

---

**Comune** BINAGO

**Provincia** COMO

**Committente** **LIDL Italia S.r.l.**

**Oggetto** **Progetto di nuovo edificio commerciale in  
Comune di BINAGO: RELAZIONE  
GEOLOGICA E GEOTECNICA**

**Data** 30 giugno 2023

Responsabile dott. geol. Marco Daguati F.to digitalmente



Referente dott.ssa geol. Carol Marceca

Operatore dott. Filippo Bettinelli Rilevamento geotecnico  
dott. Antonio Carnevale Studio sismico e geotecnico

Direttore Ing. Laura Pezzoni  
Tecnico

---

**GEOLAMBDA**  
Engineering S.r.l.

Sede operativa: via A. Diaz, 22 – 26845 Codogno (LO)  
tel. (+39) 0377.433021 fax (+39) 0377.402035  
www.geolambda.eu – pec: geolambda@geolambda.viapc.it  
e-mail: marco.daguati@geolambda.it

## **INDICE**

|                                                                                                                                                                   |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| PREMESSA.....                                                                                                                                                     | 3  |
| 1.1    Inquadramento geologico e geomorfologico.....                                                                                                              | 4  |
| 1.2    Caratteristiche idrogeologiche e piezometria .....                                                                                                         | 5  |
| 1.3    Pericolosità idraulica .....                                                                                                                               | 5  |
| 1.4    Inquadramento sismico.....                                                                                                                                 | 6  |
| 1.5    Vicoli e fattibilità geologica .....                                                                                                                       | 6  |
| ALLEGATO 1 – Carta geolitologica - geomorfologica .....                                                                                                           | 7  |
| ALLEGATO 2 – Carta di prima caratterizzazione geotecnica .....                                                                                                    | 8  |
| ALLEGATO 3 – Carta idrogeologica.....                                                                                                                             | 9  |
| ALLEGATO 4 – Carta dei vincoli geologici.....                                                                                                                     | 10 |
| ALLEGATO 5 – Carta della fattibilità geologica.....                                                                                                               | 11 |
| PARTE SECONDA: STUDIO SISMICO .....                                                                                                                               | 12 |
| 2.1    Analisi sismica di secondo livello .....                                                                                                                   | 13 |
| 2.2    Spettro di risposta elastico secondo la normativa antisismica .....                                                                                        | 17 |
| 2.3    Analisi del potenziale di liquefazione dei terreni di fondazione .....                                                                                     | 18 |
| PARTE TERZA: STUDIO GEOTECNICO .....                                                                                                                              | 21 |
| 3.1    Indagine geognostica: modalità esecutive e criteri interpretativi .....                                                                                    | 21 |
| 3.1    Prove di permeabilità.....                                                                                                                                 | 26 |
| 3.2    Modello geotecnico di riferimento .....                                                                                                                    | 27 |
| 3.3    Valutazione degli Stati Limite Ultimi (SLU) e di Esercizio (SLE) geotecnico: stima della capacità portante e dei cedimenti dei terreni di fondazione ..... | 30 |
| 3.4    Formazione del cassonetto del piazzale e del fabbricato .....                                                                                              | 33 |
| 3.5    Suggerimenti e considerazioni conclusive .....                                                                                                             | 35 |
| ALLEGATO 6 – Ubicazione delle indagini e sezioni geotecniche .....                                                                                                | 36 |
| ALLEGATO 7 – Sondaggi .....                                                                                                                                       | 38 |
| ALLEGATO 8 – Prove penetrometriche .....                                                                                                                          | 44 |
| ALLEGATO 9 – Certificati di laboratorio .....                                                                                                                     | 55 |

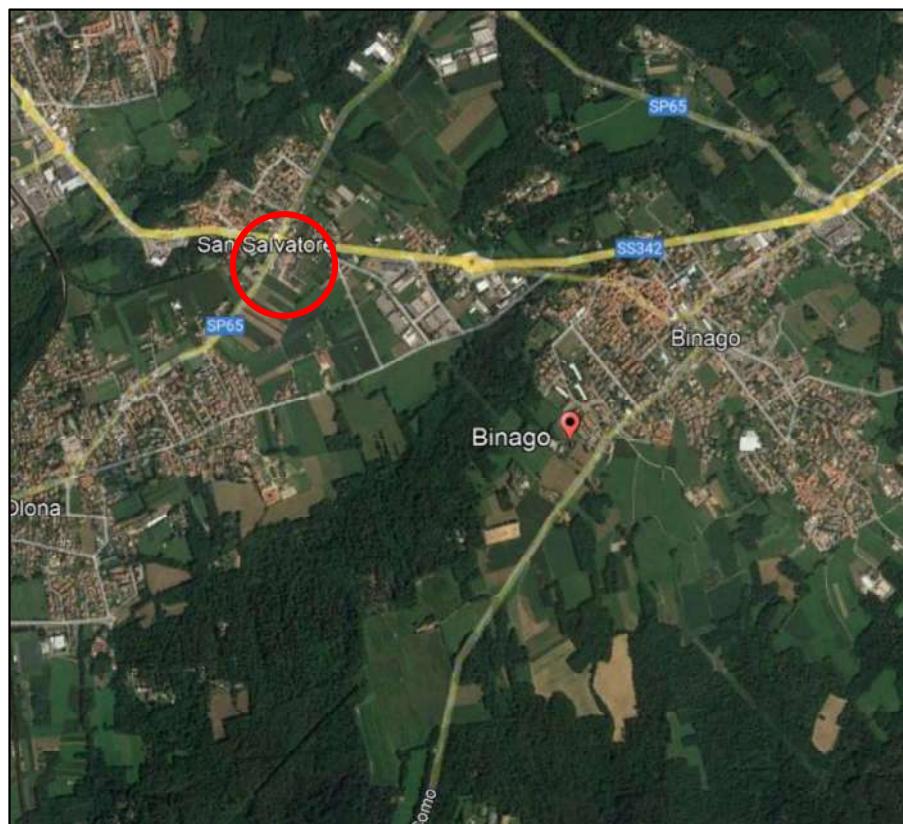
## **PREMESSA**

In seno al progetto di un nuovo edificio commerciale in Comune di Binago, la scrivente Società ha ricevuto l'incarico di definire le caratteristiche geologiche, geotecniche e sismiche dei terreni per un corretto dimensionamento delle strutture di fondazione ai sensi del D.M. 17.01.2018, della DGR 5001/2016 e in conformità alle disposizioni dell'Eurocodice 7 “Progettazione geotecnica” EN 1997-1 e EN 1997-2”.

Dato lo scopo del presente lavoro, che prevede la ricostruzione geologica e geotecnica della porzione più superficiale di sottosuolo, sono state eseguite:

- n. 4 prove penetrometriche;
- n. 3 sondaggi a carotaggio continuo, entro cui sono state eseguite numerose prove speditive (SPT e Vane Test);
- n. 2 prove di permeabilità eseguite in laboratorio su campioni rimaneggiati (prelevati dalle carote di sondaggio), utili per l'eventuale dimensionamento dei sistemi di dispersione delle acque meteoriche;
- n. 1 indagine di sismica attiva (MASW) per definire l'azione sismica di progetto.

L'area di intervento è ubicata ai margini orientali del centro abitato di Binago, come evidenziato nella seguente immagine.



*Figura 1 - Ubicazione dell'area di intervento (tratta da: Google Earth).*

## PARTE PRIMA: STUDIO GEOLOGICO

### 1.1 Inquadramento geologico e geomorfologico

Il territorio comunale di Binago si inserisce nella alta pianura lombarda, tra la piana alluvionale principale e i primi rilievi prealpini dove i lembi residui delle antiche superfici deposizionali di origine fluvioglaciale si fondono verso monte con le colline moreniche pleistoceniche (fonte: P.G.T. del Comune di Binago, 2018).

Sul territorio affiorano unicamente depositi quaternari di origine fluvioglaciale e glaciale poggianti su un substrato roccioso oligocenico marino.

Come riportato in *Figura 2* (stralcio dalla Carta geologica d'Italia - F. 32 "Como"), l'area in esame si sviluppa ad una quota di ca. 370 m s.l.m., modellata nei depositi morenici prewürmiani dell'unità  $q^2$ , costituiti da sabbie argillose con ghiaie e ciottoli (*Allegati 1 e 2*).

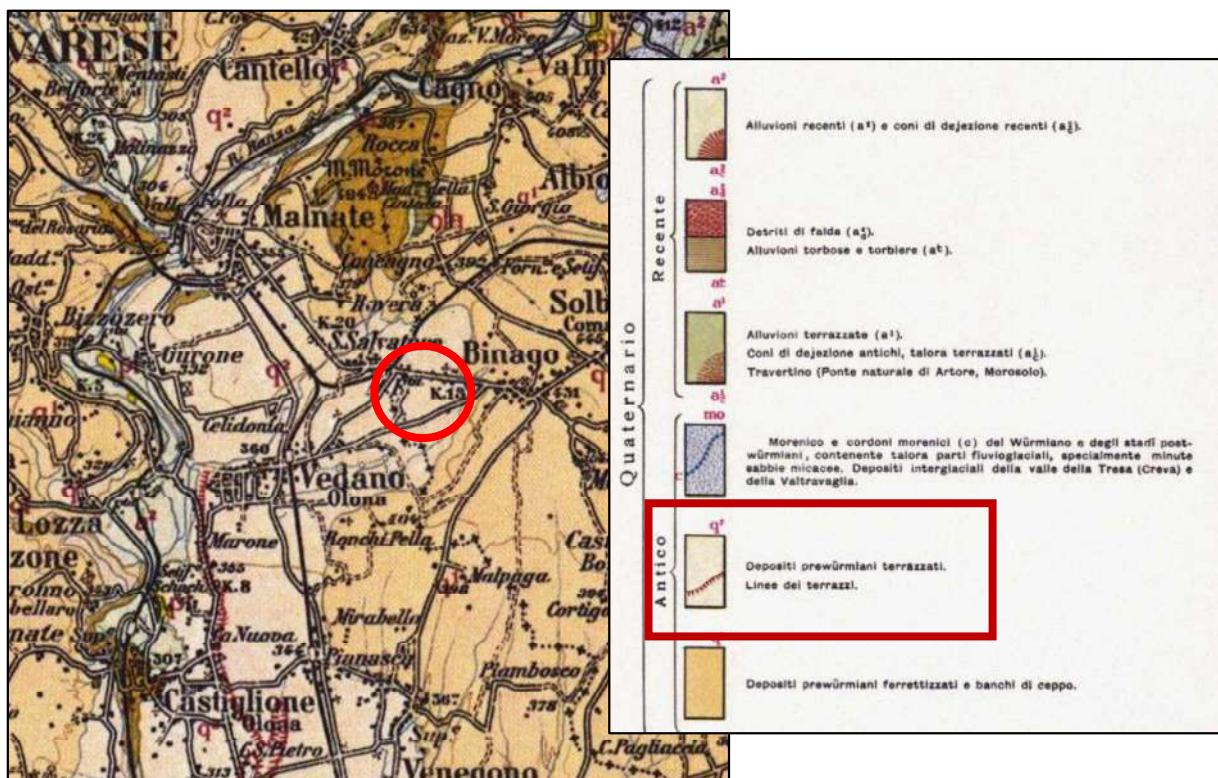


Figura 2 – Stralcio della “Carta Geologica d’Italia” (scala 1:100.000) - Foglio 32 “Como”.

## **1.2 Caratteristiche idrogeologiche e piezometria**

Il complesso idrogeologico sotterraneo è in stretta relazione con l'assetto geologico-strutturale del sottosuolo, differenziato per gradi di permeabilità: dai depositi alluvionali recenti e attuali più permeabili ai depositi morenici in cui la matrice fine (limoso-argillosa) diminuisce in modo consistente la permeabilità.

Durante l'esecuzione delle prove geotecniche non è stata rilevata acqua sotterranea entro le profondità indagate, in accordo con quanto segnalato dalla *Carta idrogeologica* del P.G.T. del Comune di Binago, che suggerisce per l'area d'indagine una soggiacenza di ca. 15 m (*Allegato 3*).

## **1.3 Pericolosità idraulica**

Il Piano di Gestione del Rischio Alluvioni “PGRA” (in *figura 3* uno stralcio della “Mappa della Pericolosità Idraulica”) non segnala alcuna pericolosità per inondazione dal reticolo idrografico.



*Figura 3 – Stralcio della “Mappa della Pericolosità Idraulica”  
tratta dal P.G.R.A. dell'Autorità di Bacino del Fiume Po.*

## 1.4 Inquadramento sismico

Per quanto concerne la classificazione sismica, secondo la D.g.r. n. X/2129 del 16 luglio 2014 della Regione Lombardia, il Comune di Binago appartiene alla **zona sismica 4** (Figura 4).

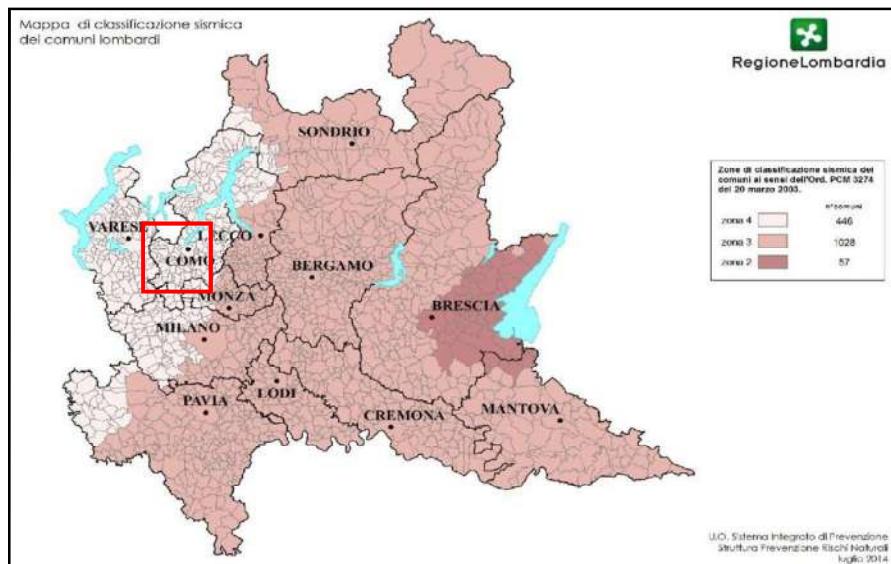


Figura 4: *Classificazione sismica dei comuni della Lombardia*  
(D.g.r. n. X/2129 del 11 luglio 2014).

## 1.5 Vincoli e fattibilità geologica

L'area di intervento non è interessata da alcun vincolo di natura geologica (*Allegato 4*).

