



Comune di Almè
Provincia di Bergamo

Accessibilità dolce e nuovo parcheggio per la fruizione del centro sportivo e del polo scolastico comunale

Committente

Comune di Almè - Via Guglielmo Marconi, 12 (BG)

Progetto architettonico

arch. Luigi Maffeis - M+L Architettura - Via Papa Giovanni XXIII, 1 - Madone (BG)

Progetto rapporto geologico - geotecnico

Dott. Norberto Invernici geologo - Viale Giulio Cesare, 52 - Bergamo (BG)

OPERA FINANZIATA DA

**IL PIANO
LOMBARDIA**
Interventi per la ripresa economica.



PROGETTO DEFINITIVO

RAPPORTO GEOLOGICO - GEOTECNICO

A15

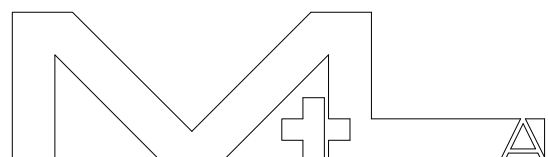
M+L ARCHITETTURA

di Arch. Luigi Eriberto Maffeis

Via Papa Giovanni XXIII n°1 - 24040 Madone (BG) - T 035.99.15.97

www.gruppoml.it

Partita IVA 04424850164



SERVIZI PER L'URBANISTICA, L'INGEGNERIA E L'ARCHITETTURA

Comune di Almè
Provincia di Bergamo

"Rapporto geologico - geotecnico e di caratterizzazione sismica dei terreni siti in via Olimpia, in comune di Almè (Bg), quale supporto specialistico al progetto di formazione muro in cls presso il centro sportivo comunale"

Elaborato R1 - R 2 - R3

Redatto ai sensi della DGR 2616/2011 e delle NTC 2018

Committente:
Amministrazione Comunale di Almè

Bergamo, 16 Maggio 2024



Dott. Norberto Invernici
geologo
N° Iscr. O.R.G.L. 990

Indice

1.0 - Premessa	2
2.0 - Inquadramento geologico - geomorfologico - pedologico	2
3.0 - Indagini in sito	3
3.1 Prova penetrometrica dinamica continua SCPT	3
3.2 Indagine sismica passiva HVSR	4
4.0 Elementi di microzonazione sismica	5
4.1 Verifica liquefazione terreno di sottofondo	6
4.2 Analisi sismica di II Livello	7
5.0 Caratteristiche geotecniche terreni	9
5.1 Verifica al carico limite dell'insieme fondazione-terreno	9
5.2 Esiti delle verifiche geotecniche relative alla resistenza dei terreni allo SLU	11
6.0 Conclusioni	12

1.0 - Premessa

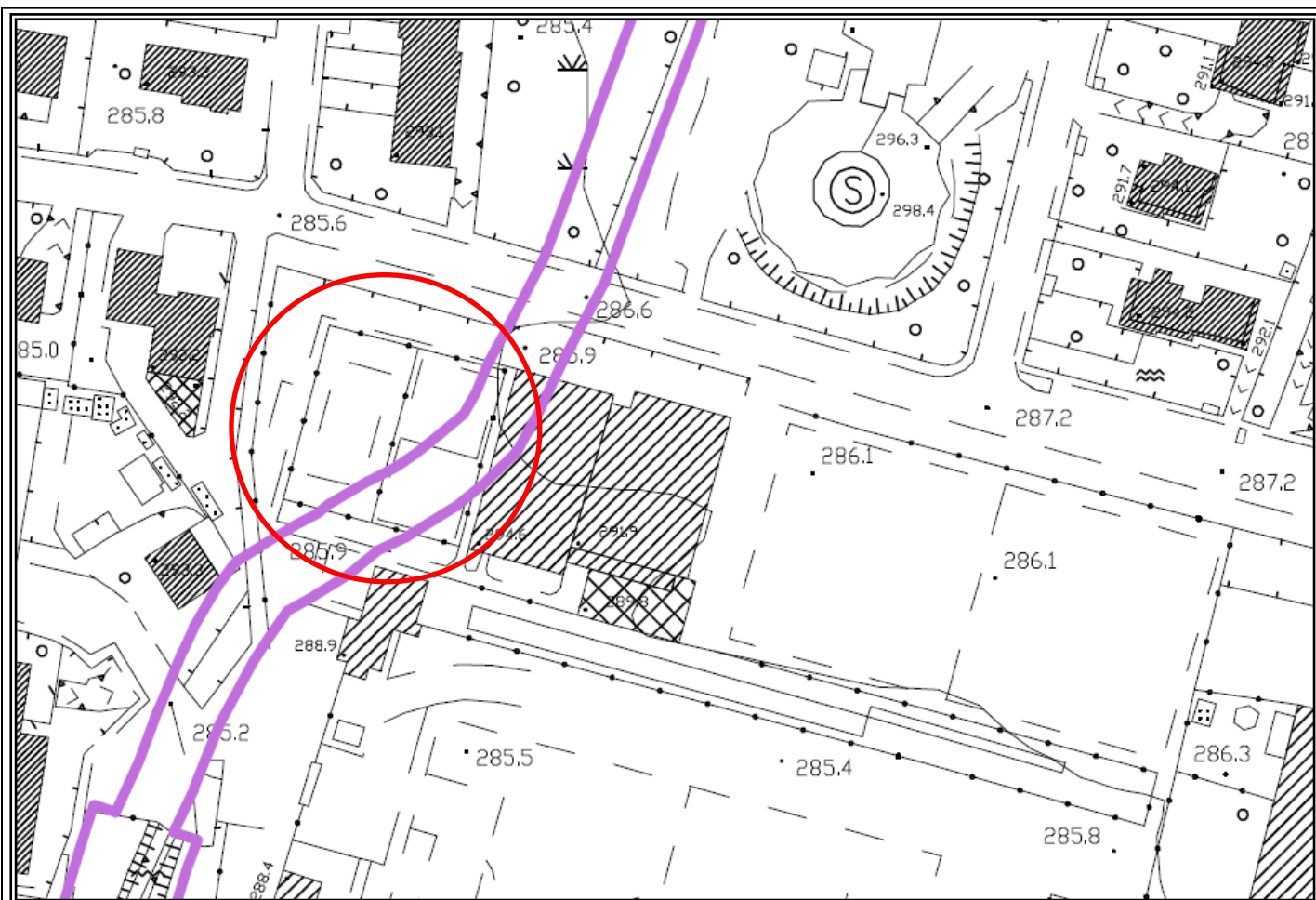
Nel seguente rapporto sono illustrati gli esiti conseguiti dagli studi e dalle indagini di carattere geologico - geotecnico e di caratterizzazione sismica dei terreni siti in Via Olimpia, in comune di Almè (Bg), proponendosi quale supporto specialistico al progetto di formazione muro di recinzione in cls presso il centro sportivo comunale di Via Olimpia, secondo il progetto predisposto dell'Arch Maffei, ai cui elaborati si rimanda per i dettagli. L'area insiste su terreni pianeggianti, inserita in Classe 3dr di fattibilità geologica (fattibilità con consistenti limitazioni), dal vigente strumento di pianificazione comunale, attribuita alle aree interessate dal drenaggio preferenziale delle acque considerato che è presente il tratto tombinato, al di sotto del sedime esistente, dell'alveo del torrente Rino. L'area risulta esterna alle perimetrazioni delle fasce di tutela/rispetto delle captazioni idropotabili ma parzialmente compresa entro la fascia di rispetto del torrente Rino, tombinato nel tratto interessato. Dal punto di vista sismico il territorio comunale di Almè è stato classificato dalla D.G.R. della Lombardia n. X/2129 dell'11 luglio 2014 "Aggiornamento delle zone sismiche in Regione Lombardia (L.R. 1/2000, art. 3, c. 108, lett. d)", come comune in zona 3. L'assetto geologico dell'area in esame è stato desunto dalla documentazione esistente (con particolare riferimento allo studio geologico di supporto alla pianificazione comunale di Almè) e dai sopralluoghi e rilievi condotti sulle aree di studio, mentre per l'acquisizione dei parametri litotecnici e sismici dei terreni di sottofondo si è fatto ricorso a specifiche indagini in sito, eseguite in data 13 Maggio 2024 mediante:

- N° 1 prova penetrometrica dinamica continua SCPT;
- N° 1 indagine sismica passiva a stazione singola HVSR;

Lo studio è stato predisposto seguendo i riferimenti legislativi e normativi riportati nella D.G.R. 2616/2011 e nelle NTC 2008/2018 e costituisce gli elaborati R1, R2 ed R3 di tali normative, condensati in unico documento.

2.0 - Inquadramento geologico - geomorfologico - pedologico

L'area oggetto di studio è posta lungo via Olimpia, interclusa tra aree a parcheggio, viabilità di accesso e strutture del centro sportivo, su terreni pianeggianti inseriti in Classe 3dr di fattibilità geologica (fattibilità con consistenti limitazioni), dal vigente strumento di pianificazione comunale, attribuita alle aree interessate dal drenaggio preferenziale delle acque considerato che è presente il tratto tombinato, al di sotto del sedime esistente, del torrente Rino, che tuttavia non ha alcun riflesso sull'intervento di progetto che si riferisce alla realizzazione di muretto di recinzione in cls. Il lotto di intervento è pianeggiante e non si riscontra alcuna evidenza geomorfologica significativa considerato anche l'elevato grado di trasformazione che impedisce di riconoscere gli originari rapporti del territorio. Dal punto di vista geologico lo studio geologico di PGT comunale attribuisce i terreni in questione ai sedimenti continentali quaternari in facies fluvioglaciale riferibili all'Unità di Brembate (Pleistocene Medio) costituita da ghiaie a prevalente supporto clastico, con matrice limoso - argillosa; i ciottoli, di dimensioni medie attorno a 10 cm, sono arrotondati, con forme discoidali ed ellissoidali. Si osservano accenni di stratificazione suborizzontale (Gm/P). La superficie superiore delle ghiaie, fortemente ondulata a scala metrica e quindi erosionale, è suturata da limi argillosi massivi (F/P) con spessori da 0,5 a 2,5 m. L'assetto idrogeologico dell'area mostra la presenza di falda idrica a quote più profonde di 20 m da p.c.; considerata tuttavia la presenza dell'alveo (tombinato) del torrente Rino, che scorre sotto il sedime stradale di via Marconi, non è escluso che possano verificarsi



LEGENDA




Area intervento


VINCOLI DELLA PIANIFICAZIONE SOVRAORDINATA

Aree P.A.I. elaborato 2 (frane)

 Aree di frana attiva (Fa)

Aree P.A.I. elaborato 2 (fenomeni di dissesto torrentizio)

 Aree a pericolosità molto elevata di esondazione torrentizia (Ee)

 Aree a pericolosità media o moderata di esondazione torrentizia (Em)

Fasce fluviali (elaborato 8 P.A.I.)


