
Comune di FOMBIO

Provincia di LODI



**STUDIO DELLA COMPONENTE
GEOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA
DEL PIANO DI GOVERNO DEL TERRITORIO:**

**Legge Regionale 11 marzo 2005, n. 12
D.G.R. 22 dicembre 2005, n. 8/1566**

ALLEGATO ALLA RELAZIONE GENERALE:
(redatto a seguito di parere A.R.P.A. Lombardia – Dipartimento di Lodi)

**ANALISI SISMICA DI SECONDO LIVELLO DELL'AREA
DESTINATA AD OSPITARE IL POLO SCOLASTICO COMUNALE**

SETTEMBRE 2008

dott. Marco Daguati
GEOLOGO

*via A. Diaz, 22 – 26845 Codogno (Lo)
tel e fax 0377.433021 – portatile 335.6785021
e-mail: marco.daguati@geolambda.it*

PREMESSA

Nel presente studio vengono definite le caratteristiche sismiche dell'area destinata a ospitare il nuovo polo scolastico del Comune di Fombio (LO) in località "La Costa", come previsto dalla D.G.R. n. 8/1566 successivamente aggiornata con D.G.R. 8/7374 (*"Aggiornamento dei criteri ed indirizzi per la definizione della componente geologica, idrogeologica e sismica del piano di governo del territorio in attuazione dell'art. 57 della L.R. n. 11 marzo 2005 n.12"*).

In particolare, la D.G.R. 8/7374 prevede che per gli edifici strategici e rilevanti (scuole, ospedali, ecc – elenco tipologico di cui al D.d.u.o. n.19904/03) si proceda ad una caratterizzazione degli effetti di amplificazione sismica attesi e ad una valutazione circa l'efficacia della normativa antisismica nazionale (D.M. 14.01.2005) nel considerare gli effetti sismici locali.

VALUTAZIONE DEGLI EFFETTI SISMICI DI SITO

La procedura di cui all'Allegato 5 della DGR 8/7374 prevede tre livelli di approfondimento con grado di dettaglio in ordine crescente: i primi due livelli sono obbligatori (con le opportune differenze in funzione della zona sismica di appartenenza) in fase di pianificazione, mentre il terzo è obbligatorio in fase di progettazione. Nella tabella seguente si riportano gli adempimenti in funzione della zona sismica di appartenenza:

	Livelli di approfondimento e fasi di applicazione (PSL = <i>pericolosità sismica locale</i>)		
	1° Livello Fase pianificatoria	2° Livello Fase pianificatoria	3° Livello Fase progettuale
<i>Zona sismica 2-3</i>	obbligatorio	Nelle zone PSL Z3 e Z4 se interferenti con urbanizzato o urbanizzabile, ad esclusione delle aree già inedificabili	- Nelle aree indagate con il 2° livello quando Fa calcolato > valore soglia comunale - Nelle zone PSL Z1, Z2 e Z5
<i>Zona sismica 4</i>	obbligatorio	Nelle zone PSL Z3 e Z4 solo per edifici strategici e rilevanti (elenco tipologico di cui al d.d.u.o. n.19904/03)	- Nelle aree indagate con il 2° livello quando Fa calcolato > valore soglia comunale; - Nelle zone PSL Z1, Z2 e Z5 per edifici strategici e rilevanti

Tabella 1: livelli di approfondimento

L'area interessata dalla realizzazione della nuova scuola comunale è situata nel settore nord-orientale del territorio comunale di Fombio (Lo); il Comune, secondo quanto stabilito dalla D.G.R. n. 7/14964 del 7 novembre 2003 in attuazione alla l'Ordinanza 3274 e s.m.i., appartiene alla **zona sismica 4**.

Poiché è prevista la realizzazione di una struttura (polo scolastico) fra quelle classificate nell'elenco tipologico di cui al D.d.u.o. n.19904/03 della Regione Lombardia, oltre all'analisi di I livello si rende obbligatorio anche l'approfondimento di II livello. Solamente in fase di progettazione, qualora il fattore di amplificazione del sito sia maggiore di quello di soglia (risultati ottenuti dall'analisi di 2° livello), si dovrà procedere con il 3° livello di approfondimento.

ANALISI DI PRIMO LIVELLO

L'analisi di 1° livello, già illustrata nella Relazione generale dello "Studio geologico, idrogeologico e sismico" ha condotto, per l'area in oggetto, all'identificazione di due scenari di pericolosità sismica locale (evidenziati nella Tavola 6 "Carta della pericolosità sismica locale): quello topografico (**Z3a**) in corrispondenza della scarpata morfologica principale e quello litologico (**Z4a** - quest'ultimo sovrapposto al primo lungo il margine di terrazzo).

