

Rif. L2688

Comune di

Pognano

(Provincia di Bergamo)

Aggiornamento del Regolamento di Polizia Mortuaria

**Intervento di installazione di nuovi ossari e
realizzazione di nuovi campi di mineralizzazione**

RELAZIONE GEOLOGICA e SISMICA (R1+R3)

ai sensi del D.M. 17-01-2018 e della DGR IX 2616/2011

RELAZIONE GEOTECNICA (R2)

ai sensi del D.M. 17-01-2018 e della L.R. 33-2015

Committente: Comune di Pognano

Vaprio D'Adda, 03/08/2020

Dott. Geol. Carlo Leoni



Vermeer, *Il Geografo* - 1668

**GEOARBOR STUDIO
PROFESSIONALE**

Dr. Geol. Carlo D. Leoni

Iscrizione N° 776 all'Albo
dell'Ordine dei Geologi
della Regione Lombardia
C.F. LNECLD59T23F205Z
Partita IVA 06708220964

- ↘ *Geologia*
- ↘ *Geotecnica*
- ↘ *Idrogeologia*
- ↘ *Indagini ambientali*
- ↘ *Pianificazione territoriale*
- ↘ *Cave, discariche*
- ↘ *Ripristini ambientali*
- ↘ *Indagini geognostiche*
- ↘ *Ingegneria naturalistica*
- ↘ *Pozzi*
- ↘ *Rilievi topografici*
- ↘ *Rilievi GPS*
- ↘ *Laboratorio geotecnico*
- ↘ *Studi Idroelettrici*

SOMMARIO

1. Premessa	3
2. Inquadramento geologico, geomorfologico ed idrogeologico dell'area di indagine.....	5
2.1. INQUADRAMENTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO DELL'AREA IN ESAME....	5
2.2. INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO DELL'AREA IN ESAME.....	6
3. Indagini eseguite	7
3.1 PROVE PENETROMETRICHE DINAMICHE SCPT	8
3.2. TRINCEE ESPLORATIVE	9
3.3. PROVE DI PERMEABILITA' CON INFILTROMETRO	10
3.4. ANALISI GRANULOMETRICHE.....	11
3.5. PROVA SISMICA MASW	12
4. Modello geotecnico del sottosuolo e scelta dei parametri caratteristici del terreno.....	15
5. Tipologie fondazionali verificate	17
6. Analisi dell'azione sismica	18
7. Verifica alla liquefazione.....	23
8. Verifiche di sicurezza sulle fondazioni ai sensi delle NTC 2018	26
8.1 Verifiche nei confronti degli stati limite ultimi (SLU) - Determinazione delle resistenze (Rd).....	26
8.2 Verifiche nei confronti degli stati limite di esercizio (SLE) – Analisi dei cedimenti.....	30
9. Permeabilità dei terreni	33
10. Verifica della compatibilità dell'intervento con i vincoli geologici esistenti	34
11. Verifica della compatibilità dell'intervento con la fattibilità geologica locale ai sensi della DGR 2616/2011	35
12. Pericolosità sismica locale	36
12.1 ANALISI SISMICA DI PRIMO LIVELLO.....	36
12.2 ANALISI SISMICA DI SECONDO LIVELLO.....	36
13. Considerazioni conclusive	39

pag.1

Relazione geologica, geotecnica e sismica (R1+R2+R3) – Realizzazione nuovi ossari colombari e nuovi campi di mineralizzazione - ampliamento cimitero comunale di Pognano (BG)

Rif.Geo. L2688		Referente: S.O.
Data elaborato: agosto 2020	Rev1:	Rev2:
Geo.ArborStudio di Leoni Carlo Via Concesa, 3 - 20069 Vaprio d'Adda	Tel. 0295763037 - Tel/Fax 0295761942 C.F. LNECLD59T23F205Z Partita IVA 06708220964	www.geoarbor.it info@geoarbor.it

ALLEGATI

- ✓ *Planimetria con ubicazione delle indagini eseguite;*
- ✓ *Tabulati e grafici prove penetrometriche dinamiche SCPT;*
- ✓ *Prove di permeabilità con infiltrometro;*
- ✓ *Prova sismica masw;*
- ✓ *Analisi granulometriche;*
- ✓ *Mod. 9 - asseverazione relazione geologica R1 e R3*
- ✓ *Mod. 10 - asseverazione relazione geotecnica R2*

pag.2

Relazione geologica, geotecnica e sismica (R1+R2+R3) – Realizzazione nuovi ossari colombari e nuovi campi di mineralizzazione - ampliamento cimitero comunale di Pognano (BG)

<i>Rif.Geo. L2688</i>		<i>Referente: S.O.</i>
<i>Data elaborato: agosto 2020</i>	<i>Rev1:</i>	<i>Rev2:</i>
<i>Geo.ArborStudio di Leoni Carlo Via Concesa, 3 - 20069 Vaprio d'Adda</i>	<i>Tel. 0295763037 - Tel/Fax 0295761942 C.F. LNECLD59T23F205Z Partita IVA 06708220964</i>	<i>www.geoarbor.it info@geoarbor.it</i>

1. Premessa

In seguito all’incarico conferito dalla società “The Blossom Avenue” di Milano per conto del Comune di Pognano (determinazione n.96 del 17/07/2020), viene redatta la presente relazione geologica a supporto dell’aggiornamento del Piano Regolatore Cimiteriale del Comune di Pognano, ed in particolare nell’ambito dei progetti di realizzazione di nuovi ossari e di ampliamento del cimitero per nuovi campi di mineralizzazione.

L’area oggetto dell’intervento si colloca nel settore est del territorio comunale di Pognano si presenta come una superficie planare posta ad una quota media di circa 159 m s.l.m.

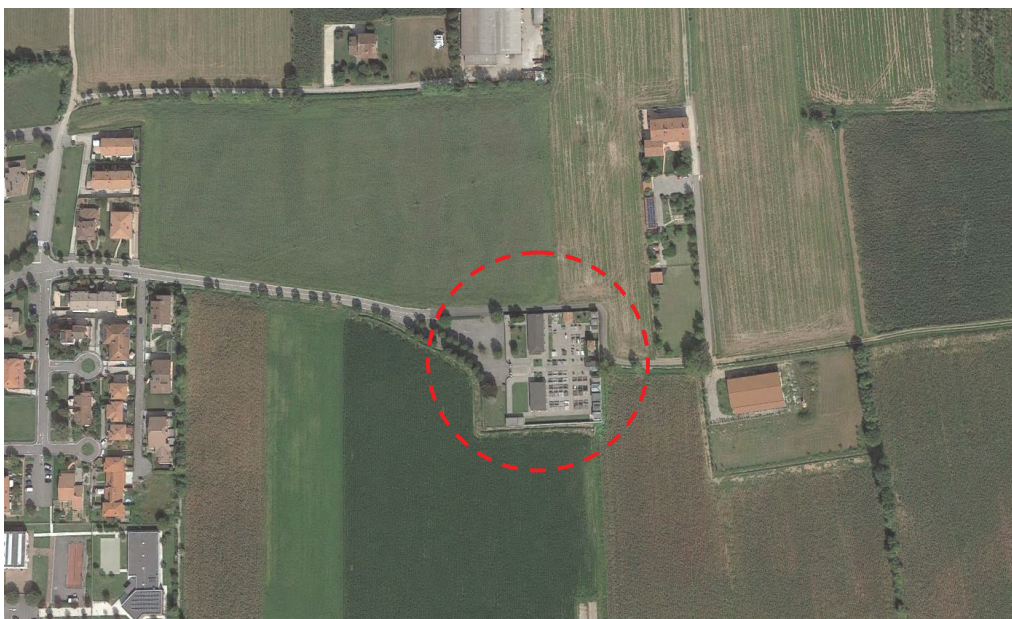


Fig. 1 - Inquadramento corografico dell’area di intervento su foto satellitare (fonte: Google Earth)

Per la caratterizzazione fisico-meccanica e sismica dei terreni è stata eseguita in data 22 luglio 2020 una campagna di indagini geognostiche così articolata:

- n. 3 prove penetrometriche dinamiche Scpt;
- n. 2 trincee esplorative (T1÷T2);
- n. 1 prova sismica masw;

in corrispondenza delle due trincee sono state eseguite:

- n. 2 prove di permeabilità con infiltrometro;
- n. 2 analisi granulometriche;

Come superficie di riferimento (0 RIF.) a cui riportare tutte le quote riportate di seguito è stato scelto il piano campagna sul quale sono state eseguite le indagini.

Le indagini eseguite sono finalizzate alla definizione delle caratteristiche geologiche, idrogeologiche, geotecniche e sismiche internamente alle aree interessate dal progetto realizzazione nuovi ossari e di

pag.3

Relazione geologica, geotecnica e sismica (R1+R2+R3) – Realizzazione nuovi ossari colombari e nuovi campi di mineralizzazione - ampliamento cimitero comunale di Pognano (BG)

Rif.Geo. L2688		Referente: S.O.
Data elaborato: agosto 2020	Rev1:	Rev2:
GeoArborStudio di Leoni Carlo Via Concesa, 3 - 20069 Vaprio d'Adda	Tel. 0295763037 - Tel/Fax 0295761942 C.F. LNECLD59T23F205Z Partita IVA 06708220964	www.geoarbor.it info@geoarbor.it

ampliamento del cimitero, in relazione alla verifica dell'idoneità dei terreni superficiali alle pratiche di inumazione.

Considerata l'omogeneità litostratigrafia e geomeccanica dei terreni presenti nell'ambito della zona indagata e tenuto in considerazione l'estensione del lotto da indagare, si ritiene che le indagini eseguite siano sufficienti per poter caratterizzare i terreni in oggetto. Tale scelta è avvalorata dalla conoscenza delle aree circostanti a quella di intervento che in un intorno significativo presentano caratteristiche litostratigrafiche e geomeccaniche simili.

La presente relazione viene redatta secondo le disposizioni contenute nel Regolamento Regionale n.1 del 6 febbraio 2007 – Regolamento in materia di attività funebri e cimiteriali – e in attuazione della L.R. 33/09 e della L.R. 28/08 (modificata dalla L.R. 12/14). La presente relazione geologica viene redatta anche ai sensi della D.M. 17/11/2018 - NTC2018 (relazione geologica R1) e ai sensi della DGR 2616/2011 (relazione geologica R3).

La prima (ai sensi della DGR 2616/2011) è finalizzata a verificare la fattibilità dell'intervento proposto sviluppando le indagini geologiche, geofisiche e geotecniche nonché le verifiche richieste dalle norme di attuazione del PGT per la specifica classe di fattibilità geologica e per la specifica classe di pericolosità sismica che l'estensore dello studio geologico del PGT ha attribuito all'area dove ricade l'intervento, indicando eventuali opere di mitigazione del rischio che si dovranno realizzare per rendere fattibile l'opera. La seconda (ai sensi delle NTC 2018 – D.M. 17/01/2018) è finalizzata a ricostruire il modello geologico necessario all'estensore della relazione geotecnica per poter estendere i risultati delle indagini geologiche, geofisiche e geotecniche a tutto il volume significativo coinvolto dalla costruzione, nonché ad approfondire eventuali ulteriori criticità che il geologo dovesse aver riscontrato in sito oltre a quelle segnalate nel PGT.

Sulla base del **D.g.r. 11 luglio 2014 - n. X/2129** "Aggiornamento delle zone sismiche in Regione Lombardia (l.r. 1/2000, art. 3, c. 108, lett. d)", **il territorio comunale di Pognano è stato classificato come ZONA 3.** Sulla base della prova sismica $V_{s30} = 397$ m/s) è possibile attribuire ai terreni indagati il profilo stratigrafico del suolo di fondazione di "tipo B". Tuttavia dall'analisi di II livello eseguita (vedi apposito paragrafo) è emerso che il fattore di amplificazione F_a è maggiore del valore soglia regionale e pertanto **si applicherà lo spettro della categoria di suolo C.**

pag.4

Relazione geologica, geotecnica e sismica (R1+R2+R3) – Realizzazione nuovi ossari colombari e nuovi campi di mineralizzazione - ampliamento cimitero comunale di Pognano (BG)

Rif.Geo. L2688		Referente: S.O.
Data elaborato: agosto 2020	Rev1:	Rev2:
Geo.ArborStudio di Leoni Carlo Via Concesa, 3 - 20069 Vaprio d'Adda	Tel. 0295763037 - Tel/Fax 0295761942 C.F. LNECLD59T23F205Z Partita IVA 06708220964	www.geoarbor.it info@geoarbor.it

2. Inquadramento geologico, geomorfologico ed idrogeologico dell'area di indagine

2.1. INQUADRAMENTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO DELL'AREA IN ESAME

I terreni dell'area in esame ricadono nell'ambito dei depositi fluvioglaciali würmiani che costituiscono il "Livello Fondamentale della Pianura Padana". Sono generalmente associabili a sedimenti incoerenti di tipo sabbioso e sabbioso - ghiaioso con frazioni limose e ciottoli in percentuale variabile in relazione alla profondità (vedi fig. 2).

La litologia caratteristica del Diluvium Recente è rappresentata da ghiaia e sabbia debolmente limosa inglobante ciottoli di dimensioni variabili e localmente trovanti. I caratteri sedimentologici specifici sono quelli dei depositi alluvionali: clasti con grado di arrotondamento variabile da subarrotondato ad arrotondato e alterazione limitata o assente. Tali depositi sono generalmente ricoperti da uno strato di alterazione superficiale di spessore contenuto e composto da sedimenti limoso-sabbiosi localmente associati a ghiaia di varia pezzatura (prevalentemente medio-fine).

Il comportamento geotecnico dei terreni viene assunto prevalentemente di tipo incoerente, con resistenza al taglio in condizioni drenate e cedimenti di tipo immediato senza componenti secondarie differite nel tempo (consolidazione).

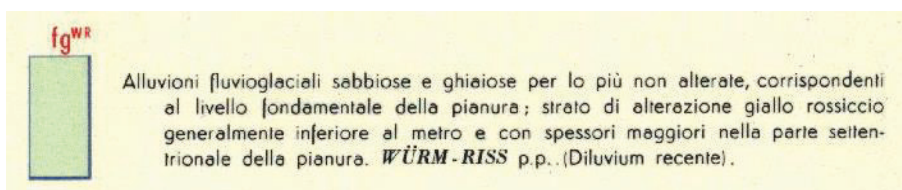
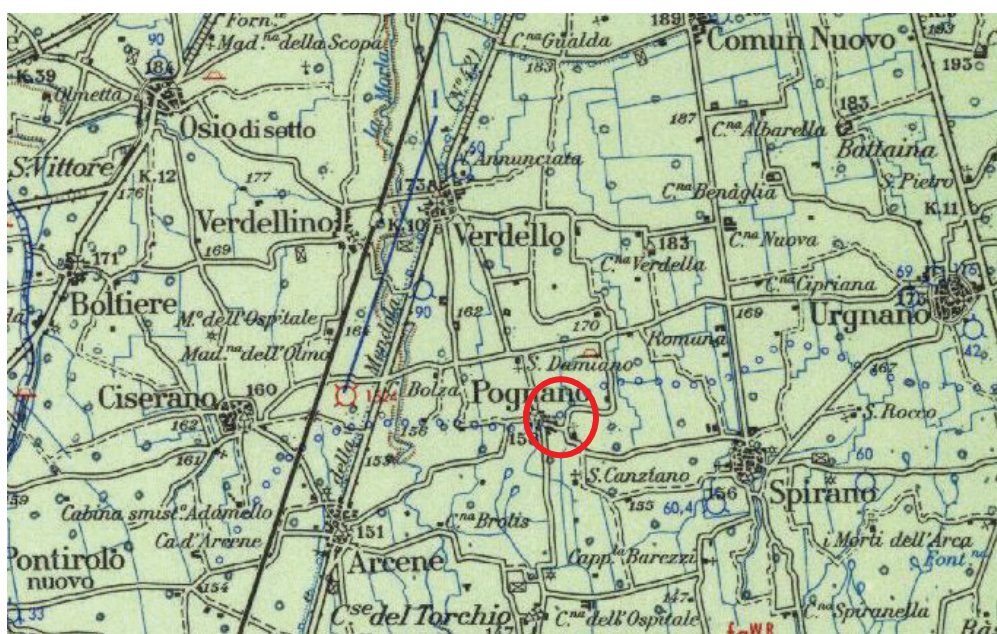


Fig. 2 – estratto carta geologica d'Italia (scala 1:100.000) – foglio n.46 "Treviglio"

Relazione geologica, geotecnica e sismica (R1+R2+R3) – Realizzazione nuovi ossari colombari e nuovi campi di mineralizzazione - ampliamento cimitero comunale di Pognano (BG)

Rif.Geo. L2688		Referente: S.O.
Data elaborato: agosto 2020	Rev1:	Rev2:
GeoArborStudio di Leoni Carlo Via Concesa, 3 - 20069 Vaprio d'Adda	Tel. 0295763037 - Tel/Fax 0295761942 C.F. LNECLD59T23F205Z Partita IVA 06708220964	www.gearbor.it info@gearbor.it

2.2. INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO DELL'AREA IN ESAME

Non è stata rilevata la presenza della falda entro le profondità indagata (-4,5m circa dal p.c.). Dall'esame della carta idrogeologica del PGT comunale emerge che la soggiacenza media della falda freatica nell'area in esame è intorno ai 5-6 m (vedi fig. 2), avente una direzione di deflusso sotterraneo prevalente da nord verso sud. Considerando le caratteristiche strutturali in progetto e le condizioni idrogeologiche generali è quindi da escludere un'interazione tra la falda e le opere in progetto.

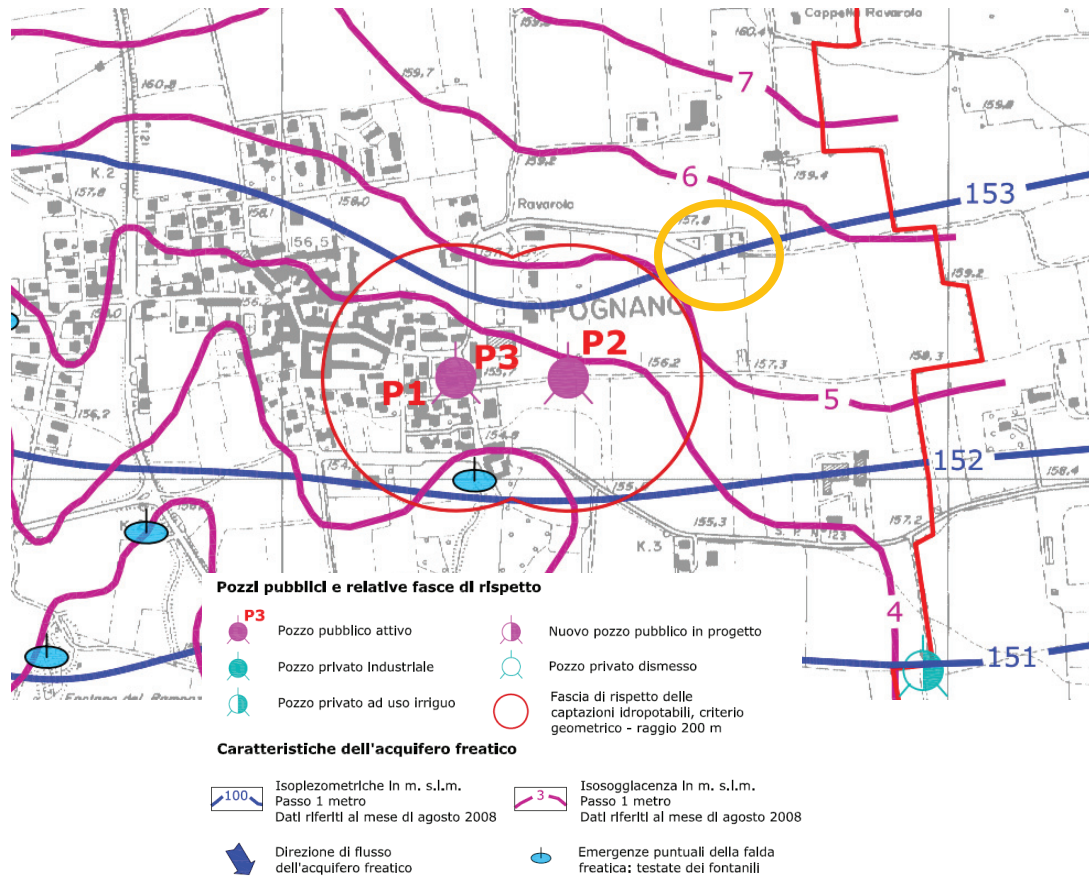


Fig. 3- Estratto della Carta idrogeologica del PGT del Comune di Pognano

Relazione geologica, geotecnica e sismica (R1+R2+R3) – Realizzazione nuovi ossari colombari e nuovi campi di mineralizzazione - ampliamento cimitero comunale di Pognano (BG)

Rif.Geo. L2688		Referente: S.O.
Data elaborato: agosto 2020	Rev1:	Rev2:
GeoArborStudio di Leoni Carlo Via Concesa, 3 - 20069 Vaprio d'Adda	Tel. 0295763037 - Tel/Fax 0295761942 C.F. LNECLD59T23F205Z Partita IVA 06708220964	www.geoarbor.it info@geoarbor.it

3. Indagini eseguite

Per la caratterizzazione fisico-meccanica e sismica dei terreni è stata eseguita in data 22 luglio 2020 una campagna di indagini geognostiche così articolata:

CIMITERO COMUNALE DI POGNANO

- n. **3** prove penetrometriche dinamiche Scpt;
- n. **2** trincee esplorative (T1÷T2);
- n. **1** prova sismica masw;

in corrispondenza delle due trincee sono state eseguite:

- n. **2** prove di permeabilità mediante infiltrometro ad anello singolo;
- n. **2** analisi granulometriche;

Come superficie di riferimento (0 RIF.) a cui riportare tutte le quote riportate di seguito è stato scelto il piano campagna sul quale sono state eseguite le indagini.

