

REGIONE PIEMONTE  
PROVINCIA DI TORINO  
CITTA' DI BUSSOLENO

**VALUTAZIONE DELLA VULNERABILITÀ SISMICA AI SENSI DELL' O.P.C.M N°3274  
DEL 02/02/2003 DI EDIFICIO SCOLASTICO  
IN CONFORMITÀ AL D.M. 17/01/2018 E SS.MM.II.**

SCUOLA "EX MASCHILI"  
PIAZZA CAVOUR N. 2  
BUSSOLENO (TO)



Il tecnico incaricato  
Ing. Alessio Camelliti  
Studio Tecnico Associato AS32

## INDICE

<b>1. Oggetto.....</b>	<b>3</b>
<b>2. Analisi storico-critica e descrizione generale dell'edificio .....</b>	<b>3</b>
<b>3. Rilievo strutturale ed indagini specialistiche sulle strutture.....</b>	<b>9</b>
<b>4. Normativa, caratterizzazione dei materiali ed azioni di progetto .....</b>	<b>15</b>
<b>5. Modellazione dell'edificio.....</b>	<b>25</b>
<b>6. Combinazioni di carico .....</b>	<b>32</b>
<b>7. Risultati delle analisi .....</b>	<b>33</b>
<b>8. Sintesi dei risultati di analisi di vulnerabilità sismica .....</b>	<b>39</b>
<b>9. Considerazioni conclusive .....</b>	<b>39</b>

## 1. Oggetto

La presente relazione tecnica è relativa alla valutazione della vulnerabilità sismica con riferimento al D.M. 17.01.2018 Cap. 8 e Circolare C.S.LL.PP. n. 7 del 21.01.2019 dell'edificio sito in piazza Cavour n. 2 a Bussoleno (TO) per il quale è previsto l'adeguamento alle attuali normative.

La valutazione è stata condotta per conto del Comune di Bussoleno (TO).

## 2. Analisi storico-critica e descrizione generale dell'edificio

### 2.1 Descrizione dell'edificio

L'edificio è attualmente utilizzato e ospita la scuola primaria, è situato nel territorio comunale di Bussoleno (TO) in un leggero rilievo su cui sorge il nucleo abitativo centrale della cittadina, di fianco all'edificio comunale.



Immagine aerea Google Earth

La georeferenziazione ha permesso di desumere le seguenti coordinate geografiche del sito e quelle del reticolo di riferimento

Località

Comune

Zona sism.


Latitudine

Longitudine

ID= 13119      ID= 13120

( 7.1478, 45.1386 )

ID= 13341      ID= 13342



L'edificio sviluppa in un'area posta nella centrale del paese ad una quota s.l.m. di circa 440 m, non risulta isolato in quanto elemento di testata di un aggregato edilizio.



Vista dell'ingresso del complesso scolastico da piazza Cavour



Punto di giunzione del fabbricato con l'aggregato edilizio (su parte di un lato del fabbricato)

L'edificio si sviluppa per due piani fuori terra e un piano interrato nel quale sono presenti alcuni locali in dismissione, non utilizzati.

La struttura portante è costituita da:

- elementi verticali in muratura di vario genere (pietra a conci sbozzati nel piano interrato, laterizio e pietrame e laterizio pieno ai piani superiori);
- solai interamente costituiti da volte a padiglione (aule) e volte a botte (corridoi);
- struttura di copertura con orditura in legno massiccio e lose di pietra;
- tramezze divisorie in laterizio forato (solo a divisione dei servizi igienici);

L'edificio è stato realizzato in unica soluzione. Non vi sono discontinuità temporali né giunti strutturali.

## *2.2 Condizioni d'uso e livello di sicurezza della costruzione*

### *Vita nominale*

La vita nominale di un'opera strutturale  $V_N$  è intesa come il numero di anni nel quale la struttura, purché soggetta a manutenzione ordinaria, può essere usata per lo scopo per la quale è stata progettata.

La vita nominale dei diversi tipi di opere è riportata nella seguente tabella:

TIPO DI COSTRUZIONE		VITA NOMINALE
1	Opere provvisorie, strutture in fase costruttiva	$\leq 10$
2	Opere ordinarie e opere infrastrutturali normali	$\geq 50$
3	Grandi opere e opere infrastrutturali di importanza strategica	$\geq 100$

La vita nominale è stabilita, in accordo con il Committente, in funzione delle caratteristiche dell'opera e della destinazione d'uso della medesima.

Nel caso in esame si assumono i parametri conseguenti alla destinazione d'uso:

Tipologia: Opera di tipo rilevante (edificio scolastico)  
 Vita nominale  $V_N$  (anni) 50  
*(L'edificio in questione fu completato nel 1907 con delibera comunale del 1904)*

#### Classi d'uso

Le costruzioni sono suddivise in classi d'uso con riferimento alle conseguenze di una interruzione di operatività o di un eventuale collasso dovute agli effetti dell'azione sismica.

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	<b>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.</b>
Classe IV	Costruzioni con funzioni pubbliche o strategiche importanti, anche con riferimento alla gestione della protezione civile in caso di calamità. Industrie con attività pericolose per l'ambiente. Reti viarie di tipo A o B, di cui al D.M. 5 novembre 2001, n° 6792, "Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle strade", e di tipo C se 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.

#### Per la costruzione in esame si assume classe d'uso III

#### Periodo di riferimento dell'azione sismica

Le azioni sismiche vengono valutate in relazione al periodo di riferimento  $V_R$  che si ricava, per ciascun tipo di costruzione, con la seguente formula in funzione del coefficiente d'uso  $C_U$

$$V_R = V_N \times C_U$$

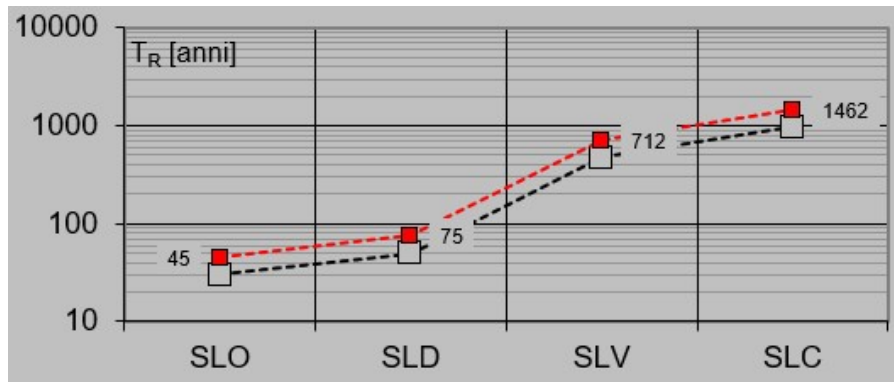
Il valore del coefficiente d'uso  $C_U$  è definito, al variare della classe d'uso, come di seguito

Classe d'uso	I	II	III	IV
Coefficiente $C_U$	0,7	1,0	1,5	2,0

Si ottiene pertanto:

$$V_R = V_N \times C_U = 50 \times 1.5 = 75 \text{ anni}$$

Che corrisponde ad un tempo di ritorno agli stati limite considerati pari a 712 anni per la condizione di SLV, 75 anni per SLD e 45 anni per SLO.



### 2.3 Analisi storico-critica

L'edificio scolastico, esempio di architettura pubblica di inizio Novecento, sorge poco distante dalla sponda destra della Dora Riparia, nel nucleo centrale dell'abitato di Bussoleno, vicino alla chiesa parrocchiale dell'Assunta ed al palazzo municipale. La Delibera comunale per la sua



costruzione, per ospitare la scuola elementare maschile, risale al 1904; il suo completamento al 1907. Il fabbricato presenta un impianto planimetrico semplice e regolare: di forma rettangolare, si sviluppa su due piani fuori terra e mostra un piccolo avancorpo centrale in corrispondenza dell'ingresso che ospita, al piano terra, un locale guardiola e locale insegnanti, e al piano primo una piccola terrazza affacciata sulla

piazza antistante; subito dietro si sviluppa il corridoio di smistamento alle tre aule, che nelle testate nord e sud accoglie rispettivamente la scala di distribuzione ai piani a rampe parallele e i servizi igienici.

L'edificio, nato come scuola comunale, non ha subito particolari trasformazioni nel corso degli anni e, pertanto, ha conservato l'aspetto formale e compositivo originario, così come l'articolazione interna degli ambienti, scandita da murature portanti e voltati.

I prospetti esterni, assai curati per la presenza di un raffinato apparato decorativo, trasmettono il senso di aulicità di un edificio pubblico e di luogo destinato all'istruzione.

L'affaccio principale, verso piazza Cavour, è scandito orizzontalmente da un marcapiano modanato e verticalmente da due lesene bugnate, disposte in prossimità dei muri trasversali che dividono lo spazio interno; in questo modo, ciascuna specchiatura ottenuta è occupata, sia al piano terra sia al piano primo, da tre finestre slanciate con cornice, maggiormente elaborate e curate al piano nobile (piano primo). La porzione centrale, dietro l'avancorpo di ingresso, è sormontata, al piano di gronda della copertura, da un attico con pilastri terminali e timpano centrale recante la scritta "Scuole Com.li Maschili", intercalata dallo stemma del Comune. Il prospetto sul retro, verso il cortile interno pertinenziale, risulta invece più semplice e le aperture sono prive di cornici. Tutte le superfici dell'edificio sono rifinite ad intonaco tinteggiato, interessate nella zona basamentale da un rivestimento lapideo e coronate da un elegante cornicione, sormontato da una copertura con struttura lignea e manto in lose posate a goccia. Il fabbricato è stato oggetto, nel 2011, di un intervento di ristrutturazione che ha interessato gli spazi interni..

#### *Analisi della documentazione*

La documentazione disponibile, utile ai fini della valutazione di vulnerabilità sismica, risulta essere costituita da:

- Elaborati grafici architettonici forniti dall'Ufficio Tecnico del Comune;
- Libro di storia di Bussoleno con tracce e foto relative alla costruzione dell'edificio scolastico;
- Relazione di progetto di scala e latrina con decorazione della palestra delle scuole (1885);
- Computo metrico per la realizzazione dell'edificio e demolizione della palestra e del "fabbricato Rocci" preesistenti, redatto dallo studio del geom. Achille Alpe di Bussoleno, datato 16 aprile 1904;
- Scheda del bene tutelato;
- Libretto sanitario sullo sfondellamento dei solai (Tecnoindagini, 21.06.2016);
- Conformità statica delle strutture orizzontali (Tecnoindagini, 21.06.2016);

#### *2.4 Esito dell'analisi storico-critica*

Dalle evidenze storico-documentali non emergono modifiche o cambi di destinazioni d'uso. Il fabbricato è sostanzialmente nella condizione originaria e non presenta fenomeni evidenti di dissesto o di patologie strutturali. Nell'ultimo secolo è stato sottoposto a diversi terremoti avvenuti nella Val Susa (i più consistenti con epicentro San Didero, a pochi chilometri da Bussoleno) che non hanno provocato alcun danneggiamento.



## 2.5 Rilievo geometrico

Al fine di poter eseguire una coerente valutazione di vulnerabilità sismica del fabbricato è stato eseguito un rilievo geometrico, architettonico e strutturale.

L'esecuzione del rilievo è stata preceduta da sopralluoghi al fabbricato, necessari per conoscerne struttura, distribuzione plano-altimetrica e per stabilire le migliori tecniche per eseguire le varie misurazioni.

Visto che il fabbricato è realizzato in muratura, è stata verificata la congruenza degli elaborati architettonici degli con quanto riscontrato sul manufatto al fine di poterne appurare la validità.

