



# CIRI EDILIZIA E COSTRUZIONI

CENTRO INTERDIPARTIMENTALE DI RICERCA INDUSTRIALE  
ALMA MATER STUDIORUM - UNIVERSITÀ DI BOLOGNA

## CONVENZIONE DI RICERCA CON **PROVINCIA DI RAVENNA**

**ISAM – “G. Severini”**  
**Via P. Alighieri, 8 - RAVENNA**

### “VALUTAZIONE DI VULNERABILITA' SISMICA”



#### RELAZIONE TECNICO ILLUSTRATIVA

#### CORPO B

**Collaboratori**  
**Ing. Lorenzo Bacci**  
**Ing. Ciriaco Chinni**  
**Ing. Andrea Incerti**  
**Ing. Anna Lisa Vinciguerra**

**Direttore**  
**Prof. Ing. Marco Savoia**

**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 .....	6
7. STIMA DELLA CAPACITÀ.....	9
7.1. Valutazione dei tagli resistenti di piano e della pseudo-accelerazione .....	9
7.2. Calcolo del coefficiente riduttivo della resistenza del fabbricato ( $C_{rid}$ ).....	12
7.3. Calcolo dell'accelerazione al suolo di collasso dell'edificio ( $PGA_c$ ) .....	17
8. VULNERABILITÀ E CONFRONTO DOMANDA – OFFERTA.....	18
9. CLASSIFICAZIONE RE.SIS.TO® .....	18
10. POSSIBILI INTERVENTI .....	19
11. RIFERIMENTI NORMATIVI E BIBLIOGRAFICI.....	19
12. ALLEGATO 1: SCHEDE DI SINTESI .....	20
1. ALLEGATO 2: DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA .....	21

## 1. Premessa

La presente relazione riguarda la valutazione speditiva del livello di vulnerabilità sismica dell'ISAM "G. Severini" sito in via Pietro Alighieri, 8 Ravenna.

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*<sup>®</sup>.

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 l'Istituto Severini è collocata nel centro della città di Ravenna. La zona in esame è totalmente pianeggiante di estensione circa pari a circa 2000 mq, su via P.Alighieri si aprono gli ingressi all'edificio ed al cortile interno.

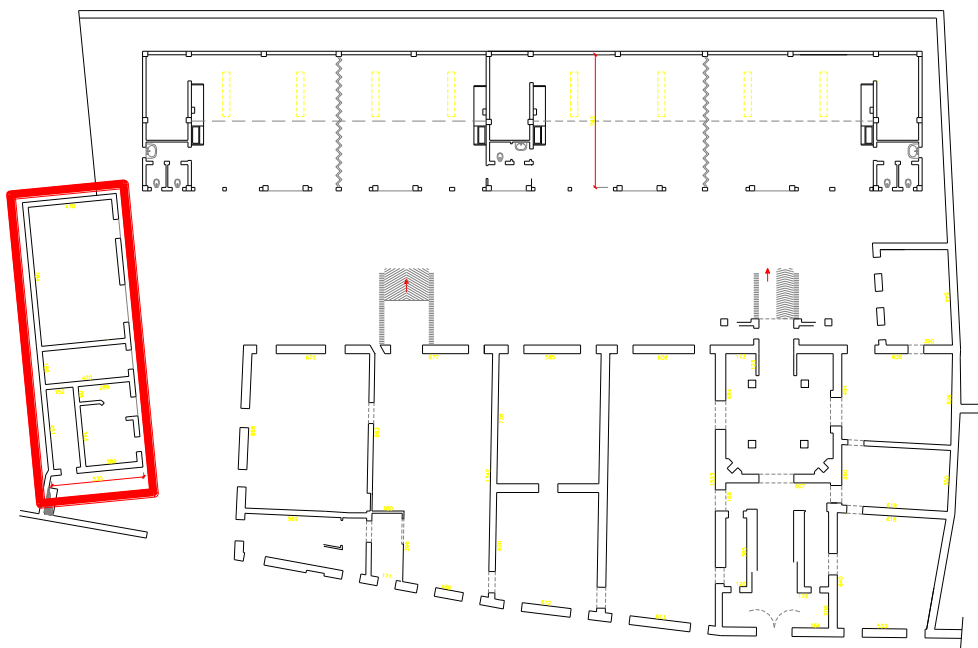


### 3. Descrizione della struttura

L'edificio oggetto della presente relazione si inserisce in un complesso la cui età di costruzione o di successivi interventi di ristrutturazione o ampliamento è piuttosto articolata.