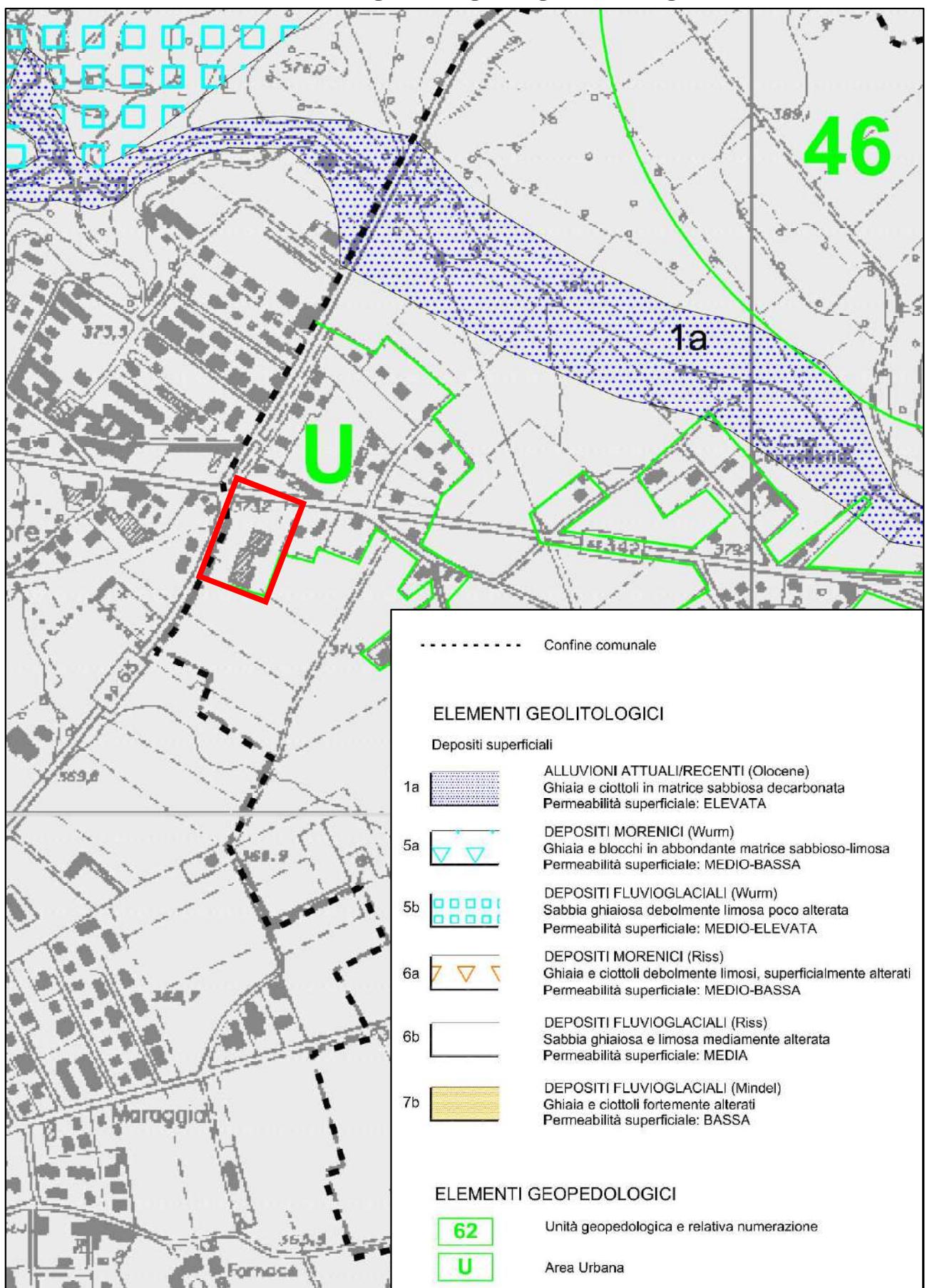
In merito alla fattibilità geologica delle azioni di piano (*Allegato 5*), il PGT colloca l'area in **Classe 2C - Fattibilità con modeste limitazioni**: “*dissesto idrologico derivante da insufficienza idraulica di alcuni tratti torrentizi artificiali della Valle di Rame*”.

## ALLEGATI 1 - 5

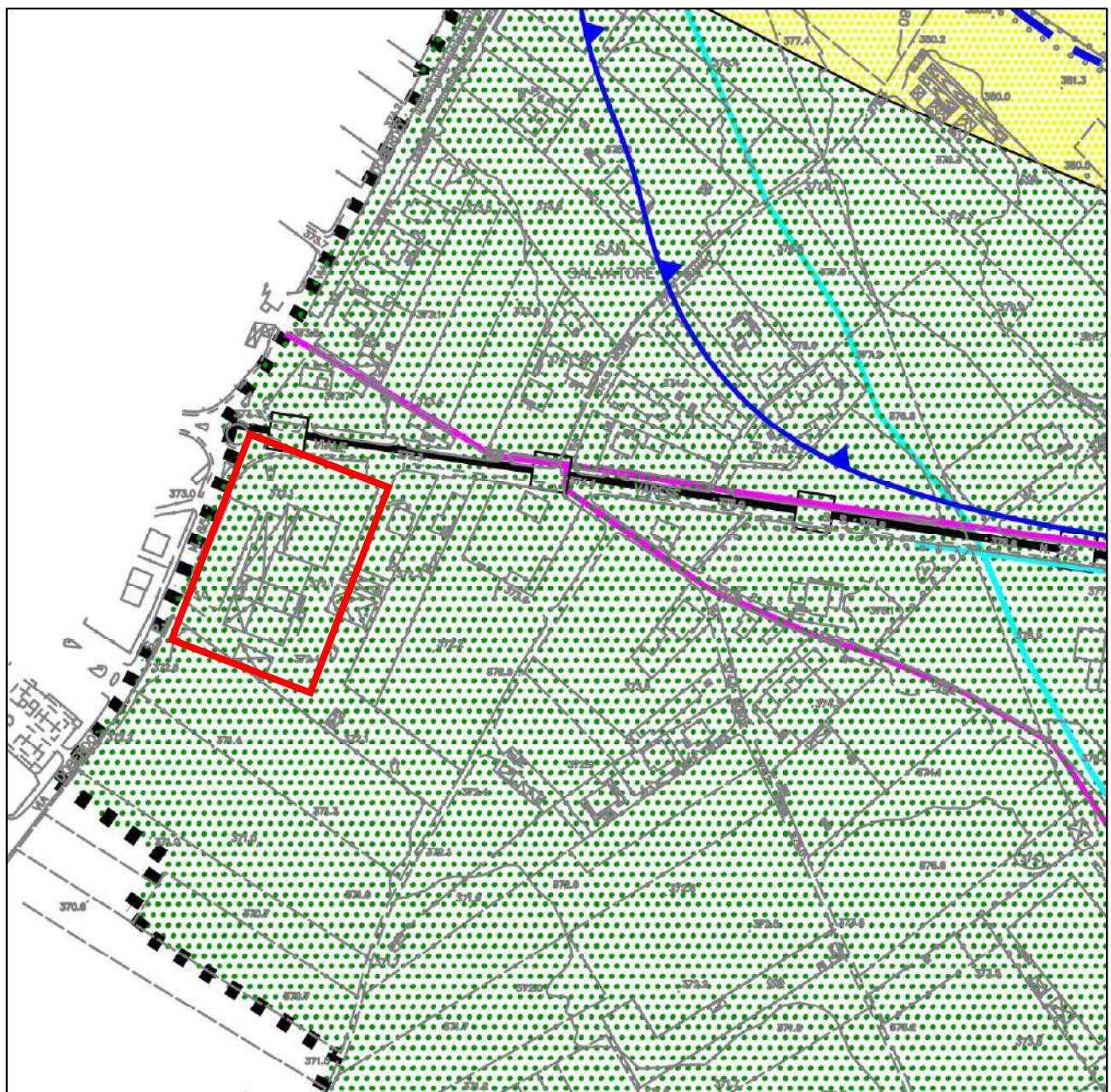
Stralci tratti da: “*P.G.T. del Comune di Binago – anno 2019*”

- Allegato 1: Carta geolitologica e geopedologica
- Allegato 2: Carta di prima caratterizzazione geotecnica
- Allegato 3: Carta idrogeologica
- Allegato 4: Carta dei vincoli geologici
- Allegato 5: Carta di fattibilità geologica

## ALLEGATO 1 – Carta geolitologica - geomorfologica



## ALLEGATO 2 – Carta di prima caratterizzazione geotecnica



### CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA



1 Indagine geotecnica e relativa numerazione



Litologia prevalente: LIMO ARGILLOSO con CIOTTOLI talora molto alterati  
Stato di addensamento: da SCIOLTO a MEDIAMENTE CONSISTENTE



Litologia prevalente: SABBIA LIMOSA e ARGILLOSA  
Stato di addensamento: SCIOLTO

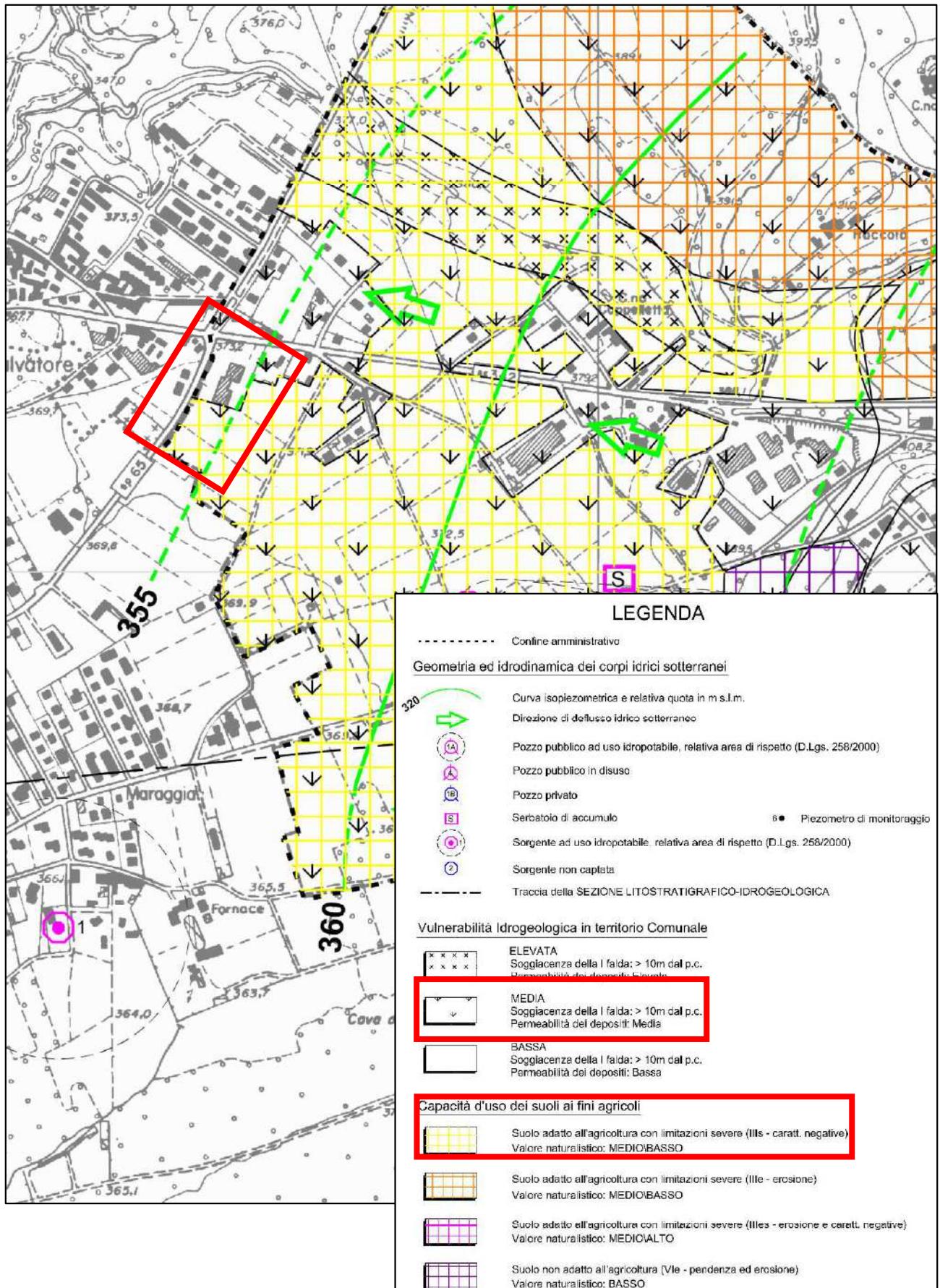


Litologia prevalente: SABBIA con GHIAIA localmente molto alterata  
Stato di addensamento: da SCIOLTO a MEDIAMENTE CONSISTENTE

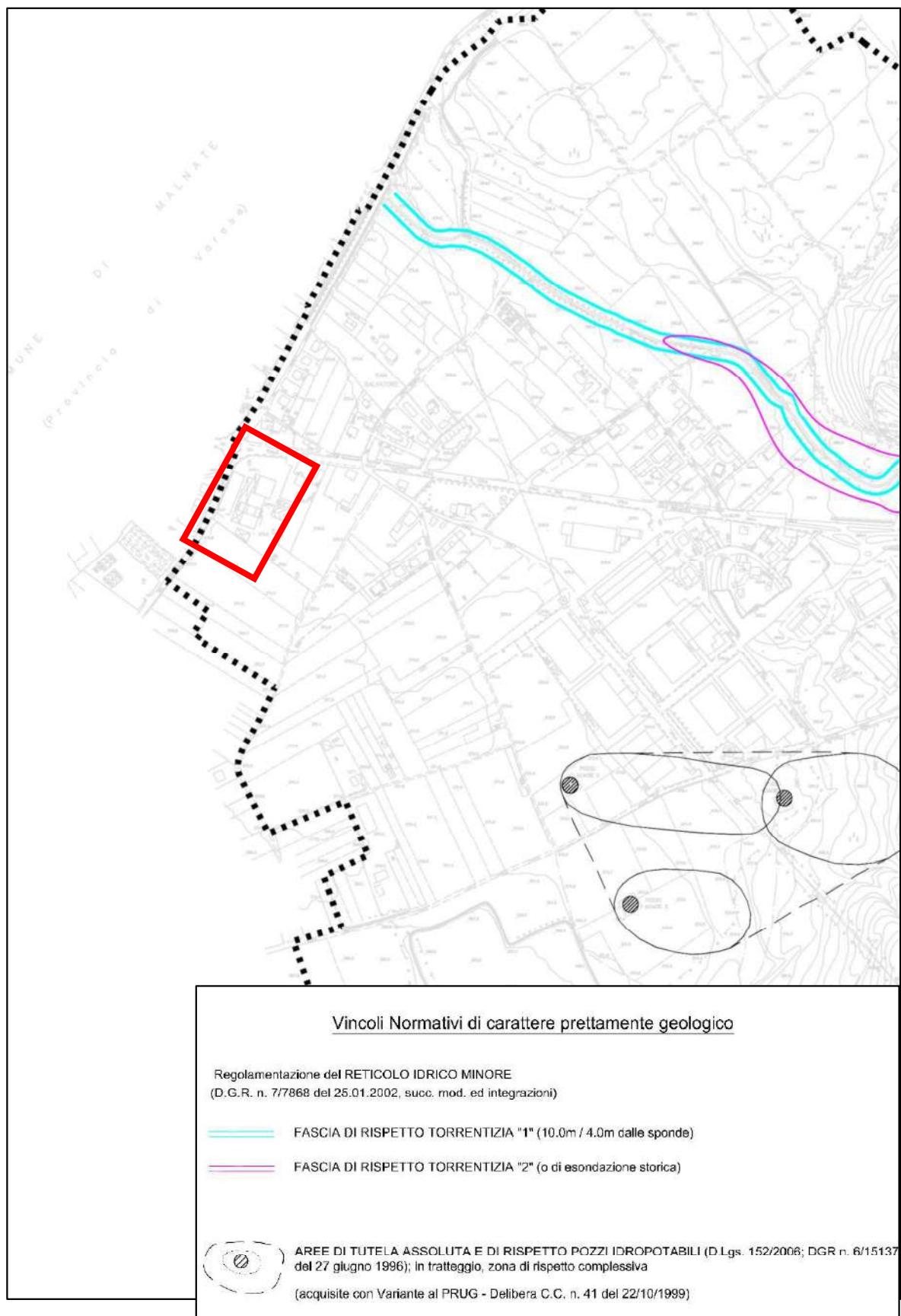


Litologia prevalente: SABBIA media debolmente argillosa con ghiaia e ciottoli  
Stato di addensamento: da SCIOLTO a MEDIAMENTE CONSISTENTE