Sono stati verificati gli spessori delle murature e delle volte, la geometria e le misure degli elementi portanti.

La verifica è stata condotta sia sul sito (verificando con misuratore laser le distanze tra i muri e la geometria degli stessi) che sui documenti cartacei e informatici (sovrapponendo e verificando la congruenza degli elaborati architettonici disponibili, precedentemente utilizzati per altri scopi)

Finite le fasi di verifica, è stato definito il modello tridimensionale del fabbricato, tenendo criticamente conto degli elementi che influiscono a vantaggio di sicurezza nelle analisi se omessi o trascurati per il loro contributo.

## 3. Rilievo strutturale ed indagini specialistiche sulle strutture

### 3.1 Livello di conoscenza e fattore di confidenza

#### *Concetto di conoscenza degli edifici esistenti*

La conoscenza di un edificio esistente risente di questi aspetti fondamentali:

- il “progetto” (o meglio la costruzione) riflette lo stato delle conoscenze (regola d'arte) al tempo della loro edificazione e può contenere difetti di impostazione concettuale e di realizzazione che non sono direttamente visibili o evidenziabili;
- gli edifici esistenti possono aver già sopportato in passato terremoti (più o meno violenti) o altre azioni accidentali, i cui effetti possono essere più o meno manifesti;
- gli edifici esistenti presentano situazioni concrete che possono essere le più diverse (e a volte imprevedibili).

Sulla base della documentazione disponibile ed in funzione degli stanziamenti disponibili per l'esecuzione della campagna di indagini e di rilievi condotti in situ, si ricade nel livello di conoscenza LC1 secondo quanto previsto dal D.M. 17.01.2018 e dalla Circolare n. 7/2019.

Per l'edificio in oggetto, caratterizzato da una struttura portante in muratura ordinaria, per la stima dei livelli di conoscenza e dei fattori di confidenza, verranno considerate le indicazioni, previste dal D.M. 17.01.2018 e dalla Circolare n. 7/19, relative alle costruzioni esistenti in muratura.

Si riporta, a tal fine, il paragrafo relativo al punto C8.5.2 in merito ai rilievi atti a caratterizzare la muratura:



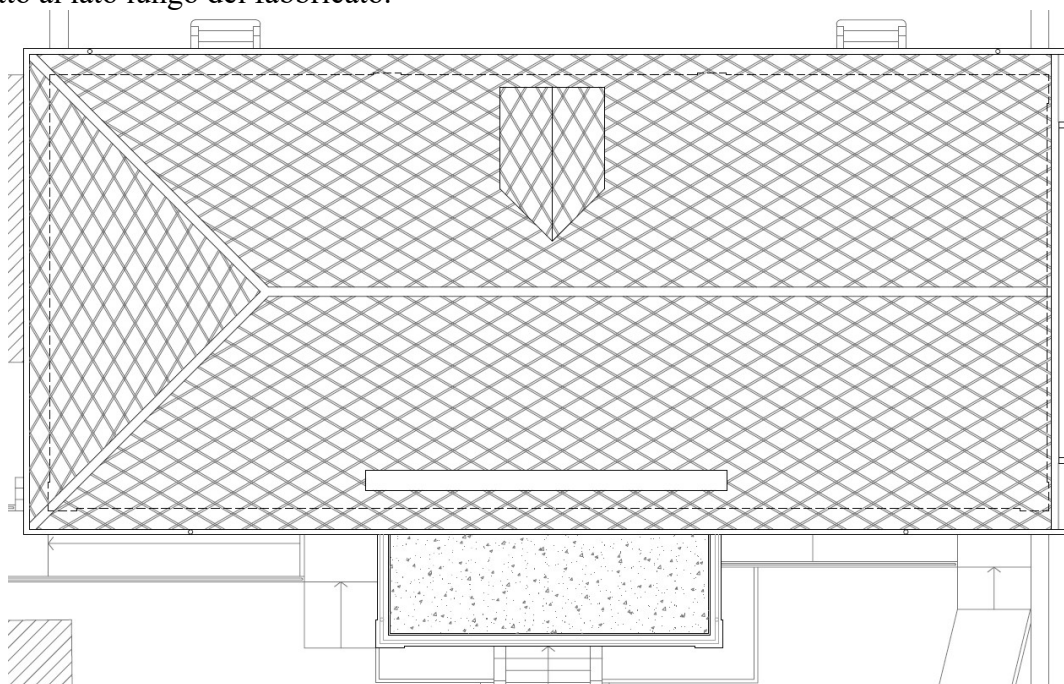
I risultati della campagna di indagini, allegati alla presente, sono da considerarsi parte integrante del presente documento.

### *3.2 Stima del livello di conoscenza e del fattore di confidenza*

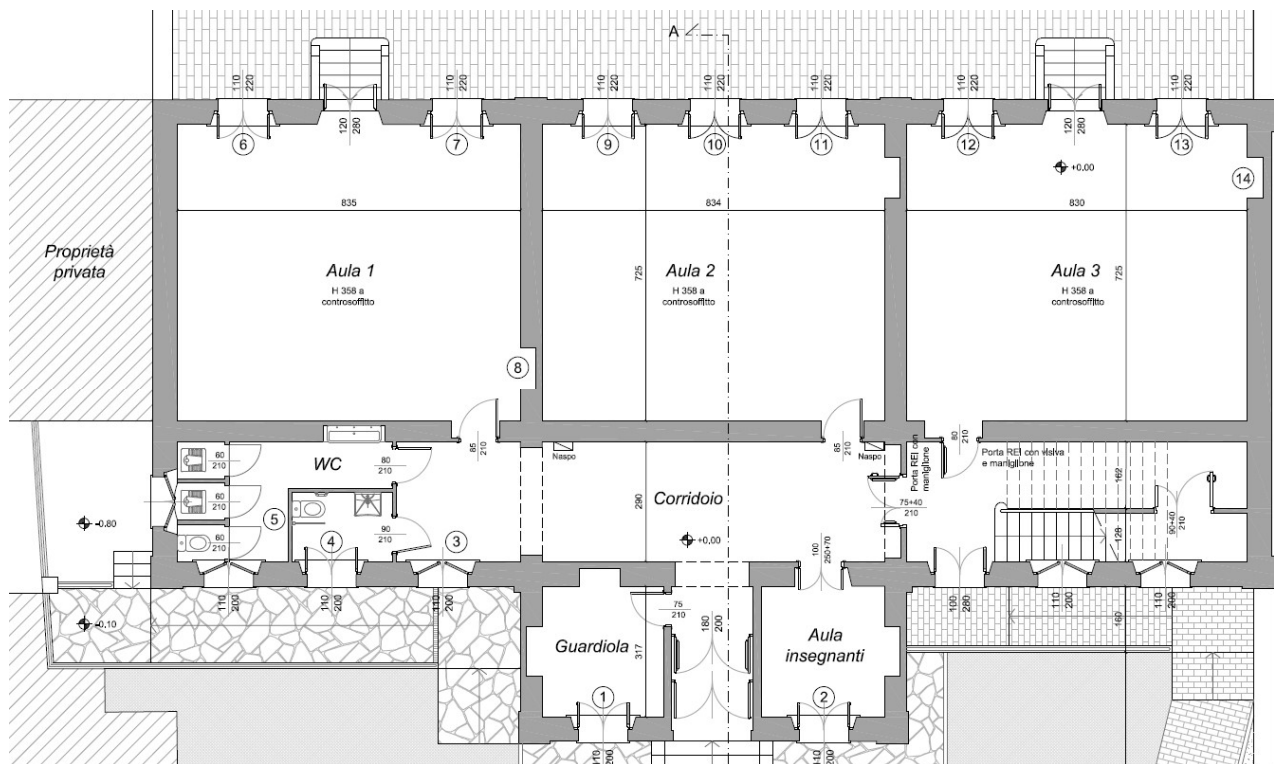
Sulla base delle indagini effettuate ed in base alla documentazione disponibile è possibile assumere un livello di conoscenza pari a LC2 corrispondente ad un fattore di confidenza sui materiali pari a  $FC=1.20$ .

### *3.3 Descrizione strutturale dell'edificio*

L'edificio ha struttura in muratura e si presenta di forma semplice e regolare. In pianta ha forma regolare con dimensioni di circa 27 x 12 m e un piccolo avancorpo di circa 9 x 4 m centrato rispetto al lato lungo del fabbricato.



Come meglio evidente nella pianta del piano terra che si riporta di seguito, il fabbricato presenta una piccola continuità strutturale con l'aggregato edilizio posto sul lato destro guardando la pianta raffigurata:



Essendo tale discontinuità localizzata in una piccola porzione di fabbricato, **l'unità strutturale (US) di riferimento viene analizzata come edificio di tipo isolato senza l'ausilio di semplificazioni**, vista l'assenza di informazioni sul fabbricato adiacente, fermo restando che andrà realizzata la separazione fisica dei due corpi di fabbrica.

L'analisi di una US secondo i metodi utilizzati per edifici isolati, se effettuata modellando in maniera approssimata (o addirittura trascurando) l'interazione con i corpi di fabbrica adiacenti, **assume un significato largamente convenzionale**.

Le murature sono tutte di spessore complessivo pari a circa 60 cm, con due spine ogni 8 m circa nella direzione corta e una spina nella direzione lunga, posta a circa 8 m dal muro perimetrale.

Le murature sono disordinate e con elevati elementi a cassa vuota ai piani terreno e primo mentre risultano omogenee in muratura di pietra al piano interrato.

### 3.4 Strutture di fondazione

Le fondazioni dell'edificio furono realizzate con una struttura in muratura pari a quella delle strutture murarie del piano interrato. Il terreno di fondazione è particolarmente compatto in quanto costituito da ghiaia e sabbia con elevato valore dell'angolo di resistenza al taglio (che si riporta nella seguente tabella estratta dalla relazione geotecnica):

Litologia e profondità (m)	Nspt medio	$\phi$ (°)	$\phi$ caratteristico (°)
Sabbia limosa 0,00 – 2,30 m	11	28	25
Ghiaia e sabbia con ciottoli ➤ 2,30 m	47	41	38

Tab. 3 - Valori di Nspt e dell'angolo di attrito interno ( $\phi$ )

### 3.5 Strutture verticali in muratura

La struttura muraria è stata sintetizzata per ricondurla ad una schematizzazione semplice. In particolar modo, è stato eliminato il contributo di eventuali parzializzazioni dei paramenti murari in corrispondenza di nicchie e finestre, è stato uniformato lo spessore della muratura a 60 cm (le murature hanno spessore che varia da 57 a 67 cm).

Allo stato attuale, **la maggior parte delle murature è a cassa vuota**, con spessori consistenti dell'intercapedine posto tra due file di mattoni forati e/o muratura mista.

Negli altri casi è costituita da muratura piena mista di pietrame e laterizio, con malta di buone caratteristiche meccaniche in tutti i casi.

### 3.6 Strutture orizzontali in muratura

Gli orizzontamenti sono costituiti da volte aventi spessore 12 cm (mattoni messi di taglio) con ottima tessitura e aventi le seguenti caratteristiche:

- Aule: padiglione a schifo, 8x8 m circa e monta di 70 cm circa;
- Corridoi: botte, luce di circa 2.9 m e monta di circa 50 cm;



Tessitura volte livello interrato

Gli impalcati non possono essere considerati infinitamente rigidi ma con rigidezza finita.

