CIRI EDILIZIA E COSTRUZIONI
CENTRO INTERDIPARTIMENTALE DI RICERCA INDUSTRIALE
ALMA MATER STUDIORUM - UNIVERSITÀ DI BOLOGNA

PROT. n. 722 del 15/11/2016

CONVENZIONE DI RICERCA CON

COMUNE DI SANT'EGIDIO ALLA VIBRATA

"VALUTAZIONE DI VULNERABILITA' SISMICA"

Edificio 7

Scuola Elementare Paolantonio Plesso Nuovo

Via M. Buonarroti, Loc. Paolantonio, Sant'Egidio alla Vibrata

RELAZIONE TECNICO ILLUSTRATIVA

Collaboratori
Ing. Andrea Incerti
Ing. Anna Lisa Vinciguerra

CIRI - EDILIZIA E COSTRUZIONI
ALMA MATER STUDIORUM - UNIVERSITÀ DI BOLOGNA
Via del Lazzaretto, 15/5 - 40131 - BOLOGNA - ITALIA
C.F. 80007010376 – P.I. 01131710376

Direttore
Prof. Ing. Claudio Mazzotti

Responsabile Scientifico
Prof. Ing. Claudio Mazzotti

INDICE

1. PREMESSA 3
2. INDIVIDUAZIONE DELL'AREA 4
3. DESCRIZIONE DELLA STRUTTURA 5
4. RILIEVO IN SITO 6
5. ELEMENTI DI VULNERABILITÀ SISMICA 6
6. VALUTAZIONE DELLA DOMANDA 7
7. STIMA DELLA CAPACITÀ 10
7.1. Valutazione dei tagli resistenti di piano e della pseudo-accelerazione 10
7.2. Calcolo del coefficiente riduttivo della resistenza del fabbricato (C_{rid}) 14
7.3. Calcolo dell'accelerazione al suolo di collasso dell'edificio (PGA_c) 20
8. VULNERABILITÀ E CONFRONTO DOMANDA – OFFERTA 21
9. CLASSIFICAZIONE RE.SIS.TO® 21
10. POSSIBILI INTERVENTI 22
11. RIFERIMENTI NORMATIVI E BIBLIOGRAFICI 22
12. ALLEGATO 1: SCHEDA DI SINTESI 23
DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA 24

1. Premessa

La presente relazione riguarda la valutazione speditiva del livello di vulnerabilità sismica della **"Scuola Elementare Paolantonio Plesso Nuovo" –** Loc Paolantonio, Comune di Sant'Egidio alla Vibrata, sito in via M. Buonarroti.
Le valutazioni descritte nel seguito sono prevalentemente di carattere globale, ossia relative alla fabbrica nel suo insieme ma coinvolgono anche alcuni aspetti di carattere locale, ossia relative ai meccanismi collasso locale di alcuni macroelementi ritenuti particolarmente vulnerabili. L'analisi è finalizzata al processo di acquisizione della conoscenza strutturale e della vulnerabilità sismica dell'edificio nella situazione attuale.
La conoscenza dello stato di fatto dell'edificio assume fondamentale importanza nella valutazione delle verifiche di sicurezza dell'edificio e nella progettazione di eventuali interventi successivi di adeguamento e miglioramento antisismico.
La presente relazione prende in considerazione una metodologia di valutazione semplificata in grado di definire delle priorità di intervento, per quanto riguarda la sicurezza sismica degli edifici, redigendo un elenco di edifici disposti in ordine di priorità.
Si sottolinea che tale relazione è stata redatta previa:

- ricerca della documentazione cartacea e in formato digitale relativa all'immobile con riferimento agli interventi pregressi e allo stato di fatto attuale;
- sopralluoghi ispettivi atti a verificare la corrispondenza degli elaborati allo stato di fatto oltre che indagini di tipo visivo sui principali elementi strutturali ispezionabili.

Per le valutazioni di carattere globale sono stati utilizzati i seguenti strumenti:

- compilazione della scheda CNR-GNDT di II livello [3];
- utilizzo della metodologia speditiva per la Valutazione di Vulnerabilità sismica, messa a punto dal Centro Interdipartimentale di Ricerca Industriale Edilizia e Costruzioni - Università di Bologna;
- utilizzo della classificazione *RE.SIS.TO*®.

Per le valutazioni di carattere locale sono state effettuate alcune semplici considerazioni basate sulle accelerazioni alla base e sulla conformazione degli elementi strutturali.

2. *Individuazione dell'area*

L'area in cui sorge la Scuola Elementare Paolantonio Plesso Nuovo, è collocata nella località di Paolantonio, comune Sant'Egidio alla Vibrata. La zona in esame è pianeggiante di estensione pari a circa 409 mq. L'area è delimitata a Nord da via M. Buonarroti, ad Est, Ovest e Sud da altre proprietà. Un inquadramento territoriale del Plesso scolastico è riportato in Figura 1.

Figura 1. Inquadramento della struttura oggetto di studio.

3. *Descrizione della struttura*

L'edificio oggetto di studio presenta una forma irregolare ma inscrivibile in un rettangolo. L'edificio si sviluppa per un piano fuori terra. La scuola è stata realizzata negli anni 1965-1966.
La struttura portante verticale è in muratura a mattoni pieni a due teste per un spessore di circa 40 cm.
I solai di sottotetto sono realizzati con soletta in c.a., mentre quelli di copertura con laterizio tipo SAP e soletta in calcestruzzo (tali informazioni sono state dedotte dalla documentazione fornita dal committente). Al piano del solaio di sottotetto sono stati realizzati cordoli in c.a.
Si riporta una pianta tipo del Piano Tipo del fabbricato.