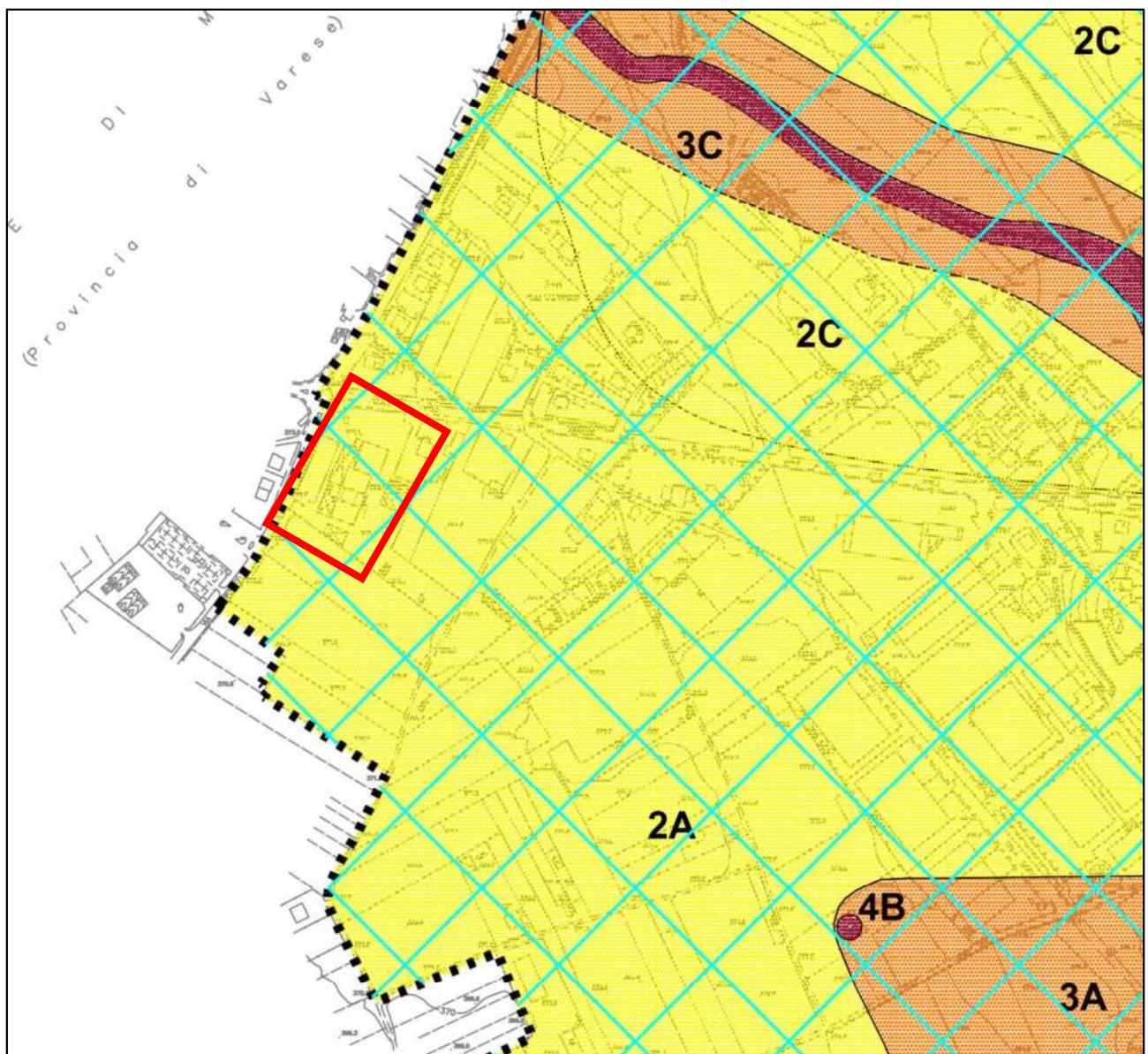
### ALLEGATO 3 – Carta idrogeologica



## ALLEGATO 4 – Carta dei vincoli geologici



## ALLEGATO 5 – Carta della fattibilità geologica



### CLASSE 2 - FATTIBILITA' CON MODESTE LIMITAZIONI

#### Sottoclasse 2A - Potenziale dissesto delle condizioni idrogeologiche dovute a Falda Subaffiorante

Indagini e studi di approfondimento: verifica delle condizioni geotecniche ed idrogeologiche locali mediante indagini puntuali finalizzate alla determinazione dei parametri geotecnicici, della profondità della falda e del grado di permeabilità dei terreni.

#### Sottoclasse 2C - Dissesto idrologico derivante da insufficienza idraulica di alcuni tratti torrentizi artificiali della Valle di Rame - delimitazione del bacino di contribuzione

Indagini e studi di approfondimento: oltre a quanto prescritto nella precedente Sottoclasse 2A, gli eventuali interventi edificatori non dovranno gravare con portate aggiuntive sulla Valle di Rame o, in alternativa, si dovranno realizzare opere idrologiche per la mitigazione del rischio da concordare con l'Amministrazione Comunale.

Ovunque in Classe 2, quanto prescritto dal D.M. 17.01.2018 "Norme Tecniche per le Costruzioni"

## PARTE SECONDA: STUDIO SISMICO

Il Comune di Binago appartiene alla **zona sismica 4** (D.g.r. n. X/2129 del 16 luglio 2014) e, facendo riferimento allo studio geologico del P.G.T., il sito in esame rientra nello scenario di **pericolosità sismica locale Z4a**, ovvero “*zona di fondovalle con presenza di depositi alluvionali e/o fluvioglaciali granulari e/o coesivi*” in grado di generare effetti di amplificazione sismica derivanti dalle caratteristiche dei terreni (*figura 1*).

Poiché l'intervento in oggetto prevede un edificio rilevante (D.d.u.o. n. 19904/03 della Regione Lombardia), è stata effettuata l'analisi sismica di 2° livello ai sensi della d.g.r. IX/2616 del 30 novembre 2011, al fine di quantificare l'amplificazione sismica propria del sito e stabilire la categoria di sottosuolo prevista dalle NTC18 sufficiente a considerare tali aspetti (D.g.r. X/5001/2016).

La categoria di sottosuolo consente di determinare gli spettri di risposta elastici necessari per una corretta progettazione strutturale in relazione alle condizioni sito-specifiche, garantendo un adeguato livello di protezione antisismica delle costruzioni (O.P.C.M. 3274 e s.m.i; D.M. 17.01.2018).

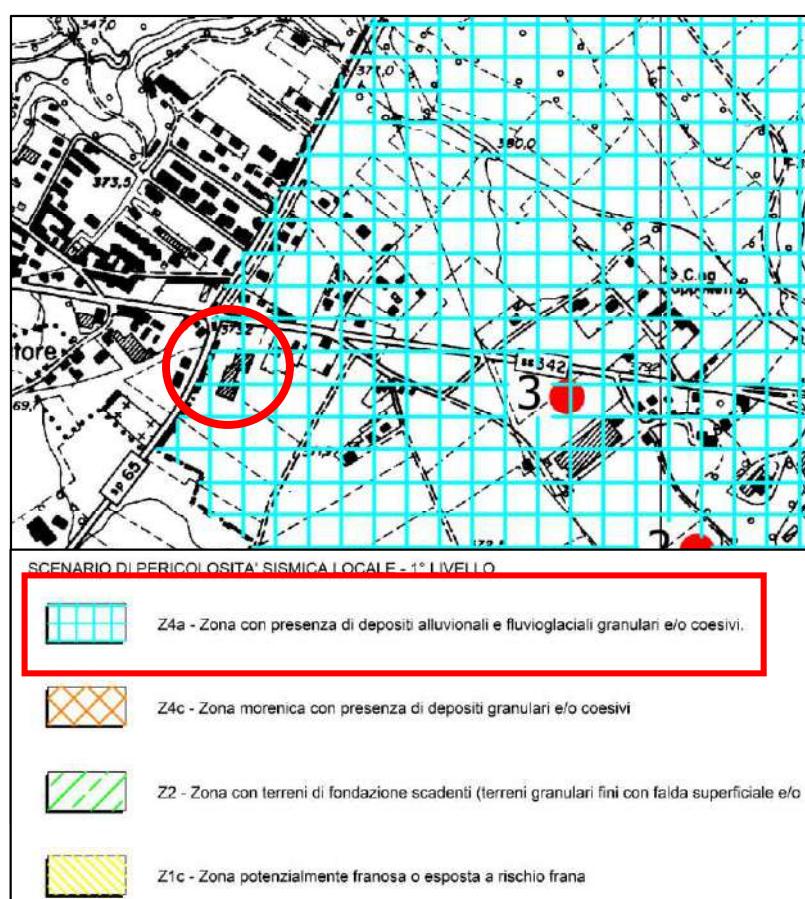


Figura 1: Scenari di pericolosità sismica locale (D.g.r. IX/2616/2011) per il territorio comunale di Binago con ubicazione dell'area in esame.

## **2.1 Analisi sismica di secondo livello**

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

La valutazione del fattore Fa è stata condotta per uno scenario suscettibile di amplificazione di tipo litologico o stratigrafico, ovvero è stato “quantificato” l’effetto delle condizioni locali in grado di modificare l’intensità delle onde sismiche generate da un terremoto. La procedura prevede il confronto del valore di Fa caratteristico dell’area (Fa\_sito - FAC) rispetto al valore caratteristico del territorio comunale in cui l’area è inserita (detto “*di soglia*” - FAS), contenuto in un apposito elenco redatto dalla Regione Lombardia.

Nella determinazione dei valori di Fa si è fatto riferimento a quanto specificato nell’Allegato 5 della D.g.r. IX/2616/2011.

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

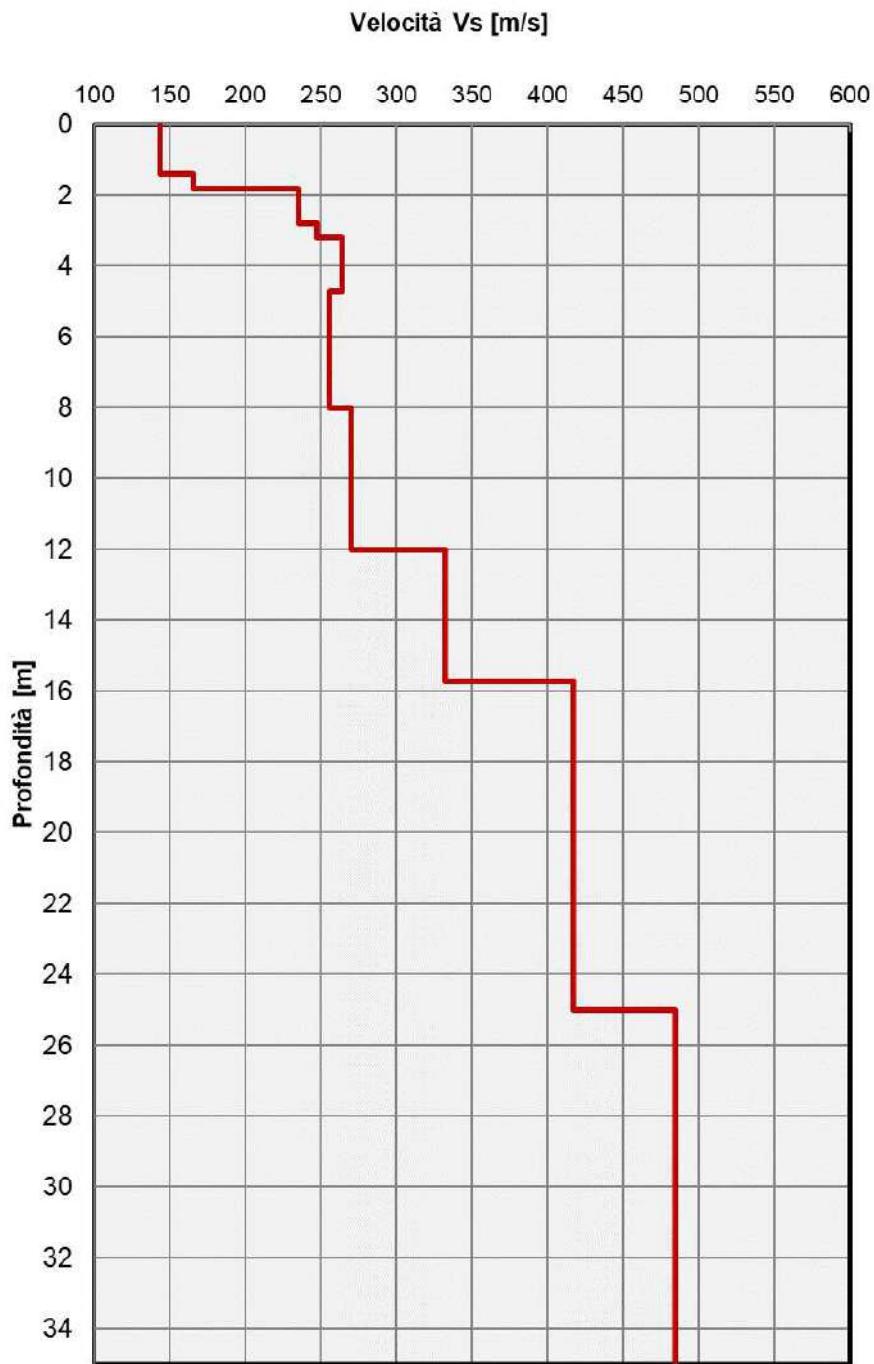
| <b>Fa_Soglia - FAS</b> |                |                |                |                |
|------------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| <i>Intervallo</i>      | <i>Suolo B</i> | <i>Suolo C</i> | <i>Suolo D</i> | <i>Suolo E</i> |
| 0.1-0.5                | 1.4            | 1.8            | 2.2            | 2.0            |
| 0.5-1.5                | 1.7            | 2.4            | 4.2            | 3.1            |

*Tabella 1: Valori di soglia del fattore di amplificazione per il comune di Binago - Regione Lombardia.*

### ***Stima degli effetti litologici***

Nella stima e nell’attendibilità degli effetti litologici propri dell’area in esame, l’andamento della velocità delle onde sismiche di taglio (Vs) con la profondità riveste un ruolo di fondamentale importanza. Per tale ragione, i terreni sono stati classificati attraverso l’esecuzione di un’indagine geofisica MASW.

