

Provincia di Bergamo - Comune di Lallio



LAVORI DI MIGLIORAMENTO SISMICO - MESSA IN SICUREZZA
SCUOLA SECONDARIA DI PRIMO GRADO "FALCONE - BORSELLINO" IN VIA XXIV MAGGIO, 4 - CUP E13H19000250004



**Finanziato
dall'Unione europea**
NextGenerationEU

Progetto finanziato dall'Unione Europea - Next Generation EU

committente	Comune di Lallio Settore Tecnico-Manutentivo-Commercio			codice progetto 21040	
intervento	LAVORI DI MIGLIORAMENTO SISMICO - MESSA IN SICUREZZA SCUOLA SECONDARIA DI PRIMO GRADO "FALCONE - BORSELLINO" VIA XXIV MAGGIO, 4 - CUP E13H19000250004			fase di progettazione DEF-ESE	
oggetto	RELAZIONE GEOLOGICA E GEOTECNICA			scala disegno -	
<div><div>progettista incaricato ING. CRISTIANO ALGERI Albo Ingegneri di Bergamo n.3186</div></div>				elaborato n° A3	
3					
2					
1					
0	AGOSTO 2023	EMISSIONE PER DEFINITIVO-ESECUTIVO	C01	A00	A00
REVISIONE	DATA	DESCRIZIONE	REDATTO	VERIFICATO	VALIDATO

C-SPIN Ingegneri Associati

via Zanica, 19K - 24050 Grassobbio (BG) - c/o King Kong Business Building
tel.035.225021 / www.c-spin.eu / ingegneria@c-spin.eu / ingegneria@pec.c-spin.eu
C.F. e P.IVA: IT03485840163 / SDI : KRRH6B9



Comune di Lallio (BG)



RELAZIONE GEOLOGICA ai sensi della D.G.R IX/2616/2011 - *Relazione R3 ai sensi della D.g.r. X/5001/2016.*

RELAZIONE GEOLOGICA - *Relazione R1 ai sensi della D.g.r. X/5001/2016.*

RELAZIONE GEOTECNICA - *Relazione R2 ai sensi della D.g.r. X/5001/2016 .*

Committente: C-SPIN Ingegneri Associati.

Oggetto: Vulnerabilità sismica – Scuola primaria e Secondaria.

Ubicazione: Via XXIV Maggio n.4 – Lallio (BG).

SIGNA Srl
Dott. Geol. Daniele Gerosa



Boltiere, 22 marzo 2023



SIGNA S.r.l. - Via G. Donizetti 7 – Boltiere (BG)
Tel./Fax. 035-806318 Cell. 331-8218021 e-mail info@signasrl.it

1. INTRODUZIONE ED INQUADRAMENTO GEOGRAFICO

Nella presente relazione si determinano le caratteristiche geologiche, geotecniche e sismiche preliminari dei terreni che costituiscono il sottosuolo dell'area su cui sono state edificate la scuola Primaria e Secondaria del comune di Lallio (BG) situate in via XXIV Maggio n.4. Per l'ubicazione dell'area oggetto della presente relazione si rimanda alla *figura 1*.

Nei capitoli seguenti si illustreranno, dopo un breve inquadramento geologico ed idrogeologico, le indagini geognostiche appositamente realizzate e si procederà alla caratterizzazione geotecnica e sismica dei terreni che costituiscono il sottosuolo dell'area in esame.

La presente relazione è stata redatta in conformità al D.M. 17.01.2018 (*"Aggiornamento delle Norme tecniche per le costruzioni"*), alla D.g.r. X/5001/2016 ed alle Norme Geologiche allegate al Piano di Governo del Territorio vigente del comune di Lallio.



Figura 1: Corografia con ubicazione dell'area oggetto della presente relazione (in rosso).

2. INQUADRAMENTO GEOLOGICO ED IDROGEOLOGICO

Da un punto di vista geologico, la porzione di territorio comunale in cui si inserisce l'area in oggetto risulta costituita esclusivamente dalla presenza di depositi fluvio-glaciali del bacino del Brembo, ascrivibili all'*Unità di Brembate (Pleistocene medio - figura 2)*; trattasi di ghiaie con sabbie ciottolose limose argillose (a supporto clastico) o da ghiaie con limo-sabbioso-argilloso oppure da limi con ghiaie argilloso-sabbiose.

Tali depositi, laddove non siano stati rimaneggiati, sono ricoperti da una coltre loessica limoso-argillosa dello spessore variabile ma contenuto entro i 2 m.

