

**COMUNE di ALESSANDRIA DELLA ROCCA**  
**PROVINCIA di Agrigento**

**INTERVENTO DI MIGLIORAMENTO**  
**STRUTTURA "A" e STRUTTURA "B"**

**RELAZIONE SUGLI INTERVENTI STRUTTURALI,**  
**SUI MATERIALI E SUI CRITERI DI CALCOLO**

**OGGETTO:**

Lavori di completamento e ristrutturazione  
dell'Istituto Comprensivo ed adeguamento alle  
normative di sicurezza e alla verifica di  
vulnerabilità sismica

**COMMITTENTE:**

**COMUNE DI ALESSANDRIA DELLA ROCCA**

**IL TECNICO**

**VISTI**



Il sottoscritto Dott. Ing. Antonino G. PATRINOSTRO è stato incaricato di eseguire la verifica della vulnerabilità sismica del plesso C – scuola elementare – dell’Istituto comprensivo A. Manzoni di Alessandria della Rocca; in esito alle risultanze delle verifiche di vulnerabilità sismica ha predisposto il progetto degli interventi di miglioramento necessari per adeguare l’edificio scolastico alla normativa vigente (Rif. NTC 2018 e relativa circolare esplicativa n. 7/2019 del C.S.LL.PP).

Per quanto attiene le indagini effettuate finalizzate alla individuazione delle caratteristiche strutturali dell’edificio e dei materiali, si rimanda all’apposito elaborato delle “VERIFICHE DI VULNERABILITÀ SISMICA - INDAGINI SULLE STRUTTURE E SUI MATERIALI”. La presente relazione si riferisce agli interventi previsti nel progetto di miglioramento che riguardano sia le strutture in c.a. sia gli elementi non strutturali che comunque possono compromettere l’agibilità dei locali o costituire pericolo per la salvaguardia della vita.

## DESCRIZIONE DEGLI INTERVENTI DI PROGETTO

### *Gli interventi strutturali*

Per gli interventi da realizzare sulle strutture esistenti in c.a. si è fatto riferimento alla circolare n°7/2019 ed in particolare al punto C8.7.4.2 “*Criteri per gli interventi di consolidamento degli edifici in calcestruzzo*” che riporta alcune tecniche usualmente utilizzate.

In definitiva gli interventi previsti per “adeguare” sismicamente la struttura in oggetto consistono:

#### **Incamicatura dei pilastri in c.a.** (punto C8.7.4.2.1 della Circ.7/2019)

L’incamicatura dei pilastri consente di conseguire i seguenti obiettivi:

- aumento della capacità portante verticale;
- aumento della resistenza a flessione e/o taglio;
- aumento della capacità in termini di deformazione;
- miglioramento dell’efficienza delle giunzioni per sovrapposizione.

Lo spessore delle “camicie” previsto è di cm 7 che consente il corretto posizionamento delle nuove armature longitudinali e trasversali e la realizzazione di uno spessore del copriferro adeguato.

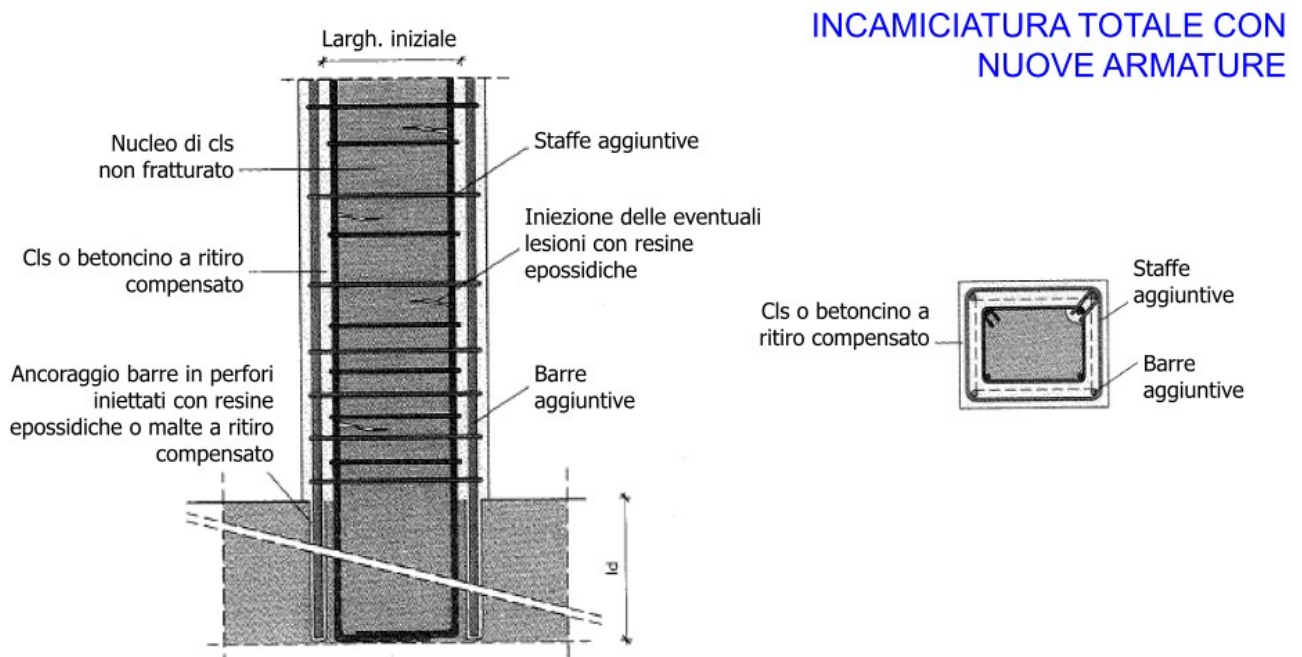
Ai fini della valutazione della resistenza e della deformabilità di elementi incamiciati sono accettabili le seguenti ipotesi semplificative:

- l’elemento incamiciato si comporta monoliticamente, con piena aderenza tra il calcestruzzo vecchio e il nuovo;
- le proprietà meccaniche del calcestruzzo della camicia si considerano estese all’intera sezione.

L’intervento si svolgerà secondo le seguenti fasi:

- Taglio a sezione obbligata di muratura di qualsiasi tipo per liberare i pilastri dalle compagnature aderenti al pilastro stesso;
- Preparazione delle superfici dei pilastri, per la posa di nuovi strati di calcestruzzo, con asportazione dello strato corticale fino al copriferro con:
  - a) Rimozione di intonaco interno od esterno fino a cm 4 di spessore;
  - b) Eliminazione delle parti di calcestruzzo sgretolate e/o distaccate e smussatura degli spigoli vivi;

- c) Pulizia superficiale del calcestruzzo mediante sabbiatura / idropulitura al fine di eliminare polvere, grasso, parti friabili e tutto quello che può pregiudicare una buona adesione.
- Ancoraggio verticale di nuove barre d'acciaio ad aderenza migliorata consistente nel posizionamento in opera delle barre da mm 16 previa formazione dei fori da mm 20; la lavorazione sarà così articolata:
  - a) Esecuzione di foro con trapano a sola rotazione con punta di diametro di 4 mm superiore al diametro della barra da inserire e per tutta la profondità necessaria ad attraversare il solaio o la trave in c.a. e comunque fino a cm 40;
  - b) Pulitura dei fori con aria compressa per l'asportazione delle polveri e dei detriti;
  - c) Inserimento della barra del diametro di mm 16 d'acciaio B450C;
  - d) Riempimento del foro con resina epossidica a bassa viscosità con resistenza a compressione a 7 gg > 50 MPa e tensione di trazione > 30 MPa;
- Getto di calcestruzzo autocompattante SCC (Self Compacting Concrete), per il riempimento di casseformi con geometria complessa o fittamente armate, con resistenza caratteristica Rck 40, classe di resistenza a compressione C32/40, rapporto A/C ≤ 0,45 e classe di esposizione XC
- Ripristino dei tombagni con ancoraggio dello stesso agli elementi strutturali in c.a..