ANALISI DI SECONDO LIVELLO

L'analisi di secondo livello consiste nella caratterizzazione semi-quantitativa degli effetti di amplificazione attesi per l'area in oggetto e si concretizza con la stima della risposta sismica dei terreni in termini di Fattore di Amplificazione (FA).

La valutazione del fattore FA è stata condotta sia per uno scenario suscettibile di amplificazione di tipo topografico, sia di tipo litologico (o stratigrafico); in particolare, è stato "quantificato" l'effetto delle condizioni locali, in grado di modificare l'intensità delle onde sismiche generate da un terremoto (pericolosità di base).

Come previsto dalla D.G.R. 8/7374, in caso di contemporaneità di effetti litologici (Z4) e morfologici (Z3) si deve procedere all'analisi dei fattori di amplificazione di entrambi gli scenari per valutare quello più sfavorevole.

La procedura consiste nel confrontare il valore di FA caratteristico dell'area rispetto al valore di FA caratteristico del territorio comunale in cui l'area è inserita: tale valore, detto di soglia, è contenuto in un apposito elenco redatto dalla Regione Lombardia.

Nei capitoli successivi e nella determinazione dei valori di FA si è fatto riferimento a quanto contenuto ed indicato nell'Allegato 5 alla D.G.R. n. 8/7374.

Per il Comune di Fombio i valori di FA di soglia riferiti all'intervallo 0.1-0.5 s, 0.5-1.5 s e per le diverse categorie di suolo soggette ad amplificazioni litologiche (B, C, D e E) sono i seguenti:

VALORI DI SOGLIA PER IL PERIODO COMPRESO TRA 0.1-0.5 s				
<i>Comune</i>	<i>Suolo tipo B</i>	<i>Suolo tipo C</i>	<i>Suolo tipo D</i>	<i>Suolo tipo E</i>
Fombio	1.4	1.8	2.2	1.9

VALORI DI SOGLIA PER IL PERIODO COMPRESO TRA 0.5-1.5 s				
<i>Comune</i>	<i>Suolo tipo B</i>	<i>Suolo tipo C</i>	<i>Suolo tipo D</i>	<i>Suolo tipo E</i>
Fombio	1.7	2.4	4.1	3.0

Amplificazione topografica

Lo scenario della zona di scarpata (Z3a) è caratterizzato da irregolarità morfologica con fronti di altezza (H) uguale o superiore a 10 m ed inclinazione (α) del fronte principale uguale o superiore a 10° . In figura 1 si riportano i criteri di riconoscimento che consentono di individuare la relativa classe di riferimento.

Sulla base delle caratteristiche geometriche della scarpata morfologica che si sviluppa a margine dell'area, la classe di appartenenza risulta essere la n. 1, caratterizzata da un **fattore di amplificazione $F_a = 1.1$** ed una zona di influenza A dei fenomeni di amplificazione sismica pari all'altezza della scarpata (indicativamente 10 m).

