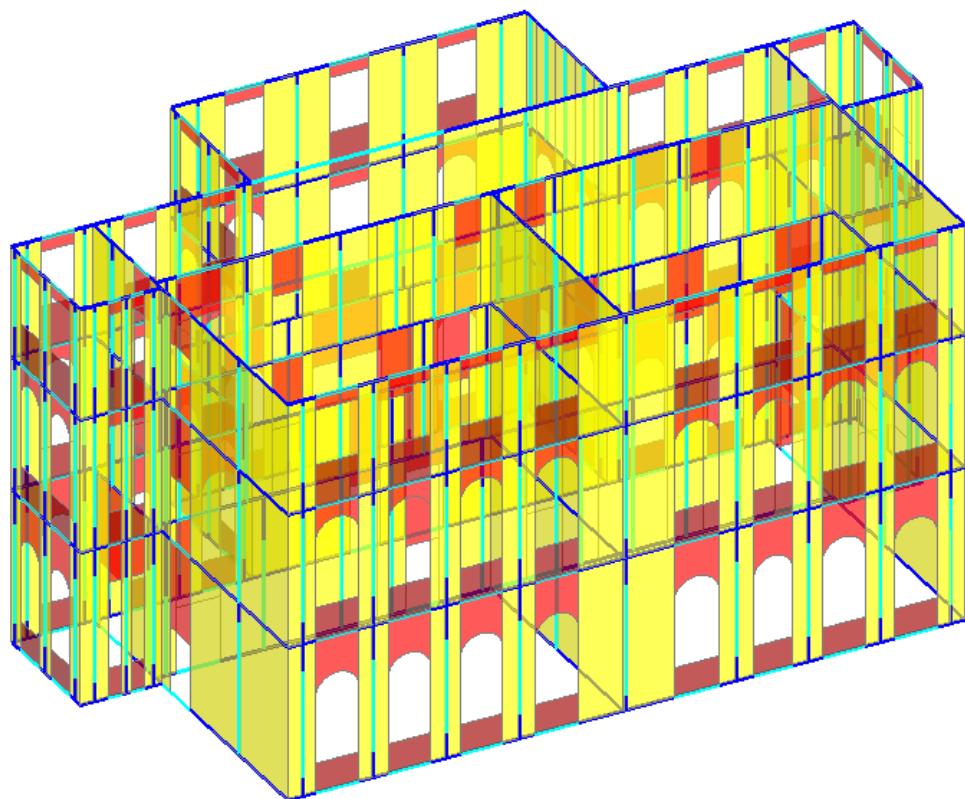
L'edificio è stato modellato con schema tridimensionale a telaio equivalente (software AEDES PCM 2018) con aste deformabili e tratti rigidi a definire la luce non deformabile dei maschi murari. Le rigidezze degli elementi murari sono state calcolate considerando sia il contributo flessionale sia quello tagliente, si è considerata una rigidezza fessurata pari al 50% di quella non fessurata (7.8.1.5.2 NTC 2018).

Le fasce di piano (sottofinestra, soprafinestra e sovraporta) sono state modellate con delle bielle per non trascurare il loro peso proprio nel modello di calcolo così da massimizzare le azioni sui maschi.

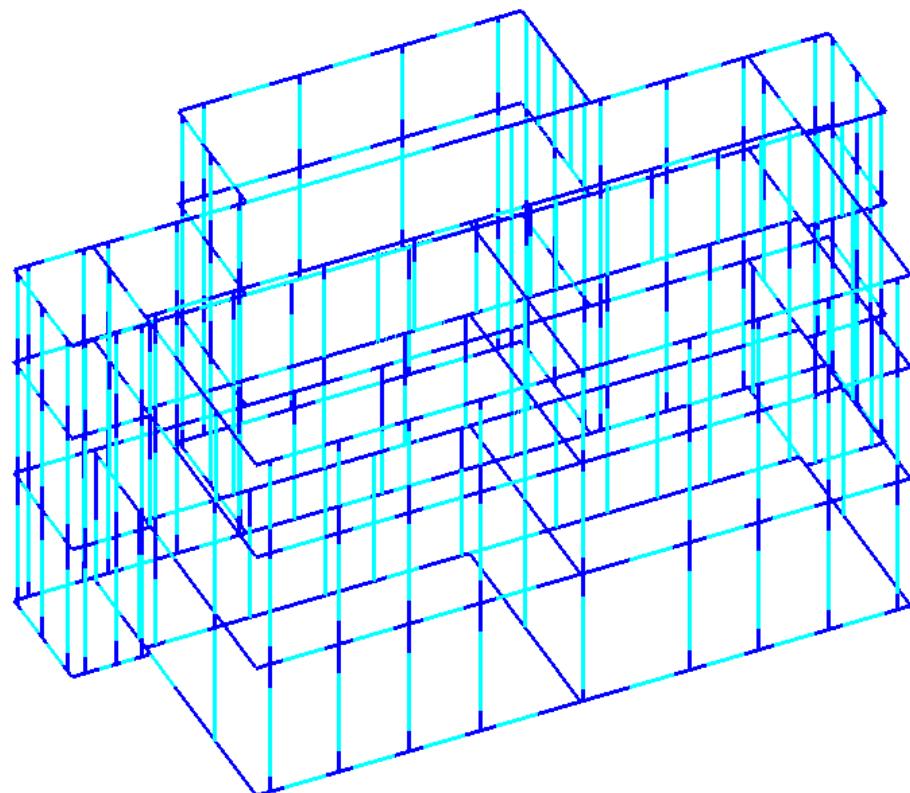
Ai maschi murari sono state attribuite le caratteristiche meccaniche riportate nel paragrafo "Caratteristiche dei materiali".

