

## INDICE GENERALE

1	Introduzione.....	3
2	Descrizione del complesso scolastico.....	3
3	Normativa di riferimento e riferimenti tecnici.....	3
4	Procedure per la valutazione della sicurezza.....	4
4.1.	Analisi storico-critica.....	4
4.2.	Rilievo.....	4
4.3.	Caratterizzazione meccanica dei materiali.....	4
4.4.	Livello di conoscenza e fattore di confidenza.....	4
5	Relazione geotecnica e sulle fondazioni.....	5
6	Azioni sulle costruzioni.....	6
6.1.	Carichi permanenti.....	6
6.2.	Carichi variabili.....	6
7	Combinazione delle azioni nelle verifiche agli stati limite.....	7
8	Relazione sismica.....	8
8.1.	Vita nominale – Classe d’uso – Periodo di riferimento.....	8
8.2.	Categoria di sottosuolo e condizioni topografiche.....	8
8.3.	Stati limite e probabilità di superamento.....	8
8.4.	Parametri di pericolosità sismica di progetto.....	8
8.5.	Spettro di risposta in accelerazione delle componenti orizzontali allo SLV.....	9
8.5.1	Spettro di risposta elastico.....	9
8.5.2	Fattore di struttura e spettro di risposta di progetto allo SLV.....	11
9	Criteri di analisi e verifica dei corpi di fabbrica.....	12
9.1.	Caratteristiche dei modelli di calcolo ed ipotesi progettuali.....	12
9.2.	Giudizio motivato di accettabilità dei risultati.....	12
10	Documentazione fotografica.....	12
11	Allegati di calcolo: analisi e verifiche dei singoli corpi di fabbrica.....	13



## **1 Introduzione**

Oggetto della presente relazione è la valutazione della sicurezza ai sensi del D.M. 14/01/2008 del complesso scolastico elementare “L. Da Vinci” situato nel comune di Casarsa della Delizia.

## **2 Descrizione del complesso scolastico**

Il complesso scolastico in esame è composto da un insieme di corpi di fabbrica realizzati approssimativamente a partire dagli anni '50 del secolo scorso. La descrizione accurata delle varie unità strutturali, per la cui individuazione si può fare riferimento agli schemi grafici allegati alla presente relazione, è riportata nei corrispondenti allegati di calcolo.

## **3 Normativa di riferimento e riferimenti tecnici**

Per la valutazione della sicurezza dei corpi di fabbrica facenti parte del complesso scolastico oggetto della presente relazione sono state utilizzate le seguenti normative:

### **1. Legge 05.11.1971 n. 1086**

*“Norme per la disciplina delle opere di conglomerato cementizio armato, normale e precompresso ed a struttura metallica”;*

### **2. Legge 02.02.1974 n. 64**

*“Provvedimenti per le costruzioni con particolari prescrizioni per le zone sismiche”;*

### **3. Decreto Ministeriale 14.01.2008**

*“Norme tecniche per le costruzioni” (e relativi riferimenti tecnici);*

### **4. Circolare 02.02.2009 n. 617**

*“Istruzioni per l'applicazione delle -Nuove norme tecniche per le costruzioni- di cui al Decreto Ministeriale 14 gennaio 2008”;*

Per il progetto simulato delle strutture sono state inoltre impiegate le normative storiche indicate negli specifici allegati di calcolo.

## **4 Procedure per la valutazione della sicurezza**

Ai sensi del § 8.5 del D.M. 14/01/2008, il modello di calcolo per la valutazione della sicurezza è stato definito sulla base della procedura descritta nei seguenti paragrafi.

### **4.1. Analisi storico-critica**

Al fine della corretta individuazione del sistema strutturale e del suo stato di sollecitazione, è stata reperita presso l'archivio del Comune di Casarsa della Delizia la documentazione storica relativa ai vari corpi di fabbrica attraverso la quale è stato possibile ricostruirne il processo di realizzazione e le successive modificazioni subite nel tempo. I dati in possesso per i vari manufatti sono riportati nei rispettivi allegati di calcolo.

### **4.2. Rilievo**

La geometria complessiva dei corpi di fabbrica è stata rilevata in occasione dei sopralluoghi effettuati dal mese di Dicembre 2010 al mese di Marzo 2011. I dettagli di ogni rilievo sono riportati nei corrispondenti allegati di calcolo e negli elaborati grafici.