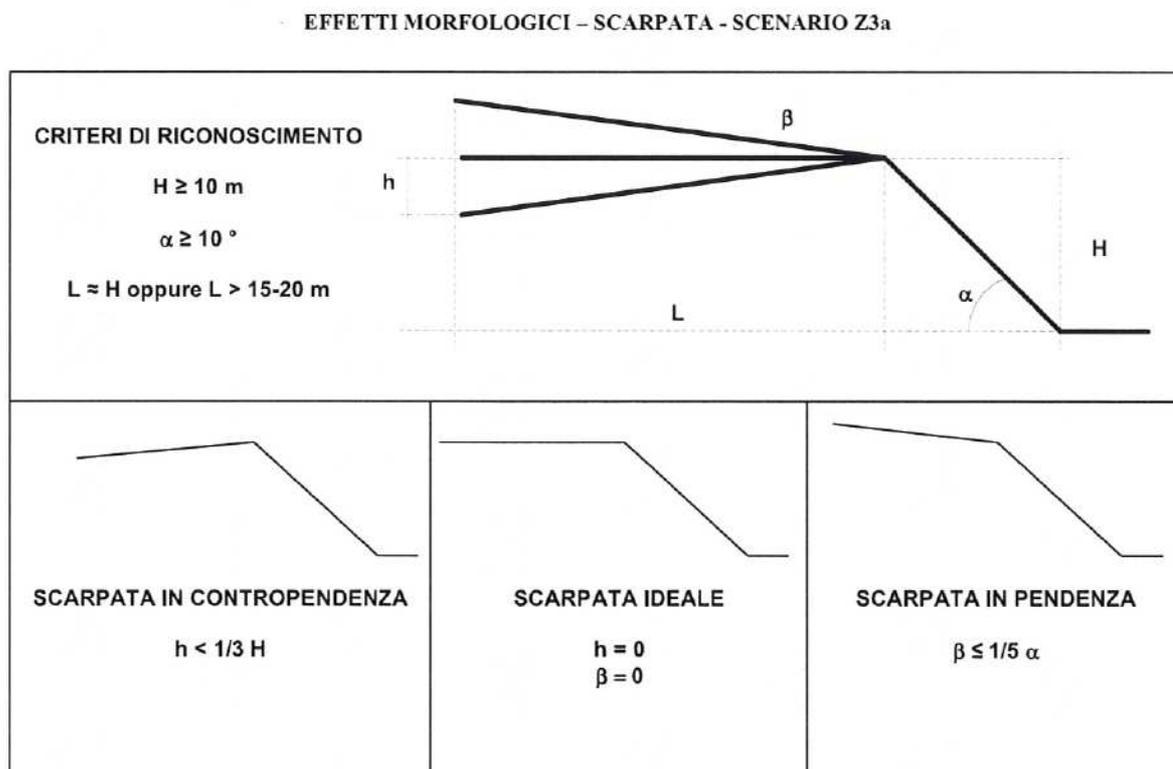


Figura 1: criteri geometrici di riconoscimento per le scarpate.

<i>Classe di appartenenza</i>	<i>Classe altimetrica</i>	<i>Classe di inclinazione</i>	<i>Valore di Fa</i>	<i>Area di influenza</i>
A	$10 \text{ m} \leq H \leq 20 \text{ m}$	$10^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$	1.1	$A_i = H$
B	$20 \text{ m} < H \leq 40 \text{ m}$	$10^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$	1.2	$A_i = \frac{3}{4} H$
C	$H > 40 \text{ m}$	$10^\circ \leq \alpha \leq 20^\circ$	1.1	$A_i = \frac{2}{3} H$
		$20^\circ < \alpha \leq 40^\circ$	1.2	
		$40^\circ < \alpha \leq 60^\circ$	1.3	
		$60^\circ < \alpha \leq 70^\circ$	1.2	
		$\alpha > 70^\circ$	1.1	

Classi di appartenenza per amplificazione sismiche di tipo topografico.

Amplificazione litologica

Nella stima e nell'attendibilità degli effetti litologici propri dell'area in esame, l'andamento della velocità delle onde sismiche di taglio Vs con la profondità riveste un ruolo di fondamentale importanza.