La struttura è stata considerata incastrata alla base.

I carichi verticali relativi ai solai vengono assunti direttamente dal codice di calcolo una volta assegnati i valori di carico strutturali, permanenti portati e accidentali del solaio assegnati come carico per unità di superficie. I solai sono stati considerati deformabili.



*Modello di calcolo 3D*



*Modello di calcolo Unifilare*

### 6.5.3. Risultati delle elaborazioni

Il dettaglio delle analisi strutturali e delle relative verifiche condotte sul modello di calcolo agli elementi finiti precedentemente descritto, sono contenute nei Tabulati di calcolo allegati alla presente relazione, mentre di seguito per brevità si riportano solamente i principali risultati in forma sintetica

#### 6.5.3.1. Principali risultati dell'Analisi Statica Non Lineare – Pushover

L'analisi sismica globale è stata condotta attraverso un'analisi statica non lineare (Pushover) nei confronti dello Stato Limite di Salvaguardia della Vita (SLV) utilizzando le seguenti distribuzioni di forze, indipendentemente dalla percentuale di massa partecipante del primo modo:

- Gruppo 1 – Distribuzioni principali

Distribuzione di forze proporzionale alle forze statiche.

- Gruppo2 – Distribuzioni secondarie

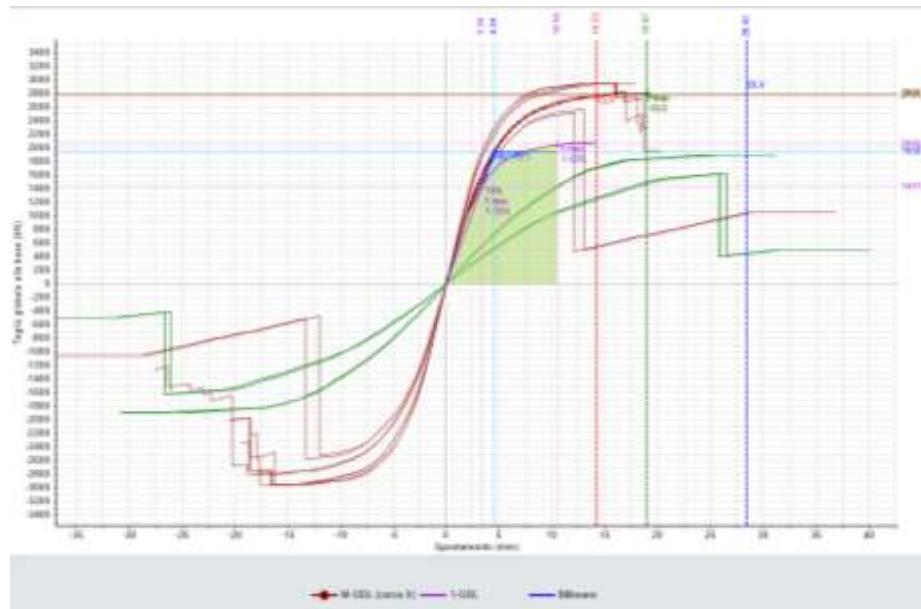
Distribuzione uniforme di forze.

L'analisi fornisce un confronto in termini di spostamento tra capacità globale della struttura e domanda cui la stessa è soggetta per la presenza dell'evento sismico per i diversi stati limite. Lo spostamento del nodo di controllo, considerato al piano più alto verrà confrontato con quello richiesto alla struttura. Durante l'analisi Pushover la singola parete raggiunge lo stato limite ultimo (punto di collasso) per uno spostamento orizzontale determinato dal drift (spostamento ultimo) che nel caso di resistenza ultima per pressoflessione complanare è pari allo 1% dell'altezza del pannello e dello 0.5% H nel caso di resistenza ultima per Taglio. Si eseguono, inoltre, verifiche in direzione ortogonale 'per pressoflessione fuori piano, in modo simile alle complanari.

Le curve di capacità della struttura (sistema a più gradi di libertà: M-GDL) vengono rappresentate in diagrammi che riportano in ascisse lo spostamento del punto di controllo, ed in ordinate il taglio globale alla base. Per ogni curva, attraverso le relazioni di equivalenza dinamica, riportate al punto C7.3.4.1, viene definita la corrispondente curva del sistema ad 1 grado di libertà equivalente 1-GDL, e successivamente il diagramma bilineare, attraverso il quale è possibile definire la domanda sismica (spostamento richiesto secondo lo spettro di risposta) del sistema 1-GDL, ricondotta infine alla domanda per il sistema M-GDL.

Lo Stato Limite Ultimo SLV coincide con il punto caratterizzato dallo spostamento corrispondente ad una riduzione della forza non superiore al 20% del massimo.