#### **Placcatura e fasciatura dei nodi con materiali compositi** (punto C8.7.4.2.3 - Circ. 7/2019)

L'uso di idonei materiali compositi (o altri materiali resistenti a trazione) nel rinforzo sismico di elementi di c.a. è finalizzato a conseguire il confinamento dei nodi trave-pilastri con conseguente aumento della duttilità degli elementi strutturali.

Il rinforzo dei nodi trave-pilastro in c.a. sarà effettuato con il sistema composito a matrice inorganica SRG (Steel Reinforced Grout), provvisto di Valutazione Tecnica Europea (ETA), con tessuto in fibra di acciaio da 670 g/m<sup>2</sup> e geomalta.

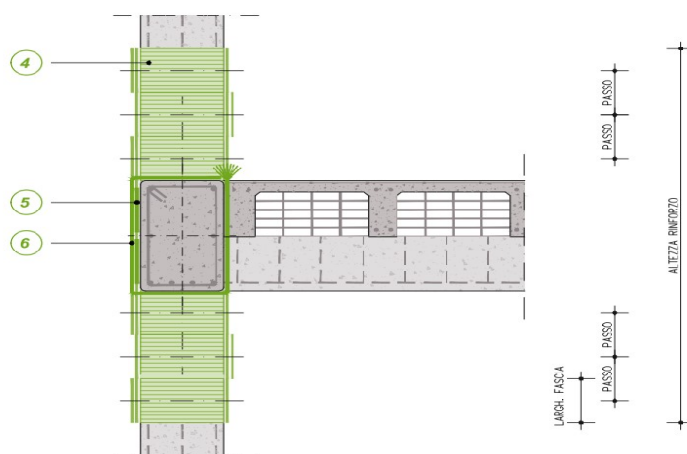
Il tessuto unidirezionale in fibra di acciaio galvanizzato Hardwire™ ad altissima resistenza (presagomato in funzione della geometria dell'elemento strutturale), è formato da micro-

trefoli di acciaio prodotti secondo norma ISO 16120-1/4 2017 fissati su una micrete in fibra di vetro, del peso netto di fibra di circa 670 g/m<sup>2</sup> - tipo GEOSTEEL G600 di Kerakoll – con le seguenti caratteristiche tecniche del nastro certificate: resistenza a trazione valore caratteristico > 3000 MPa; modulo elastico > 190 GPa; deformazione ultima a rottura > 2%.

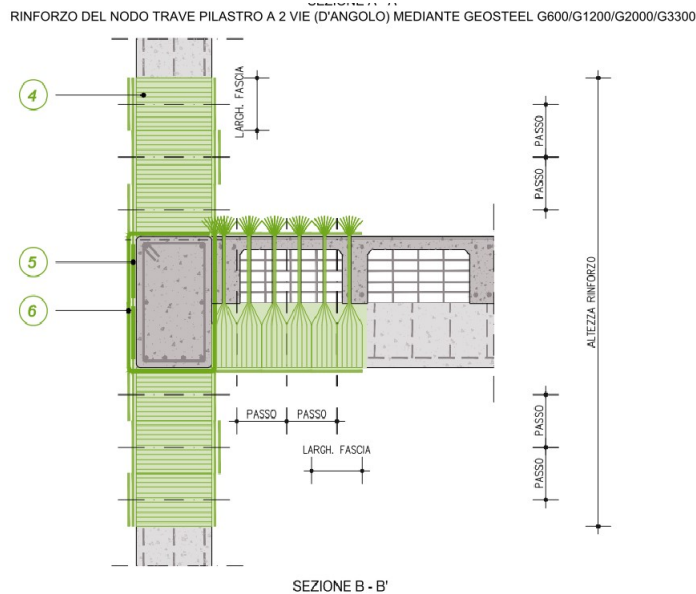
Il tessuto sarà impregnato con geomalta® minerale certificata, eco-compatibile, tixotropica, a presa normale, a base di Geolegante® e zirconia a reazione cristallina, a bassissimo contenuto di polimeri petrolchimici ed esente da fibre organiche, specifica per la passivazione, il ripristino, la rasatura e la protezione monolitica a durabilità garantita di strutture in calcestruzzo, provvista di marcatura CE e conforme ai requisiti prestazionali richiesti dalla Norma EN 1504-7 per la passivazione delle barre di armatura, - tipo GEOLITE® di Kerakoll Spa – con le seguenti caratteristiche tecniche certificate: nessuna corrosione della barra metallica, resistenza a compressione a 28 gg > 50 MPa, resistenza a trazione per flessione a 28 gg > 8 MPa, legame di aderenza a 28 gg > 2 MPa, modulo elastico E a 28 gg > 20 GPa, resistente alla carbonatazione, ritiro lineare < 0,3.

L'intervento si compone delle seguente fasi:

- Asportazione dell'intonaco e pulizia superficiale del calcestruzzo mediante sabbiatura / idropulitura al fine di eliminare polvere, grasso, parti friabili e tutto quello che può pregiudicare una buona adesione.
- Trattamento di ripristino delle superfici degradate, ammalorate, decoese con consolidante inorganico, minerale, chimicamente affine con i conglomerati cementizi;
- Ripristino della planarità delle superfici con geomalta garantendo asperità di almeno 5 mm e stonatura degli spigoli con raggio di curvatura di almeno 20 mm;
- Esecuzioni di fori nella soletta adeguati al passaggio del tessuto per la realizzazione del fiocco;
- Stesura di un primo strato di geomalta, di spessore di circa 3 - 5 mm;
- Con malta ancora fresca, procedere alla posa del tessuto in fibra di acciaio galvanizzato ad altissima resistenza, avendo cura di garantire una completa impregnazione del tessuto ed evitare la formazione di eventuali vuoti o bolle d'aria che possano compromettere l'adesione del tessuto alla matrice o al supporto;
- Esecuzione del secondo strato di geomalta, per uno spessore complessivo del rinforzo di 5 - 8 mm, al fine di inglobare totalmente il tessuto di rinforzo e chiudere gli eventuali vuoti sottostanti;



SEZIONE B - B'  
RINFORZO DEL NODO TRAVE PILASTRO A 3 VIE (DI FACCIATA)  
MEDIANTE GEOSTEEL G600/G1200/G2000/G3300



### **Rifacimento del giunto sismico tra le due strutture**

Il plesso scolastico oggetto di intervento risulta separato dagli altri edifici scolastici da viali interni o ampi spazi aperti e pertanto nel suo insieme costituisce un edificio isolato; di contro l'edificio, in atto adibito a scuola primaria, si compone di due strutture in c.a. confinanti lungo un lato; avendo previsto la formazione di un giunto tecnico che sconnetta completamente le due strutture, si è proceduto separatamente alla verifica di ciascuna struttura dal momento che risultano avere continuità da cielo a terra per quanto riguarda le azioni verticali.

L'edificio ricade in zona sismica di 2<sup>a</sup> categoria e, essendo composto da due strutture intelaiate in c.a. affiancate lungo un lato, nel seguito si esegue il calcolo del giunto tecnico necessario per evitare fenomeni di martellamento tra le due strutture.

Dai calcoli eseguiti si prevede di separare i solai di copertura delle due strutture installando un giunto di dilatazione con profilo portante in alluminio e alette di ancoraggio perforate, dotato di guarnizione in neoprene resistente agli agenti atmosferici, che consenta un movimento totale del profilo di 50 mm circa al fine di prevenire qualsiasi fenomeno di martellamento.