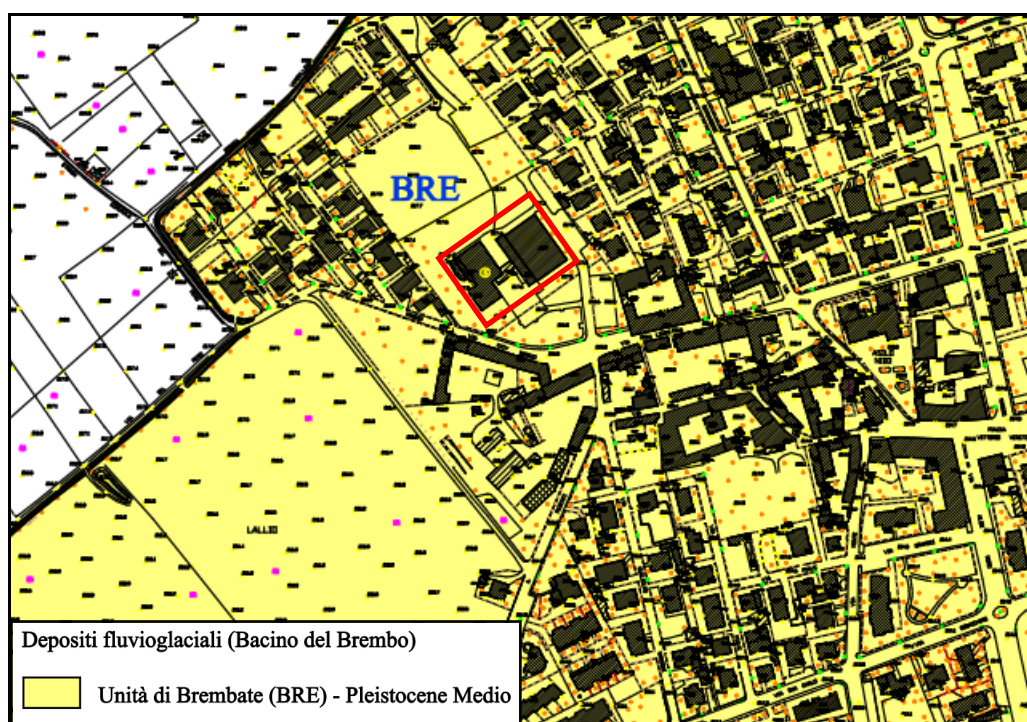


Figura 2: Estratto della carta geologica dello studio geologico comunale, con ubicazione dell'area in esame (rettangolo rosso).

Da un punto di vista geomorfologico, l'area in oggetto si presenta come sub-pianeggiante, impostata sul Livello Fondamentale della Pianura, inserita in un contesto edificato e priva di processi geomorfologici attivi di una certa entità (sito stabile).

Gli aspetti idrogeologici rilevanti per il progetto in esame sono legati prevalentemente alla soggiacenza della falda freatica (cioè con un livello superiore libero di oscillare) ed alle sue oscillazioni nel tempo (oscillazioni di tipo periodico o stagionali ed oscillazioni di lungo periodo collegate ad altri aspetti naturali e, soprattutto, antropici).

Facendo riferimento alla *Carta idrogeologica* contenuta nello studio geologico comunale, si ricava una quota della falda compresa tra la isopiezometrica 169 e la 170 m s.l.m. a fronte di quota del sito di circa 217 m s.l.m. (soggiacenza di circa 47-48 m).

A questa profondità media vanno aggiunte le oscillazioni stagionali della falda, legate prevalentemente al regime pluviometrico e valutabile nell'ordine di 2-4 m.

Durante l'esecuzione delle indagini geognostiche non è stata rilevata la presenza di acqua nel sottosuolo fino ad una profondità di 15 m da p.c. (novembre 2021). La misura della profondità della falda è riferita alla data specifica in cui è stata effettuata e non sono state determinate le oscillazioni temporali del suo livello per le quali è necessario un monitoraggio periodico all'interno di un piezometro appositamente attrezzato, aspetto quest'ultimo non richiesto al sottoscritto da parte dei progettisti.