Per l’area in esame si ottiene il seguente modello di velocità delle onde sismiche di taglio con la profondità (la quota zero corrisponde all’attuale piano campagna su cui è stata eseguita la prova).



| Strato | Spessore [m] | Vs [m/s] | Profondità |
|--------|--------------|----------|------------|
| 1      | 1,4          | 143      | 1,4        |
| 2      | 0,4          | 165      | 1,8        |
| 3      | 1            | 235      | 2,8        |
| 4      | 0,4          | 247      | 3,2        |
| 5      | 1,5          | 264      | 4,7        |
| 6      | 3,3          | 255      | 8          |
| 7      | 4            | 270      | 12         |
| 8      | 3,7          | 332      | 15,7       |
| 9      | 9,3          | 417      | 25         |
| 10     | 13,0         | 484      | 38         |

Sulla base delle caratteristiche dei terreni che costituiscono il sottosuolo e dell'andamento delle Vs con la profondità a partire dal piano fondazionale si individua la scheda litologica di riferimento (Allegato 5 alla D.g.r. IX/2616/2011) che, nel caso specifico, risulta essere quella **“sabbiosa”**. All'interno della scheda di valutazione viene scelta, in funzione della profondità e della velocità delle onde S dello strato superficiale, la curva più appropriata per la valutazione del valore di Fa.

Considerando una velocità dello strato superficiale prossima a 250 m/s (media dei primi 3-4 m del profilo Vs-z a partire dal piano fondazionale), la curva di riferimento per l'intervallo 0.1-0.5 s è la n. 2, caratterizzata dalla seguente equazione:

| <b>Curva</b> | $0.03 < T \leq 0.45$ s                   | $0.45 < T \leq 0.80$ s            | $T > 0.80$ s          |
|--------------|------------------------------------------|-----------------------------------|-----------------------|
| <b>2</b>     | $Fa_{0.1-0.5} = -8.65T^2 + 5.44T + 0.84$ | $Fa_{0.1-0.5} = 0.83 - 0.88\ln T$ | $Fa_{0.1-0.5} = 1.00$ |

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

| <b>Curva</b> | $0.08 < T \leq 0.80$ s                             | $0.80 < T \leq 1.80$ s            |
|--------------|----------------------------------------------------|-----------------------------------|
| <b>2</b>     | $Fa_{0.5-1.5} = -6.11T^3 + 5.79T^2 + 0.44T + 0.93$ | $Fa_{0.1-0.5} = 1.73 - 0.61\ln T$ |

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

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

dove  $h_i$  e  $V_{s_i}$  sono lo spessore e la velocità dello strato i-esimo del modello fino al bedrock sismico (strato con  $Vs > 800$  m/s). Non essendo stato rilevato direttamente, la profondità del bedrock sismico è stata ipotizzata assegnando un gradiente delle velocità delle onde S con la profondità di tipo logaritmico, desunto dai dati misurati nella prova MASW.

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

| <b>Scheda</b>   | <b>Periodo <math>T_o</math></b> | <b>Fa (0.1-0.5)</b> | <b>Fa (0.5-1.5)</b> |
|-----------------|---------------------------------|---------------------|---------------------|
| <i>sabbiosa</i> | 0.24 s                          | 1.7                 | 1.4                 |

A questo punto, il valore di  $F_a$  proprio del sito deve essere confrontato con il valore  $F_a$  di soglia, differente per le diverse categorie di sottosuolo definite, secondo il D.M. 17.01.2018, sulla base del valore di  $V_{S,eq}$ . Poiché il bedrock sismico è posto oltre 30 m dal piano fondazionale, ai sensi delle NTC18 il valore di  $V_{S,eq}$  coincide con il valore di  $V_{S,30}$ .

| <i>Quota fondazioni da p.c.</i> | $V_{S,eq}=V_{S,30} [m/s]$ | <i>Categoria sottosuolo</i> |
|---------------------------------|---------------------------|-----------------------------|
| -0.5 m                          | 323                       | <b>C</b>                    |
| -1.0 m                          | 332                       | <b>C</b>                    |
| -1.5 m                          | 341                       | <b>C</b>                    |
| -2.0 m                          | 347                       | <b>C</b>                    |
| -3.0 m                          | 356                       | <b>C</b>                    |

In *tabella 2* si effettua il confronto tra i valori di  $F_a$  proprio del sito ottenuti con l'analisi sismica di 2° livello ed il valore  $F_a$  di soglia, da cui emerge che l'applicazione della categoria di sottosuolo calcolata ai sensi della normativa antisismica è sufficiente a tenere in considerazione i possibili effetti di amplificazione litologica propri del sito per le strutture con periodo proprio compreso tra 0.1 e 1.5 s (FAC≤FAS).

| <b>Cat. Sottosuolo</b> | <b>Fa (0.1-0.5)</b> |            |                             | <b>Fa (0.5-1.5)</b> |            |                             |
|------------------------|---------------------|------------|-----------------------------|---------------------|------------|-----------------------------|
|                        | <b>FAC</b>          | <b>FAS</b> | <b>Verifica<br/>FAC≤FAS</b> | <b>FAC</b>          | <b>FAS</b> | <b>Verifica<br/>FAC≤FAS</b> |
| <b>C</b>               | 1.7                 | 1.8+0.1    | <b>SI</b>                   | 1.4                 | 2.4 +0.1   | <b>SI</b>                   |

*Tabella 2: Verifica dei fattori di amplificazione di sito.*

Sulla base dei risultati ottenuti dall'applicazione dell'analisi sismica di 2° livello è possibile applicare lo spettro di risposta elastico ai sensi delle NTC18 utilizzando una **categoria di sottosuolo di tipo C** (approccio semplificato).

Sulla base delle caratteristiche topografiche dell'area in esame e di un suo intorno, la categoria topografica è la T1 per cui  $S_T=1.0$ .

## 2.2 Spettro di risposta elastico secondo la normativa antisismica

Di seguito si definiscono gli spettri di risposta elastici previsti dalla normativa antisismica facendo riferimento a quanto contenuto nei *cap. 2 e 3* del *D.M. 17.01.2018* e a quanto riportato nei capitoli precedenti (in particolare i risultati dell'analisi sismica di II livello).

Lo spettro di risposta elastico in accelerazione rappresenta il modello di riferimento per la descrizione del moto sismico in un punto del suolo.

Le ipotesi assunte nella definizione degli spettri di risposta elastici in accelerazione risultano:

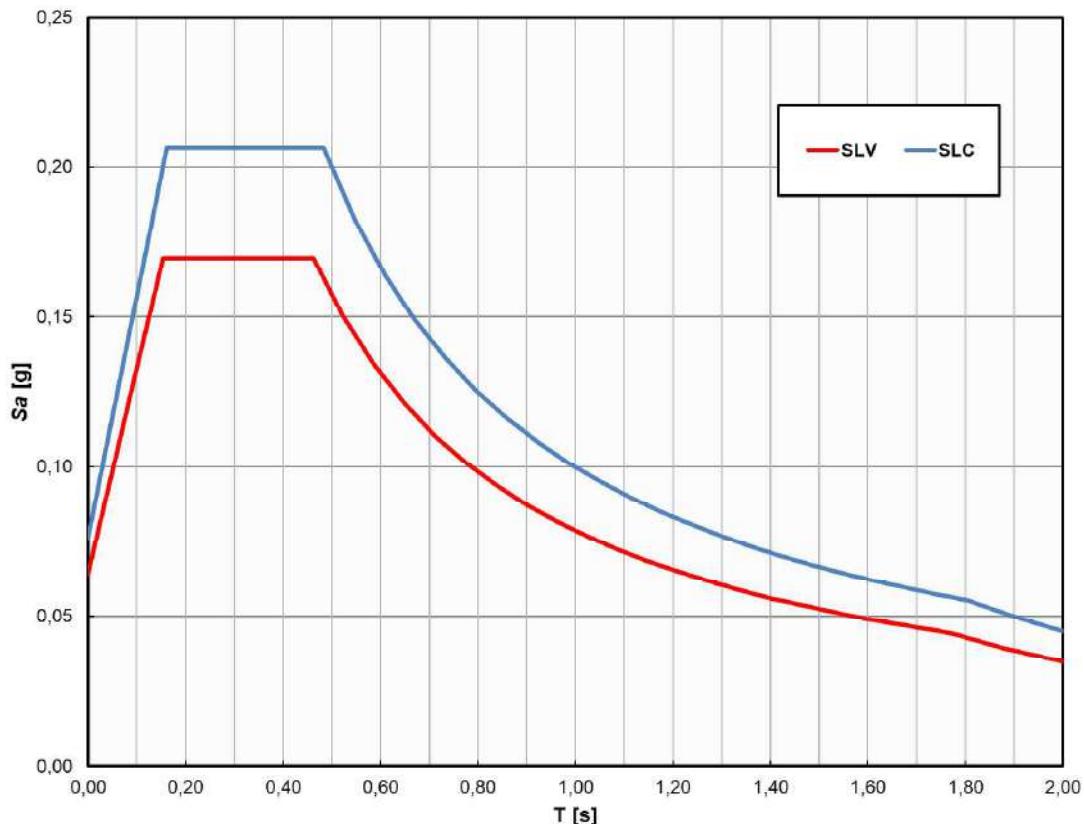
- Vita nominale della struttura: **V<sub>N</sub>= 50 anni**;
- **Classe d'uso = III;**
- Periodo di riferimento per l'azione sismica **V<sub>R</sub>= 75 anni** ( $C_U=1.5$ );
- Valori di accelerazione massima orizzontale e dei parametri spettrali per i diversi stati limite (valori interpolati ottenuti dalla media pesata con i 4 punti della griglia di accelerazioni che comprendono il sito in esame [ED50: 45.786699; 8.903246]):

|            | <b>P<sub>VR</sub></b> | <b>T<sub>R</sub></b> | <b>a<sub>g</sub></b> | <b>F<sub>o</sub></b> | <b>T<sub>c</sub>*</b> |
|------------|-----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|-----------------------|
|            |                       | [anni]               | [g]                  |                      | [s]                   |
| <b>SLO</b> | 81%                   | 45                   | 0.018                | 2.570                | 0.164                 |
| <b>SLD</b> | 63%                   | 75                   | 0.022                | 2.540                | 0.195                 |
| <b>SLV</b> | 10%                   | 712                  | 0.043                | 2.642                | 0.294                 |
| <b>SLC</b> | 5%                    | 1462                 | 0.051                | 2.707                | 0.314                 |

- **Categoria di sottosuolo = C, categoria topografica = T1** ( $S_T=1.0$ ) e coefficiente di smorzamento viscoso  $\xi=5\%$  a cui corrispondono i seguenti valori:

|            | <b>S<sub>s</sub></b> | <b>C<sub>c</sub></b> | <b>S</b> | <b>T<sub>B</sub></b> | <b>T<sub>c</sub></b> | <b>T<sub>d</sub></b> |
|------------|----------------------|----------------------|----------|----------------------|----------------------|----------------------|
|            |                      |                      |          | [s]                  | [s]                  | [s]                  |
| <b>SLO</b> | 1.500                | 1.906                | 1.500    | 0.104                | 0.313                | 1.670                |
| <b>SLD</b> | 1.500                | 1.800                | 1.500    | 0.117                | 0.351                | 1.687                |
| <b>SLV</b> | 1.500                | 1.572                | 1.500    | 0.154                | 0.463                | 1.771                |
| <b>SLC</b> | 1.500                | 1.538                | 1.500    | 0.161                | 0.484                | 1.803                |

In figura 2 si riportano gli spettri di risposta elastici previsti dalla normativa antisismica per lo stato limite di salvaguardia della vita SLV e per lo stato limite di prevenzione del collasso SLC (formule riportate nel paragrafo 3.2.3.2.1).



*Figura 2: Spettri di risposta elastici previsti dalla normativa antisismica per gli stati limite (SLV e SLC) - Categoria sottosuolo C.*

### 2.3 Analisi del potenziale di liquefazione dei terreni di fondazione

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

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

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

La liquefazione di un deposito è dunque il risultato dell'effetto combinato di due principali categorie di fattori: le condizioni del terreno (fattore predisponente) e la sismicità (fattore scatenante).

Ai sensi delle NTC18 (Cap. 7.11.3.4.2) la verifica della liquefazione può essere omessa qualora si manifesti almeno una delle seguenti condizioni:

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

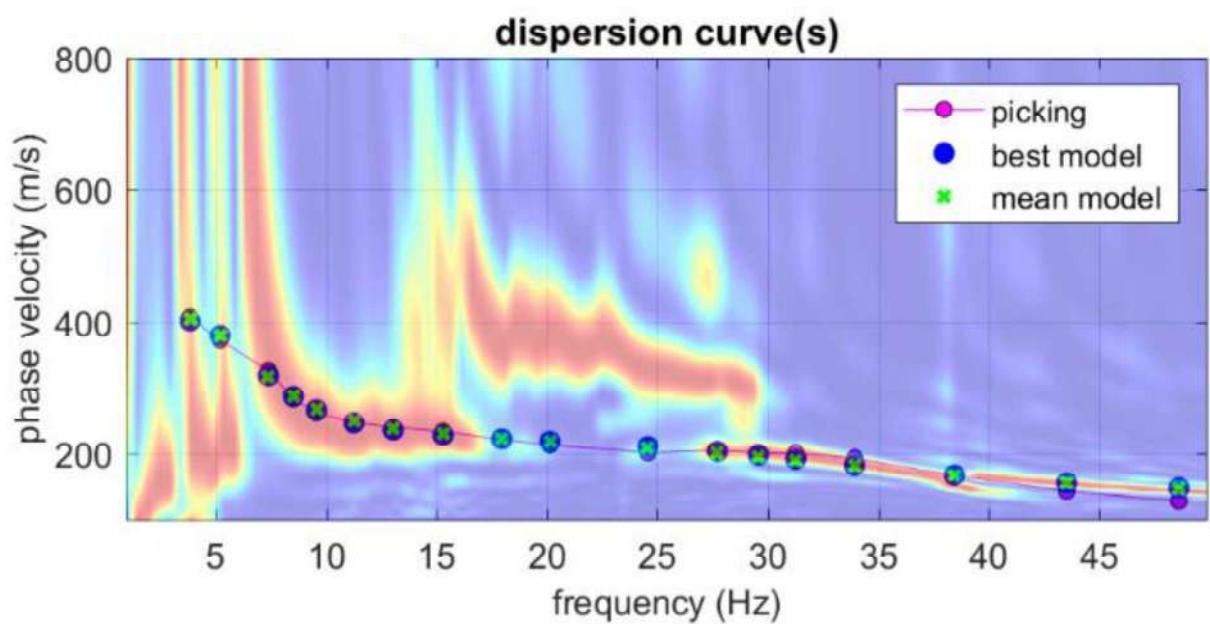
Per l'area in esame risulta:

- ✓ Accelerazione massima orizzontale  $a_{max}=0.064g$  ( $a_{max}=a_g \cdot S$  – tabelle riportate nel paragrafo precedente);
- ✓ Profondità falda: >15 m da piano campagna

Poiché il valore di  $a_{max}$  risulta inferiore a 0,10g e la falda oltre 15 m di profondità (condizioni di esclusione previste dalle NTC18), si può assumere che *i terreni di fondazione non sono soggetti a fenomeni di liquefazione in condizioni sismiche.*

### Indagine MASW

Acq. attiva: 24 geofoni; distanza intergeofonica= 2.0 m, minimum offset= 6-10 m,  $T_s = 1$  msec,  $T_L = 2$  sec.