Analogamente lungo la parete di confine verrà installato un giunto di dilatazione con profilo portante in alluminio ed elemento centrale a H ed alette di ancoraggio perforate, dotato di guarnizione elastica in neoprene resistente agli agenti atmosferici, che consenta un movimento totale del profilo di almeno 50 mm circa.

### **Distanza tra costruzioni contigue**

La distanza tra le strutture contigue deve essere tale da evitare fenomeni di martellamento e comunque non può essere inferiore alla somma degli spostamenti massimi determinati per lo SLV, calcolati per ciascuna struttura secondo il § 7.3.3 (analisi lineare) o il § 7.3.4 (analisi non lineare) e tenendo conto, laddove significativo, dello spostamento relativo delle fondazioni delle due costruzioni contigue, secondo quanto indicato ai §§ 3.2.4.1, 3.2.4.2 e 7.3.5.

Dai calcoli strutturali eseguiti col software CDS si ottengono le tabelle di seguito riportate nonché le specifiche di stampa relative.

SPECIFICHE CAMPI TABELLA DI STAMPA

Si riporta di seguito la spiegazione delle sigle usate nella tabella di stampa spostamenti S.L.U. per il controllo dei giunti sismici.

- Filo N.ro** : Numero del filo del nodo  
**Quota (m)** : Quota del nodo  
**Nodo3D N.ro** : Numero del nodo spaziale  
**SpMax X (mm)** : Componente massima in direzione X dello spostamento S.L.V. per le combinazioni sismiche, calcolate ai sensi della NTC pto 7.3.3.3  
**SpMax Y (mm)** : Componente massima in direzione Y dello spostamento S.L.V. per le combinazioni sismiche, calcolate ai sensi della NTC pto 7.3.3.3  
**SpMax R (mm)** : Modulo del vettore dello spostamento massimo S.L.V. per le combinazioni sismiche, calcolate ai sensi della NTC pto 7.3.3.3

La seguente tabella, tratta dai calcoli eseguiti col programma CDS, riporta gli spostamenti della struttura "A";

SPOSTAMENTI S.L.V. PER GIUNTI SISMICI (NTC 7.3.3.3)											
Sisma Direzione X $\mu d=2.2$						- Direzione Y $\mu d=2.47$					
IDENTIFICATIVO			SPOSTAMENTI S.L.U.			IDENTIFICATIVO			SPOSTAMENTI S.L.U.		
Filo N.ro	Quota (m)	Nodo3D N.ro	SpMax X (mm)	SpMax Y (mm)	SpMax R (mm)	Filo N.ro	Quota (m)	Nodo3D N.ro	SpMax X (mm)	SpMax Y (mm)	SpMax R (mm)
16	0,00	1	0,93	1,61	1,62	28	0,00	2	1,51	1,61	1,64
9	0,00	3	1,09	1,35	1,43	2	0,00	4	1,26	1,58	1,96
10	0,00	5	1,08	0,92	1,10	3	0,00	6	1,25	1,38	1,39
11	0,00	7	1,40	1,14	1,43	4	0,00	8	1,38	1,46	2,01
13	0,00	9	2,61	1,56	2,61	5	0,00	10	2,67	1,57	2,97
1	0,00	11	2,48	1,92	2,99	31	0,00	12	1,29	1,13	1,31
8	0,00	13	1,51	1,61	1,68	29	0,00	14	1,08	1,35	1,38
7	0,00	15	2,28	1,92	2,32	6	0,00	16	2,76	2,26	2,81
12	0,00	17	2,08	1,46	2,09	14	0,00	18	2,10	2,73	2,74
15	0,00	19	1,73	2,28	2,29	30	0,00	20	0,90	0,92	0,96
33	0,00	21	2,12	1,49	2,13	24	0,00	22	1,97	1,50	2,05
32	0,00	23	1,31	1,13	1,46	1	3,45	24	4,11	3,63	4,70
2	3,45	25	4,11	2,95	4,34	3	3,45	26	4,11	2,55	4,14
4	3,45	27	4,11	2,94	4,34	5	3,45	28	4,11	3,35	4,74
6	3,45	29	3,21	3,89	4,15	7	3,45	30	3,16	3,63	3,90
8	3,45	31	3,21	3,21	3,64	9	3,45	32	3,16	2,95	3,46
10	3,45	33	3,16	2,55	3,26	11	3,45	34	3,16	2,94	3,58
12	3,45	35	3,16	3,16	3,82	13	3,45	36	3,16	3,35	4,05
14	3,45	37	2,51	4,11	4,16	15	3,45	38	2,51	3,89	3,94
16	3,45	39	2,51	3,21	3,27	24	3,45	40	2,60	3,19	3,44
29	3,45	41	2,87	2,95	3,19	30	3,45	42	2,87	2,55	3,01
32	3,45	43	2,60	2,94	3,13	28	3,45	44	2,87	3,21	3,36
17	3,45	45	2,83	4,11	4,12	18	3,45	46	2,45	3,89	3,90
19	3,45	47	2,32	3,21	3,22	20	3,45	48	2,32	2,95	2,96
21	3,45	49	2,32	2,55	2,59	22	3,45	50	2,32	2,94	2,98
23	3,45	51	2,41	3,20	3,25	25	3,45	52	2,02	2,89	2,95
26	3,45	53	2,02	2,51	2,59	27	3,45	54	2,25	2,92	2,98
1	7,30	55	5,78	4,86	6,49	2	7,30	56	5,77	4,07	6,07
3	7,30	57	5,77	3,80	5,82	4	7,30	58	5,78	4,23	6,13
5	7,30	59	5,78	4,74	6,70	6	8,20	60	4,65	4,94	5,61
7	8,20	61	4,61	4,87	5,47	8	8,20	62	4,66	4,13	5,15
9	8,20	63	4,62	4,05	4,97	10	8,20	64	4,62	3,81	4,81
11	8,20	65	4,63	4,24	5,23	12	8,20	66	4,62	4,11	5,39
13	8,20	67	4,61	4,84	5,94	14	7,30	68	3,63	5,12	5,20

**Plesso C Scuola Primaria - Relazione sugli interventi strutturali**

<b>SPOSTAMENTI S.L.V. PER GIUNTI SISMICI (NTC 7.3.3.3)</b>											
Sisma Direzione X $\mu d=2.2$						- Direzione Y $\mu d=2.47$					
IDENTIFICATIVO			SPOSTAMENTI S.L.U.			IDENTIFICATIVO			SPOSTAMENTI S.L.U.		
Filo N.ro	Quota (m)	Nodo3D N.ro	SpMax X (mm)	SpMax Y (mm)	SpMax R (mm)	Filo N.ro	Quota (m)	Nodo3D N.ro	SpMax X (mm)	SpMax Y (mm)	SpMax R (mm)
15	7,30	69	3,63	4,95	5,04	16	7,30	70	3,63	4,14	4,24
17	8,20	71	2,80	4,50	4,53	18	8,20	72	2,41	3,94	3,97
19	8,20	73	2,41	4,13	4,14	20	8,20	74	2,29	3,11	3,14
21	8,20	75	2,31	2,55	2,59	22	8,20	76	2,39	2,91	2,98
<b>23</b>	<b>8,35</b>	<b>77</b>	<b>3,54</b>	<b>4,11</b>	<b>4,35</b>	<b>24</b>	<b>8,83</b>	<b>78</b>	<b>4,27</b>	<b>4,12</b>	<b>5,14</b>
25	8,85	79	3,99	4,12	4,39	26	8,85	80	3,99	3,93	4,26
27	8,62	81	3,74	4,29	4,46	8	9,35	82	4,81	4,15	5,29
9	9,35	83	4,76	4,18	5,13	10	9,35	84	4,76	3,98	4,96
11	9,35	85	4,77	4,37	5,38	<b>12</b>	<b>9,35</b>	<b>86</b>	<b>4,77</b>	<b>4,13</b>	<b>5,53</b>
19	8,25	87	3,52	4,39	4,41	20	8,25	88	3,52	4,07	4,10
21	8,25	89	3,52	3,85	3,96	22	8,25	90	3,52	4,26	4,37
17	8,25	91	3,53	5,38	5,40	18	8,25	92	3,53	5,21	5,22