### 3.7 Regolarità in pianta ed in alzato



Si procede effettuando una verifica di regolarità geometrica dell'edificio secondo il punto 7.2.2. del DM 2018.

Per quanto riguarda gli edifici, una costruzione è regolare in pianta se tutte le seguenti condizioni sono rispettate:

- la configurazione in pianta è compatta e approssimativamente simmetrica rispetto a due direzioni ortogonali, in relazione alla distribuzione di masse e rigidezze;
- il rapporto tra i lati di un rettangolo in cui la costruzione risulta inscritta è inferiore a 4;
- nessuna dimensione di eventuali rientri o sporgenze supera il 25 % della dimensione totale della costruzione nella corrispondente direzione;
- gli orizzontamenti possono essere considerati infinitamente rigidi nel loro piano rispetto agli elementi verticali e sufficientemente resistenti.

Sempre riferendosi agli edifici, una costruzione è regolare in altezza se tutte le seguenti condizioni sono rispettate:

- tutti i sistemi resistenti verticali (quali telai e pareti) si estendono per tutta l'altezza della costruzione;
- massa e rigidezza rimangono costanti o variano gradualmente, senza bruschi cambiamenti, dalla base alla sommità della costruzione (le variazioni di massa da un orizzontamento all'altro non superano il 25 %, la rigidezza non si riduce da un orizzontamento a quello sovrastante più del 30% e non aumenta più del 10%); ai fini della rigidezza si possono considerare regolari in altezza strutture dotate di pareti o nuclei in c.a. o pareti e nuclei in muratura di sezione costante sull'altezza o di telai controventati in acciaio, ai quali sia affidato almeno il 50% dell'azione sismica alla base ;
- eventuali restringimenti della sezione orizzontale della costruzione avvengono in modo graduale da un orizzontamento al successivo, rispettando i seguenti limiti: ad ogni orizzontamento il rientro non supera il 30% della dimensione corrispondente al primo orizzontamento, né il 20% della dimensione corrispondente all'orizzontamento immediatamente sottostante. Fa eccezione l'ultimo orizzontamento di costruzioni di almeno quattro piani per il quale non sono previste limitazioni di restringimento.

#### *Rigidezza impalcati*

I solai non presentano le caratteristiche per poter essere considerati infinitamente rigidi nel loro piano. Il modello impiegato per le analisi, schematizza le volte attraverso gusci in muratura.

#### *Considerazioni finali relative alla regolarità*

Data la particolare configurazione geometrica dell'edificio si ritengono soddisfatti i requisiti di regolarità in pianta e in altezza.

## 4. Normativa, caratterizzazione dei materiali ed azioni di progetto

### 4.1 Normativa di riferimento

- OPCM n. 3274 del 20 03 2003. Primi elementi di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica.
- D.M. 17-01-2018, Aggiornamento delle Norme Tecniche per le costruzioni;
- Circ..C.S.LL.PP. n. 7 del 21.01.2019 “Istruzioni per l’applicazione dell’Aggiornamento delle Norme Tecniche per le costruzioni”
- DPCM 12-10-2007, Direttiva del Presidente del Consiglio dei ministri per la valutazione e la riduzione del rischio sismico del patrimonio culturale con riferimento alle norme tecniche per le costruzioni;
- Linee guida per il rilevamento della vulnerabilità degli elementi non strutturali nelle scuole (Intesa Rep. 7/CU 28/1/2009);
- UNI ENV 1996-1-1:2006. (Eurocodice 6). Progettazione di strutture in muratura. Parte 1-1: Regole generali per gli edifici - Regole per la muratura armata e non armata;
- UNI ENV 1998-1-1:2005 (Eurocodice 8). Indicazioni progettuali per la resistenza sismica delle strutture. Parte 1-1.
- D.G.R. Regione Piemonte n. 12.12.2011 n. 4-3084 e s.m.i. D.G.R. 21.05.2014 n. 65-7656 Approvazione delle procedure di controllo e gestione delle attività urbanistico edilizie ai fini della prevenzione del rischio sismico attuative della nuova classificazione sismica del territorio piemontese.

### 4.2 Caratterizzazione dei materiali

Le proprietà di progetto dei materiali sono state definite a partire dalle conoscenze ottenute dai documenti a disposizione, dalle prove sperimentali e dalle indagini in-situ effettuate.

#### *Caratteristiche della muratura*

Riferendosi alla Circolare 7 C.S.LL.PP., le caratteristiche meccaniche della muratura sono state identificate secondo quanto riportato al punto C8.5.3.1 attraverso l’identificazione tipologica, la caratterizzazione meccanica della malta, la presenza di ricorsi o listature e la qualità della connessione trasversale.

Come evidenziato in precedenza, buona parte delle murature presenta (specie ai piani terra e primo) una cassa vuota di notevole spessore. **Le volte**, molto spingenti, sono dotate di rin fianchi e **sono appoggiate sul paramento interno**.

Pur essendo dotate di connessioni trasversali, seguendo il principio di cui al paragrafo C8.5.3.1, le caratteristiche meccaniche equivalenti della muratura saranno riferite, allo stato di fatto, ai soli paramenti esterni.

I coefficienti correttivi sono desunti dalla tabella C8.5.II mentre i valori di resistenza e di elasticità sono desunti dalla tabella C8.5.I., entrambe riportate nella pagina che segue.

**Tabella C8.5.I** -Valori di riferimento dei parametri meccanici della muratura, da usarsi nei criteri di resistenza di seguito specificati (comportamento a tempi brevi), e peso specifico medio per diverse tipologie di muratura. I valori si riferiscono a:  $f$  = resistenza media a compressione,  $\tau_0$  = resistenza media a taglio in assenza di tensioni normali (con riferimento alla formula riportata, a proposito dei modelli di capacità, nel §C8.7.1.3),  $f_{v0}$  = resistenza media a taglio in assenza di tensioni normali (con riferimento alla formula riportata, a proposito dei modelli di capacità, nel §C8.7.1.3),  $E$  = valore medio del modulo di elasticità normale,  $G$  = valore medio del modulo di elasticità tangenziale,  $w$  = peso specifico medio.

Tipologia di muratura	$f$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\tau_0$ (N/mm <sup>2</sup> )	$f_{v0}$ (N/mm <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)	1,0-2,0	0,018-0,032	- -	690-1050	230-350	19
Muratura a conci sbozzati, con paramenti di spessore disomogeneo (*)	2,0	0,035-0,051	- -	1020-1440	340-480	20
Muratura in pietre a spacco con buona tessitura	2,6-3,8	0,056-0,074	- -	1500-1980	500-660	21
Muratura irregolare di pietra tenera (tufo, calcarenite, ecc.,)	1,4-2,2	0,028-0,042	- -	900-1260	300-420	13 ÷ 16(**)
Muratura a conci regolari di pietra tenera (tufo, calcarenite, ecc.,) (**)	2,0-3,2	0,04-0,08	0,10-0,19	1200-1620	400-500	
Muratura a blocchi lapidei squadrati	5,8-8,2	0,09-0,12	0,18-0,28	2400-3300	800-1100	22
Muratura in mattoni pieni e malta di calce (***)	2,6-4,3	0,05-0,13	0,13-0,27	1200-1800	400-600	18
Muratura in mattoni semipieni con malta cementizia (es.: doppio UNI foratura ≤40%)	5,0-8,0	0,08-0,17	0,20-0,36	3500-5600	875-1400	15

(\*) Nella muratura a conci sbozzati i valori di resistenza tabellati si possono incrementare se si riscontra la sistematica presenza di zeppe profonde in pietra che migliorano i contatti e aumentano l'ammorsamento tra gli elementi lapidei; in assenza di valutazioni più precise, si utilizzi un coefficiente pari a 1,2.

(\*\*) Data la varietà litologica della pietra tenera, il peso specifico è molto variabile ma può essere facilmente stimato con prove dirette. Nel caso di muratura a conci regolari di pietra tenera, in presenza di una caratterizzazione diretta della resistenza a compressione degli elementi costituenti, la resistenza a compressione  $f_{pu}$  può essere valutata attraverso le indicazioni del § 11.10 delle NTC.

(\*\*\*) Nella muratura a mattoni pieni è opportuno ridurre i valori tabellati nel caso di giunti con spessore superiore a 13 mm; in assenza di valutazioni più precise, si utilizzi un coefficiente riduttivo pari a 0,7 per le resistenze e 0,8 per i moduli elastici.

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

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

(\*) I coefficienti correttivi relativi alle iniezioni di miscele leganti devono essere commisurati all'effettivo beneficio apportato alla muratura, riscontrabile con verifiche sia nella fase di esecuzione (iniettabilità) sia a-posteriori (riscontri sperimentali attraverso prove soniche o similari).

(\*\*) Valori da ridurre convenientemente nel caso di pareti di notevole spessore (p.es. > 70 cm).

(\*\*\*) Nel caso di muratura di mattoni si intende come "malta buona" una malta con resistenza media a compressione  $f_m$  superiore a 2 N/mm<sup>2</sup>. In tal caso il coefficiente correttivo può essere posto pari a  $f_m^{0,35}$  ( $f_m$  in N/mm<sup>2</sup>).

(\*\*\*\*) Nel caso di muratura di mattoni si intende come muratura trasversalmente connessa quella apparecchiata a regola d'arte.



Al netto del fattore di confidenza, con parametri correttivi unitari, i parametri meccanici della muratura sono i valori medi seguenti:

#### Piano interrato:

Tipologia di muratura	f (N/mm <sup>2</sup> )	$\tau_0$ (N/mm <sup>2</sup> )	$f_{v0}$ (N/mm <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 pietre a spacco con buona tessitura	2,6-3,8	0,056-0,074	- -	1500-1980	500-660	21
<b>Valore medio</b>	<b>3.2</b>	<b>0.065</b>		<b>1740</b>	<b>580</b>	<b>21</b>

#### Piano terra e piano primo:

Tipologia di muratura	f (N/mm <sup>2</sup> )	$\tau_0$ (N/mm <sup>2</sup> )	$f_{v0}$ (N/mm <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)	1,0-2,0	0,018-0,032	- -	690-1050	230-350	19
<b>Valore medio</b>	<b>1.5</b>	<b>0.025</b>		<b>870</b>	<b>290</b>	<b>19</b>

I parametri suddetti, per via della cassa vuota presente nei muri, sono opportunamente ridotti in ragione dell'effettiva sezione resistente, in ragione del 40% del totale.

#### 4.3 Analisi delle azioni e dei carichi agenti sulla struttura

Nei paragrafi seguenti vengono illustrati i criteri seguiti per la determinazione delle azioni di progetto agenti nel fabbricato in esame valutate in accordo ai criteri espressi dalle normative vigenti.

##### Azione della neve

Per la valutazione dell'azione di progetto statica della neve si è seguito il paragrafo 3.4.1 del D.M. 17.01.2018. La schermata riportata di seguito, riassume i parametri di calcolo e il risultato.