 Fascla A

 Fascla B

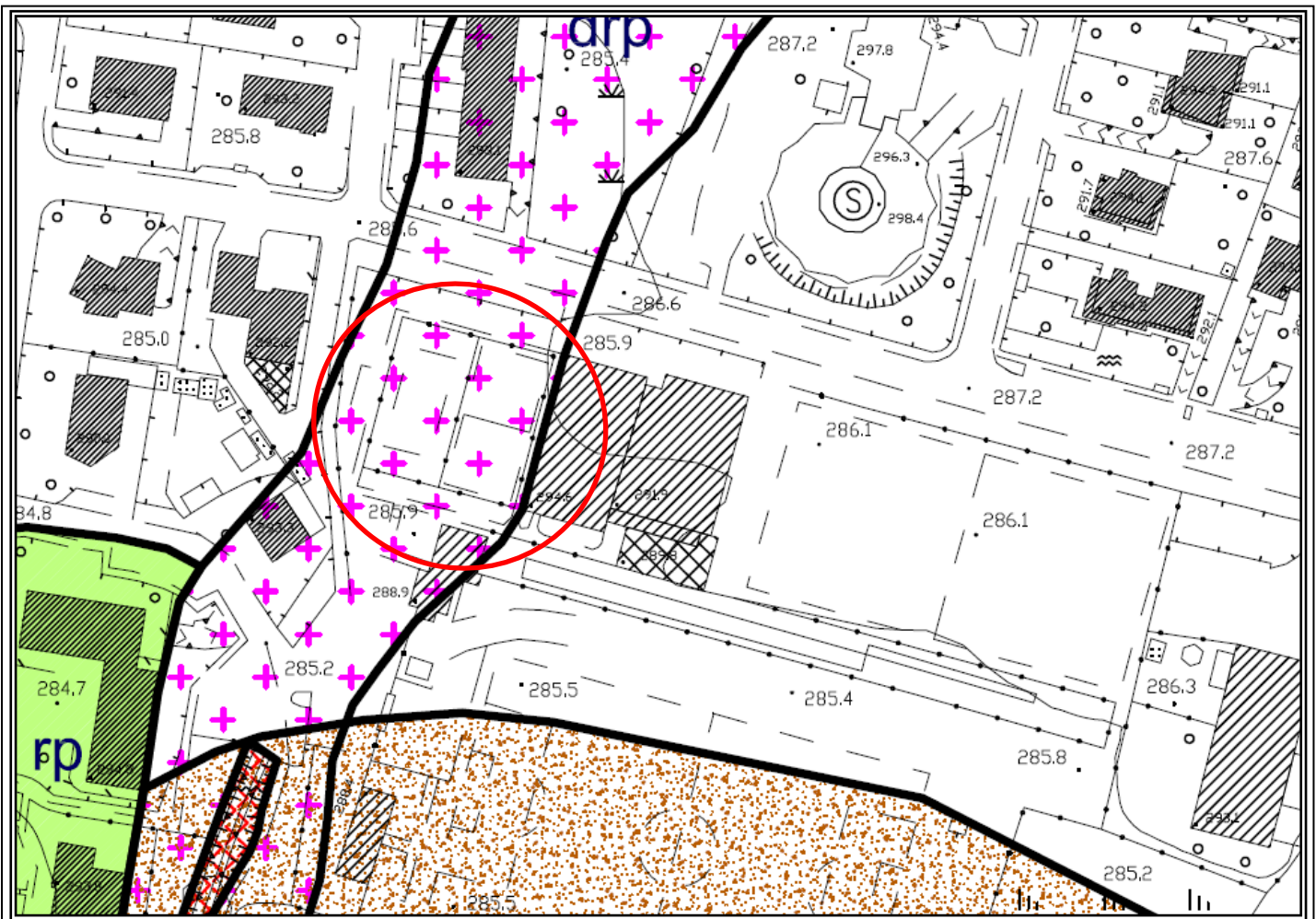
 Fascla C

VINCOLI DI POLIZIA IDRAULICA DEI CORSI D'ACQUA














 Vincolo di polizia idraulica (deve essere valutato puntualmente)
R.D. 25-07-1904 n. 523,
d.g.r. 25-01-2002 n. 7/7868

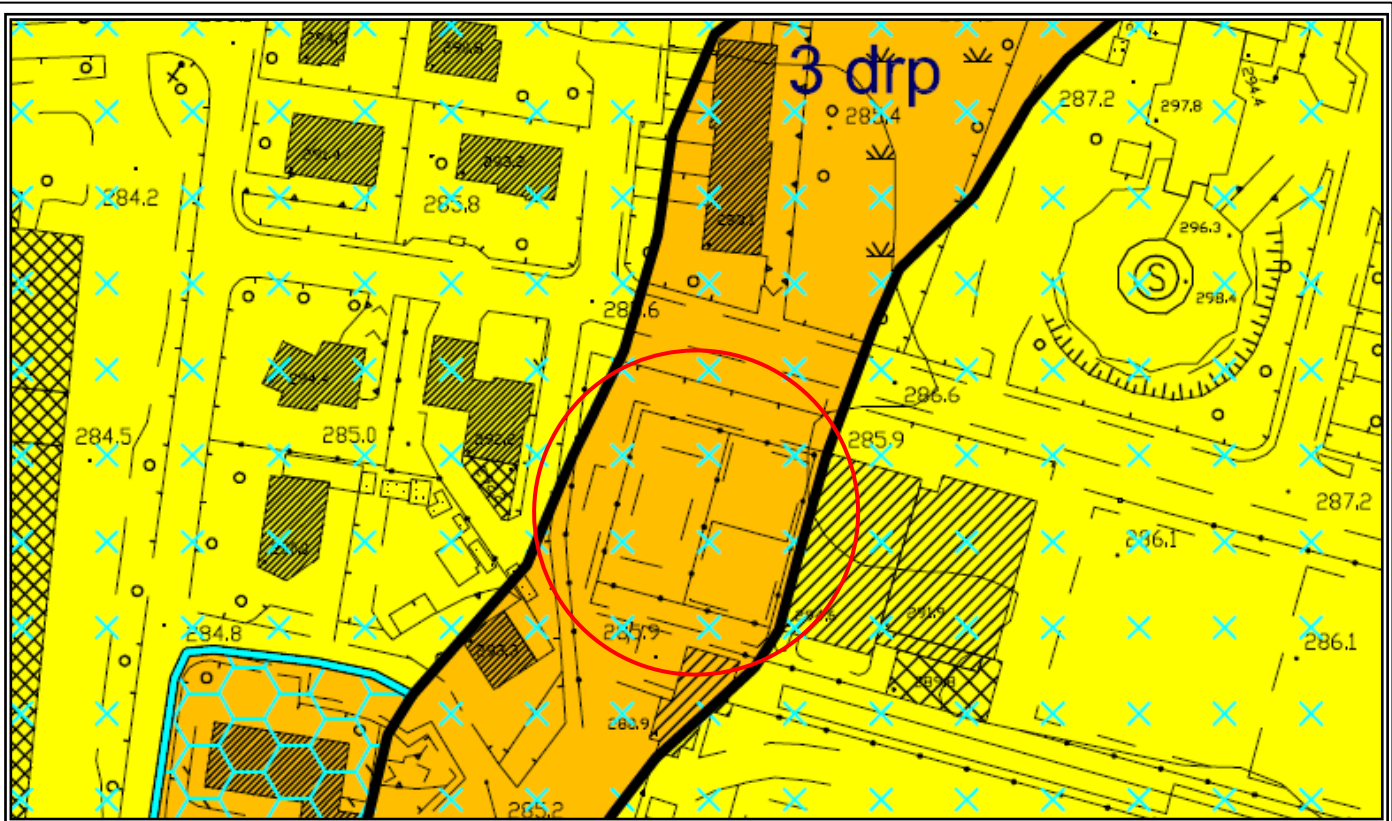
Stralcio della Carta dei Vincoli del vigente PGT
(non in scala)






Area intervento

-  Aree di frana attiva (Fa)
-  Aree molto acclivi e/o in erosione accelerata (er)
-  Aree acclivi o prossime a scarpate acclivi (as)
-  Area ricadente in fascia fluviale A (P.A.I.) (fluv A)
-  Area ricadente in fascia fluviale B (P.A.I.) (fluv B)
-  Area ricadente in fascia fluviale C (P.A.I.) (fluv C)
-  Aree a pericolosità molto elevata di esondazione torrentizia (Ee)
-  Aree a pericolosità media o moderata di esondazione torrentizia (Em)
-  Alveo attivo canalizzato del torrente Rino (aaR)
-  Aree di drenaggio preferenziale delle acque (drp) →
-  Aree ad elevata vulnerabilità idrogeologica (idrg)
-  Aree con scadenti caratteristiche geotecniche (sg)
-  Aree con riporti di materiale e/o colmate (rp)
-  Aree ad elevata valenza naturalistica (nat)
-  Aree estrattive (estr)

Stralcio della Carta di Sintesi del vigente PGT
(non in scala)




 Area intervento

-  **Classe 3 - Fattibilità con consistenti limitazioni**
 3 as - Aree acclivi o prossime a scarpate acclivi
 3 sg - Aree con scadenti caratteristiche geotecniche
 3 rp - Aree con riporti di materiale e/o colmate
 3 idrg - Aree ad elevata vulnerabilità idrogeologica
 3 Em - Aree a pericolosità media o moderata di esondazione torrentizia
 3 estr - Aree estrattive
 3 nat - Aree ad elevata valenza naturalistica
 **3 drp - Aree di drenaggio preferenziale delle acque**
 3 fluvC - Aree ricadenti in fascia fluviale C (P.A.I.)


