

Dott. Geologo Paola Lafranconi

Geologia Applicata, Geotecnica, Idrogeologia, Geologia Ambientale, Pianificazione Territoriale

Via della Boggia 15; 23848 Ello (LC) - tel 0341-577046 fax 0341 578066 cell. 338-9235385

e-mail p.lafranconi@gmail.com

**RELAZIONE GEOLOGICO SISMICA AI SENSI D.M.14.01.08 (R1)
E DELLA DGR IX-2616 DEL 30/11/2011/ (R3)
PER ALLARGAMENTO DI VIA C. FUMAGALLI
NEL COMUNE DI GARBAGNATE MONASTERO (LC)**



Committente: COMUNE GARBAGNATE MONASTERO

Paola Lafranconi


Dott. Geologo Paola Lafranconi

MARZO 2018

SOMMARIO

1 PREMESSA	2
2 INQUADRAMENTO GEOLOGICO	4
3. PROVE PENETROMETRICHE DINAMICHE SCPT	6
4STRATIGRAFIA DEI TERRENI	8
5 PARAMETRI GEOTECNICI.....	9
6 VALUTAZIONE RD (NTC METODO STATI LIMITI)	9
7 ANALISI INDAGINE SISMICA PASSIVA.....	12
8 SISMICITA'	13
9VERIFICA ALLA LIQUEFAZIONE	17
10CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE.....	18

Allegati:

Prove penetrometriche SCPT

Analisi simica passiva HVSR

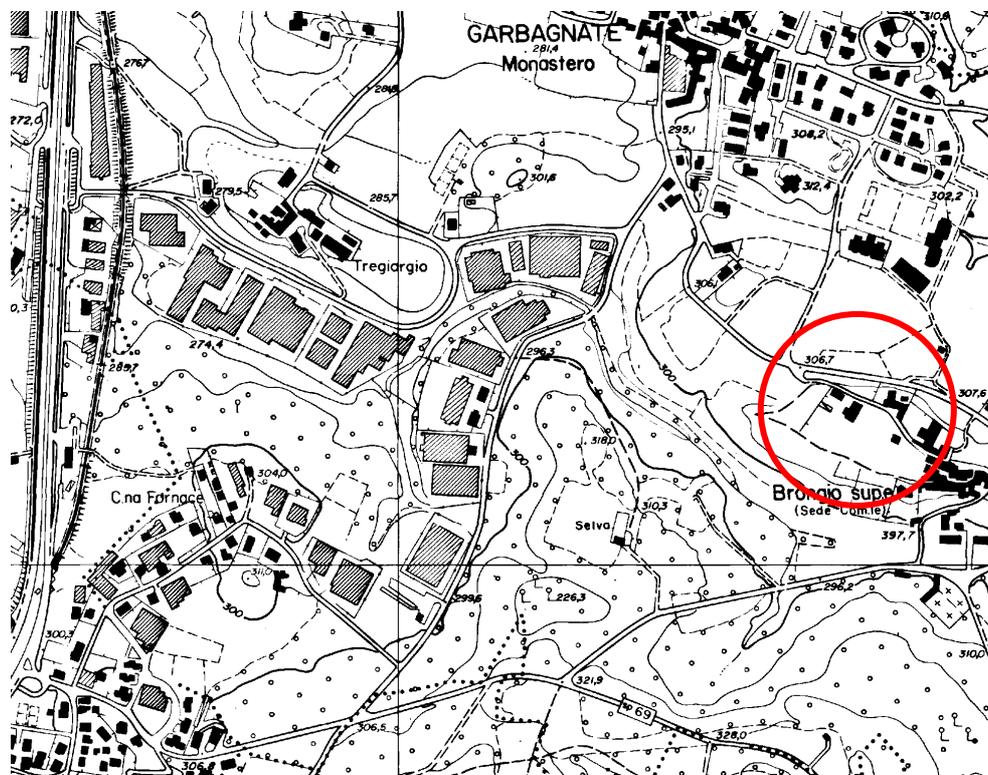
1 PREMESSA

La presente relazione redatta con incarico del Comune di Garbagnate Monastero, illustra i risultati di una campagna di indagini geognostiche realizzate nello stesso comune in Via Fumagalli. Lo studio geologico è necessario per definire le caratteristiche geomorfologiche, stratigrafiche, idrogeologiche e sismiche del lotto di terreno dove è previsto l'allargamento della sede stradale con la realizzazione di nuovi parcheggi. Il progetto prevede oltre all'allargamento della sede stradale la costruzione di un muro di sostegno con altezza di 2.00 m.

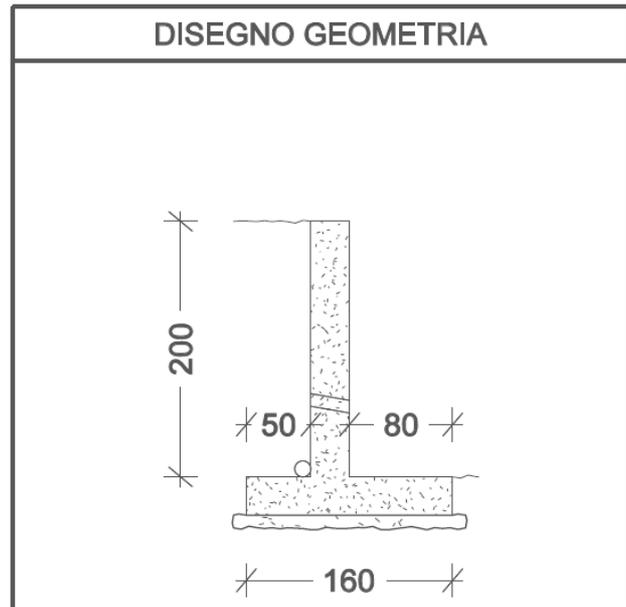
Lo studio geologico è stato redatto ai sensi della vigente normativa:

- L.R. 12 /2005 Legge per il governo del territorio e criteri esplicitivi per la componente geologica, idrogeologica e sismica, con successive modifiche ed integrazioni ai sensi della DGR 30/11/2011 n. IX/2616
- DGR 5001/2016 linee di indirizzo e coordinamento per l'esercizio delle funzioni trasferite ai comuni in materia sismica ai sensi della LR.33/2015
- D.M. 14.01.08 Norme tecniche per le costruzioni e successiva circolare esplicativa
- Legislazione Regione Lombardia inerente vincoli idrogeologici.

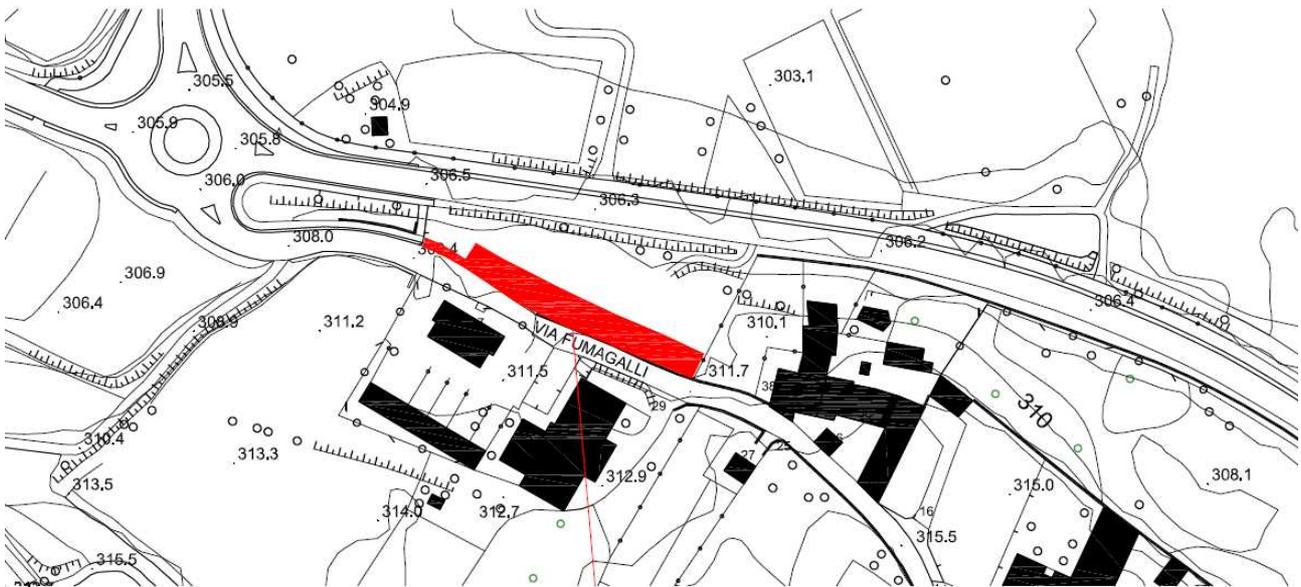
L'area in esame si colloca in corrispondenza di una zona parzialmente urbanizzata alla quota media di 310m s.l.m.