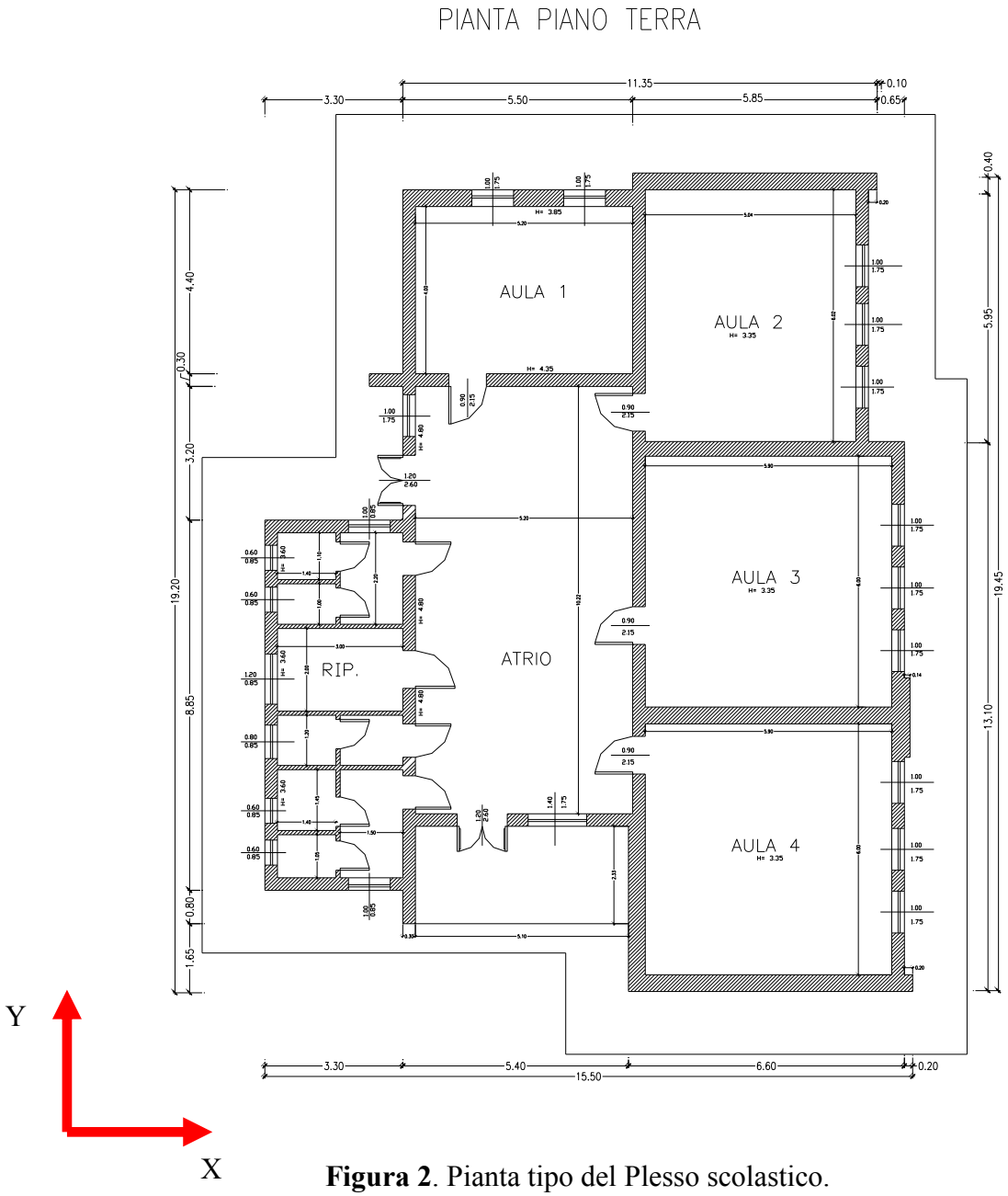


Figura 2. Pianta tipo del Plesso scolastico.

4. *Rilievo in sito*

I sopralluoghi sono stati svolti il 06/10/2016. Le indagini sono state condotte su base architettonica fornita dall'ente e verificate in situ mediante l'ausilio di strumentazioni quali fotocamera digitale e distanziometro.
In Figura 3 si riportano gli appunti relativi al piano primo.

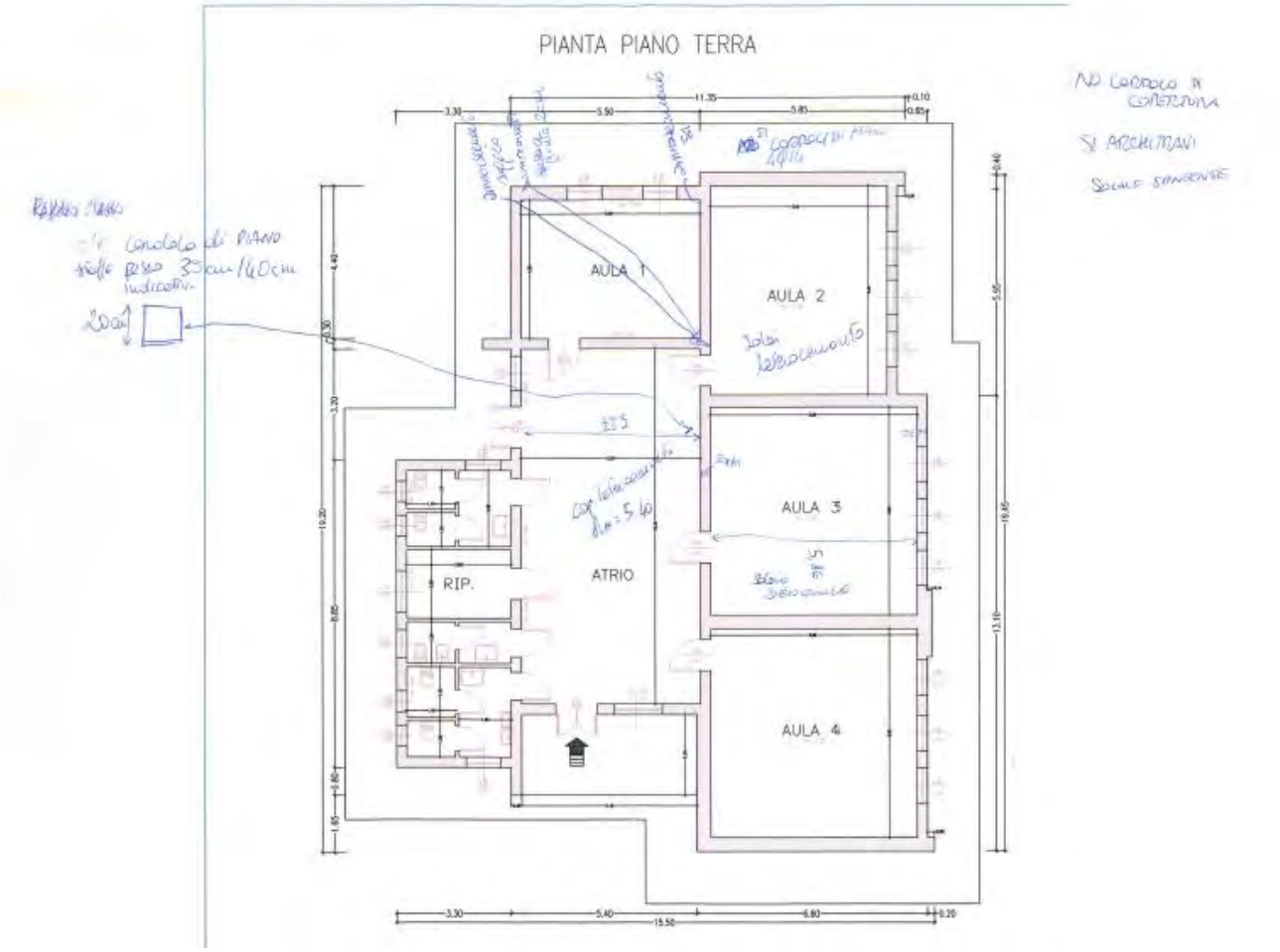


Figura 3. Rilievo piano terra.

5. *Elementi di vulnerabilità sismica*

Nell'edificio sono presenti alcune criticità da considerare nei futuri interventi di miglioramento sismico. In particolare:

- Non sono presenti catene o cordoli di copertura.