Di seguito vengono riportate le curve di capacità più significative ottenute dal modello di calcolo. Per maggiori dettagli relativi alle curve di capacità elaborate dall'analisi si rimanda ai tabulati di calcolo allegati.



*Curva di Capacità*

Per ogni curva di capacità ed ogni stato limite analizzato, il risultato della verifica è esprimibile sotto forma di un coefficiente di sicurezza, dato dal rapporto fra capacità e domanda. Di seguito si riportano i valori degli indici di rischio ottenuti dalle curve di capacità.

N'curva	Corrente	Vita	Distr.	Distr.	Distr 2	M+	Control	C.PGA(SLV)	C.TR(SLV)	VN.CLV
1	●	☒	A	+X'	+0.3Y'	+	L3	0.575	0.173	9
2	○	☒	A	+X'	+0.3Y'	-	L3	0.416	0.077	4
3	○	☒	A	+X'	-0.3Y'	+	L3	0.593	0.185	9
4	○	☒	A	+X'	-0.3Y'	-	L3	0.394	0.067	3
5	○	☒	A	+Y'	+0.33X'	+	L3	0.300	0.035	2
6	○	☒	A	+Y'	+0.33X'	-	L3	0.304	0.035	2
7	○	☒	A	+Y'	-0.3X'	*	L3	0.300	0.035	2
8	○	☒	A	+Y'	-0.3X'	-	L3	0.304	0.037	2
9	○	☒	A	-X'	+0.3Y'	+	L3	0.363	0.065	3
10	○	☒	A	-X'	+0.3Y'	-	L3	0.607	0.204	10
11	○	☒	A	-X'	-0.3Y'	+	L3	0.423	0.079	4
12	○	☒	A	-X'	-0.3Y'	-	L3	0.571	0.160	8
13	○	☒	A	-Y'	+0.3X'	+	L3	0.304	0.037	2
14	○	☒	A	-Y'	+0.3X'	-	L3	0.300	0.035	2
15	○	☒	A	-Y'	-0.3X'	+	L3	0.304	0.037	2
16	○	☒	A	-Y'	-0.3X'	-	L3	0.300	0.035	2
17	○	☒	E	+X'	+0.3Y'	+	L3	0.656	0.247	12
18	○	☒	E	+X'	+0.3Y'	-	L3	0.636	0.222	11
19	○	☒	E	+X'	-0.3Y'	+	L3	0.644	0.232	12
20	○	☒	E	+X'	-0.3Y'	-	L3	0.615	0.206	10
21	○	☒	E	+Y'	+0.3X'	+	L3	0.415	0.077	4
22	○	☒	E	+Y'	+0.3X'	-	L3	0.485	0.111	6
23	○	☒	E	+Y'	-0.3X'	+	L3	0.405	0.072	4
24	○	☒	E	+Y'	-0.3X'	-	L3	0.485	0.111	6
25	○	☒	E	-X'	+0.3Y'	+	L3	0.618	0.212	11
26	○	☒	E	-X'	+0.3Y'	-	L3	0.640	0.229	11
27	○	☒	E	-X'	-0.3Y'	+	L3	0.618	0.212	11
28	○	☒	E	-X'	-0.3Y'	-	L3	0.651	0.242	12
29	○	☒	E	-Y'	+0.3X'	+	L3	0.477	0.106	5
30	○	☒	E	-Y'	+0.3X'	-	L3	0.405	0.072	4
31	○	☒	E	-Y'	-0.3X'	+	L3	0.470	0.105	5
32	○	☒	E	-Y'	-0.3X'	-	L3	0.405	0.074	4

*Indici di rischio sismico - stato attuale*

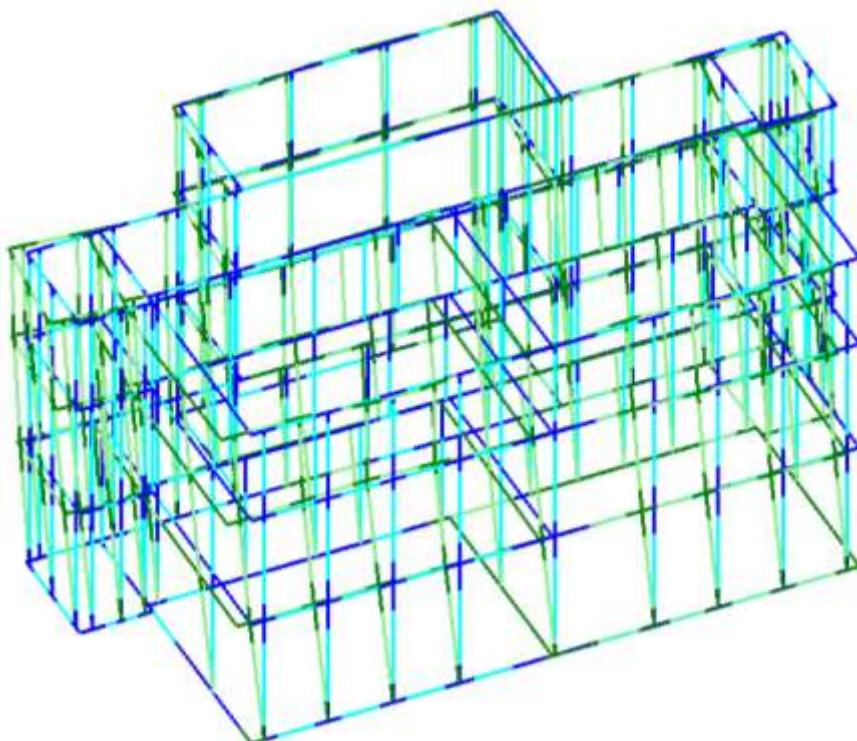
I valori sopra riportati sono riferiti allo Stato Limite di Salvaguardia della Vita e sono espressi sia in termini di PGA (accelerazione di picco al suolo) che in termini di TR (tempi di ritorno). I due valori non sono uguali data la non linearità del legame fra PGA e TR, possono risultare paragonabili se l'espressione in termini di tempi di ritorno viene elevata per il coefficiente 0.41 derivante dall'analisi statistica delle curve di pericolosità a livello nazionale.