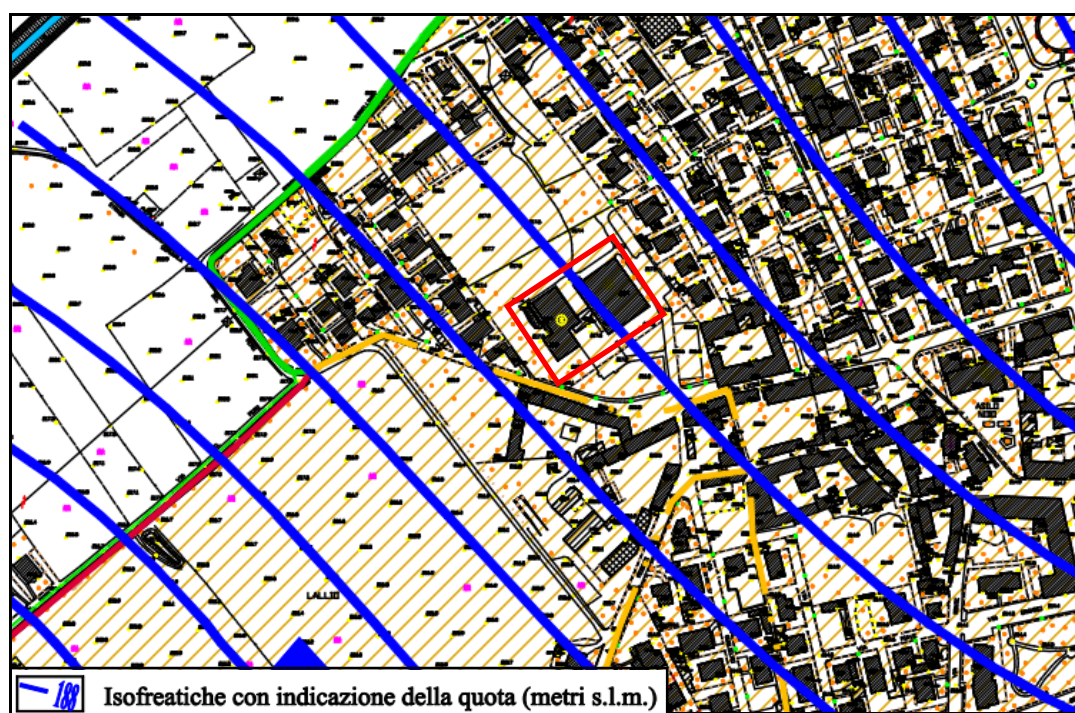


Figura 3: Estratto della carta idrogeologica dello studio geologico comunale, con ubicazione dell'area in esame (rettangolo rosso).

3. ANALISI DELLA COMPATIBILITA' DELL'INTERVENTO CON GLI STRUMENTI DI PIANIFICAZIONE TERRITORIALE

I dettagli dell'intervento sono stati confrontati con gli elementi di vincolo e rischio rilevati sul territorio da parte degli enti pubblici deputati alla definizione delle scelte pianificatorie. Gli estratti di seguito riportati provengono dalla documentazione tecnica contenuta nello studio geologico a supporto del PGT vigente.

Sull'area d'intervento la *Carta dei Vincoli* non evidenzia la presenza di vincoli: l'area in esame risulta esterna alle fasce di rispetto delle opere di captazione ad uso idropotabile, del reticolo idrico e non rientra nelle aree previste dal P.G.R.A. (figura 4).