6. *Valutazione della domanda*

Le azioni sismiche sulla costruzione vengono valutate in relazione ad un periodo di riferimento V_R che si ricava, per ciascun tipo di costruzione, moltiplicandone la vita nominale V_N per il coefficiente d'uso C_U:

$$V_R = V_N \cdot C_U$$

Il valore del coefficiente d'uso C_U è definito, al variare della classe d'uso, come mostrato in tabella:

Valori del coefficiente d'uso C_U

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

Se VR ≤ 35 anni si pone comunque VR = 35 anni.

In presenza di azioni sismiche, con riferimento alle conseguenze di una interruzione di operatività o di un eventuale collasso, le costruzioni sono suddivise in classi d'uso così definite:

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

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

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

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

La vita nominale di un'opera strutturale V_N è intesa come il numero di anni nel quale la struttura, purché soggetta alla manutenzione ordinaria, deve potere essere usata per lo scopo al quale è destinata. La vita nominale dei diversi tipi di opere è quella riportata in tabella e deve essere precisata nei documenti di progetto.

Vita nominale V_N *per diversi tipi di opere*

TIPI DI CONSTRUZIONE		Vita Normale V_N (in anni)
1	Opere provvisorie – Opere provvisionali – Strutture in fase construttiva[1]	≤ 10
2	Opere ordinarie, ponti, opere infrastrutturali e dighe di dimensioni contenute o di importanza normale	≥ 50
3	Grande opere, ponti, opere infrastrutturali e dighe di grandi dimensioni o importanza strategica	≥ 100

	V_N	Classe	C_U	V_R
Edificio oggetto di analisi	50	III	1.5	75

Le probabilità di superamento nel periodo di riferimento, P_{VR}, cui riferirsi per individuare l'azione sismica agente in ciascuno degli stati limite considerati, sono riportate nella successiva tabella:

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

Qualora la protezione nei confronti degli stati limite di esercizio sia di prioritaria importanza, i valori di P_{VR} forniti in tabella devono essere ridotti in funzione del grado di protezione che si vuole raggiungere.
Sono stati considerati lo stato limite di salvaguardia della vita, SLV, e lo stato limite di danno, SLD.
Si calcola per entrambi il periodo di ritorno T_R:

$$T_R = -\frac{V_R}{\ln\left(1-P_{V_R}\right)} = -\frac{C_U \cdot V_N}{\ln\left(1-P_{V_R}\right)}$$

$T_R\left(SLD\right) = 75$ anni

$T_R\left(SLV\right) = 712$ anni

La posizione della Scuola Elementare e Direzione Didattica in piazza Benedetto Croce, è identificata dalle coordinate: 42°49'31,83'' N; 13°42'29,90''E.

- Valori dei parametri a_g, F_0, T_C^* per lo Stato Limite di Danno (SLD):

$a_g = 0.084g$

$F_0 = 2.431$

$T_C^* = 0.307\,\text{sec}$

- Valori dei parametri a_g, F_0, T_C^* per lo Stato Limite di Danno (SLV):

$a_g = 0.204g$

$F_0 = 2.474$

$T_C^* = 0.348\,\text{sec}$

Le accelerazioni orizzontali massime, a_g, rispetto ai periodi di ritorno dell'azione sismica di 75 e 712 anni sono rispettivamente di:

$a_g(SLD) = 0.084g$

$a_g(SLV) = 0.204g$

Non avendo a disposizione i risultati di una prova geotecnica per la determinazione della categoria di sottosuolo, si ipotizza per il sito la categoria sottosuolo tipo C (depositi di terreni a grana grossa, mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti).

Alla categoria tipo C corrisponde un coefficiente di amplificazione stratigrafica $S_S(SLD) = 1.5$ e $S_S(SLV) = 1.397$, rispettivamente per lo Stato Limite di Danno e di Salvaguardia della Vita, considerando poi unitario il coefficiente di amplificazione topografico S_T si hanno relativamente agli Stati Limite citati le accelerazioni massime di picco al suolo:

$PGA_D(SLD) = a_g \cdot S_T \cdot S_S = 0.084g \cdot 1.0 \cdot 1.5 = 0.126g$ relativamente a $T_R = 75$ anni

$PGA_D(SLV) = a_g \cdot S_T \cdot S_S = 0.204g \cdot 1.0 \cdot 1.397 = 0.285g$ relativamente a $T_R = 712$ anni

7. *Stima della capacità*

Per la stima della capacità resistente dell'edificio alle azioni orizzontali è stata utilizzata la metodologia speditiva messa a punto dal Centro Interdipartimentale di Ricerca Industriale Edilizia e Costruzioni. La metodologia conduce alla definizione di un'accelerazione al suolo di collasso dell'edificio (PGA_c) attraverso la valutazione del taglio resistente dello stesso, piano per piano. Quest'ultima quantità viene valutata facendo uso di considerazioni meccaniche semplificate ed adeguata opportunamente per tenere in conto della effettiva complessità della costruzione in oggetto. Il passaggio dallo schema teorico di calcolo alle condizioni reali dell'edificio, che possono evidenziare possibili criticità strutturali individuate nel corso di sopralluoghi ma non analizzate in dettaglio, avviene facendo uso di un coefficiente C_{rid} ottenuto a partire dai parametri contenuti nelle schede di vulnerabilità sismica di II livello del GNDT [3]. Ciò consente una valutazione degli aspetti caratterizzati da maggior empirismo secondo metodologie riconosciute a livello nazionale e già applicate in diverse occasioni.

7.1. *Valutazione dei tagli resistenti di piano e della pseudo-accelerazione*

Il taglio resistente del generico piano i-esimo (il piano terra è identificato dall'indice "i" unitario) deve essere valutato attenendosi alla seguente procedura.
Scelte due direzioni x e y di riferimento per l'edificio, si quantificano le aree delle sezioni orizzontali dei vari elementi resistenti (maschi murari) come segue:

$$A_{x,i} = \sum_{n=1}^{NM_{x,i}} A_{x,n,i} \qquad A_{y,i} = \sum_{n=1}^{NM_{y,i}} A_{y,n,i}$$

dove: $A_{x,n,i}$ e $A_{y,n,i}$ sono le aree del n-esimo maschio murario resistente appartenente al piano i-esimo nelle direzioni x ed y, rispettivamente; $NM_{x,i}$ e $NM_{y,i}$ indicano il numero di elementi resistenti (maschi murari) del piano i-esimo nelle direzioni x ed y, rispettivamente.
Si riportano in Figura 4 le rappresentazioni grafiche delle aree dei maschi murari resistenti nelle direzioni x e y e in Tabella 1 con i valori determinati con l'ausilio del CAD.