L'indice di rischio sismico globale dello stato attuale della Scuola dell'Infanzia e Secondaria di Primo Grado di San Nicolò di Celle per azioni nel piano è di 0.300 in termini di accelerazione di picco al suolo e di 0.253 in termini di tempi di ritorno.

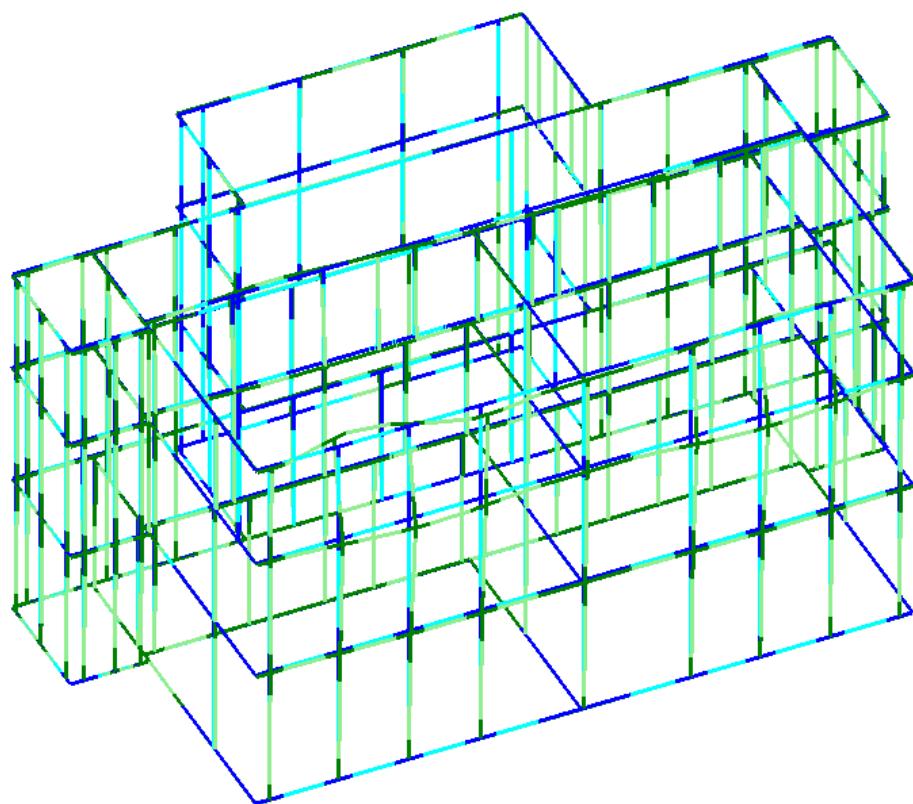
#### **6.5.3.2. Principali risultati dell'Analisi Dinamica Modale**

Per valutare le azioni fuori piano dei pannelli murari è stata condotta un'analisi dinamica modale nei confronti dello Stato Limite di Salvaguardia della Vita (SLV) l'analisi dinamica modale con fattore di struttura q pari a 2.25.