L'ubicazione delle indagini effettuate viene riportata in figura 4 sottostante oltre che nella planimetria in allegato.

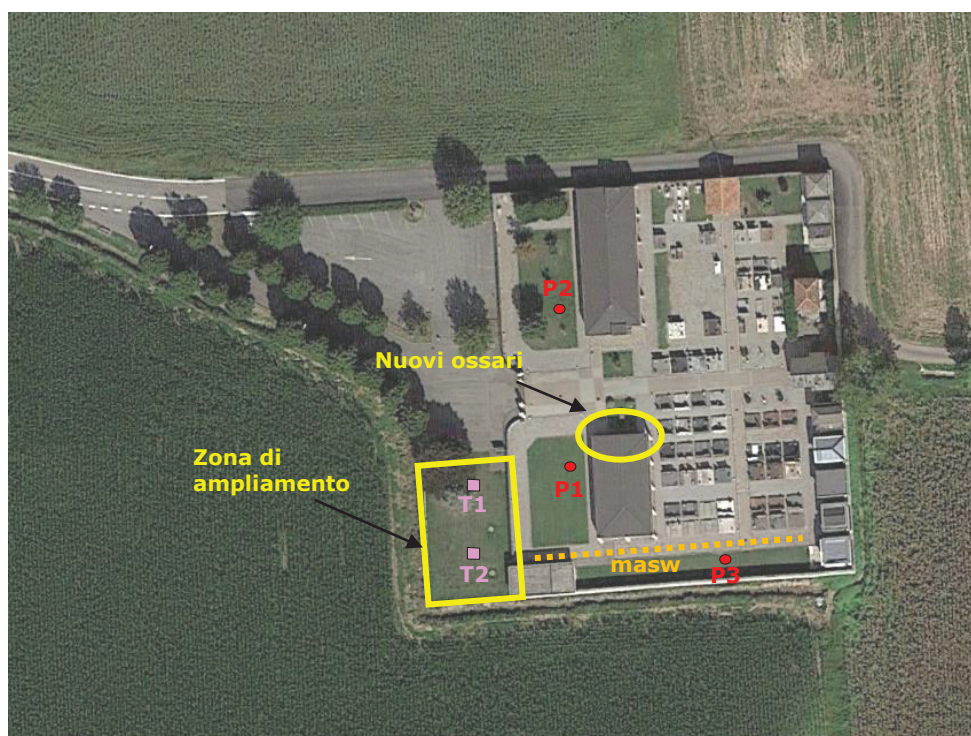


Fig. 4 - Ubicazione indagini eseguite dallo scrivente - in viola: trincee esplorative
- in arancio: prova sismica masw - in rosso: prove penetrometriche dinamiche Scpt

Relazione geologica, geotecnica e sismica (R1+R2+R3) – Realizzazione nuovi ossari colombari e nuovi campi di mineralizzazione - ampliamento cimitero comunale di Pognano (BG)

Rif.Geo. L2688		Referente: S.O.
Data elaborato: agosto 2020	Rev1:	Rev2:
GeoArborStudio di Leoni Carlo Via Concesa, 3 - 20069 Vaprio d'Adda	Tel. 0295763037 - Tel/Fax 0295761942 C.F. LNECLD59T23F205Z Partita IVA 06708220964	www.geoarbor.it info@geoarbor.it

3.1 PROVE PENETROMETRICHE DINAMICHE SCPT

Le prove sono state eseguite con penetrometro dinamico PAGANI tipo TG 63/100 KN che, secondo la normativa europea I.S.S.M.F.E. '88, è paragonabile ad un DPSH (Dynamic Probing Super Heavy). Le caratteristiche dello strumento utilizzato corrispondono alla nuova categoria di standard internazionale.

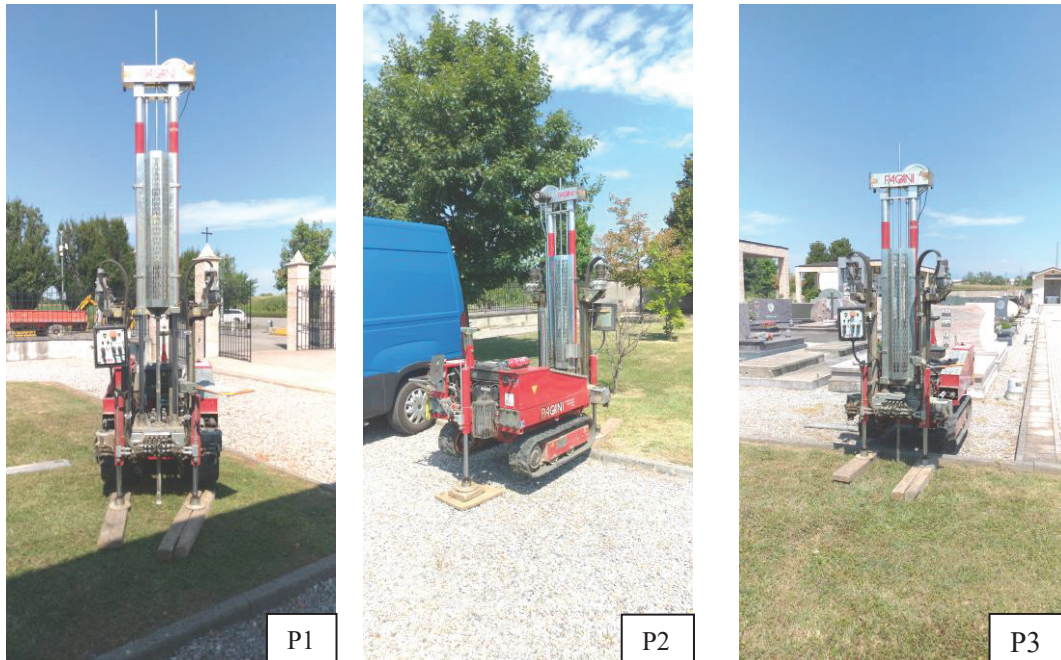


Fig. 5 – foto prove penetrometriche dinamiche

La prova consiste nell’infissione lungo la direzione del filo a piombo di una punta conica metallica, posta all’estremità di un’asta d’acciaio, in seguito alla discesa di un maglio di peso pari a 73 Kg direttamente sulla testa di battuta da un’altezza di caduta di 75cm.

Viene registrato il numero di colpi necessari per l’infissione di 30 cm delle aste nel terreno (N_{SCPT}) in modo continuo, fornendo delle indicazioni sui parametri geotecnici in funzione della resistenza che il terreno stesso offre alla penetrazione.

Per quanto riguarda la conversione dei valori di resistenza alla penetrazione dinamica nei corrispondenti valori di Standard Penetration Test (SPT) la relazione tra i due valori è generalmente regolata da rapporti empirici basati sullo studio di esperienze pratiche (funzione della litologia e del rendimento dello strumento).

Le caratteristiche tecniche principali vengono riassunte di seguito:

- ✓ peso massa battente 73 Kg
- ✓ altezza di caduta 0.75 m
- ✓ lunghezza aste 0.90 m
- ✓ diametro aste 34 mm
- ✓ diametro punta conica 51 mm
- ✓ angolo del cono 60°

Relazione geologica, geotecnica e sismica (R1+R2+R3) – Realizzazione nuovi ossari colombari e nuovi campi di mineralizzazione - ampliamento cimitero comunale di Pognano (BG)

Rif.Geo. L2688		Referente: S.O.
Data elaborato: agosto 2020	Rev1:	Rev2:
GeoArborStudio di Leoni Carlo Via Concesa, 3 - 20069 Vaprio d'Adda	Tel. 0295763037 - Tel/Fax 0295761942 C.F. LNECLD59T23F205Z Partita IVA 06708220964	www.geoarbor.it info@geoarbor.it

Di seguito si riportano le profondità raggiunte in corrispondenza di ciascuna prova.

Prova	Tipo prova	Profondità in metri da p.c.	Rifiuto
P1	SCPT	4,5 m	no
P2	SCPT	4,5 m	no
P3	SCPT	4,5 m	no

Le tabelle e i diagrammi delle prove penetrometriche vengono riportati in allegato.

3.2. TRINCEE ESPLORATIVE

Nella stessa campagna di indagini del 22 luglio 2020 sono state eseguite **n. 2 trincee esplorative (T1 e T2)** mediante escavatore a pala meccanica. Gli scavi hanno raggiunto profondità di 2,0 m dal p.c. nella trincea T1 e pari a -1,0 m da p.c. nella trincea T2, e hanno consentito di prelevare campioni di terreno a fondo scavo da sottoporre ad analisi granulometriche.

In allegato si riportano le stratigrafie e documentazione fotografica relative ad ogni singola trincea.



T 1



T 2

Rif.Geo. L2688		Referente: S.O.
Data elaborato: agosto 2020	Rev1:	Rev2:
Geo.ArborStudio di Leoni Carlo Via Concesa, 3 - 20069 Vaprio d'Adda	Tel. 0295763037 - Tel/Fax 0295761942 C.F. LNECLD59T23F205Z Partita IVA 06708220964	www.geoarbor.it info@geoarbor.it

3.3. PROVE DI PERMEABILITA' CON INFILTROMETRO

All'interno di ciascun scavo esplorativo è stata eseguita una prova di permeabilità mediante l'utilizzo di un infiltrometro ad anello singolo; in totale sono state quindi eseguite n.2 prove di permeabilità. Per la profondità di prova si veda la tabella seguente.

Le prove hanno consentito di valutare con buon grado di attendibilità il valore di permeabilità k (in m/s) dei terreni superficiali entro i primi 3-4 metri di profondità dal p.c.

La prova consiste nel riempire di acqua l'infiltrometro fino ad una certa altezza e misurare poi la velocità di abbassamento del livello nel tempo (prova di permeabilità a carico variabile). Si è scelto inoltre di eseguire la prova ad umidità naturale, in quanto in queste condizioni l'acqua satura il terreno in breve tempo. Il valore che si ottiene è quello del coefficiente di permeabilità k . Il calcolo del coefficiente di permeabilità per le prove ad umidità naturale è stato condotto utilizzando la seguente relazione (legge di Darcy):

$$K = I / i \quad [cm/s]$$

con:

$$I = Q / A = (dh \cdot A / dt) / A = dh / dt$$

$$i = (H + z) / z$$

dove:

I = infiltrazione [m/s]

i = gradiente idraulico [-]

dh = abbassamento livello idrico nell'infiltrometro [cm]

Q = quantità di flusso [cm³/s]

dt = intervallo di tempo [s]

A = area di infiltrazione (sezione interna dell'infiltrometro) [cm²]

H = altezza dell'acqua sul piano campagna [cm]

z = approfondimento dell'infiltrometro nel terreno [cm]

Da cui:

$$K = (Q \cdot z) / [A \cdot (H + z)]$$

I risultati delle prove di permeabilità effettuate vengono riportati in allegato (compresi i grafici tempo-abbassamento) e riassunti nella tabella seguente.

Trincea	Prova	Profondità prova	K (m/sec)
T1	k1	- 2,0 m da p.c.	8,34 x 10 ⁻⁵
T2	k2	- 1,0 m da p.c.	1,46 x 10 ⁻⁴

I risultati delle prove vengono riportati e commentati nel capitolo 9.

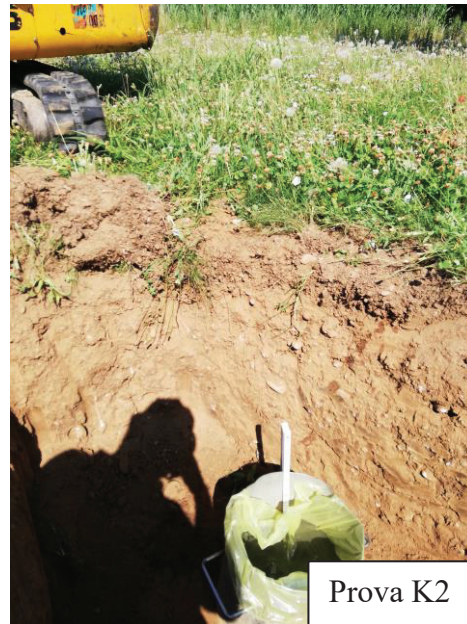
pag.10

Relazione geologica, geotecnica e sismica (R1+R2+R3) – Realizzazione nuovi ossari colombari e nuovi campi di mineralizzazione - ampliamento cimitero comunale di Pognano (BG)

Rif.Geo. L2688		Referente: S.O.
Data elaborato: agosto 2020	Rev1:	Rev2:
GeoArborStudio di Leoni Carlo Via Concesa, 3 - 20069 Vaprio d'Adda	Tel. 0295763037 - Tel/Fax 0295761942 C.F. LNECLD59T23F205Z Partita IVA 06708220964	www.geoarbor.it info@geoarbor.it



Prova K1



Prova K2

3.4. ANALISI GRANULOMETRICHE

ANALISI GRANULOMETRICA DELLA FRAZIONE GROSSOLANA PER SETACCIATURA

Normativa di riferimento: ASTM D422

Attraverso l'esecuzione dell'analisi granulometrica di un terreno è possibile raggruppare in diverse classi di grandezza le particelle costituenti il terreno stesso, per poi determinare successivamente le percentuali in peso di ciascuna classe riferendole al peso secco del campione iniziale.

La procedura di analisi prevede una vagliatura di una porzione rappresentativa del campione iniziale attraverso una serie di setacci i quali presentano apertura dei magli via via decrescente.

A tale fine viene impiegata una serie di 11 setacci la cui apertura si dimezza progressivamente passando da un setaccio a quello successivo.

Diagrammando il trattenuto in percentuale ad ognuno di questi all'interno di un grafico logaritmico si è in grado di ottenere una spaziatura pressoché uniforme dei punti della curva granulometrica riferita alla frazione grossolana del terreno in esame.

ANALISI GRANULOMETRICA DELLA FRAZIONE FINE PER SEDIMENTAZIONE

Normativa di riferimento: ASTM D422

La percentuale e le dimensioni delle particelle aventi diametro inferiore a 0,075mm (porzione di terreno passante al setaccio ASTM n°200) viene ottenuta mediante determinazione indiretta, misurando il tempo di sedimentazione delle stesse all'interno di un cilindro contenente una dispersione delle particelle in acqua distillata.

Per il calcolo del diametro del singolo granulo di limo o argilla si fa riferimento alla legge di Stokes (1880), la quale permette di determinare il diametro di una sfera (alla quale viene quindi approssimata ogni

Rif.Geo. L2688		Referente: S.O.
Data elaborato: agosto 2020	Rev1:	Rev2:
GeoArborStudio di Leoni Carlo Via Concesa, 3 - 20069 Vaprio d'Adda	Tel. 0295763037 - Tel/Fax 0295761942 C.F. LNECLD59T23F205Z Partita IVA 06708220964	www.geoarbor.it info@geoarbor.it

particella) avente peso specifico noto, della quale sia nota la velocità di caduta all'interno di un liquido di peso specifico e viscosità conosciuti.

Attraverso l'impiego di un densimetro, essendo nota la densità e la viscosità del liquido ed il peso specifico di ogni singola particella che si deposita nell'unità di tempo è possibile ricavare il diametro delle n particelle depositatesi al t_{esimo} istante e, da qui, risalire alla percentuale delle stesse sulle totali disperse in sospensione.

Diagrammando su di un grafico logaritmico i diametri ricavati e le corrispondenti percentuali si è in grado di ottenere la curva granulometrica della frazione fine costituente il campione di partenza.

Nella tabella seguente vengono sintetizzati i risultati (Cfr. in allegato le curve granulometriche dei campioni analizzati).

Trincea	Campione	Profondità di prelievo	% ghiaia	% sabbia	% limo	% argilla	Classificazione A.G.I.
T1	C1	1,0 m da p.c.	28,95	28,51	22,20	8,75	Limo con ghiaia e sabbia debolmente argilloso
T2	C1	1,0 m da p.c.	17,52	30,94	40,50	11,05	Limo con sabbia ghiaioso argilloso

3.5. PROVA SISMICA MASW

Per la valutazione della compatibilità dell'intervento in oggetto con il rischio sismico locale, è stata eseguita **n. 1 prova sismica con la metodologia MASW**, con la quale si è ricostruito l'andamento della velocità delle onde sismiche di taglio (onde S) fino alla profondità di circa 30m dall'attuale piano di campagna.



Fig. 5 - Prova sismica masw

pag.12

Relazione geologica, geotecnica e sismica (R1+R2+R3) – Realizzazione nuovi ossari colombari e nuovi campi di mineralizzazione - ampliamento cimitero comunale di Pognano (BG)

Rif.Geo. L2688		Referente: S.O.
Data elaborato: agosto 2020	Rev1:	Rev2:
Geo.ArborStudio di Leoni Carlo Via Concesa, 3 - 20069 Vaprio d'Adda	Tel. 0295763037 - Tel/Fax 0295761942 C.F. LNECLD59T23F205Z Partita IVA 06708220964	www.geoarbor.it info@geoarbor.it

Il modello sismico monodimensionale (VS-profondità) costituisce infatti l'aspetto principale sia nella stima degli effetti sismici di sito che nella definizione dell'azione sismica di progetto, in quanto consente di conoscere l'incidenza delle locali condizioni stratigrafiche nella modifica della pericolosità sismica di base (amplificazioni di natura litologica).

Ciò permette una corretta progettazione strutturale in relazione alle condizioni sitospecifiche, garantendo un adeguato livello di protezione antisismica delle costruzioni (O.P.C.M. 3274 e s.m.i; D.M. 14.09.2005; Eurocodice 8; D.M. 14.01.2008).

Il metodo MASW è basato sul tempo necessario perché la perturbazione elastica, indotta nel sottosuolo da una determinata sorgente di energia, giunga agli apparecchi di ricezione (geofoni) percorrendo lo strato superficiale con onde dirette e gli strati più profondi con onde rifratte.

L'apparecchiatura utilizzata per le prospezioni è costituita da una serie di 24 geofoni che vengono spazati regolarmente lungo un determinato allineamento e da un sismografo che registra l'istante di partenza della perturbazione ed i tempi di arrivo delle onde a ciascun geofono.

La registrazione, sia del momento dell'energizzazione che del segnale amplificato da ciascun geofono, avviene simultaneamente su di un unico diagramma (sismogramma).

La sorgente di energia nel nostro caso è rappresentata da una mazza battente avente un peso di 10 Kg.

Caratteristiche tecniche strumentazione:

Canali	24
Canale aggiuntivo	segnale di starter non filtrato
Risoluzione	16 bit
Dinamica	equiv. 22 bit su 24 canali camp 0.1 ms/canale con sovracampionamento equiv. 24 bit su 12 canali camp 0.1 ms/canale con sovracampionamento
Pretrigger	automatico
Geofoni	Frequenza 4,5 Hz
Rumore	paria a 1 lsb con ingressi canali in corto
Trigger	segnale, apertura e chiusura
Filtri analogici	antialias 4° ordine
Alimentazione	12 V - 3A

Nello specifico è stato eseguito n.1 stendimento sismico tipo MASW secondo le modalità riportate in precedenza. La lunghezza di ogni stendimento è pari a circa 48 metri. L'ubicazione è riportata nella planimetria in allegato. Di seguito viene riportato il profilo delle Vs con la profondità.