Neve - CDM DOLMEN e omnia IS 19 - c:\dolmen19\lavori\BSL\_01

Carico neve al suolo

Regione  
Piemonte

Provincia  
Torino  
(Zona I Alpina)

Comune  
Bussoleno

Altitudine di riferimento [m] 440

Periodo di ritorno  
50 anni

Carico neve al suolo  $q_{sk}$  [kN/m<sup>2</sup>]  
1.8978

Coeff. di esposizione 1.0

Coeff. termico 1.0

Casi particolari

☒ Crea relazione  
kN , m

Chiudi Calcola

Cop ad una falda | Cop a due falde | Cop a più falde | Cop cilindrica

Carico neve sulla copertura [kN/m<sup>2</sup>]

$\mu_1(\alpha_1)$   $q_{sk}$  1.5182

senza vento

$0.5\mu_1(\alpha_1)$   $q_{sk}$  .7591

con vento

$\mu_1(\alpha_1)$   $q_{sk}$  1.5182

$0.5\mu_1(\alpha_2)$   $q_{sk}$  .7591

con vento

$\mu_1(\alpha_2)$   $q_{sk}$  1.5182

$\mu_1(\alpha_2)$   $q_{sk}$  1.5182

Diagramma di un tetto a due falde con inclinazione di 26° su entrambi i lati. Le frecce rosse indicano i carichi  $q_e(A)$  e  $q_e(B)$  sulle falde.

$\mu$	$\mu_1$	$0.5\mu_1$
$q_e(A)$ [kN/m]	1.166	.146
$q_e(B)$ [kN/m]	1.166	.146

Il carico neve da utilizzare sarà il seguente:  
 $q_{neve} = 1.52 \text{ kN/m}^2$

### Azione del vento

La valutazione della pressione del vento da applicare nelle verifiche statiche è stata effettuata in riferimento al paragrafo 3.3 del D.M. 17.01.2018.

Edifici a pianta rettangolare

Pressione [N/m<sup>2</sup>]

Parte	Superficie	p(A)	p(B)	p(C)	p(D)	p(E)
parete 1	esterno	533.6	668			
	interno	-133.4	-167			
parete 2	esterno				334	266.8
	interno				167	133.4
falda 1	esterno		-183.7	-202.9		
	interno		167	184.4		
falda 2	esterno			368.8	334	
	interno			184.4	167	

Azione tangente [N/m<sup>2</sup>]

p<sub>f</sub>(A-E) 6.7 p<sub>f</sub>(B-D) 8.4 p<sub>f</sub>(C) 9.2

OK

Schema riepilogativo calcolo azione del vento

### Azione del sisma

#### Caratteristiche geomorfologiche

Per quanto riguarda la caratterizzazione Geologica-Fisica del terreno su cui è fondato l'edificio in oggetto, si è fatto riferimento ai risultati delle indagini condotte e alla relazione geologico e geotecnica, redatta ai sensi del D.M. 17.01.2018 a firma del Dott. Geol. Mirco Rosso.

Tale documento riporta come categoria di sottosuolo quella indicata nel D.M. 17.01.2018 con la lettera B.

<input type="radio"/> A -	Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi
<input checked="" type="radio"/> B -	Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa o terreni a grana fina molto consistenti
<input type="radio"/> C -	Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati, o terreni a grana fine mediamente consistenti
<input type="radio"/> D -	Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fine scarsamente consistenti
<input type="radio"/> E -	Terreni dei sottosuoli di tipo C o D per spessore non superiore a 30 m

#### Caratteristiche geomorfologiche

Per la Tabella 3.2.V(fig.seguente), sempre estraendo i dati dalla relazione geologica - geotecnica, si assume una categoria topografica T1.

Coefficiente di amplificazione topografica

1.00

Tab.3.2.V \_ Valori massimi del coefficiente di amplificazione topografica

Categoria topografica	Ubicazione dell'opera o dell'intervento	S <sub>T</sub>
T1	-	1,0
T2	In corrispondenza della sommità del pendio	1,2
T3	In corrispondenza della cresta del rilievo	1,2
T4	In corrispondenza della cresta del rilievo	1,4

### Determinazione dello spettro di risposta

La valutazione dello spettro di risposta elastico di progetto nei confronti del solo SLV (stato limite di salvaguardia della vita) è stata effettuata mediante il programma “CDM DOLMEN”, in accordo al Paragrafo 3.2 relativo all’azione sismica del D.M. 17.01.2018, inserendo i seguenti parametri di calcolo relativi agli all’edificio in oggetto:

Longitudine e latitudine del sito costruttivo;

Vita nominale dell’edificio pari a 50 anni

Classe d’uso dell’edificio III;

Categoria del suolo B;

Categoria topografica T1.

All’interno del reticolo di riferimento il sito è così individuato:

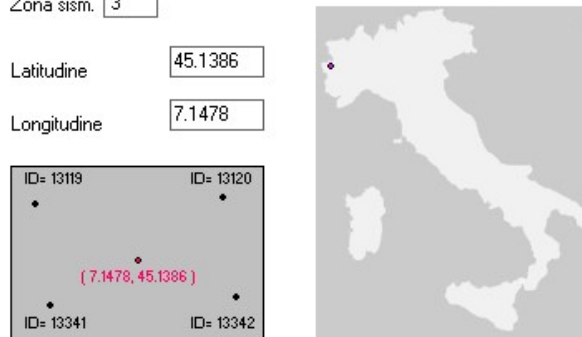
Località

Comune

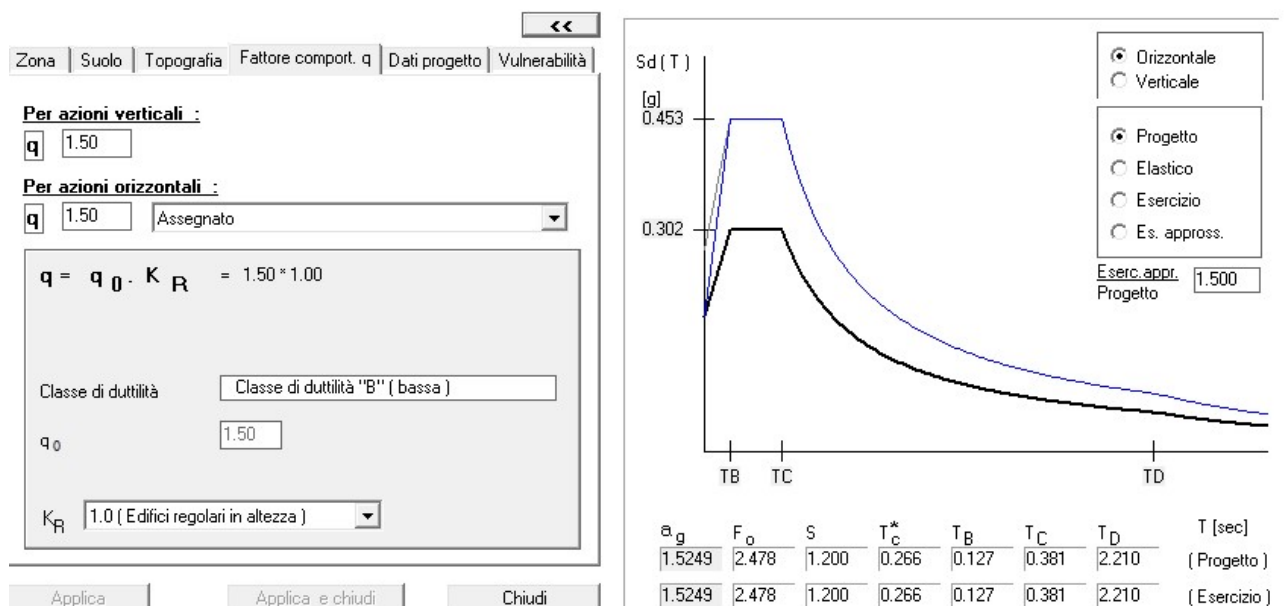
Zona sism.

Latitudine

Longitudine



In seguito sono mostrate le risultanze grafiche dello spettro di risposta elastico allo SLV:



### Analisi dei carichi derivanti dagli orizzontamenti

Tutti i solai sono costituiti da volte in muratura, aventi le caratteristiche indicate ai punti precedenti.

Le volte sono molto schiacciate (schifo) e per esse viene assunto un carico complessivo comprensivo di pavimento, massetto, riempimento, muratura, intonaci e controsoffitti pari a  $4.5 \text{ kN/m}^2$ .

Per quanto riguarda i carichi variabili e permanenti non strutturali riferiti agli elementi divisorii interni si è fatto riferimento alle tabelle contenute nel cap. 3 del D.M. 17.01.2018 e di seguito riportate.

In particolare per i solai di interpiano si è preso il valore relativo alla categoria C1 (scuole).

Per il sottotetto si è fatto riferimento alla categoria H (coperture e sottotetti accessibili per sola manutenzione).

Per le scale ed i ballatoi si è fatto riferimento alla categoria C (balconi, ballatoi, scale comuni).

Per il peso degli elementi divisorii interni, facendo riferimento alla tabella riportata nel DM 2018, si è proceduto a calcolare l'effettiva incidenza dei tamponamenti distribuendola opportunamente sull'area di influenza del solaio.

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

Cat.	Ambienti	$q_k$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$Q_k$ [kN]	$H_k$ [kN/m]
A	<b>Ambienti ad uso residenziale</b>			
	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	<b>Uffici</b>			
	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	<b>Ambienti suscettibili di affollamento</b>			
	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		
		$\geq 4,00$	$\geq 4,00$	$\geq 2,00$



Cat.	Ambienti	$q_k$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$Q_k$ [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	$\geq 6,00$	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 automezzi dovranno essere valutate caso per caso.

Carico dei divisori:

- per elementi divisori con  $G_2 \leq 1,00 \text{ kN/m}$  :  $g_2 = 0,40 \text{ kN/m}^2$  ;
- per elementi divisori con  $1,00 < G_2 \leq 2,00 \text{ kN/m}$  :  $g_2 = 0,80 \text{ kN/m}^2$  ;
- per elementi divisori con  $2,00 < G_2 \leq 3,00 \text{ kN/m}$  :  $g_2 = 1,20 \text{ kN/m}^2$  ;
- per elementi divisori con  $3,00 < G_2 \leq 4,00 \text{ kN/m}$  :  $g_2 = 1,60 \text{ kN/m}^2$  ;
- per elementi divisori con  $4,00 < G_2 \leq 5,00 \text{ kN/m}$  :  $g_2 = 2,00 \text{ kN/m}^2$  .

*Carichi sugli impalcati*

Per i solai di interpiano vengono in sintesi considerati i seguenti carichi:

Peso proprio:

Peso proprio degli impalcati voltati:  $G_1 = 2.2 \text{ kN/m}^2$

Peso proprio della copertura in legno (con lose):  $G_1 = 1.3 \text{ kN/m}^2$

Permanenti:

Massetto di allettamento:  $G_2 = 1.0 \text{ kN/m}^2$

Pavimentazione:  $G_2 = 0.4 \text{ kN/m}^2$

Intonaco estradossale:  $G_2 = 0.2 \text{ kN/m}^2$

Riempimento (medio) tra estradosso e massetto:  $G_2 = 0.7 \text{ kN/m}^2$

Elementi divisorii unif. ripartiti (ove presenti)  $G_2 = 1.6 \text{ kN/m}^2$

Variabili:

Scuole:  $Q_v = 3.0 \text{ kN/m}^2$

Per i solai di sottotetto e copertura valgono i seguenti carichi:

Peso proprio:

Ultimo solaio voltato:

Peso proprio degli impalcati voltati (sottotetto):  $G_1 = 2.2 \text{ kN/m}^2$

Intonaco estradossale+intradossale:  $G_2 = 0.4 \text{ kN/m}^2$

Tetto:

Orditura in legno  $G_1 = 0.6 \text{ kN/m}^2$

Permanenti:

Tetto:

Orditura in legno e lose di pietra  $G_2 = 0.7 \text{ kN/m}^2$

Variabili:

Manutenzione:  $Q_v = 0.5 \text{ kN/m}^2$

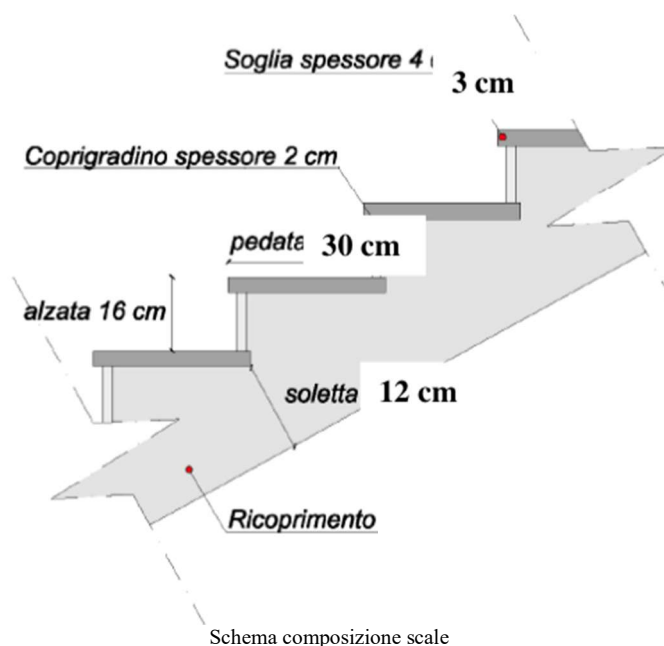
Neve:  $Q_n = 1.6 \text{ kN/m}^2$

*Scale*

La tipologia strutturale delle scale è a soletta in c.a. rampante a doppio ginocchio continua con la soletta di pianerottolo.