La seguente tabella, tratta dai calcoli eseguiti col programma CDS, riporta gli spostamenti della struttura "B";

<b>SPOSTAMENTI S.L.V. PER GIUNTI SISMICI (NTC 7.3.3.3)</b>											
Sisma Direzione X $\mu d=2.07$						- Direzione Y $\mu d=2.25$					
IDENTIFICATIVO			SPOSTAMENTI S.L.U.			IDENTIFICATIVO			SPOSTAMENTI S.L.U.		
Filo N.ro	Quota (m)	Nodo3D N.ro	SpMax X (mm)	SpMax Y (mm)	SpMax R (mm)	Filo N.ro	Quota (m)	Nodo3D N.ro	SpMax X (mm)	SpMax Y (mm)	SpMax R (mm)
1	0,00	1	0,12	0,13	0,18	2	0,00	2	0,12	0,05	0,13
3	0,00	3	0,12	0,03	0,12	4	0,00	4	0,12	0,15	0,19
5	0,00	5	0,02	0,13	0,13	6	0,00	6	0,02	0,05	0,06
7	0,00	7	0,02	0,03	0,04	8	0,00	8	0,02	0,15	0,15
9	0,00	9	0,02	0,22	0,22	12	0,00	10	0,10	0,12	0,16
13	0,00	11	0,10	0,05	0,12	14	0,00	12	0,10	0,03	0,11
15	0,00	13	0,10	0,15	0,18	16	0,00	14	0,11	0,22	0,24
10	0,00	15	0,01	0,22	0,22	11	0,00	16	0,11	0,21	0,24
<b>1</b>	<b>3,65</b>	<b>17</b>	<b>0,44</b>	<b>0,48</b>	<b>0,66</b>	2	3,65	18	0,45	0,29	0,54
3	3,65	19	0,46	0,18	0,50	4	3,65	20	0,46	0,60	0,75
<b>5</b>	<b>5,10</b>	<b>21</b>	<b>0,16</b>	<b>0,50</b>	<b>0,52</b>	6	5,10	22	0,15	0,29	0,33
7	5,10	23	0,15	0,18	0,24	8	5,10	24	0,15	0,59	0,61
9	5,10	25	0,15	0,70	0,72	10	5,10	26	0,06	0,76	0,77
11	3,65	27	0,34	0,67	0,75	12	3,65	28	0,32	0,44	0,54
13	3,65	29	0,32	0,28	0,43	14	3,65	30	0,32	0,18	0,37
15	3,65	31	0,32	0,59	0,67	16	3,65	32	0,32	0,69	0,76

Nelle superiori tabelle sono stati evidenziati i nodi che si fronteggiano; estrapolando i dati dalle tabelle risulta:

- La trave di copertura tra i nodi 78-86 della struttura "A" può avere uno spostamento max in direzione X di 4,77 mm mentre il prospiciente nodo 17 della struttura "B" può avere sempre in direzione X uno spostamento massimo di 0,44 mm per cui la somma degli spostamenti massimi in direzione X è di 5,21 mm inferiore a quella consentita dal giunto (50 mm circa);
- Il nodo 77 della struttura "A" può avere uno spostamento max in direzione X di 3,54 mm mentre il prospiciente nodo 21 della struttura "B" può avere sempre in direzione X uno spostamento massimo di 0,16 mm per cui la somma degli spostamenti massimi in direzione X è di 3,70 mm inferiore a quella consentita dal giunto (50 mm circa);



### ***Gli interventi sugli elementi non strutturali***

Oltre agli interventi prettamente strutturali sopradescritti, sono stati previsti i seguenti interventi che possono compromettere l'agibilità dell'edificio scolastico o costituire pericolo per la salvaguardia della vita.

#### **Risanamento di strutture in cemento armato**

Alcune porzioni di cornicione risultano ammalorati con presenza di fessurazioni e pericolo di distacco dell'intonaco.

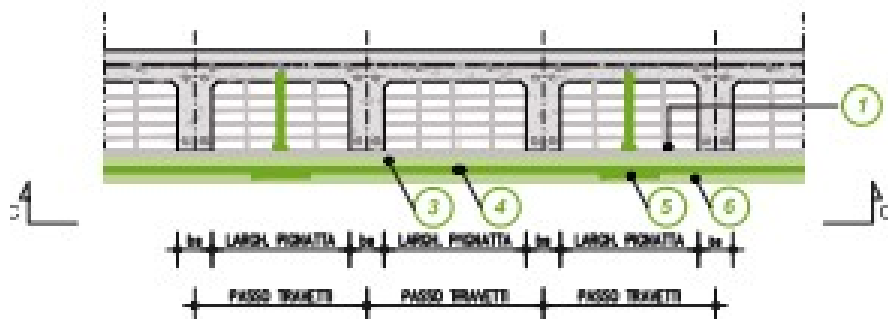
Si prevede pertanto un intervento di risanamento di tali elementi per ricostituzione della malta copriferro con conservazione della sezione originaria da realizzare mediante: asportazione della parte degradata del calcestruzzo con i contorni dell'intervento tagliati verticalmente e per una profondità che consenta un riporto di malta di almeno 1 cm di spessore; irruvidimento della superficie dell'intervento, anche mediante bocciardatrice o altri mezzi idonei, per la creazione di asperità di circa 5 mm; asportazione della ruggine dell'armatura e successivo trattamento della stessa con malta passivante; energica spazzolatura per la pulizia della superficie d'intervento e rifacimento del copriferro con malta tixotropica antiritiro, avendo cura di realizzare un copri ferro di almeno 2 cm.

#### **Anti-sfondellamento di solai**

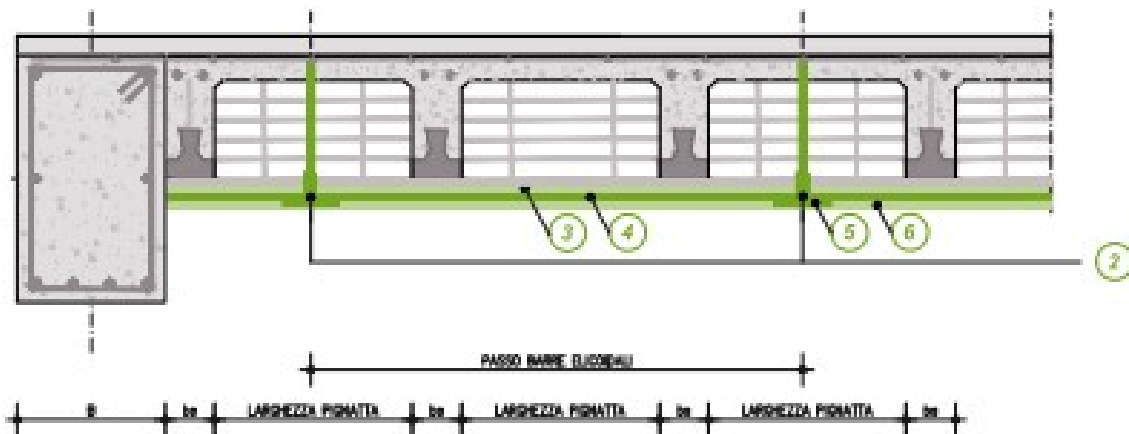
Per alcuni campi di solai è stata prevista l'applicazione di rete preformata in materiale composito fibrorinforzato incollata con resina termoindurente ed ancorata con connettori ad espansione al fine di prevenire il fenomeno dello "sfondellamento".