Strato	Da prof.	A prof.	Vs
1	0	3.0	230
2	3.0	6.1	291
3	6.1	10.0	377
4	10.0	15.0	450
5	15.0	20.4	471

pag.13

Relazione geologica, geotecnica e sismica (R1+R2+R3) – Realizzazione nuovi ossari colombari e nuovi campi di mineralizzazione - ampliamento cimitero comunale di Pognano (BG)

Rif.Geo. L2688		Referente: S.O.
Data elaborato: agosto 2020	Rev1:	Rev2:
GeoArborStudio di Leoni Carlo Via Concesa, 3 - 20069 Vaprio d'Adda	Tel. 0295763037 - Tel/Fax 0295761942 C.F. LNECLD59T23F205Z Partita IVA 06708220964	www.geoarbor.it info@geoarbor.it

6	20.4	26.2	506
7	26.2	30	513

La VS30, velocità media di propagazione entro 30 m di profondità delle onde di taglio, viene calcolata con la seguente espressione:

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

dove H_i e V_i indicano lo spessore (in m) e la velocità delle onde di taglio (per deformazioni di taglio $\gamma < 10^{-6}$) dello strato i -esimo, per un totale di N strati presenti nei 30 m superiori. A partire dai profili VS-profondità propri dell'area in esame, ottenuto mediante le indagini MASW appositamente realizzate, è possibile calcolare, con la formula sopra riportata, il valore di V_{s30} che risulta:

$$V_{s30} = 397 \text{ m/s}$$

In riferimento all'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n° 3274 del 20/03/2003, che definisce le "Norme tecniche per il progetto, la valutazione e l'adeguamento sismico degli edifici", sulla base dell'indagine eseguita è possibile far rientrare l'area indagata nella categoria di **suolo di fondazione tipo B**: "Depositi di sabbie e ghiaia molto addensate o argille molto consistenti, caratterizzati da valori di V_{s30} compresi tra 360 m/s e 800 m/s".

Tuttavia, dall'analisi di II livello eseguita (vedi apposito paragrafo) è emerso che il fattore di amplificazione F_a è maggiore del valore soglia regionale e pertanto **si applicherà lo spettro della categoria di suolo C**.

Rif.Geo. L2688		Referente: S.O.
Data elaborato: agosto 2020	Rev1:	Rev2:
Geo.ArborStudio di Leoni Carlo Via Concesa, 3 - 20069 Vaprio d'Adda	Tel. 0295763037 - Tel/Fax: 0295761942 C.F. LNECLD59T23F205Z Partita IVA 06708220964	www.geoarbor.it info@geoarbor.it

4. Modello geotecnico del sottosuolo e scelta dei parametri caratteristici del terreno

La ricostruzione delle caratteristiche del sottosuolo della zona indagata è basata sul censimento dei dati esistenti (stratigrafie dei pozzi comunali, indagini geotecniche, scavi, ecc.) oltre che dall'esame delle prove penetrometriche dinamiche eseguite all'interno dell'area di intervento.

Si tenga presente che la superficie scelta come quota 0 di RIFERIMENTO per tutte le quote indicate nella relazione è il PIANO CAMPAGNA sul quale sono state realizzate le indagini.

Le risultanze delle prove penetrometriche eseguite, confrontate con i dati a disposizione dello scrivente per questo settore del territorio comunale, hanno evidenziato una buona omogeneità laterale e verticale dei terreni superficiali su tutta l'area indagata.

Dall'analisi delle indagini eseguite è possibile osservare come l'orizzonte superficiale sia costituito da terreni sabbioso-limosi da poco a moderatamente addensati (**orizzonte A** N_{spt} medio 4÷8 colpi/piede) fino ad una profondità di circa 4,5 m dal p.c.

Per il modello geotecnico del sottosuolo utile per le elaborazioni analitiche contenute di seguito, i terreni investigati possono essere suddivisi in **n.1 unità litotecnica**. Vista la natura prevalentemente incoerente dei terreni si assume un *valore di coesione nullo*. Di seguito si descrivono le diverse litozone e i vari parametri geotecnici associati.

I parametri geotecnici vengono ricavati dalle correlazioni proposte in letteratura in funzione dei valori di N_{spt} , a loro volta ricavati dai valori della prova penetrometrica dinamica (N_{spt}), tramite la seguente relazione: $N_{spt} = N_{spt} \times 1.5$, considerata la presenza di terreno incoerente di natura prevalentemente sabbioso/ghiaiosa (fattore di conversione normalmente usato in terreni simili a quello in esame).

Il comportamento del terreno nei confronti delle sollecitazioni indotte dai carichi fondazionali viene considerato di tipo prevalentemente frizionale, per la predominanza delle componenti grossolane su quelle fini coesive, con resistenza al taglio in condizioni drenate e assenza di significative componenti secondarie per consolidazione.

Orizzonte A – da 0.0 a 4,5 m dal p.c.

Parametro	Valore	Unità di misura
N_{spt} (colpi da prova Scpt)	3 ÷ 6	colpi/piede
N_{spt} (colpi da prova Spt)	5 ÷ 9	colpi/piede
γ (peso di volume)	17 ÷ 17,5	KN/m ³
ϕ' (angolo di attrito)	26 ÷ 27	°
c (coesione)	0	Kg/cm ²
E (modulo di deformazione)	100 ÷ 150	Kg/cm ²
Dr (densità relativa)	35 ÷ 40	%

NOTA. I valori di angolo d'attrito ϕ e di modulo elastico **E** sono in realtà i "valori caratteristici" (fk) ottenuti partendo dai valori medi (evidenziati in color arancione nelle tabelle seguenti). Per definizione il

pag.15

Relazione geologica, geotecnica e sismica (R1+R2+R3) – Realizzazione nuovi ossari colombari e nuovi campi di mineralizzazione - ampliamento cimitero comunale di Pognano (BG)

Rif.Geo. L2688		Referente: S.O.
Data elaborato: agosto 2020	Rev1:	Rev2:
GeoArborStudio di Leoni Carlo Via Concesa, 3 - 20069 Vaprio d'Adda	Tel. 0295763037 - Tel/Fax 0295761942 C.F. LNECLD59T23F205Z Partita IVA 06708220964	www.geoarbor.it info@geoarbor.it

valore caratteristico rappresenta la soglia al di sotto della quale si colloca non più del 5% dei valori desumibili da una serie teoricamente illimitata di prove.

Nella tabella seguente si fornisce la visualizzazione delle diverse litozone con relativi spessori in corrispondenza delle prove SCPT eseguite.

Profondità in metri dal p.c.		P1	P2	P3
0,00	-0,30	31	16	12
-0,30	-0,60	15	6	10
-0,60	-0,90	9	5	5
-0,90	-1,20	4	2	2
-1,20	-1,50	2	4	3
-1,50	-1,80	3	5	4
-1,80	-2,10	1	5	3
-2,10	-2,40	3	4	2
-2,40	-2,70	3	5	6
-2,70	-3,00	4	5	4
-3,00	-3,30	3	5	3
-3,30	-3,60	3	6	5
-3,60	-3,90	3	8	6
-3,90	-4,20	8	8	8
-4,20	-4,50	7	6	7

	Terreno superficiale rimaneggiato
	Orizzonte A – terreno da poco a moderatamente addensato

I parametri geotecnici sono stati calcolati a partire dal numero di colpi mediante le correlazioni proposte in letteratura, specificate di seguito.

Densità relativa

La densità relativa è stata ricavata con la seguente relazione di Gibbs & Holtz (1957), valida per terreni sabbiosi normal consolidati:

$$D_r = 21 [N_{spt} / (27 + 0.7)].$$

Angolo di attrito

L'angolo di attrito interno è stato ricavato dalla seguente correlazione proposta da Meyerhof che meglio si adatta alle connotazioni geotecniche in esame:

$$\phi = 23.7 + 0.57 N_{spt} - 0.006 (N_{spt})^2$$

Modulo di deformazione

È stato calcolato attraverso le seguenti correlazioni di Webb-D'Apollonia che lo legano ai valori di resistenza penetrometrica e alla litologia predominante:

$$E = 300 (N + 6) \text{ [valido per sabbie limose]}$$

$$E = 600 (N + 6) + 2000 \text{ [valido per sabbie ghiaiose con } N > 15 \text{ colpi/piede]}$$

$$E = 1200 (N + 6) \text{ [valido per sabbie ghiaiose]}$$

Dove $N = N_{spt} * 70/55$ (fattore correttivo)

pag.16

Relazione geologica, geotecnica e sismica (R1+R2+R3) – Realizzazione nuovi ossari colombari e nuovi campi di mineralizzazione - ampliamento cimitero comunale di Pognano (BG)

Rif.Geo. L2688		Referente: S.O.
Data elaborato: agosto 2020	Rev1:	Rev2:
GeoArborStudio di Leoni Carlo Via Concesa, 3 - 20069 Vaprio d'Adda	Tel. 0295763037 - Tel/Fax 0295761942 C.F. LNECLD59T23F205Z Partita IVA 06708220964	www.geoarbor.it info@geoarbor.it

Coesione

Si assumono cautelativamente valori nulli per le diverse unità litotecniche proposte. In ogni caso le valutazioni sarebbero state di primo approccio, con sensibili approssimazioni, in mancanza di specifiche prove di laboratorio.

5. Tipologie fondazionali verificate

L'intervento in progetto consiste nella realizzazione di nuovi ossari e nell'ampliamento del cimitero per nuovi campi di mineralizzazione.

Dall'analisi delle indagini eseguite è possibile osservare come l'orizzonte superficiale sia costituito da terreni sabbioso-limosi da poco a moderatamente addensati (**orizzonte A** Nscpt medio 3÷6 colpi/piede) fino ad una profondità di circa 4,5 m dal p.c.

Valutate pertanto le caratteristiche geomeccaniche e litologiche dei terreni indagati, in relazione alle tipologie strutturali previste, è possibile adottare fondazioni superficiali tipo FONDAZIONI CONTINUE o PLATEA.

Sono state verificate le seguenti tipologie fondazionali:

- FONDAZIONI CONTINUE con larghezza di 0,6m e altezza di 0,3m, con piano di imposta previsto a -0,4 m da 0 RIF. all'interno dell'orizzonte A.
- PLATEA con dimensioni di 5,2m x 0,8 m e altezza di 0,2m, con piano di imposta previsto a -0,4 m da 0 RIF. all'interno dell'orizzonte A.

pag.17

Relazione geologica, geotecnica e sismica (R1+R2+R3) – Realizzazione nuovi ossari colombari e nuovi campi di mineralizzazione - ampliamento cimitero comunale di Pognano (BG)

Rif.Geo. L2688		Referente: S.O.
Data elaborato: agosto 2020	Rev1:	Rev2:
Geo.ArborStudio di Leoni Carlo Via Concesa, 3 - 20069 Vaprio d'Adda	Tel. 0295763037 - Tel/Fax 0295761942 C.F. LNECLD59T23F205Z Partita IVA 06708220964	www.geoarbor.it info@geoarbor.it

6. Analisi dell'azione sismica

Il territorio comunale di **Pognano** ricade, per quanto indicato in Allegato A della D.g.r. 11 luglio 2014 - n. X/2129 "elenco dei comuni con indicazione delle relative zone sismiche e dell'accelerazione massima (agmax) presente all'interno del territorio comunale" in **ZONA 3** ($0.05 < a_g \leq 0.15$).

Dal 1 luglio 2009 con l'entrata in vigore delle Norme Tecniche per le Costruzioni del 2008, per ogni costruzione ci si deve riferire ad una accelerazione di riferimento "propria" individuata sulla base delle coordinate geografiche dell'area di progetto e in funzione della vita nominale dell'opera. Un valore di pericolosità di base, dunque, definito per ogni punto del territorio nazionale, su una maglia quadrata di 5 km di lato, indipendentemente dai confini amministrativi comunali. La classificazione sismica (zona sismica di appartenenza del comune) rimane utile solo per la gestione della pianificazione e per il controllo del territorio da parte degli enti preposti (Regione, Genio civile, ecc.).

La pericolosità sismica è definita in termini di accelerazione orizzontale massima attesa a_g in condizioni di campo libero su sito di riferimento rigido con superficie topografica orizzontale (di categoria A), nonché di ordinate dello spettro di risposta elastico in accelerazione ad essa corrispondente, con riferimento a prefissate probabilità di eccedenza P_{VR} (come definite di seguito), nel periodo di riferimento V_R (come definito di seguito). In alternativa è ammesso l'uso di accelerogrammi, purché correttamente commisurati alla pericolosità sismica del sito. Le forme spettrali di interesse sono definite, per ciascuna delle probabilità di superamento nel periodo di riferimento P_{VR} , a partire dai valori dei seguenti parametri su sito di riferimento rigido orizzontale:

- ✓ a_g accelerazione orizzontale massima al sito (m/s^2);
- ✓ F_0 valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale (-).
- ✓ TC^* = periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale (sec).

6.1 Definizione della vita nominale dell'opera

La vita nominale di un'opera strutturale V_N è intesa come il numero di anni nel quale la struttura, purché soggetta alla manutenzione ordinaria, deve potere essere usata per lo scopo al quale è destinata. La vita nominale dei diversi tipi di opere è quella riportata nella Tab. seguente.

TIPI DI COSTRUZIONE		Vita Nominale V_N (in anni)
1	Opere provvisorie – Opere provvisionali - Strutture in fase costruttiva ¹	≤ 10
2	Opere ordinarie, ponti, opere infrastrutturali e dighe di dimensioni contenute o di importanza normale	≥ 50
3	Grandi opere, ponti, opere infrastrutturali e dighe di grandi dimensioni o di importanza strategica	≥ 100

Vita nominale V_N per diversi tipi di opere.

Per l'opera in oggetto la vita nominale si assume pari a **50 anni**.

pag.18

Relazione geologica, geotecnica e sismica (R1+R2+R3) – Realizzazione nuovi ossari colombari e nuovi campi di mineralizzazione - ampliamento cimitero comunale di Pognano (BG)

Rif.Geo. L2688		Referente: S.O.
Data elaborato: agosto 2020	Rev1:	Rev2:
Geo.ArborStudio di Leoni Carlo Via Concesa, 3 - 20069 Vaprio d'Adda	Tel. 0295763037 - Tel/Fax 0295761942 C.F. LNECLD59T23F205Z Partita IVA 06708220964	www.geoarbor.it info@geoarbor.it

6.2 Definizione delle classi d'uso per l'opera

In presenza di azioni sismiche, con riferimento alle conseguenze di una interruzione di operatività o di un eventuale collasso, le costruzioni sono suddivise in classi d'uso così definite:

- Classe I:* Costruzioni con presenza solo occasionale di persone, edifici agricoli.
- Classe 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.
- Classe III:* Costruzioni il cui uso preveda affollamenti significativi. Industrie con attività pericolose per l'ambiente. Reti viarie extraurbane non ricadenti in Classe d'uso IV. Ponti e reti ferroviarie la cui interruzione provochi situazioni di emergenza. Dighe rilevanti per le conseguenze di un loro eventuale collasso.
- Classe IV:* Costruzioni con funzioni pubbliche o strategiche importanti, anche con riferimento alla gestione della protezione civile in caso di calamità. Industrie con attività particolarmente pericolose per l'ambiente. Reti viarie di tipo A o B, di cui al D.M. 5 novembre 2001, n. 6792, "Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle strade", e di tipo C quando appartenenti ad itinerari di collegamento tra capoluoghi di provincia non altresì serviti da strade di tipo A o B. Ponti e reti ferroviarie di importanza critica per il mantenimento delle vie di comunicazione, particolarmente dopo un evento sismico. Dighe connesse al funzionamento di acquedotti e a impianti di produzione di energia elettrica.

Per l'opera in oggetto la classe d'uso di riferimento è la **Classe II: costruzioni il cui uso prevede normali affollamenti**.

6.3 Definizione del periodo di riferimento per l'opera

Le azioni sismiche su ciascuna costruzione vengono valutate in relazione ad un periodo di riferimento V_R che si ricava, per ciascun tipo di costruzione, moltiplicandone la vita nominale V_N per il coefficiente d'uso C_U :

$$V_R = V_N \cdot C_U$$

Il valore del coefficiente d'uso C_U è definito, al variare della classe d'uso, come mostrato nella tabella seguente.

CLASSE D'USO	I	II	III	IV
COEFFICIENTE C_U	0,7	1,0	1,5	2,0

Valori del coefficiente d'uso C_U .

Se $V_R \leq 35$ anni si pone comunque $V_R = 35$ anni.

Per il caso in esame ne consegue che $V_R = V_N \cdot C_U = 50 \cdot 1,0 = 50$ anni.

Rif.Geo. L2688		Referente: S.O.
Data elaborato: agosto 2020	Rev1:	Rev2:
Geo.ArborStudio di Leoni Carlo Via Concesa, 3 - 20069 Vaprio d'Adda	Tel. 0295763037 - Tel/Fax: 0295761942 C.F. LNECLD59T23F205Z Partita IVA 06708220964	www.geoarbor.it info@geoarbor.it

6.4 Stati limite e relative probabilità di superamento

Nei confronti delle azioni sismiche gli stati limite, sia di esercizio che ultimi, sono individuati riferendosi alle prestazioni della costruzione nel suo complesso, includendo gli elementi strutturali, quelli non strutturali e gli impianti.

Gli stati limite di esercizio sono:

- **Stato Limite di Operatività (SLO):** a seguito del terremoto la costruzione nel suo complesso, includendo gli elementi strutturali, quelli non strutturali, le apparecchiature rilevanti alla sua funzione, non deve subire danni ed interruzioni d'uso significativi;

- **Stato Limite di Danno (SLD):** a seguito del terremoto la costruzione nel suo complesso, includendo gli elementi strutturali, quelli non strutturali, le apparecchiature rilevanti alla sua funzione, subisce danni tali da non mettere a rischio gli utenti e da non compromettere significativamente la capacità di resistenza e di rigidità nei confronti delle azioni verticali ed orizzontali, mantenendosi immediatamente utilizzabile pur nell'interruzione d'uso di parte delle apparecchiature.

Gli stati limite ultimi sono:

- **Stato Limite di salvaguardia della Vita (SLV):** a seguito del terremoto la costruzione subisce rotture e crolli dei componenti non strutturali ed impiantistici e significativi danni dei componenti strutturali cui si associa una perdita significativa di rigidità nei confronti delle azioni orizzontali; la costruzione conserva invece una parte della resistenza e rigidità per azioni verticali e un margine di sicurezza nei confronti del collasso per azioni sismiche orizzontali;

- **Stato Limite di prevenzione del Collasso (SLC):** a seguito del terremoto la costruzione subisce gravi rotture e crolli dei componenti non strutturali ed impiantistici e danni molto gravi dei componenti strutturali; la costruzione conserva ancora un margine di sicurezza per azioni verticali ed un esiguo margine di sicurezza nei confronti del collasso per azioni orizzontali.

Le probabilità di superamento nel periodo di riferimento P_{VR} , cui riferirsi per individuare l'azione sismica agente in ciascuno degli stati limite considerati, sono riportate nella successiva tabella.

Stati Limite		P_{VR} : Probabilità di superamento nel periodo di riferimento V_R
Stati limite di esercizio	SLO	81%
	SLD	63%
Stati limite ultimi	SLV	10%
	SLC	5%

Probabilità di superamento P_{VR} al variare dello stato limite considerato.