Il rivestimento delle pedate è in pietra di spessore circa 3 cm e largo 30 cm, l'allettamento delle pedate è di circa 3 cm. Anche l'alzata è in pietra ed è spessa circa 3 cm e alta circa 16 cm; il suo allettamento in malta è di 1 cm. La soletta in calcestruzzo è alta circa 12 cm.





Peso proprio:

Peso proprio della scala:

$$G_1 = 4.0 \text{ kN/m}^2$$

Permanenti:

Pavimentazione:

$$G_2 = 0.6 \text{ kN/m}^2$$

Variabili:

Scale:

$$Q_v = 4.0 \text{ kN/m}^2$$

## 5. Modellazione dell'edificio

La Modellazione Numerica della struttura, la rielaborazione dei risultati dell'analisi agli Elementi Finiti sono state condotte utilizzando il programma CDM DOLMEN realizzato dalla CDM di Torino.

Programma: CDM DOLMEN ver. 19

Chiave di licenza: ukBETbxC8721

Utente: Ing. Alessio Camelliti

Un attento esame preliminare della documentazione a corredo del software ha consentito di valutarne l'affidabilità e soprattutto l'idoneità al caso specifico. La documentazione, fornita dal produttore e distributore del software, contiene una esauriente descrizione delle basi teoriche e degli algoritmi impiegati, l'individuazione dei campi d'impiego, nonché casi prova interamente risolti e commentati, corredati dei file di input necessari a riprodurre l'elaborazione; CDM ha verificato l'affidabilità e la robustezza del codice di calcolo attraverso un numero significativo di casi prova in cui i risultati dell'analisi numerica sono stati confrontati con soluzioni teoriche. La verifica della sicurezza degli elementi strutturali avviene con i metodi della scienza delle costruzioni. L'analisi strutturale è condotta con il metodo degli spostamenti per la valutazione dello stato tenso-deformativo indotto da carichi statici. L'analisi strutturale è condotta con il metodo dell'analisi modale e dello spettro di risposta in termini di accelerazione per la valutazione dello stato tenso-deformativo indotto da carichi dinamici (tra cui quelli di tipo sismico).

L'analisi strutturale viene effettuata con il metodo degli elementi finiti. Il metodo sopraindicato si basa sulla schematizzazione della struttura in elementi connessi solo in corrispondenza di un numero prefissato di punti denominati nodi. I nodi sono definiti dalle tre coordinate cartesiane in un sistema di riferimento globale. Le incognite del problema (nell'ambito del metodo degli spostamenti) sono le componenti di spostamento dei nodi riferite al sistema di riferimento globale (traslazioni secondo X, Y, Z, rotazioni attorno X, Y, Z). La soluzione del problema si ottiene con un sistema di equazioni algebriche lineari i cui termini noti sono costituiti dai carichi agenti sulla struttura opportunamente concentrati ai nodi:

$K \cdot u = F$  dove  $K$  = matrice di rigidezza

$u$  = vettore spostamenti nodali

$F$  = vettore forze nodali

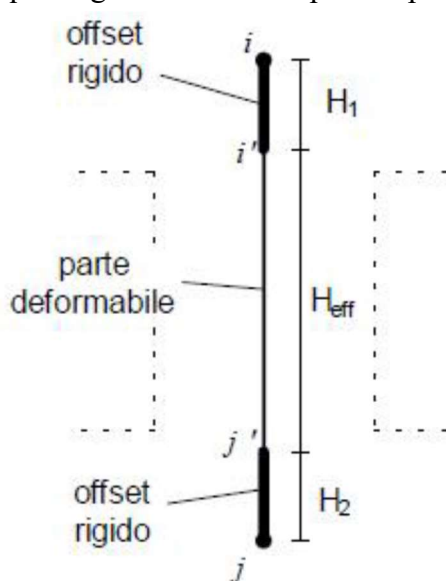
Dagli spostamenti ottenuti con la risoluzione del sistema vengono quindi dedotte le sollecitazioni e/o le tensioni di ogni elemento, riferite generalmente ad una terna locale all'elemento stesso.

DOLMEN, nell'offrire gli strumenti per il calcolo di questa tipologia strutturale, **ha scelto la modellazione a telaio equivalente** in linea con le Norme Tecniche per le Costruzioni del 2018 [NTC18 7.8.1.5.2].

Le murature sono completamente gestite e verificate all'interno del CAD 3D Struttura attraverso il menù "Murature".

L'Input dell'utente consiste nella creazione della "scatola muraria" attraverso entità chiamate "Interpiano", rappresentative del tratto di una parete compreso fra due orizzontamenti, con assegnate proprietà di geometria, spessore e materiale: in questi interpiani vanno poi inseriti gli oggetti "Apertura", gestiti tramite le corrispondenti schede tipologiche, come ogni altro oggetto dell'ambiente tridimensionale: gli interpiani, insieme alle aperture in essi praticate, sono traslabili e copiabili al pari degli altri oggetti strutturali. Con la funzione "Genera modello" si richiede al programma di dedurre da questo input la geometria e le sezioni del telaio equivalente: esso si compone di elementi asta, generati però con ben precise proprietà di svincolo interno e estremi rigidi, secondo un metodo collaudato per tener conto delle particolarità delle strutture murarie (sono reperibili indicazioni di dettaglio nelle pubblicazioni editate dal CNR-Gruppo Nazionale per la Difesa dai Terremoti).

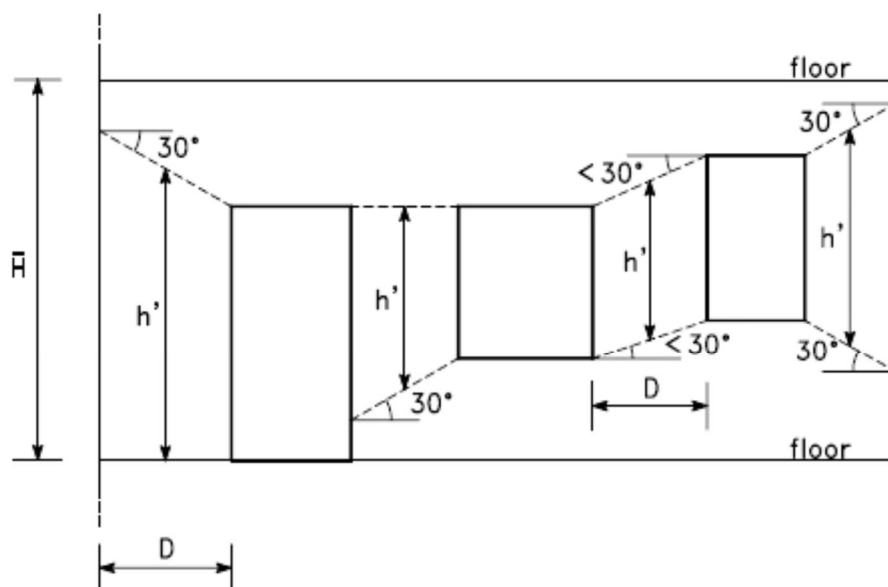
Il telaio equivalente deve rappresentare la scatola muraria. Gli elementi di cui è composto sono quindi generati con ben precise proprietà di svincolo interno e di estremi rigidi.



Si suppone, infatti, che un elemento sia costituito da una parte deformabile con resistenza finita, ed eventualmente, in presenza di aperture nella parete, di una o due parti infinitamente rigide e resistenti alle estremità dell'elemento (vedi figura a lato).

Le proprietà di svincolo interno e, a titolo esemplificativo, le dimensioni degli estremi rigidi, vengono determinate sulla base delle indicazioni contenute nel testo: "Metodi semplificati per l'analisi sismica non lineare di edifici in muratura" (G. Magenes, D. Bolognini, C. Braggio), scaricabile da [gnndt.ingv.it](http://gnndt.ingv.it).

L'altezza della parte deformabile o "altezza efficace" dell'asta viene definita secondo quanto proposto da Dolce nel 1989 (vedi figura seguente), per tenere conto in modo approssimato della deformabilità della muratura nelle zone di nodo.

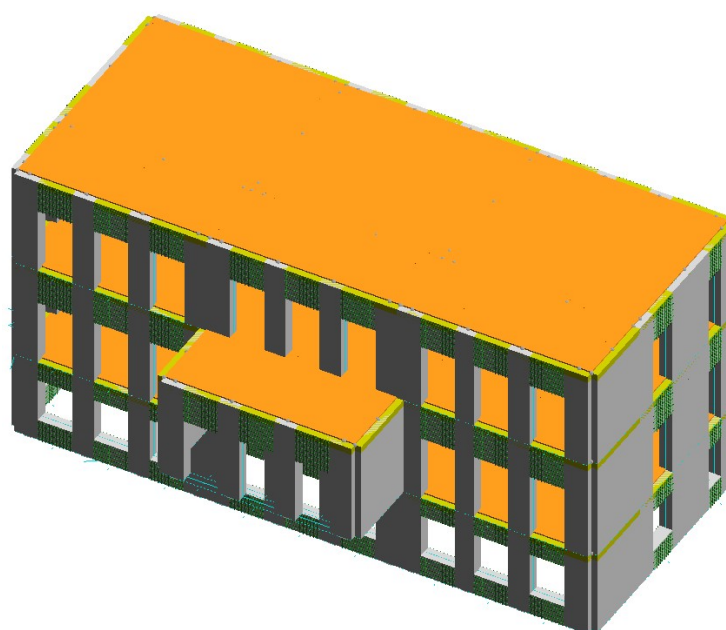


$$H_{\text{eff}} = h' + \frac{1}{3}D(\bar{H} - h')/h' \quad \bar{H} = \text{altezza interpiano}$$