Corografia area in esame



Disegno geometria muro in progetto



Aerofotogrammetrico comunale con ubicazione intervento

L'indagine si è articolata nelle seguenti fasi:

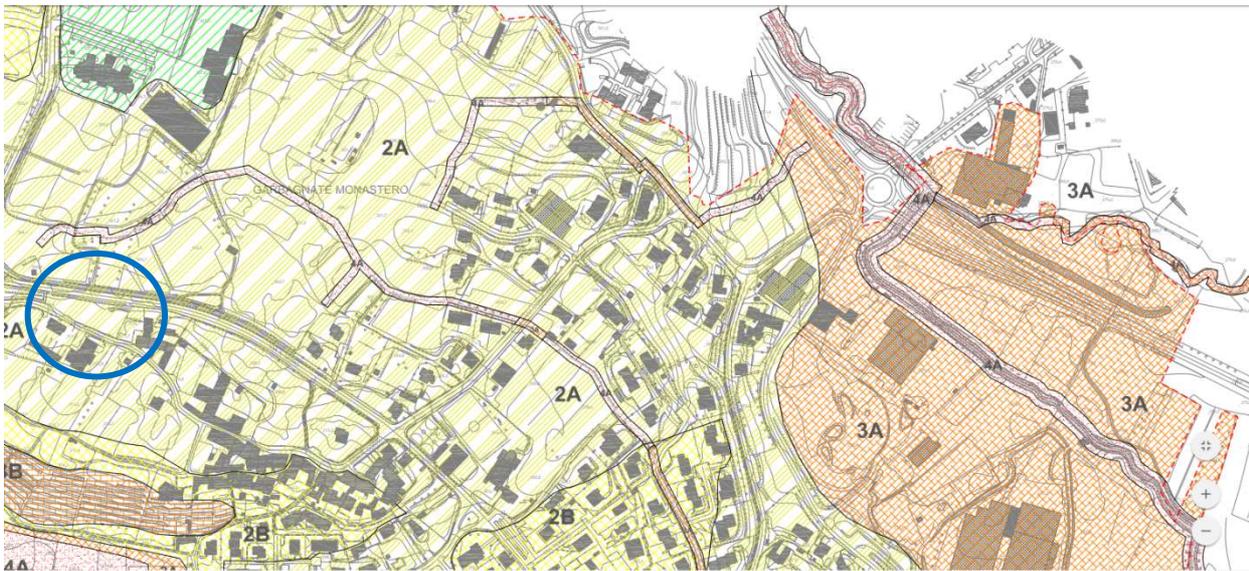
- a) raccolta ed analisi critica dei dati esistenti in bibliografia;
- b) rilievo geologico-morfologico dell'area d'edificazione e circostanti;
- c) esecuzione di due prove penetrometriche SCPT
- d) rilevazioni freatimetriche
- e) esecuzione un' indagine tipo sismica passiva HVSR a stazione singola

Ai sensi dell' O.P.C.M. n° 3274 del 23 marzo 2003 -allegato 1- il comune di Garbagnate Monastero era classificato in Zona 4 per il rischio sismico (rischio basso). L'aggiornamento della classificazione sismica dei comuni della regione Lombardia (DGR 11 luglio 2014 n. IX/2129), che è entrata in vigore il 10 Aprile 2016, **ri-classifica il comune di Garbagnate Monastero in classe 3 (Ag max= 0.05355).**

In riferimento alla presenza di azioni sismiche le costruzioni sono suddivise in quattro classi d'uso. L'opera in esame rientra nella classe d'uso II.

L'area in esame rientra in classe di fattibilità geologica 2A, area con caratteristiche geotecniche discrete ed inclinazioni $<10^\circ$. Classe con modeste limitazioni al cambio di destinazione d'uso: aree nelle quali sono state rilevate modeste limitazioni all'utilizzo a scopo edificatorio e/o alla modifica di destinazione d'uso dei terreni, che possono essere superate mediante approfondimenti di indagine e accorgimenti tecnico costruttivi e senza l'esecuzione di opere di difesa.

L'analisi della cartografia del PGT comunale ha evidenziato l'assenza di vincoli idraulici, l'assenza di vincoli legati alle fasce di rispetto di captazioni idro-potabili e vincoli PAI.



Carta fattibilità geologica Estratto PGT

Scopo della presente relazione è quello di definire la stratigrafia e le caratteristiche geotecniche dei terreni in esame e di ricostruire l'assetto geologico geotecnico dei luoghi, evidenziando i processi geomorfici potenziali o in atto che possono compromettere la stabilità del luogo in esame.

2 INQUADRAMENTO GEOLOGICO

L'area in oggetto si trova lungo Via Fumagalli, ad una quota media di 310 m s.l.m. in corrispondenza di un alto morfologico (cordone morenico Wurm), il pendio poco accentuato, degrada leggermente verso NE. La struttura del territorio è fortemente legata all'azione dei ghiacciai Quaternari che ripetutamente hanno interessato la zona, rimodellando il territorio attraverso processi di erosione e deposizione.

Tutti i terreni che si rinvenivano in corrispondenza dell'area in esame sono caratteristici di ambienti di sedimentazione glaciale.

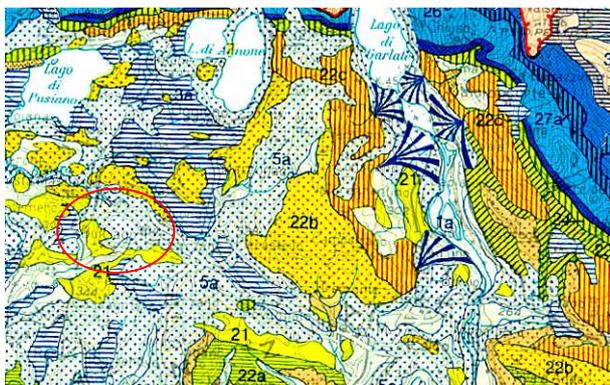
La nuova carta Geologica d'Italia progetto CARG, foglio 096 Seregno, di cui si riporta un estratto, individua la presenza prevalente di depositi di età Pleistocenica, indicati con la sigla LCN, Supersintema dei Laghi, Sintema di Cantu' costituiti da depositi di diversa origine.

In particolare nell'area di studio si rinvencono depositi clastici a granulometria eterogenea (diamicton) con trovanti di natura metamorfica e intrusiva (micascisti, serpentini, ghiandone, ecc.) in una matrice generalmente molto abbondante di natura limoso-sabbiosa limosa-argillosa. In generale non presentano ne' strutture ne' classazione.

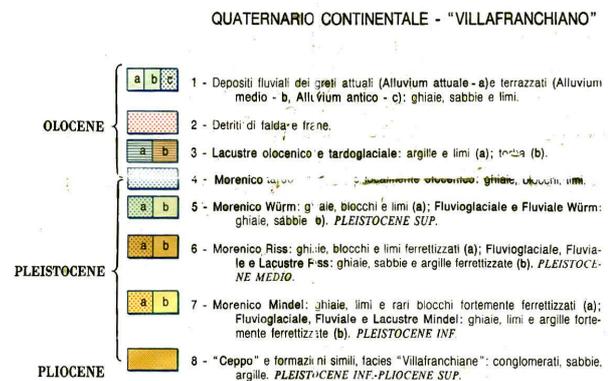
Le morfologie legate al sistema di Cantù sono in genere ben conservate con morene a fianchi ripidi e ben rilevate rispetto alle zone circostanti. Non tutte le morene sono costituite da soli depositi glaciali ma risultano ricoprire unità di substrato. Nel caso in esame al di sotto del deposito glaciale è presente il substrato roccioso che costituisce l'ossatura della collina. Si tratta del Flysch di Bergamo (FBG) che si presenta con alternanze di peliti e arenarie in strati da sottili a spessi, talora organizzati in cicli; gli strati arenitici risultano gradati e laminati (sequenze di Bouma Ta-e e Tb-e); alla loro base mostrano frequenti controimpronte e tracce di bioturbazione. Nell' area di Garbagnate Monastero prevale la componente arenitica, costituita da areniti medie e grossolane organizzate in spessi strati massivi o laminati.