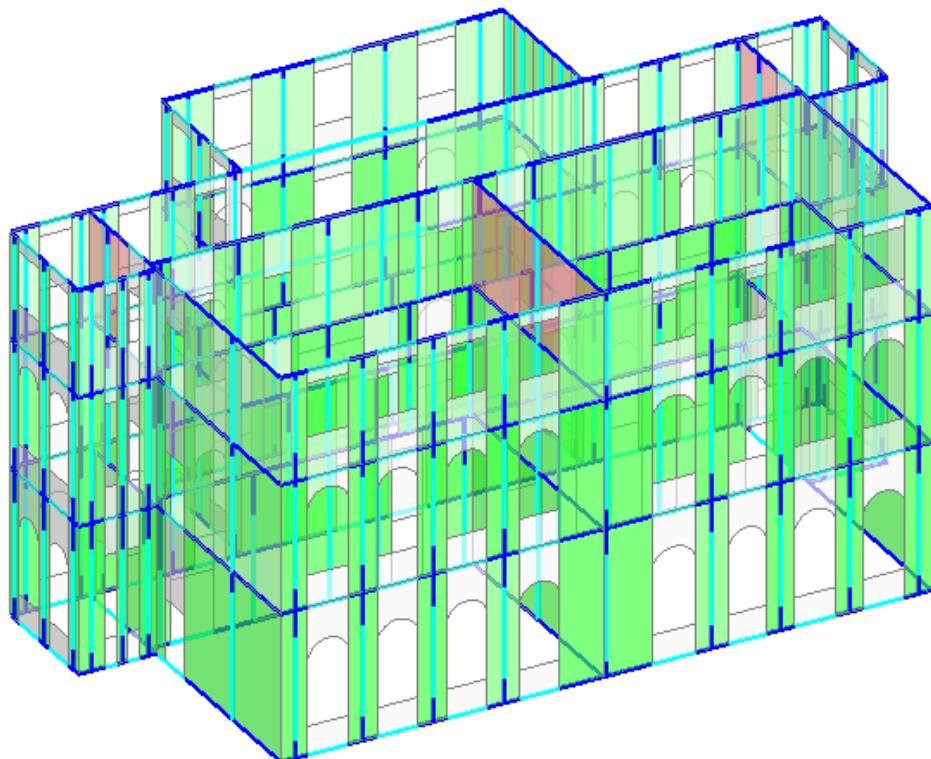
Di seguito i principali modi di vibrare della struttura e l'immagine riepilogativa delle verifiche di resistenza a pressoflessione ortogonale.



*Primo modo di vibrare traslazionale direz. X – massa partecipante 76.5% - T=0.400 sec*



*Primo modo di vibrare traslazionale direz. Y – massa partecipante 38.7% - T=0.400 sec*



*Verifiche Presso flessione Ortagonale*

Analisi Sismica, Dinamica Modale (D.M.17.1.2018)- Adeguamento					
Analisi Sismica Dinamica Modale [§7.8.1.5.3] Verifiche di sicurezza per Edifici in Muratura			Confronto fra Capacita' e Domanda - Indicatori di rischio		
<b>SLU di salvaguardia della Vita (SLV)</b> Verifica di Resistenza (RES) Ed.esistente, CU III: obbligatoria			<b>Valore obiettivo di (<math>\zeta_E</math>) = 0.800</b>		
Pressofless. complanare [§7.8.2.2.1] Taglio scorrimento [§7.8.2.2.2] Taglio fessuraz. diag. [SC8.7.1.5] Pressofless. ortog. (da modello 3D) [§7.8.2.2.3] Pressofless. ortog. [§7.2.3, §7.8.2.2.3]			VN = 50 anni, PGA,DLV = 0.277 g - TR,DLV = 712 anni - P,VR, DLV = 10 % Indicatori di rischio ( $\zeta_E$ ), SLV		
Pressofless. complanare [§7.8.2.2.1]	Taglio scorrimento [§7.8.2.2.2]	Taglio fessuraz. diag. [SC8.7.1.5]	PGА,CLV (g)	TR,CLV (anni)	PVR,CLV (%)
Pressofless. ortog. (da modello 3D) [§7.8.2.2.3]	Pressofless. ortog. [§7.2.3, §7.8.2.2.3]		0.638	98.3%	
Verifica di Resistenza nel piano			PGА,CLV / PGА,DLV	TR,CLV / TR,DLV	VN,CLV (anni)
Verifica di Resistenza fuori piano			0.177	162	37.090
0.639			0.639	0.228	11

### Indici di Rischio Sismico per Azioni Fuori Piano

L'indice di rischio sismico globale dello stato attuale della Scuola dell'Infanzia e Secondaria di Primo Grado di San Nicolò di Celle per meccanismi fuori piano è di 0.639 in termini di accelerazione di picco al suolo e di 0.545 in termini di tempi di ritorno.

Di seguito vengono riportati gli indici di rischio allo **Stato Limite di Operatività (SLO)** ottenuti dall'analisi dinamica modale.

SLE di Operatività (SLO) Verifica di Rigidezza (RIG) Ed.esistente, CU III: non obbligatoria			Indicatori di rischio ( $\zeta_E$ ), SLO		
(d.r / h).max (per mille': deve essere: < 1.33 ) = 1.241			PGА,CLO (g)	TR,CLO (anni)	PVR,CLO (%)
Coefficiente di sicurezza (= 1.33 / (d.r / h).max) =	1.072		PGА,CLO / PGА,DLO	TR,CLO / TR,DLO	VN,CLO (anni)
Coefficienti di sicurezza per verifiche da azione sismica in input: verde: soddisfatte per tutti gli elementi: ( $\zeta_E$ ).E>=1.000 rosso: non soddisfatte per uno o più elementi: ( $\zeta_E$ ).E<1.000	0.114	55	74.703	1.075	1.222
					4
Valori assenti: comportamenti non analizzati Indicatori in grigio: comportamenti da non considerare (cfr. §7.3.6, Tab.7.3.III) Per la verifica complessiva dell'edificio: consultare Report, Indicatori di rischio sismico					
Vai a: SLV RES, SLD RIG					Chiudi