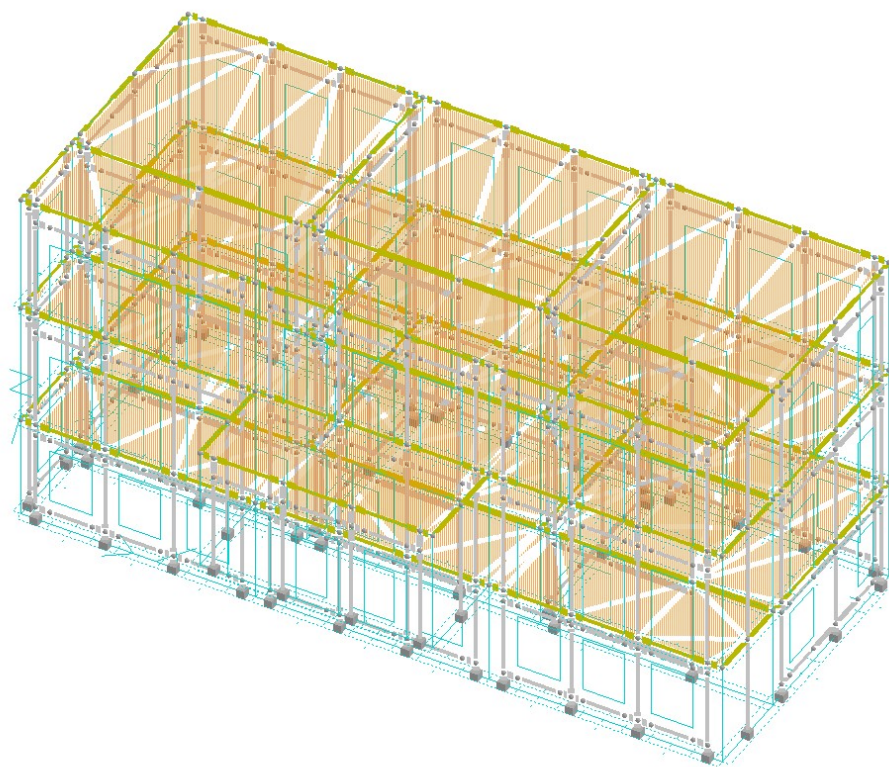
Il sistema di riferimento utilizzato è costituito da una terna cartesiana destrorsa XYZ. Si assume l'asse Z verticale ed orientato verso l'alto.

Nel modello sono stati esclusi quegli elementi che non influenzano il comportamento globale della struttura e la cui assenza, in ogni caso, non è tale da migliorare il comportamento sismico del fabbricato.

Si riportano alcune immagini salienti del modello strutturale generato:



Vista del modello solido



Vista del modello a telaio equivalente, con la modellazione dei gusci di piano

### 5.1 Modellazione e verifica degli elementi muratura

Gli elementi sono stati verificati in funzione delle sollecitazioni derivanti dalle analisi mediante le usuali formule indicate in seguito.

Per confrontare, nelle analisi statiche e sismiche, le sollecitazioni di progetto derivanti dalle analisi dei modelli 3D con le relative resistenze sono state utilizzate le formule del D.M. 17.01.2018.

#### Verifiche

Le verifiche sono condotte con l'ipotesi di conservazione delle sezioni piane e trascurando la resistenza a trazione per flessione della muratura.

Gli stati limite ultimi presi in considerazione per la verifica sono:

- **presso flessione nel piano del muro;**
- **taglio per azioni nel piano del muro;**
- **presso flessione fuori piano** (pressoflessione per carichi laterali, ovvero resistenza e stabilità fuori dal piano);
- **sismica locale** (verifica come elemento secondario nei confronti della direzione del sisma perpendicolare al piano del pannello)
- **flessione e taglio per le travi di accoppiamento (fasce di piano).**

Non è generalmente necessario eseguire verifiche nei confronti di stati limite di esercizio di strutture di muratura, quando siano soddisfatte le verifiche nei confronti degli stati limite ultimi. Nelle formule di verifica dei maschi murari, lo sforzo normale, a meno che non sia eccessivo, svolge un ruolo stabilizzante e in generale favorevole: la sua importanza ai fini della verifica è comparabile o anche maggiore di quella dei valori della resistenza del materiale.

#### Pressoflessione nel piano

La verifica a **pressoflessione nel piano** di una sezione di un elemento strutturale si effettua confrontando il momento agente di calcolo con il momento ultimo resistente calcolato assumendo la muratura non reagente a trazione e una opportuna distribuzione non lineare delle compressioni.

$$M_u = \frac{l^2 \cdot t \cdot \sigma_0}{2} \left( 1 - \frac{\sigma_0}{0,85 \cdot f_d} \right)$$

La formula utilizzata per questa verifica si basa sull'ipotesi di materiale muratura non resistente a trazione, con stress-block rettangolare con coefficiente 0,85, e nasce semplicemente dalla soluzione del sistema costituito dalle

equazioni di equilibrio a traslazione verticale e momento. Si noti anche come in questa formula è maggiore il ruolo giocato dal valore dello sforzo normale rispetto al valore di resistenza.

#### Taglio nel piano

Nel caso di muratura *nuova*, la resistenza a taglio del pannello è valutata sulla sezione parzializzata, secondo la  $V_t = l' \cdot t \cdot f_{vd}$

dove  $f_{vd}$  è strettamente correlata allo sforzo normale agente sulla sezione.

Nel caso di muratura *esistente*, la circolare fornisce una formula alternativa ( C8.7.1.5), utilizzabile nel caso di muratura irregolare o caratterizzata da elementi non particolarmente resistenti, basata sull'ipotesi di sezione non parzializzata: anche in questo caso lo sforzo normale incrementa il valore del taglio resistente.

#### Pressoflessione fuori piano

La verifica a pressoflessione fuori piano, o pressoflessione per carichi laterali, controlla che, nel caso *statico*, eventuali eccentricità dei carichi in direzione perpendicolare al piano del pannello stesso non riducano in modo eccessivo la capacità portante del pannello stesso: è infatti opportuno ricordare che le tensioni di compressione possono essere distribuite in modo non

uniforme in direzione longitudinale al muro, a causa di un'eccentricità longitudinale della risultante dei carichi verticali, o per azioni spingenti di volte. Le NTC18 propongono un metodo semplificato, in cui la resistenza a compressione della muratura, per l'effetto combinato di eccentricità trasversali del carico e per effetti geometrici del secondo ordine, è ridotta da un coefficiente  $\Phi$ .

### Sismica locale

La verifica *sismica* fuori piano ha, ovviamente, il compito di valutare la resistenza del pannello alle azioni di tipo sismico.

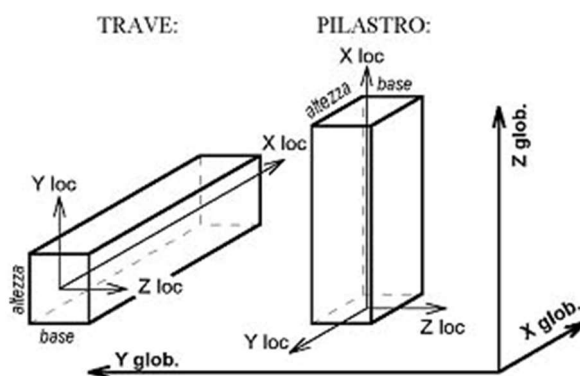
Dal momento che, nel modello a telaio, i pannelli costituenti la struttura hanno funzione di controvento nei confronti dei carichi orizzontali agenti nel loro piano, e sono svincolati ai momenti dovuti a forze perpendicolari al loro piano, ammettiamo che, nei confronti del sisma in direzione ad essi perpendicolare, essi si comportino come elementi *secondari*, e come tali vadano verificati. Verifichiamo, quindi, i pannelli murari, applicando agli elementi detti una forza orizzontale  $F_a$  definita come nella valutazione degli effetti dell'azione sismica sugli elementi costruttivi senza funzione strutturale.

### Verifica delle fasce di piano

La resistenza a taglio di travi di accoppiamento in muratura ordinaria, in presenza di un cordolo di piano o di un'architrave resistente a flessione efficacemente ammorsata alle estremità, può essere calcolata in modo semplificato come valore minimo fra un  $V_t$  e un  $V_p$ , ovvero ipotizzando due possibili meccanismi resistenti: in ambedue le formule non viene preso in considerazione lo sforzo normale nella fascia.

### 5.2 Modellazione degli elementi trave (aste del telaio equivalente)

Ogni asta ha un sistema di riferimento locale, la cui orientazione standard nello spazio è illustrata in figura. È possibile ruotare tale riferimento attorno all'asse X locale, variando così l'orientamento della sezione, che si trova normalmente con la base e l'altezza rispettivamente coincidenti con l'asse Z e l'asse Y.

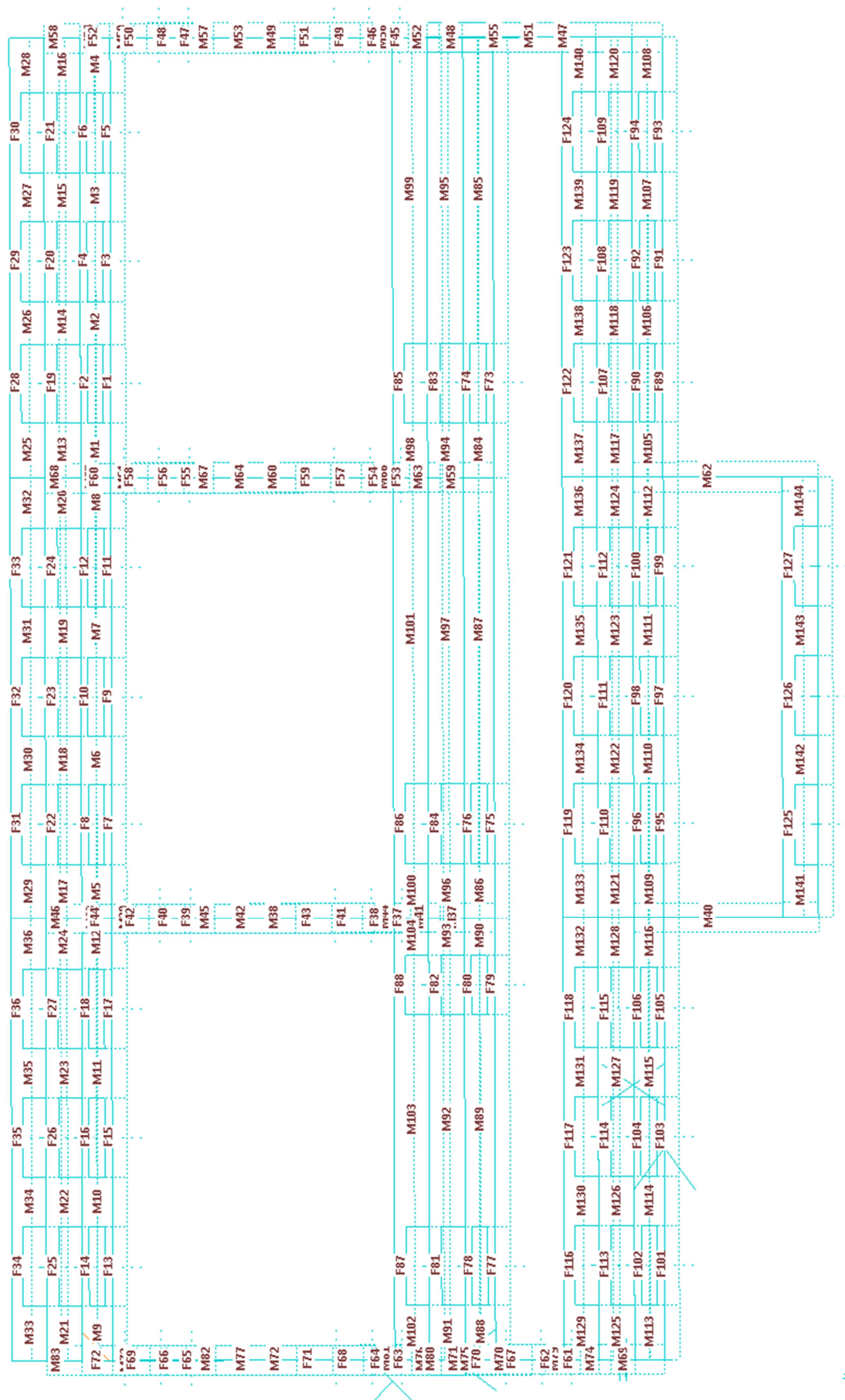


### Numerazione degli elementi del modello

La numerazione degli elementi non sarebbe di facile lettura dal disegno in quanto i nodi e gli elementi sono in numero tale da non avere la possibilità di definirli chiaramente in un grafico tridimensionale da contenere su questo formato.