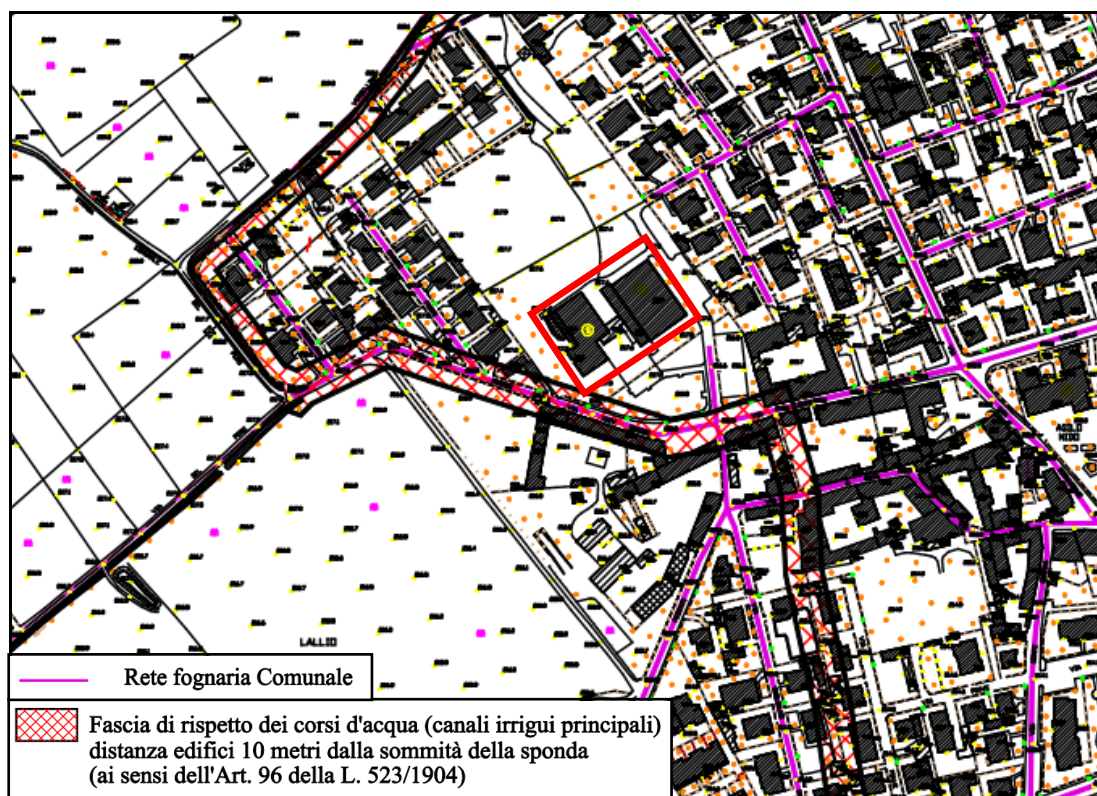


Figura 4: Estratto della Carta dei vincoli con ubicazione dell'area in esame (rettangolo rosso) – studio geologico a supporto del PGT.

La *Carta di Fattibilità Geologica* che suddivide il territorio comunale in aree omogenee con diverso grado di limitazione, indica che l'area in oggetto rientra nella Classe di fattibilità 2Gt (*Fattibilità con modeste limitazioni* – figura 5).

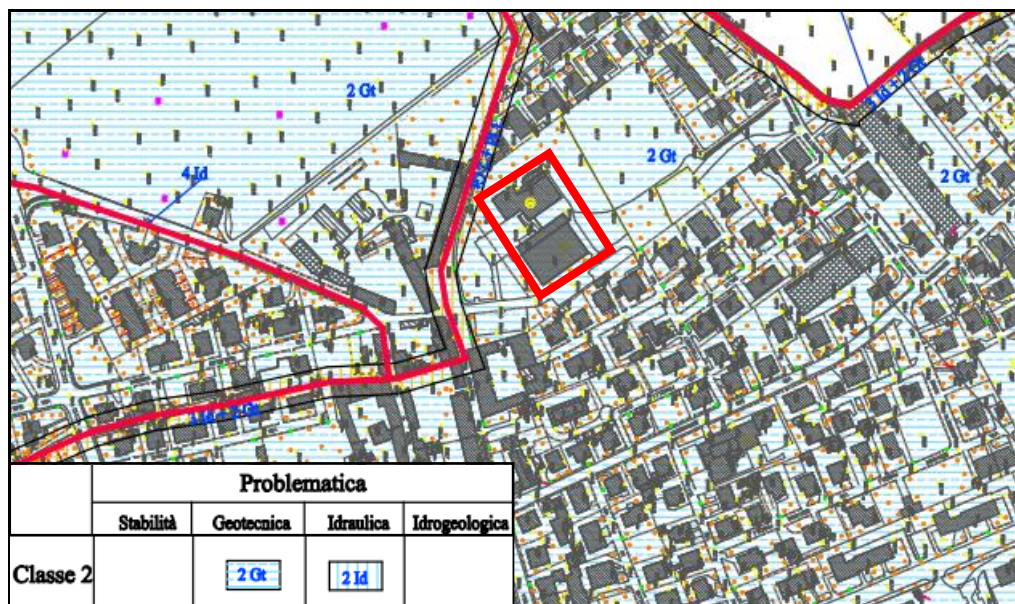


Figura 5: Estratto della carta di fattibilità geologica dello studio geologico comunale a supporto del PGT con ubicazione dell'area in esame.

4. INDAGINI GEOGNOSTICHE ESEGUITE

In base al contesto geologico sopra descritto ed alle caratteristiche progettuali e logistiche del sito, si è dimensionata, in accordo con i progettisti/committente, una campagna di indagini geognostiche da cui ricavare gli elementi per una caratterizzazione geologico-tecnica e sismica preliminare dei terreni che costituiscono l'area in esame. La campagna è consistita nell'esecuzione di:

- **N. 4 prove penetrometriche dinamiche (DP1-DP4)** eseguite con penetrometro dinamico tipo PAGANI TG 63/100 kN (maglio da 73.5 kg) e spinte fino 15 m di profondità da p.c. attuale;
- **N. 1 stendimento sismico con la metodologia MASW (M1).**

In *figura 6* si mostra l'ubicazione delle indagini geognostiche effettuate mentre nell'Allegato si riportano i risultati delle prove.