La messa in sicurezza dei solai sarà eseguita con incollaggio della rete a maglia monolitica in fibra di vetro alcalino resistente (spessore medio 3 mm, modulo elastico a trazione medio 23.000 N/mm<sup>2</sup>, portata minima di 600 kg/m<sup>2</sup>) e resina termoindurente di tipo vinilestere-epossidico. I connettori di ancoraggio, costituiti da barre di acciaio di sez.10 mm<sup>2</sup> fissati previa formazione di perfori alla soletta di cls con tassello ad espansione in Nylon e muniti di rondella diametro 50 mm all'intradosso del solaio, saranno realizzati in misura di 4/m<sup>2</sup>.

Inoltre la rete sarà ancorata alle pareti parallele all'orditura dei travetti con fissaggio angolare ad interasse massimo di 100 cm.



SEZIONE A - A'  
 SISTEMA DI PREVENZIONE DI SOLAI IN LATEROCEMENTO  
 CON PROBLEMI DI SFONDELLAMENTO CON RETE  
 BIASSIALE IN BASALTO GEO GRID 120



### **Antiribaltamento dei pannelli murari**

Per alcuni pannelli murari aventi funzione di tompagno è stato previsto l'aumento della resistenza al ribaltamento mediante applicazione di fasce di fibre ed installazione di barre di acciaio con inghisaggio nelle travi / pilastri in c.a. e nel pannello murario.

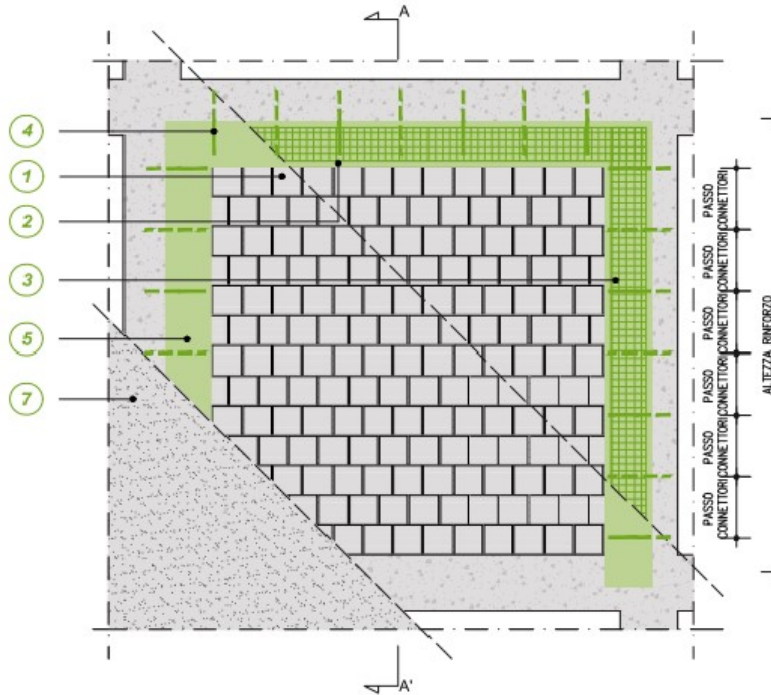
La messa in sicurezza dal ribaltamento fuori piano di pannelli verrà realizzata con:

- Collegamento dei tompagni alle travi e ai pilastri adiacenti mediante rinforzo locale realizzato con rete in fibra di basalto con speciale trattamento protettivo alcali-resistente (tipo GEO GRID 120 di Kerakoll) avente le seguenti caratteristiche: resistenza a trazione  $> 1250$  MPa, modulo elastico  $E > 56$  GPa, dimensione della maglia  $22 \times 22$  mm, spessore equivalente della rete  $t_f = 0,023$  mm, massa  $\approx 130$  g/m<sup>2</sup>; la rete verrà impregnata con intonaco-rasante naturale ad altissima igroscopicità e traspirabilità a base di pura calce idraulica naturale NHL 3.5 e Geolegante® minerale, inerti di sabbia silicea e calcare dolomitico in curva granulometrica  $0 - 1,4$  mm, - tipo GEOCALCE® MULTIUSO di Kerakoll Spa – reazione al fuoco classe A1 (EN 13501-1), adesione al supporto a  $28$  gg  $> 1,0$  N/mm<sup>2</sup>.
- Installazione di barre elicoidali in acciaio Inox AISI316, provviste di marcatura CE, installate con tecnologia Helifix® in apposito foro pilota nell'elemento strutturale, tipo STEEL DRYFIX® 8mm di Kerakoll, aventi le seguenti caratteristiche tecniche certificate: carico di rottura a trazione  $> 12,7$  kN, carico di rottura a taglio  $> 7,2$  kN; modulo elastico  $> 150$  GPa; area nominale  $11$  mm<sup>2</sup>.

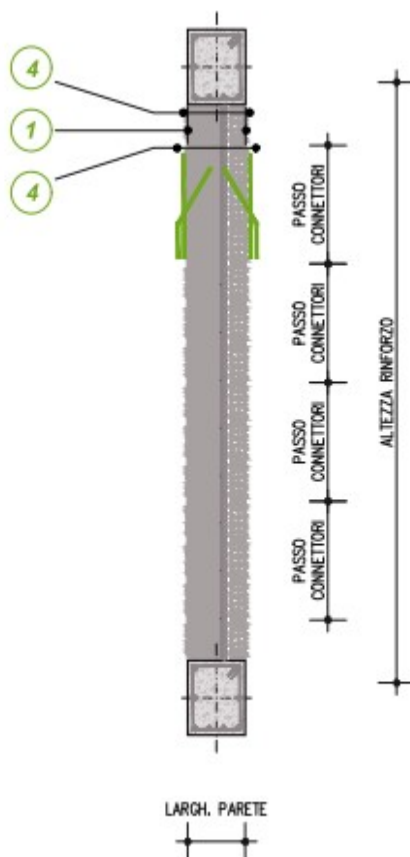
L'intervento si svolgerà nelle seguenti fasi:

- asportazione di intonaco e pitture esistenti ed eventuali parti friabili e/o non perfettamente ancorate che possano pregiudicare l'adesione e successivo lavaggio del supporto con acqua a bassa pressione;
- applicazione di un primo strato di intonaco-rasante minerale eco-compatibile con spessore medio di  $3$  mm circa;
- a malta ancora fresca, si procederà all'applicazione della rete bilanciata in fibra di basalto;
- realizzazione di fori pilota di opportuno diametro inclinato fino a circa  $3 - 4$  cm dentro l'elemento in c.a., in ragione di n° 2 fori al metro lineare di fascia di rete, installazione

- della barra di opportuna lunghezza all'interno del foro mediante apposito mandrino e successiva piegatura della parte terminale della barra non infissa fino al filo della rete;
- realizzazione del secondo strato di intonaco-rasante in modo da garantire il riempimento di tutte le cavità e l'inglobamento totale della rete di armatura e delle barre elicoidali;
- eventuale rasatura finale con rasante e tonachino decorativo.



PROSPETTO  
RINFORZO DELLA TAMPONATURA TRAMITE GEO GRID 120  
IN ABBINAMENTO A GEOALCE F ANTISISMICO E BARRE IN ACCIAIO INOX



## RIFERIMENTI NORMATIVI E CONSIDERAZIONI SULL'INTERVENTO

### *Aspetti normativi relativi agli edifici scolastici esistenti*

Con le NTC2018 sono stati individuati gli indici minimi di vulnerabilità sismica che dovranno essere raggiunti in caso di “**miglioramento**” (riservato agli immobili storici) o di “**adeguamento**” degli edifici scolastici esistenti, pari rispettivamente ai valori di 0,6 e 0,8.