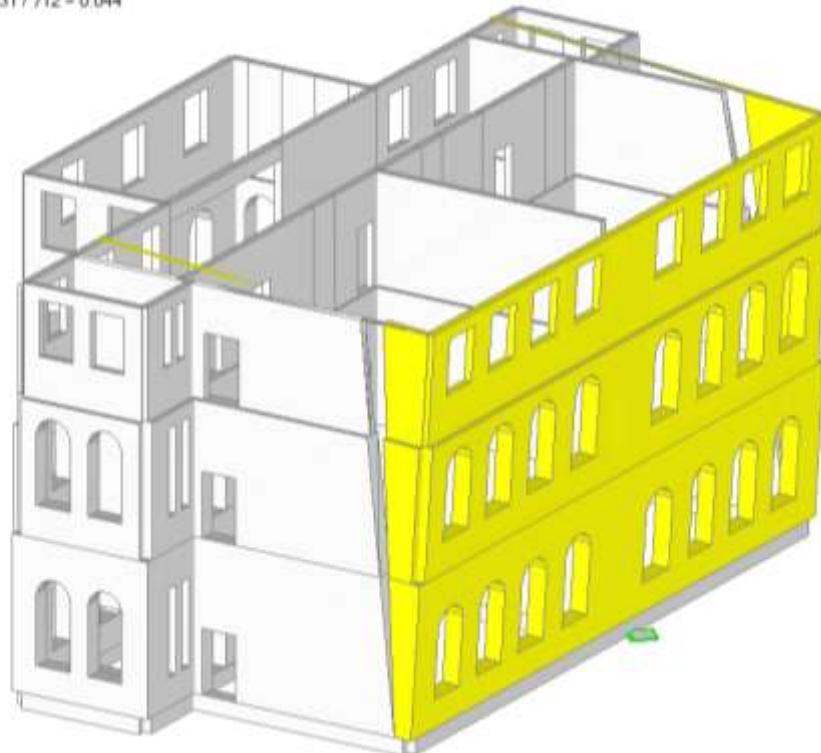
### Indici di Rischio Sismico SLO

L'indice di rischio sismico globale allo Stato Limite di Operatività dello stato attuale della Scuola dell'infanzia e secondaria di primo grado di San Nicolò di Celle è di 1.075 in termini di accelerazione di picco al suolo e di 1.085 in termini di tempi di ritorno.

## 6.6. VALUTAZIONE DELLA SICUREZZA – ANALISI SISMICA DEI MECCANISMI LOCALI

Di seguito si riportano i risultati del cinematismo di ribaltamento di facciata.

**04. Cinematismo 1-**  
Ribaltamento semplice  
 $\alpha_0 = 0.048$   
■ SLV  
 $PGA_{CLV} / PGA_{SLV} = 0.090 / 0.277 = 0.325$   
 $TR_{CLV} / TR_{SLV} = 31 / 712 = 0.044$



*Cinematismo di ribaltamento di facciata*

L'indice di rischio sismico del cinematismo di ribaltamento di facciata dello stato attuale della Scuola dell'Infanzia e Secondaria di Primo Grado è di 0.325 in termini di accelerazione di picco al suolo e di 0.277 in termini di tempi di ritorno.

## 6.7. VALUTAZIONE DELLA SICUREZZA – ANALISI PER CARICHI STATICI

### 6.7.1. Premessa

E' stata eseguita un'analisi statica lineare non sismica.

### 6.7.2. Identificazione e descrizione del modello di calcolo strutturale

L'analisi è stata condotta con lo stesso software di calcolo e con le stesse note riportate al punto 6.5.2 cui si rimanda per brevità.

Anche in questo caso per maggiori dettagli si rimanda ai tabulati di calcolo allegati.