L'Istituto oggetto di studio è composto da tre edifici, il corpo principale in muratura che si sviluppa in adiacenza a via P. Alighieri (Corpo A), un edificio adibito a magazzino (Corpo B), anch'esso in muratura, ed il corpo laboratori, realizzato con struttura prefabbricata, che si affaccia sul cortile interno dal lato opposto al corpo principale aule.

L'oggetto della presente relazione è il "Corpo B". L'edificio è articolato in due piani completamente fuori terra, i solai sono realizzati in latero cemento, non sono stati riscontrati cordoli di piano o altri sistemi di ritegno e collegamento dei maschi murari. La copertura è di tipo pesante.







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  $V_R \leq 35$  anni si pone comunque  $V_R = 35$  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 COSTRUZIONE		Vita Nominale $V_N$ (in anni)
1	Opere provvisorie – Opere provvisionali - Strutture in fase costruttiva <sup>1</sup>	$\leq 10$
2	Opere ordinarie, ponti, opere infrastrutturali e dighe di dimensioni contenute o di importanza normale	$\geq 50$
3	Grandi opere, ponti, opere infrastrutturali e dighe di grandi dimensioni o di importanza strategica	$\geq 100$

	$V_N$	Classe	$C_U$	$V_R$
<b>Edificio oggetto di analisi</b>	50	III	1.5	75

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

Stati Limite		$P_{VR}$ : Probabilità di superamento nel periodo di riferimento $V_R$
Stati limite di esercizio	SLO	81%
	SLD	63%
Stati limite ultimi	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  $T_R$  :

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

$T_R$  (SLV)= 712 anni

$T_R$  (SLD)= 75 anni

La posizione dell'Istituto "G. Severini" è identificata dalle coordinate: 44.420944,12.199354.

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

$a_g = 0.071g$

$F_0 = 2.470$

$T_C^* = 0.284 \text{ sec}$

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

$a_g = 0.188g$

$F_0 = 2.525$

$T_C^* = 0.283 \text{ sec}$

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) = 0.071g

$a_g$  (SLV) = 0.188g

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)=1,415, 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) =  $a_g \cdot S_T \cdot S_s = 0.071g \cdot 1.0 \cdot 1.5 = 0.107g$  relativamente a  $T_R=75$  anni

$PGA_D$  (SLV) =  $a_g \cdot S_T \cdot S_s = 0.188g \cdot 1.0 \cdot 1,415 = 0.266g$  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

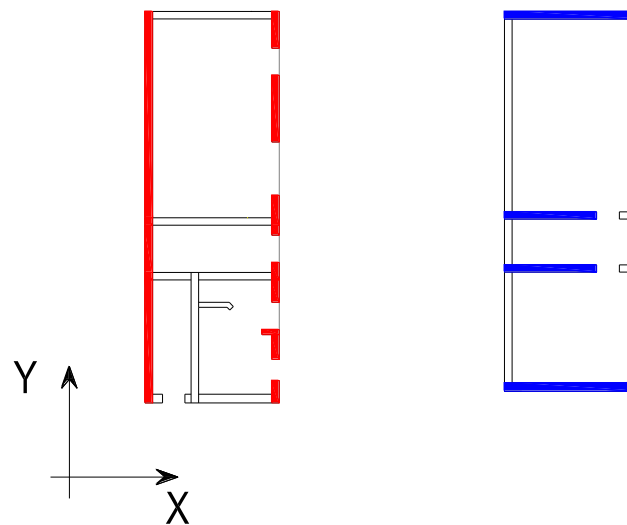
Il taglio resistente del generico piano  $i$ -esimo (il piano terra è identificato dall'indice "i" unitario) deve essere valutato attenendosi alla seguente procedura.

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:

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

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 di seguito le rappresentazioni grafiche delle aree dei maschi murari resistenti nelle direzioni  $x$  e  $y$  e una tabella con i valori determinati con l'ausilio del CAD.