La scelta dello stato limite di riferimento per il caso in esame è lo SLO (con PVR 81%).

pag.20

Relazione geologica, geotecnica e sismica (R1+R2+R3) – Realizzazione nuovi ossari colombari e nuovi campi di mineralizzazione - ampliamento cimitero comunale di Pognano (BG)

Rif.Geo. L2688		Referente: S.O.
Data elaborato: agosto 2020	Rev1:	Rev2:
Geo.ArborStudio di Leoni Carlo Via Concesa, 3 - 20069 Vaprio d'Adda	Tel. 0295763037 - Tel/Fax 0295761942 C.F. LNECLD59T23F205Z Partita IVA 06708220964	www.geoarbor.it info@geoarbor.it

6.5 Categorie di sottosuolo e condizioni topografiche

Categorie di sottosuolo

Le categorie di suolo di fondazione, secondo l'OPCM 3274 e s.m.i. e il D.M. 17.01.2018 risultano così identificate (le profondità si riferiscono al piano di posa delle fondazioni):

TIPO DI TERRENO	PROFILO STRATIGRAFICO	PARAMETRI
		V _{S30} m/s
A	Formazioni litoidi o suoli omogenei molto rigidi	V _s > 800
B	Depositi di sabbie o ghiaie molto addensate o argille molto consistenti, con spessori di diverse decine di metri, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità	360 < V _s < 800
C	Depositi di sabbie e ghiaie mediamente addensate, o di argille di media consistenza	360 < V _s < 180
D	Depositi di terreni granulari da sciolti a poco addensati oppure coesivi da poco a mediamente consistenti	V _s < 180
E	Profili di terreno costituiti da strati superficiali alluvionali, con valori di VS30 simili a quelli dei tipi C o D e spessore compreso tra 5 e 20 m, giacenti su di un substrato di materiale più rigido con VS30 > 800m/s	

Categorie sismiche di suolo di fondazione

Per il terreno in esame la categoria di suolo è assimilabile al **Tipo C**, "Depositi di sabbie e ghiaie mediamente addensate o argille mediamente consistenti, caratterizzati da valori di Vs compresi tra 180 e 360m/s".

Condizioni topografiche

Per condizioni topografiche complesse è necessario predisporre specifiche analisi di risposta sismica locale. Per configurazioni superficiali semplici si può adottare la classificazione della tabella seguente.

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 $i > 30^\circ$

pag.21

Relazione geologica, geotecnica e sismica (R1+R2+R3) – Realizzazione nuovi ossari colombari e nuovi campi di mineralizzazione - ampliamento cimitero comunale di Pognano (BG)

Rif.Geo. L2688		Referente: S.O.
Data elaborato: agosto 2020	Rev1:	Rev2:
GeoArborStudio di Leoni Carlo Via Concesa, 3 - 20069 Vaprio d'Adda	Tel. 0295763037 - Tel/Fax 0295761942 C.F. LNECLD59T23F205Z Partita IVA 06708220964	www.geoarbor.it info@geoarbor.it

Le suddette categorie topografiche si riferiscono a configurazioni geometriche prevalentemente bidimensionali, creste o dorsali allungate, e devono essere considerate nella definizione dell'azione sismica se di altezza maggiore di 30 m.

Amplificazione topografica

Per tener conto delle condizioni topografiche e in assenza di specifiche analisi di risposta sismica locale, si utilizzano i valori del coefficiente topografico S_T riportati nella Tab precedente, in funzione delle categorie topografiche definite e dell'ubicazione dell'opera o dell'intervento.

Categoria topografica	Ubicazione dell'opera o dell'intervento	S_T
T1	-	1,0
T2	In corrispondenza della sommità del pendio	1,2
T3	In corrispondenza della cresta del rilievo	1,2
T4	In corrispondenza della cresta del rilievo	1,4

Valori massimi del coefficiente di amplificazione topografica S_T .

Per il caso in esame la categoria di riferimento è la T1, da cui $ST = 1,0$.

6.2.6 Calcolo dei coefficienti sismici

Sulla base dei dati tipici del sito in esame citati nei precedenti paragrafi vengono calcolati i seguenti parametri sismici.

- **Coordinate:** WGS84: Lat 45.585629 - Lng 9.640960
- **Classe d'uso II: costruzioni con funzioni pubbliche o strategiche importanti.**
- **Vita nominale: 50 [anni]**

Stati limite

Classe Edificio
Il Affollamento normale. Assenza di funz. pubbliche e sociali...

Vita Nominale: 50

Interpolazione: Media ponderata

CU = 1

Stato Limite	T_r [anni]	a_g [g]	F_o	T_c [s]
Operatività (SLO)	30	0.031	2.432	0.198
Danno (SLD)	50	0.040	2.465	0.217
Salvaguardia vita (SLV)	475	0.117	2.415	0.270
Prevenzione collasso (SLC)	975	0.152	2.468	0.275

Periodo di riferimento per l'azione sismica: 50

Coefficienti sismici

Tipo: Stabilità dei pendii e fondazioni

Muri di sostegno che non sono in grado di subire spostamenti.

H (m): 1 us (m): 0.1

Cat. Sottosuolo: C

Cat. Topografica: T1

	SLO	SLD	SLV	SLC
SS Amplificazione stratigrafica	1,50	1,50	1,50	1,48
CC Coeff. funz. categoria	1,79	1,74	1,62	1,61
ST Amplificazione topografica	1,00	1,00	1,00	1,00

Acc. ne massima attesa al sito [m/s²]: 0.6

Coefficienti	SLO	SLD	SLV	SLC
kh	0.009	0.012	0.042	0.054
kv	0.005	0.006	0.021	0.027
Amax [m/s ²]	0.455	0.592	1.714	2.205
Beta	0.200	0.200	0.240	0.240

pag.22

Relazione geologica, geotecnica e sismica (R1+R2+R3) – Realizzazione nuovi ossari colombari e nuovi campi di mineralizzazione - ampliamento cimitero comunale di Pognano (BG)

Rif.Geo. L2688		Referente: S.O.
Data elaborato: agosto 2020	Rev1:	Rev2:
GeoArborStudio di Leoni Carlo Via Concesa, 3 - 20069 Vaprio d'Adda	Tel. 0295763037 - Tel/Fax 0295761942 C.F. LNECLD59T23F205Z Partita IVA 06708220964	www.geoarbor.it info@geoarbor.it

7. Verifica alla liquefazione

Ai sensi della Legge 64/74, del D.M. 19/6/1984 e dell'attuale D.M. 17/01/2018, in aree classificate sismiche deve essere valutata la possibilità che insorgano fenomeni di liquefazione del terreno di fondazione in seguito alle vibrazioni prodotte dalle scosse telluriche.

I fenomeni di liquefazione possono verificarsi in particolari condizioni, come quelle indotte da un sisma di Magnitudo superiore a 6, in terreni a granulometria fine (sabbioso-limosi), allo stato sciolto o poco addensato, in falda oppure interessati dalla oscillazione della falda stessa.

Al paragrafo 7.11.3.4 del DM 17.01.2018 è ribadito che tali analisi possono essere omesse quando si manifesti almeno una delle seguenti circostanze:

1. accelerazioni massime attese al piano campagna in assenza di manufatti (condizioni di campo libero) minori di 0,1g;
2. profondità media stagionale della falda superiore a 15 m dal piano campagna, per piano campagna sub-orizzontale e strutture con fondazioni superficiali;
3. depositi costituiti da sabbie pulite con resistenza penetrometrica normalizzata $(N1)60 > 30$ oppure $qc1N > 180$ 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 $qc1N$ è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche statiche (Cone Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa;
4. distribuzione granulometrica esterna alle zone indicate nella Fig. 7.11.1(a) nel caso di terreni con coefficiente di uniformità $U_c < 3,5$ e in Fig. 7.11.1(b) nel caso di terreni con coefficiente di uniformità $U_c > 3,5$.

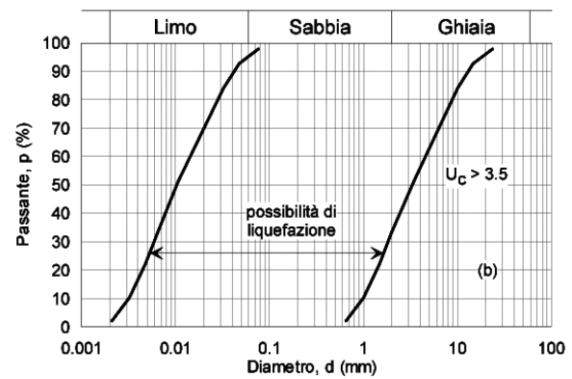
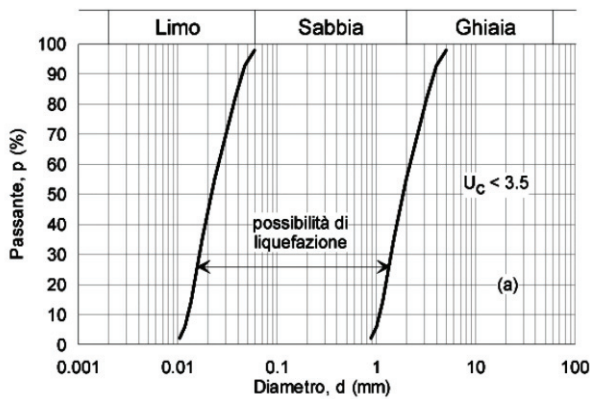


Fig. 7.11.1 – Fusi granulometrici di terreni suscettibili di liquefazione

I terreni di fondazione oggetto della presente indagine, come dimostrano i dati rilevati, si presentano costituiti prevalentemente da litologie sabbioso-limoso-ghiaiose variamente addensate e interessati dalle oscillazioni della falda oltre 5,0 m di profondità. Nel nostro caso il basso grado sismico e la conoscenza della zona consentono di limitare notevolmente l'ipotesi di orizzonti marcatamente sabbiosi o limosi, poco costipati, in falda, soggetti a fenomeni di liquefazione. La situazione litostratigrafia riscontrata consente pertanto di escludere incipienti fenomeni di liquefazione nell'intorno dell'area.

pag.23

Relazione geologica, geotecnica e sismica (R1+R2+R3) – Realizzazione nuovi ossari colombari e nuovi campi di mineralizzazione - ampliamento cimitero comunale di Pognano (BG)

Rif.Geo. L2688		Referente: S.O.
Data elaborato: agosto 2020	Rev1:	Rev2:
GeoArborStudio di Leoni Carlo Via Concesa, 3 - 20069 Vaprio d'Adda	Tel. 0295763037 - Tel/Fax 0295761942 C.F. LNECLD59T23F205Z Partita IVA 06708220964	www.georbor.it info@georbor.it

Si è proceduto comunque ad effettuare una valutazione del potenziale di liquefazione utilizzando il metodo semplificato di Seed e Idris (1982), che come previsto ha dato esito negativo.

1. Soil layers data

Thickness 2.00 (m) ? 18.50 (kN/m³)

No	H	gamma
1	4.50	17.00
2	2.00	18.00
3	3.00	16.50

Add layer
Delete layer
Delete all

2. Test points data

Depth 9.50 (m) ?spt 6 % FC 35.00

No	Depth	Nspt	FC
1	4.50	7	40.00
2	6.50	15	30.00
3	9.50	6	35.00

Add layer
Load form file
Delete layer
Delete all

3. Calculation parameters

G.W.T. 5.00 (m, -1 no water) Import data Calc. method FC correction Calc. params.

P.G.A. 0.16 (g)

Earthquake Magn. 5.5 (Richter)

Subsoil class C

Global factor of safety 1.0

File properties
Data reading data from line 1
Delimiter Tab character

Calculate

4. Calculation results

No	Depth	Bulk ?	% FC	u (kPa)	sv (kPa)	s'v (kPa)	Nspt	N1(60)	??1	CSR	CRRm	F.S.
1	4.50	17.00	-	0.00	76.50	76.50	8	13.3	-	0.09	0.42	4.45
2	6.50	18.00	-	14.71	112.50	97.78	15	25.3	-	0.11	0.83	5.00
3	9.50	16.50	-	44.15	162.00	117.85	6	9.2	-	0.13	0.29	2.26

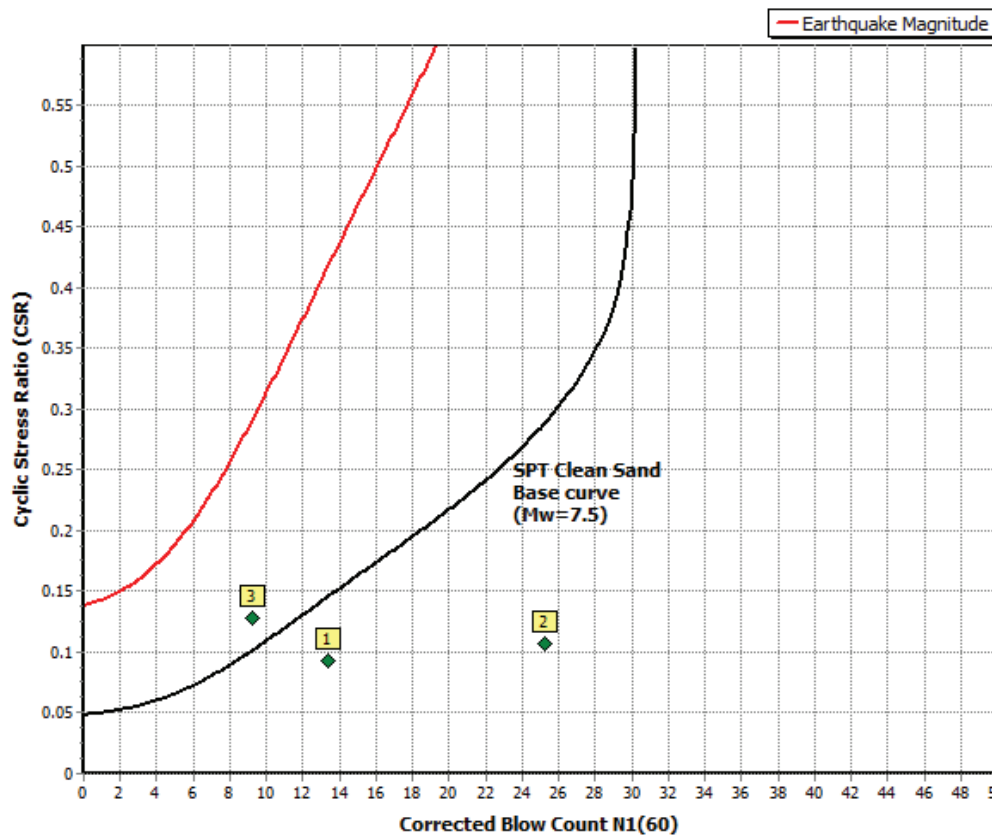
F.S. > 1.25, no liquefaction potential

* dati da prova penetrometrica Spct n.4 allegata al PGT comunale

Relazione geologica, geotecnica e sismica (R1+R2+R3) – Realizzazione nuovi ossari colombari e nuovi campi di mineralizzazione - ampliamento cimitero comunale di Pognano (BG)

Rif.Geo. L2688		Referente: S.O.
Data elaborato: agosto 2020	Rev1:	Rev2:
GeoArborStudio di Leoni Carlo Via Concesa, 3 - 20069 Vaprio d'Adda	Tel. 0295763037 - Tel/Fax 0295761942 C.F. LNECLD59T23F205Z Partita IVA 06708220964	www.geoarbor.it info@geoarbor.it

Result chart



pag.25

Relazione geologica, geotecnica e sismica (R1+R2+R3) – Realizzazione nuovi ossari colombari e nuovi campi di mineralizzazione - ampliamento cimitero comunale di Pognano (BG)

Rif.Geo. L2688		Referente: S.O.
Data elaborato: agosto 2020	Rev1:	Rev2:
GeoArborStudio di Leoni Carlo Via Concesa, 3 - 20069 Vaprio d'Adda	Tel. 0295763037 - Tel/Fax 0295761942 C.F. LNECLD59T23F205Z Partita IVA 06708220964	www.geoarbor.it info@geoarbor.it

8. Verifiche di sicurezza sulle fondazioni ai sensi delle NTC 2018

8.1 Verifiche nei confronti degli stati limite ultimi (SLU) - Determinazione delle resistenze (Rd)

Per ogni stato limite per perdita di equilibrio (EQU) deve essere rispettata la condizione:

$$E_{inst,d} \leq E_{stb,d}$$

dove $E_{inst,d}$ è il valore di progetto dell'azione instabilizzante, $E_{stb,d}$ è il valore di progetto dell'azione stabilizzante.

La verifica della suddetta condizione deve essere eseguita impiegando come fattori parziali per le azioni i valori γ_F riportati nella colonna EQU della tabella 6.2.1.

Per ogni stato limite ultimo che preveda il raggiungimento della resistenza di un elemento strutturale (STR) o del terreno (GEO) deve essere rispettata la condizione:

$$E_d \leq R_d \quad [6.2.1]$$

essendo E_d il valore di progetto dell'azione o dell'effetto dell'azione, definito dalle relazioni [6.2.2a] o [6.2.2b]

$$E_d = E \left[\gamma_F F_k; \frac{X_k}{\gamma_M}; a_d \right] \quad [6.2.2a]$$

$$E_d = \gamma_E \cdot E \left[F_k; \frac{X_k}{\gamma_M}; a_d \right] \quad [6.2.2b]$$

e R_d è il valore di progetto della resistenza del sistema geotecnico definito dalla relazione [6.2.3].

$$R_d = \frac{1}{\gamma_R} R \left[\gamma_F F_k; \frac{X_k}{\gamma_M}; a_d \right] \quad [6.2.3]$$

Effetto delle azioni e resistenza di progetto sono espresse nelle [6.2.2a] e [6.2.3] rispettivamente in funzione delle azioni di progetto $\gamma_F F_k$, dei parametri geotecnici di progetto X_k/γ_M e dei parametri geometrici di progetto a_d . Il coefficiente parziale di sicurezza γ_R opera direttamente sulla resistenza del sistema. L'effetto delle azioni di progetto può anche essere valutato direttamente con i valori caratteristici delle azioni come indicato dalla [6.2.2b] con $\gamma_E = \gamma_F$.

la verifica della condizione [6.2.1] deve essere effettuata impiegando diverse combinazioni di gruppi di coefficienti parziali, rispettivamente definiti per le azioni (A1 e A2), per i parametri geotecnici (M1 e M2) e per le resistenze (R1, R2 e R3).

I diversi gruppi di coefficienti di sicurezza parziali sono scelti nell'ambito di due approcci progettuali distinti e alternativi.

Nel primo approccio progettuale (**Approccio 1**) le verifiche si eseguono con due diverse combinazioni di gruppi di coefficienti ognuna delle quali può essere critica per differenti aspetti dello stesso progetto.

pag.26

Relazione geologica, geotecnica e sismica (R1+R2+R3) – Realizzazione nuovi ossari colombari e nuovi campi di mineralizzazione - ampliamento cimitero comunale di Pognano (BG)

Rif.Geo. L2688		Referente: S.O.
Data elaborato: agosto 2020	Rev1:	Rev2:
GeoArborStudio di Leoni Carlo Via Concesa, 3 - 20069 Vaprio d'Adda	Tel. 0295763037 - Tel/Fax 0295761942 C.F. LNECLD59T23F205Z Partita IVA 06708220964	www.geoarbor.it info@geoarbor.it

Nel secondo approccio progettuale (**Approccio 2**) le verifiche si eseguono con un'unica combinazione di gruppi di coefficienti.

I fattori parziali per il gruppo R1 sono sempre unitari; quelli del gruppo R2 possono essere maggiori o uguali all'unità e, in assenza di indicazioni specifiche per lo stato limite ultimo considerato, devono essere scelti dal progettista in relazione alle incertezze connesse con i procedimenti adottati.

Azioni

I coefficienti parziali γ_F relativi alle azioni sono indicati nella Tab. 6.2.I. Si deve comunque intendere che il terreno e l'acqua costituiscono carichi permanenti (strutturali) quando, nella modellazione utilizzata, contribuiscono al comportamento dell'opera con le loro caratteristiche di peso, resistenza e rigidità.

Tab. 6.2.I – Coefficienti parziali per le azioni o per l'effetto delle azioni

	Effetto	Coefficiente Parziale γ_F (o γ_E)	EQU	(A1)	(A2)
Carichi permanenti G_1	Favorevole	γ_{G1}	0,9	1,0	1,0
	Sfavorevole		1,1	1,3	1,0
Carichi permanenti $G_2^{(1)}$	Favorevole	γ_{G2}	0,8	0,8	0,8
	Sfavorevole		1,5	1,5	1,3
Azioni variabili Q	Favorevole	γ_{Qi}	0,0	0,0	0,0
	Sfavorevole		1,5	1,5	1,3

⁽¹⁾ Per i carichi permanenti G_2 si applica quanto indicato alla Tabella 2.6.I. Per la spinta delle terre si fa riferimento ai coefficienti γ_{G1}

Il valore di progetto della resistenza R_d può essere determinato:

- in modo analitico, con riferimento al valore caratteristico dei parametri geotecnici del terreno, diviso per il valore del coefficiente parziale γ_M specificato nella successiva Tab. 6.2.II e tenendo conto, ove necessario, dei coefficienti parziali γ_R specificati nei paragrafi relativi a ciascun tipo di opera;
- in modo analitico, con riferimento a correlazioni con i risultati di prove in sito, tenendo conto dei coefficienti parziali γ_R riportati nelle tabelle contenute nei paragrafi relativi a ciascun tipo di opera;
- sulla base di misure dirette su prototipi, tenendo conto dei coefficienti parziali γ_R riportati nelle tabelle contenute nei paragrafi relativi a ciascun tipo di opera.