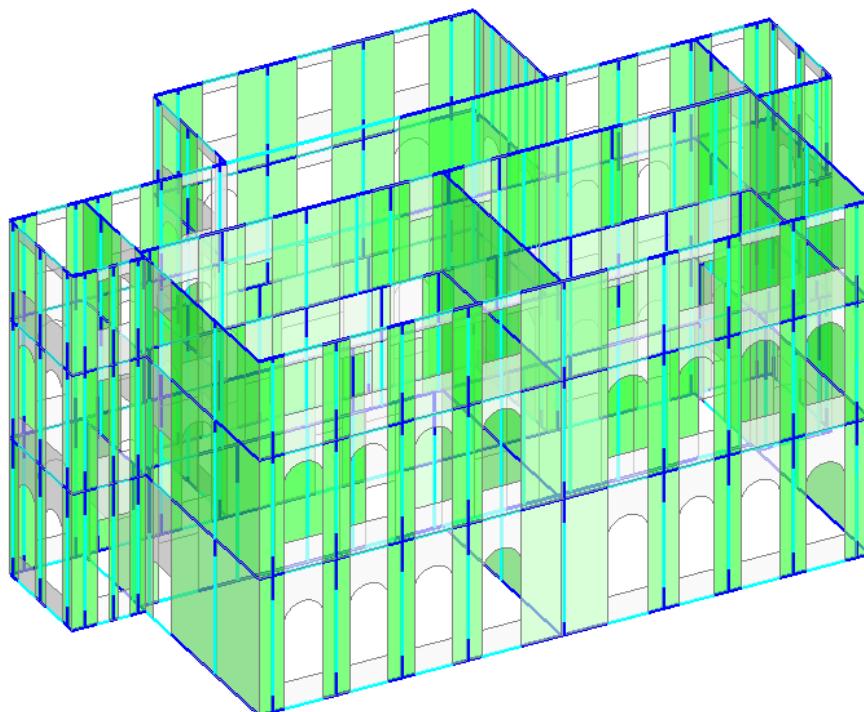
### 6.7.3. Parametri di calcolo

Nell'analisi statica lineare si è assunto come valore del coefficiente parziale di sicurezza dei materiali  $\gamma_M$  il valore 2.5. La Normativa tecnica, infatti, non specifica i valori dei coefficienti di sicurezza dei materiali da assumere in condizioni statiche per edifici esistenti.

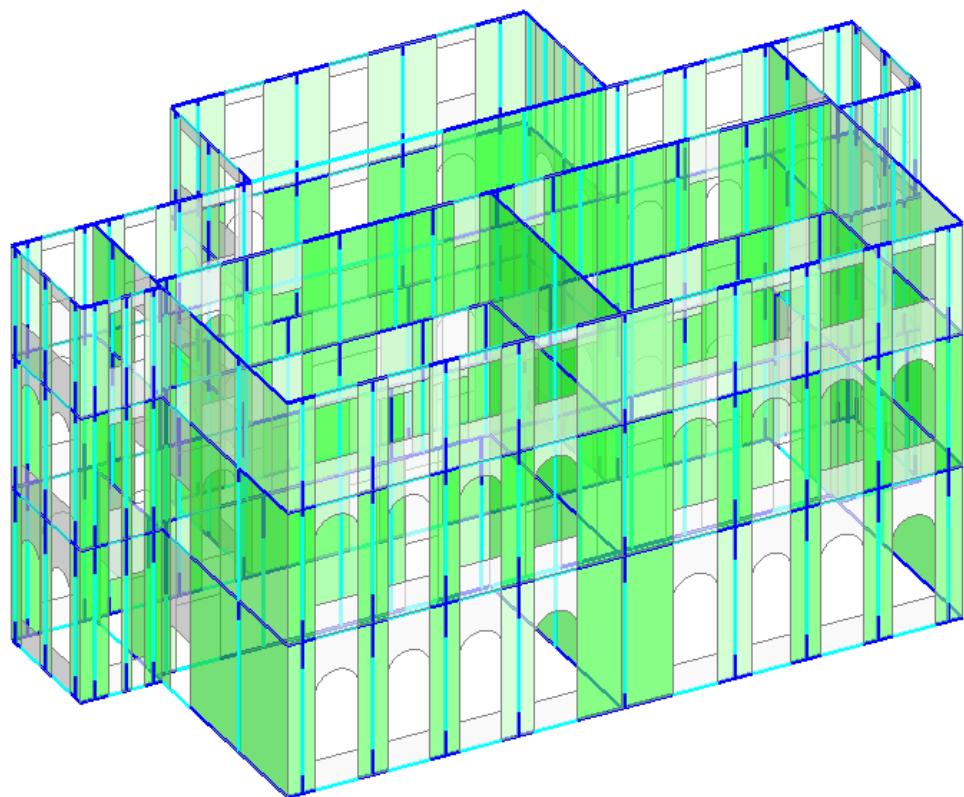
### 6.7.4. Principali risultati dell'Analisi Statica Lineare Non Sismica

Di seguito vengono riportate le verifiche di sicurezza in condizioni statiche (non sismiche) ed i valori del coefficiente di sicurezza relativo alle diverse verifiche eseguite (presso-flessione complanare, taglio per fessurazione diagonale, presso-flessione ortogonale).