PIANO TERRA - DIREZIONE X PIANO TERRA - DIREZIONE Y

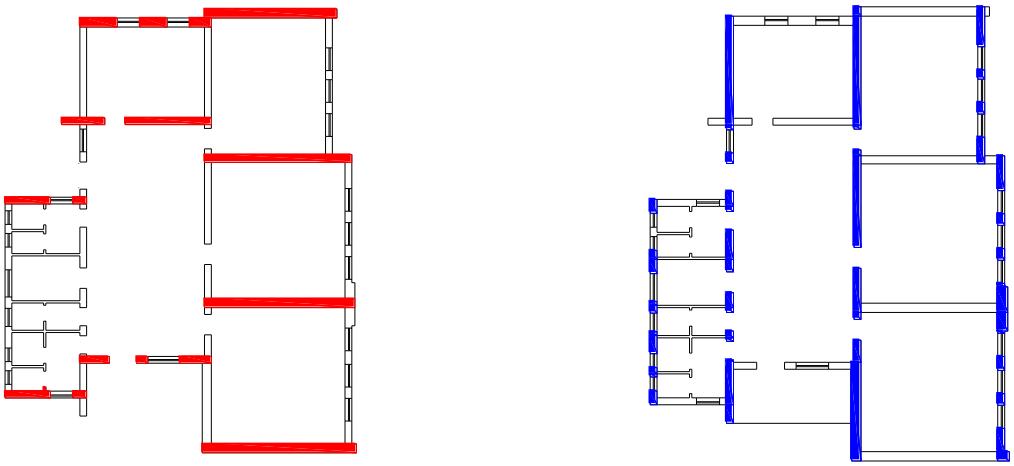


Figura 4. Aree dei maschi murari resistenti nelle direzioni x e y.

Tabella 1. Valori delle aree dei maschi murari resistenti nelle direzioni x e y.

	Piano Terra
A_x [m^2]	15.75
A_y [m^2]	13.93
A_{tot} [m^2]	249

A partire dalle indicazioni progettuali (assenti in questo caso) e verificando in situ mediante ispezioni visive è stata scelta, ai fini del calcolo, la tipologia "Muratura in mattoni pieni e malta di calce". I parametri meccanici, come indicato nella Circolare delle NTC [4], sono riportati in Tabella 2.

Tabella 2. Valori delle aree dei maschi murari resistenti nelle direzioni x e y.

Tipologia di muratura	f_m [N/cm^2]	τ_0 [N/cm^2]	E [N/mm^2]	G [N/mm^2]	w [kN/m^3]
	min-max	min-max	min-max	min-max	
Muratura in mattoni pieni e malta di calce	240 400	6.0 9.2	1200 1800	400 600	18

Per determinare i valori di calcolo si considera un fattore di confidenza FC = 1.35 e un coefficiente di sicurezza $\gamma_m = 2.00$.
Si effettua, quindi, un'analisi dei carichi per valutare il carico q_i per unità di superficie corrispondente al generico piano *i*-esimo tenendo conto dei soli carichi permanenti del solaio e dei pesi propri dei maschi murari spalmati su tutta la superficie secondo l'espressione [6]:

$$q_i = \frac{(A_{x,i} + A_{y,i}) \cdot h_i}{A_{tot,i}} \cdot p_{m,i} + p_{s,i}$$

dove h_i e $A_{tot,i}$ sono, rispettivamente, l'altezza e l'area totale coperta di piano, $p_{m,i}$ è il peso specifico della muratura (preso dalla tabella Circolare), $p_{s,i}$ è il carico permanente per unità di superficie del solaio. Il peso totale del piano i-esimo W_i è dato dalla seguente relazione:

$$W_i = q_i \cdot A_{tot,i}$$

mentre la tensione normale media di compressione, $\sigma_{0,i}$, agente sui maschi murari dello stesso piano, risulterà essere pari al rapporto tra il peso dei piani sovrastanti e l'area totale degli elementi resistenti del piano in esame:

$$\sigma_{0,i} = \frac{\sum_{k=i}^{N} W_k}{A_{x,i} + A_{y,i}}$$

dove N è il numero di piani dell'edificio.
Si riportano in Tabella 3 i valori ottenuti per i diversi piani del fabbricato:

Tabella 3. Valori del carico per unità di superficie e della tensione normale media di compressione.

	Piano Terra
q [kN/m^2]	16.40
σ_0 [N/mm^2]	0.137

Il taglio resistente del piano *i*-esimo, $V_{r,i}$, si valuta quindi attraverso la seguente formula:

$$V_{r,i} = A_{\min,i} \cdot \tau_r \cdot \sqrt{1 + \frac{\sigma_{0,i}}{1.5 \cdot \tau_r}}$$

dove $A_{min,i}$ è il valore minore tra $A_{x,n,i}$ e $A_{y,n,i}$, τ_r è la resistenza tangenziale media della muratura.
E' possibile confrontare il taglio resistente a tutti i piani, $V_{r,i}$, con il taglio sollecitante, $V_{s,i}$, ottenuto applicando alla struttura una distribuzione di forze statiche equivalenti ottenuta considerando un'accelerazione spettrale unitaria. In termini analitici, la forza da applicare alla generica massa di piano i-esima dell'edificio è data dalla seguente relazione:

$$F_i = 1g \cdot \frac{W}{g} \cdot \frac{z_i \cdot W_i}{\sum_{j=1}^{N} z_j \cdot W_j}$$

dove z_i, W_i, z_j, W_j sono, rispettivamente, la quota rispetto al piano di fondazione ed il peso del piano i-esimo e j-esimo, g è l'accelerazione di gravità e W è il peso totale dell'edificio:

$$W = \sum_{i=1}^{N} W_i$$

Il taglio sollecitante del generico piano i-esimo è pari alla sommatoria delle forze applicate ai piani sovrastanti:

$$V_{s,i} = \sum_{k=1}^{N} F_k$$

I rapporti tra i tagli resistenti e sollecitanti permettono di individuare il piano più debole (quello con il valore minimo di tale rapporto) e di definire la resistenza dell'edificio in termini di accelerazione spettrale (S_a). Si riportano in Tabella 4 i valori dei tagli resistenti, dei tagli sollecitanti e dei rapporti tra essi, per ogni piano dell'edificio:

Tabella 4. Valori dei tagli resistenti e sollecitanti.

	Piano Terra
V_r [kN]	701
V_s [kN]	4082
V_r / V_s	0.172

Nel caso in esame il piano debole risulta essere il Piano Terra, caratterizzato da un taglio resistente di 701 kN.

Di conseguenza la pseudo-accelerazione risulta pari a $S_a = 0.172g$.

Tale valore di accelerazione è tuttavia fortemente convenzionale, poiché non considera la reale complessità della costruzione in esame.