### **4.3. Caratterizzazione meccanica dei materiali**

Per quanto riguarda la caratterizzazione meccanica dei materiali, vista l'eterogeneità delle strutture in esame (muratura, c.a., acciaio), si rimanda per ogni corpo di fabbrica al corrispondente allegato di calcolo.

### **4.4. Livello di conoscenza e fattore di confidenza**

Gli aspetti che definiscono il livello di conoscenza raggiunto sono i seguenti:

- Geometria;
- Dettagli costruttivi;
- Proprietà dei materiali;

In funzione del grado di approfondimento delle indagini, si individuano tre livelli di conoscenza:

- LC1 : conoscenza limitata;
- LC2 : conoscenza adeguata;
- LC3 : conoscenza accurata;

Per ogni corpo di fabbrica esaminato si riporta nel corrispondente allegato la determinazione del livello di conoscenza raggiunto e del corrispondente fattore di confidenza.

## 5 **Relazione geotecnica e sulle fondazioni**

Per la determinazione dei parametri geotecnici del terreno di fondazione si è fatto riferimento alla Relazione Geologica redatta dal dott. geol. Daniela Croce nel mese di Aprile 2011 nella quale si evidenzia sostanzialmente che, al di sotto di uno strato superficiale di spessore variabile da 0,0 m a 1,5 m con scarse proprietà meccaniche, è presente una ghiaia sabbioso-limosa con ciottoli che presenta le seguenti caratteristiche:

$\gamma = 19,0 \text{ kN/m}^3$	peso di volume naturale
$\phi = 32 \div 35^\circ$	angolo di attrito interno
$c = 0,0 \div 5,0 \text{ kPa}$	coesione
$D_r = 0,6 \div 0,7$	densità relativa (depositi addensati)
$E_c = 80 \div 100 \text{ MPa}$	modulo di compressibilità

La falda acquifera, rilevata alla profondità di fondo scavo ovvero circa 1,30 m, in determinate situazioni può risalire fino alla quota del piano campagna.

Il terreno di fondazione non è suscettibile di liquefazione e, dal punto di vista della classificazione sismica del sottosuolo, esso rientra nella **categoria B** di cui al § 3.2.2 del D.M. 14 Gennaio 2008, che presenta le seguenti caratteristiche:

*“Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di  $V_{s,30}$  compresi tra 360 m/s e 800 m/s (ovvero  $N_{SPT,30} > 50$  nei terreni a grana grossa e  $c_{u,30} > 250 \text{ kPa}$  nei terreni a grana fina”*

## 6 Azioni sulle costruzioni

### 6.1. Carichi permanenti

Si assumono i pesi propri dei materiali di seguito riportati (in conformità al § 3.1.3.1, Tabella 3.1.I del D.M. 14/01/2008):

Calcestruzzo ordinario:	24,0 kN/m <sup>3</sup>
Calcestruzzo armato:	25,0 kN/m <sup>3</sup>
Acciaio:	78,5 kN/m <sup>3</sup>

Il dettaglio dei carichi permanenti viene riportato, per ogni corpo di fabbrica, nel corrispondente allegato.

### 6.2. Carichi variabili

Carico variabile neve Zona I – Alpina,  $a_s = 38$  m s.l.m. (< 200 m)

$q_{sk} = 1,500$ kN/m <sup>2</sup>	(carico caratteristico di neve al suolo)
$\alpha < 30^\circ$	→ $\mu_1 = 0,8$
$C_E = 1,0$	(coefficiente di esposizione)
$C_t = 1,0$	(coefficiente termico)
$q_s = 1,200$ kN/m <sup>2</sup>	(carico da neve in copertura)

---

<b>TOTALE Q</b>	<b>1,200</b> kN/m <sup>2</sup>
-----------------	--------------------------------

*Nota:* ai sensi del Decreto Ministeriale 18 Dicembre 1975 si assume un carico da neve in copertura pari a **1,500** kN/m<sup>2</sup>.

Carico variabile solai interni (Cat. C1, Tab. 3.1.II, D.M. 14/01/2008)	3,00	kN/m <sup>2</sup>
Carico variabile scale (Cat. C2, Tab. 3.1.II, D.M. 14/01/2008)	4,00	kN/m <sup>2</sup>

Si rimanda in ogni caso agli allegati specifici per la valutazione dei carichi variabili sul singolo corpo di fabbrica.