 **Classe 2 - Fattibilità con modeste limitazioni**

Risposta sismica locale

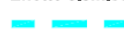
Effetto sismico di instabilità

 **Z1a - Zona caratterizzata da movimenti franosi attivi**

Effetto sismico di amplificazione litologica

 **Z2 - Zona con caratteristiche geotecniche scadenti**

Effetto sismico di amplificazione topografica

 **Z3a - Zona di ciglio H > 10 m**

Effetto sismico di amplificazione litologica e geometrica

 **Z4a - Zona di pianura con depositi alluvionali/fluvio-glaciali**

NOTE

(1) Le norme di attuazione associate alle classi ed ai singoli ambiti di fattibilità, le prescrizioni e gli studi di approfondimento richiesti sono contenuti nell'allegato normativo.

Stralcio carta di fattibilità geologica (da PGT Osio Sotto)
Non in scala

infiltrazioni nel terreno che possono alimentare eventuali falde di subalveo superficiali, benchè durante l'esecuzione delle indagini in sito non si stata riscontrata la presenza di acqua. Le indicazioni di carattere geologico, geomorfologico ed idrogeologico emerse dallo studio delle aree di intervento e dai sopralluoghi in sito non hanno evidenziato la presenza di processi geomorfologici relitti, quiescenti o in atto; lo studio geologico di PGT, redatto ai sensi della L.R. 12/2005, non individua inoltre situazioni di potenziale criticità idrogeologica per tale area e non prescrive l'adozione di alcuna misura di mitigazione/protezione preventiva e l'intervento risulta compatibile con la classe di fattibilità geologica attribuita e rispetta quanto previsto dalla DGR 2616/2011.

3.0 - Indagini in sito

Per l'ambito di intervento sono state eseguite le seguenti indagini geognostiche:

- N° 1 prova penetrometrica dinamica continua SCPT;
- N° 1 indagine sismica passiva a stazione singola HVSR;

Le indagini sono state eseguite come da schema allegato.

3.1 Prova penetrometrica dinamica continua SCPT

Per la caratterizzazione litotecnica dei terreni è stata eseguita n° 1 prova penetrometrica dinamica continua SCPT, ubicate come da schema allegato. Le prove sono state eseguite con l'impiego del penetrometro dinamico Compac DPSH - 75 le cui caratteristiche tecniche sono di seguito riportate:

Peso massa battente 63,5 Kg - altezza caduta libera 0,75 m - Diametro punta conica 50,8 mm - Lunghezza delle aste 1 m - Peso aste per metro 6,3 Kg - Profondità di giunzione della prima asta 0,90 m - Avanzamento punta 0,20 m.

L'impiego di tale strumento consente la registrazione continua dei dati relativi alla resistenza all'avanzamento della punta penetrometrica ogni 20 cm permettendo la discretizzazione ottimale dei singoli livelli di terreno attraversato. Le successive elaborazioni ed interpretazioni dei dati forniti dalla prova consentono di attribuire a ciascun livello di terreno attraversato i parametri litotecnici significativi per il calcolo della capacità portante ammissibile e dei cedimenti totali applicando le formule maggiormente descritte in letteratura. I risultati conseguiti dalla prova penetrometrica dinamica eseguita nell'area di studio sono illustrati nei grafici e nelle tabelle allegate:

Profondità da p.c. fino a cui sono state spinte le prove SCPT	
N° prova	Profondità in m da p.c.
1	3,20

Gli esiti della prova eseguita sono compatibili con la presenza di un livello superficiale di terreno limoso con ciottoli, con mediocri/scadenti caratteristiche geotecniche entro il quale saranno posate le fondazioni, che da piano campagna si spinge fino a circa 2,2 m di profondità. Al letto di tale strato seguono termini livelli con maggior componente ghiaiosa e grado di addensamento che aumenta con la profondità, fino a determinare il rifiuto all'avanzamento della punta penetrometrica. Durante l'esecuzione della prova non è stata riscontrata la presenza di acqua (aste estratte asciutte).



Legenda:

- **P1** – Prova penetrometrica dinamica continua SCPT n° 1
- **HVSRI** – Indagini sismica passiva HVSRI 1

Schema di ubicazione indagini in sito
Non in scala

3.1.1 - Correlazione SCPT - SPT ed interpretazioni geotecniche

Le correlazioni esistenti in letteratura tra i risultati di una prova penetrometrica dinamica continue SCPT ed i principali parametri geotecnici del terreno fanno riferimento essenzialmente alle prove SPT (Standar Penetration Test), è quindi necessario applicare una correzione ai risultati delle prove SCPT, per tenere conto delle diverse modalità esecutive. Nel caso specifico la correzione è stata operata sulla base delle differenti modalità esecutive della prova SCPT e della prova SPT (peso del maglio, volata, area della punta, ecc.) che comportano energie di infissione ovviamente differenti; per rapportare il numero di colpi dell' SPT con quelli del dinamico continuo diversi

Autori propongono l'applicazione del seguente fattore correttivo: $Cf = \frac{M1 \cdot H1 \cdot P11 \cdot Ap1}{M2 \cdot H2 \cdot P12 \cdot Ap2}$ dove:

M2	=	peso del maglio SPT (63.5 kg);
H2	=	volata del maglio SPT (75 cm);
P12	=	passo di lettura SPT (15 cm);
Ap2	=	area della punta SPT (20.4 cmq);
M1	=	peso del maglio del dinamico continuo;
H1	=	volata del maglio del dinamico continuo;
P11	=	passo di lettura del dinamico continuo;
Ap1	=	area della punta del dinamico continuo.

Il numero di colpi da utilizzare nel calcolo dei parametri geotecnici sarà dato da:

$$N_{spt} = Cf N_{scpt}$$

Nel caso specifico il coefficiente di correlazione è stato assunto pari a 1,5 in accordo con i risultati ottenuti da Muromachi e Kobayashi (1981), che hanno presentato una correlazione fra N30 (colpi per 30 cm di penetrazione) ed N_{spt} attraverso l'utilizzo del penetrometro l'RTRI-HEAVY, giapponese, con maglio di 63,5 Kg, caduta 75 cm, dpunta = 5,08 cm, il quale è simile al penetrometro italiano tipo EMILIA-DPSH (e al penetrometro utilizzato per le seguenti prove). I due autori trovano che i dati, rilevati in materiali compresi in un'ampia gamma granulometrica, tenendo conto dell'influenza dell'attrito laterale la relazione diventa: $\frac{N_{30}}{N_{spt}} = 1,5$ L'interpretazione dei dati forniti dalla prova penetrometrica ha consentito di attribuire agli orizzonti attraversati i parametri litotecnici illustrati nelle tabelle allegate.

3.2 Indagine sismica passiva HVSR

Al fine di stimare la V_{equiv} ai sensi della normativa vigente, è stata eseguita n. 1 indagine sismica passiva HVSR (horizontal vertical spectra ratio) nota anche con il nome di prova Nakamura. Questa prova consente, in condizioni ottimali, di evidenziare eventuali fenomeni di amplificazione sismica legati ad assetti particolari del substrato. Questa metodologia ha mostrato i migliori risultati in presenza di un substrato rigido con sedimenti sovrastanti poco consolidati o poco addensati. La prova eseguita con la tecnica dei microtremiti, detta HVSR o "prova Nakamura", ha evidenziato che l'ambito di intervento è riferibile ad un suolo sismico B. Le analisi di II Livello sismico esposte nel paragrafo seguente indicano inoltre che il valore di Fa calcolato, per suolo sismico B, risulta superiore ad Fa di soglia; nelle verifiche geotecniche e sismiche si dovrà pertanto considerare un Sottosuolo di Categoria Sismico C per il quale il valore di Fa calcolato risulta inferiore ad Fa di soglia e la normativa di riferimento risulta adeguata a considerare i possibili effetti di amplificazione sismica locale.