Si riporta invece la numerazione degli elementi "continui" più significativi, direttamente poi connessa con le verifiche puntuali. Si ritiene superfluo riportare la numerazione dei nodi e delle coordinate degli elementi.





## 6. Combinazioni di carico

Ai fini delle verifiche degli stati limite si definiscono le seguenti combinazioni delle azioni (essendo una verifica di costruzione esistente, viene condotta sola verifica a SLV):

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

$$\gamma_{G1} \times G_1 + \gamma_{G2} \times G_2 + \gamma_P \times P + \gamma_{Q1} \times Q_{k1} + \gamma_{Q2} \times \psi_{02} \times Q_{k2} + \gamma_{Q3} \times \psi_{03} \times Q_{k3} + \dots$$

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

$$E + G_1 + G_2 + P + \psi_{21} \times Q_{k1} + \psi_{22} \times Q_{k2} + \dots$$

Nelle formule sopra riportate il simbolo + vuol dire *combinato con*.

### 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

Si perviene alle seguenti combinazioni di carico.

Le combinazioni n. 4, 5, 6 e 7 possono essere ridotte di un coefficiente  $\xi$  che consente di simulare una aliquota percentuale del sisma calcolato nelle combinazioni 2 e 3.

Il coefficiente cui corrisponde il mancato superamento delle verifiche, determina la vulnerabilità sismica del fabbricato.



R	Nome	Descrizione	Tipo Ver	Tipo
1	1	SLU SENZA SISMA	SLU	Somma caratteristiche
2	2	SISMAX SLU	Altro	Somma caratteristiche
3	3	SISMAY SLU	Altro	Somma caratteristiche
4	4	SLU con SISMAX PRINC	SLU	Somma caratteristiche
5	5	SLU con SISMAY PRINC	SLU	Somma caratteristiche
6	6	SLD con SISMAX PRINC	SLD	Somma caratteristiche
7	7	SLD con SISMAY PRINC	SLD	Somma caratteristiche
8	8	Rara	Rara	Somma caratteristiche
9	9	Frequente	Frequente	Somma caratteristiche
10	10	Quasi Perm	Quasi Perm.	Somma caratteristiche

Le condizioni di carico cui si riferisce la tabella sono riportati nella tabella che segue. Gli autovettori sono quelli corrispondenti ad autovalori che producono una partecipazione di massa superiore al 5%.

Num.	Nome	Coeff.	N° carichi	Categoria in NTC2018
<input checked="" type="radio"/> 001)	Peso_proprio_____	1	860	Peso proprio
<input type="radio"/> 002)	Permanente_____	1	145	Permanente
<input type="radio"/> 003)	C1_scuole	1	145	C1:Osp,Rist,Banc,Scuole
<input type="radio"/> 004)	Neve_(<1000m_slm)____	1	68	Neve (<1000m slm)
<input type="radio"/> 005)	Autovett_001_(X)	1	550	Modo proprio X
<input type="radio"/> 006)	Autovett_001_(Y)	1	580	Modo proprio Y
<input type="radio"/> 007)	Autovett_002_(X)	1	552	Modo proprio X
<input type="radio"/> 008)	Autovett_002_(Y)	1	570	Modo proprio Y
<input type="radio"/> 009)	Autovett_003_(X)	1	497	Modo proprio X
<input type="radio"/> 010)	Autovett_003_(Y)	1	591	Modo proprio Y
<input type="radio"/> 011)	Autovett_004_(X)	1	546	Modo proprio X
<input type="radio"/> 012)	Autovett_004_(Y)	1	593	Modo proprio Y
<input type="radio"/> 013)	Autovett_005_(X)	1	552	Modo proprio X
<input type="radio"/> 014)	Autovett_005_(Y)	1	593	Modo proprio Y

In parallelo è stata condotta analisi statica equivalente in maniera da poter effettuare un confronto tra i risultati delle due diverse metodologie di calcolo.

## 7. Risultati delle analisi

### Analisi effettuate

L'analisi di riferimento assunta per valutare le azioni indotte dal sisma è quella dinamica lineare. Si è scelto di procedere con tale analisi in quanto maggiormente rappresentativa del comportamento dell'edificio in questione, partendo dal presupposto che l'unità strutturale è globalmente separata dall'aggregato ad esclusione di una piccola porzione sul lato nord, i cui effetti verranno valutati in maniera isolata sulla parete coinvolta e con metodo semplificato.

L'analisi lineare dinamica è stata effettuata secondo i seguenti passaggi fondamentali:

- Determinazione dei modi di vibrare naturali della costruzione
- Calcolo degli effetti dell'azione sismica per ciascun modo di vibrare considerato
- Combinazione degli effetti relativi a ciascun modo di vibrare

Si precisa inoltre che sono stati considerati tutti i modi con massa partecipante maggiore del 5% ed un numero di modi sufficiente a garantire un'eccitazione della massa totale superiore all'85%.

#### *Determinazione del fattore di struttura.*

Per edifici esistenti in muratura la Circolare C.S.LL.PP. n° 7 del 2019 al capitolo C8.5.5.1 consiglia l'adozione di un fattore di struttura secondo le seguenti espressioni:

- $q = 2,0 \alpha_u / \alpha_1$  per edifici regolari in elevazione, nel caso di muratura in pietra e/o mattoni pieni;
- $q = 1,75 \alpha_u / \alpha_1$  per edifici regolari in elevazione, nel caso di muratura in blocchi artificiali con percentuale di foratura >15% (elementi semipieni, forati...).

Nel caso in esame è presente sia muratura di pietra e mattoni pieni, sia muratura con blocchi forati. A vantaggio di sicurezza, viene espresso il parametro  $q$  pari a:

$$q = 1.75 \times 1.7 = 2.97$$

a fini cautelativi, vista la disomogeneità della tipologia muraria, in assenza di più precise valutazioni, viene assunto un valore di  $q$  pari a 1.5.

**Valore utilizzato nell'analisi:  $q = 1,50$**

#### *Risultati dell'analisi modale*

Si riportano di seguito i parametri salienti dell'analisi statica equivalente e dinamica:

-----  
 Analisi sismica - Statica lineare - ( NTC 2018 )  
 -----

#### DATI PROGETTO

Edificio sito in località BUSSOLENO ( long. 7.148 lat. 45.138600 )

Categoria del suolo di fondazione = B

Coeff. di amplificazione stratigrafica  $S_s = 1.200$

Coeff. di amplificazione topografica  $ST = 1.000$

$S = 1.200$

Vita nominale dell'opera  $V_N = 50$  anni

Coefficiente d'uso  $C_U = 1.5$

Periodo di riferimento  $V_R = 75.0$

PVR : probabilità di superamento in  $V_R = 10 \%$

Tempo di ritorno = 711

Coeff. di smorzamento viscoso = 5.0

Valori risultanti per :

$a_g = 1.525$  [g/10]

$F_0 = 2.478$

$TC^* = 0.266$

Fattore di comportamento q = 1.500

Rapporto spettro di esercizio / spettro di progetto = 1.500

Coeff. lambda = 1.0000

Sd = 0.142 per T1 = 0.812

Numero condizioni generanti carichi sismici : 3

Cond. 001 : Peso proprio con coeff. 1.000

Cond. 002 : Permanente con coeff. 1.000

Cond. 003 : Cl\_scuole con coeff. 0.600

Condizioni di carico sismico generate:

Cond. 005 : Sisma X

Cond. 006 : Sisma Y

Cond. 007 : Torcente add. X

Cond. 008 : Torcente add. Y

Carichi sismici :

Piani	Pesi	C. distr.	Forze piano	Torc. piano X	Torc. piano Y	Bar. X	Bar. Y
cm	daN		daN	daNcm	daNcm	cm	cm
50.0	190566	0.0101	1934	108800	257736	1302.2	546.0
355.0	705733	0.0721	50858	3818176	6776849	1354.9	508.2
792.5	291672	0.1609	46923	3522745	6252491	1301.4	482.9
875.0	563282	0.1776	100052	7511409	13331937	1372.8	462.7
1260.0	257823	0.2558	65945	3709419	8787202	1300.0	546.2
1335.0	146769	0.2710	39775	2237335	5299998	1412.4	526.8

-----  
Analisi sismica - Dinamica - ( NTC 2018 )  
-----

PARAMETRI DI CALCOLO:

Modello generale

Assi di vibrazione: X Y

Combinazione quadratica completa (CQC)

DATI PROGETTO

Edificio sito in località BUSSOLENO ( long. 7.148 lat. 45.138600 )

Categoria del suolo di fondazione = B

Coeff. di amplificazione stratigrafica Ss = 1.200

Coeff. di amplificazione topografica ST = 1.000

S = 1.200

Vita nominale dell'opera VN = 50 anni

Coefficiente d'uso CU = 1.5

Periodo di riferimento VR = 75.0

FVR : probabilità di superamento in VR = 10 %

Tempo di ritorno = 711

Coeff. di smorzamento viscoso = 5.0

Valori risultanti per :

ag 1.525 [g/10]

Fo 2.478

TC\* 0.266

Fattore di comportamento q = 1.500

Rapporto spettro di esercizio / spettro di progetto = 1.500

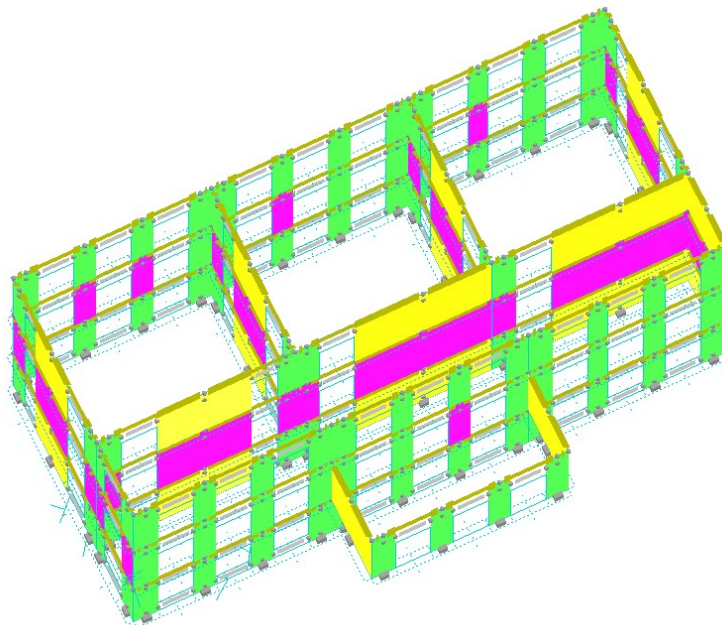
CONDIZIONI DI RIFERIMENTO	COEFFICIENTE	PESO RISULTANTE [daN]
1.	1.000	1765240.8
2.	1.000	284859.2
3.	0.600	132934.3