Come noto, la O.P.C.M 20 marzo 2003, n. 3274, ha introdotto (art. 2, comma 3) “**l’obbligo di procedere a verifica, da effettuarsi a cura dei proprietari**” delle opere di particolare rilevanza (scuole, ospedali, ecc.), esentando da tale vincolo “**le opere progettate secondo le norme vigenti successivamente al 1984**”, sempreché la classificazione sismica del territorio sia rimasta quella definita all’epoca della costruzione (Art. 2, comma 5).

Con circolare 4 novembre 2010, n. DPC/SISM/0083283 la Protezione Civile ha fornito chiarimenti sulla gestione degli esiti delle verifiche di vulnerabilità sismica specificando che, per legge, la verifica è obbligatoria ma non lo è l’intervento e che “**la necessità di adeguamento sismico degli edifici e delle opere ... sarà tenuta in considerazione nella redazione dei piani triennali ed annuali ... nonché ai fini della predisposizione del piano straordinario di messa in sicurezza antisismica ...**”. È stato anche chiarito che “**il termine adeguamento è usato in senso generico e può comprendere anche le fattispecie del miglioramento e della riparazione locale**”.

Nelle NTC 2018 (punto 8.4.3) sono definiti gli interventi in presenza dei quali l’adeguamento sismico è obbligatorio: “**a) sopraelevare la costruzione; b) ampliare la costruzione mediante opere ad essa strutturalmente connesse e tali da alterarne significativamente la risposta; c) apportare variazioni di destinazione d’uso che comportino incrementi dei carichi globali verticali in fondazione superiori al 10%... d) effettuare interventi strutturali volti a trasformare la costruzione mediante un insieme sistematico di opere che portino ad un sistema strutturale diverso dal precedente, ...; e) apportare modifiche di classe d’uso che conducano a costruzioni di classe III ad uso scolastico o di classe IV.**”).

In assenza di tali interventi, l’adeguamento sismico non è obbligatorio.

Alla luce della superiore normativa l’intervento sul plesso scolastico in oggetto rientra nella fattispecie del miglioramento e della riparazione locale.

### **Risultati dei calcoli delle strutture in c.a. nella condizione ante-intervento**

I calcoli, effettuati con il metodo convenzionale utilizzando come riferimento per le valutazioni le Linea Guida approvate con D.M. n. 58 del 28/02/2017, hanno consentito di determinare l’Indice di Vulnerabilità Sismica della:

#### **struttura “A” nelle condizioni “ante intervento”:**

Valore dell’indice di sicurezza strutturale (IS-V) : 31.8797%

Valore della Perdita Annuale Media (PAM) : 36.10%

#### **struttura “B” nelle condizioni “ante intervento”:**

Valore dell’indice di sicurezza strutturale (IS-V) : 31.8797%

Valore della Perdita Annuale Media (PAM) : 31.7336%

### **Risultati dei calcoli delle strutture in c.a. attesi nella condizione post-intervento**

L’effetto degli interventi sulle strutture in c.a. previsti in progetto al fine di ridurre il rischio sismico, è stato determinato con il metodo convenzionale valutando il comportamento globale della costruzione. I calcoli effettuati hanno consentito di determinare l’Indice di Vulnerabilità Sismica della :

**Struttura “A” nelle condizioni “post intervento”:**

Valore dell'indice di sicurezza strutturale (IS-V) : 92.66978%  
 Valore della Perdita Annuale Media (PAM) : 29.47602%

**Struttura “B” nelle condizioni “post intervento”:**

Valore dell'indice di sicurezza strutturale (IS-V) : 94.62362%  
 Valore della Perdita Annuale Media (PAM) : 29.45987%

Ne consegue che gli interventi progettati consentono, per entrambe le strutture, di superare ampiamente il valore minimo dell' IS-V imposto dalla norma (> di 0,6).

***Calcoli degli elementi costruttivi non strutturali***

Nelle NTC 2018 (punto 7.2.3) sono definiti “Criteri di progettazione di elementi strutturali secondari ed elementi costruttivi non strutturali.

*Per elementi costruttivi non strutturali s'intendono quelli con rigidezza, resistenza e massa tali da influenzare in maniera significativa la risposta strutturale e quelli che, pur non influenzando la risposta strutturale, sono ugualmente significativi ai fini della sicurezza e/o dell'incolumità delle persone.*

*La capacità degli elementi non strutturali, compresi gli eventuali elementi strutturali che li sostengono e collegano, tra loro e alla struttura principale, deve essere maggiore della domanda sismica corrispondente a ciascuno degli stati limite da considerare (v. § 7.3.6). Quando l'elemento non strutturale è costruito in cantiere, è compito del progettista della struttura individuare la domanda e progettare la capacità in accordo a formulazioni di comprovata validità ed è compito del direttore dei lavori verificarne la corretta esecuzione; quando invece l'elemento non strutturale è assemblato in cantiere, è compito del progettista della struttura individuare la domanda, è compito del fornitore e/o dell'installatore fornire elementi e sistemi di collegamento di capacità adeguata ed è compito del direttore dei lavori verificarne il corretto assemblaggio. ....*

*La domanda sismica sugli elementi non strutturali può essere determinata applicando loro una forza orizzontale  $F_a$  definita come segue:*

$$F_a = (S_a * W_a) / q_a \quad [7.2.1]$$

dove

- $F_a$  è la forza sismica orizzontale distribuita o agente nel centro di massa dell'elemento non strutturale, nella direzione più sfavorevole, risultante delle forze distribuite proporzionali alla massa;
- $S_a$  è l'accelerazione massima, adimensionalizzata rispetto a quella di gravità, che l'elemento non strutturale subisce durante il sisma e corrisponde allo stato limite in esame (v. § 3.2.1);
- $W_a$  è il peso dell'elemento;
- $q_a$  è il fattore di comportamento dell'elemento.

***Verifica espulsione dei compagni***

Dai sopralluoghi effettuati si è constatato che alcuni pannelli sono staccati dai telai in c.a. come risulta dalle foto dei prospetti SUD ed EST che si riportano nel seguito.

Si è pertanto proceduto alla verifica al ribaltamento dei pannelli murari nelle condizioni attuali come di seguito illustrato.

L'analisi della vulnerabilità del pannello murario consiste nel calcolare quale accelerazione

orizzontale provoca l'espulsione della tamponatura dalla maglia di telaio che la contiene. Questo valore viene calcolato uguagliando la forza  $F_a$  con la corrispondente resistenza  $R_d$ . La verifica è positiva se  $R_d \geq F_a$

Nel caso di tamponature interamente confinate dal telaio in c.a. la resistenza fuori piano in termini di azione orizzontale può essere calcolata con lo schema "dell'articolazione".

Il collasso "fuori piano" si trova considerando il meccanismo resistente ad arco in base al quale la condizione limite di equilibrio è quella in cui si formano delle cerniere agli estremi del pannello e in mezzeria.