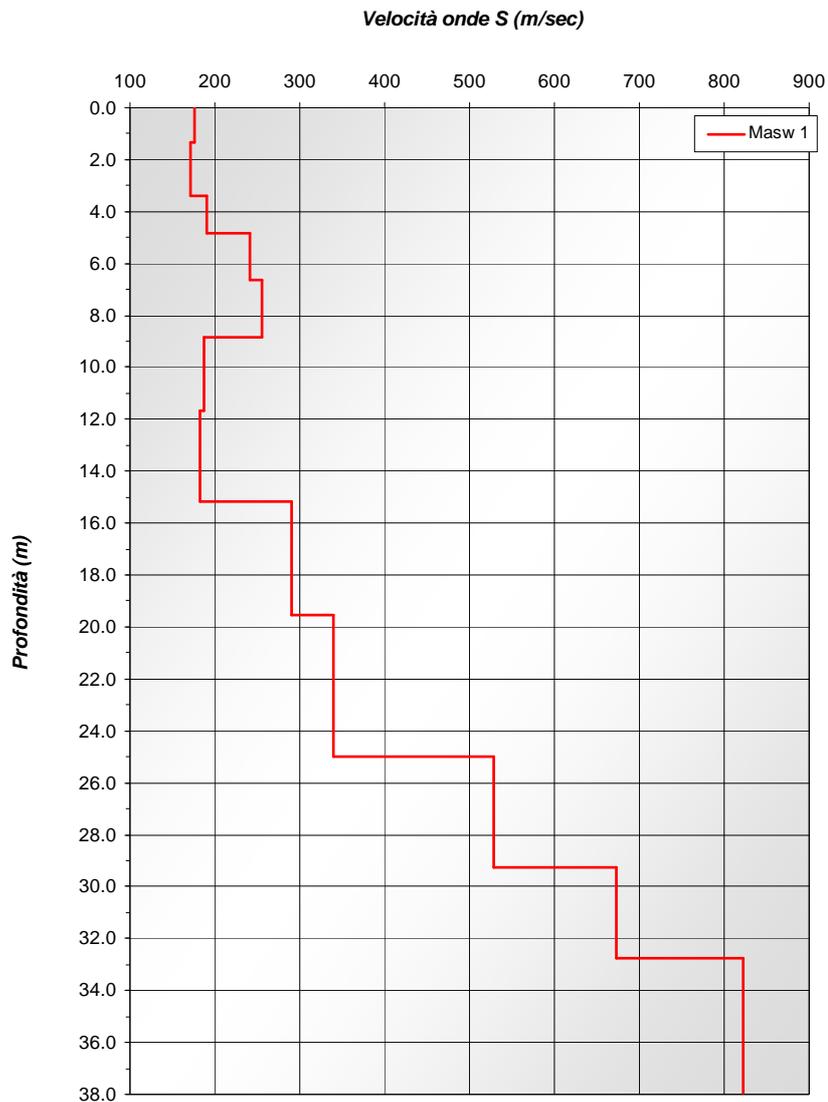
Considerata la significatività di questo aspetto, si è proceduto all'esecuzione di un'apposita indagine geofisica, attraverso una linea sismica con la metodologia MASW (*Multichannel Analysis of Surface Waves*), effettuata dalla società SIGNA srl.

Per i particolari relativi alla strumentazione utilizzata e all'elaborazione della prova MASW si rimanda all'allegato rapporto tecnico "Indagine geofisica con la metodologia MASW".

La prova MASW, messa a punto nel 1999 da ricercatori del Kansas Geological Survey (Park et al., 1999), permette di determinare in modo dettagliato l'andamento della velocità delle onde di taglio S con la profondità attraverso lo studio delle propagazione delle onde superficiali o di Rayleigh.

Per l'area in esame, il modello di velocità delle onde sismiche di taglio con la profondità risulta il seguente (quota zero = piano campagna attuale) :

Modello 1			
Strato	Spessore [m]	Vs [m/s]	Profondità
1	1.32	176.16	1.32
2	2.06	170.92	3.39
3	1.43	190.23	4.82
4	1.79	241.15	6.61
5	2.24	254.83	8.85
6	2.80	188.08	11.65
7	3.50	181.96	15.15
8	4.37	290.35	19.52
9	5.47	339.78	24.99
10	4.25	529.16	29.24
11	3.55	673.12	32.78
12	5.19	822.34	37.97



Sulla base dell'andamento delle Vs con la profondità proprio dell'area, la scheda litologica di riferimento (si veda quanto contenuto nell'Allegato 5 alla DGR citata) è quella relativa alla litologia "limoso-sabbiosa 2"; successivamente, all'interno della scheda di valutazione, si sceglie, in funzione della profondità e della velocità delle onde S dello strato superficiale, la curva più appropriata per la valutazione del valore di FA.

Considerando una velocità dello strato superficiale pari a 195 m/s (media geometrica dei valori di Vs nei primi 6.5 m), la curva di riferimento per l'intervallo 0.1-0.5 s è la n. 1, caratterizzata dalla seguente equazione:

Curva	$0.1 < T \leq 0.4 \text{ s}$	$0.4 < T \leq 1.0 \text{ s}$
1	$Fa_{0.1-0.5} = -13.9T^2 + 10.4T + 0.46$	$Fa_{0.1-0.5} = 2.12 - 0.30 \ln T$

mentre per l'intervallo 0.5-1.5 s la curva di riferimento ha la seguente espressione:

$$Fa_{0.5-1.5} = -1.33T^2 + 2.02T + 0.79$$

in cui T è il periodo proprio del sito, calcolato a partire dalla seguente equazione:

$$T = \frac{4 \cdot \sum_{i=1}^n h_i}{\left(\frac{\sum_{i=1}^n V_{s_i} \cdot h_i}{\sum_{i=1}^n h_i} \right)}$$

dove h_i e V_{s_i} sono lo spessore e la velocità dello strato i-esimo del modello fino al bedrock sismico (strato con $V_s > 800 \text{ m/s}$).