Le indagini geognostiche sono state effettuate alla quota dell'attuale p.c: tale quota è stata assunta come quota di riferimento q.r. Le prove penetrometriche sono state eseguite con l'obiettivo di definire le caratteristiche meccaniche dei terreni, mentre l'indagine geofisica è stata eseguita per la caratterizzazione sismica sito-specifica.



Indagini geognostiche: prove penetrometriche e indagine geofisica MASW.



Figura 6: Ubicazione delle indagini geognostiche effettuate (Google Map).

5. CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA E MODELLO GEOTECNICO DI RIFERIMENTO

Nel presente capitolo si riportano le informazioni relative alla caratterizzazione geologico-tecnica dei terreni che verranno interessati dalle opere in progetto.

Per la valutazione dei parametri geotecnici sono state utilizzate le più note e diffuse correlazioni basate sui valori di N_{SPT} (conversione $N_{SPT} = 1.25 \times N_{DP}$, N_{DP} = numero di colpi misurati dalla prova penetrometrica), confrontati con le litologie in esame e, ove possibile, si sono utilizzati diversi approcci, confrontandone criticamente i risultati.

I parametri geotecnici sono stati così definiti:

- ✓ Il peso di volume γ è stato assunto pari a 18 kN/m^3 (limiti di variabilità indicati in letteratura tecnica – *Colombo et al 1996*);
- ✓ L'angolo di resistenza al taglio ϕ' è stato ricavato utilizzando la correlazione di *De Mello* e successivamente confrontato con le correlazioni di *Wolff* (1989) e *Shioi&Fukuni* (JNR 1982);
- ✓ Il modulo elastico E' è stato definito utilizzando la correlazione proposta da *Bowles* (1998) per i litotipi sabbioso-ghiaiosi e limoso-sabbiosi.

Facendo riferimento a quanto riportato nel D.M. 17.01.2018, per ciascun strato che compone il modello geotecnico si sono riportati i valori caratteristici dei parametri geotecnici (γ , ϕ e E), calcolati come valore medio probabilistico della distribuzione dei valori ottenuti.

Sulla base di quanto precedentemente esposto, è possibile costruire il seguente modello geotecnico di riferimento per l'area in esame e base di partenza per le elaborazioni successive.

Unità geotecnica	Litologia presunta	Profondità da q.r. [m]	γ [kN/m³]	ϕ [°]	E' [MPa]
A	Terreno rimaneggiato e limo-sabbioso	0.0-0.9/1.8	18	24-26	6-8
B	Sabbia con ghiaia limoso-argillosa	0.9/1.8-1.8/3.6	18	27-29	16-20
C	Sabbia ghiaiosa deb. limosa	1.8/3.6-5.7/9.0	18	26-28	14-18
D	Sabbia e ghiaia, con locali lenti a maggior contenuto sabbioso	5.7/9.0-15.0	18	28-30	20-24

Tabella 1: Valori caratteristici dei parametri geotecnici di ciascuna unità che compone il sottosuolo.

La falda di calcolo geotecnico è posta a profondità maggiori di 15 m da q.r.

I terreni che costituiscono il sottosuolo (unità A, B, C e D) presentano un comportamento prevalentemente incoerente (coesione $c'=0$).

La litologia delle varie unità che costituiscono il modello geotecnico è stata ricavata analizzando le caratteristiche geologiche medie dei depositi presenti nell'area e basandosi su informazioni stratigrafiche derivanti da indagini geognostiche pregresse (stratigrafie di sondaggi e pozzi) effettuate nei dintorni dell'area in esame, su terreni di analoga natura e genesi.

Si ricorda che la prova penetrometrica dinamica non consente la visione diretta del terreno per cui l'interpretazione stratigrafica e la definizione dei parametri geotecnici dei terreni indagati pur basandosi su formule empiriche ampiamente collaudate presentano sempre un certo grado d'incertezza e variabilità.

6. CARATTERISTICHE SISMICHE DEI TERRENI

Secondo la D.g.r. n. X/2129 del 11 luglio 2014 “*Aggiornamento delle zone sismiche in Regione Lombardia*”, il territorio comunale di Lallio appartiene alla zona sismica 3 mentre facendo riferimento allo studio geologico a supporto del PGT, l'intervento in oggetto rientra nello scenario di pericolosità sismica locale del tipo Z4a (figura 6).

L'analisi di 2° livello ai sensi della D.g.r. IX/2616/2011 è stata effettuata in fase pianificatoria (PGT vigente) da cui risulta che $FAC \leq FAS$.