Carta CARG foglio SEREGNO



Estratto Carta geologica Regione Lombardia



Nella cartografia tradizionale i terreni in esame sono descritti come depositi glaciali morenici wurmiani.

Misure freatiche effettuate durante l'esecuzione delle prove penetrometriche e i dati bibliografici derivati dal PGT, non evidenziano la presenza di vere e proprie falde fratiche, tuttavia al contatto tra deposito superficiale e substrato roccioso impermeabile si possono verificare locali venute d'acqua temporanee anche consistenti, legate a periodi d'intensa e persistente piovosità

Non si segnalano corsi d'acqua nelle vicinanze dell'area in progetto.

Non si segnalano in zona la presenza di processi geomorfici attivi o potenziali che possano compromettere la stabilità dei luoghi in corrispondenza dell'area in progetto.

3. PROVE PENETROMETRICHE DINAMICHE SCPT

Per determinare le caratteristiche stratigrafiche e geotecniche dei terreni in esame sono state eseguite due prove penetrometriche dinamiche continue spinte sino al rifiuto alla penetrazione avvenuto alla profondità massima di -4.40 m da p.c.

Per l'esecuzione di queste prove è stato utilizzato un penetrometro dinamico pesante per prove SCPT (standard coin penetration test) le cui caratteristiche tecniche sono di seguito

riassunte:- peso del maglio: 63,5 kg

- altezza di caduta: 75 cm

- punta conica: diametro 5.1 cm e conicità 60°

- lunghezza aste: 100 cm

-lunghezza rivestimenti: 100 cm

-avanzamento punto 20 cm



L'esecuzione di una prova penetrometrica consiste nell'infiggere verticalmente nel terreno una punta conica metallica posta all'estremità di un'asta d'acciaio prolungabile con l'aggiunta di aste successive. L'infissione della punta avviene per battitura, facendo cadere da un'altezza costante di 75 cm, un maglio del peso di 63,5 kg e registrando il numero di colpi di maglio (NScpt) necessari per approfondimenti costanti di 20 cm.

La resistenza del terreno è funzione inversa della penetrazione per ciascun colpo e diretta del numero di colpi NScpt. Il rifiuto alla penetrazione si ha quando sono necessari più di 100 colpi al piede per un approfondimento di 20 cm, in questo caso la prova è interrotta.

Conoscendo i valori di NScpt è possibile attraverso delle correlazioni risalire al corrispondente valore di NSpt che è funzione dell'angolo d'attrito del terreno e della densità relativa.

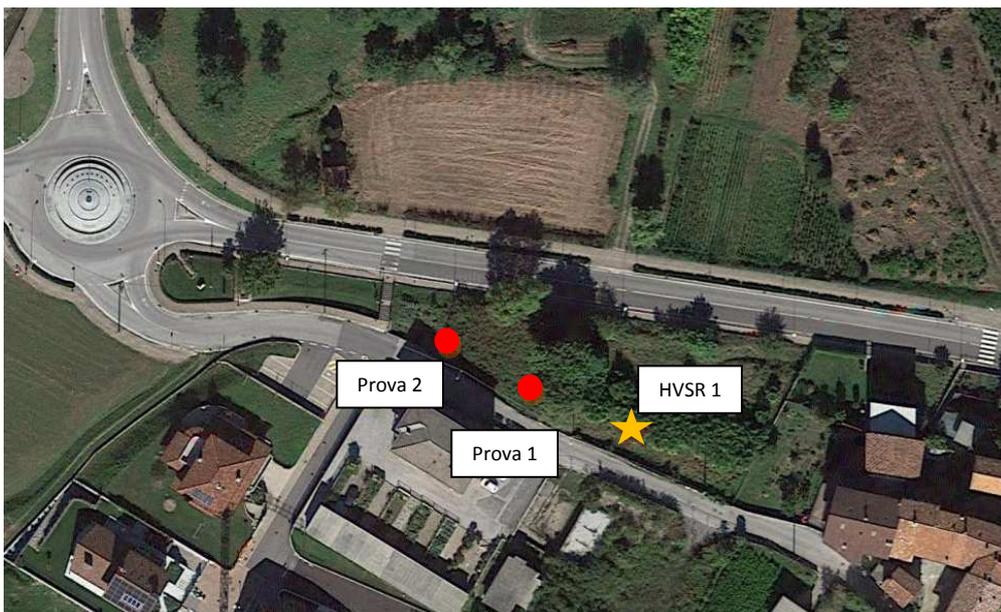


Esecuzione prove penetrometriche SCPT 1 e2

Di seguito sono riportate le profondità massime raggiunte dalle prove penetrometriche eseguite in corrispondenza dell'area di studio :

Prova n.	Profondità max (m da p.c.)	L piezometro (m da p.c.)	quota acqua (m da p.c.)	Rifiuto alla penetrazione
Scpt 1	-4.40	//m	-3.50 aste bagnate	si
Scpt 2	-4.20	// m		si

In appendice si riportano le tabelle, i grafici e le interpretazioni delle prove Scpt.



Ubicazione prove penetrometriche SCPT e prove HVRs

4 STRATIGRAFIA DEI TERRENI

Il rilievo geologico-morfologico e le indagini eseguite hanno permesso di definire la stratigrafia dei terreni in esame. Le prove hanno evidenziato la presenza di depositi glaciali in superficie seguiti a circa -4.50 m dal substrato roccioso.

In particolare dal piano campagna fino a circa -0.60 m sono presenti depositi agrari rimaneggiati da azione antropica, suolo. Da -0.60 m da p.c. fino a -circa 2.80/3.40 m è presente un orizzonte formato da sabbie e fini limose aventi scadenti caratteristiche geotecniche ($N_{spt}=3-4$ colpi/piede). Il terzo orizzonte si spinge fino a -4.40 m da p.c. ed è formato da prevalenti sabbie ghiaiose, sabbie grossolane ($N_{spt}= 9-12$ colpi /piede). Oltre -4.40 m è presente il substrato roccioso.

Si segnala che le prove hanno evidenziato la presenza di locali venute d'acqua intorno a -3.50 da p.c.

Di seguito si riporta un modello stratigrafico mediato dell'area in esame.

Profondità in m da p.c.	Nspt Medio	Grado di addensamento (Agi-Colombo)
Da 0.00 m a -0.60 m	1-2	Terreno sciolto, rimaneggiato, suolo
Da -0.60 m a -2.80/-3.40 m	3-4	Terreno poco addensato, sabbie limose
Da -2.80 /-3.40 m a -4.40m	9-12	Terreno moderatamente addensato sabbie ghiaiose
Oltre -4.50 m	100	Substrato roccioso

$N_{spt\ medio}$ = numero colpi medio alla prova standard N_{spt} . ($N_{spt} = 1.1 * NSCPT$)



Scavo in area limitrofa, limi sabbiosi e substrato roccioso alla base dello scavo

5 PARAMETRI GEOTECNICI

Le caratteristiche geotecniche dei terreni di fondazione sono state determinate attraverso le correlazioni proposte da diversi autori (Terzaghi Peck, e Meyerhof) a partire dai valori di resistenza alla punta N_{spt} , ottenuti dall'esecuzione delle prove penetrometriche.

La tabella di seguito riportata riassume le principali caratteristiche geotecniche, con riferimento agli orizzonti stratigrafici individuati nel precedente paragrafo:

Profondità in m da p.c.	N_{spt} Medio	Y_t (t/m^3)	ϕ (gradi)	C_u (kg/cmq)	E_s (kg/cmq)
Da 0.00 m a -0.60 m	1-2	1.65-1.70	24-25	0.05	10-15
Da -0.60 m a -2.80/-3.40 m	3-4	1.70	25-26	0.05	30-40
Da -2.80 /-3.40 m a -4.40m	9-12	1.75	29-30		100-130
Oltre -4.50 m	100	1.85-1.90	>35		

Y_t = peso naturale del terreno (t/m^3)

ϕ = angolo di attrito del terreno (gradi)

C_u = coesione non drenata (kg/cmq).