	<b>Piano Terra</b>	<b>Piano Primo</b>
$A_x$ [m <sup>2</sup> ]	5.3	5.3
$A_y$ [m <sup>2</sup> ]	7.4	7.4
$A_{tot}$ [m <sup>2</sup> ]	12.7	12.7

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 nella tabella in basso:

<b>Tipologia di muratura</b>	$f_m$ [N/cm <sup>2</sup> ]	$\tau_0$ [N/cm <sup>2</sup> ]	<b>E</b> [N/mm <sup>2</sup> ]	<b>G</b> [N/mm <sup>2</sup> ]	<b>w</b> [kN/m <sup>3</sup> ]
	min-max	min-max	min-max	min-max	
Muratura in mattoni pieni e malta di calce	240	6.0	1200	400	18
	400	9.2	1800	600	

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, 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 i valori ottenuti per i diversi piani del fabbricato:

	<b>Piano Primo</b>	<b>Copertura</b>
$q$ [kN/m <sup>2</sup> ]	13.86	12.36
	<b>Piano terra</b>	<b>Piano sec.</b>
$\sigma_0$ [N/mm <sup>2</sup> ]	0.17	0.08

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  $A_{y,n,i}$ ,  $\tau_r$  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 nella seguente tabella i valori dei tagli resistenti, dei tagli sollecitanti e dei rapporti tra essi, per ogni piano dell'edificio:

	<b>Piano Terra</b>	<b>Piano Primo</b>
$V_r$ [kN]	290	217
$V_s$ [kN]	1378	2151
$V_r / V_s$	0.135	0.157

Nel caso in esame il piano debole risulta essere il Piano Terra, caratterizzato da un taglio resistente di 290 kN. Di conseguenza la pseudo-accelerazione risulta pari a  $S_a = 0.135g$ .

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:

<b>Classe</b>	
<b>D</b>	Edifici con pareti ortogonali non efficacemente ammorsate fra loro, assenza di cordoli o catene a tutti i piani

#### **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.

<b>L</b>	Muratura in laterizio, pieno e semipieno (% foratura $\leq 45\%$ )
----------	--

- *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 A			
Ao		Ad	
X			
Mb	Mc	Mb	Mc
X			

Si riportano di seguito in sintesi la descrizione della classe:

Classe	
<b>A</b>	Murature in mattoni pieni. Buona apparecchiatura muraria e malta in buone condizioni

**Parametro 4. Posizione dell'edificio e fondazioni**

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	
<b>B</b>	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 ( $\Delta h=0$ ).

**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 rigidità dell'orizzontamento nel proprio piano. Vengono privilegiati i collegamenti alle pareti verticali rispetto alla rigidità (comportamento a diaframma), che spesso è sinonimo di pesantezza, specialmente in taluni errati interventi di miglioramento sismico.

Si tiene conto dei seguenti requisiti:

- funzionamento a lastra ed elevata rigidità per deformazioni nel suo piano (perciò buona connessione degli elementi costruttivi);
- efficace collegamento agli elementi verticali resistenti;
- differenza elevata di resistenza e rigidità tra gli orizzontamenti e la muratura dell'edificio.

La classe è definita come segue:

Classe **D**: - Edifici con orizzontamenti di qualsiasi natura mal collegati alle pareti

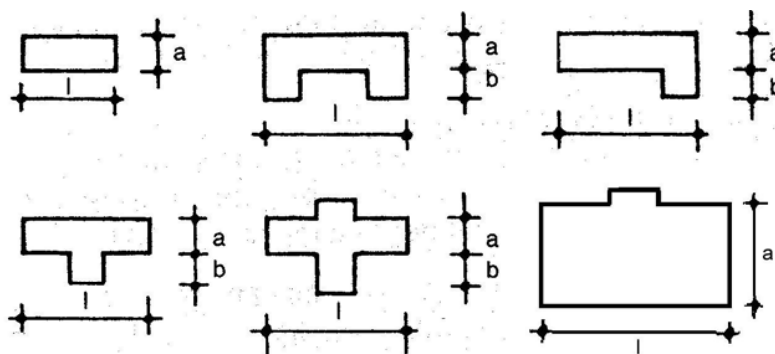
	Rigidità del piano	Efficacia collegamenti	Classe A	Classe B	Classe C	Classe D
Edificio oggetto di analisi	Poco deformabile	no				<b>X</b>

**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  $\beta_1 = a/l \times 100$  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  $\beta_1$  sopra definito) è necessario tener conto dell'entità di tale scostamento: ciò può essere fatto

mediante il parametro  $\beta_2$ , definito come  $\beta_2 = b/l \times 100$ , ossia come il rapporto tra la dimensione di tale scostamento e la dimensione maggiore in pianta.