PROVE PENETROMETRICHE DINAMICHE CONTINUE SCPT

Committente: Comune di Almè
 Cantiere: Via Olimpia
 Località: Almè (Bg)

Caratteristiche Tecniche-Strumentali Sonda: Compac DPSH 75

Rif. Norme	DIN 4094
Peso Massa battente	63.5 Kg
Altezza di caduta libera	0.75 m
Peso sistema di battuta	8 Kg
Diametro punta conica	64.57 mm
Area di base punta	32.75 cm ²
Lunghezza delle aste	1 m
Peso aste a metro	6.3 Kg/m
Profondità giunzione prima asta	0.80 m
Avanzamento punta	0.20 m
Numero colpi per punta	N(20)
Coeff. Correlazione	1,49
Rivestimento/fanghi	No
Angolo di apertura punta	60 °

Classificazione ISSMFE (1988) delle sonde Penetrometriche dinamiche

Tipo	Sigla di riferimento	Peso della massa battente in Kg
Leggero	DPL (Light)	M<10
Medio	DPM (Medium)	10<M<40
Pesante	DPH (Heavy)	40<M<60
Super pesante	DPSH (Super Heavy)	M>60

PROVA ... Nr.1

Strumento utilizzato... Compac DPSH 75
 Prova eseguita in data 13/05/2024
 Profondità prova 3,20 mt
 Falda non rilevata
 Tipo elaborazione Nr. Colpi: Medio

Profondità' (m)	Nr. Colpi	Calcolo coeff. riduzione sonda Chi	Res. dinamica ridotta (Kg/cm ²)	Res. dinamica (Kg/cm ²)	Pres. ammissibile con riduzione Herminier - Olandesi (Kg/cm ²)	Pres. ammissibile Herminier - Olandesi (Kg/cm ²)
0,20	2	0,855	16,61	19,44	0,83	0,97
0,40	4	0,851	33,07	38,87	1,65	1,94
0,60	4	0,847	32,92	38,87	1,65	1,94
0,80	3	0,843	24,59	29,15	1,23	1,46
1,00	3	0,840	22,65	26,97	1,13	1,35
1,20	4	0,836	30,07	35,96	1,50	1,80
1,40	4	0,833	29,95	35,96	1,50	1,80
1,60	3	0,830	22,37	26,97	1,12	1,35
1,80	5	0,826	37,14	44,95	1,86	2,25
2,00	4	0,823	27,54	33,45	1,38	1,67
2,20	3	0,820	20,58	25,09	1,03	1,25
2,40	7	0,817	47,84	58,54	2,39	2,93
2,60	11	0,814	74,91	92,00	3,75	4,60
2,80	15	0,761	95,52	125,45	4,78	6,27
3,00	14	0,759	83,04	109,46	4,15	5,47
3,20	13	0,756	76,84	101,64	3,84	5,08

TERRENI COESIVI

Coesione non drenata

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Cu (Kg/cm ²)
Strato (1) Limo argilloso e ciottoli	5,34	0.00-2,20	Terzaghi-Peck	0,33

Qc (Resistenza punta Penetrometro Statico)

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Qc (Kg/cm ²)
Strato (1) Limo argilloso e ciottoli	5,34	0.00-2,20	Robertson (1983)	10,68

Modulo Edometrico

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Eed (Kg/cm ²)
Strato (1) Limo argilloso e ciottoli	5,34	0.00-2,20	Trofimenkov (1974), Mitchell e Gardner	56,26

Modulo di Young

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Ey (Kg/cm ²)
Strato (1) Limo argilloso e ciottoli	5,34	0.00-2,20	Apollonia	53,40

Classificazione AGI

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Classificazione
Strato (1) Limo argilloso e ciottoli	5,34	0.00-2,20	A.G.I. (1977)	MODERAT. CONSISTENTE

Peso unita' di volume

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Peso unita' di volume (t/m ³)
Strato (1) Limo argilloso e ciottoli	5,34	0.00-2,20	Meyerhof	1,78

Peso unita' di volume saturo

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Peso unita' di volume saturo (t/m ³)
Strato (1) Limo argilloso e ciottoli	5,34	0.00-2,20	Meyerhof	1,88

TERRENI INCOERENTI

Densita' relativa

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Densita' relativa (%)
Strato (2) Ghiaia limosa	18,05	2,20-3,20	18,05	Gibbs & Holtz 1957	44,33

Angolo di resistenza al taglio

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Angolo d'attrito (°)
Strato (2) Ghiaia limosa	18,05	2,20-3,20	18,05	Japanese National Railway	32,42

Modulo di Young

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Modulo di Young (Kg/cm ²)
Strato (2) Ghiaia limosa	18,05	2,20-3,20	18,05	Schmertmann (1978) (Sabbie)	144,40

Modulo Edometrico

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Modulo Edometrico (Kg/cm ²)
Strato (2) Ghiaia limosa	18,05	2,20-3,20	18,05	Begemann 1974 (Ghiaia con sabbia)	64,54

Classificazione AGI

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Classificazione AGI
Strato (2) Ghiaia limosa	18,05	2,20-3,20	18,05	Classificazione A.G.I	MODERATAMENT E ADDENSATO

Peso unita' di volume

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Peso Unità di Volume (t/m ³)
Strato (2) Ghiaia limosa	18,05	2,20-3,20	18,05	Meyerhof et al.	1,95

Peso unita' di volume saturo

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Peso Unita' Volume Saturo (t/m ³)
Strato (2) Ghiaia limosa	18,05	2,20-3,20	18,05	Terzaghi-Peck 1948-1967	1,97

Modulo di Poisson

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Poisson
Strato (2) Ghiaia limosa	18,05	2,20-3,20	18,05	(A.G.I.)	0,32

Modulo di deformazione a taglio dinamico

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	G (Kg/cm ²)
Strato (2) Ghiaia limosa	18,05	2,20-3,20	18,05	Ohsaki (Sabbie pulite)	986,28

Coefficiente spinta a Riposo

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	K0
Strato (2) Ghiaia limosa	18,05	2,20-3,20	18,05	Navfac 1971-1982	3,70

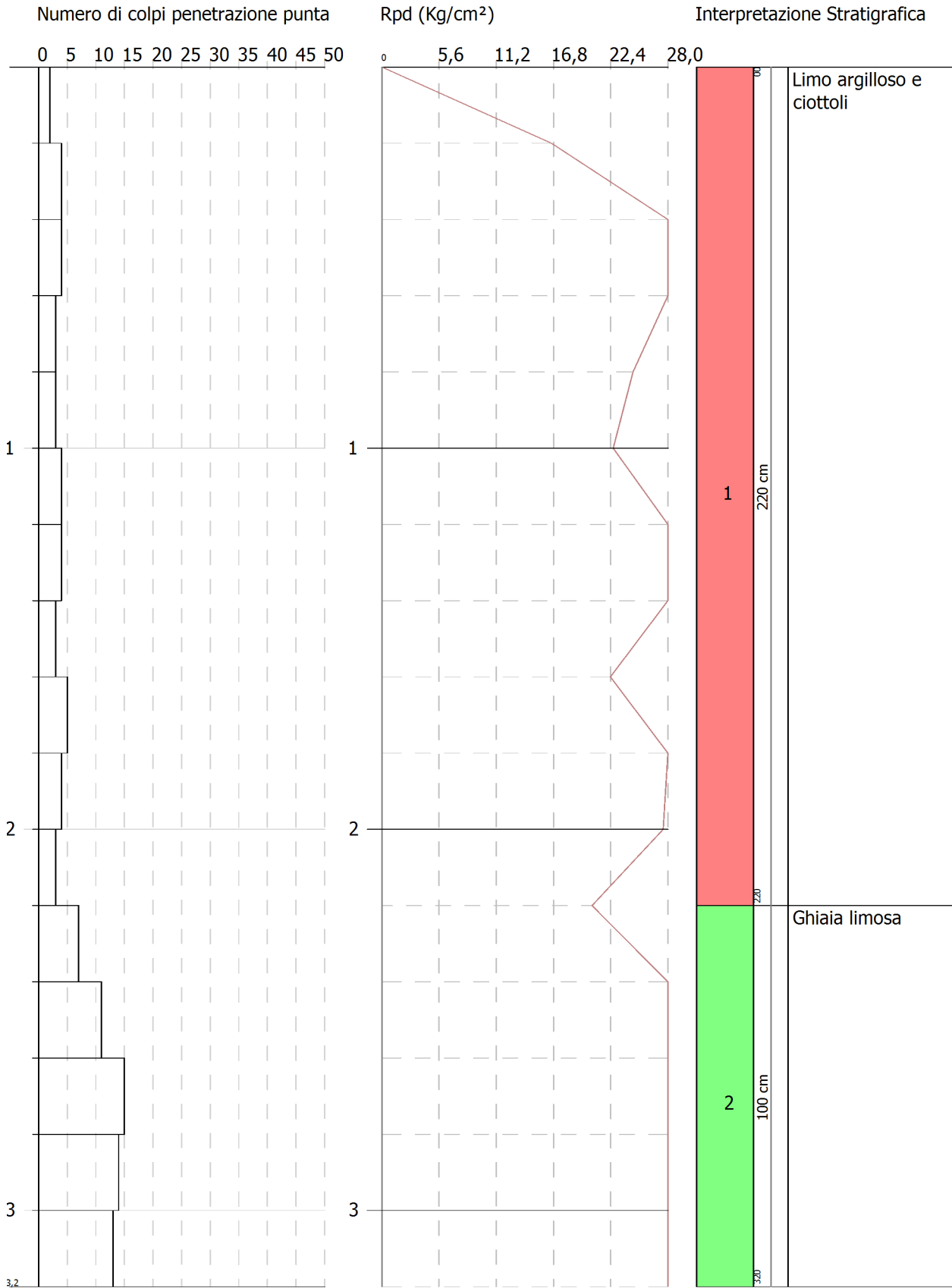
Qc (Resistenza punta Penetrometro Statico)

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Qc (Kg/cm ²)
Strato (2) Ghiaia limosa	18,05	2,20-3,20	18,05	Robertson 1983	36,10

STRATIGRAFIA TERRENO - MODELLO STRATIGRAFICO GEOTECNICO CONCETTUALE CARATTERISTICO DI RIFERIMENTO – Condizione più scadente

DH: Spessore dello strato; Gam: Peso unità di volume; Gams: Peso unità di volume saturo; Fi: Angolo di attrito; Ficorr: Angolo di attrito corretto secondo Terzaghi; c: Coesione; c Corr: Coesione corretta secondo Terzaghi; Ey: Modulo Elastico; Ed: Modulo Edometrico; Ni: Poisson; Cv: Coeff. consolidaz. primaria; Cs: Coeff. consolidazione secondaria; cu: Coesione non drenata

Spessore strato [m]	Peso unità di volume [Kg/m ³]	Peso unità di volume saturo [Kg/m ³]	Angolo di attrito [°]	Coesione [Kg/cm ²]	Coesione non drenata [Kg/cm ²]	Modulo Elastico [Kg/cm ²]	Modulo Edometrico [Kg/cm ²]	Descrizione
2.2	1780.0	1880.0	0.0	0.0	0.3	50.0	55.0	Limo argilloso e ciottoli
1.0	1950.0	1970.0	32.0	0.0	0.0	140.0	60.0	Ghiaia limosa