Utilizzando il modello di velocità ricostruito sulla base dell'indagine sismica appositamente realizzata si ottengono i seguenti risultati:

Area	Scheda	Periodo T_0	Fa (0.1-0.5)	Fa (0.5-1.5)
1	Limoso-sabbiosa 2	0.4 s	2.34	1.38

A questo punto, il valore di FA proprio del sito deve essere confrontato con il valore FA di soglia che, come detto precedentemente, è contenuto in un elenco predisposto dalla Regione Lombardia e risulta differente per le diverse categorie di suolo.

Le categorie di suolo di fondazione, secondo il D.M. 14.09.2005 ed il D.M. 14.01.2008 risultano così identificate (le profondità si riferiscono al piano di posa delle fondazioni):

Categoria	Descrizione del profilo stratigrafico	Parametri		
		V_{s30} (m/s)	N_{SPT}	C_u (kPa)
A	<u>Formazioni litoidi o suoli omogenei molto rigidi</u> , caratterizzati da valori di V_{s30} superiori a 800 m/s, comprendenti eventuali strati di alterazione superficiale di spessore massimo pari a 5 m	> 800	-	-
B	<u>Depositi di sabbie o ghiaie molto addensate o argille molto consistenti</u> , con spessori di diverse decine di metri, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità	360-800	>50	>250
C	<u>Depositi di sabbie e ghiaie mediamente addensate o di argille di media consistenza</u> , con spessori variabili da diverse decine fino a centinaia di metri	180-360	15-50	70-250
D	<u>Depositi di terreni granulari da sciolti a poco addensati oppure coesivi da poco a mediamente consistenti</u>	<180	<15	<70
E	<u>Profili di terreno costituiti da strati superficiali alluvionali</u> , con valori di V_{s30} simili a quelli dei tipi C o D e spessore compreso tra 5 e 20 m, giacenti su di un substrato di materiale più rigido con $V_{s30} > 800$ m/s			

dove V_{s30} è la velocità media di propagazione entro 30 m di profondità delle onde di taglio, calcolata con la seguente espressione:

$$V_{s30} = \frac{30}{\sum_{i=1}^n H_i / V_i}$$

In cui H_i e V_i indicano lo spessore (in m) e la velocità delle onde di taglio (per deformazioni di taglio $\gamma < 10^{-6}$) dello strato i -esimo, per un totale di N strati presenti nei 30 m superiori.

Partendo dal profilo V_s -profondità proprio dell'area in esame, è possibile calcolare, con la formula sopra riportata, il valore di V_{s30} (i 30 m di profondità sono stati misurati a partire sia dalla quota dell'attuale piano campagna che alla profondità di 1.0 m) che risulta:

- (quota = piano campagna) $V_{s30} = 254.8 \text{ m/s}$
- (quota = -1.0 m da piano campagna) $V_{s30} = 264.2 \text{ m/s}$

a cui corrisponde la **categoria di suolo di fondazione di tipo C,**

Poiché per la categoria di suolo di fondazione C il valore di FA di soglia risulta pari a 1.8 nell'intervallo 0.1-0.5 e pari a 2.4 nell'intervallo 0.5-1.5 s e considerando che il valore di FA più sfavorevole risulta quello relativo a fenomeni di amplificazione litologica rispetto a quelli di natura morfologica, si può assumere che:

$Fa_{\text{sito}} > Fa_{\text{soglia}}$ per $0.1 < T_o < 0.5 \text{ s}$
$Fa_{\text{sito}} < Fa_{\text{soglia}}$ per $0.5 < T_o < 1.5 \text{ s}$

Ciò implica che la normativa antisismica (D.M. 14.01.2008) non è sufficiente a tenere in considerazione i possibili effetti di amplificazione litologica propri del sito per le strutture con periodo proprio compreso tra 0.1-0.5 s (costruzioni relativamente basse, massimo 4-5 piani, regolari e rigide), mentre per le strutture con periodo compreso tra 0.5 e 1.5 s (costruzioni con più di 5 piani e flessibili) lo spettro di normativa risulta sufficiente: nel primo caso, pertanto,

in fase di progettazione delle strutture si dovrà procedere all'analisi di III livello secondo quanto previsto dalla D.G.R. 8/7374/2008.

Codogno, 30.09.2008

dott. geologo Marco Daguati

ALLEGATO

INDAGINI GEOFISICHE CON METODOLOGIA MASW