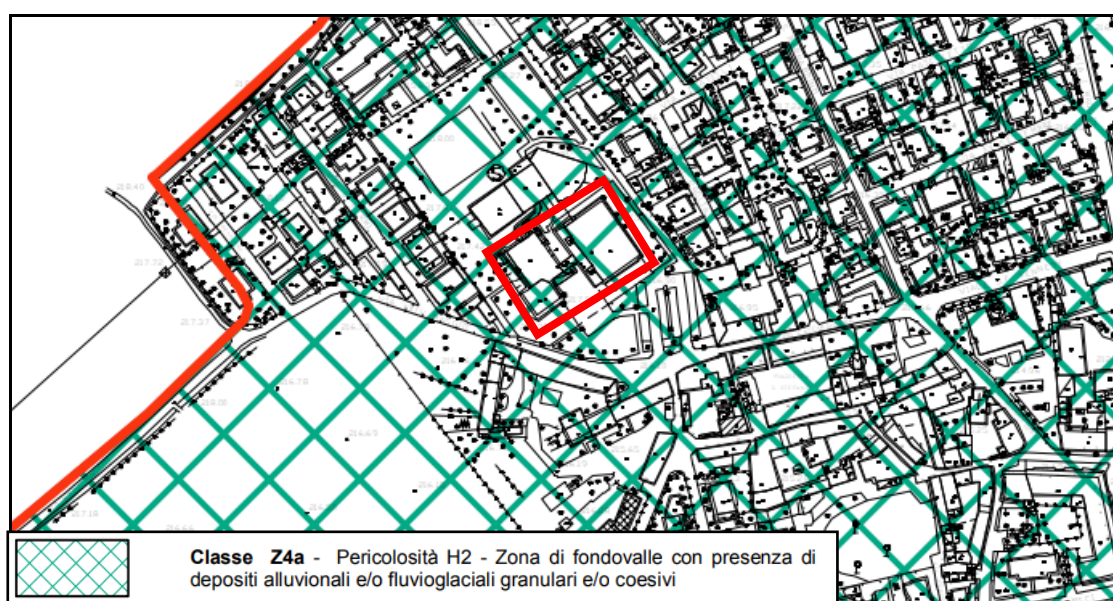


Figura 7: Estratto della carta di PSL con ubicazione dell'area in esame.

Per la definizione delle caratteristiche sismiche dei terreni che costituiscono il sottosuolo dell'area in esame in grado di modificare, amplificando, la pericolosità sismica di base si è proceduto ad effettuare n.1 stendimento sismico con la metodologia MASW.

Attraverso l'indagine geofisica si è ricostruito l'andamento con la profondità della velocità delle onde sismiche di taglio (o modello sismico monodimensionale), mostrato in figura 8.