Tab. 6.2.II – Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno

Parametro	Grandezza alla quale applicare il coefficiente parziale	Coefficiente parziale γ_M	(M1)	(M2)
Tangente dell'angolo di resistenza al taglio	$\tan \varphi'_k$	$\gamma_{\varphi'}$	1,0	1,25
Coazione efficace	c'_k	$\gamma_{c'}$	1,0	1,25
Resistenza non drenata	c_{uk}	γ_{cu}	1,0	1,4
Peso dell'unità di volume	γ_γ	γ_γ	1,0	1,0

... considerazione tutti i meccanismi di stato limite ultimo, sia a breve sia a lungo termine.

Rif.Geo. L2688		Referente: S.O.
Data elaborato: agosto 2020	Rev1:	Rev2:
GeoArborStudio di Leoni Carlo Via Concesa, 3 - 20069 Vaprio d'Adda	Tel. 0295763037 - Tel/Fax: 0295761942 C.F. LNECLD59T23F205Z Partita IVA 06708220964	www.geoarbor.it info@geoarbor.it

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	$\gamma_R = 1,1$

L'analisi della capacità portante del terreno, ossia la verifica ai SLU di collasso per carico limite dell'insieme fondazione – terreno, è stata effettuata con l'ausilio di specifico programma di calcolo "Loadcap" (con licenza concessa da "Geostru S.r.l.").

Il calcolo è stato effettuato con il metodo di **Brinch-Hansen**, ritenuto il più idoneo per il caso in esame:

$$Q_{SLU} = 1/2 * B * \gamma * N * \gamma_s * \gamma_i * \gamma_b * \gamma_g * \gamma_z * \gamma + c * N_c * s_c * i_c * b_c * g_c * d_c * z_c + q * N_q * s_q * i_q * b_q * g_q * d_q * z_q$$

dove:

$$\frac{N_c N_q}{N_\gamma} = \text{Fattori di capacità portante dipendenti dall'angolo di resistenza al taglio;}$$

Rif.Geo. L2688		Referente: S.O.
Data elaborato: agosto 2020	Rev1:	Rev2:
GeoArborStudio di Leoni Carlo Via Concesa, 3 - 20069 Vaprio d'Adda	Tel. 0295763037 - Tel/Fax: 0295761942 C.F. LNECLD59T23F205Z Partita IVA 06708220964	www.geoarbor.it info@geoarbor.it

- $sc\ sq\ sy$ = Fattori di forma della fondazione;
 $ic\ iq\ iy$ = Fattori correttivi che tengono conto dell'inclinazione del carico;
 $bc\ bq\ by$ = Fattori correttivi che tengono conto dell'inclinazione della base;
 $gc\ gq\ gy$ = Fattori correttivi che tengono conto dell'inclinazione del p. c.;
 $zc\ zq\ zy$ = Fattori correttivi che tengono dell'inerzia dovuta al sisma (solo per condizioni dinamiche)
 $Dc\ dq$ = Fattori dipendenti dalla profondità del piano di posa;
 γ = Peso specifico del terreno sotto il piano di fondazione;
 q = Carico litostatico presente sopra il piano di fondazione (proporzionale all'altezza del confinamento laterale);
 Q_{SLU} = Capacità portante determinata allo stato limite ultimo

Di seguito vengono riassunti i risultati ottenuti in riferimento alle diverse configurazioni fondazionali considerate ed **utilizzando l'Approccio 2**, come indicato dalla normativa, allo scopo di dare utili indicazioni al calcolatore delle strutture.

In *Tab. seguente* si riportano i valori calcolati delle Resistenze (R_d), depurate del fattore di sicurezza a partire dai valori di Q_{ult} .

FONDAZIONI CONTINUE con piano imposta = 0,4m da 0.0 RIF. nell'orizzonte A

LARGHEZZA FONDAZIONE: 0,6m

	Parametri	R_d	u.m.
CONDIZIONI STATICHE	Approccio 2	0,7	(kg/cm ²)
CONDIZIONI DINAMICHE (sisma)	Approccio 2	0,6	(kg/cm ²)

PLATEA con piano imposta = 0,4m da 0.0 RIF. nell'orizzonte A

DIMENSIONI FONDAZIONE: 5,2 x 0,8m

	Parametri	R_d	u.m.
CONDIZIONI STATICHE	Approccio 2	0,8	(kg/cm ²)
CONDIZIONI DINAMICHE (sisma)	Approccio 2	0,7	(kg/cm ²)

Coefficiente di Winkler

pag.29

Relazione geologica, geotecnica e sismica (R1+R2+R3) – Realizzazione nuovi ossari colombari e nuovi campi di mineralizzazione - ampliamento cimitero comunale di Pognano (BG)

Rif.Geo. L2688		Referente: S.O.
Data elaborato: agosto 2020	Rev1:	Rev2:
Geo.ArborStudio di Leoni Carlo Via Concesa, 3 - 20069 Vaprio d'Adda	Tel. 0295763037 - Tel/Fax 0295761942 C.F. LNECLD59T23F205Z Partita IVA 06708220964	www.geoarbor.it info@geoarbor.it

Il coefficiente di Winkler è stato calcolato con il metodo di **Bowles**:

$$k = 40 \text{ (SF) } q_a$$

dove SF è il Safety Factor, ovvero il coefficiente di sicurezza adottato, e q_a è la pressione ammissibile sul terreno.

$q_a = q_{lim} / SF$ dove q_{lim} è la pressione ultima sul terreno, corrispondente ad un cedimento DH di 1 pollice, ovvero 2,5 cm.

Riferendoci dunque alla relazione del modulo di reazione del terreno, uno dei modi di procedere è il seguente: $k = q_{lim} / 2,5$

k_s è stato quindi calcolato quindi come $Q_{lim} / 2,5$ dove $Q_{lim} = R_d \times g_r$ (dove $g_r = 2,3$). Il Q_{lim} considerato è quello derivante dall'approccio 2

FONDAZIONI CONTINUE con piano imposta = 0,4m da 0.0 RIF. nell'orizzonte A

LARGHEZZA FONDAZIONE: 0,6m

Coefficiente k Winkler	0,5 kg/cm³
-------------------------------	------------------------------

PLATEA con piano imposta = 0,4m da 0.0 RIF. nell'orizzonte A

DIMENSIONI FONDAZIONE: 5,2 x 0,8m

Coefficiente k Winkler	0,6kg/cm³
-------------------------------	-----------------------------

8.2 Verifiche nei confronti degli stati limite di esercizio (SLE) – Analisi dei cedimenti

Le opere e i sistemi geotecnici devono essere verificati nei confronti degli stati limite di esercizio. A tale scopo, il progetto deve esplicitare le prescrizioni relative agli spostamenti compatibili e le prestazioni attese.

La verifica agli stati limite di esercizio implica l'analisi del problema di interazione terreno-struttura (analisi dei cedimenti) al termine della costruzione e nel tempo

Il grado di approfondimento dell'analisi di interazione terreno-struttura è funzione dell'importanza dell'opera.

Per ciascun stato limite di esercizio deve essere rispettata la condizione:

$$E_d \leq C_d \quad [6.2.7]$$

dove E_d è il valore di progetto dell'effetto delle azioni nelle combinazioni di carico per gli SLE e C_d è il prescritto valore limite dell'effetto delle azioni. Quest'ultimo deve essere stabilito in funzione del comportamento della struttura in elevazione e di tutte le costruzioni che interagiscono con le opere geotecniche in progetto, tenendo conto della durata dei carichi applicati.

Al fine di assicurare che le fondazioni risultino compatibili con i requisiti prestazionali della struttura in elevazione, 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, tenendo conto anche dell'effetto della durata delle azioni.

pag.30

Relazione geologica, geotecnica e sismica (R1+R2+R3) – Realizzazione nuovi ossari colombari e nuovi campi di mineralizzazione - ampliamento cimitero comunale di Pognano (BG)

Rif.Geo. L2688		Referente: S.O.
Data elaborato: agosto 2020	Rev1:	Rev2:
GeoArborStudio di Leoni Carlo Via Concesa, 3 - 20069 Vaprio d'Adda	Tel. 0295763037 - Tel/Fax 0295761942 C.F. LNECLD59T23F205Z Partita IVA 06708220964	www.geoarbor.it info@geoarbor.it

Forma, dimensioni e rigidità 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.

Al fine di fornire delle indicazioni progettuali è stato ipotizzato nel calcolo dei cedimenti un carico di esercizio Q_{sle} pari $0,2 \text{ kg/cm}^2$

Per il calcolo dei cedimenti è stato fatto riferimento alla teoria dell'elasticità adottando la metodologia proposta dal Bowles, 1974:

$$S_d = Q B (1 - \mu^2 / E) I_s I_f$$

dove:

S_d	=	cedimento
Q	=	carico sul terreno alla base della fondazione
B	=	minima dimensione laterale dell'area caricata
μ	=	rapporto Poisson terreno
E	=	modulo elastico del terreno cedevole (media ponderata)
I_s	=	$I_1 + [(1-2m)/(1-m)] \times I_2$
I_1, I_2	=	coefficienti di influenza
I_f	=	fattore di profondità

Nel dimensionamento delle fondazioni è necessario tener conto non solo della resistenza al taglio dei terreni, ma anche dei cedimenti indotti dal carico applicato.

Tali cedimenti dovranno essere ovviamente inferiori ad un valore critico che, se superato, potrebbe generare inconvenienti nella struttura.

E' stata pertanto eseguita una verifica dei cedimenti indotti nel terreno di fondazione dal carico di esercizio determinato nelle ipotesi di fondazione indicate.

Il cedimento calcolato tiene ovviamente conto dell'effetto generato dal sisma. Con tale valore di carico di esercizio i cedimenti primari si sviluppano immediatamente con l'incremento progressivo del carico strutturale, mentre non dovrebbero verificarsi cedimenti differenziali.

La dimensione B viene posta pari a $4B$ per le travi e $2B$ per i plinti e B per la platea, dove B è il lato minimo della fondazione (ipotesi di Schmertmann); come modulo elastico (E) è stato preso un valore pari alla media pesata sullo spessore di terreno interessato dal cedimento, e cioè considerando un spessore pari a $4B$ per le travi, $2B$ per i plinti e B per la platea; come stratigrafia è stata considerata una situazione media tra quelle riscontrate con le prove eseguite. I valori di seguito definiti sono riferiti a carichi verticali e centrati con momenti pari a zero, in quanto sconosciuti in questa fase di progetto.

FONDAZIONI CONTINUE con piano imposta = 0,4m da 0.0 RIF. nell'orizzonte A

LARGHEZZA FONDAZIONE: 0,6m

pag.31

Relazione geologica, geotecnica e sismica (R1+R2+R3) – Realizzazione nuovi ossari colombari e nuovi campi di mineralizzazione - ampliamento cimitero comunale di Pognano (BG)

Rif.Geo. L2688		Referente: S.O.
Data elaborato: agosto 2020	Rev1:	Rev2:
GeoArborStudio di Leoni Carlo Via Concesa, 3 - 20069 Vaprio d'Adda	Tel. 0295763037 - Tel/Fax 0295761942 C.F. LNECLD59T23F205Z Partita IVA 06708220964	www.geoarbor.it info@geoarbor.it

Carico Qsle (kg/cm²)	0,2
Cedimento (cm)	0,1

PLATEA con piano imposta = 0,4m da 0.0 RIF. nell'orizzonte A

DIMENSIONI FONDAZIONE: 5,2 x 0,8m

Carico Qsle (kg/cm ²)	0,2
Cedimento (cm)	0,2

Con tale valore di carico di esercizio i cedimenti assumono valori accettabili per le strutture in progetto.

Relazione geologica, geotecnica e sismica (R1+R2+R3) – Realizzazione nuovi ossari colombari e nuovi campi di mineralizzazione - ampliamento cimitero comunale di Pognano (BG)

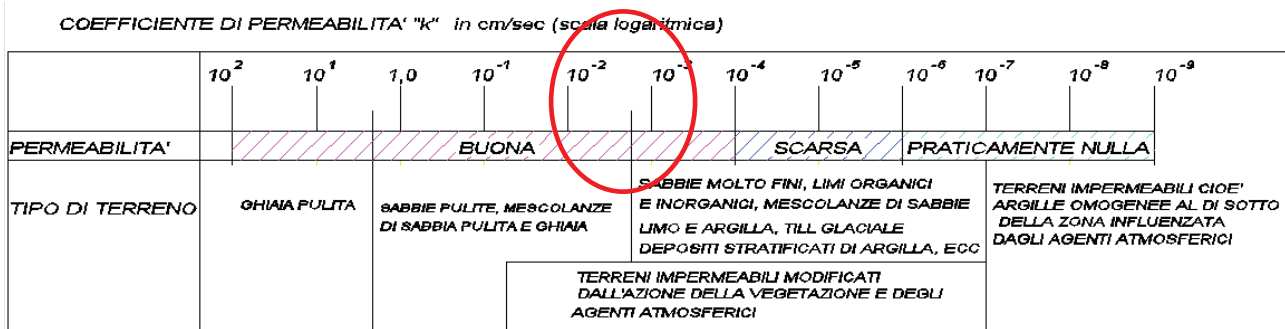
Rif.Geo. L2688		Referente: S.O.
Data elaborato: agosto 2020	Rev1:	Rev2:
Geo.ArborStudio di Leoni Carlo Via Concesa, 3 - 20069 Vaprio d'Adda	Tel. 0295763037 - Tel/Fax 0295761942 C.F. LNECLD59T23F205Z Partita IVA 06708220964	www.geoarbor.it info@geoarbor.it

9. Permeabilità dei terreni

Nella tabella seguente vengono riportati i valori di permeabilità (k) ottenuti dalla prova di permeabilità eseguite.

Prova		Profondità di prova (in m da p.c.)	Litologia terreni	K (m/sec)	K (cm/sec)
Trincea T1	K1	2,0 m	Limo con ghiaia e sabbia debolmente argilloso	$8,43 \times 10^{-5}$	$8,43 \times 10^{-3}$
Trincea T2	K2	1,0 m	Limo con sabbia ghiaioso argilloso	$1,46 \times 10^{-4}$	$1,46 \times 10^{-2}$

I valori di permeabilità calcolati per i depositi prevalentemente sabbioso-limosi presenti entro i 2,0 m di profondità dal p.c., risultano essere nell'ordine di 10^{-2} m/s 10^{-3} m/s e sono associati a terreni contraddistinti da permeabilità sufficiente (vedi tabella seguente).



Rif.Geo. L2688		Referente: S.O.
Data elaborato: agosto 2020	Rev1:	Rev2:
Geo.ArborStudio di Leoni Carlo Via Concesa, 3 - 20069 Vaprio d'Adda	Tel. 0295763037 - Tel/Fax 0295761942 C.F. LNECLD59T23F205Z Partita IVA 06708220964	www.geoarbor.it info@geoarbor.it

10. Verifica della compatibilità dell'intervento con i vincoli geologici esistenti

Con riferimento alla Carta dei vincoli allegata al PGT comunale (cfr. Fig.8) gli interventi di progetto (realizzazione nuovi ossari e nuovi campi di mineralizzazione) non interferiscono con le zone di rispetto dei pozzi ad uso idropotabile e con le aree di pertinenza idraulica (fasce di rispetto) dei corsi d'acqua appartenenti al reticolo idrografico.

Si ricorda tuttavia che parte del settore est dell'ambito cimiteriale ricade all'interno delle fasce di rispetto (10 m dal ciglio) della roggia "Ponte Perduto" appartenente al reticolo consortile di bonifica. Tale vincolo idraulico di non edificabilità preclude future espansioni del campo cimiteriale in corrispondenza di tali aree.

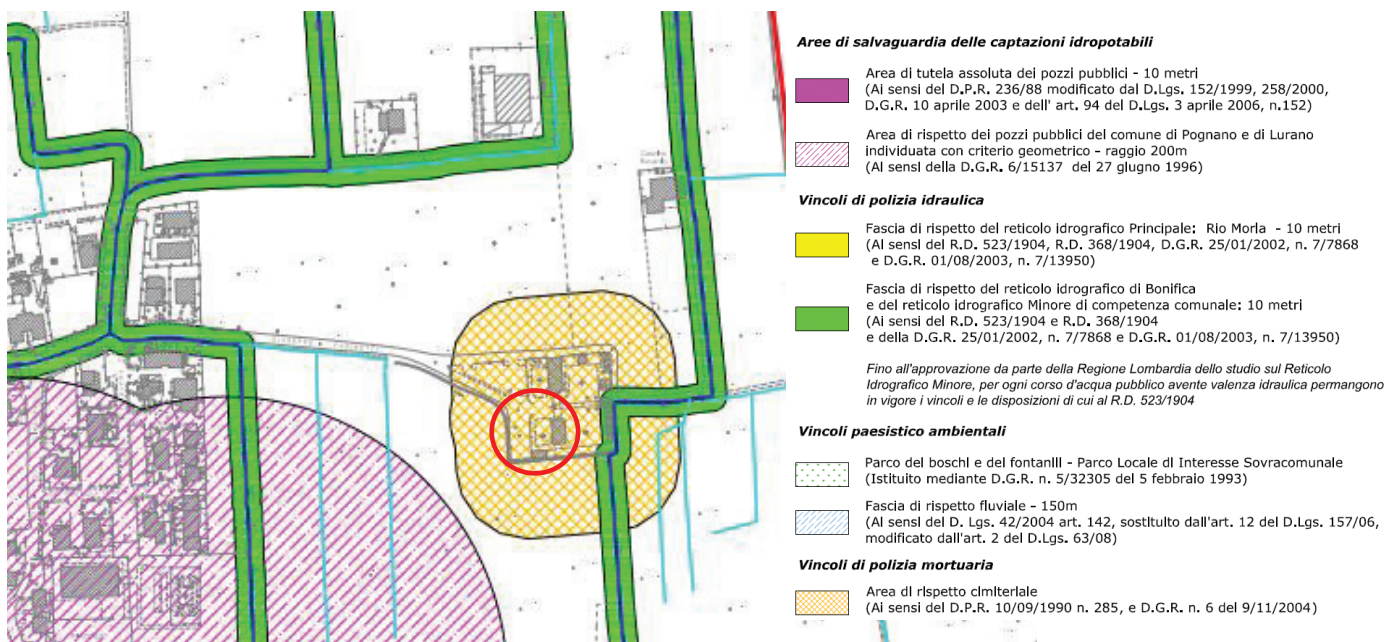


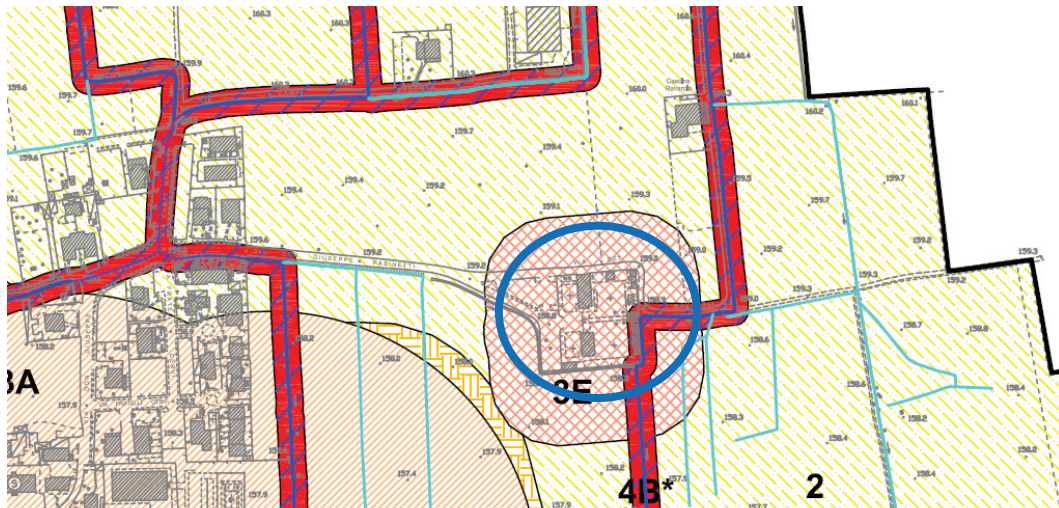
Fig. 8 – Estratto della tavola sinottica dei vincoli allegata al PGT di Pognano

Relazione geologica, geotecnica e sismica (R1+R2+R3) – Realizzazione nuovi ossari colombari e nuovi campi di mineralizzazione - ampliamento cimitero comunale di Pognano (BG)

Rif.Geo. L2688		Referente: S.O.
Data elaborato: agosto 2020	Rev1:	Rev2:
GeoArborStudio di Leoni Carlo Via Concesa, 3 - 20069 Vaprio d'Adda	Tel. 0295763037 - Tel/Fax 0295761942 C.F. LNECLD59T23F205Z Partita IVA 06708220964	www.geoarbor.it info@geoarbor.it

11. Verifica della compatibilità dell'intervento con la fattibilità geologica locale ai sensi della DGR 2616/2011

LA CARTA DI FATTIBILITÀ GEOLOGICA allegata al PGT – gennaio 2009, redatta ai sensi della L.R. 12/05 (vedi stralcio allegato in fig.7), attribuisce all'area in esame una **CLASSE DI FATTIBILITÀ 3E**: "fattibilità con consistenti limitazioni": area di pertinenza del campo cimiteriale.