## **PARTE TERZA: STUDIO GEOTECNICO**

### **3.1 Indagine geognostica: modalità esecutive e criteri interpretativi**

Come accennato in premessa, la campagna di indagini si è avvalsa dei risultati di:

- n. 4 prove eseguite con penetrometro dinamico continuo di tipo superpesante (DPSH), spinte ad una profondità massima di ca. 7.5 m da piano campagna;
- n. 3 sondaggi a carotaggio continuo, spinti alla profondità massima di 12 m con numerose prove speditive SPT (nei depositi incoerenti), prove Vane Test e il prelievo di n. 2 campioni rimaneggiati per la determinazione in laboratorio della permeabilità.

L'ubicazione di tutte le indagini è riportata in *Allegato 6*.

#### **Prove penetrometriche statiche a punta meccanica (CPT)**

L'indagine mediante penetrometro statico consiste nel misurare la resistenza alla penetrazione di una punta conica di dimensioni e caratteristiche standard, infissa a velocità costante nel terreno.

L'attrezzatura è costituita da un dispositivo idraulico di spinta che agisce in modo alternato sulla punta e su un manicotto collegato: la prova è quindi discontinua e le misure di resistenza sono eseguite ed annotate ogni 20 cm di penetrazione.

Sulle aste è stato installato un dispositivo (anello allargatore) per ridurre l'effetto dell'attrito del terreno e facilitare l'approfondimento a parità di spinta disponibile.

Vengono così rilevati ad intervalli costanti (20 cm):

- la Rp o resistenza all'avanzamento della sola punta;
- la R<sub>l</sub> tot, ovvero la resistenza complessiva all'avanzamento della punta e del manicotto di dimensioni note.

La documentazione allegata comprende sia copia delle letture eseguite direttamente dallo strumento penetrometrico, sia i grafici secondo le seguenti coppie di valori:

- Rp (o qc) / profondità;
- R<sub>l</sub> / profondità.

Dall'analisi dei risultati ed attraverso il rapporto Rp/R<sub>l</sub> è stato possibile risalire con una certa approssimazione alla natura litologica dei terreni attraversati, utilizzando come discriminante il metodo suggerito da Begemann (1965); in particolare l'Autore suggerisce le seguenti correlazioni:

| Rapporto Rp/Ri  | Litologia                       |
|-----------------|---------------------------------|
| qc/fs < 15      | Torba o argilla organica        |
| 15 < qc/fs < 30 | Limo o argilla inorganica       |
| 30 < qc/fs < 60 | Limo sabbioso o sabbia limosa   |
| qc/fs > 60      | Sabbia pulita o sabbia e ghiaia |

Tuttavia, va ricordato che tali correlazioni assumono maggior attendibilità per terreni immersi in falda e che, sebbene l'indagine penetrometrica tipo CPT fornisca dati geotecnici affidabili, le informazioni sulla natura litologica e granulometrica dei terreni derivano sostanzialmente da correlazioni di tipo empirico.

Nell'interpretazione dei risultati, le prove penetrometriche sono state assimilate a prove rapide in condizioni di drenaggio impedito e, nella definizione del comportamento geotecnico, è stata adottata una distinzione fondamentale fra terreni incoerenti (resistenza al taglio caratterizzata dal solo angolo di attrito) e terreni fini (resistenza al taglio caratterizzata soprattutto dall'esistenza di legami coesivi).

Per quanto concerne la definizione dei parametri geotecnici, utilizzando le più note e diffuse correlazioni basate sui dati CPT si è proceduto al calcolo di:

- angolo di attrito interno ( $\phi$ ) e del modulo di deformazione (E) per i terreni incoerenti;
- coesione non drenata ( $C_u$ ) e modulo edometrico ( $E_d$ ) per i terreni coesivi.

I metodi utilizzati per il calcolo dei parametri geotecnici (i cui risultati sono stati successivamente rivisti in modo critico) sono di seguito illustrati.

**ANGOLO DI RESISTENZA AL TAGLIO  $\phi$**

Per stimare questo parametro sono stati utilizzati differenti metodi in cui l'angolo di attrito è calcolato in funzione della resistenza alla punta e della tensione verticale efficace, successivamente confrontati fra loro; in particolare:

Metodo di CAQUOT: 
$$\phi = 9,8 + 4,96 \cdot \ln\left(\frac{q_c}{\sigma'_v}\right)$$

Metodo di KOPPEJAN: 
$$\phi = 5,8 + 5,21 \cdot \ln\left(\frac{q_c}{\sigma'_v}\right)$$

Metodo di DE BEER: 
$$\phi = 5,9 + 4,76 \cdot \ln\left(\frac{q_c}{\sigma'_v}\right)$$

**DENSITÀ RELATIVA DR.**

Definisce il grado di addensamento dei terreni attraversati; sono stati utilizzati i seguenti metodi:

HARMAN: questa correlazione è valida per tutti i tipi di sabbia e prevede di valutare la densità relativa in funzione della resistenza alla punta e della tensione verticale efficace.

$$D_r = 34,36 \cdot \ln \left( \frac{q_c}{12,3 \cdot \sigma'_v^{0,7}} \right)$$

In cui:

$\sigma'_v$  : tensione verticale efficace

$q_c$  : resistenza alla punta

SCHMERTMANN: questa correlazione è valida per tutti i tipi di suolo e prevede di valutare la densità relativa in funzione della resistenza alla punta e della tensione verticale efficace.

$$D_r = -97,8 + 36,6 \cdot \ln q_c - 26,9 \cdot \ln \sigma'_v$$

**COESIONE NON DRENATA CU.**

E' stato utilizzato il metodo empirico proposto da Lunne e Eide (valido, ovviamente solo per i terreni coesivi):

$$Cu \text{ (Kg/cm}^2\text{)} = (Rp - \sigma v) / K$$

con K = costante compresa fra 12 e 19 (in funzione della plasticità)

**MODULO DI DEFORMAZIONE E.**

Definisce il valore del modulo di Young utilizzando la seguente correlazione empirica (Schmertmann)

$$E \text{ (Kg/cm}^2\text{)} = 2,5 * Rp$$

**MODULO EDOMETRICO ED.**

E' stato calcolato attraverso:

- la correlazione empirica Rp-Cu definita dalla seguente relazione, valida come stima di primo riferimento per i terreni coesivi in genere (dai limi plastici alle argille):

$$Ed(kg * cm^{-2}) = e^{3,12+1,08Cu}$$

- la correlazione di Mitchell & Gardner (1975):

$$Ed(kg / cmq) = \alpha Rp$$

dove Rp è la resistenza alla punta e  $\alpha$  è un coefficiente variabile in funzione del tipo di terreno.

**PESO DI VOLUME NATURALE  $\gamma_n$ .**

È stato assunto un valore medio di  $\gamma_n$  caratteristico secondo dati di letteratura per il tipo di terreno attraversato.

### **Sondaggi a carotaggio continuo**

Per ricostruire correttamente il modello geologico e geotecnico locale sono stati eseguiti n. 3 sondaggi a carotaggio continuo spinti alla profondità massima di 12 m rispetto al piano campagna, all'interno dei quali sono state eseguite numerose prove S.P.T. (Standard Penetration Test) in avanzamento, a punta aperta secondo la normativa standard ISSMFE. Il materiale, carotato e collocato in apposite cassette catalogatrici di 5 metri ciascuna, è stato descritto, valutato e fotografato. Le stratigrafie ricostruite e la documentazione fotografica sono presentate in *Allegato 7*.

### **Prove tipo S.P.T.**

La prova S.P.T. consiste nell'infissione, mediante battitura con un maglio standard, di un campionatore a pareti sottili, registrando il numero di colpi necessario per produrne l'infissione, per tre intervalli di 15 cm ciascuno. Dalla prova si ottengono tre valori ( $N_1$ ,  $N_2$ ,  $N_3$ ): si assume quale resistenza alla penetrazione il parametro  $N_{SPT}=N_2+N_3$ ; il primo valore annotato viene scartato in quanto risente del disturbo sul fondo foro derivante dall'esecuzione del sondaggio.

In fase di elaborazione dei dati, inoltre, si deve considerare che i risultati ottenuti sono influenzati dalle modalità di esecuzione della prova, in particolare dai vari dispositivi di infissione e dalla tensione verticale efficace del terreno alla profondità di esecuzione della prova. Tenendo conto di questi fattori è stato quindi calcolato il valore normalizzato di  $N_{SPT}$ , ovvero  $(N_1)_{60}$ , mediante la seguente espressione:

$$(N_1)_{60} = C_N (ER/60) \cdot \lambda \cdot N_{SPT}$$

In cui:

$C_N$  = coefficiente di correzione dipendente dal valore di  $\sigma'_{vo}$  [Liao & Whitman, 1986];

$\sigma'_{vo}$  = pressione efficace alla quota di esecuzione della prova;

ER = rendimento medio del dispositivo di infissione espresso in percentuale (nello specifico caso: 60%);

$\lambda$  = parametro che tiene conto della perdita di energia per la lunghezza delle aste.

Di seguito si riportano i valori di resistenza  $(N_1)_{60}$  calcolati per i singoli sondaggi ed il grafico dei valori di  $(N_1)_{60}$  in funzione della profondità (*Figura 1*).

| Sondaggio |  | SA             |                |                |                  |                 |                                 |
|-----------|--|----------------|----------------|----------------|------------------|-----------------|---------------------------------|
| z [m]     |  | N <sub>1</sub> | N <sub>2</sub> | N <sub>3</sub> | N <sub>SPT</sub> | N <sub>60</sub> | Litologia                       |
| 1,5       |  | 1              | 3              | 3              | 6                | 6               | limo sabbioso argilloso         |
| 3         |  | 5              | 5              | 5              | 10               | 10              | limo sabbioso/ghiaiosa          |
| 4,5       |  | 4              | 5              | 8              | 13               | 13              | ghiaia sabbiosa                 |
| 6         |  | 14             | 14             | 14             | 28               | 28              | sabbia con limo ghiaiosa        |
| 7,5       |  | 6              | 9              | 11             | 20               | 18              | sabbia grossa limosa ghiaiosa   |
| 9         |  | 16             | 19             | 10             | 29               | 23              | sabbia grossa con ghiaia limosa |
| 10,5      |  | 9              | 9              | 9              | 18               | 14              | sabbia grossa con limo ghiaiosa |
| 12        |  | 8              | 8              | 3              | 11               | 8               | sabbia grossa con limo ghiaiosa |

*Risultati delle prove S.P.T. eseguite nel foro di sondaggio SA e valori di (N<sub>1</sub>)<sub>60</sub> calcolati.*

| Sondaggio |  | SB             |                |                |                  |                 |                                    |
|-----------|--|----------------|----------------|----------------|------------------|-----------------|------------------------------------|
| z [m]     |  | N <sub>1</sub> | N <sub>2</sub> | N <sub>3</sub> | N <sub>SPT</sub> | N <sub>60</sub> | Litologia                          |
| 1,5       |  | 1              | 1              | 17             | 18               | 18              | limo argilloso                     |
| 3         |  | 10             | 15             | 16             | 31               | 31              | sabbia con ghiaia limosa argillosa |
| 4,5       |  | 3              | 8              | 11             | 19               | 19              | sabbia con limo ghiaiosa           |
| 6         |  | 3              | 6              | 10             | 16               | 16              | sabbia grossa ghiaiosa             |
| 7,5       |  | 6              | 7              | 10             | 17               | 15              | ghiaia con sabbia grossa           |
| 9         |  | 15             | 25             | 16             | 41               | 33              | ghiaia con sabbia grossa limosa    |
| 10,5      |  | 16             | 14             | 18             | 32               | 25              | sabbia grossa ghiaiosa limosa      |
| 12        |  | 12             | 12             | 20             | 32               | 24              | sabbia grossa ghiaiosa limosa      |

*Risultati delle prove S.P.T. eseguite nel foro di sondaggio SB e valori di (N<sub>1</sub>)<sub>60</sub> calcolati.*

| Sondaggio |  | SC             |                |                |                  |                 |                          |
|-----------|--|----------------|----------------|----------------|------------------|-----------------|--------------------------|
| z [m]     |  | N <sub>1</sub> | N <sub>2</sub> | N <sub>3</sub> | N <sub>SPT</sub> | N <sub>60</sub> | Litologia                |
| 3         |  | 2              | 7              | 12             | 19               | 19              | sabbia con ghiaia limosa |
| 6         |  | 4              | 8              | 11             | 19               | 19              | sabbia ghiaiosa          |
| 9         |  | 12             | 11             | 17             | 28               | 23              | sabbia grossa con ghiaia |

*Risultati delle prove S.P.T. eseguite nel foro di sondaggio SC e valori di (N<sub>1</sub>)<sub>60</sub> calcolati.*

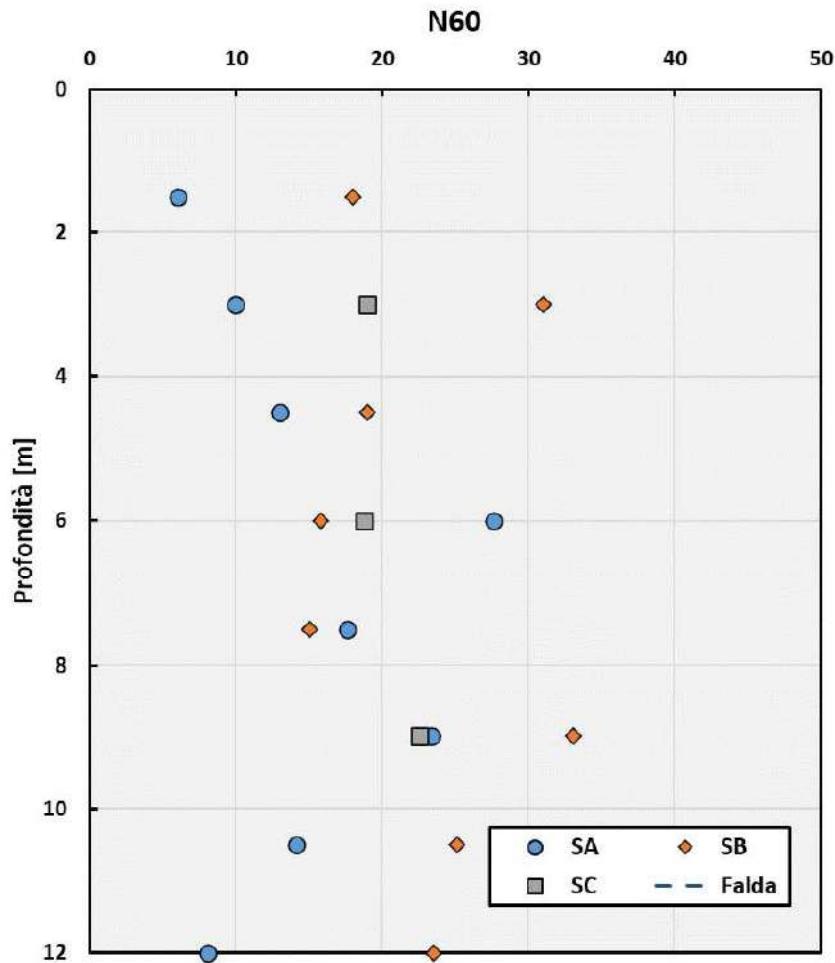


Figura 1 – Valori di  $(N_1)_{60}$  determinati nel corso dell'indagine in funzione della profondità.