Classe A:  $\beta_1 \geq 80$   $\beta_2 \leq 10$

Classe B:  $60 \leq \beta_1 < 80$   $10 < \beta_2 \leq 20$

Classe C:  $40 \leq \beta_1 < 60$   $20 < \beta_2 \leq 30$

Classe D:  $\beta_1 < 40$   $\beta_2 > 30$

L'assegnazione avviene sulla base della più sfavorevole delle condizioni poste dai due parametri  $\beta_1$  e  $\beta_2$ , nel presente caso si considera in classe D.

**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:

$\Delta M$  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.

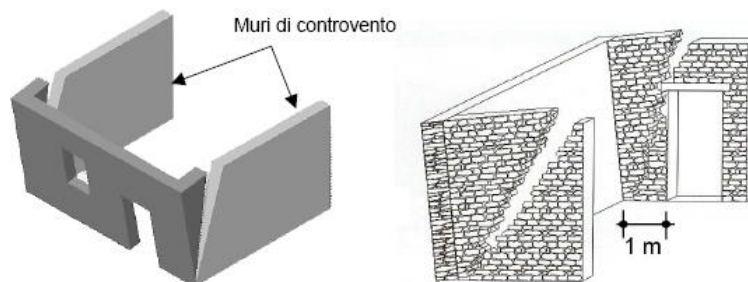
$M$  è la massa del piano inferiore.

Il caso da valutare è quello più sfavorevole. Variazioni percentuali inferiori al 10% possono essere valutate come nulle.

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

**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. Nel presente caso visto che alcuni dei maschi murari disposti sui perimetri esterni non hanno alcun vincolo al ribaltamento, si considera classe D.

Classe	Caratteristiche
D	Edificio con rapporto interasse/spessore superiore a 25

**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 rigidità e resistenza rispetto a quelle della muratura dell'edificio. Nel caso del Corpo A la classificazione C è dovuta al solaio di sottotetto costituito da travetti e tavelloni senza soletta superiore

Classe	Caratteristiche
C	Edifici con copertura non spingente costituita da elementi dotati di fragilità (es.



	coperture in travetti in laterizio armato o in c.a.p. e tavelloni di notevole lunghezza) e mal collegati alla struttura portante, privi di soletta superiore
--	--

**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	Caratteristiche
A	Edifici privi di appendici o aggetti o controsoffitti.

**Parametro 11. Stato di fatto**

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

Classe	Caratteristiche
B	Edifici che presentano lesioni capillari non diffuse.

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

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 classe A), invece, è fisso ed è pari all'unità. Facendo uso di metodologie di riferimento riconosciute [1,2],  $\alpha$  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	0.80
Limite superiore	1.00

Il limite inferiore è stato fissato ad un valore di 0.60 per un valore del coefficiente di calibrazione  $\alpha$  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  $S_{a,c} = 0.108g$

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

Il passaggio dalla pseudo-accelerazione ( $S_{a,c}=0.108g$ ) 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  $\alpha_{PM}$  è il coefficiente di partecipazione modale,  $\alpha_{AD}$  è il coefficiente di amplificazione spettrale,  $\alpha_{DT}$  è un coefficiente che tiene conto dei fenomeni dissipativi,  $\alpha_{DUC}$  è il fattore di struttura. I valori assunti per tali parametri sono riportati nella seguente tabella:

Parametri	Valori
$\alpha_{PM}$	0.8
$\alpha_{AD}$	2.5
$\alpha_{DT}$	0.8
$\alpha_{DUC}$	2

L'accelerazione al suolo di collasso dell'edificio in esame è  $PGA_c = 0.135g$ .

## 8. Vulnerabilità e confronto Domanda – Offerta

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

$$PGA_C = 0.135g$$

$$PGA_D(SLV) = ag \cdot S_T \cdot S_S = 0.188g \cdot 1.0 \cdot 1.415 = 0.266 \text{ relativamente a } T_R=712 \text{ anni}$$

$$PGA_C / PGA_D(SLV) = 0.51$$

La capacità resistente corrisponde pertanto al **51%** dell'accelerazione attesa, relativamente allo stato limite di salvaguardia della vita.