4.0 Elementi di microzonazione sismica

Dal punto di vista sismico il territorio comunale di Almè è stato classificato dalla D.G.R. della Lombardia n. X/2129 dell'11 luglio 2014 "Aggiornamento delle zone sismiche in Regione Lombardia (L.R. 1/2000, art. 3, c. 108, lett. d)", come comune in zona 3; tutti i progetti delle strutture riguardanti le nuove costruzioni, pubbliche e private, devono essere redatti in linea con le norme tecniche vigenti per la Zona 3". Le NTC, prevedono, in luogo delle accelerazioni sismiche per l'intero territorio comunale e per classi di sismicità, previste dall'O.P.C.M. 3274, l'adozione dei valori di accelerazione sismica di base considerando l'intero territorio suddiviso secondo griglie con un lato di circa 5,5 km, a ciascuna delle quali è attribuito un caratteristico ed uniforme valore di accelerazione sismica ag. La "pericolosità sismica di base" del sito di intervento costituisce pertanto l'elemento di conoscenza primario per la determinazione delle azioni sismiche attraverso la definizione di tre parametri: ag = accelerazione orizzontale massima del sito; Fo = valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale; T*c= periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale. Ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto, l'effetto della risposta sismica locale si valuta mediante specifiche analisi, da eseguire con le modalità indicate nel § 7.11.3. In alternativa, qualora le condizioni stratigrafiche e le proprietà dei terreni siano chiaramente riconducibili alle categorie definite nella Tab. 3.2.II, si può fare riferimento a un approccio semplificato che si basa sulla classificazione del sottosuolo in funzione dei valori della velocità di propagazione delle onde di taglio, Vs. Per il caso in esame è stato adottato il metodo semplificato mediante la stima del valore di Vs attraverso specifiche indagini in sito. I valori dei parametri meccanici necessari per le analisi di risposta sismica locale o delle velocità Vs per l'approccio semplificato costituiscono parte integrante della caratterizzazione geotecnica dei terreni compresi nel volume significativo, di cui al § 6.2.2. I valori di Vs sono ottenuti mediante specifiche prove ovvero, con giustificata motivazione e limitatamente all'approccio semplificato, sono valutati tramite relazioni empiriche di comprovata affidabilità con i risultati di altre prove in sito, quali ad esempio le prove penetrometriche dinamiche per i terreni a grana grossa e le prove penetrometriche statiche.

La classificazione del sottosuolo si effettua in base alle condizioni stratigrafiche ed ai valori della velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio, VS,eq (in m/s), definita dall'espressione:

$$V_{S,eq} = \frac{H}{\sum_{i=1}^N \frac{h_i}{V_{S,i}}}$$

con:

- hi spessore dell'i-esimo strato;
- Vsi velocità delle onde di taglio nell'i-esimo strato;
- N numero di strati;
- H profondità del substrato, definito come quella formazione costituita da roccia o terreno molto rigido, caratterizzata da Vs non inferiore a 800 m/s.

Per le fondazioni superficiali, la profondità del substrato è riferita al piano di imposta delle stesse, mentre per le fondazioni su pali è riferita alla testa dei pali. Nel caso di opere di sostegno di terreni naturali, la profondità è riferita alla testa dell'opera. Per muri di sostegno di terrapieni, la profondità è riferita al piano di imposta della fondazione. Per depositi con profondità H del substrato superiore a 30 m, la velocità equivalente delle onde di taglio VS,eq è definita dal para-metro VS,30, ottenuto ponendo H=30 m nella precedente espressione e considerando le proprietà degli strati di terreno fino a tale profondità. Le categorie di sottosuolo che permettono l'utilizzo dell'approccio semplificato sono definite in Tab. 3.2.II.

Tab. 3.2.II – *Categorie di sottosuolo che permettono l'utilizzo dell'approccio semplificato.*

Categoria	Descrizione
A	Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di velocità delle onde di taglio superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie terreni di caratteristiche meccaniche più scadenti con spessore massimo pari a 3 m.
B	Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s.
C	Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.
D	Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti, con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 100 e 180 m/s.
E	Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D, con profondità del substrato non superiore a 30 m.

Per queste cinque categorie di sottosuolo, le azioni sismiche sono definibili come descritto al § 3.2.3 delle presenti norme. Per qualsiasi condizione di sottosuolo non classificabile nelle categorie precedenti, è necessario predisporre specifiche analisi di ri-sposta locale per la definizione delle azioni sismiche. Condizioni topografiche Per condizioni topografiche complesse è necessario predisporre specifiche analisi di risposta sismica locale. Per configurazioni superficiali semplici si può adottare la seguente classificazione (Tab. 3.2.III):

Tab. 3.2.III – *Categorie topografiche*

Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
T1	Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$
T2	Pendii con inclinazione media $i > 15^\circ$
T3	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $15^\circ \leq i \leq 30^\circ$
T4	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $i > 30^\circ$

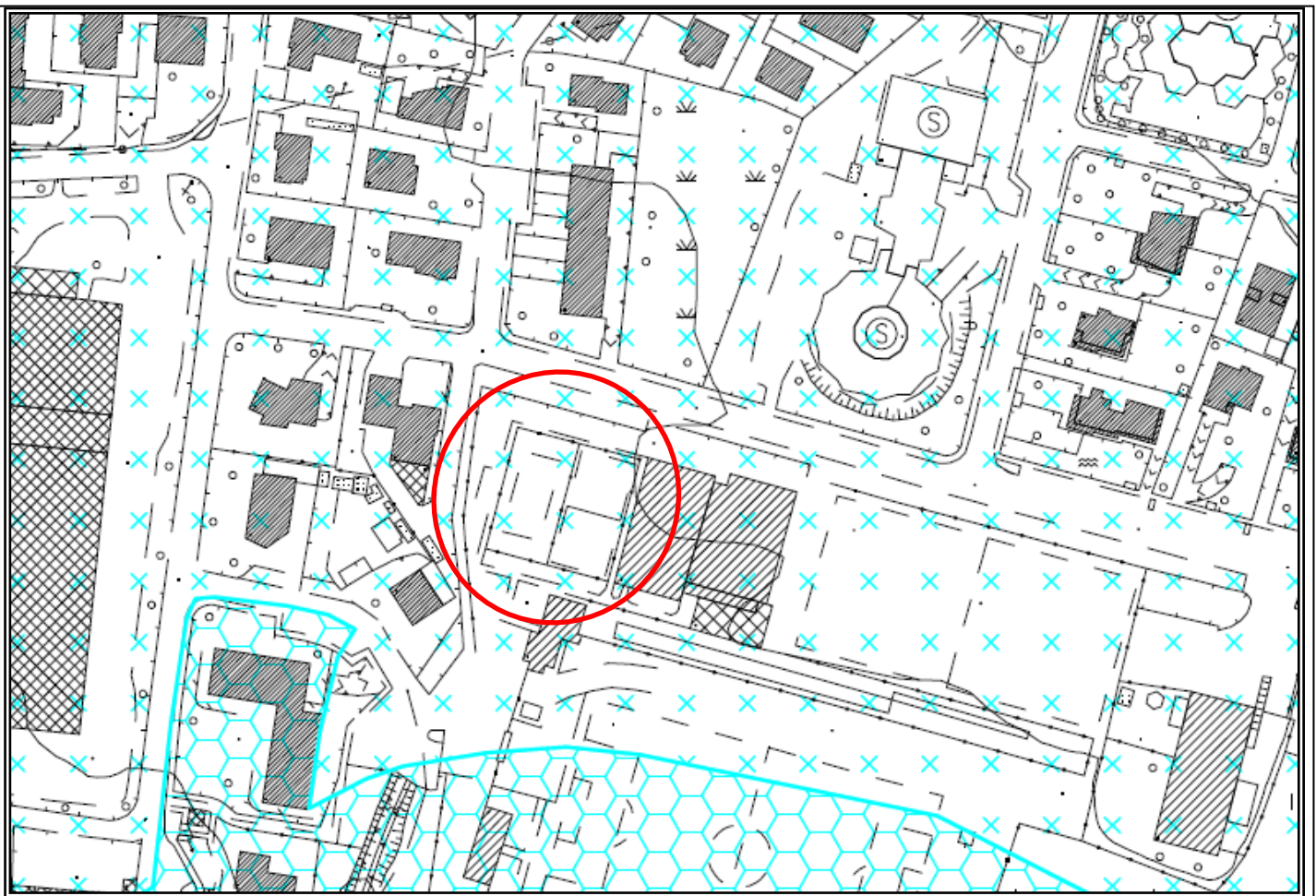
Le analisi di II Livello sismico espone nel paragrafo seguente indicano inoltre che il valore di F_a calcolato, per suolo sismico B, risulta superiore ad F_a di soglia; nelle verifiche geotecniche e sismiche si dovrà pertanto considerare un Sottosuolo di Categoria Sismico C per il quale il valore di F_a calcolato risulta inferiore ad F_a di soglia e la normativa di riferimento risulta adeguata a considerare i possibili effetti di amplificazione sismica locale. Considerata la morfologia pianeggiante dei terreni, la categoria topografica è riferibile alla Classe T1.

4.1 Verifica liquefazione terreno di sottofondo

Le NTC consentono di omettere la verifica a liquefazione quando si manifestino, per l'ambito in esame, almeno una delle seguenti cinque condizioni:

- 1) accelerazioni massime attese al piano campagna in assenza di manufatti (condizioni di campolibero) minori di 0,1g;
- 2) profondità media stagionale della falda superiore a 15 m dal piano campagna, per pianocampagna sub-orizzontale e strutture con fondazioni superficiali;
- 3) depositi costituiti da sabbie pulite con resistenza penetrometrica normalizzata $(N1)60 > 30$ oppure $q_{ciN} > 180$ dove $(N1) 60$ è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche dinamiche (Standard Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa e q_{ciN} è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche statiche (Cone Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa;
- 5) distribuzione granulometrica esterna alle zone indicate nei fusi granulometrici di cui alle figure 7.11.1 (a) e b delle NTC.