SOTTOCLASSE 2 - Fattibilità con modeste limitazioni

Descrizione

Aree caratterizzate da vulnerabilità dell'acquifero media: falda freatica da -5 a -10 m, da p.c.

2

Prescrizioni

Per le nuove opere edificatorie e/o di ampliamento, le opere in sotterraneo potranno essere eseguite con particolari cautele di Impermeabilizzazioni, in quanto le aree sono soggette a fluttuazioni della falda freatica.

SOTTOCLASSE 3e - Fattibilità con consistenti limitazioni

Descrizione

Aree di rispetto cimiteriale.

3E

Prescrizioni

Aree soggette alle prescrizioni del regolamento di Polizia Mortuaria: D.P.R. 10/09/1990 n. 285 e D.G.R. n.6 9/11/04.

SOTTOCLASSE 4b* - Fattibilità con gravi limitazioni

Descrizione

Fasce di rispetto del Reticolo Idrografico Principale, di Bonifica e Minore di competenza comunale.

4B*

Prescrizioni

All'interno di tali fasce sono vietate le attività di cui all'art. 96 del R.D. 523/1904 e RD 368/1904. Valgono, inoltre, le prescrizioni della classe 4b.

Fig. 7 – Estratto della carta della fattibilità geologica allegata al PGT di Pognano

Da un punto di vista del rischio geologico, idrogeologico locale non si rilevano particolari fattori limitativi o di rischio e pertanto si ritiene fattibile l'intervento da un punto di vista geologico, idrogeologico e sismico ai sensi della D.G.R. 2616/2011.

Relazione geologica, geotecnica e sismica (R1+R2+R3) – Realizzazione nuovi ossari colombari e nuovi campi di mineralizzazione - ampliamento cimitero comunale di Pognano (BG)

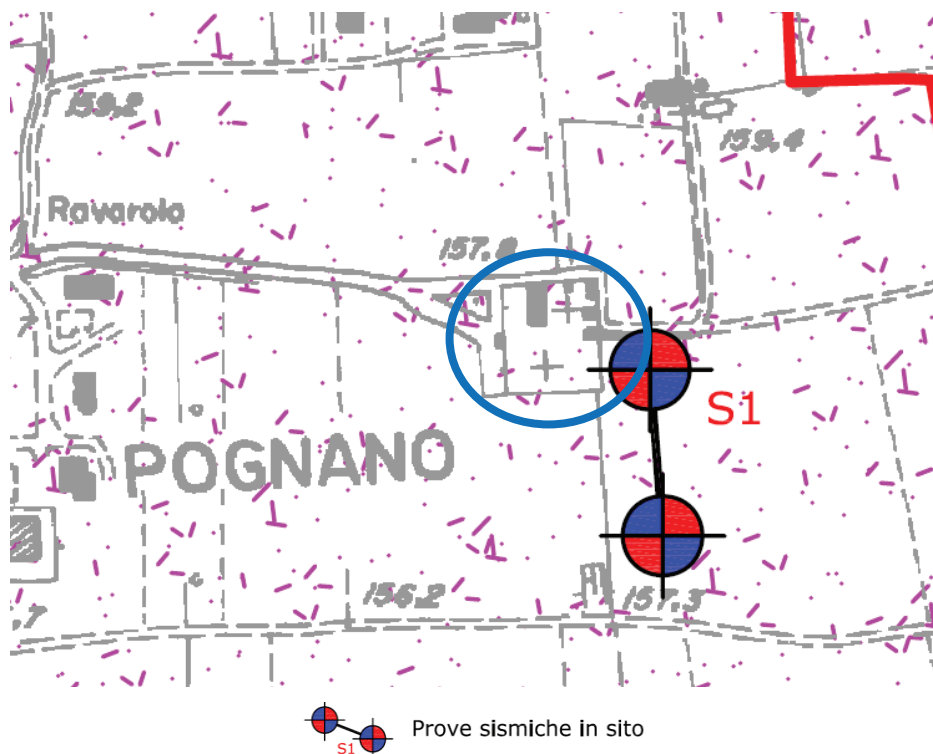
Rif.Geo. L2688		Referente: S.O.
Data elaborato: agosto 2020	Rev1:	Rev2:
GeoArborStudio di Leoni Carlo Via Concesa, 3 - 20069 Vaprio d'Adda	Tel. 0295763037 - Tel/Fax 0295761942 C.F. LNECLD59T23F205Z Partita IVA 06708220964	www.geoarbor.it info@geoarbor.it

12. Pericolosità sismica locale

Per la valutazione dell'amplificazione sismica locale si fa riferimento all'analisi condotta nell'ambito del PGT comunale definita con la metodologia prevista nella D.G.R. n.IX/2616 del 30 novembre 2011 – allegato 5. Tale procedura permette, in relazione alle caratteristiche litologiche, geotecniche e sismiche una valutazione semi-quantitativa degli effetti di amplificazione sismica attesi. *In particolare attraverso la definizione del fattore di amplificazione viene valutato il grado di protezione raggiunto dalla normativa vigente nel tenere in considerazione gli effetti sismici.*

12.1 ANALISI SISMICA DI PRIMO LIVELLO

Nel PGT comunale l'area in esame viene classificata come soggetta a fenomeni di amplificazione litologiche e geometriche, ovvero come **Zona Z4a**: Zona di pianura con presenza di depositi alluvionali e/o fluvio-glaciali granulari e/o coesivi.



Analisi di primo livello

Z4a **Classe Z4a:** Zona di fondovalle con presenza di depositi alluvionali e/o fluvio-glaciali granulari e/o coesivi

Fig. 8 – Estratto della tavola sinottica dei vincoli allegata al PGT di Pognano

12.2 ANALISI SISMICA DI SECONDO LIVELLO

Per l'area in esame è stata eseguita una analisi sismica di secondo livello secondo la procedura descritta all'allegato 5 della DGR 2616/2011.

Il 2° livello si applica in zona sismica 2 e 3 a tutti gli scenari qualitativi suscettibili di amplificazioni sismiche (morfologiche Z3 e litologiche Z4).

pag.36

Relazione geologica, geotecnica e sismica (R1+R2+R3) – Realizzazione nuovi ossari colombari e nuovi campi di mineralizzazione - ampliamento cimitero comunale di Pognano (BG)

Rif.Geo. L2688		Referente: S.O.
Data elaborato: agosto 2020	Rev1:	Rev2:
GeoArborStudio di Leoni Carlo Via Concesa, 3 - 20069 Vaprio d'Adda	Tel. 0295763037 - Tel/Fax 0295761942 C.F. LNECLD59T23F205Z Partita IVA 06708220964	www.geoarbor.it info@geoarbor.it

La procedura, descritta nell'allegato 5 della DGR 2616/2011, consiste in un approccio di tipo semiquantitativo e fornisce una stima della risposta sismica dei terreni in termini di valore di Fattore di amplificazione (Fa), valore che si riferisce agli intervalli di periodo (T) tra 0,1-0,5s e 0,5-1,5s. I due intervalli di periodo sono stati scelti in funzione delle tipologie edilizie presenti sul territorio lombardo. Tipologie caratterizzate da edifici fino a 5 piani, regolari e rigidi (primo intervallo) e da edifici con strutture alte e flessibili a più di 5 piani (secondo intervallo).

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 dalla procedura semplificata. Si possono presentare quindi due situazioni:

- il valore di Fa è inferiore o uguale al valore di soglia corrispondente: 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 (classe di pericolosità H1);
- 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 e quindi è necessario effettuare analisi più approfondite (3° livello) in fase di progettazione edilizia (classe di pericolosità H2).

I valori di soglia per il comune di Cologno Monzese (contenuti nella banca dati del sito web della Regione Lombardia), relativamente ai periodi 0.1-0.5 e 0,5-1,5 sono i seguenti:

VALORI DI SOGLIA PER IL PERIODO COMPRESO TRA 0.1-0.5 s					
		Valori soglia			
COMUNE	Classificazione	Suolo tipo B	tipo C	tipo D	tipo E
Pognano	3	1.5	1.9	2.3	2.0

VALORI DI SOGLIA PER IL PERIODO COMPRESO TRA 0.5-1.5 s					
		Valori soglia			
COMUNE	Classificazione	Suolo tipo B	tipo C	tipo D	tipo E
Pognano	3	1.7	2.4	4.2	3.1

La scelta delle schede di riferimento da utilizzare per l'analisi di 2° livello è stata effettuata verificando la validità sulla base dell'andamento delle Vs con la profondità dedotto dalla prova sismica masw eseguita nel lotto adiacente.

È stata individuata la seguente scheda di riferimento:

- **litologia sabbiosa**

La curva individuata è la n. 2 (verde)

I valori di T (Periodo proprio del sito) ottenuti sono i seguenti:

- T = 0.28 s

Applicando le relative formule sono stati ottenuti i seguenti valori di Fa:

pag.37

Relazione geologica, geotecnica e sismica (R1+R2+R3) – Realizzazione nuovi ossari colombari e nuovi campi di mineralizzazione - ampliamento cimitero comunale di Pognano (BG)

Rif.Geo. L2688		Referente: S.O.
Data elaborato: agosto 2020	Rev1:	Rev2:
GeoArborStudio di Leoni Carlo Via Concesa, 3 - 20069 Vaprio d'Adda	Tel. 0295763037 - Tel/Fax 0295761942 C.F. LNECLD59T23F205Z Partita IVA 06708220964	www.geoarbor.it info@geoarbor.it

- periodo 0.1-0.5 s → $F_a = 1,69 > 1,5$ (soglia suolo tipo B)
- periodo 0.5-1.5 s → $F_a = 1,91 > 1,7$ (soglia suolo tipo B)

I valori di F_a per i due intervalli calcolati con la scheda vanno confrontati con i valori di soglia previsti per il tipo litologico C (O.P.C.M. n.3274).

In particolare per l'intervallo di periodo (T) 0.1-0.5s, e cioè per edifici fino a 5 piani, risulta F_a superiore al valore di soglia corrispondente (1,5) per i suoli di tipo B.

In questo caso la normativa è da considerarsi insufficiente a tenere in considerazione i possibili effetti di amplificazione litologica del sito e quindi si dovrà applicare lo spettro della **categoria di suolo C**.

Relazione geologica, geotecnica e sismica (R1+R2+R3) – Realizzazione nuovi ossari colombari e nuovi campi di mineralizzazione - ampliamento cimitero comunale di Pognano (BG)

Rif.Geo. L2688		Referente: S.O.
Data elaborato: agosto 2020	Rev1:	Rev2:
Geo.ArborStudio di Leoni Carlo Via Concesa, 3 - 20069 Vaprio d'Adda	Tel. 0295763037 - Tel/Fax 0295761942 C.F. LNECLD59T23F205Z Partita IVA 06708220964	www.geoarbor.it info@geoarbor.it

13. Considerazioni conclusive

A – Geologiche e geomorfologiche ed idrogeologiche

I terreni dell'area in esame ricadono nell'ambito dei depositi fluvioglaciali würmiani che costituiscono il "Livello Fondamentale della Pianura Padana". Sono generalmente associabili a sedimenti incoerenti di tipo sabbioso e sabbioso - ghiaioso con frazioni limose e ciottoli in percentuale variabile in relazione alla profondità.

Non è stata rilevata la presenza della falda entro le profondità indagate (-4,5m circa dal p.c.). Dall'esame della carta idrogeologica del PGT comunale emerge che la soggiacenza media della falda freatica nell'area in esame è intorno ai -5-6 m di profondità da p.c..

Considerando le caratteristiche strutturali in progetto e le condizioni idrogeologiche generali è quindi da escludere un'interazione tra la falda e le opere in progetto.

B – Caratteristiche geotecniche

Dall'analisi delle indagini eseguite è possibile osservare come l'orizzonte superficiale sia costituito da terreni sabbioso-limosi da poco a moderatamente addensati (**orizzonte A** Nscpt medio 3÷6 colpi/piede) fino ad una profondità di circa 4,5 m dal p.c.

Le indagini realizzate hanno pertanto messo in evidenza la presenza di terreni con caratteristiche geotecniche da limitate a discrete, se si esclude l'orizzonte pedologico superficiale (suolo).

C – Analisi sismica

Ai sensi della D.g.r. 11 luglio 2014 - n. X/2129, il comune di **Pognano** viene collocato all'interno della **zona sismica 3**. Sulla base dell'indagine sismica eseguita (prova sismica masw), è possibile attribuire ai terreni indagati il profilo stratigrafico del suolo di fondazione di "tipo B". Tuttavia dall'analisi di II livello eseguita (vedi apposito paragrafo) è emerso che il fattore di amplificazione F_a è maggiore del valore soglia regionale e pertanto è stato applicato **lo spettro della categoria di suolo C**.

D – Fondazioni verificate

Valutate pertanto le caratteristiche geomeccaniche e litologiche dei terreni indagati, in relazione alle tipologie strutturali previste, è possibile adottare fondazioni superficiali tipo FONDAZIONI CONTINUE o PLATEA.

Sono state verificate le seguenti tipologie fondazionali:

- FONDAZIONI CONTINUE con larghezza di 0,6m e altezza di 0,3m, con piano di imposta previsto a -0,4 m da 0 RIF. all'interno dell'orizzonte A.
- PLATEA con dimensioni di 5,2m x 0,8 m e altezza di 0,2m, con piano di imposta previsto a -0,4 m da 0 RIF. all'interno dell'orizzonte A.

Verificando tali ipotesi di fondazione sono stati individuati i valori di capacità portante allo stato limite ultimo e i cedimenti riportati a pag. 26-27-28.

pag.39

Relazione geologica, geotecnica e sismica (R1+R2+R3) – Realizzazione nuovi ossari colombari e nuovi campi di mineralizzazione - ampliamento cimitero comunale di Pognano (BG)

Rif.Geo. L2688		Referente: S.O.
Data elaborato: agosto 2020	Rev1:	Rev2:
GeoArborStudio di Leoni Carlo Via Concesa, 3 - 20069 Vaprio d'Adda	Tel. 0295763037 - Tel/Fax 0295761942 C.F. LNECLD59T23F205Z Partita IVA 06708220964	www.geoarbor.it info@geoarbor.it

Si rimane a disposizione per la verifica di altre configurazioni fondazionali. Sarà cura della D.L. avisare lo scrivente se si dovessero rinvenire anomalie in merito alla granulometria, alla resistenza dei terreni, alle condizioni della falda freatica riscontrabili durante le operazioni di scavo.

E – Compatibilità dell'intervento con i vincoli e la fattibilità geologica locale

• **Vincoli**

Nel dettaglio tuttavia degli interventi di progetto (realizzazione nuovi ossari e nuovi campi di mineralizzazione), gli stessi non interferiscono con le zone di rispetto dei pozzi ad uso idropotabile e con le aree di pertinenza idraulica (fasce di rispetto) dei corsi d'acqua appartenenti al reticolo idrografico.

Si ricorda tuttavia che parte del settore est dell'ambito cimiteriale ricade all'interno delle fasce di rispetto (10 m dal ciglio) della roggia "Ponte Perduto" appartenente al reticolo consortile di bonifica. Tale vincolo idraulico di non edificabilità preclude future espansioni del campo cimiteriale in corrispondenza di tali aree.

• **Fattibilità Geologica**

L'area oggetto degli interventi di progetto ricade in classe di fattibilità geologica 3e (fattibilità con consistenti limitazioni) dovuta alla presenza stessa del campo cimiteriale.

Si evidenzia che parte del settore est dell'ambito cimiteriale ricade in classe 4b (fattibilità con gravi limitazioni), a causa delle fasce di rispetto della roggia Ponte Perduto.

Si ricorda tuttavia che, ai sensi della d.g.r. n.IX/2616 del 30/11/2011 "Aggiornamento dei Criteri ed indirizzi per la definizione della componente geologica, idrogeologica e sismica del piano di governo del territorio" in attuazione dell'art. 57, comma 1, della l.r. 11 marzo 2005, n. 12, non è più richiesta l'individuazione nella carta di fattibilità geologica dei perimetri delle fasce di rispetto del reticolo idrico principale e minore, nonché dei cimiteri, in quanto soggette a specifica normativa. L'attribuzione della classe di fattibilità di tali aree deve derivare esclusivamente dalle caratteristiche geologiche delle stesse.

Pertanto, l'area in esame ricade in realtà in classe di fattibilità geologica 2 (fattibilità con modeste limitazioni) dovute alle caratteristiche geotecniche del terreno e di drenaggio delle acque.

Alla luce dei risultati dello studio svolto si può affermare che l'area presenta, dal punto di vista della fattibilità geologica generale, condizioni idonee ad una futura edificazione conforme alle previsioni urbanistiche.

• **Dal punto di vista della mera idoneità dei terreni per l'inumazione delle salme si riportano le seguenti considerazioni:**

La vigente normativa settoriale (R.R. n° 6 del 9/11/04) all'art. 15 stabilisce che il fondo delle nuove fosse debba trovarsi ad una profondità pari almeno ad 1,50 m. per gli adulti ed 1,00 m. per i bambini sotto i 10 anni di età e che il livello massimo della falda deve distare almeno 0,50 m dal fondo stesso della fossa. I terreni devono inoltre presentare caratteristiche tali da favorire la scheletrizzazione dei cadaveri, ovvero consentire un buon drenaggio superficiale delle acque ed una granulometria tale da favorire la naturale circolazione di aria nel sottosuolo.

Le risultanze delle indagini realizzate evidenziano come il livello piezometrico medio dell'acquifero sotterraneo, in corrispondenza del camposanto si collochi intorno ai -5-6 m dal p.c., pertanto non si

pag.40

Relazione geologica, geotecnica e sismica (R1+R2+R3) – Realizzazione nuovi ossari colombari e nuovi campi di mineralizzazione - ampliamento cimitero comunale di Pognano (BG)

Rif.Geo. L2688		Referente: S.O.
Data elaborato: agosto 2020	Rev1:	Rev2:
Geo.ArborStudio di Leoni Carlo Via Concesa, 3 - 20069 Vaprio d'Adda	Tel. 0295763037 - Tel/Fax 0295761942 C.F. LNECLD59T23F205Z Partita IVA 06708220964	www.geoarbor.it info@geoarbor.it

ravvisano condizioni stagionali tali da poter permettere una possibile interazione tra la falda e le nuove fosse di progetto.

Per quanto riguarda le caratteristiche di permeabilità dei terreni superficiali, sono stati riscontrati oltre il primo orizzonte di riporto (avente spessore medio pari a 1,0 m) terreni a granulometria essenzialmente limosa con sabbia e ghiaia, caratterizzati da discreti valori di permeabilità, come si evince anche dai risultati delle prove di permeabilità eseguite in sito. Le condizioni riscontrate risultano pertanto favorevoli a garantire un sufficiente ricircolo d'aria all'interno del primo sottosuolo, evitando il potenziale innesco di fenomeni di ristagno superficiale o di drenaggio rallentato / impedito.