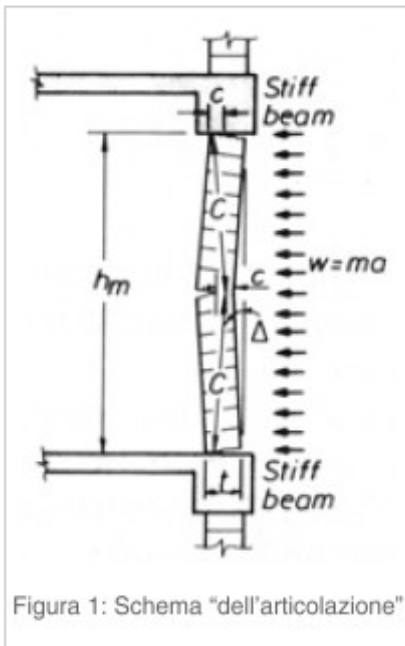


Figura 1: Schema "dell'articolazione"

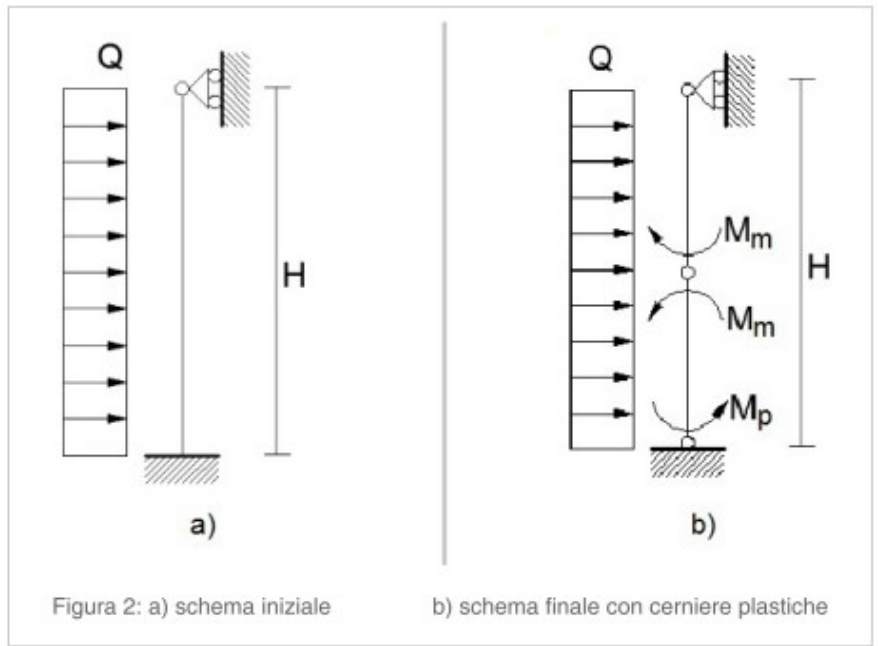


Figura 2: a) schema iniziale

b) schema finale con cerniere plastiche

Il modello iniziale è costituito da incastro al piede e cerniera in testa (Fig. 2 -a) considerando sia l'effetto stabilizzante del peso proprio del pannello sia la resistenza a flessione fuori piano della sezione di base.

Il carico esterno ripartito  $Q$  rappresenta l'azione sismica per unità di altezza del muro relativa alla massa. Il valore corrispondente all'equilibrio con i momenti è pari (vedi schema "plasticizzato di Figura 2 -b):

$$Q = \frac{4}{H^2} (M_p + 2 M_m)$$

I momenti resistenti vengono calcolati utilizzando l'espressione relativa alla flessione fuori piano della muratura portante con diagramma "stress-block" in funzione del carico verticale gravante.

Riassumendo i due momenti assumono valori pari a:

$$M_p = \left( \frac{t^2 l \sigma_p}{2} \right) \left( 1 - \frac{\sigma_p}{0.85 f_m} \right) \quad \sigma_p = \frac{W}{t l}$$

$$M_m = \left( \frac{t^2 l \sigma_m}{2} \right) \left( 1 - \frac{\sigma_m}{0.85 f_m} \right) \quad \sigma_m = \frac{W}{2 t l}$$

Nelle precedenti formule  $t$  è lo spessore della tamponatura,  $l$  è la lunghezza del muro (che può

essere assunta pari ad 1),  $\mathbf{W}$  è il peso totale del muro (associato alla lunghezza  $\mathbf{L}$ ),  $\mathbf{f}_m$  è la resistenza di calcolo della muratura.

Quindi il valore resistente all'espulsione  $\mathbf{R}_d$  sarà pari a:

$$R_d = \frac{4}{H} (M_p + 2 M_m)$$

Il calcolo dell'accelerazione corrispondente (PGA) viene effettuato eguagliando la forza  $\mathbf{F}_a$  agente sull'elemento non strutturale alla forza orizzontale necessaria all'espulsione della tamponatura ( $\mathbf{R}_d$ ), per cui si ottiene:

$$R_d = F_a = \frac{S_a W}{q} \quad (q = 2 \text{ per le tamponature})$$

Da questa espressione si ricava il valore del **coefficiente sismico**  $\mathbf{S}_a$  corrispondente alla resistenza  $\mathbf{R}_d$ :

$$S_a = \frac{R_d q}{W}$$

Il coefficiente sismico  $\mathbf{S}_a$  può essere calcolato (in funzione dell'altezza dell'edificio  $\mathbf{H}$ ) mediante la formula delle NTC

$$S_a = PGA \left[ \frac{3 (1 + Z/H)}{1 + (1 - T_a/T_1)^2} - 0.5 \right]$$

Da cui si ricava il valore della PGA in funzione del valore resistente  $\mathbf{R}_d$ :

$$PGA = \frac{R_d q}{W} \left[ \frac{3 (1 + Z/H)}{1 + (1 - T_a/T_1)^2} - 0.5 \right]^{-1}$$

Nella superiore formula è presente il periodo di vibrazione fondamentale ( $\mathbf{T}_a$ ) dell'elemento non strutturale. Per la stima di questo parametro è possibile utilizzare varie formulazioni che tengano conto dei vari aspetti ( influenza del carico verticale, condizioni di vincolo, ecc.. ). Si riporta la seguente :

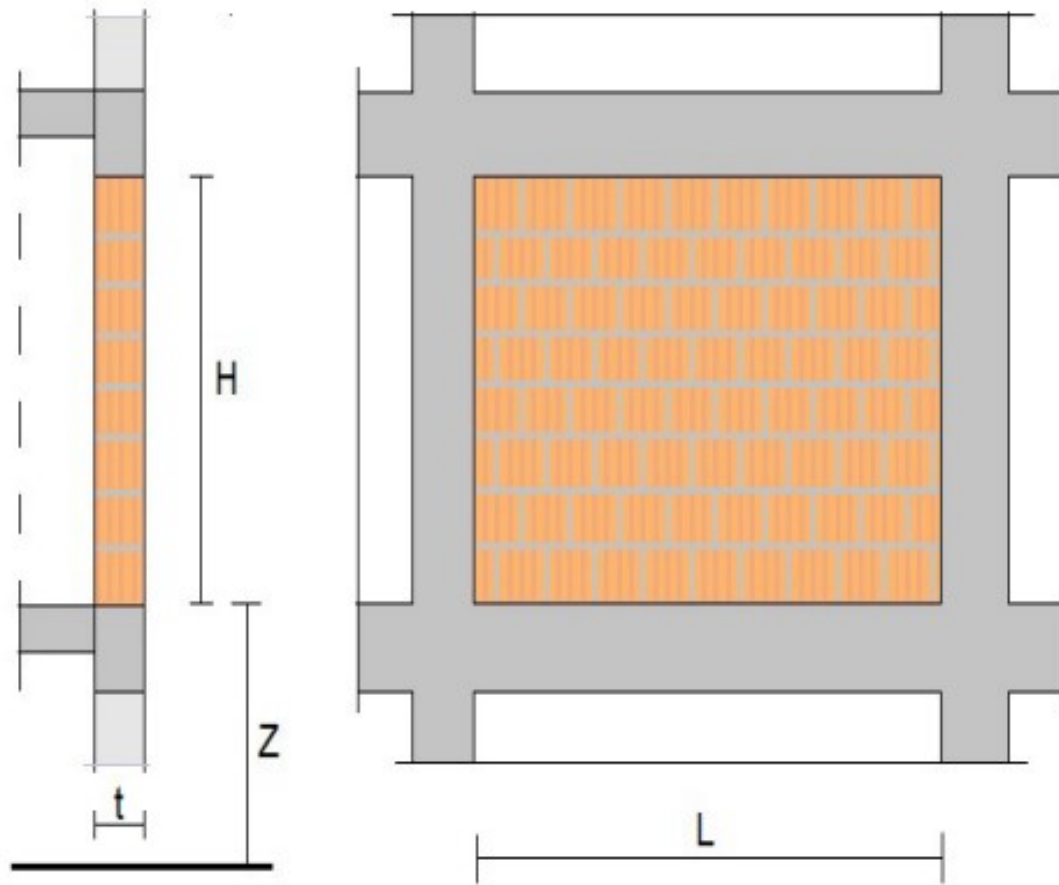
$$T_a = 2 \pi \left[ \left( \frac{\pi}{H} \right)^2 \sqrt{\frac{E l t^3}{12 m}} \right]^{-1}$$

dove oltre ai parametri già descritti compare  $\mathbf{m}$  che rappresenta la massa per unità di altezza della tamponatura.