E_s = modulo di deformazione

6 VALUTAZIONE RD (NTC METODO STATI LIMITI)

La sicurezza e le prestazioni di un'opera devono essere valutate in base agli stati limite che si possono verificare durante la vita nominale. Secondo la normativa vigente la verifica alla sicurezza nei confronti degli stati limiti ultimi (SLU) si ottiene con il metodo semi-probabilistico dei coefficienti parziali di sicurezza tramite l'equazione:

$$E_d \leq R_d$$

E_d = valore di progetto dell'effetto delle azioni, valutato in base ai valori di progetto nelle varie combinazioni di carico.

R_d = resistenza di progetto, valutata in base alla resistenza di progetto di materiali e di valori nominali delle grandezze geometriche (valore di progetto della resistenza del terreno).

La normativa vigente impone l'uso di coefficienti parziali γ_m riduttivi da applicare ai valori caratteristici dei parametri di resistenza del terreno secondo due combinazioni M1 e M2.

Sono stati calcolati i valori di capacità portante in via preliminare, per fornire delle indicazioni al progettista utilizzando i valori dei parametri riportati nelle tabelle a seguire, ipotizzando fondazioni superficiali.

Le valutazioni sono eseguite a lungo termine, carico assiale, metodo di Brinch –Hansen:

	PARAMETRO	COEFFICIENTE PARZIALE	M1	M2
Tangente angolo attrito	$\tan \phi'_k$	$\gamma_{\phi'}$	1.0	1.25
Coesione efficace γ	c_k	$\gamma_{c'}$	1.0	1.25
Resistenza non drenata	c_{uk}	γ_{cu}	1.0	1.40
Peso unità di volume	Γ	γ_{γ}	1.0	1.00

coefficienti parziali per parametri geotecnica del terreno

Verifica	Coeff. parziali (R1)	Coeff. parziali (R2)	Coeff. parziale R3
Capacità portante	$\gamma_R=1.00$	$\gamma_R=1.80$	$\gamma_R=2.30$

coefficienti parziali per le verifiche agli stati limiti ultimi per fondazioni superficiali

Di seguito si riporta la tabella con le correzioni dei parametri geotecnica secondo le riduzioni citate.

	Coefficienti parziali Combinazione M1	Parametri geotecnici Corretti
Φ (gradi)	$\gamma_{\gamma}=1.00$	25°
C (KPa)	$\gamma_{c'}=1.00$	
γ_n (KN/m ³)	$\gamma_{\gamma}=1.00$	16.5
	Coefficienti parziale Combinazione M2	
Φ (gradi)	$\gamma_{\gamma}=1.25$	20.5
γ_n (KN/m ³)	$\gamma_{\gamma}=1.00$	16.5

MURO DI SOSTEGNO

Il piano posa fondazioni verrà a trovarsi in terreni limosi sabbiosi, ad una profondità circa 0.60 m da p.c. all'interno del secondo orizzonte sciolto. Le fondazioni superficiali tipo trave avranno dimensioni $B=1.60$ m, spessore $D_f=0.30$ m. Di seguito si riportano i valori di resistenza del terreno, allo stato limite ultimo SLU per fondazioni in terreno considerando l'approccio progettuale DA1 (A1+M1+R1) (A2+M2+R2) e DA2 (A1+M1+R3).

Resistenza del terreno RD formula di Brinch-Hansen stato limite ultimo SLU combinazione DA1

	Qult (carico limite) KN/mq	RD (resistenza terreno) KN/mq
Condizione statica(A1+M1+R1)	152	152
Condizione statica(A2+M2+R2)	82	45
Condizione dinamica (sisma)	81	45

Resistenza del terreno RD secondo Brinch-Hansen stato limite ultimo SLU combinazione DA2

	Qult (carico limite)	RD (resistenza terreno)
	KN/mq	KN/mq
Condizione statica(A1+M1+R3)	152	66
Condizione dinamica (sisma)	151	65

I valori in condizioni dinamiche (sisma) sono stati calcolati in via preliminare considerando un valore di struttura pari a 3 e un periodo di vibrazione di 0.126s.

Nell'ambito dell'analisi del comportamento struttura-terreno è indispensabile la valutazione dei cedimenti, i quali sono dovuti alla deformazione elasto-plastica del terreno nel tempo e, nel caso di depositi poco permeabili (argille e limi), al processo di lenta espulsione dell'acqua contenuta al loro interno (consolidazione). Anche in questo caso, numerosi sono gli approcci teorici e la stima dei cedimenti è da ritenersi indicativa, data l'approssimazione del calcolo delle tensioni in un mezzo eterogeneo e anisotropo, delle variabili legate alla storia tensionale del terreno e della tipologia delle strutture in progetto. Nel nostro caso i cedimenti stimati mediando i risultati ottenuti con vari approcci (la Teoria dell'Elasticità, metodo di Burland & Burbridge) indicano i seguenti valori di cedimento:

- carichi fino a 40 KN/mq: cedimento al centro: 1.60 cm
- carichi fino a 65 KN/mq: cedimento al centro: 2.70cm

Considerando i valori ottenuti si consiglia di asportare almeno 50 cm di terreno al di sotto del piano posa fondazioni e di riportare 50 cm di materiale granulare arido, costipato ogni 20 cm. In tal modo si avrà un miglioramento delle caratteristiche geotecniche del terreno con aumento della capacità portante e riduzione dei cedimenti.

Si stima quindi che effettuando un riporto di almeno 50 cm ben costipato si potranno raggiungere i seguenti valori:

Resistenza del terreno RD secondo Brinch-Hansen stato limite ultimo SLU combinazione DA2

	Qult (carico limite)	RD (resistenza terreno)
	KN/mq	KN/mq
Condizione statica(A1+M1+R3)	259	112

I cedimenti in tal caso risulteranno inferiori a 1.50 cm.

7 ANALISI INDAGINE SISMICA PASSIVA

Il sistema della sismica passiva è una tipologia d'indagine non distruttiva, che permette di individuare il valore di $V_{s,30}$ richiesto dalla normativa recente.



Stazione di misura HVSR

La stazione di misura di sismica passiva permette di ottenere indicazioni 'puntuali' sulla stratigrafia sismica sotto il punto di misura, dato utile, per ricostruire la stratigrafia geologica, oltre che per individuare la categoria del sottosuolo secondo quanto richiesto dalla normativa recente, relativamente alla pericolosità sismica di base del sito di costruzione, secondo la tabella seguente

Categoria	Descrizione
A	<i>Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi</i> caratterizzati da valori di $V_{s,30}$ superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie uno strato di alterazione, con spessore massimo pari a 3 m.
B	<i>Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti</i> 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 $c_{u,30} > 250$ kPa nei terreni a grana fina).
C	<i>Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti</i> 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 180 m/s e 360 m/s (ovvero $15 < N_{SPT,30} < 50$ nei terreni a grana grossa e $70 < c_{u,30} < 250$ kPa nei terreni a grana fina).
D	<i>Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti</i> , con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ inferiori a 180 m/s (ovvero $N_{SPT,30} < 15$ nei terreni a grana grossa e $c_{u,30} < 70$ kPa nei terreni a grana fina).
E	<i>Terreni dei sottosuoli di tipo C o D per spessore non superiore a 20 m</i> , posti sul substrato di riferimento (con $V_s > 800$ m/s).

Categoria	Descrizione
S1	Depositi di terreni caratterizzati da valori di $V_{s,30}$ inferiori a 100 m/s (ovvero $10 < c_{u,30} < 20$ kPa), che includono uno strato di almeno 8 m di terreni a grana fina di bassa consistenza, oppure che includono almeno 3 m di torba o di argille altamente organiche.
S2	Depositi di terreni suscettibili di liquefazione, di argille sensitive o qualsiasi altra categoria di sottosuolo non classificabile nei tipi precedenti.

Le tecniche di sismica passiva a stazione singola forniscono:

- le frequenze fondamentali di risonanza del sottosuolo

- indicazioni 'puntuali' sulla stratigrafia sismica sotto il punto di misura
- l'andamento della velocità delle onde di taglio (V_s , parametro a cui è legata la rigidità del terreno) nel sottosuolo.