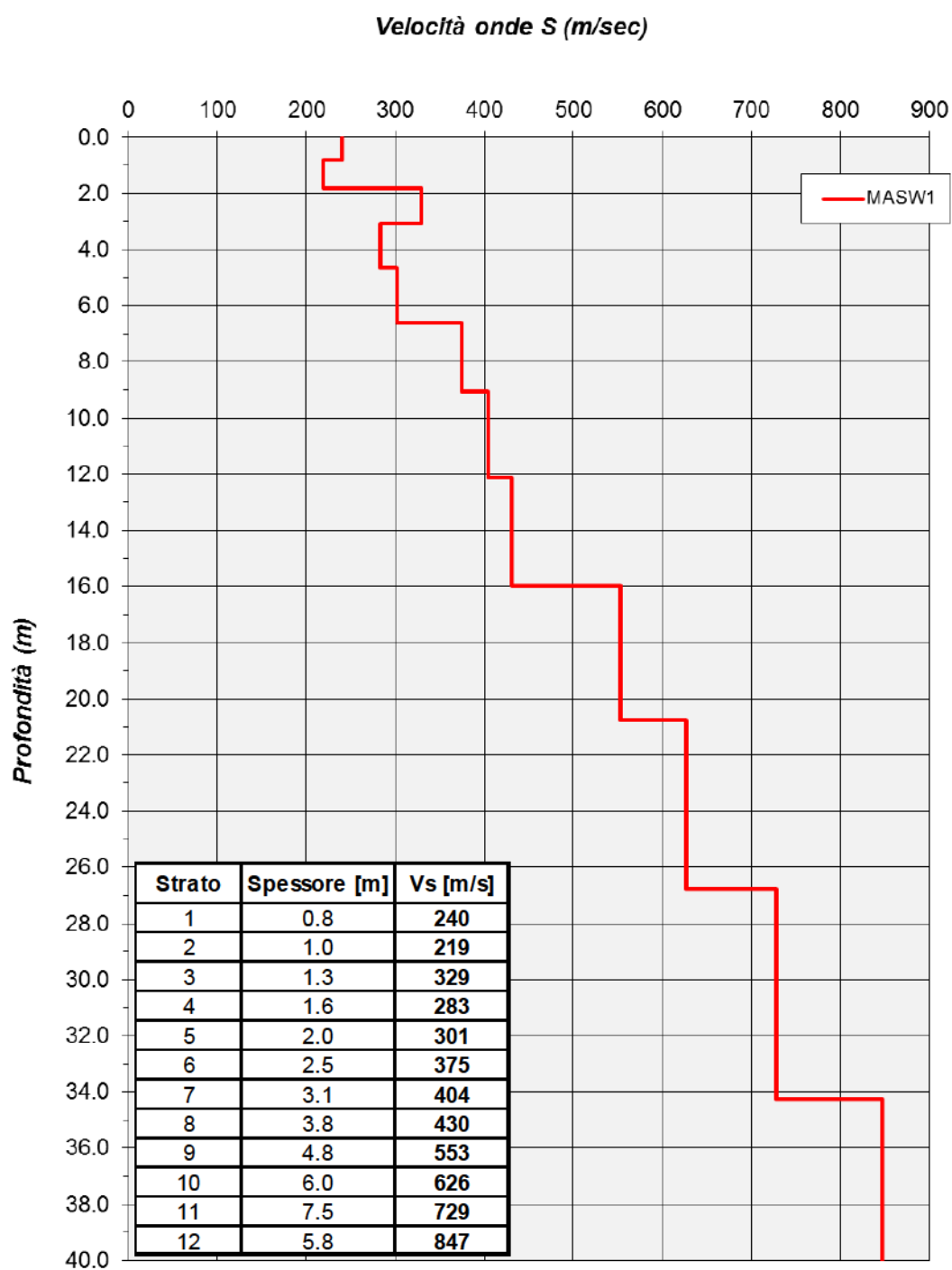


Figura 8: Andamento delle velocità delle onde S con la profondità ricavato dall'analisi della prova MASW.

Analisi sismica di secondo livello per l'area in esame

Per il comune di Lallio i valori di Fa di soglia (FAS) riferiti all'intervallo 0.1-0.5 s e 0.5-1.5 s per le diverse categorie di sottosuolo soggette ad amplificazioni litologiche sono i seguenti:

Fa_Soglia - FAS				
Intervallo	Suolo B	Suolo C	Suolo D	Suolo E
0.1-0.5 s	1.5	1.9	2.3	2.0
0.5-1.5 s	1.7	2.4	4.3	3.1

Tabella 2: Valori di soglia del fattore di amplificazione di soglia per il comune di Lallio - Regione Lombardia.

Sulla base dell'andamento delle Vs con la profondità a partire dalla quota fondazionale si individua la scheda litologica di riferimento (Allegato 5 alla D.g.r. IX/2616/2011) che risulta essere quella "sabbiosa". All'interno della scheda di valutazione viene scelta, 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 compresa tra 250 e 300 m/s (valore ottenuto considerando la media geometrica dei valori di Vs dei primi 3-4 m a partire dal piano fondazionale), la curva di riferimento è la n. 2.

Utilizzando il modello di velocità ricostruito si ottengono i seguenti risultati:

ID	Scheda	Periodo T_o	Fa (0.1-0.5)	Fa (0.5-1.5)
Area1	sabbiosa	0.24 s	1.6	1.3

A questo punto, il valore di Fa proprio del sito deve essere confrontato con il valore Fa di soglia che risulta contenuto in un elenco predisposto dalla Regione Lombardia e differente per le diverse categorie di sottosuolo che secondo il D.M. 17.01.2018.

A partire dal profilo Vs-profondità dell'area in esame, si ottengono i seguenti risultati:

Quota fondazioni da q.r .	$V_{s,eq}$ [m/s]	Categoria sottosuolo
-1.0 m	450	B
-1.5 m	461	B
-2.0 m	470	B

In *tabella 3* si effettua il confronto tra i valori di F_a proprio del sito ottenuti con l'analisi sismica di 2° livello ed il valore F_a di soglia, da cui emerge che l'applicazione della categoria di sottosuolo calcolata ai sensi della normativa antisismica (D.M. 17.01.2018) 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 e 1.5 s ($FAC \leq FAS$).