7.2. Calcolo del coefficiente riduttivo della resistenza del fabbricato (C_{rid})

L'adeguamento della capacità convenzionale ad un valore realistico viene effettuata facendo uso di dieci degli undici parametri contenuti nella scheda di vulnerabilità sismica di II livello [3]; viene escluso solamente il parametro che calcola la capacità resistente del fabbricato (parametro n°3), in quanto già valutata. I parametri sono utilizzati per ottenere un coefficiente riduttivo della resistenza del fabbricato. Si analizzano i singoli parametri indicando per ognuno di essi la classe di appartenenza in accordo con il manuale per la compilazione della scheda di vulnerabilità sismica GNDT di II livello della Regione Toscana [6]:

Parametro 1. Tipo ed organizzazione del sistema resistente

Esprime il grado di funzionamento scatolare dell'organismo murario attraverso il rilievo della presenza e dell'efficacia dei collegamenti delle murature con ammorsature agli spigoli ai diversi piani.
Con questa voce si valuta il grado di organizzazione degli elementi verticali, prescindendo dal materiale e dalle caratteristiche delle singole murature: l'elemento significativo è la presenza e l'efficacia dei collegamenti fra pareti ortogonali, tali da assicurare l'efficienza del comportamento scatolare della struttura.
Particolare attenzione va riposta nell'analisi dei cantonali e dei martelli murari dell'edificio e nel grado di collegamento fra le murature portanti ed i solai.
La classe individuata è definita come segue:

Classe **B**: Edifici che presentano buoni ammorsamenti tra le pareti ortogonali e collegamenti a tutti i livelli e su tutti i lati liberi realizzati mediante cordoli perimetrali armati o debolmente armati, catene o altro.

	Classe **A**	Classe **B**	Classe **C**	Classe **D**
Edificio oggetto di analisi		**X**		

Parametro 2. Qualità del sistema resistente

Si tiene conto con questa voce dei diversi tipi di muratura più frequentemente utilizzati, differenziandone, in modo qualitativo, le caratteristiche di resistenza. al fine di valutarne l'efficienza.
In questo parametro è determinante l'omogeneità e la fattura del tessuto murario.
La qualità del sistema resistente dipende dai seguenti fattori:
1. il tipo di materiale;
2. il tipo di apparecchiatura muraria;
3. il tipo di connessioni.

Per individuare la classe di appartenenza della muratura oggetto di indagine si propone il seguente procedimento basato su tre livelli successivi di conoscenza:

- *primo livello*: tipo di paramento.

A	Muratura in laterizio, pieno e semipieno (% foratura ≤ 45%)

- *secondo livello*: apparecchiatura muraria.

L'apparecchiatura del paramento murario in esame può essere classificata come organizzata (Ao) o disorganizzata (Ad), secondo quanto specificato ad inizio paragrafo. I criteri che permettono di stabilire se una muratura risulta organizzata o meno riguardano due aspetti principali: l'orizzontalità

dei filari, che deve interessare il più possibile l'intera lunghezza e altezza del paramento murario e lo sfalsamento dei giunti verticali, secondo il quale il generico giunto verticale deve trovarsi in corrispondenza della zona centrale dell'elemento sottostante.

- *terzo livello*: qualità della malta

Laddove è possibile si valuti lo stato di conservazione delle malte che vengono così suddivise in buone (Mb) (se di tipo cementizio o idraulico purché resistenti a scalfittura di oggetti metallici) e cattive (Mc) (se del tutto inconsistenti o farinose).
Il procedimento sopra esposto viene riassunto in un apposito abaco, nel quale viene indicata la classe di appartenenza della muratura in esame:

Tipologia L			
Ao		Ad	
A		B	
Mb	Mc	Mb	Mc
A	A/B	B	C

Si riportano di seguito in sintesi la descrizione della classe:

Classe		
A	Murature in mattoni pieni. Buona apparecchiatura muraria ed accurata fattura dei giunti di malta orizzontali e verticali. Malta di buona qualità.	**X**

	Tipo di paramento	Apparecchiatura muraria		Qualità della malta		Classe			
Edificio oggetto di analisi	A-Z	Ao	Ad	Mb	Mc	A	B	C	D
	L	X		X		X			

<u>Parametro 4. Posizione dell'edificio e fondazioni</u>

Esprime una valutazione sintetica sia della posizione dell'edificio, in relazione al terreno della zona circostante, che delle fondazioni, in relazione al tipo di terreno e alle differenze del piano di posa.
Ci si limita a considerare alcuni aspetti:
-pendenza percentuale del terreno
-consistenza del terreno: da relazione geologica del fabbricato o dei fabbricati limitrofi o da ricognizione, roccia solo se affiorante
- presenza di fondazioni
- eventuale presenza di fondazioni a quote diverse

Classe		
A	Edifici posti su terreno sciolto non spingente senza fondazioni o con fondazioni scarse con pendenze minori o al massimo eguali al 10% e piano di posa delle fondazioni ad un'unica quota ($\Delta h=0$).	**X**

Parametro 5. Orizzontamenti

Esprime il ruolo degli orizzontamenti nell'ottica di un buon funzionamento scatolare dell'edificio, attraverso buoni collegamenti alle pareti verticali ed un'elevata rigidezza dell'orizzontamento nel proprio piano. Vengono privilegiati i collegamenti alle pareti verticali rispetto alla rigidezza (comportamento a diaframma), che spesso è sinonimo di pesantezza, specialmente in taluni errati interventi di miglioramento sismico.

Si tiene conto dei seguenti requisiti:

a) funzionamento a lastra ed elevata rigidezza per deformazioni nel suo piano (perciò buona connessione degli elementi costruttivi);

b) efficace collegamento agli elementi verticali resistenti;

c) differenza elevata di resistenza e rigidezza tra gli orizzontamenti e la muratura dell'edificio.

La classe è definita come segue:

Classe **A:** Edifici con orizzontamenti di qualsiasi natura purché questi soddisfino a tre condizioni:

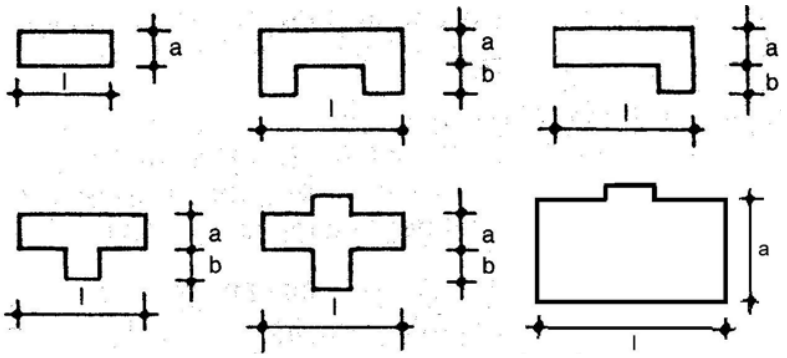
a. deformabilità, nel piano del solaio, trascurabile
b. collegamenti efficaci fra orizzontamento e parete
c. assenza di piani sfalsati

	Rigidezza del piano	Efficacia collegamenti	Classe **A**	Classe **B**	Classe **C**	Classe **D**
Edificio oggetto di analisi	si	si	**X**			

Parametro 6. Configurazione planimetrica

Il comportamento sismico di un edificio dipende, a parità di altri fattori, anche dalla pianta dell'edificio stesso.