Per la registrazione del rumore sismico si è usato uno specifico strumento registratore che per 20 minuti ha monitorato i microtremori sismici in seguito elaborati mediante un software dedicato. La sismica passiva si basa sull'analisi di registrazioni di perturbazioni elastiche naturali.

Il rumore sismico è presente in qualsiasi punto della superficie terrestre e consiste per lo più nelle onde prodotte dall'interferenza costruttiva delle onde P ed S negli strati superficiali. Anche le industrie e il traffico veicolare producono localmente rumore sismico ma, in genere, solo a frequenze relativamente alte, superiori ad alcuni Hz, che sono attenuate piuttosto rapidamente.

Tutte le misure di microtremore ambientale, della durata di 20 minuti ciascuna, vengono effettuate con un sismografo a 24 bit progettato specificamente per l'acquisizione di microtremori o vibrazioni sismiche.

L'ubicazione delle indagini e la loro analisi sono riportate nell'allegato a fine testo. I modelli sismostratigrafici ottenuti sono i seguenti:

Indagine HVSR 1

Profondità strato	Spessore m	V_s (m/s)
0.0-0.50	0.50	120
0.50-4.00	3.50	270
>4.00		580

Il terreno rientra nella **categoria di suolo B** $V_{s,30}=484$ m/s (NTC categoria di sottosuolo 3.2.2)

8 SISMICITA'

Con l'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3274 del 20 marzo 2003 sono individuate le zone sismiche sul territorio nazionale e fornite le relative normative tecniche da adottare per le nuove costruzioni.

La regione Lombardia in data 11 Luglio 2014 con D.G.R ha introdotto l'aggiornamento delle zone sismiche in Regione Lombardia ri-classificando il comune di Garbagnate Monastero come appartenete alla classe 3 ($A_{gmax} = 0.05355$). La nuova classificazione è entrata in vigore il 10 Aprile del 2016.

8.1 Categorie di sottosuolo

Ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto si può fare riferimento a un approccio semplificato, che si basa sull'individuazione delle categorie di sottosuolo indicate nella tabella 3.2.II, di cui al punto 3.2.2 *Categorie di sottosuolo e condizioni topografiche*, capitolo 3 *Azioni sulle costruzioni* del D.M. 14/01/2008.

Sono state definite cinque classi di terreni (A, B, C, D, E) identificabili in base ai valori della velocità

equivalente VS30 di propagazione delle onde di taglio entro i primi 30 m di profondità. Nei casi in cui tale determinazione non sia disponibile, la classificazione può essere effettuata in base ai valori del numero equivalente di colpi della prova penetrometrica dinamica NSPT nei terreni prevalentemente a grana grossa e della resistenza non drenata equivalente Cu 30 nei terreni prevalentemente a grana fina.

I terreni costituenti il sottosuolo del sito di studio, per una profondità di 30 m dal p.c. rientrano mediamente nel profilo stratigrafico individuato con la lettera **B** ovvero:

Zona sismica	Categoria Suolo: B ($V_s=484\text{m/s}$)
3	<i>Depositi in terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fine molto consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di Vs30 compresi tra 360 m/s e 800 m/s</i>

8.2 Analisi del rischio sismico

Per l'analisi del rischio sismico dell'area in oggetto si è fatto riferimento all'Allegato 5 alla D.G.R. n. 8/1566 del 22/12/05. Tale allegato illustra la metodologia per la valutazione dell'amplificazione sismica locale che prevede tre livelli di approfondimento, di seguito sintetizzati:

1° livello, riconoscimento delle aree passibili di amplificazione sismica sulla base sia di osservazioni geologiche sia di dati esistenti

2° livello, caratterizzazione semiquantitativa degli effetti di amplificazione attesi nelle aree perimetrare nella carta di pericolosità sismica locale, che fornisce la stima di risposta sismica nei terreni in termini di valore di Fattore di Amplificazione (Fa)

3° livello, definizione degli effetti di amplificazione tramite indagini e analisi più approfondite.

Il primo livello è obbligatorio per tutti i comuni e prevede l'assegnazione dello scenario di pericolosità sismica locale dell'area in base alle caratteristiche geologiche, geomorfologiche e geotecniche dell'area stessa (Tabella 1, Allegato 5, D.G.R. n. 8/1566 del 22/12/05).

In riferimento alle diverse situazioni tipo, riportate nella suddetta tabella, in grado di determinare gli effetti sismici locali (aree a pericolosità sismica locale – PSL) si effettua l'assegnazione diretta della classe di pericolosità e conseguentemente dei successivi livelli di approfondimento necessari.

Nel caso dello studio in progetto si ricade all'interno delle zone PSL con sigla **Z4c**, cioè *zona morenica con presenza di depositi granulari e/o coesivi* che potrebbe causare amplificazioni litologiche e geometriche.

Il secondo livello è obbligatorio per i comuni ricadenti nella zone sismiche 2 e 3, nelle zone PSL Z3 e Z4 suscettibili di amplificazioni sismiche morfologiche e litologiche se interferenti con l'urbanizzato e/o con le aree di espansione urbanistica.

8.3 Analisi sismica secondo livello: amplificazione litologica

La procedura di secondo livello consiste in un'analisi di tipo semi-quantitativa e fornisce la stima quantitativa della risposta sismica dei terreni in termini di valore di fattore di amplificazione F_a . Gli studi effettuati sono validi per amplificazioni di tipo litologico.

Per definire il fattore di amplificazione specifico del sito in esame è necessario conoscere:

1. l'andamento delle V_s con la profondità
2. la stratigrafia del sito,
3. spessore e velocità di ciascuno strato
4. sezioni geologiche e modello geofisico

Conoscendo l'andamento delle velocità V_s con la profondità e la litologia dei terreni è possibile entrare nelle schede di valutazione fornite dalla legislazione vigente dove in funzione della profondità e della velocità V_s si sceglie la curva più appropriata per la valutazione del fattore di amplificazione F_a .

Il periodo proprio del sito T viene calcolato considerando tutta la stratigrafia del terreno analizzato (analisi sismica e prove penetrometriche).

Il periodo proprio del sito T è risultato pari a 0.49. (Dall'interpolazione dei dati si ipotizza il substrato sismico $V_s=800$ m/s sia ad almeno 60 m).

La scheda di valutazione più adatta alla litologia individuata è la scheda dell'allegato 5 L.R. 12/2005 effetti litologici- scheda litologia SABBIOSA curva 2 tratto logaritmico.

Il valore di F_a calcolato per il sito in esame è risultato pari a

- 1,44 edifici con F_a compreso tra 0.1/0.5 s (strutture basse, regolari e piuttosto rigide).

Il valore di F_a fornito dalla regione Lombardia per terreni tipo B per il comune di Garbagnate Monastero è :

- 1.4 edifici con F_a compreso tra 0.1/0.5 s (strutture basse, regolari e piuttosto rigide).

La procedura normativa prevede che si confronti il valore di F_a calcolato con le schede di valutazione con un valore di soglia di F_a fornito dalla Regione Lombardia, considerando una variabilità di +0.1 che tiene conto della variabilità del valore di F_a ottenuto con procedura semplificata.

Fa (0.1/0.5 s) calcolato	1.41
Fa (0.1/0.5 s) Valore soglia fornito da regione Lombardia Per terreni tipo B nel comune di Mandello del Lario	1.4 +0.1

Valore congruo, normativa sufficiente Fa calcolato 1.41 < Fa valore soglia 1.4+0.1	spettro normativa B congruo
---	-----------------------------

Pertanto la normativa è da considerarsi sufficiente a tenere in considerazione anche i possibili effetti di amplificazione litologica del sito e quindi si applica lo spettro previsto dalla normativa. I dati stratigrafici, geotecnici e geofisici, utilizzati in questa procedura di secondo livello presentano la seguente attendibilità.

Dati	Attendibilità	Tipologia
Litologici	bassa	Da dati zone limitrofe, da bibliografia.
Stratigrafici (spessori)	media	Da prove geofisiche e penetrometriche
Geofisici	media	Da prove sismica passiva

8.4 Stima della pericolosità sismica

Conoscendo le coordinate geografiche dell'area in esame è stata calcolata l'accelerazione orizzontale massima attesa su sito di riferimento rigido ($a_g \max$), i parametri sismici verticali e orizzontali (K_v e K_h).