## 7 **Combinazione delle azioni nelle verifiche agli stati limite**

Di seguito vengono riportate le combinazioni delle azioni elementari negli stati limite presi in considerazione.

### **Combinazione fondamentale**

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

### **Combinazione rara (caratteristica)**

$$G_1 + G_2 + P + Q_{k1} + \psi_{02} \cdot Q_{k2} + \dots$$

### **Combinazione frequente**

$$G_1 + G_2 + P + \psi_{11} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \dots$$

### **Combinazione quasi permanente**

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

### **Combinazione sismica**

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

Gli effetti dell'azione sismica sono valutati tenendo conto delle masse associate ai seguenti carichi gravitazionali:

$$G_1 + G_2 + \sum_j \psi_{2j} \cdot Q_{kj}$$

## 8 **Relazione sismica**

### 8.1. Vita nominale – Classe d'uso – Periodo di riferimento

Tipo di costruzione	2	(§ 2.4.1, D.M. 14/01/08)
Vita nominale $V_N$	$\geq 50$ anni	(§ 2.4.1, D.M. 14/01/08)
Classe d'uso	III	(§ 2.4.2, D.M. 14/01/08)
Coefficiente d'uso $C_U$	1,5	(§ 2.4.3, D.M. 14/01/08)
Periodo di riferimento	$V_R = V_N \cdot C_U = 50 \cdot 1,5 = 75$ anni	(§ 2.4.3, D.M. 14/01/08)

### 8.2. Categoria di sottosuolo e condizioni topografiche

Come specificato nella relazione geotecnica il sottosuolo appartiene alla categoria B di cui al § 3.2.2 del D.M. 14/01/2008.

La categoria topografica di riferimento è la T1 (*Superficie pianeggiante*).

### 8.3. Stati limite e probabilità di superamento

Al fine della valutazione della sicurezza vengono presi in considerazione gli effetti dei seguenti stati limite sismici:

Stati limite ultimi:

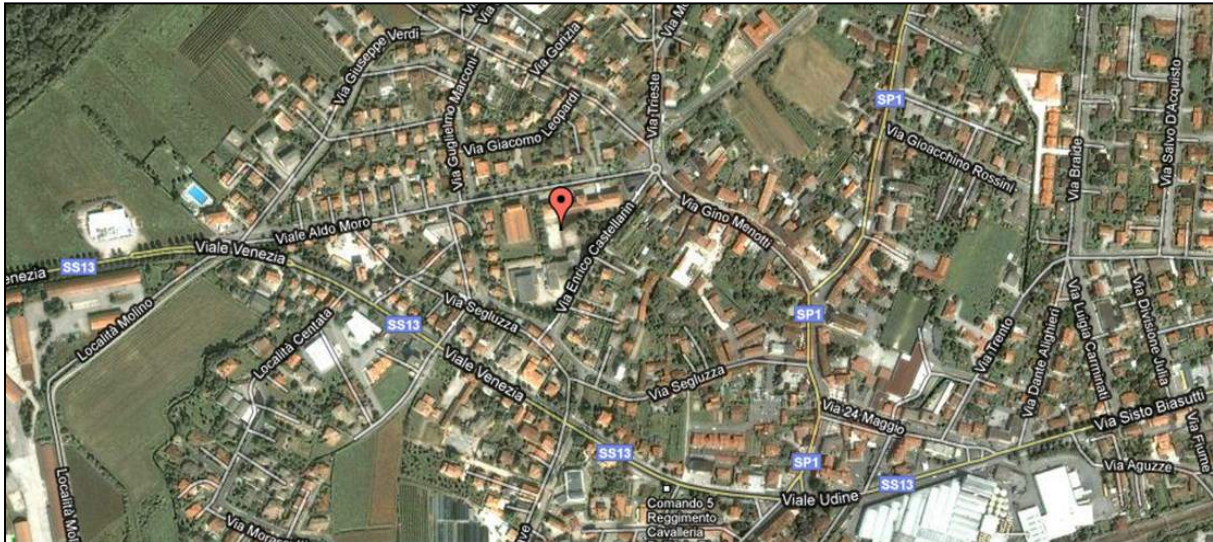
$$\text{Stato Limite di salvaguardia della Vita (SLV)} \Rightarrow P_{VR} = 10\%$$

dove  $P_{VR}$  è la probabilità di superamento nel periodo di riferimento  $V_R$  come da Tab. 3.2.I, § 3.2.1 del D.M. 14/01/08.