Nel caso di edifici rettangolari è significativo il rapporto β1 = a/lx100 fra le dimensioni del lato minore e del lato maggiore. Nel caso di piante che si scostano dalla forma rettangolare, oltre alla forma allungata del corpo principale (misurata dal parametro β1 sopra definito) è necessario tener conto dell'entità di tale scostamento: ciò può essere fatto mediante il parametro β2, definito come β2 = b/lx100, ossia come il rapporto tra la dimensione di tale scostamento e la dimensione maggiore in pianta.



Classe **A**		Classe **B**		Classe **C**		Classe **D**	
$\beta_1 \geq 80$	$\beta_2 \leq 10$	$60 \leq \beta_1 < 80$	$10 < \beta_2 \leq 20$	$40 \leq \beta_1 < 60$	$20 < \beta_2 \leq 30$	$\beta_1 < 40$	$\beta_1 < 40$

	$\beta_1 = \frac{a}{l} \cdot 100$	$\beta_2 = \frac{b}{l} \cdot 100$	Classe **A**	Classe **B**	Classe **C**	Classe **D**
Edificio oggetto di analisi	79			**X**		

Parametro 7. Configurazione in elevazione

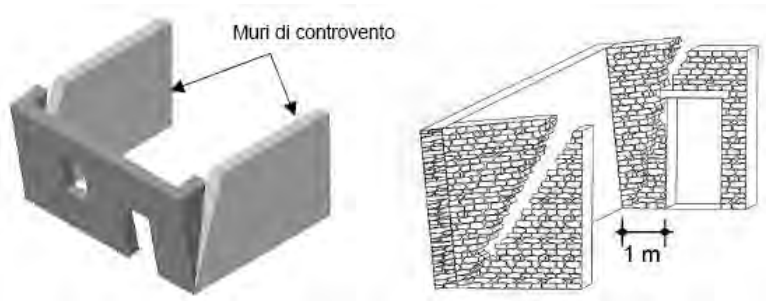
Nel caso di edifici in muratura, soprattutto per quelli più vecchi, la principale causa di irregolarità è costituita dalla presenza di porticati, loggiati e altane. Altro elemento da valutare è la presenza di torri o torrette di altezza e massa significativa rispetto a quelle della restante parte dell'edificio.
Per la valutazione delle variazioni di massa si tiene conto del rapporto $\pm \Delta M/M$ in cui:
ΔM è la variazione di massa fra due piani successivi dal basso verso l'alto: con il segno + se si tratta di aumento, con il segno - se si tratta di diminuzione.
M è la massa del piano inferiore.
Il caso da valutare è quello più sfavorevole. Variazioni percentuali inferiori al 10% possono essere valutate come nulle.

± ΔM/M [%]	T/H [%]	Superficie porticata [%]
0 %	0 %	0 %

Classe		
A	Edifici con distribuzione di masse o di elementi resistenti praticamente uniforme su tutta l'altezza;	**X**

Parametro 8. Distanza massima tra le murature

Con tale voce si tiene conto della presenza di pareti (esclusi tramezzi) intersecate da muri trasversali, capaci di costituire un vincolo efficace per i tratti considerati, posti a distanza eccessiva fra loro. Nel caso di aperture su muri di controvento poste a distanza inferiore ad 1 m dallo spigolo, non si considerano tali muri capaci di costituire un vincolo efficace.



Le classi sono definite in funzione del rapporto più sfavorevole fra l'interasse tra i muri trasversali e lo spessore della parete considerata.

Classe		
B	Edifici con rapporto interasse/spessore maggiore di 15 e non superiore a 18	**X**

Parametro 9. Copertura

Gli elementi che caratterizzano l'influenza delle coperture sul comportamento sismico di un edificio sono essenzialmente quattro: 1. l'eventuale azione spingente sulle murature perimetrali; 2. l'efficacia del collegamento della struttura della copertura alle murature d'ambito; 3. il peso, in termini di massa sismica; 4. la differenza di rigidezza e resistenza rispetto a quelle della muratura dell'edificio.

Classe		
B	Edifici con copertura poco spingente provvisti di cordolo di sottotetto e/o catene	**X**

Parametro 10. Elementi non strutturali

Si tiene conto con questa voce di infissi, appendici e aggetti che possono causare con la caduta danno a persone o a cose. Si tratta di un elemento secondario ai fini della valutazione della vulnerabilità e per il quale non ha senso operare distinzioni fra le prime due classi.

Classe		
A	Edifici privi di appendici o aggetti o controsoffitti.	**X**

Parametro 11. Stato di fatto

Si tiene conto con questa voce dello stato di conservazione degli edifici.

Classe		
A	Murature in buone condizioni senza lesioni visibili.	**X**

Si riportano nella seguente tabella le classi di vulnerabilità relative all'edificio oggetto di analisi:

N°	Parametri	Classe
1	1. Tipo ed organizzazione del sistema resistente	B
2	2. Qualità del sistema resistente	A
3	4. Posizione dell'edificio e fondazioni	A
4	5. Orizzontamenti	A
5	6. Configurazione planimetrica	B
6	7. Configurazione in elevazione	A
7	8. Distanza massima tra le murature	B
8	9. Copertura	B
9	10. Elementi non strutturali	A
10	11. Stato di fatto	A

Definite le classi di vulnerabilità relative all'edificio in oggetto, in accordo con il manuale per la compilazione della scheda di vulnerabilità sismica GNDT di II livello della Regione Toscana [6], al generico parametro i-esimo corrisponderà univocamente un solo punteggio, p_i, ed un peso w_i. Pertanto, per ogni parametro si valuta il prodotto, $K_i = p_i \cdot w_i$.
Gli stessi prodotti devono essere valutati nell'ipotesi che l'edificio in esame abbia tutti i parametri in classe D (la peggiore):

$$K_i(D) = p_i(D) \cdot w_i$$

Tutti questi ultimi devono poi essere sommati per ottenere la sommatoria, K_{pegg}:

$$K_{pegg} = \sum_{i=1}^{10} K_i(D)$$

Il coefficiente riduttivo C_{rid}, si determina attraverso la seguente relazione:

$$C_{rid} = \prod_{i=1}^{10} \left(1 - \alpha \cdot \frac{K_i}{K_{pegg}} \right)$$

al variare di tale parametro viene stabilito il limite inferiore (tutti i parametri in classe D) dell'intervallo di variazione del coefficiente riduttivo, C_{rid}. Il limite superiore (tutti i parametri in classa A), invece, è fisso ed è pari all'unità Facendo uso di metodologie di riferimento riconosciute [1,2], α è stato definito in modo tale da fornire un limite inferiore per il coefficiente riduttivo, C_{rid}, pari a 0.60.