Area	Cat. Sottosuolo	Fa (0.1-0.5)			Fa (0.5-1.5)		
		FAC	FAS	Verifica $FAC \leq FAS$	FAC	FAS	Verifica $FAC \leq FAS$
1	B	1.6	1.5+0.1	Si	1.3	1.7+0.1	Si

Tabella 3: Verifica dei fattori di amplificazione di sito.

Sulla base dei risultati ottenuti dall'applicazione dell'analisi sismica di 2° livello è possibile applicare lo spettro di risposta elastico ai sensi delle NTC18 utilizzando una **categoria di sottosuolo di tipo B** ed una **categoria topografica di tipo T1** ($S_T=1.0$).

Analisi del potenziale di liquefazione dei terreni

La liquefazione è un fenomeno associato alla perdita di resistenza al taglio o ad un accumulo di deformazioni plastiche in terreni saturi, prevalentemente sabbiosi, sollecitati da azioni dinamiche (terremoti) che agiscono in condizioni non drenate.

L'analisi della suscettibilità alla liquefazione di un dato sito dipende da:

- caratteristiche dell'azione sismica (intensità e durata);
- proprietà geotecniche dei terreni;
- caratteristiche litologiche dei terreni e profondità della falda.

La liquefazione di un deposito è dunque il risultato dell'effetto combinato di due principali categorie di fattori: le condizioni del terreno (fattore predisponente) e la sismicità (fattore scatenante). Ai sensi delle NTC18 (Cap. 7.11.3.4.2) la verifica della liquefazione può essere omessa qualora si manifesti almeno una delle seguenti condizioni:

1. Accelerazioni massime attese al piano campagna in assenza di manufatti (condizione di campo libero) $< 0.10g$;
2. Profondità media stagionale della falda superiore a 15 m dal piano campagna;
3. Depositi costituiti da sabbie pulite con resistenza penetrometrica normalizzata $(N_1)_{60} > 30$ oppure $q_{c1n} > 180$;

Poiché per l'area in esame la falda risulta posta oltre i 15 m di profondità (fattore di esclusione ai sensi delle NTC18), si può assumere che i terreni che costituiscono l'area in esame non sono soggetti a fenomeni di liquefazione in condizioni sismiche.

<i>Relazione geologica, geotecnica e sismica – Lallio</i>	Data	03/2023
	Nome Doc.	Lallio_Geotec_sismic
<p style="text-align: center;">ALLEGATO</p> <p style="text-align: center;">INDAGINI GEOGNOSTICHE</p>		
<p style="text-align: right;"><i>Pagina 16 di 18</i></p>		

TABELLA PROVE PENETROMETRICHE

Profondità	Prova n° 1	Prova n° 2	Prova n° 3	Prova n° 4	Unità geotecnica
m da p.c.	N. Colpi [N ₃₀]	N. Colpi [N ₃₀]	N. Colpi [N ₃₀]	N. Colpi [N ₃₀]	
0.3	4	3	3	2	A
0.6	4	6	5	2	
0.9	4	3	3	4	
1.2	5	12	3	12	
1.5	6	10	8	14	
1.8	4	7	14	11	
2.1	13	8	12	9	B
2.4	15	10	8	9	
2.7	17	9	7	7	
3.0	16	10	5	6	
3.3	12	9	4	5	
3.6	11	8	4	6	
3.9	5	9	6	5	C
4.2	4	7	7	9	
4.5	6	11	8	7	
4.8	5	10	8	7	
5.1	6	10	9	4	
5.4	4	9	9	4	
5.7	6	6	9	3	
6.0	9	6	16	7	
6.3	5	6	21	6	
6.6	6	11	27	6	
6.9	7	8	26	6	
7.2	6	9	31	6	
7.5	4	13	34	4	
7.8	3	9	100	10	
8.1	7	3		14	
8.4	10	8		10	
8.7	16	9		8	
9.0	16	9		4	D
9.3	18	13		3	
9.6	20	12		4	
9.9	16	10		4	
10.2	23	12		6	
10.5	21			8	
10.8	27			7	
11.1	25			9	
11.4	25			9	
11.7	19			14	
12.0	20			12	
12.3	29			17	
12.6	31			13	
12.9	37			12	
13.2				10	
13.5				12	
13.8				18	
14.1				24	
14.4				27	
14.7				31	
15.0				28	

Profondità della falda = non rilevata.

Indagine MASW

Acq. attiva: 24 geofoni con interdistanza = 1.5 m, Sorgente = 6-12 m, $T_S = 1$ msec, $T_L = 2$ sec.

CURVA DI DISPERSIONE e PICKING