## 9. Classificazione RE.SIS.TO<sup>®</sup>

Al fine di migliorare la percezione dei risultati dell'analisi si introduce una classificazione semplificata denominata *RE.SIS.TO*<sup>®</sup> (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:

- $\frac{PGA_c}{PGA_d} = 51\% \rightarrow$  **Classe di resistenza III**
- In virtù delle vulnerabilità osservate, si assegna cautelativamente all'edificio la **Classe IV**.



## **10. Possibili interventi**

Sulla base delle vulnerabilità osservate si ritiene indispensabile procedere ad un pacchetto minimo di interventi progettuali costituito da un insieme sistematico di opere di collegamento da realizzare tra i maschi murari e gli impalcati ai vari livelli.

In tal modo si elimineranno i potenziali ribaltamenti fuori del piano dei maschi murari perimetrali, aggravati dalla contemporanea presenza delle volte al piano terra.

Allo stesso tempo si provvederà anche a rinforzare gli impalcati stessi in relazione alla loro capacità di trasferire carichi nel piano orizzontale.

Così facendo la struttura esistente potrà ritenersi più accettabile in relazione al rischio sismico previsto per la zona in questione.

Si ritiene tale pacchetto di interventi necessario a garantire la sicurezza nei confronti dei meccanismi più pericolosi, anche non sufficiente per poter ritenere la struttura adeguata sismicamente.

Per ottenere che l'edificio sia in grado di sopportare le azioni sismiche di Norma sarà necessario intervenire anche sui maschi murari e sulle fasce di piano, nell'ottica di una valutazione del comportamento 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

Corpo B				
				
Nome della scuola		ISAM G. Severini		
Indirizzo		Via P. Alighieri 8, Ravenna		
Anno di costruzione				
Tipologia strutturale		Struttura in muratura.		
Breve descrizione della struttura		L'edificio è articolato in due piani completamente fuori terra, i solai sono realizzati in latero cemento, non sono stati riscontrati cordoli di piano o altri sistemi di ritegno e collegamento dei maschi murari. La copertura è di tipo pesante.		
N° di piani		2 (piano terra, piano primo)		
Area di piano media [m <sup>2</sup> ]		82		
Peso di piano medio [kN]		1075		
PARAMETRI DI VULNERABILITA'				
N°	Parametro	Classe	Punteggio	Peso
1	Tipo ed organizzazione del sistema resistente	D	45.00	1.50
2	Qualità del sistema resistente	A	0.00	0.25
4	Posizione dell'edificio e fondazioni	B	5.00	0.75
5	Orizzontamenti	C	15.00	1.00
6	Configurazione planimetrica	D	45.00	0.50
7	Configurazione in elevazione	A	0.00	1.00
8	Distanza massima tra le murature	D	45.00	0.25
9	Copertura	C	25.00	0.75
10	Elementi non strutturali	B	0.00	0.25
11	Stato di fatto	B	2.00	1.00
Coefficiente riduttivo $C_{rid}$		Val. effettivo	Lim. Inferiore	Lim. Sup.
		0.80	0.60	1.00
Coefficiente di calibrazione $\alpha$		0.50		
PARAMETRI DI CAPACITA'				
		Piano Terra	1° Piano	
Area elementi resistenti direzione X [m <sup>2</sup> ]		5.30	5.30	
Area elementi resistenti direzione Y [m <sup>2</sup> ]		7.40	7.40	
Taglio resistente di piano [kN]		290	217	
Piano più sfavorito		X		
Pseudo-accelerazione di collasso [g]		0.108		
Parametri per il calcolo della PGA di collasso		$\alpha_{PM}=0.8$	$\alpha_{AD}=2.5$	$\alpha_{DT}=0.8$
PGA di collasso [g]		0.135		
PARAMETRI DI DOMANDA				
Accelerazione al suolo di domanda	PGA (SLD) [g]	0.1065	$T_R$ [anni]	75 anni
	PGA (SLV) [g]	0.2672	$T_R$ [anni]	712 anni
Rapporto OFFERTA – DOMANDA				
51%				



*1. Allegato 2: Documentazione fotografica*







Bologna, lì 18/09/2013

Collaboratori

Ing. Lorenzo Bacci

Ing. Ciriaco Chinni

Ing. Andrea Incerti

Ing. Anna Lisa Vinciguerra

Responsabile scientifico

Prof. Ing. Claudio Mazzotti

DICAM

Facoltà di Ingegneria

Università di Bologna

Direttore del CIRI Edilizia e Costruzioni

Prof. Ing. Marco Savoia