Per quanto riguarda le caratteristiche litologiche dei terreni superficiali le trincee esplorative realizzate evidenziano invece la presenza di un primo orizzonte stratigrafico di riporto eterogeneo caratterizzato dalla presenza di macerie di varia natura (detriti in cls e frammenti di laterizi) dal piano campagna fino a circa -1,0 m di profondità. Solo successivamente si riscontra il terreno naturale in posto a granulometria limosa sabbiosa prevalente.

Sulla base di quanto esposto si ritiene che i terreni superficiali costituenti il nuovo lotto di ampliamento del campo cimiteriale comunale non risultino idonei, sotto il profilo tessiturale, alle pratiche di inumazione come richiesto al punto 5 dell'art. 57 del D.P.R. n.285 del 10/10/1990 e come richiesto al punto 1 dell'art 15 del R.R. 6/04.

Si rende pertanto necessaria la rimozione del materiale di riporto presente fino ad una profondità pari a -1,0 m dal piano campagna e la sostituzione dello stesso con materiale inerte avente granulometria grossolana prevalente (valori medi di riferimento: 60% sabbia, 20% ghiaia, 20 % limo) al fine di garantire il processo di scheletrizzazione dei cadaveri.

Vaprio d'Adda, 03/08/2020

Dott. Geol. Carlo Leoni

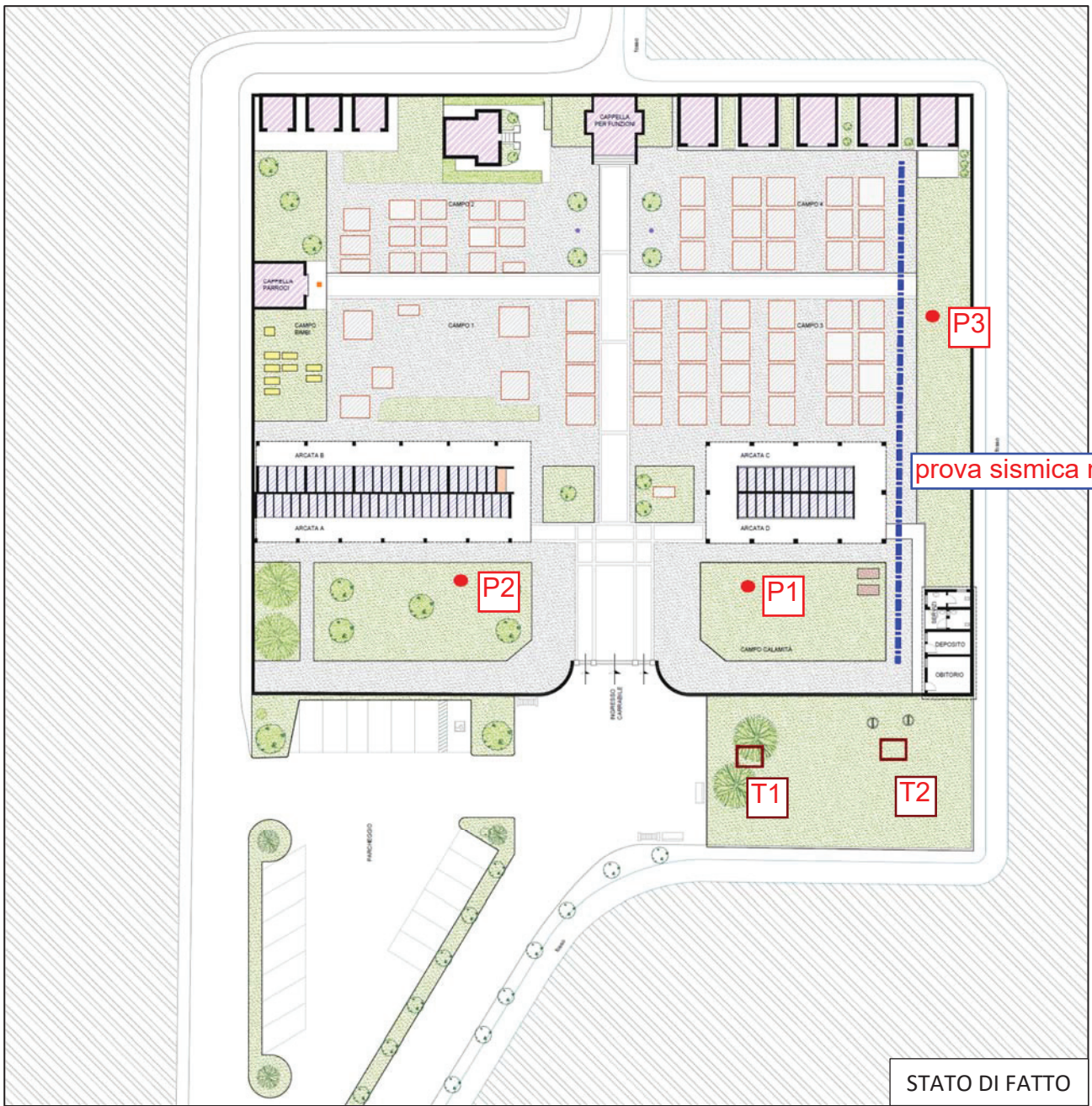



pag.41

Relazione geologica, geotecnica e sismica (R1+R2+R3) – Realizzazione nuovi ossari colombari e nuovi campi di mineralizzazione - ampliamento cimitero comunale di Pognano (BG)

Rif.Geo. L2688		Referente: S.O.
Data elaborato: agosto 2020	Rev1:	Rev2:
Geo.ArborStudio di Leoni Carlo Via Concesa, 3 - 20069 Vaprio d'Adda	Tel. 0295763037 - Tel/Fax 0295761942 C.F. LNECLD59T23F205Z Partita IVA 06708220964	www.geoarbor.it info@geoarbor.it

Planimetria con ubicazione delle indagini eseguite



Legenda

	Pavimentazione non legata
	Pavimentazione legata (accessibile alle persone con disabilità motoria)
	Tombe ipogee occupate
	Tombe ipogee libere
	Tombe ipogee per bambini
	Loculi
	Cappelle di famiglia
	Ossario comune
	Cellette ossario
	Inumazioni in area calamità
	Area verde
	Area verde con cordolo
	Fossa biologica
	Fontanella dell'acqua

	Prove penetrometriche dinamiche Scpt
	Prova sismica masw
	Trincee esplorative

Tabulati e grafici prove penetrometriche dinamiche SCPT

Prova penetrometrica dinamica P1

Località: Pognano (BG) - cimitero comunale

Data: 22/07/2020

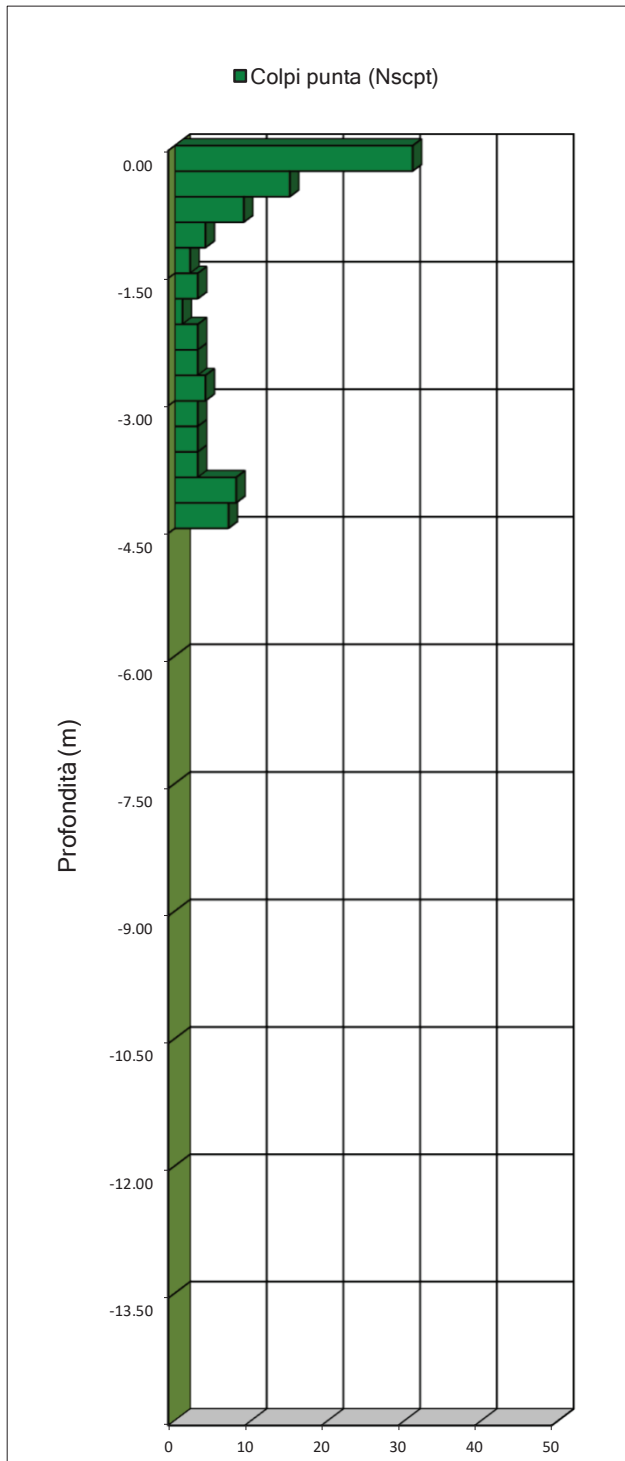
Ditta esecutrice: GeoArborStudio

Attrezzatura: Pagani TG 63/100

Committente: Comune di Pognano

Sigla cantiere: L2688

Falda: n.r.



Profondità (m)		Colpi Punta (Nscpt)
0.00	-0.30	31
-0.30	-0.60	15
-0.60	-0.90	9
-0.90	-1.20	4
-1.20	-1.50	2
-1.50	-1.80	3
-1.80	-2.10	1
-2.10	-2.40	3
-2.40	-2.70	3
-2.70	-3.00	4
-3.00	-3.30	3
-3.30	-3.60	3
-3.60	-3.90	3
-3.90	-4.20	8
-4.20	-4.50	7
-4.50	-4.80	
-4.80	-5.10	
-5.10	-5.40	
-5.40	-5.70	
-5.70	-6.00	
-6.00	-6.30	
-6.30	-6.60	
-6.60	-6.90	
-6.90	-7.20	
-7.20	-7.50	
-7.50	-7.80	
-7.80	-8.10	
-8.10	-8.40	
-8.40	-8.70	
-8.70	-9.00	
-9.00	-9.30	
-9.30	-9.60	
-9.60	-9.90	
-9.90	-10.20	
-10.20	-10.50	
-10.50	-10.80	
-10.80	-11.10	
-11.10	-11.40	
-11.40	-11.70	
-11.70	-12.00	
-12.00	-12.30	
-12.30	-12.60	
-12.60	-12.90	
-12.90	-13.20	
-13.20	-13.50	
-13.50	-13.80	
-13.80	-14.10	
-14.10	-14.40	
-14.40	-14.70	
-14.70	-15.00	

Prova penetrometrica dinamica P2

Località: Pognano (BG) - cimitero comunale

Data: 22/07/2020

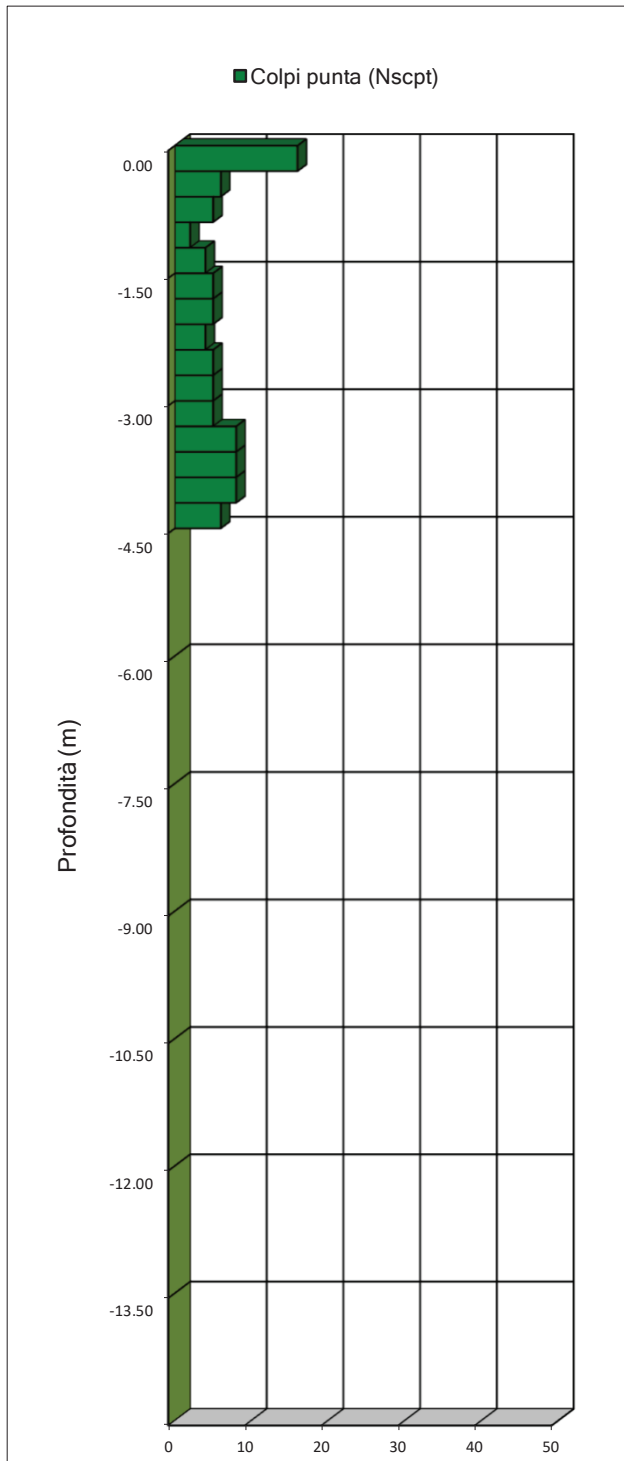
Ditta esecutrice: GeoArborStudio

Attrezzatura: Pagani TG 63/100

Committente: Comune di Pognano

Sigla cantiere: L2688

Falda: n.r.



Profondità (m)		Colpi Punta (Ns)
0.00	-0.30	16
-0.30	-0.60	6
-0.60	-0.90	5
-0.90	-1.20	2
-1.20	-1.50	4
-1.50	-1.80	5
-1.80	-2.10	5
-2.10	-2.40	4
-2.40	-2.70	5
-2.70	-3.00	5
-3.00	-3.30	5
-3.30	-3.60	8
-3.60	-3.90	8
-3.90	-4.20	8
-4.20	-4.50	6
-4.50	-4.80	
-4.80	-5.10	
-5.10	-5.40	
-5.40	-5.70	
-5.70	-6.00	
-6.00	-6.30	
-6.30	-6.60	
-6.60	-6.90	
-6.90	-7.20	
-7.20	-7.50	
-7.50	-7.80	
-7.80	-8.10	
-8.10	-8.40	
-8.40	-8.70	
-8.70	-9.00	
-9.00	-9.30	
-9.30	-9.60	
-9.60	-9.90	
-9.90	-10.20	
-10.20	-10.50	
-10.50	-10.80	
-10.80	-11.10	
-11.10	-11.40	
-11.40	-11.70	
-11.70	-12.00	
-12.00	-12.30	
-12.30	-12.60	
-12.60	-12.90	
-12.90	-13.20	
-13.20	-13.50	
-13.50	-13.80	
-13.80	-14.10	
-14.10	-14.40	
-14.40	-14.70	
-14.70	-15.00	

Prova penetrometrica dinamica P3

Località: Pognano (BG) - cimitero comunale

Data: 22/07/2020

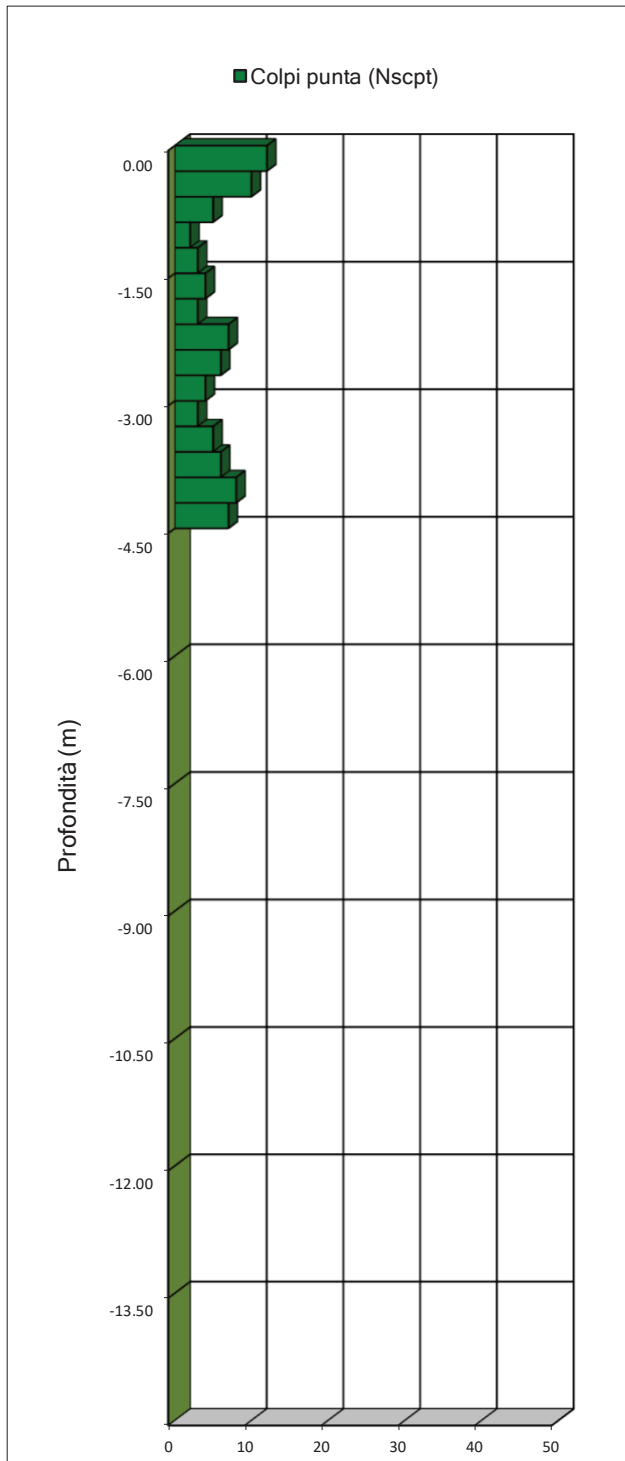
Ditta esecutrice: GeoArborStudio

Attrezzatura: Pagani TG 63/100

Committente: Comune di Pognano

Sigla cantiere: L2688

Falda: n.r.