### 8.4. Parametri di pericolosità sismica di progetto

Per la definizione dell'azione sismica si fa riferimento alla zonizzazione di cui al D.M. 14/01/2008. In particolare il sito e le strutture in esame sono caratterizzati dai seguenti parametri di pericolosità sismica di progetto:





Latitudine 45° 57' 28,36" N (45,95787778° N)

Longitudine 12° 50' 17,08" E (12,83807778° E)

STATO LIMITE	T <sub>R</sub> [anni]	a <sub>g</sub> [g]	F <sub>0</sub>	T <sub>c</sub> * (s)
SLO	45	0,059	2,471	0,262
SLD	75	0,075	2,443	0,283
SLV	712	0,192	2,517	0,350
SLC	1462	0,249	2,553	0,363

Parametri di pericolosità sismica

## 8.5. Spettro di risposta in accelerazione delle componenti orizzontali allo SLV

### 8.5.1 *Spettro di risposta elastico*

Sulla base delle informazioni riportate nei paragrafi precedenti ed ai sensi del § 3.2.3.2.1 del D.M. 14/01/08, si determinano i seguenti parametri dello spettro di risposta elastico in accelerazione delle componenti orizzontali allo SLV:

Coefficiente di amplificazione stratigrafica S<sub>s</sub>:

$$1,00 \leq S_s = 1,40 - 0,40 \cdot F_0 \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,20 \quad S_s = 1,200$$

Coefficiente di amplificazione topografica  $S_T$ :

$$S_T = 1,0$$

Coefficiente di amplificazione  $S$ :

$$S = S_S \cdot S_T \qquad S = 1,200$$

Coefficiente  $C_C$ :

$$C_C = 1,10 \cdot (T_C^*)^{-0,20} \qquad C_C = 1,357$$

Periodo corrispondente all'inizio del tratto a velocità costante dello spettro  $T_C$ :

$$T_C = C_C \cdot T_C^* \qquad T_C = 0,475 \text{ s}$$

Periodo corrispondente all'inizio del tratto dello spettro ad accelerazione costante  $T_B$ :

$$T_B = \frac{T_C}{3} \qquad T_B = 0,158 \text{ s}$$

Periodo corrispondente all'inizio del tratto a spostamento costante dello spettro  $T_D$ :

$$T_D = 4,0 \cdot \frac{a_g}{g} + 1,6 \qquad T_D = 2,368 \text{ s}$$

**Parametri e punti dello spettro di risposta orizzontale per lo stato limite: SLV**

Parametri indipendenti		Punti dello spettro di risposta	
STATO LIMITE	SLV	T [s]	Se [g]
$a_g$	0,192 g	0,000	0,230
$F_o$	2,517	0,158	0,580
$T_c$	0,350 s	0,475	0,580
$S_s$	1,200	0,565	0,487
$C_c$	1,357	0,655	0,420
$S_T$	1,000	0,745	0,369
$q$	1,000	0,835	0,329
		0,925	0,297
		1,016	0,271
		1,106	0,249
		1,196	0,230
		1,286	0,214
		1,376	0,200
		1,466	0,188
		1,556	0,177
		1,646	0,167
		1,737	0,158
		1,827	0,151
		1,917	0,144
		2,007	0,137
		2,097	0,131
		2,187	0,126
		2,277	0,121
		2,368	0,116
		2,445	0,109
		2,523	0,102
		2,601	0,096
		2,679	0,091
		2,756	0,086
		2,834	0,081
		2,912	0,077
		2,989	0,073
		3,067	0,069
		3,145	0,066
		3,223	0,063
		3,300	0,060
		3,378	0,057
		3,456	0,055
		3,534	0,052
		3,611	0,050
		3,689	0,048
		3,767	0,046
		3,845	0,044
		3,922	0,042
		4,000	0,041

Parametri dipendenti	
S	1,200
$\eta$	1,000
$T_B$	0,158 s
$T_C$	0,475 s
$T_D$	2,368 s

**Espressioni dei parametri dipendenti**

$S = S_s \cdot S_T$  (NTC-08 Eq. 3.2.5)

$\eta = \sqrt{10 / (5 + \xi)} \geq 0,55; \eta = 1/q$  (NTC-08 Eq. 3.2.6; §. 3.2.3.5)