Per il caso specifico sono verificate le condizioni 2) e 5); viene pertanto omessa la relativa verifica.



Area intervento

LEGENDA

AMBITI DI PERICOLOSITÀ SISMICA LOCALE (PSL)

Effetto sismico di Instabilità



Z1a - Zona caratterizzata da movimenti franosi attivi

Effetto sismico di cedimento/liquefazione



Z2 - Zona con caratteristiche geotecniche scadenti

Effetto sismico di amplificazione topografica



Z3a - Zona di ciglio H > 10 m

Effetto sismico di amplificazione litologica e geometrica



Z4a - Zona di fondovalle con depositi alluvionali/fluvio-glaciali

Stralcio della Carta di Pericolosità Sismica Locale del vigente PGT
(non in scala)

4.2 Analisi sismica di II Livello

Nel rispetto dei riferimenti normativi dettati dalla DGR 2616/2011 e della DGR 5001/2016, è stata eseguita un'analisi sismica di II Livello, adottando i metodi di approfondimento previsti dalla Regione Lombardia - Allegato 5 - DGR 2616/2011 e App 5 - DGR 5001/2016. La procedura per la caratterizzazione semiquantitativa degli effetti d'amplificazione consiste nella stima quantitativa della risposta sismica dei terreni in termini di valore di Fattore di amplificazione (Fa); lo studio nel caso specifico è stato condotto con metodi quantitativi semplificati, validi per la valutazione delle amplificazioni litologiche. Il valore di Fa si riferisce agli intervalli di periodo tra 0.1 - 0.5 s e 0.5 - 1.5 s: in particolare l'intervallo tra 0.1 - 0.5 s si riferisce a strutture di altezza inferiore ai 5 piani, basse e relativamente rigide, come quella di progetto. La procedura semplificata richiede la conoscenza dei seguenti parametri:

- litologia dei materiali presenti nel sito (litologie ghiaiose e litologie argillose limose);
- stratigrafia del sito;
- andamento con la profondità delle Vs fino a valori pari o superiori a 800 m/s; in mancanza del raggiungimento del bedrock ($V_s \geq 800$ m/s) con le indagini è possibile ipotizzare un opportuno gradiente di Vs con la profondità sulla base dei dati ottenuti dall'indagine, tale da raggiungere il valore di 800 m/s.
- spessore, peso di volume e velocità di ciascun strato;
- sezioni geologiche, conseguente modello geofisico - geotecnico ed identificazione dei punti rappresentativi sui quali effettuare l'analisi.

In funzione della litologia prevalente presente nel sito, del gradiente di velocità Vs e del gradiente del peso di volume naturale con la profondità si sceglie l'abaco di riferimento. In funzione dello spessore e della velocità Vs(2) dello strato superficiale si sceglie la curva più appropriata per la valutazione del valore di Fa nell'intervallo 0,5 - 1,5 s. La valutazione del grado di protezione è effettuata in termini di contenuti energetici, confrontando il valore di Fa ottenuto con un parametro di analogo significato calcolato per ciascun Comune e per le diverse categorie di suolo (Norme Tecniche per le Costruzioni) soggette ad amplificazioni litologiche (B, C, D ed E) e per i due intervalli di periodo 0,1 - 0,5 e 0,5 - 1,5 s. Il parametro calcolato per ciascun Comune della Regione Lombardia è riportato nella banca dati in formato.xls (soglie_lomb.xls) e rappresenta il valore di soglia oltre il quale lo spettro proposto dalla normativa risulta insufficiente a tenere in considerazione la reale amplificazione presente nel sito. La procedura prevede pertanto di valutare il valore di Fa e di confrontarlo con il corrispondente valore di soglia, considerando una variabilità di + 0,1 che tiene conto della variabilità del valore di Fa ottenuto. L'applicazione di questa metodologia richiede quindi l'esecuzione delle seguenti fasi:

1 - Scelta della litologia prevalente lungo la verticale indagata, tra le classi litologiche messe a disposizione dalla Regione Lombardia (nella DGR 2616/2011) e quindi verifica della congruità del profilo di propagazione delle onde di taglio con il campo di validità messo a disposizione nelle norme. Se il profilo rientra nel campo di validità si passa al punto 2.

2 - Selezione della curva da utilizzare per il calcolo del Fa nell'intervallo 0,1 - 0,5 s, sulla base di: velocità di propagazione delle onde di taglio (VS) del primo strato (la cui identificazione è incerta, in quanto non è specificato se il primo strato deve essere individuato sulla base della stratigrafia oppure sulla base degli

Parametri sismici

determinati con **GeoStru PS**

Le coordinate geografiche espresse in questo file sono in ED50

Tipo di elaborazione: Stabilità dei pendii

Sito in esame.

latitudine: 45,736910 [°]

longitudine: 9,614657 [°]

Classe d'uso: 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.

Vita nominale: 50 [anni]

Tipo di interpolazione: Media ponderata

Siti di riferimento.

	ID	Latitudine [°]	Longitudine [°]	Distanza [m]
Sito 1	11156	45,721070	9,556310	4859,3
Sito 2	11157	45,723370	9,627694	1814,0
Sito 3	10935	45,773310	9,624426	4117,8
Sito 4	10934	45,771020	9,552936	6108,8

Parametri sismici

Categoria sottosuolo: C

Categoria topografica: T1

Periodo di riferimento: 50 anni

Coefficiente cu: 1

	Prob. superamento [%]	Tr [anni]	ag [g]	Fo [-]	Tc* [s]
Operatività (SLO)	81	30	0,027	2,461	0,193
Danno (SLD)	63	50	0,035	2,497	0,210
Salvaguardia della vita (SLV)	10	475	0,093	2,456	0,275
Prevenzione dal collasso (SLC)	5	975	0,123	2,458	0,282

Coefficienti Sismici Stabilità dei pendii

	Ss [-]	Cc [-]	St [-]	Kh [-]	Kv [-]	Amax [m/s ²]	Beta [-]
SLO	1,500	1,810	1,000	0,008	0,004	0,393	0,200
SLD	1,500	1,760	1,000	0,010	0,005	0,510	0,200
SLV	1,500	1,610	1,000	0,028	0,014	1,373	0,200
SLC	1,500	1,590	1,000	0,044	0,022	1,815	0,240

Geostru

intervalli di velocità VS individuati); profondità del bedrock sismico.

3 - Calcolo del Fa (nei periodi 0,1 - 0,5 s e 0,5 - 1,5 s) in relazione al periodo fondamentale del terreno.

4 - Selezione della curva da utilizzare per il calcolo del Fa nell'intervallo 0,1 - 0,5 s, sulla base di:

velocità di propagazione delle onde di taglio (VS) del primo strato (la cui identificazione è incerta, in quanto non è specificato se il primo strato deve essere individuato sulla base della stratigrafia oppure sulla base degli intervalli di velocità VS individuati), profondità del bedrock sismico.

5 - Calcolo del Fa (nei periodi 0,1 - 0,5 s e 0,5 - 1,5 s) in relazione al periodo fondamentale del terreno.

Il periodo proprio del sito T necessario per l'utilizzo della scheda di valutazione è calcolato considerando tutta la stratigrafia fino alla profondità in cui il valore della velocità Vs è uguale o superiore a 800 m/s ed utilizzando la seguente equazione:

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

Dove hi e Vsi sono lo spessore e la velocità dello strato i-esimo del modello. Una volta calcolati i Fa, l'ultimo passo da compiere prevede il loro confronto con dei valori predeterminati dalla Regione Lombardia. Per il caso specifico, come già accennato, il periodo di riferimento da adottare nelle verifiche è T = 0.1 - 0.5 s riferito a strutture di altezza inferiore ai 5 piani di altezza. Per il comune di Almè (Bg) il valori di Fa soglia definiti da Regione Lombardia sono i seguenti:

Intervallo	Valori Soglia			
	B	C	D	E
0.1 - 0.5	1.4	1.9	2,2	2.0

Si possono presentare quindi due situazioni:

1 - il valore di Fa è inferiore o uguale al valore di soglia corrispondente: la nuova normativa è da considerarsi sufficiente per tenere in considerazione anche i possibili effetti di amplificazione litologica del sito e quindi si applica lo spettro previsto dalla normativa;

2 - il valore di Fa è superiore al valore di soglia corrispondente: la normativa è insufficiente a tenere in considerazione i possibili effetti di amplificazione litologica del sito e quindi è necessario, in fase di progettazione edilizia, o effettuare analisi più approfondite (III° Livello) o, in alternativa, utilizzare lo spettro di norma caratteristico della categoria di suolo superiore, con il seguente schema (punto 1.4.3 della DGR VIII/7374/2008 e Allegato 5 della DGR 2626/2011):

- anziché lo spettro della categoria B di suolo si utilizzerà quello della categoria di suolo C; nel caso in cui la soglia non fosse ancora sufficiente si utilizzerà lo spettro della categoria di suolo D;

- anziché lo spettro della categoria C di suolo si utilizzerà quello della categoria di suolo D;

- anziché lo spettro della categoria E di suolo si utilizzerà quello della categoria di suolo D.

Per il caso specifico in esame le indagini in sito eseguite indicano che il sottofondo dell'area di intervento è compatibile con un suolo sismico di Classe B. La scheda di riferimento compatibile per l'area di intervento, tra quelle proposte da Regione Lombardia, è risultata essere la Scheda litologia sabbiosa.

Le verifiche condotte restituiscono, per periodo 0.1 - 0.5 s, per suoli di Classe Sismica B, un valore di Fa calcolato: Fa = 1,49.

La procedura prevede di valutare il valore di Fa con le schede di valutazione e di confrontarlo con il corrispondente

valore di soglia, considerando una variabilità di + 0.1 che tiene in conto la variabilità del valore di Fa ottenuto.