\*\*\* TABELLA AUTOVETTORI \*\*\*

n	PERIODO [sec]	MASSA ATTIVATA			COEFFICIENTI DI CORRELAZIONE						
		%X	%Y	%Z	n+1	n+2	n+3	n+4	n+5	n+6	n+7
1	0.964936	19.923	8.462	0.000	0.289	0.081	0.010	0.006	0.005		
2	0.825153	53.479	4.264	0.000	0.241	0.015	0.009	0.007			
3	0.691533	0.044	51.131	0.000	0.026	0.015	0.011				
4	0.382450	2.432	10.105	0.000	0.236	0.119					
5	0.319705	6.590	11.225	0.000	0.547						
6	0.291919	2.583	1.349	0.000							
MASSA TOTALE		85.051	86.535	0.000							

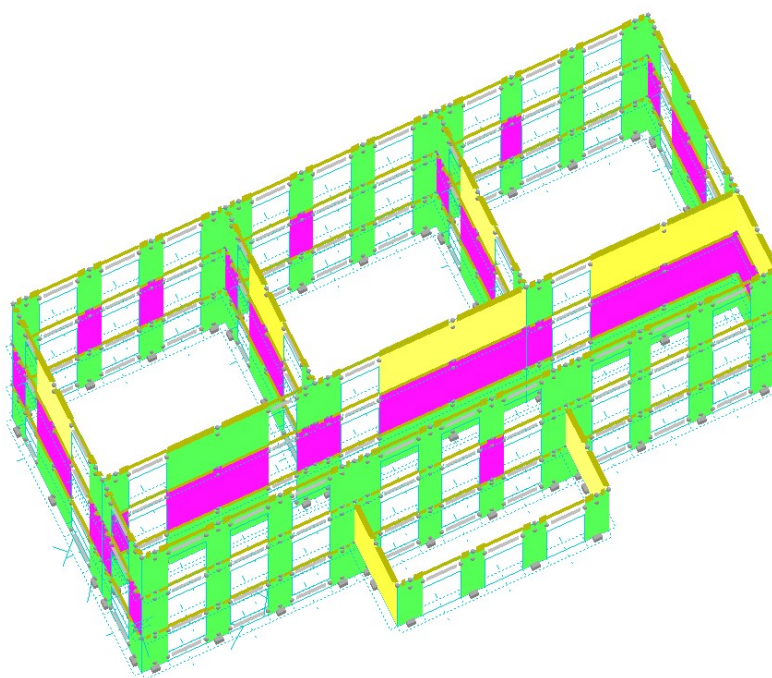
### *Verifiche sulle murature portanti*

In via semplificata, si riporta la schermata riepilogativa delle verifiche strutturali sulle murature (**analisi statica equivalente**), per condizione di carico sismica che prevede il 100% dell'azione di progetto (in verde i pannelli verificati, gli altri colori identificano verifiche non soddisfatte, con colore diverso a seconda della verifica condotta):



Ai fini semplificativi, tutte le murature dei piani terra e primo sono schematizzate con riduzione di resistenza per via della cassa vuota, se pur alcune di esse sono omogenee (come quella dell'avancorpo).

Al 10% dell'azione sismica di progetto, la verifica sismica delle murature è di seguito rappresentata:

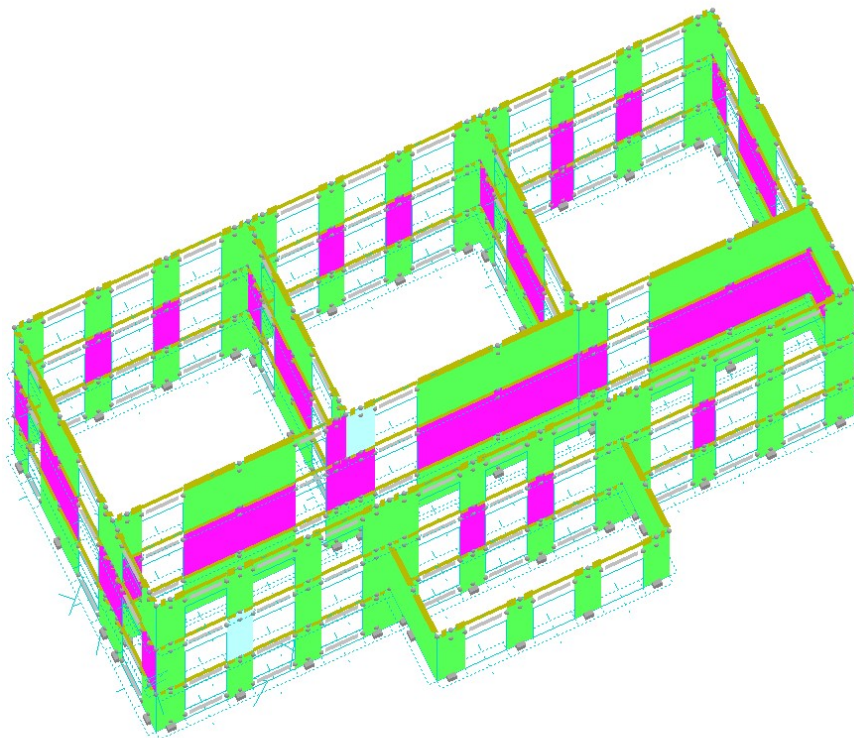


Risulta evidente come la mancata verifica delle azioni sismiche è quasi indipendente dal livello dell'azione esercitata quanto più dipendente dalle caratteristiche intrinseche delle murature.

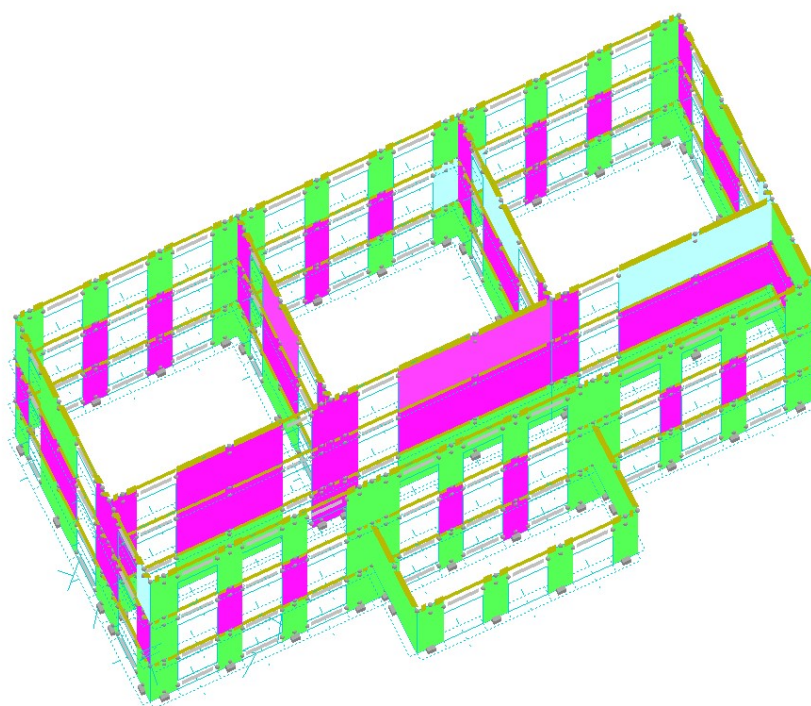


Allo stato attuale, l'indice  $\xi_E$  che definisce il rapporto tra la massima azione sismica sopportabile dalla struttura e quella utilizzata per la realizzazione di un fabbricato nuovo è **pressoché nulla**.

Sul piano statico, detta la condizione di stato limite ultimo, le problematiche



Verifica strutturale combinazione rara



Verifica strutturale combinazione fondamentale SLU

Si rileva che:

- sul piano sismico, l'edificio manifesta delle criticità sui maschi murari del piano terra e primo;
- i pannelli murari più critici sono quelli di spina per il piano terra e primo mentre quelli perimetrali vanno in crisi al solo piano terra;
- sul piano statico, non vi è la verifica della struttura per le combinazioni di SLU e tantomeno impiegando la combinazione QUASI PERMANENTE;
- non sono presenti catene e/o altri sistemi per l'eliminazione delle spinte operate dalle volte

Visto che:

- l'edificio si presenta in buono stato di conservazione sul piano strutturale;
- la verifica in oggetto prevede l'analisi della sicurezza per le combinazioni di tipo sismico e di tipo statico;
- non vi è riduzione evidente della capacità resistente e/o deformativa dovuta ad azioni ambientali;
- non risultano gravi errori di progetto ma sono riscontrati difetti di costruzione nella realizzazione dei pannelli murari con intercapedine;
- non sono intercorse modifiche alla costruzione originaria;

è stata condotta la verifica puntuale degli elementi strutturali per la condizione statica e per la condizione sismica.

Ai fini della valutazione statica si evidenzia che non vi sono manifeste problematiche di affaticamento strutturale e non si riscontra alcun quadro fessurativo in essere.

Si ritiene esaustivo condurre delle verifiche puntuali concentrando l'attenzione sugli elementi strutturali maggiormente significativi e sollecitati.

## 8. Sintesi dei risultati di analisi di vulnerabilità sismica

Sul piano delle verifiche di resistenza, l'edificio presenta una **capacità inadeguata** per la **condizione statica** e per la **condizione sismica**.

Sul quest'ultimo piano la capacità di resistenza **è inferiore al 10%** rispetto a un fabbricato di nuova realizzazione.

## 9. Considerazioni conclusive

L'esito della campagna di indagini sulle caratteristiche meccaniche dei materiali impiegati nella realizzazione delle strutture portanti dell'edificio hanno evidenziato quanto segue:

- le strutture orizzontali sono in buono stato di conservazione e le prove di carico su di esse condotte ha avuto riscontro positivo;
- le strutture orizzontali non sono dotate di sistemi di controbilanciamento della spinta orizzontale, mentre sono presenti, quantomeno al piano sottotetto, dei contrafforti di rinfianco;
- le strutture verticali, essendo realizzate con una cassa vuota, non sono idonee a resistere alle azioni sismiche e tantomeno risultano verificate per le azioni statiche, quantomeno al piano terra;
- al piano interrato le murature sono verificate/verificabili, le fondazioni sono costituite da elementi murari delle stesse caratteristiche dei muri cantinati su un terreno di elevate caratteristiche meccaniche;
- le strutture di copertura sono disordinate, spingenti e di sezioni inadeguate.

L'esame a vista della struttura dell'edificio denota l'assenza di lesioni

Il fabbricato va adeguato attraverso il seguente insieme di opere:

- Aumento localizzato della resistenza delle murature verticali, siano esse omogenee che dotate di intercapedine;
- Inserimento di catene atte a eliminare le spinte delle volte ai piani terra e primo;
- Inserimento di estradosso leggero in fibre di vetro sulle volte del piano sottotetto, non dotate di riempimento e potenzialmente soggette alle spinte a vuoto;
- Rifacimento dell'orditura di copertura in legno, con opportune capriate dotate di catene

**In considerazione di quanto sopra esposto, il fabbricato non può essere utilizzato come edificio scolastico senza intervento di adeguamento sismico-statico.**

I dettagli e le verifiche approfondite dovranno essere sviluppate nei successivi step di progettazione.

Torino, 30 dicembre 2019

Ing. Alessio Camelliti  
Studio Tecnico Associato AS32