Parametri sismici

Siti di riferimento

Sito 1 ID: 10930 Lat: 45,7614 Lon: 9,2671 Distanza: 3109,162

Sito 2 ID: 10931 Lat: 45,7639 Lon: 9,3386 Distanza: 2592,995

Sito 3 ID: 10709 Lat: 45,8138 Lon: 9,3350 Distanza: 5506,802

Sito 4 ID: 10708 Lat: 45,8114 Lon: 9,2635 Distanza: 5768,920

Sito in esame:(WGS 84) latitudine :45.768676 longitudine 9.30584

Categoria suolo : B

Categoria topografica T1

classe edificio II

vita nominale opera =50 anni

Di seguito si riportano i valori di sismicità considerando, un opera ordinaria con vita Nominale 50 anni, e fondazioni superficiali (travi o platee , non paratie)

Tipo di costruzione	Opera ordinaria 2
Vita nominale opera VN	50 anni
Classe d'uso	II
Coefficiente d'uso CU	1,00
Vita di riferimento Vr	50 anni

Stato Limite

	Tr (anni)	a_g (g)	Fo	Tc (s)
Operatività SLO	30	0.019	2.576	0.158
Danno SLD	50	0.024	2.546	0.158
Salvaguardia vita SLV	475	0.052	2.629	0.277
Prevenzione collasso SLC	975	0.063	2.655	0.297

	SLO	SLD	SLV	SLC
Ss amplificazione stratigrafica	1.20	1.20	1.20	1.20
Cc coeff funzione categoria	1.59	1.54	1.42	1.40
St amplificazione topografica	1.00	1.00	1.00	1.00

	SLO	SLD	SLV	SLC
Kh	0.005	0.006	0.012	0.015
Kv0.003	0.002	0.003	0.006	0.008
Amax(m/s)	0.221	0.283	0.608	0.745
Beta	0.200	0.200	0.200	0.200

9 VERIFICA ALLA LIQUEFAZIONE

La liquefazione del suolo è il comportamento dei terreni saturi che, a causa di un aumento repentino della pressione interstiziale, passano improvvisamente da uno stato solido a uno fluido, o con la consistenza di un liquido pesante. Il fenomeno della liquefazione dei terreni durante i terremoti, interessa in genere i depositi sabbiosi e/o sabbioso limosi sciolti, a granulometria uniforme, normalmente consolidati e in falda (saturi). Durante un sisma le sollecitazioni indotte nel terreno saturo possono determinare un aumento repentino delle pressioni neutre interstiziali che possono giungere ad eguagliare la pressione litostatica e la tensione di confinamento, annullando così la resistenza al taglio del terreno e inducendo i fenomeni di fluidificazione. In base al punto 7.11.3. delle NTC 2008, la verifica alla liquefazione può essere omessa quando si manifesti uno dei seguenti casi:

1. Eventi sismici attesi di magnitudo $M < 5$
2. Accelerazioni massime attese al piano campagna A_{max} , in assenza di manufatti (campo libero) minori di 0.1 g
3. Profondità media stagionale della falda superiore a 15
4. Terreno costituito da sabbie pulite con resistenza penetrometrica normalizzata $(N_1)_{60} > 30$ dove $(N_1)_{60}$ è il valore alla resistenza determinata con prove SPT normalizzata alla tensione verticale efficace di 100 KPa
5. Distribuzione granulometrica esterna alle zone indicate dalla fig. 7.11.1a nel caso con coefficienti di uniformità $U_c < 3.5$ e in fig. 7.11.1 b nel caso di terreni con coefficiente di uniformità $U_c > 3.5$.

Nel caso in esame per il punto 2 si ricava:

$$S_s = 1.20$$

$$S_t = 1.00$$

$$A_g = 0.052(SLV)$$

$$\text{Da cui } A_{g \max} = 1.20 \cdot 1 \cdot 0.052 = 0.0624$$

In considerazione del punto 2 la verifica alla liquefazione è omessa.

10 CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

La presente relazione redatta per conto del Comune di Garbagnate Monastero illustra i risultati di una campagna di indagini geognostiche realizzate nello steso comune lungo Via Fumagalli. L'area in esame si colloca in corrispondenza di una zona leggermente degradante verso NE, ad una quota media di 310 s.l.m. in corrispondenza di una zona parzialmente urbanizzata.

Gli studi geologici di supporto alla pianificazione territoriale attribuiscono all'area di progetto, ricadente nel comune di Garbagnate Monastero, classe di fattibilità geologica 2, con modeste limitazioni al cambio di destinazione d'uso dei terreni e all'edificazione.

Le indagini geognostiche consistite nell'esecuzione di 2 prove penetrometriche dinamiche SCPT, spinte fino al rifiuto alla penetrazione avvenuto alla profondità massima di -4.40m da p.c, hanno individuato la presenza di depositi glaciali costituiti da sabbie limose e limi sabbiosi per uno spessore di circa 4,50 m appoggiati al substrato roccioso (arenarie e peliti).

Misure freatiche effettuate durante l'esecuzione delle prove penetrometriche, non hanno individuato la presenza di vere e proprie falde freatiche, tuttavia al contatto tra deposito superficiale e substrato roccioso si possono verificare locali venute d'acqua effimere anche consistenti, così come si è riscontrato durante l'esecuzione delle prova n.1 a quota -3.50 m da p.c: Queste venute d'acqua sono legate a periodi di intensa e persistente piovosità.

Per quanto concerne gli scavi, per la realizzazione delle opere in progetto essi raggiungeranno altezze massime di circa 1.00 m da p.c., in materiale sciolto. Non sussistono particolari problemi legati all'escavabilità dei terreni.

Per la gestione dei materiali da scavo si dovrà fare riferimento alla nuova normativa DPR 13 giugno 2017 n. 120 che approva il Regolamento recante la disciplina semplificata della gestione delle terre e rocce da scavo, ai sensi dell'art. 8 del D.L. n. 133/2014.

La regione Lombardia in data 11 Luglio 2004 con D.G.R. ha introdotto l'aggiornamento delle zone sismiche classificando il comune Garbagnate Monastero come appartenente alla classe sismica 3.

L'indagine sismica passiva HVSr ha permesso di ricostruire la stratigrafia geologica, oltre che individuare la categoria del sottosuolo secondo quanto richiesto dalla normativa recente, relativamente alla pericolosità sismica di base del sito di costruzione. L'indagine ha definito una $V_{S30} = 484\text{m/s}$ corrispondente ad una Categoria di suolo B ai sensi del DM 14.01.08 NTC 3.2.2.

Per la progettazione sismica i parametri sono riportati nel paragrafo 8.4.

L'analisi del rischio sismico dell'area condotta in fase di PGT, ha definito lo scenario di pericolosità sismica locale di primo livello in base alle caratteristiche geologiche, geomorfologiche e geotecniche dell'area stessa. Nel caso dello studio in progetto si ricade all'interno delle zone PSL con sigla **Z4c**, cioè zona morenica che potrebbe causare amplificazioni litologiche e geometriche.

Il secondo livello condotto per il presente progetto ha fornito la stima quantitativa della risposta sismica dei terreni in termini di valore di fattore di amplificazione Fa. Il valore di Fa calcolato con le schede di valutazione è stato confrontato con i valori di soglia di Fa fornito dalla Regione Lombardia, considerando una variabilità di +0.1 che tiene conto della variabilità del valore di Fa ottenuto con procedura semplificata

Valore normativa sufficiente Fa calcolato $1.44 < Fa$ valore soglia $1.4+0.1$	spettro normativa B congruo
--	--------------------------------

Pertanto la normativa è da considerarsi sufficiente a tenere in considerazione anche i possibili effetti di amplificazione litologica del sito.

Nello schema si riportano le diverse classificazioni sismiche del terreno in esame.

Zona sismica L.R.1/2000 Dgr X/2129 -11/07/2014	P.S.L.L.R 12/05	Categoria Topografica	Categoria sottosuolo D.M. 14.01.08	Verifica liquefazione
4	Z4c , zona morenica	T1 pendii con inclinazioni <15°	Terreno tipo B	Terreno non liquefacibile

Si rimane a disposizione per chiarimenti.