$T_B = T_c / 3$  (NTC-07 Eq. 3.2.8)

$T_C = C_c \cdot T_c^*$  (NTC-07 Eq. 3.2.7)

$T_D = 4,0 \cdot a_g / g + 1,6$  (NTC-07 Eq. 3.2.9)

**Espressioni dello spettro di risposta (NTC-08 Eq. 3.2.4)**

$0 \leq T < T_B$   $S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o \cdot \left[ \frac{T}{T_B} + \frac{1}{\eta \cdot F_o} \left( 1 - \frac{T}{T_B} \right) \right]$

$T_B \leq T < T_C$   $S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o$

$T_C \leq T < T_D$   $S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o \cdot \left( \frac{T_C}{T} \right)$

$T_D \leq T$   $S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o \cdot \left( \frac{T_C T_D}{T^2} \right)$

Lo spettro di progetto  $S_d(T)$  per le verifiche agli Stati Limite Ultimi è ottenuto dalle espressioni dello spettro elastico  $S_e(T)$  sostituendo  $\eta$  con  $1/q$ , dove  $q$  è il fattore di struttura. (NTC-08 § 3.2.3.5)

### 8.5.2 Fattore di struttura e spettro di risposta di progetto allo SLV

Per la determinazione del fattore di struttura e dello spettro di risposta di progetto allo SLV si rimanda agli allegati dei singoli corpi di fabbrica.

## **9 Criteri di analisi e verifica dei corpi di fabbrica**

### **9.1. Caratteristiche dei modelli di calcolo ed ipotesi progettuali**

I singoli corpi di fabbrica vengono modellati agli elementi finiti utilizzando i programmi di calcolo MidasGen 2011 v.1.1 (CSP Fea Software Company) e Straus 7 v. 2.3.7 (Strand 7 Pty Ltd). I piani vengono modellati, a seconda dei casi, come rigidi (vincoli tipo master – slave) o flessibili. Sono condotte analisi sismiche statiche equivalenti, modali a spettro di risposta e statiche non lineari (pushover) relativamente agli edifici in muratura. Lo “0.00” sismico viene considerato alla quota del solaio di piano terra. In caso di piano rigido alle masse vengono generalmente applicate eccentricità accidentali pari al 5% (a meno di casi particolari specificati nei singoli allegati di calcolo) della dimensione dell’edificio misurata perpendicolarmente alla direzione di applicazione dell’azione sismica. Per la determinazione delle azioni sulle strutture si assumono, a seconda del caso in esame, vincoli di incastro perfetto o appoggi semplici allo spiccato di fondazione.

### **9.2. Giudizio motivato di accettabilità dei risultati**

Sulla scorta dei dati dell’analisi vengono condotti, per ciascuno dei corpi di fabbrica analizzati, prove manuali finalizzate alla verifica della bontà del modello. Le varie valutazioni vengono riportate negli allegati di calcolo relativi ai singoli corpi di fabbrica.

## **10 Documentazione fotografica**

Al termine della presente relazione si riporta una documentazione fotografica relativa al complesso scolastico di cui all’oggetto ed il quadro d’unione relativo ai vari corpi di fabbrica di cui è composto.

## **11 Allegati di calcolo: analisi e verifiche dei singoli corpi di fabbrica**

Scuola elementare “L. Da Vinci”:

- **Allegato 1** : *Analisi e verifiche del corpo di fabbrica B1*
- **Allegato 2** : *Analisi e verifiche del corpo di fabbrica B2*
- **Allegato 3** : *Analisi e verifiche del corpo di fabbrica B3*
- **Allegato 4** : *Analisi e verifiche del corpo di fabbrica B4*
- **Allegato 5** : *Analisi e verifiche del corpo di fabbrica B5*
- **Allegato 6** : *Analisi e verifiche del corpo di fabbrica B6*



**Vista nord-est del complesso scolastico**



**Vista sud del complesso scolastico**





**Vista della pensilina di ingresso**



**Vespazio di muricci a sostegno della copertura del corpo di fabbrica B2**



**Particolare del solaio di sottotetto e di copertura del corpo di fabbrica B1**



**Particolare delle travi del solaio di copertura del corpo di fabbrica B1**





**Particolare del pacchetto di copertura del corpo di fabbrica B1**



**Sondaggio eseguito all'intradosso del solaio di piano primo del corpo di fabbrica B1**