Per la stima dei parametri geotecnici si è fatto ricorso alle correlazioni di De Mello (1971) e di Shioi&Fukuni (1982) per l'angolo di attrito; per il calcolo del modulo di Young sono state utilizzate le relazioni di Schmertmann (1978), di Schultze e Menzebach (1961) e di Bowles (1988). I valori ricavati dalle prove S.P.T. hanno contribuito allo sviluppo del modello geotecnico unitamente ai risultati delle prove penetrometriche.

### 3.1 Prove di permeabilità

Per la determinazione dei valori di permeabilità dei terreni (utile per il dimensionamento di sistemi disperdenti delle acque meteoriche) sono state eseguite specifiche prove di laboratorio su campioni di terreno prelevati nei sondaggi SA e SB.

I risultati delle prove (referti riprodotti in *Allegato 9*) definiscono i seguenti valori di permeabilità (K):

Sondaggio SA (3-4 m di profondità) –  $K=2.5 \times 10^{-6}$  cm/s

Sondaggio SB (2,3-3 m di profondità –  $K= 3.2 \times 10^{-6}$  cm/s

Dai risultati si evince come la permeabilità sia governata, in entrambi i campioni, dalla diffusa matrice limosa/argillosa che caratterizza i depositi più superficiali, convergendo sui valori già noti in letteratura per la specifica granulometria (*Figura 1*).

| $k$ (cm/s)             | $10^2$        | 10                                                    | 1           | $10^{-1}$                | $10^{-2}$                                 | $10^{-3}$                   | $10^{-4}$    | $10^{-5}$ | $10^{-6}$ | $10^{-7}$ | $10^{-8}$  | $10^{-9}$  |
|------------------------|---------------|-------------------------------------------------------|-------------|--------------------------|-------------------------------------------|-----------------------------|--------------|-----------|-----------|-----------|------------|------------|
| $k$ (m/s)              | 1             | $10^{-1}$                                             | $10^{-2}$   | $10^{-3}$                | $10^{-4}$                                 | $10^{-5}$                   | $10^{-6}$    | $10^{-7}$ | $10^{-8}$ | $10^{-9}$ | $10^{-10}$ | $10^{-11}$ |
| Classi di permeabilità | EE            | Elevata                                               | Buona       | Discreta                 | Bassa                                     | BB                          | Impermeabile |           |           |           |            |            |
| Tipi di terreno        | Ghiaie pulite | Sabbie grossolane pulite e miscele di sabbie e ghiaie | Sabbie fini | Miscele di sabbie e limi | Limi argilosì e sabbiosi, fanghi argilosì | Argille omogenee e compatte |              |           |           |           |            |            |

*Figura 1 - Classi di permeabilità (tratta da: Casadio & Elmi, 1995).*

### 3.2 Modello geotecnico di riferimento

Nella ricostruzione della stratigrafia e del modello geotecnico locale sono emersi i seguenti aspetti:

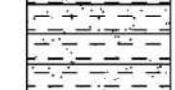
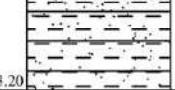
- 1) il substrato delle strutture in progetto è costituito da terreni fini (limi argilosì/sabbiosi) a copertura di depositi prevalentemente grossolani;
- 2) durante l'esecuzione delle prove in situ non è stata rilevata acqua di falda entro le profondità indagate (in accordo con le informazioni sito-generiche del P.G.T di Binago che suggeriscono una soggiacenza di 15 m ca.)

Sulla base delle prove eseguite è stato ricostruito il seguente modello geotecnico, rappresentativo dell'area in esame e punto di partenza per le elaborazioni successive.

|                |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
|----------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Unità R</b> | L'Unità R è costituita da un esile orizzonte di materiale di riporto e/o terreno vegetale rilevato sino ad una profondità massima di ca. 0,8-1,0 m da piano campagna.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
| <b>Unità A</b> | È un'alternanza di orizzonti limosi con una subordinata frazione argillosa/sabbiosa ed altri più francamente argillosi, di scadenti caratteristiche geotecniche; Rielaborando i valori di $R_p$ , sono stati calcolati angoli di attrito $\phi=22-23^\circ$ con moduli di deformazione $E=30-40 \text{ kg/cm}^2$ (orizzonti incoerenti o semi-coesivi) e valori di coesione $C_u= 0.3-0.4 \text{ kg/cm}^2$ con moduli edometrici $E_d=30-40 \text{ kg/cm}^2$ . Considerate le caratteristiche geotecniche e la sua disomogeneità, l'unità A è scarsamente compatibile con strutture di fondazione di tipo diretto.                                                                       |
| <b>Unità B</b> | <p>Alla base dell'Unità A (rilevata a ca. 3.0 m di profondità), si sviluppa un deposito granulare eterometrico (sabbia e ghiaia in matrice limosa) mediamente addensato e di discrete caratteristiche geotecniche, per il quale sono stati calcolati angoli d'attrito <math>\phi=28-30^\circ</math> e moduli elastici <math>E=150-200 \text{ kg/cm}^2</math>.</p> <p>Alla base del deposito (a una profondità di ca. 10-12 m da piano campagna), si segnala una lente di sabbia/limosa di proprietà più scarse (<math>\phi=27^\circ</math>; <math>E=140 \text{ kg/cm}^2</math>).</p> <p>L'Unità B si sviluppa sino ad una massima profondità rilevata di ca. 12 m da piano campagna.</p> |
| <b>Unità C</b> | A profondità compresa tra 8-12 m dall'attuale piano campagna, affiora un deposito di sabbia e ghiaia (con frazione limosa subordinata) ben addensato e di buone proprietà geotecniche ( $\phi=31-33^\circ$ ; $E=250-400 \text{ kg/cm}^2$ ).                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |

Il profilo stratigrafico (SA) utilizzato per la definizione della risposta geotecnica alle previste strutture di fondazione è rappresentato nella seguente immagine; l'articolazione stratigrafica delle unità, invece, è descritta nelle sezioni geotecniche in *Allegato 6*.

Profondità della falda da pc (m): assente

| Profondità (m) | Colonna stratigrafica                                                             | Descrizione                                                     | Modulo edometrico coesivi (kg/cmq) | Modulo di Young (kg/cmq) | Peso di volume naturale (t/mc) | Coesione non drenata (kg/cmq) | Angolo di attrito (°) |
|----------------|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------|------------------------------------|--------------------------|--------------------------------|-------------------------------|-----------------------|
| 1.00           |  | Unità R: Riporto/ Terreno vegetale                              | nc                                 | nc                       | 1.6                            | nc                            | nc                    |
| 3.20           |  | Unità A: Alternanza di limo sabbioso/argilloso e argilla limosa | nc                                 | 40                       | 1.8                            | nc                            | 23                    |
| 10.20          |  | Unità B: Sabbia con ghiaia limosa                               | nc                                 | 180                      | 1.8                            | nc                            | 29                    |
| 12.00          |  | Intercalazione di sabbia con limo                               | nc                                 | 140                      | 1.8                            | nc                            | 27                    |
|                |                                                                                   |                                                                 |                                    |                          |                                |                               |                       |

### 3.3 Valutazione degli Stati Limite Ultimi (SLU) e di Esercizio (SLE) geotecnico: stima della capacità portante e dei cedimenti dei terreni di fondazione

Nel corso della verifica di cui al presente studio è stata calcolata la capacità portante in condizioni di SLU (stato limite ultimo) secondo la procedura del D.M. 17.01.2018.

Per stato limite s'intende una particolare condizione raggiunta la quale l'opera non è più in grado di svolgere la funzione per cui è stata progettata. Si definisce come **stato limite ultimo** (SLU) la condizione oltre la quale si verifica una situazione di collasso (per esempio quando il carico applicato supera la capacità portante del sistema terreno-fondazione); il termine **stato limite di esercizio** viene invece usato nel caso si esamini una situazione in cui, pur non verificandosi il collasso, l'opera subisce lesioni tali da risultare inutilizzabile.

Sulla base del modello geotecnico innanzi descritto e rappresentato nel precedente profilo verticale, è stata valutata la risposta dei terreni ipotizzando un *plinto a base quadrata con eccentricità nulla, posato entro l'Unità B ed un incastro nei terreni (“D”) pari ad almeno 1.0 m* alla profondità di 2 m rispetto al piano di progetto.

*In fase esecutiva la D.L. dovrà verificare che il piano di posa delle fondazioni raggiunga effettivamente l'Unità B, evitando interazioni con i terreni limosi/argillosi/sabbiosi superficiali di caratteristiche geotecniche scadenti (Unità A) che produrrebbero insidiose reazioni ai carichi strutturali e comportamenti differenziali. Qualora la profondità di affioramento dei depositi sabbioso-ghiaiosi fosse eccessiva per le esigenze progettuali, si potranno eseguire circostanziati interventi di bonifica geotecnica, asportando il terreno indesiderato e riportando materiale di caratteristiche idonee (quali, ad esempio, prismi di calcestruzzo magro sotto le fondazioni).*

Si precisa che non dovranno essere confusi la profondità di posa (rispetto al piano campagna) e l’“incastro nei terreni (D)”, da cui deriva il fattore “ $\gamma D$ ” (nell'espressione polinomia della formula di capacità portante); quest'ultimo esprime il contrasto al cuneo di rottura dei terreni posti sopra il piano di posa della struttura. Sarà quindi necessario valutare la presenza di eventuali massetti, pavimentazioni, vespai, riporti ecc. a lato/sopra la fondazione, i quali concorrono in modo incerto o insignificante nella determinazione della capacità portante.

Per la valutazione del carico limite, si è fatto ricorso all'espressione trinomia di Terzaghi (programma di calcolo Loadcap):

$$q_d = c N_c s_c + \gamma_1 D N_q + 0.5 \gamma_2 B N_\gamma s_\gamma$$

dove

$\gamma_{1,2}$  = peso di volume medio rispettivamente sopra e sotto il piano di posa

c = coesione del terreno

D = profondità di posa della fondazione

B = larghezza della fondazione (dimensione del lato corto)

$N_c$  ,  $N_q$  ,  $N_\gamma$  = coefficienti adimensionali legati rispettivamente al contributo del terreno coesivo, al terreno posto sopra al piano di posa della fondazione ed agli strati di coesione nulla

$s_c$  ,  $s_\gamma$  = fattori adimensionali legati alla forma della fondazione

Le verifiche di sicurezza nei confronti degli stati limite ultimi sono state condotte tenendo conto dei coefficienti parziali per le azioni (A1), per i parametri geotecnici (M1) e per le resistenze (R3), riportati nelle tabelle 6.2.I, 6.2.II del citato D.M. 17.01.2018 (NTC2018).

Le verifiche allo SLU sono avvenute seguendo l'**APPROCCIO 2**, costituito dalla combinazione  $A1+M1+R3$ .

Secondo normativa si raggiunge un adeguato grado di sicurezza quando risulta verificata la relazione:

$$R_d/E_d \geq 1$$

I valori di progetto delle azioni ( $E_d$ ) andranno calcolati utilizzando gli opportuni coefficienti parziali  $\gamma_G$  (carichi permanenti) e  $\gamma_Q$  (carichi variabili) da applicare ai carichi trasmessi dalla sovrastruttura alla fondazione.

**STATI LIMITE ULITIMI (SLU) GEOTECNICI: VALUTAZIONE DELLA CAPACITA'  
PORTANTE**

**FONDAZIONE A PLINTO**

Tipologia di fondazione = plinto a base quadrata con eccentricità nulla

Incastro minimo della fondazione nei terreni (D) = 1 m

Piano di posa minimo = 2 m

Terreno di fondazione = **Unità B (da verificare in fase esecutiva a cura della D.L.)**

***Approccio 2 (A1+M1+R3)***

coeffienti parziali applicati:  $\gamma_y = 1$ ;  $\gamma_c = 1$ ;  $\gamma_\phi = 1$ ;  $\gamma_R = 2,3$

La resistenza  $R_d$  del sistema geotecnico ponendo  $R_d = q_{lim}^*(B^*L)/\gamma_R$  è:

| B [cm] | L [cm] | $q_{lim}$ [kg*cm <sup>-2</sup> ] | $q_{lim}$ [kPa] | $\gamma_R$ | $q_{lim}/\gamma_R$ [kg*cm <sup>-2</sup> ] | $q_{lim}/\gamma_R$ [kPa] | $R_d$ [kg*10 <sup>3</sup> ] | $R_d$ [kN] |
|--------|--------|----------------------------------|-----------------|------------|-------------------------------------------|--------------------------|-----------------------------|------------|
| 250    | 250    | 6,32                             | 619,78          | 2,3        | 2,75                                      | 269,47                   | 171,74                      | 1684,19    |
| 300    | 300    | 6,94                             | 680,58          | 2,3        | 3,02                                      | 295,91                   | 271,57                      | 2663,15    |
| 350    | 350    | 7,56                             | 741,38          | 2,3        | 3,29                                      | 322,34                   | 402,65                      | 3948,67    |
| 400    | 400    | 8,19                             | 803,16          | 2,3        | 3,56                                      | 349,20                   | 569,74                      | 5587,23    |

**STATI LIMITE D'ESERCIZIO (SLE) GEOTECNICI: VALUTAZIONE DEI CEDIMENTI**

In fase di verifica sono stati stimati i cedimenti assoluti ricorrendo al programma di calcolo “Settle3” di Rocscience, la cui compatibilità con la struttura in elevazione andrà verificata in fase di progettazione strutturale.