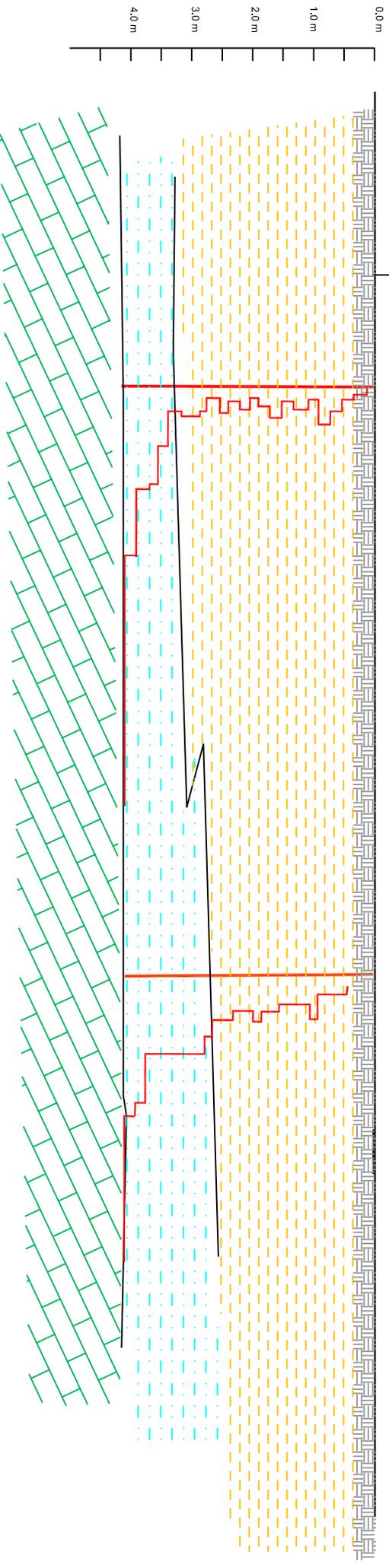
Ello, Marzo 2018

Dott. Geologo Paola Lafranconi

SEZIONE STRATIGRAFICA n.1

SCPT 1

SCPT 2



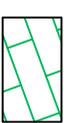
Terreno vegetale, suolo NSpt= 1-2



terreno poco addensato sabbia limosa e sabbie fini NSpt= 4-5



terreno da poco a moderatamente addensato, sabbie NSpt=9-12



substrato roccioso NSpt=100

PROVA SCPT N. 1

Committente: COMUNE DI GARBAGNATE MONASTERO

Luogo: Via FUMAGALLI, GARBAGNATE MONASTERO

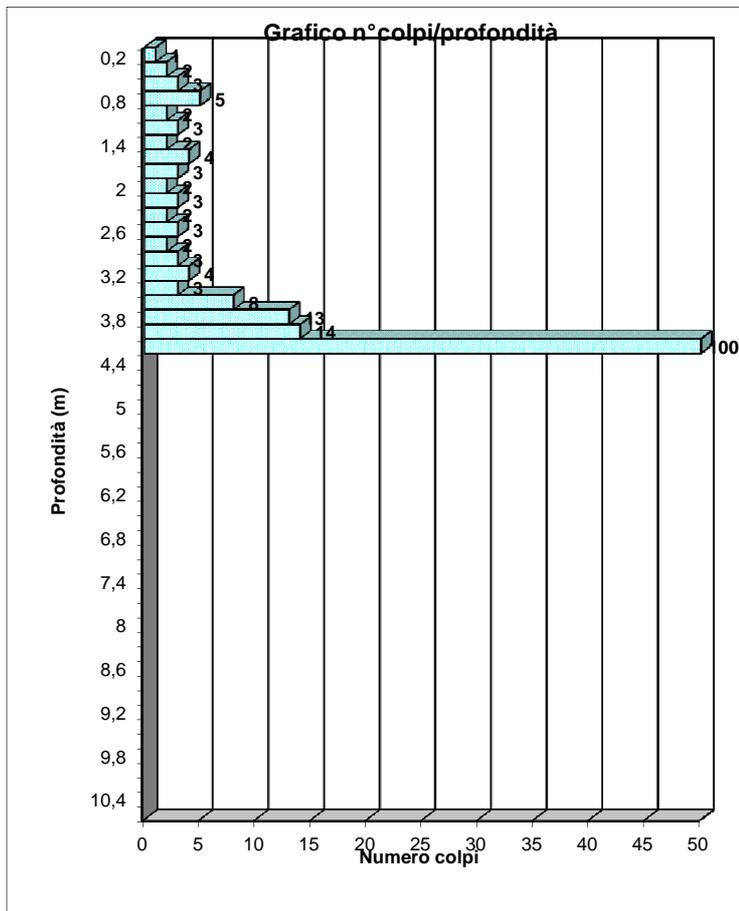
Quota: -p.c

Data: 29 Gennaio 2018

FALDA aster bagnate a -3,40 m

Note:

Profondità (m)	Numero colpi	Profondità (m)	Numero colpi
0,2	1	10,2	0
0,4	2	10,4	0
0,6	3	10,6	0
0,8	5	10,8	0
1	2	11,0	0
1,2	3	3,0	2
1,4	2	11,4	3
1,6	4	11,6	2
1,8	3	11,8	3
2	2	12,0	2
2,2	3	12,2	3
2,4	2	12,4	0
2,6	3	12,6	0
2,8	2	12,8	0
3	3	13,0	0
3,2	4	13,2	0
3,4	3	13,4	0
3,6	8	13,6	0
3,8	13	13,8	0
4	14	14,0	0
4,2	100	14,2	0
4,4		14,4	0
4,6		14,6	0
4,8		14,8	0
5		15,0	0
5,2		15,2	0
5,4		15,4	0
5,6		15,6	0
5,8		15,8	0
6		16,0	0
6,2		16,2	0
6,4		16,4	0
6,6		16,6	0
6,8		16,8	0
7		17,0	0
7,2		17,2	0
7,4		17,4	0
7,6		17,6	0
7,8		17,8	0
8		18,0	0
8,2		18,2	0
8,4		18,4	0
8,6		18,6	0
8,8		18,8	0
9		19,0	0
9,2		19,2	0
9,4		19,4	0
9,6		19,6	0
9,8		19,8	0
10		20,0	0



Da (m)	A (m)	Granulometria prev.	Nspt	Φ	E (kg/cm2)	Cu (kg/cm2)
0	0,4	limo sabb.	2	25	25	0,10
0,4	3,4	sabbia fine	3	25	30	
3,4	4	sabbia ghiaiosa	12	30	200	
4	4,2	ghiaia sabbiosa	100	>35	>450	
Falda	Profondità (m)	no				