Nel caso in esame si ottiene un valore di $F_a = 1,49 + 0,1 = 1,59$ con F_a soglia per suolo B = 1,4, per il periodo 0.1 - 0.5 s. Il valore di F_a calcolato risulta pertanto superiore ad F_a di soglia; nelle verifiche geotecniche e sismiche si dovrà quindi considerare un suolo sismico di Categoria C per il quale il valore di F_a calcolato risulta inferiore ad F_a di soglia e la normativa di riferimento risulta adeguata a considerare i possibili effetti di amplificazione sismica, mentre la categoria topografia è compatibile con la T1.

5.0 Caratteristiche geotecniche terreni

Le NTC 2018, stabiliscono che in luogo dei parametri geotecnici nominali, nelle verifiche geotecniche debbano essere utilizzati i parametri geotecnici caratteristici. Definire il valore caratteristico significa pertanto scegliere il parametro geotecnico che influenza il comportamento del terreno in quel determinato stato limite, ed adottarne un valore, o stima, a favore della sicurezza. **Nel caso specifico si adotteranno i seguenti parametri geotecnici caratteristici prossimi ai minimi più scadenti:**

STRATIGRAFIA TERRENO - MODELLO STRATIGRAFICO GEOTECNICO CONCETTUALE CARATTERISTICO DI RIFERIMENTO – Condizione più scadente SCPT 2

DH: Spessore dello strato; Gam: Peso unità di volume; Gams: Peso unità di volume saturo; Fi: Angolo di attrito; Ficorr: Angolo di attrito corretto secondo Terzaghi; c: Coesione; c Corr: Coesione corretta secondo Terzaghi; Ey: Modulo Elastico; Ed: Modulo Edometrico; Ni: Poisson; Cv: Coeff. consolidaz. primaria; Cs: Coeff. consolidazione secondaria; cu: Coesione non drenata

Spessore strato [m]	Peso unità di volume [Kg/m ³]	Peso unità di volume saturo [Kg/m ³]	Angolo di attrito [°]	Coesione [Kg/cm ²]	Coesione non drenata [Kg/cm ²]	Modulo Elastico [Kg/cm ²]	Modulo Edometrico o [Kg/cm ²]	Descrizione
2.2	1780.0	1880.0	0.0	0.0	0.3	50.0	55.0	Limo argilloso e ciottoli
1.0	1950.0	1970.0	32.0	0.0	0.0	140.0	60.0	Ghiaia limosa

5.1 Verifica al carico limite dell'insieme fondazione-terreno

Per ogni stato limite ultimo deve essere rispettata la condizione $E_d \leq R_d$, dove E_d è il valore di progetto dell'azione e dove R_d è il valore di progetto della resistenza del sistema geotecnico (in questo caso del terreno di fondazione). Al fine di consentire l'esecuzione delle verifiche allo Stato Limite Ultimo (SLU) dell'opera in progetto, viene determinata la resistenza di progetto del terreno di fondazione al collasso per carico limite (R_d), che si ottiene dividendo la resistenza caratteristica del terreno R_k (coincidente con la capacità portante limite), per un fattore di sicurezza R variabile a seconda dell'approccio scelto per le suddette verifiche. Il calcolo della resistenza del sottofondo è stato condotto sia in condizioni statiche (assenza di sisma), sia in condizioni dinamiche (presenza di sisma). In condizioni dinamiche si è tenuto conto, nel calcolo della resistenza, dei coefficienti riduttivi dei fattori di portanza N_q , N_c ed N_g , legati all'accelerazione sismica orizzontale al piano di posa delle fondazioni, secondo quanto prescritto da Paolucci & Pecker (1997). Gli stati limite ultimi delle fondazioni superficiali si riferiscono allo sviluppo di meccanismi di collasso determinati dalla mobilitazione della resistenza del terreno e al raggiungimento della resistenza degli elementi strutturali che compongono la fondazione stessa. Nelle verifiche di sicurezza devono essere presi in considerazione tutti i meccanismi di stato limite ultimo, sia a breve sia a lungo termine. Gli stati limite ultimi delle fondazioni superficiali si riferiscono allo sviluppo di meccanismi di collasso determinati dalla mobilitazione della resistenza del terreno e al raggiungimento della resistenza degli elementi

strutturali che compongono la fondazione stessa. Nel caso di fondazioni posizionate su o in prossimità di pendii naturali o artificiali deve essere effettuata la verifica anche con riferimento alle condizioni di stabilità globale del pendio includendo nelle verifiche le azioni trasmesse dalle fondazioni.

Le verifiche devono essere effettuate almeno nei confronti dei seguenti stati limite, accertando che la condizione 6.2.1 sia soddisfatta per ogni stato limite considerato:

SLU di tipo geotecnico (GEO)

- collasso per carico limite dell'insieme fondazione - terreno;
- collasso per scorrimento sul piano di posa;
- stabilità globale.

SLU di tipo strutturale (STR)

- raggiungimento della resistenza negli elementi strutturali.

La verifica di stabilità globale deve essere effettuata, secondo la Combinazione 2 (A2+M2+R2) dell'Approccio 1, tenendo conto dei coefficienti parziali riportati nelle Tabelle 6.2.I e 6.2.II per le azioni e i parametri geotecnici e nella Tab. 6.8.I per le resistenze globali. Le rimanenti verifiche devono essere effettuate applicando la combinazione (A1+M1+R3) di coefficienti parziali prevista dall'Approccio 2, tenendo conto dei valori dei coefficienti parziali riportati nelle Tabelle 6.2.I, 6.2.II e 6.4.I. Nelle verifiche nei confronti di SLU di tipo strutturale (STR), il coefficiente γ_R non deve essere portato in conto.

Tab. 6.4.I - Coefficienti parziali γ_R per le verifiche agli stati limite ultimi di fondazioni superficiali

Verifica	Coefficiente parziale (R3)
Carico limite	$\gamma_R = 2,3$
Scorrimento	$\gamma_R = 1,1$

Verifiche gli stati limite di esercizio (SLE)

Al fine di assicurare che le fondazioni risultino compatibili con i requisiti prestazionali della struttura in elevazione (§§ 2.2.2 e 2.6.2), si deve verificare il rispetto della condizione 6.2.7, calcolando i valori degli spostamenti e delle distorsioni nelle combinazioni di carico per gli SLE specificate al §2.5.3, tenendo conto anche dell'effetto della durata delle azioni. Forma, dimensioni e rigidezza della struttura di fondazione devono essere stabilite nel rispetto dei summenzionati requisiti prestazionali, tenendo presente che le verifiche agli stati limite di esercizio possono risultare più restrittive di quelle agli stati limite ultimi. Nelle verifiche geotecniche per la stima della capacità portante si sono adottati i metodi più diffusi in letteratura, applicando i relativi effetti sismici sulla base dei parametri scaturiti dalla caratterizzazione sismica del sito utilizzando il software commerciale LoadCap, versione 2023 implementato dalla Geostru.

Nelle verifiche geotecniche sono state ipotizzate le azioni e combinazioni di carico riportate nella tabella di seguito riportata; sarà cura dello strutturista verificare la congruenza di tali dati con le azioni effettivamente agenti sulle fondazioni e qualora necessario, saranno eseguite ulteriori iterazioni di verifica sulla base delle azioni di progetto.

Nelle verifiche sono state considerate le seguenti fondazioni;

Fondazioni a travi rovesce di larghezza B = 70 cm - Profondità di posa - 0.3 m	
Rinterro 0.3 cm	
Combinazione delle azioni sulle fondazioni (Kg/cmq)	
Ipotesi orientativa (da verificare)	
A1+M1+R3 Combinazione fondamentale statica SLU (STR)	0.50
sisma	0.50
SLE	0.50
SLD	0.50

5.2 Esiti delle verifiche geotecniche relative alla resistenza dei terreni allo SLU

Nella tabella allegata sono riportati gli esiti delle verifiche geotecniche eseguite con le combinazioni di calcolo indicate, sia in condizioni statiche che in condizioni dinamiche. Le verifiche geotecniche eseguite adottando **l'Approccio 2 - Combinazione Unica** hanno fornito i seguenti esiti

Fondazioni	Sigma massima a compressione SLU - Qultima (K/cm ²)	Resistenza di progetto Rd (Kg/cm ²)	Tensione massima esercizio Ed (Kg/cm ²)	Coefficiente di sicurezza	Verifica geotecnica	Cedimenti totali (mm)
Travi rovesce B = 70 cm	1,62	0,70	0,70	Verificato	Verificata	< 15 mm

Nel dimensionamento esecutivo delle fondazioni si raccomanda di adottare in ogni caso, a deciso favore di sicurezza, un valore di Tensione Massima di Esercizio Ed non superiore a Ed = 0,50 Kg/cmq. Comunque, in fase di scavo, la DL dovrà porre la massima cura al fine di escludere la presenza di cavità/sacche colmate con materiale geotecnicamente scadente al di sotto del piano di posa, che in tal caso andranno adeguatamente bonificate.

Nella verifica dei cedimenti totali, considerando fondazioni con carichi di esercizio indicati, i valori dei cedimenti totali risultano inferiori a 20 mm.

Verifiche geotecniche fondazioni a travi rovesce di larghezza B = 0,30 m
Fondazioni posate a - 0.3 m da piano campagna - Incastro Df = 0,30 m
NTC 2018 – Zona Sismica 3 - Metodo SLU – Approccio 2 – Combinazione Unica

DATI GENERALI

Normativa	NTC_2018
Larghezza fondazione	0.3 m
Lunghezza fondazione	10.0 m
Profondità piano di posa	0.3 m
Altezza di incastro	0.9 m

SISMA

Accelerazione massima (amax/g)	0.041
Effetto sismico secondo	Paolucci, Pecker (1997)
Coefficiente sismico orizzontale	0.0081

Coefficienti sismici [N.T.C.]