Al valore della **PGA** corrisponde l'indicatore di rischio. Valori inferiori all'unità rappresentano condizioni di vulnerabilità; in questi casi è necessario prevedere interventi idonei ad aumentare il valore dell'accelerazione necessaria all'espulsione fino al raggiungimento delle condizioni di sicurezza.

Nei seguito vengono riportati i risultati delle verifiche al ribaltamento dei pannelli murari nello stato attuale dei prospetti Sud ed Est.

### Valutazione della vulnerabilità di tamponature in muratura





Parete 1 prospetto SUD

Dati Sismici					
Ag/g	F0	Cat. Suolo	Cat. Topo.	Ss	St
0,150	2,000	B	T2	1,200	1,200

Dati Tamponatura						
L	t	H	p	E	fm	W
cm	cm	cm	kN/m <sup>3</sup>	Mpa	Mpa	kN
100	35	400	20	1230	2	28,00

Dati struttura			
Z	Hed	T1	Ta
cm	cm	s	s
100	500	0,251	0,130
$T_a = 2 \pi \left[ \left( \frac{\pi}{H} \right)^2 \sqrt{\frac{E l t^3}{12 m}} \right]^{-1}$			

Resistenza fuori piano				
$\sigma_p$	$\sigma_m$	Mp	Mm	Rd
Mpa	Mpa	kNm	kNm	kN
0,080	0,040	4,67	2,39	9,45
$M_p = \left( \frac{t^2 l \sigma_p}{2} \right) \left( 1 - \frac{\sigma_p}{0.85 f_m} \right) \quad \sigma_p = \frac{W}{t l}$ $M_m = \left( \frac{t^2 l \sigma_m}{2} \right) \left( 1 - \frac{\sigma_m}{0.85 f_m} \right) \quad \sigma_m = \frac{W}{2 t l}$ $R_d = \frac{4}{H} (M_p + 2 M_m)$				

PGA e indicatore di rischio	
PGA/g	Ir SLV
0,199	0,922
$PGA = \frac{R_d q}{W} \left[ \frac{3 (1 + Z/H)}{1 + (1 - T_a/T_1)^2} - 0.5 \right]^{-1}$	

Parete 2 prospetto SUD

Dati Sismici					
Ag/g	F0	Cat. Suolo	Cat. Topo.	Ss	St
0,150	2,000	B	T2	1,200	1,200

Dati Tamponatura						
L	t	H	p	E	fm	W
cm	cm	cm	kN/m <sup>3</sup>	Mpa	Mpa	kN
100	35	390	20	1230	2	27,30

Dati struttura			
Z	Hed	T1	Ta
cm	cm	s	s
350	725	0,331	0,123
$T_a = 2 \pi \left[ \left( \frac{\pi}{H} \right)^2 \sqrt{\frac{E I t^3}{12 m}} \right]^{-1}$			

Resistenza fuori piano				
op	om	Mp	Mm	Rd
Mpa	Mpa	kNm	kNm	kN
0,078	0,039	4,56	2,33	9,46
$M_p = \left( \frac{t^2 l \sigma_p}{2} \right) \left( 1 - \frac{\sigma_p}{0.85 f_m} \right) \quad \sigma_p = \frac{W}{t l}$ $M_m = \left( \frac{t^2 l \sigma_m}{2} \right) \left( 1 - \frac{\sigma_m}{0.85 f_m} \right) \quad \sigma_m = \frac{W}{2 t l}$ $R_d = \frac{4}{H} (M_p + 2 M_m)$				

PGA e indicatore di rischio	
PGA/g	Ir SLV
0,212	0,981
$PGA = \frac{R_d q}{W} \left[ \frac{3 (1 + Z/H)}{1 + (1 - T_a/T_1)^2} - 0.5 \right]^{-1}$	

Parete prospetto EST

Dati Sismici					
Ag/g	F0	Cat. Suolo	Cat. Topo.	Ss	St
0,250	2,000	B	T2	1,200	1,200

Dati Tamponatura						
L	t	H	p	E	fm	W
cm	cm	cm	kN/m <sup>3</sup>	Mpa	Mpa	kN
100	35	325	20	1230	2	22,75

Dati struttura			
Z	Hed	T1	Ta
cm	cm	s	s
0	450	0,241	0,086
$T_a = 2 \pi \left[ \left( \frac{\pi}{H} \right)^2 \sqrt{\frac{E I t^3}{12 m}} \right]^{-1}$			

Resistenza fuori piano				
$\sigma_p$	$\sigma_m$	Mp	Mm	Rd
Mpa	Mpa	kNm	kNm	kN
0,065	0,033	3,83	1,95	9,52
$M_p = \left( \frac{t^2 l \sigma_p}{2} \right) \left( 1 - \frac{\sigma_p}{0.85 f_m} \right) \quad \sigma_p = \frac{W}{t l}$ $M_m = \left( \frac{t^2 l \sigma_m}{2} \right) \left( 1 - \frac{\sigma_m}{0.85 f_m} \right) \quad \sigma_m = \frac{W}{2 t l}$ $R_d = \frac{4}{H} (M_p + 2 M_m)$				

PGA e indicatore di rischio	
PGA/g	Ir SLV
0,351	0,975
$PGA = \frac{R_d q}{W} \left[ \frac{3 (1 + Z/H)}{1 + (1 - T_a/T_1)^2} - 0.5 \right]^{-1}$	

La documentazione fotografica che segue evidenzia il distacco dei pannelli murari dai relativi telai in c.a.



Foto 1 – Parete 1 Prospetto SUD



Foto 2 – Particolare Parete 1 Prospetto SUD



Foto 3 – Parete 2 Prospetto SUD



Foto 4 – Particolare Parete 2 Prospetto SUD



Foto 5 – Parete Prospetto EST



Foto 6 – Particolare Parete Prospetto EST

L'insieme degli interventi sopra descritti rispondono pienamente a quelli previsti al § C8.7.4 della circolare 7/2019 e consentono di migliorare la risposta dell'edificio scolastico alle azioni sismiche riportando l' IS-V ben al di sopra del valore minimo previsto dalla norma (> di 0,6).

Inoltre gli interventi sulle strutture secondarie (aggetti, solai, tompagni, etc..) consentono di mettere in sicurezza l'edificio anche nei riguardi della pubblica incolumità.

Per ogni ulteriore approfondimento si rimanda agli appositi elaborati dei calcoli che riportano nel dettaglio le verifiche effettuate e i risultati conseguiti. L'esame di tali elaborati permette di affermare che, dopo gli interventi di rinforzo, la struttura risponde ai requisiti di sicurezza richiesti dalla normativa vigente.

IL TECNICO