PROVA SCPT N. 2

Committente: COMUNE DI GARBAGNATE MONASTERO

Luogo: Via FUMAGALLI, GARBAGNATE MONASTERO

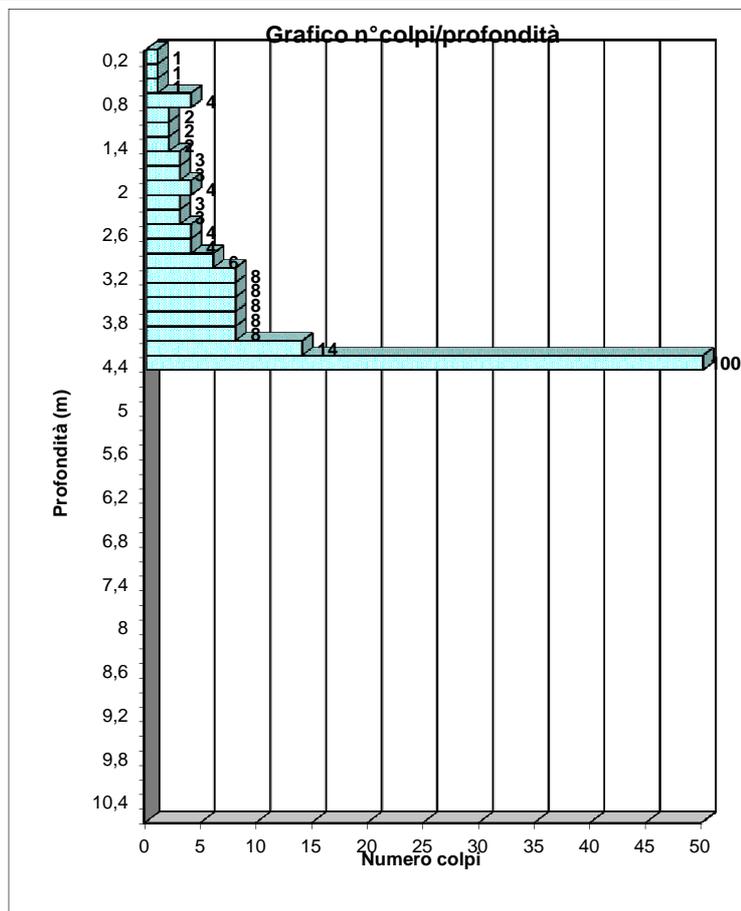
Quota: -p.c

Data: 29 Gennaio 2018

FALDA aste bagnate a -3,50 m

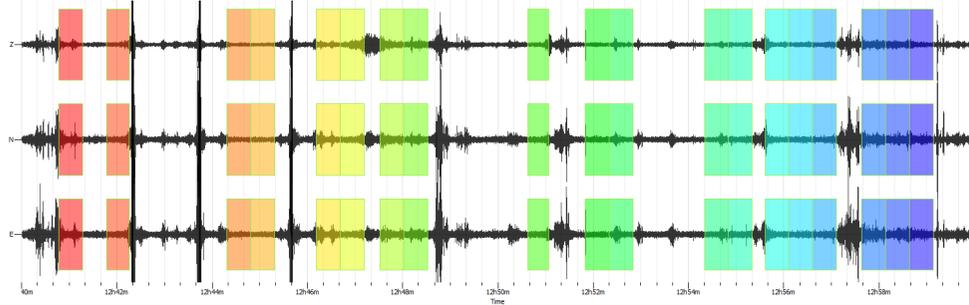
Note:

Profondità (m)	Numero colpi	Profondità (m)	Numero colpi
0,2	1	10,2	0
0,4	1	10,4	0
0,6	1	10,6	0
0,8	4	10,8	0
1	2	11,0	0
1,2	2	3,0	2
1,4	2	11,4	3
1,6	3	11,6	2
1,8	3	11,8	3
2	4	12,0	2
2,2	3	12,2	3
2,4	3	12,4	0
2,6	4	12,6	0
2,8	4	12,8	0
3	6	13,0	0
3,2	8	13,2	0
3,4	8	13,4	0
3,6	8	13,6	0
3,8	8	13,8	0
4	8	14,0	0
4,2	14	14,2	0
4,4	100	14,4	0
4,6		14,6	0
4,8		14,8	0
5		15,0	0
5,2		15,2	0
5,4		15,4	0
5,6		15,6	0
5,8		15,8	0
6		16,0	0
6,2		16,2	0
6,4		16,4	0
6,6		16,6	0
6,8		16,8	0
7		17,0	0
7,2		17,2	0
7,4		17,4	0
7,6		17,6	0
7,8		17,8	0
8		18,0	0
8,2		18,2	0
8,4		18,4	0
8,6		18,6	0
8,8		18,8	0
9		19,0	0
9,2		19,2	0
9,4		19,4	0
9,6		19,6	0
9,8		19,8	0
10		20,0	0

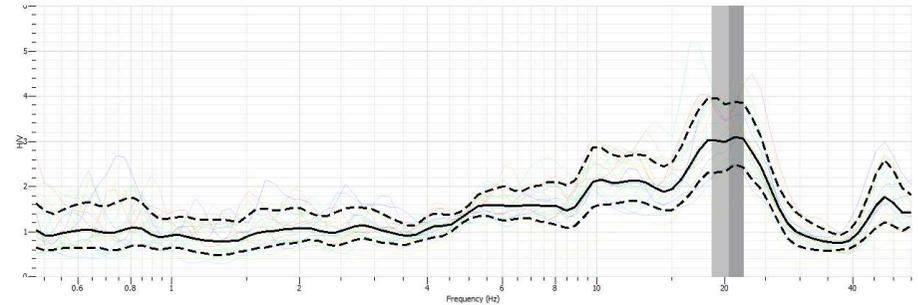


Da (m)	A (m)	Granulometria prev.	Nspt	Φ	E (kg/cm2)	Cu (kg/cm2)
0	0,6	limo sabb.	1	24	10	0,05
0,6	2,8	sabbia fine	4	26	40	
2,8	4,2	sabbia ghiaiosa	9	29	100	
4,2	4,4	Rifiuto	100	>35	>450	
Falda	Profondità (m)		no			

Reg 20 min Finestre temporali nelle direzioni Z, N, E (20-30 sec)



frequenze / rapporto (H/V)

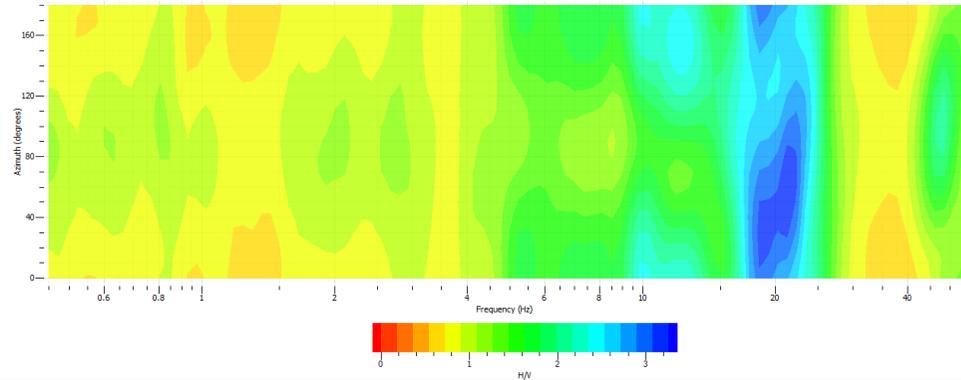


Smoothing tipe: Konno & Ohmachi Smoothing: 40% Direzionalità selezionata: media su 360°

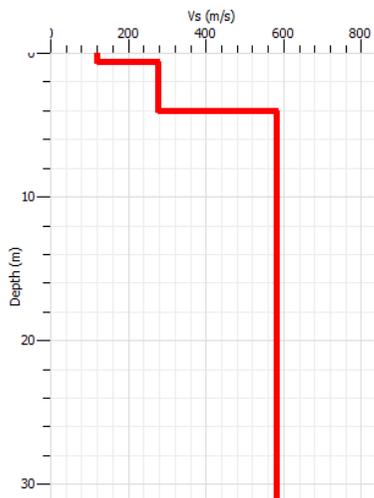
Spettri medi delle singole componenti (Z, N, E)



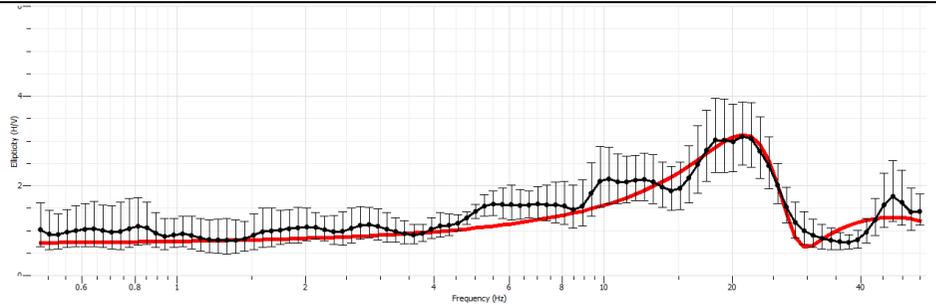
Direzionalità del rapporto H/V



Modello sismostratigrafico da inversione vincolata (prove DP)



da (m)	a (m)	Vs (m/s)
0.0	0.5	120
0.5	4.0	270
4.0		580
Vs(30)		484



INDAGINE HVSR

Committente = COMUNE GARBAGNATE MONASTERO
 Luogo: GARBAGANTE MONASTERO (Lc) Data: 24-01-2018

Frequenza di campionamento = 250 Hz
 Sensori = geofoni 4.5 Hz
 Acquisitore = geofono triassiale EADC 24 bit