C_{rid}	
Limite inferiore	0.60
Edificio in esame	0.96
Limite superiore	1.00

Il limite inferiore è stato fissato ad un valore di 0.60 per un valore del coefficiente di calibrazione α pari a 0.50.
L'accelerazione spettrale, precedentemente determinata, viene ridotta mediante il coefficiente C_{rid}:

$$S_{a,c} = C_{rid} \cdot S_a$$

Pertanto la pseudo-accelerazione di collasso dell'edificio è $S_{a,c} = 0.190g$

7.3. Calcolo dell'accelerazione al suolo di collasso dell'edificio (PGA_c)

Il passaggio dalla pseudo-accelerazione ($S_{a,c} = 0.190g$) all'accelerazione al suolo che porta a collasso la struttura, PGA_c, è stabilito dalla seguente relazione [1,2]:

$$PGA_c = \frac{S_{a,c}}{\alpha_{PM} \cdot \alpha_{AD} \cdot \alpha_{DT} \cdot \left(\frac{1}{\alpha_{DUC}}\right)}$$

dove α_{PM} è il coefficiente di partecipazione modale, α_{AD} è il coefficiente di amplificazione spettrale, α_{DT} è un coefficiente che tiene conto dei fenomeni dissipativi, α_{DUC} è il fattore di struttura. I valori assunti per tali parametri sono riportati nella seguente tabella:

Parametri	Valori
α_{PM}	1
α_{AD}	2.5
α_{DT}	0.8
α_{DUC}	2

L'accelerazione al suolo di collasso dell'edificio in esame è $PGA_c = 0.190g$.

8. *Vulnerabilità e confronto Domanda – Offerta*

I valori di riferimento ottenuti dalla compilazione della scheda e dalla valutazione statistica della *PGA* sono i seguenti:

- $PGA_C = 0.190g$
- $PGA_D(SLV) = a_g \cdot S_T \cdot S_S = 0.204g \cdot 1.0 \cdot 1.397 = 0.285g$ relativamente a $T_R = 712$ anni
- $PGA_C / PGA_D(SLV) = 0.668$

7

La capacità resistente corrisponde pertanto al **57 %** dell'accelerazione attesa, relativamente allo stato limite di salvaguardia della vita.

9. *Classificazione RE.SIS.TO®*

Al fine di migliorare la percezione dei risultati dell'analisi si introduce una classificazione semplificata denominata *RE.SIS.TO®* (acronimo di Resistenza Sismica Totale). La rappresentazione viene effettuata mediante una scala cromatica (utilizzando i colori dal rosso al verde) ed assegnando delle Classi Qualitative da I a V assegnate in funzione:

1) del rapporto PGA_C / PGA_D (vedi tabella seguente)
2) delle eventuali vulnerabilità locali riscontrate durante i sopralluoghi e ritenute significative

PGA_c / PGA_d	Classe di resistenza
0% - 25%	V
25% - 50%	IV
50% - 75%	III
75% - 100%	II
> 100%	I

Per l'edificio in esame risulta:

- $\dfrac{PGA_c}{PGA_d} = 66.8\%$

In base ai risultati ottenuti, l'edificio si trova in **Classe III**.

10. Possibili interventi

Per rendere l'edificio in grado di sopportare le azioni sismiche, secondo quamto prescritto dalla Normativa vigente, sarà necessario eseguire una valutazione di vulnerabilità sismica globale dell'edificio.

11. Riferimenti normativi e bibliografici

[1] Dolce M., Masi A., Moroni C., Liberatore D., Laterza M., Ponzo F., Cacosso A., D'Alessandro G., Faggella M., Gigliotti R., Perillo G., Samela L., Santarsiero G., Spera G., Suano P., Vona M., 2004. Valutazione della vulnerabilità sismica di edifici scolastici della Provincia di Potenza. *XI Congresso Nazionale "L'ingegneria Sismica in Italia"*. 25-29 Gennaio, Genova.
[2] Dolce M., Moroni C., 2005. La valutazione della Vulnerabilità e del Rischio Sismico degli Edifici Pubblici mediante le procedure VC e VM. *Progetto SAVE, Atti di Dipartimento, vol n. 4.*
[3] Gruppo Nazionale per la Difesa dai Terremoti, 1994. *Schede di 1° e 2° livello di vulnerabilità e di rilevamento del danno (edifici in c.a. e muratura)*.
[4] Ministero Infrastrutture e Trasporti, Circolare n. 617 del 2 febbraio 2009. *Istruzioni per l'applicazione delle "Nuove norme tecniche per le costruzioni" di cui al D.M. 14 gennaio 2008*, G.U. 26-2-2009, N. 47 - suppl.ord. N. 27.
[5] Ministero Infrastrutture e Trasporti, D.M. 14 gennaio 2008. *Norme Tecniche per le Costruzioni* , G.U. 4-2-2008, N. 29.
[6] Regione Toscana, 2003. Manuale per la compilazione della scheda GNDT/CNR di II livello versione modificata della Regione Toscana, Direzione Generale delle Politiche Territoriali ad Ambientali, Settore: Servizio Sismico Regionale.

12. Allegato 1: scheda di sintesi

Nome del corpo	Scuola Elementare Paolantonio Plesso Nuovo
Indirizzo	Via M.Buonarroti, Loc Paolantonio, Comune di Sant'Egidio alla Vibrata
Anno di costruzione	1965-1966
Tipologia strutturale	Struttura in muratura
Breve descrizione della struttura	L'edificio oggetto di studio presenta una forma irregolare ma inscrivibile in un rettangolo. La struttura portante verticale è in muratura a mattoni pieni a due teste per un spessore di circa 40 cm. I solai di sottotetto sono realizzati con soletta in c.a., mentre quelli di copertura con laterizio tipo SAP e soletta in calcestruzzo (tali informazioni sono state dedotte dalla documentazione fornita dal committente). Al piano del solaio di sottotetto sono stati realizzati cordoli in c.a. Si riporta una pianta tipo del Piano Tipo del fabbricato.
N° di piani	1 (piano terra)
Area di piano media [m^2]	249
Peso di piano medio [kN]	4082

PARAMETRI DI VULNERABILITA'

N°	Parametro	Classe	Punteggio	Peso
1	Tipo ed organizzazione del sistema resistente	B	5.00	1.50
2	Qualità del sistema resistente	A	0.00	0.25
4	Posizione dell'edificio e fondazioni	A	0.00	0.75
5	Orizzontamenti	A	0.00	1.00
6	Configurazione planimetrica	B	5.00	0.50
7	Configurazione in elevazione	A	0.00	1.00
8	Distanza massima tra le murature	B	5.00	0.25
9	Copertura	B	15.00	1.00
10	Elementi non strutturali	A	0.00	0.25
11	Stato di fatto	A	0.00	1.00
Coefficiente riduttivo C_{rid}		**Val. effettivo**	**Lim. Inferiore**	**Lim. Sup.**
		0.96	0.60	1.00
Coefficiente di calibrazione α		0.50		

PARAMETRI DI CAPACITA'

	Piano Terra				
Area elementi resistenti direzione X [m^2]	15.75				
Area elementi resistenti direzione Y [m^2]	13.93				
Taglio resistente di piano [kN]	701				
Piano più sfavorito	X				
Pseudo-accelerazione di collasso [g]	0.190				
Parametri per il calcolo della PGA di collasso	α_{PM}= 1	α_{AD}= 2.5	α_{DT}= 0.8	α_{DUC}=2.0	
PGA di collasso [g]	0.190				