Dati generali

Tipo opera:	2 - Opere ordinarie
Classe d'uso:	Classe II
Vita nominale:	50.0 [anni]
Vita di riferimento:	50.0 [anni]

Parametri sismici su sito di riferimento

Categoria sottosuolo:	C
Categoria topografica:	T1

S.L. Stato limite	TR Tempo ritorno [anni]	ag [m/s ²]	F0 [-]	TC* [sec]
S.L.O.	30.0	0.265	2.461	0.193
S.L.D.	50.0	0.343	2.497	0.21
S.L.V.	475.0	0.912	2.456	0.275
S.L.C.	975.0	1.206	2.458	0.282

Coefficienti sismici orizzontali e verticali

Opera: Stabilità dei pendii e Fondazioni

S.L. Stato limite	amax [m/s ²]	beta [-]	kh [-]	kv [sec]
S.L.O.	0.3975	0.2	0.0081	0.0041
S.L.D.	0.5145	0.2	0.0105	0.0052
S.L.V.	1.368	0.2	0.0279	0.014
S.L.C.	1.809	0.24	0.0443	0.0221

STRATIGRAFIA TERRENO

Spessore strato [m]	Peso unità di volume [Kg/m ³]	Peso unità di volume saturo [Kg/m ³]	Angolo di attrito [°]	Coesione [Kg/cm ²]	Coesione non drenata [Kg/cm ²]	Modulo Elastico [Kg/cm ²]	Modulo Edometrico [Kg/cm ²]	Descrizione
2.2	1780.0	1880.0	0.0	0.0	0.3	50.0	55.0	Limo argilloso e ciottoli
1.0	1950.0	1970.0	32.0	0.0	0.0	140.0	60.0	Ghiaia limosa

Carichi di progetto agenti sulla fondazione

Nr.	Nome combinazione	Pressione normale di progetto [Kg/cm ²]	N [Kg]	Mx [Kg·m]	My [Kg·m]	Hx [Kg]	Hy [Kg]	Tipo
1	A1+M1+R3	0.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	Progetto
2	S.L.E.	0.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	Servizio
3	SISMA	0.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	Progetto
4	S.L.D.	0.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	Progetto

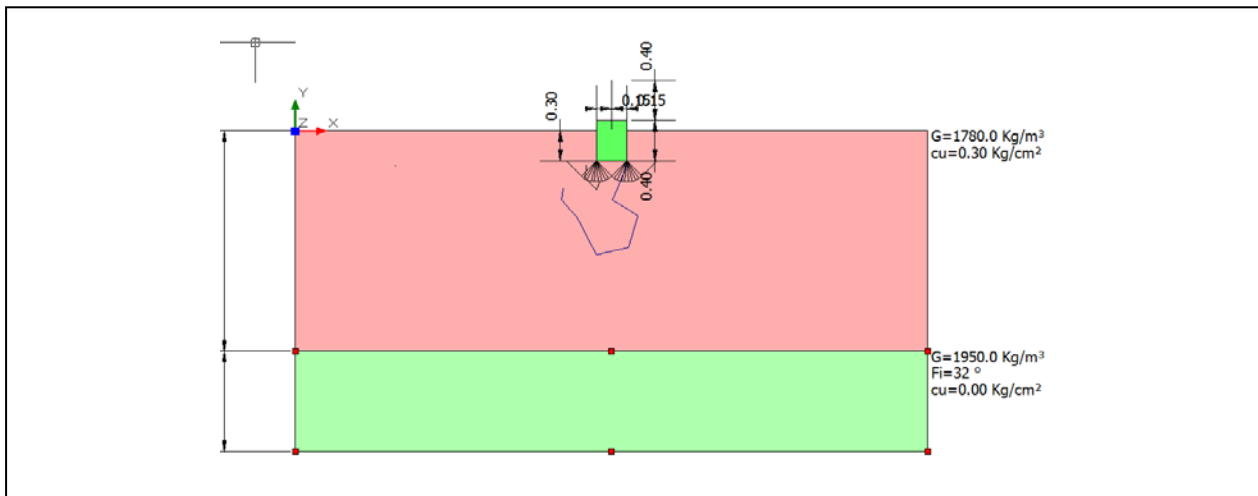
Sisma + Coeff. parziali parametri geotecnic terreno + Resistenze

Nr	Correzione Sismica	Tangente angolo di resistenza al taglio	Coesione efficace	Coesione non drenata	Peso Unità volume in fondazione	Peso unità volume copertura	Coef. Rid. Capacità portante verticale	Coef. Rid. Capacità portante orizzontale
1	No	1	1	1	1	1	2.3	1.1
2	No	1	1	1	1	1	2.3	1.1
3	Si	1	1	1	1	1	1.8	1.1
4	No	1	1	1	1	1	1	1

Carico limite verticale

Nome combinazione	Autore	Carico limite [Qult] (Kg/cm ²)	Resistenza di progetto [Rd] (Kg/cm ²)	Tensione [Ed] (Kg/cm ²)	Fattore sicurezza [Fs=Qult/Ed]	Condizione di verifica [Ed<Rd]	Costante sottofondo (Kg/cm ³)
A1+M1+R3							
	HANSEN (1970)	2.22	0.97	0.50	4.45	Verificata	0.89
	TERZAGHI (1955)	1.77	0.77	0.50	3.53	Verificata	0.71
	MEYERHOF (1963)	1.92	0.83	0.50	3.84	Verificata	0.77
	VESIC (1975)	2.22	0.97	0.50	4.45	Verificata	0.89
*	Brinch - Hansen 1970	1.61	0.70	0.50	3.22	Verificata	0.64
SISMA							
	HANSEN (1970)	2.22	1.24	0.50	4.45	Verificata	0.89
	TERZAGHI (1955)	1.77	0.98	0.50	3.53	Verificata	0.71
	MEYERHOF (1963)	1.92	1.07	0.50	3.84	Verificata	0.77
	VESIC (1975)	2.22	1.24	0.50	4.45	Verificata	0.89
	Brinch - Hansen 1970	1.61	0.89	0.50	3.22	Verificata	0.64
S.L.E.							
	HANSEN (1970)	2.22	2.22	0.50	4.45	Verificata	0.89
	TERZAGHI (1955)	1.77	1.77	0.50	3.53	Verificata	0.71
	MEYERHOF (1963)	1.92	1.92	0.50	3.84	Verificata	0.77
	VESIC (1975)	2.22	2.22	0.50	4.45	Verificata	0.89
	Brinch - Hansen 1970	1.61	1.61	0.50	3.22	Verificata	0.64
S.L.D.							
	HANSEN (1970)	2.22	2.22	0.50	4.45	Verificata	0.89
	TERZAGHI (1955)	1.77	1.77	0.50	3.53	Verificata	0.71
	MEYERHOF (1963)	1.92	1.92	0.50	3.84	Verificata	0.77
	VESIC (1975)	2.22	2.22	0.50	4.45	Verificata	0.89
	Brinch - Hansen 1970	1.61	1.61	0.50	3.22	Verificata	0.64

Con * i valori più cautelativi di verifica



CEDIMENTI ELASTICI

Pressione normale di progetto	0.5 Kg/cm ²
Modulo Elastico	50.0 Kg/cm ²
Coefficiente di Poisson	0.25
Cedimento al centro della fondazione	4.18 mm

6.0 Conclusioni

Nel presente rapporto sono illustrati gli esiti conseguiti dagli studi e dalle indagini di carattere geologico - geotecnico - idrogeologico e di caratterizzazione sismica dei terreni siti in Via Olimpia, in comune di Almè (Bg), proponendosi quale supporto specialistico al progetto di formazione muro di recinzione in cls presso il centro sportivo comunale di Via Olimpia, secondo il progetto predisposto dell'Arch Maffei, ai cui elaborati si rimanda per i dettagli. L'area insiste su terreni pianeggianti, inserita in Classe 3dr di fattibilità geologica (fattibilità con consistenti limitazioni), dal vigente strumento di pianificazione comunale, attribuita alle aree interessate dal drenaggio preferenziale delle acque considerato che è presente il tratto tombinato, al di sotto del sedime esistente, dell'alveo del torrente Rino. L'area risulta esterna alle perimetrazioni delle fasce di tutela/rispetto delle captazioni idropotabili ma parzialmente compresa entro la fascia di rispetto del torrente Rino, tombinato nel tratto interessato. Dal punto di vista sismico il territorio comunale di Almè è stato classificato dalla D.G.R. della Lombardia n. X/2129 dell'11 luglio 2014 "Aggiornamento delle zone sismiche in Regione Lombardia (L.R. 1/2000, art. 3, c. 108, lett. d)", come comune in zona 3.

L'esito delle indagini eseguite è compatibile con la presenza di un livello superficiale geotecnicamente scadente, a composizione limosa argillosa con ciottoli che si spinge fino a circa - 2,20 m di profondità. Al letto di tale strato seguono ghiaie limose argillose dotate di discrete caratteristiche geotecniche e con grado di addensamento che aumenta con la profondità fino a determinare il rifiuto all'avanzamento.

Le verifiche geotecniche eseguite adottando **l'Approccio 2 - Combinazione Unica** hanno fornito i seguenti esiti

Fondazioni	Sigma massima a compressione SLU - Qultima (K/cm ²)	Resistenza di progetto Rd (Kg/cm ²)	Tensione massima esercizio Ed (Kg/cm ²)	Coefficiente di sicurezza	Verifica geotecnica	Cedimenti totali (mm)
Travi rovesce B = 70 cm	1,62	0,70	0,70	Verificato	Verificata	< 15 mm

Nel dimensionamento esecutivo delle fondazioni si raccomanda di adottare in ogni caso, a deciso favore di sicurezza, un valore di Tensione Massima di Esercizio Ed non superiore a Ed = 0,50 Kg/cm². Comunque, in fase di scavo, la DL dovrà porre la massima cura al fine di escludere la presenza di cavità/sacche colmate con materiale geotecnicamente scadente al di sotto del piano di posa, che in tal caso andranno adeguatamente bonificate.

Nella verifica dei cedimenti totali, considerando fondazioni con carichi di esercizio indicati, i valori dei cedimenti totali risultano inferiori a 20 mm.

Bergamo, 16 Maggio 2024



Dott. Geol. Norberto Invernici
 N. Iscriz. O.G.L. 990