Profondità (m)		Colpi Punta (Nscpt)
0.00	-0.30	12
-0.30	-0.60	10
-0.60	-0.90	5
-0.90	-1.20	2
-1.20	-1.50	3
-1.50	-1.80	4
-1.80	-2.10	3
-2.10	-2.40	7
-2.40	-2.70	6
-2.70	-3.00	4
-3.00	-3.30	3
-3.30	-3.60	5
-3.60	-3.90	6
-3.90	-4.20	8
-4.20	-4.50	7
-4.50	-4.80	
-4.80	-5.10	
-5.10	-5.40	
-5.40	-5.70	
-5.70	-6.00	
-6.00	-6.30	
-6.30	-6.60	
-6.60	-6.90	
-6.90	-7.20	
-7.20	-7.50	
-7.50	-7.80	
-7.80	-8.10	
-8.10	-8.40	
-8.40	-8.70	
-8.70	-9.00	
-9.00	-9.30	
-9.30	-9.60	
-9.60	-9.90	
-9.90	-10.20	
-10.20	-10.50	
-10.50	-10.80	
-10.80	-11.10	
-11.10	-11.40	
-11.40	-11.70	
-11.70	-12.00	
-12.00	-12.30	
-12.30	-12.60	
-12.60	-12.90	
-12.90	-13.20	
-13.20	-13.50	
-13.50	-13.80	
-13.80	-14.10	
-14.10	-14.40	
-14.40	-14.70	
-14.70	-15.00	

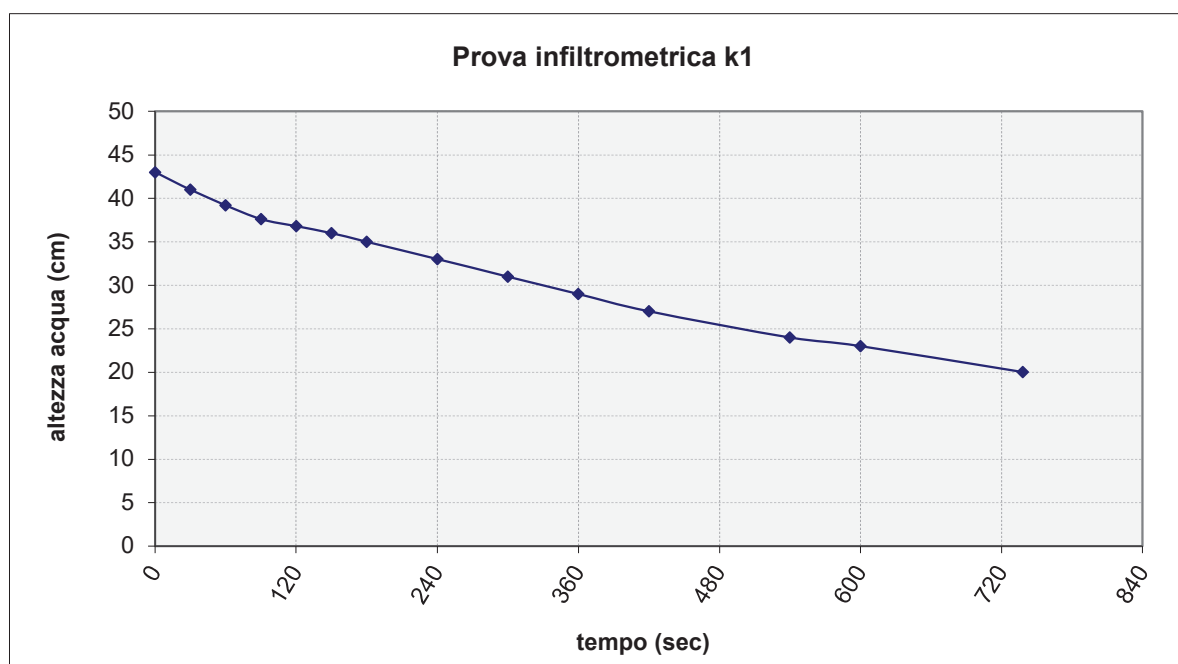
PROVE DI PERMEABILITA' CON INFILTROMETRO

Prova infiltrometrica k1

Località: Pognano (BG) - cimitero comunale
 Comune di Pognano
 Data: 22/07/20
 Trincea esplorativa: **T1**
 Profondità esecuzione prova: - 2.0 m dal p.c.

DATI	
Diametro infiltrometro (cm)	30.00
Sezione (cm ²)	706.500
Infissione (cm)	10
Altezza infiltrometro (cm)	50
RISULTATI	
K media (m/s)	8.34E-05

MISURE						
Tempo	Intervallo	Letture livello idrico	Abbassamento	Velocità flusso	Gradiente	Permeabilità
T progressivo (s)	delta T (s)	h (cm)	delta h (cm)	v (cm/s)	i	k (cm/s)
0	-	43	-	-	-	-
30	30	41	2.00	0.06667	5.10	0.01307
60	30	39.2	1.80	0.06000	4.92	0.01220
90	30	37.6	1.60	0.05333	4.76	0.01120
120	30	36.8	0.80	0.02667	4.68	0.00570
150	30	36	0.80	0.02667	4.60	0.00580
180	30	35	1.00	0.03333	4.50	0.00741
240	60	33	2.00	0.03333	4.30	0.00775
300	60	31	2.00	0.03333	4.10	0.00813
360	60	29	2.00	0.03333	3.90	0.00855
420	60	27	2.00	0.03333	3.70	0.00901
540	120	24	3.00	0.02500	3.40	0.00735
600	60	23	1.0	0.017	3.30	0.0051
738	138	20	3.0	0.022	3.00	0.0072

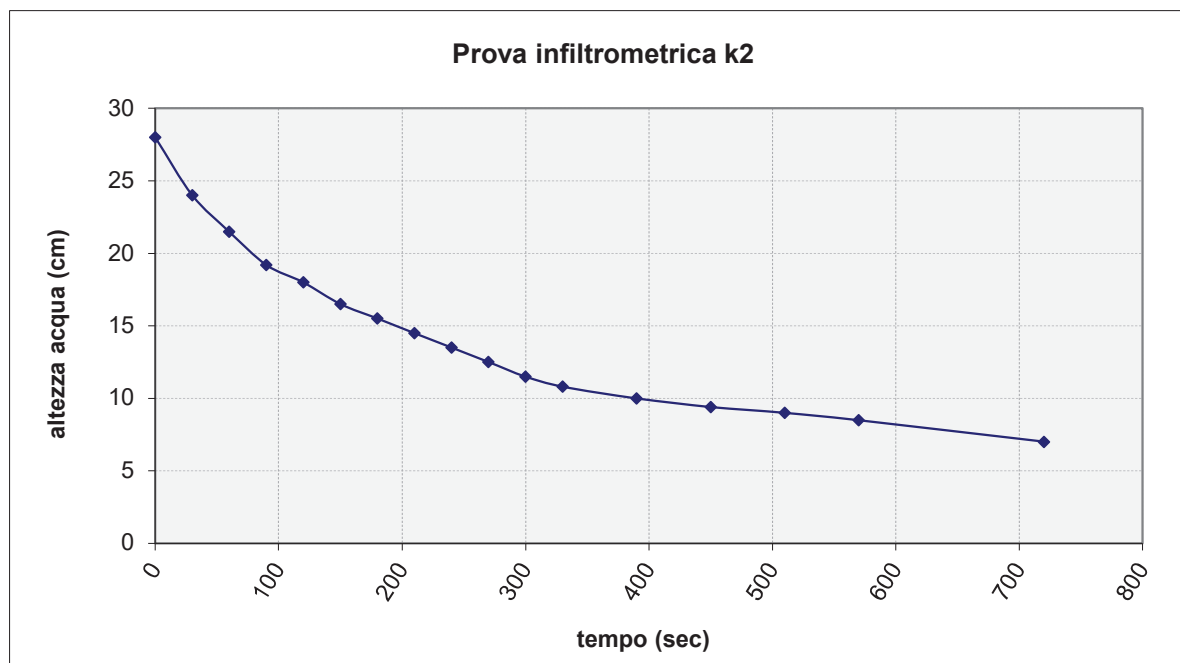


Prova infiltrometrica k2

Località: Pognano (BG) - cimitero comunale
 Comune di Pognano
 Data: 22/07/20
 Trincea esplorativa: **T2**
 Profondità esecuzione prova: - 1.0 m dal p.c.

DATI	
Diametro infiltrometro (cm)	30.00
Sezione (cm ²)	706.500
Infissione (cm)	10
Altezza infiltrometro (cm)	50
RISULTATI	
K media (m/s)	1.46E-04

MISURE						
Tempo	Intervallo	Letture livello idrico	Abbassamento	Velocità flusso	Gradiente	Permeabilità
T progressivo (s)	delta T (s)	h (cm)	delta h (cm)	v (cm/s)	i	k (cm/s)
0	-	28	-	-	-	-
30	30	24	4.00	0.13333	3.40	0.03922
60	30	21.5	2.50	0.08333	3.15	0.02646
90	30	19.2	2.30	0.07667	2.92	0.02626
120	30	18	1.20	0.04000	2.80	0.01429
150	30	16.5	1.50	0.05000	2.65	0.01887
180	30	15.5	1.00	0.03333	2.55	0.01307
210	30	14.5	1.00	0.03333	2.45	0.01361
240	30	13.5	1.00	0.03333	2.35	0.01418
270	30	12.5	1.00	0.03333	2.25	0.01481
300	30	11.5	1.00	0.03333	2.15	0.01550
330	30	10.8	0.70	0.02333	2.08	0.01122
390	60	10	0.80	0.01333	2.00	0.00667
450	60	9.4	0.60	0.01000	1.94	0.00515
510	60	9	0.40	0.00667	1.90	0.00351
570	60	8.5	0.50	0.00833	1.85	0.00450
720	150	7	1.50	0.01000	1.70	0.00588



Risultanze indagini sismiche masw

Risultati analisi granulometriche

Committente: **Comune di Pognano**

Località: **Cimitero di Pognano (Bg)**

Data emissione: **30/07/2020**

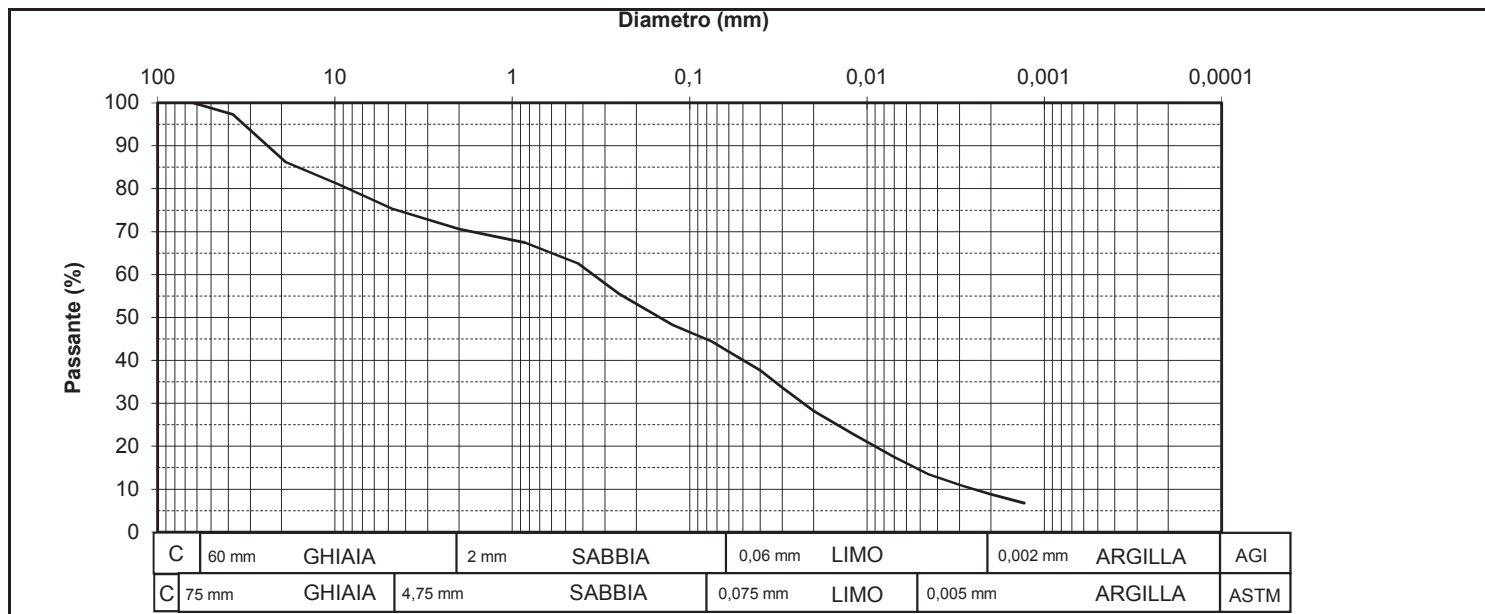
Provenienza **trincea T1**

Campione n°: **C1**

Profondità: **1,0 m da p.c.**

Rapporto di Prova n°: **146/20GD**

Sperimentatore: **Dr.M. Bertasa**



SETACCIATURA				AEROMETRIA	
diametro mm	% cumulativa trattenuto	% cumulativa passante	% trattenuto	diametro equivalente	% cumulativa passante
100	0,00	100,00	0,00	0,06	42,04
37,5	2,74	97,26	2,74	0,04	37,67
19	13,77	86,23	11,04	0,03	33,64
9,52	19,00	81,00	5,23	0,02	28,25
4,75	24,68	75,32	5,68	0,012	22,87
2	29,45	70,55	4,77	0,007	17,49
0,85	32,55	67,45	3,10	0,0045	13,45
0,425	37,43	62,57	4,87	0,0029	10,76
0,25	44,51	55,49	7,09	0,002	8,75
0,125	51,70	48,30	7,19	0,0013	6,73
0,075	55,60	44,40	3,90		
< 0,075	100,00	0,00	44,40		

DIAMETRO mm		
Diametro massimo D max		62,8
Diametro passante 60% D ₆₀		0,35
Diametro passante 50% D ₅₀		0,15
Diametro passante 30% D ₃₀		0,022
Diametro passante 10% D ₁₀		0,0025
COEFFICIENTI		
UNIFORMITA' D ₆₀ / D ₁₀	U =	1,4E+02
CURVATURA D ₃₀ ² / D ₆₀ * D ₁₀	C =	5,5E-01
PERMEAB. (cm/sec) D ₁₀ ²	K =	6,3E-06
PARAMETRI DETERMINATI		
PESO DI VOL. γ naturale (g/cm ³)		
PESO DI VOL. γ secco (g/cm ³)		
PESO DI VOL. γ saturo (g/cm ³)		
SATURAZIONE %	S _r	
INDICE DEI VUOTI	ε ₀	
POROSITA'	n	
PESO SPEC.(valore assunto) Gs		
UMIDITA' CAMPIONE %	W _n	14,20

A.G.I. CLASSE GRANULOMETRICA %	
CIOTTOLI:	0,5
GHIAIA :	28,95
SABBIA :	28,51
LIMO :	33,30
ARGILLA :	8,75
DENOMINAZIONE A.G.I.:	
limo con ghiaia e sabbia debolmente argilloso	

ASTM CLASSE GRANULOMETRICA %	
CIOTTOLI:	
GHIAIA :	24,68
SABBIA :	30,92
LIMO :	30,14
ARGILLA :	14,26
DENOMINAZIONE ASTM.:	
sabbia con limo e ghiaia argillosa	

**LABORATORIO ANALISI
L'ANALISTA**

M. Bertasa

Laboratorio con sistema di gestione per la qualità
certificato da ente accreditato



NOTE - OSSERVAZIONI - CLASSIFICAZIONI
Campione rimaneggiato, in sacchetto
Il valore dell'umidità del campione calcolata in Laboratorio potrebbe non corrispondere a quella naturale in sito

Committente: **Comune di Pognano**

Località: **Cimitero di Pognano (Bg)**

Data emissione: **30/07/2020**

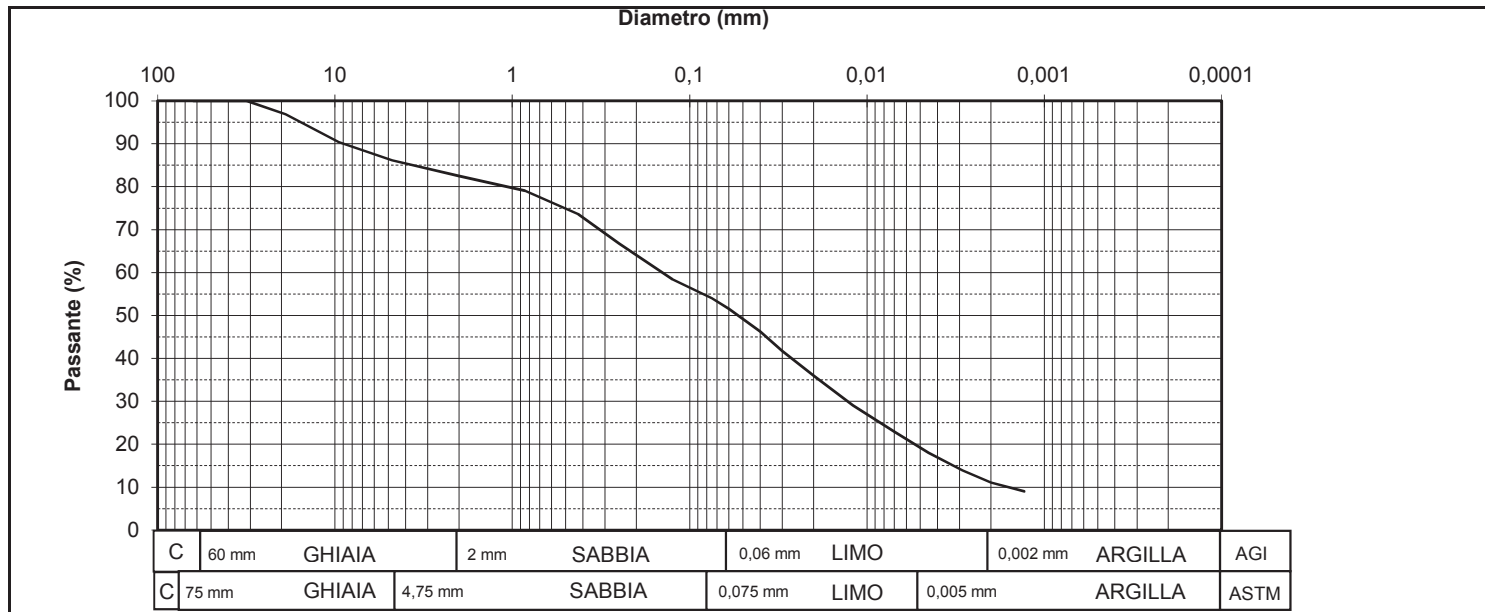
Provenienza **trincea T2**

Campione n°: **C1**

Profondità: **1,0 m da p.c.**

Rapporto di Prova n°: **147/20GD**

Sperimentatore: **Dr.M. Bertasa**



SETACCIATURA			AEROMETRIA		
diametro mm	% cumulativa trattenuto	% cumulativa passante	% trattenuto	diametro equivalente	% cumulativa passante
100	0,00	100,00	0,00	0,06	51,55
37,5	0,00	100,00	0,00	0,04	46,23
19	3,10	96,90	3,10	0,03	41,73
9,52	9,58	90,42	6,48	0,02	36,00
4,75	13,86	86,14	4,28	0,012	29,05
2	17,52	82,48	3,66	0,007	22,91
0,85	20,91	79,09	3,39	0,0045	18,00
0,425	26,37	73,63	5,46	0,0029	13,91
0,25	33,21	66,79	6,84	0,002	11,05
0,125	41,55	58,45	8,34	0,0013	9,00
0,075	46,00	54,00	4,45		
< 0,075	100,00	0,00	54,00		

DIAMETRO mm		
Diametro massimo D max		31,4
Diametro passante 60% D ₆₀		0,15
Diametro passante 50% D ₅₀		0,053
Diametro passante 30% D ₃₀		0,013
Diametro passante 10% D ₁₀		0,0016
COEFFICIENTI		
UNIFORMITA' D ₆₀ / D ₁₀	U =	9,4E+01
CURVATURA D ₃₀ ² / D ₆₀ * D ₁₀	C =	7,0E-01
PERMEAB. (cm/sec) D ₁₀ ²	K =	2,6E-06
PARAMETRI DETERMINATI		
PESO DI VOL. γ naturale (g/cm ³)		
PESO DI VOL. γ secco (g/cm ³)		
PESO DI VOL. γ saturo (g/cm ³)		
SATURAZIONE %	S _r	
INDICE DEI VUOTI	ε ₀	
POROSITA'	n	
PESO SPEC.(valore assunto) Gs		
UMIDITA' CAMPIONE %	W _n	12,53

A.G.I. CLASSE GRANULOMETRICA %	
CIOTTOLI:	
GHIAIA :	17,52
SABBIA :	30,94
LIMO :	40,50
ARGILLA :	11,05
DENOMINAZIONE A.G.I.:	
limo con sabbia ghiaioso argilloso	

ASTM CLASSE GRANULOMETRICA %	
CIOTTOLI:	
GHIAIA :	13,86
SABBIA :	32,14
LIMO :	35,02
ARGILLA :	18,98
DENOMINAZIONE ASTM.:	
limo con sabbia argilloso ghiaioso	

**LABORATORIO ANALISI
L'ANALISTA**

M. Bertasa

Laboratorio con sistema di gestione per la qualità
certificato da ente accreditato



NOTE - OSSERVAZIONI - CLASSIFICAZIONI
Campione rimaneggiato, in sacchetto
Il valore dell'umidità del campione calcolata in Laboratorio potrebbe non corrispondere a quella naturale in sito