PARAMETRI DI DOMANDA

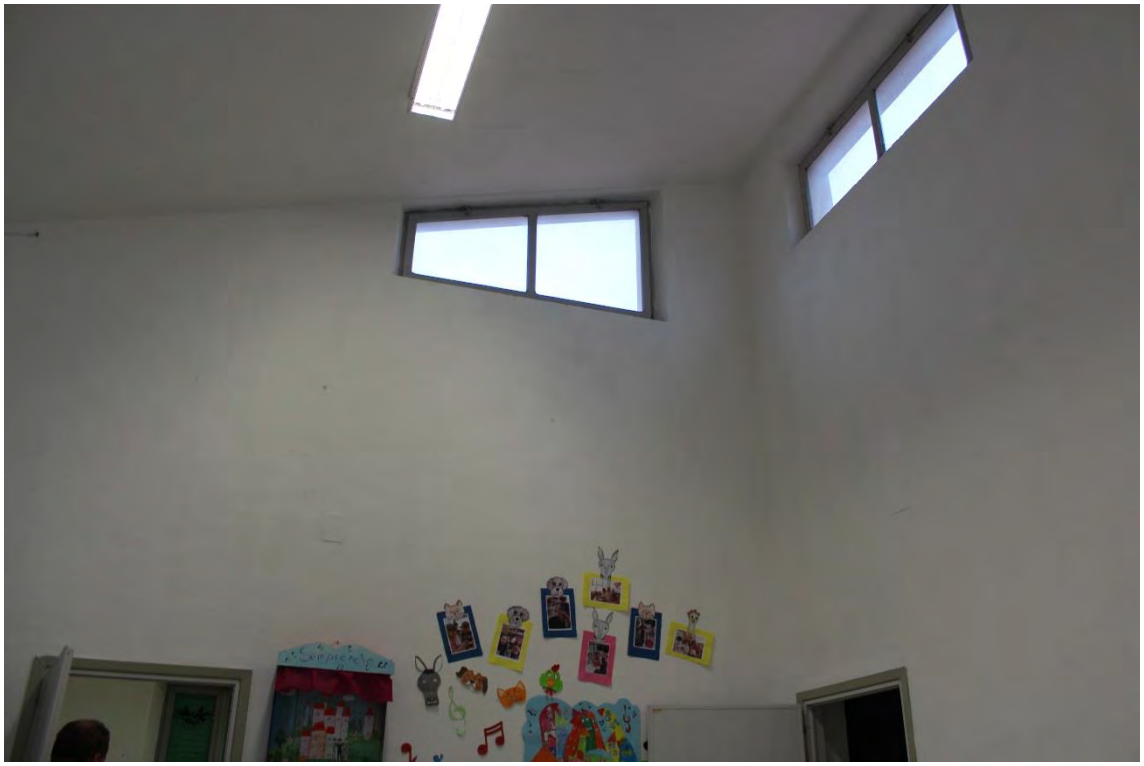
Accelerazione al suolo di domanda	**PGA (SLD) [g]**	0.084	**T_R [anni]**	75 anni
	PGA (SLV) [g]	0.204	**T_R [anni]**	712 anni

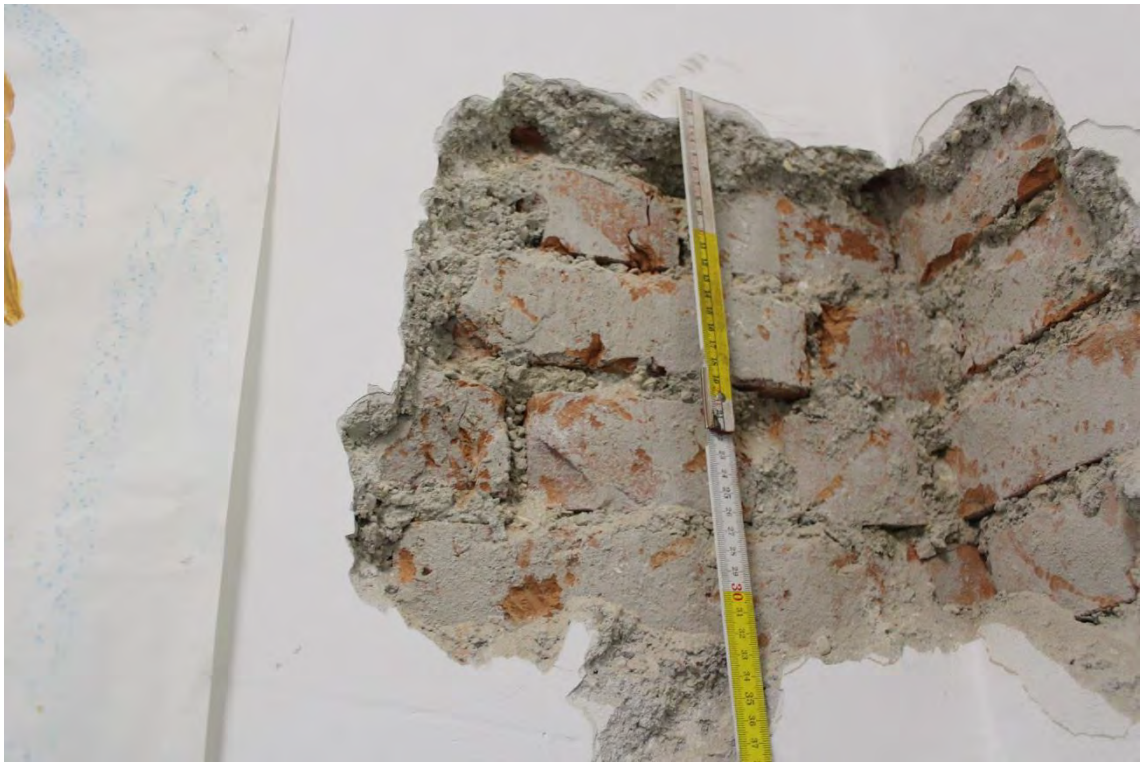
Rapporto OFFERTA – DOMANDA

66.8%

DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA

30





Bologna, li 11/11/2016

Collaboratori

Ing. Andrea Incerti
Ing. Anna Lisa Vinciguerra
CIRI – Edilizia e Costruzioni
Scuola di Ingegneria e Architettura
Università di Bologna

Responsabile scientifico

Prof. Ing. Claudio Mazzotti
DICAM
Scuola di Ingegneria e Architettura
Università di Bologna

Direttore del CIRI Edilizia e Costruzioni

Prof. Ing. Claudio Mazzotti
DICAM
Scuola di Ingegneria e Architettura
Università di Bologna

CIRI - EDILIZIA E COSTRUZIONI
ALMA MATER STUDIORUM - UNIVERSITÀ DI BOLOGNA
Via del Lazzaretto, 15/5 - 40131 - BOLOGNA - ITALIA
C.F. 80007010376 – P.I. 01131710376