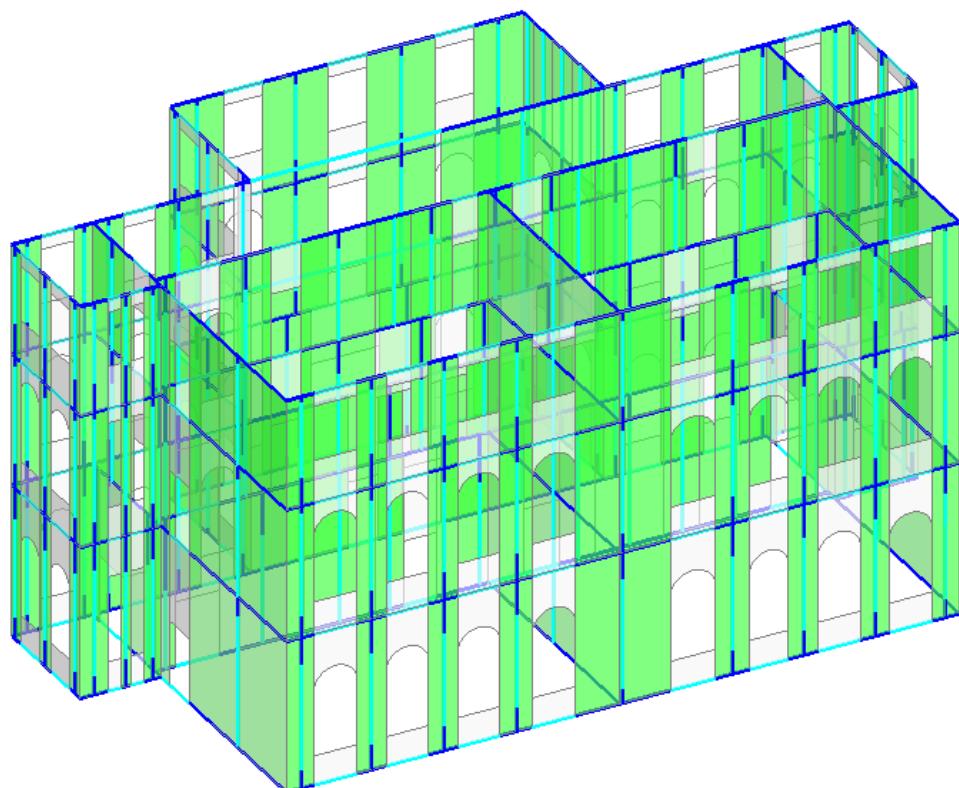
#### Verifiche di sicurezza



*Verifiche Presso flessione Complanare*

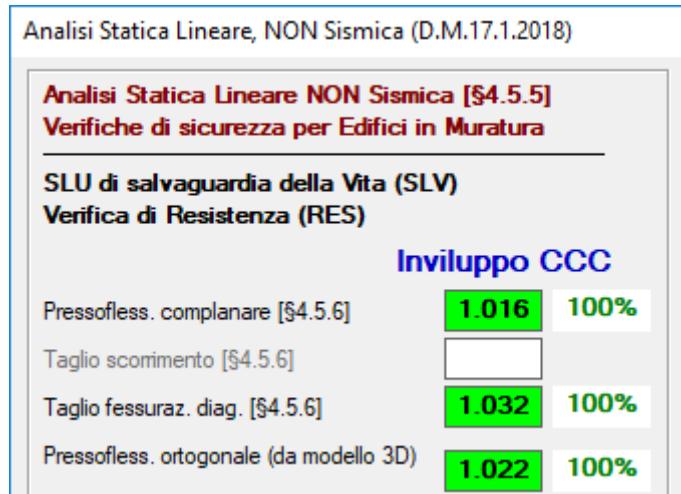


*Verifiche Presso flessione Ortogonale*



*Verifiche Taglio per Fessurazione diagonale*

### Coefficiente di Sicurezza



*Coefficiente di Sicurezza*

## 6.8. RIEPILOGO E COMMENTO DEI RISULTATI. SOLUZIONI PROPOSTE

### 6.8.1. Riepilogo degli indicatori di rischio sismici (analisi globali e locali)

Nell'immagine sottostante sono riportati gli indici di rischio ottenuti dalle analisi.

Stato Limite	Indice di Rischio - Stato Attuale Modello globale	
	PGA	TR
SLV	0.300	0.253
SLD	1.085	1.067
SLO	1.075	1.085

*Indice di Rischio Sismico Stato Attuale – Analisi Statica Non Lineare (Pushover)*

Stato Limite	Indice di Rischio - Stato Attuale Cinematismi Locali	
	PGA	TR
SLV	0.325	0.277

*Indice di Rischio Sismico Stato Attuale – Cinematismi Locali*

### 6.8.2. Riepilogo delle verifiche statiche

In base alle verifiche statiche condotte non sono emersi problemi, così come poteva essere ipotizzato già a seguito delle ricognizioni condotte sulla struttura a seguito delle quali non erano emerse problematiche riconducibili a carenze di dimensionamento delle strutture portanti orizzontali e verticali o del sistema fondale.

### **6.8.3. Commento ai risultati e soluzioni proposte**

L'analisi globale della Scuola dell'Infanzia e Secondaria di Primo Grado di San Nicolò di Celle ha evidenziato criticità della struttura nei confronti delle azioni sismiche.

Al fine di ridurre la vulnerabilità dello stabile e garantire un livello di sicurezza nei confronti delle azioni sismiche almeno pari al 60% di quello previsto per edifici di nuova realizzazione si consigliano i seguenti interventi:

- Setti murari di controventamento a tutta altezza in blocchi Poroton di spessore pari a 45 cm nei primi due livelli e di 30 cm all'ultimo livello;
- Chiusura di nicchie;
- Cerchiature metalliche in grado di ripristinare la continuità della muratura;
- Cordolo di piano nel primo orizzontamento con profilati metallici;
- Demolizione della copertura pesante esistente e realizzazione di una nuova in travi in acciaio e pannello sandwich;
- Aumento della capacità resistenziale della muratura con intervento di intonaco armato su entrambe le facce murarie con fibre di vetro;
- Inserimento di tiranti antiespulsivi e di catene metalliche a livello del primo e secondo impalcato.

### **6.8.4. Scheda di sintesi**

I risultati delle attività condotte (rilevi, campagna di indagine sperimentale, analisi strutturali e proposte di intervento), sono riportati in forma riassuntiva anche nella **“Scheda di sintesi della verifica sismica per gli edifici strategici ai fini della protezione civile o rilevanti in caso di collasso a seguito di evento sismico”**.