*Nella seguente tabella si riportano le sole azioni (Ed) in grado di contenere i cedimenti entro i limiti suggeriti dalla geotecnica tradizionale (25-30 mm).*

| B [cm] | L [cm] | Ed [kg*cm <sup>-2</sup> ] | Ed [kPa] | Ed [kg*10 <sup>3</sup> ] | Ed [kN] | Cedimento S (mm) |
|--------|--------|---------------------------|----------|--------------------------|---------|------------------|
| 250    | 250    | 2,05                      | 201,04   | 128,13                   | 1256,48 | 28-30            |
| 300    | 300    | 1,85                      | 181,42   | 166,50                   | 1632,81 | 30-32            |
| 350    | 350    | 1,53                      | 150,04   | 187,43                   | 1838,01 | 29-31            |
| 400    | 400    | 1,32                      | 129,45   | 211,20                   | 2071,16 | 27-29            |

Va comunque ricordato come per la determinazione degli SLE in termini geotecnici sia necessaria una interazione tra valutazioni geotecniche ed esigenze strutturali/progettuali: i cedimenti, infatti, sono funzione sia della geometria della fondazione che dei carichi applicati (azioni progettuali) mentre la massima deformazione accettabile dalla sovrastruttura non può che essere definita nel progetto strutturale. Le informazioni sui cedimenti, pertanto, non sono da considerarsi una valutazione definitiva sugli SLE geotecnici, bensì un primo approccio indispensabile per la loro determinazione.

### **3.4 Formazione del cassonetto del piazzale e del fabbricato**

Secondo il capitolato standard di LIDL, il cassonetto deve avere uno spessore di almeno 55 cm (piazzale) e di 50 cm (fabbricato) ed essere costituito da due strati:

- uno strato di fondazione, di 40 cm di spessore minimo, in misto granulare naturale o equivalente di materiale riciclato (conforme alla Circolare MinAmbiente n. 5205 del 15/07/2005);
- uno strato di base, di 15 cm (piazzale) o di 10 cm (fabbricato) di spessore, in misto granulare stabilizzato.

I terreni impiegati, gli spessori e il grado di costipamento dovranno comunque garantire, nel loro complesso, la stabilità del piazzale al passaggio dei mezzi pesanti (45 tonnellate). A compattazione avvenuta del cassonetto standard si suggerisce di ottenere le seguenti prestazioni minime:

**STRATO DI FONDAZIONE**: modulo di deformazione  $Md1 \geq 70 \text{ MPa}$  e grado di compattazione  $Md2/Md1 \leq 2,5$  verificati con prove di carico su piastra con ciclo per “strato di fondazione”; le prestazioni potranno essere ottenute anche ricorrendo a un misto granulare miscelato con cemento in percentuale da definire a cura della D.L.;

**STRATO DI BASE**: modulo di deformazione  $Md1 \geq 80 \text{ MPa}$  e grado di compattazione  $Md2/Md1 \leq 2,2$ , verificati con prove di carico su piastra con ciclo per “strato di base”.

I moduli di deformazione e i rapporti fra i moduli (al primo e al secondo ciclo di carico) andranno determinati con prove di carico a doppio ciclo con piastra circolare secondo normativa CNR B.U. A. XXVI n°146 – 1992. Le prove di carico su piastra dovranno essere eseguite in ragione di una prova ogni 500 mq nelle corsie di maggior transito e almeno una in zona rampa (per un totale minimo di n. 4 prove di carico su piastra per ciascuno strato sull’intero piazzale e altrettante nella zona del fabbricato).

Secondo la buona pratica geotecnica salvo diverse e più restrittive prescrizioni motivate in sede di progettazione dalla necessità di garantire la stabilità del rilevato, il modulo di deformazione  $Md$ , determinato sul piano di posa (naturale o bonificato) secondo la norma CNR 146/92 al primo ciclo di carico nell’intervallo compreso tra  $0,05 \div 0,15 \text{ N/mm}^2$ , deve risultare non inferiore a:

- 15 Mpa (valore minimo per consentire il corretto costipamento degli strati soprastanti), quando la distanza del piano di posa del rilevato rispetto al piano di appoggio della pavimentazione è maggiore di 2,00 m;

- 20 Mpa, quando la distanza del piano di posa del rilevato rispetto al piano di appoggio della pavimentazione è compresa tra 1,00 e 2,00 m;
- 30 Mpa, quando la distanza del piano di posa del rilevato rispetto al piano di appoggio della pavimentazione è compresa tra 0,50 e 1,00 m;
- per distanze inferiori a 0,50 m si applicano i requisiti richiesti ai sottofondi.

***Sarà quindi necessario verificare preventivamente i moduli di deformazione dei terreni di sottofondo alla sovrastruttura (cassonetto) che, almeno parzialmente, potrebbe già rispondere ai requisiti prestazionali dei terreni di sottofondo richiesti da LIDL; in difetto rispetto alle prestazioni sopra indicate, si dovranno adottare specifici interventi di trattamento volti a irrigidire e stabilizzare il piano di appoggio del rilevato.***

### 3.5 Suggerimenti e considerazioni conclusive

Sulla scorta di quanto sopra definito, in fase progettuale ed esecutiva sarà necessario rammentare quanto segue:

1. La capacità portante di un terreno, e conseguentemente la sua resistenza, è funzione diretta oltre che delle caratteristiche geotecniche anche della geometria della fondazione; qualora venissero significativamente variate le caratteristiche geometriche rispetto a quelle ipotizzate sarà necessario verificare nuovamente la risposta geotecnica.
2. Nel caso di carichi eccentrici agenti sulla fondazione, dovrà essere debitamente valutata la riduzione delle prestazioni geotecniche che da essi può derivare.
3. Per quanto concerne gli stati limite d'esercizio, questi consentiranno di definire forma, dimensioni e rigidezza della struttura di fondazione nel rispetto delle esigenze progettuali dell'opera. Come per la capacità portante, anche l'entità dei cedimenti calcolata nei paragrafi precedenti deve intendersi come una stima di primo riferimento per la definizione dello stato limite di esercizio (ai sensi della normativa vigente), da rivedersi in funzione della compatibilità con i requisiti prestazionali della struttura in elevazione.
4. In fase esecutiva la D.L. dovrà verificare che il piano di posa delle fondazioni raggiunga l'Unità B, evitando interazioni con i terreni limosi/argillosi/sabbiosi superficiali di caratteristiche geotecniche scadenti (Unità A) per sottrarsi a insidiose reazioni e comportamenti differenziali. Qualora la profondità di affioramento dei depositi sabbioso/ghiaiosi fosse eccessiva per le esigenze progettuali, si potranno eseguire circostanziati interventi di bonifica geotecnica, asportando il terreno indesiderato e riportando materiale di caratteristiche idonee (tipicamente realizzando dei prismi di calcestruzzo magro).

Codogno, 30.06.2023



GEOLAMBDA Engineering S.r.l.  
dott. geol. Marco Daguati

A handwritten signature in black ink, appearing to read "Marco Daguati".

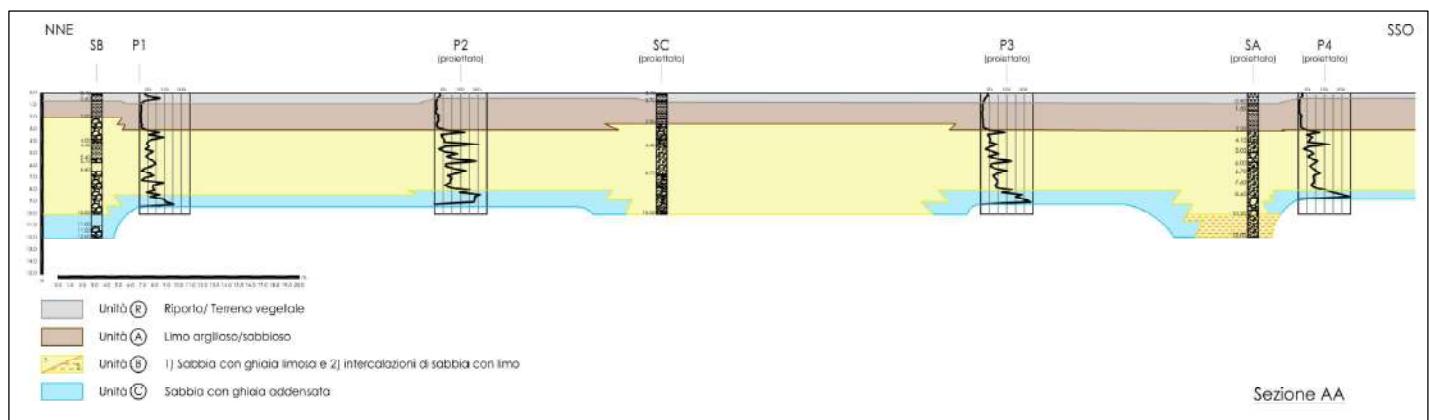
*LIDL Italia S.r.l.  
Comune di Binago (CO)*

### **ALLEGATO 6 – Ubicazione delle indagini e sezioni geotecniche**

- Sondaggi geotecnici
- Prove penetrometriche
- ✓ Sezione geotecnica



LIDL Italia S.r.l.  
 Comune di Binago (CO)  
**Sezione AA**



**ALLEGATO 7 – Sondaggi**

**DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA**



*Postazione del sondaggio SA*



*Cassetta catalogatrice 0-5 m*



*Cassetta catalogatrice 5-10 m*



*Cassetta catalogatrice 10-12 m*

|                                                                          |                                     |                                              |                  |                 |
|--------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------|----------------------------------------------|------------------|-----------------|
| GEOLAMBDA<br>Engineering S.r.l.<br>Via A. Diaz, 22<br>26845 Codogno (LO) | Committente:<br>Località:<br>Scala: | Lidl Italia S.r.l.<br>Binago (CO)<br>grafica | Data: 23/05/2023 | Sondaggio n. SA |
|--------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------|----------------------------------------------|------------------|-----------------|

| Attrezzatura e metodo di perforazione:         |                                                      |                                  |
|------------------------------------------------|------------------------------------------------------|----------------------------------|
| <input type="checkbox"/> Campione rimaneggiato | <input type="checkbox"/> Campione a percussione      | <input type="checkbox"/> LEFRANC |
| <input type="checkbox"/> Campione S.P.T.       | <input type="checkbox"/> Campione ind. a percussione | prova di permeabilità            |
| <input type="checkbox"/> Campione da Vane Test | <input type="checkbox"/> Campione ind. rotativo      | <input type="checkbox"/> LUGEON  |

| Quota di riferimento(m) | Profondità (m) | Sezione terreno | Campione | Descrizione litologica          | Piezometro | Completamento | Falda (m) | S.P.T. | 20% /% Carotaggio | Packet Test (Kg/cm <sup>2</sup> ) | Max | Vane test | Residuo (Kg/cm <sup>2</sup> ) |  |
|-------------------------|----------------|-----------------|----------|---------------------------------|------------|---------------|-----------|--------|-------------------|-----------------------------------|-----|-----------|-------------------------------|--|
|                         |                |                 |          |                                 |            |               |           |        |                   |                                   |     |           |                               |  |
|                         | 0,90           |                 |          | Ripario                         |            |               |           |        |                   |                                   |     |           |                               |  |
|                         | 1,50           |                 |          | Limo con torba                  |            |               |           |        |                   |                                   |     |           |                               |  |
|                         | 3,20           |                 |          | Limo sabbioso argilloso marrone |            |               |           |        |                   |                                   |     |           |                               |  |
|                         | 4,10           |                 |          | Limo con sabbie e ghiaie        |            |               |           |        |                   |                                   |     |           |                               |  |
|                         | 5,00           |                 |          | Sabbia grossa limosa ghiaiosa   |            |               |           |        |                   |                                   |     |           |                               |  |
|                         | 6,00           |                 |          | Ghiaia sabbiosa                 |            |               |           |        |                   |                                   |     |           |                               |  |
|                         | 6,70           |                 |          | Sabbia grossa con limo ghiaiosa |            |               |           |        |                   |                                   |     |           |                               |  |
|                         | 7,60           |                 |          | Sabbia fine limosa ghiaiosa     |            |               |           |        |                   |                                   |     |           |                               |  |
|                         | 8,60           |                 |          | Sabbia grossa limosa ghiaiosa   |            |               |           |        |                   |                                   |     |           |                               |  |
|                         | 10,20          |                 |          | Sabbia grossa con ghiaia limosa |            |               |           |        |                   |                                   |     |           |                               |  |
|                         | 12,00          |                 |          | Sabbia grossa con limo ghiaiosa |            |               |           |        |                   |                                   |     |           |                               |  |

**DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA**



*Postazione del sondaggio SB*



*Cassetta catalogatrice 0-5 m*



*Cassetta catalogatrice 5-10 m*



*Cassetta catalogatrice 10-12 m*

|                                                                         |                                     |                                              |                  |                 |
|-------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------|----------------------------------------------|------------------|-----------------|
| GEOLAMBDA<br>Engineering S.r.l<br>Via A. Diaz, 22<br>26845 Codogno (LO) | Committente:<br>Località:<br>Scala: | Lidl Italia S.r.l.<br>Binago (CO)<br>grafica | Data: 23/05/2023 | Sondaggio n. SB |
|-------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------|----------------------------------------------|------------------|-----------------|

Attrezzatura e metodo di perforazione:

- |                                                |                                                      |                                  |
|------------------------------------------------|------------------------------------------------------|----------------------------------|
| <input type="checkbox"/> Campione rimaneggiato | <input type="checkbox"/> Campione a percussione      | <input type="checkbox"/> LEFRANC |
| <input type="checkbox"/> Campione S.P.T.       | <input type="checkbox"/> Campione ind. a percussione | prova di permeabilità            |
| <input type="checkbox"/> Campione da Vane Test | <input type="checkbox"/> Campione ind. rotativo      | <input type="checkbox"/> LUGEON  |

| Quota di riferimento(m) | Profondità (m) | Sezione terreno | Campione | Descrizione litologica                        |                 | Piezometro | Completamento | Falda (m) | S.P.T. | %  | Carotaggio | Pocket Test (Kg/cm <sup>2</sup> ) | Profondità [m] | Vane test | Cu (Kg/cm <sup>2</sup> ) |
|-------------------------|----------------|-----------------|----------|-----------------------------------------------|-----------------|------------|---------------|-----------|--------|----|------------|-----------------------------------|----------------|-----------|--------------------------|
|                         |                |                 |          | Strati                                        | Caratteristiche |            |               |           |        |    |            |                                   |                |           |                          |
| 0.00                    | 0.10           |                 |          | Limo argilloso sabbioso marrone scuro         |                 |            |               | 1.50 m    | 1      | 1  | 17         |                                   |                |           |                          |
|                         | 0.60           |                 |          | Limo argilloso poco plastico, ciottoli sparsi |                 |            |               | 3.00 m    | 10     | 15 | 16         |                                   |                |           |                          |
|                         | 2.00           |                 |          | Sabbia con ghiaia limosa argillosa            |                 |            |               | 4.50 m    | 3      | 8  | 11         |                                   |                |           |                          |
|                         | 4.00           |                 |          | Sabbia con limo                               |                 |            |               | 6.00 m    | 3      | 6  | 10         |                                   |                |           |                          |
|                         | 4.40           |                 |          | Sabbia con limo ghiaiosa                      |                 |            |               | 7.50 m    | 6      | 7  | 10         |                                   |                |           |                          |
|                         | 5.40           |                 |          | Trovanti                                      |                 |            |               | 9.00 m    | 15     | 25 | 16         |                                   |                |           |                          |
|                         | 5.70           |                 |          | Sabbia grossa ghiaiosa                        |                 |            |               | 10.50 m   | 16     | 14 | 18         |                                   |                |           |                          |
|                         | 6.40           |                 |          |                                               |                 |            |               | 12.00 m   | 12     | 12 | 20         |                                   |                |           |                          |
|                         | 10.00          |                 |          | Ghiaia con sabbia grossa limosa               |                 |            |               |           |        |    |            |                                   |                |           |                          |
|                         | 11.00          |                 |          | Sabbia grossa ghiaiosa limosa                 |                 |            |               |           |        |    |            |                                   |                |           |                          |
|                         | 11.50          |                 |          | Sabbia limosa con ghiaia                      |                 |            |               |           |        |    |            |                                   |                |           |                          |
|                         | 12.00          |                 |          | Sabbia grossa con ghiaia                      |                 |            |               |           |        |    |            |                                   |                |           |                          |

**DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA**



*Postazione del sondaggio SC*



*Cassetta catalogatrice 0-5 m*



*Cassetta catalogatrice 5-10 m*

GEOLAMBDA  
Engineering S.r.l  
Via A. Diaz, 22  
26845 Codogno (LO)

Committente: Lidl Italia S.r.l.  
Località: Binago (CO)

Scala: **grafica** Data: **23/05/2023** Sondaggio n. **SC**

#### Attrezzatura e metodo di perforazione:

- Campione rimaneggiato  Campione a percussione  LEFRANC  
 Campione S.P.T.  Campione ind. a percussione prova di permeabilità  
 Campione da Vane Test  Campione ind. rotativo  LUGEON

**ALLEGATO 8 – Prove penetrometriche**

**DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA**



*Verticale d'indagine P.1*



*Verticale d'indagine P.2*



*Verticale d'indagine P.3*



*Verticale d'indagine P.4*

REGISTRAZIONI STRUMENTALI DEI VALORI PENETROMERICI e RELATIVA CORRELAZIONE TRA LE UNITÀ GEOTECNICHE

| CPT P.1 |     |       | CPT P.2 |     |       | CPT P.3 |     |       | CPT P.4 |     |       | Unità geotecniche |
|---------|-----|-------|---------|-----|-------|---------|-----|-------|---------|-----|-------|-------------------|
| Prof.   | Rp  | Rp+Rl |                   |
| m       | kg  | kg    |                   |
| 0,2     | -   |       | 0,2     | -   |       | 0,2     | -   |       | 0,2     | -   |       | Unità R           |
| 0,4     | 44  | 86    | 0,4     | 33  | 47    | 0,4     | 41  | 54    | 0,4     | 25  | 40    |                   |
| 0,6     | 122 | 163   | 0,6     | 17  | 36    | 0,6     | 25  | 41    | 0,6     | 10  | 27    |                   |
| 0,8     | 30  | 70    | 0,8     | 13  | 23    | 0,8     | 19  | 28    | 0,8     | 8   | 22    |                   |
| 1,0     | 9   | 37    | 1,0     | 10  | 23    | 1,0     | 12  | 25    | 1,0     | 7   | 18    |                   |
| 1,2     | 11  | 17    | 1,2     | 11  | 22    | 1,2     | 11  | 19    | 1,2     | 6   | 15    |                   |
| 1,4     | 13  | 18    | 1,4     | 14  | 24    | 1,4     | 13  | 22    | 1,4     | 6   | 16    |                   |
| 1,6     | 11  | 18    | 1,6     | 9   | 19    | 1,6     | 12  | 18    | 1,6     | 7   | 16    |                   |
| 1,8     | 10  | 19    | 1,8     | 10  | 22    | 1,8     | 9   | 20    | 1,8     | 8   | 16    |                   |
| 2,0     | 9   | 18    | 2,0     | 26  | 40    | 2,0     | 12  | 32    | 2,0     | 18  | 35    |                   |
| 2,2     | 9   | 13    | 2,2     | 16  |       | 2,2     | 10  | 17    | 2,2     | 13  | 17    |                   |
| 2,4     | 11  | 15    | 2,4     | 26  | 37    | 2,4     | 14  | 31    | 2,4     | 15  | 23    | Unità A           |
| 2,6     | 10  | 15    | 2,6     | 16  | 36    | 2,6     | 13  | 33    | 2,6     | 14  | 22    |                   |
| 2,8     | 17  | 31    | 2,8     | 13  | 39    | 2,8     | 15  | 37    | 2,8     | 15  | 40    |                   |
| 3,0     | 10  | 18    | 3,0     | 17  | 35    | 3,0     | 14  | 32    | 3,0     | 16  | 38    |                   |
| 3,2     | 39  | 62    | 3,2     | 61  | 84    | 3,2     | 49  | 65    | 3,2     | 45  | 63    |                   |
| 3,4     | 119 | 150   | 3,4     | 173 | 232   | 3,4     | 138 | 200   | 3,4     | 123 | 198   |                   |
| 3,6     | 56  | 105   | 3,6     | 40  | 105   | 3,6     | 41  | 108   | 3,6     | 48  | 93    |                   |
| 3,8     | 146 | 165   | 3,8     | 44  | 106   | 3,8     | 52  | 97    | 3,8     | 82  | 126   |                   |
| 4,0     | 70  | 86    | 4,0     | 56  | 92    | 4,0     | 57  | 90    | 4,0     | 66  | 98    |                   |
| 4,2     | 49  | 84    | 4,2     | 56  | 81    | 4,2     | 50  | 88    | 4,2     | 53  | 84    |                   |
| 4,4     | 45  | 64    | 4,4     | 253 | 329   | 4,4     | 96  | 144   | 4,4     | 180 | 226   | Unità B           |
| 4,6     | 59  | 101   | 4,6     | 62  | 106   | 4,6     | 55  | 93    | 4,6     | 63  | 100   |                   |
| 4,8     | 36  | 89    | 4,8     | 25  | 46    | 4,8     | 28  | 46    | 4,8     | 31  | 48    |                   |
| 5,0     | 83  | 110   | 5,0     | 51  | 59    | 5,0     | 69  | 85    | 5,0     | 72  | 93    |                   |
| 5,2     | 58  | 69    | 5,2     | 132 | 157   | 5,2     | 103 | 136   | 5,2     | 88  | 111   |                   |
| 5,4     | 40  | 49    | 5,4     | 71  | 110   | 5,4     | 47  | 91    | 5,4     | 55  | 89    |                   |
| 5,6     | 56  | 74    | 5,6     | 106 | 135   | 5,6     | 88  | 121   | 5,6     | 76  | 109   |                   |
| 5,8     | 83  | 95    | 5,8     | 238 | 289   | 5,8     | 176 | 262   | 5,8     | 111 | 193   |                   |
| 6,0     | 99  | 130   | 6,0     | 66  | 172   | 6,0     | 63  | 152   | 6,0     | 87  | 113   |                   |
| 6,2     | 74  | 96    | 6,2     | 65  | 119   | 6,2     | 56  | 107   | 6,2     | 69  | 107   |                   |
| 6,4     | 30  | 45    | 6,4     | 112 | 137   | 6,4     | 85  | 119   | 6,4     | 85  | 127   | Unità C           |
| 6,6     | 12  | 21    | 6,6     | 181 | 203   | 6,6     | 152 | 176   | 6,6     | 103 | 168   |                   |
| 6,8     | 57  | 107   | 6,8     | 136 | 166   | 6,8     | 104 | 138   | 6,8     | 125 | 171   |                   |
| 7,0     | 85  | 124   | 7,0     | 76  | 130   | 7,0     | 71  | 130   | 7,0     | 90  | 143   |                   |
| 7,2     | 29  | 46    | 7,2     | 98  | 125   | 7,2     | 82  | 112   | 7,2     | 87  | 113   |                   |
| 7,4     | 14  | 26    | 7,4     | 90  | 105   | 7,4     | 95  | 121   | 7,4     | 93  | 111   |                   |
| 7,6     | 143 | 168   | 7,6     | 89  | 122   | 7,6     | 96  | 139   | 7,6     | 89  | 135   |                   |
| 7,8     | 84  | 108   | 7,8     | 59  | 78    | 7,8     | 84  | 105   | 7,8     | 73  | 87    |                   |
| 8,0     | 80  | 104   | 8,0     | 91  | 101   | 8,0     | 92  | 107   | 8,0     | 96  | 124   |                   |
| 8,2     | 90  | 115   | 8,2     | 204 | 235   | 8,2     | 183 | 211   | 8,2     | 156 | 213   |                   |
| 8,4     | 43  | 55    | 8,4     | 145 | 178   | 8,4     | 121 | 154   | 8,4     | 200 | 264   |                   |
| 8,6     | 122 | 150   | 8,6     | 261 | 312   | 8,6     | 237 | 301   | 8,6     | 253 | 318   |                   |
| 8,8     | 66  | 72    | 8,8     | 230 | 371   | 8,8     | 197 | 309   | 8,8     | 297 | 388   |                   |
| 9,0     | 146 | 193   | 9,0     | 232 | 275   | 9,0     | 246 | 283   | Rifiuto |     |       | Rifiuto           |
| 9,2     | 158 | 172   | 9,2     | 226 | 306   | 9,2     | 286 | 337   |         |     |       |                   |
| 9,4     | 205 | 261   | Rifiuto |     |       | Rifiuto |     |       |         |     |       |                   |
| Rifiuto |     |       |         |     |       |         |     |       |         |     |       |                   |

## PROFILI PENETROMETRICI

**GEOLAMBDA**  
Engineering S.r.l.

GEOLAMBDA Engineering S.r.l.  
Via Diaz, 22  
26845 Codogno (LO)

Committente: Lidl Italia S.r.l.

Località: Binago (MB)

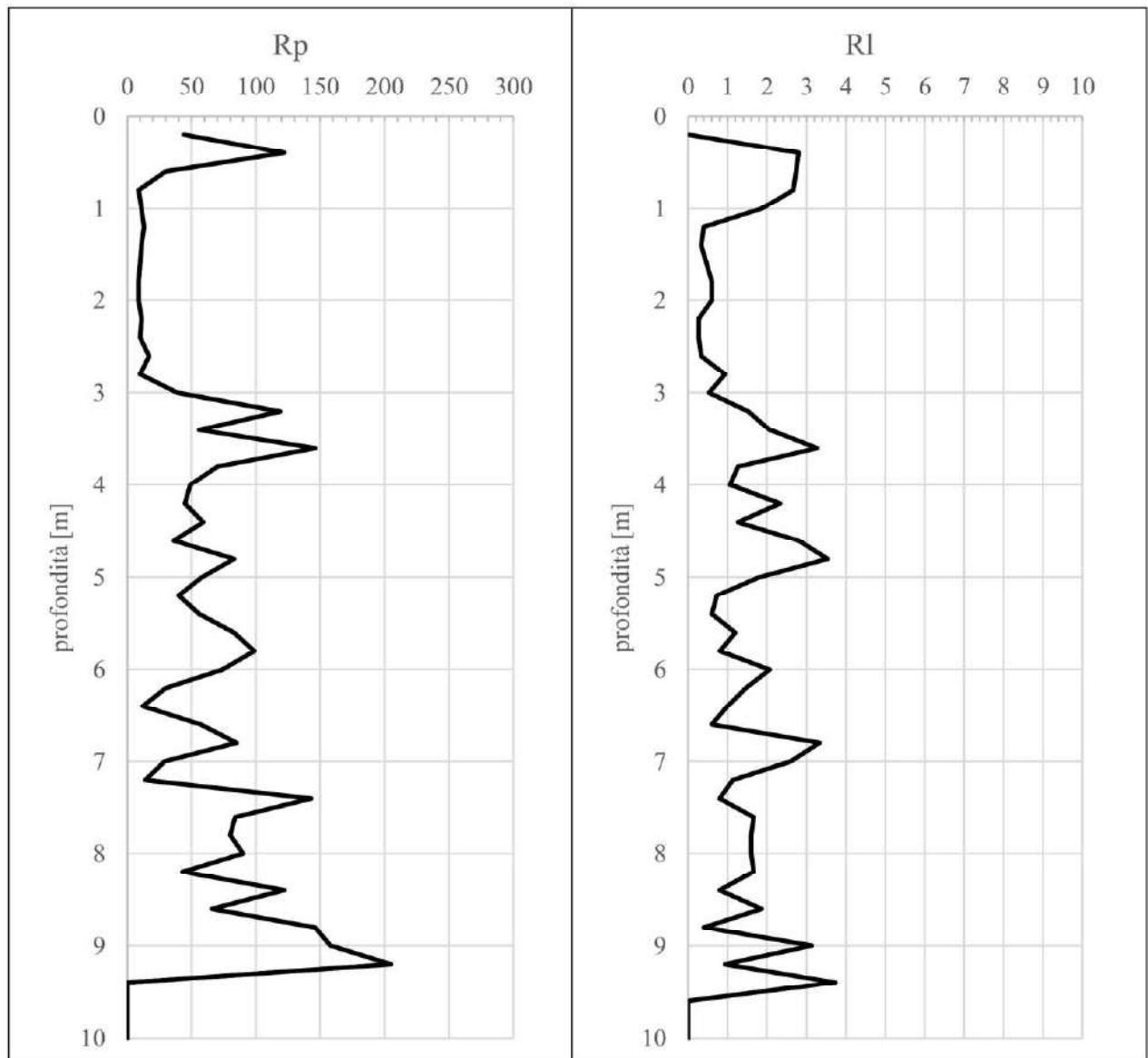
Data: 29/05/2023 | Attrezzatura: penetrometro statico a punta meccanica (CPT1)

Profondità della falda da p.c. (m): non rilevata

### Grafico della prova

Resistenza della punta (qc) [kg/cmq]

Resistenza laterale (fs) [kg/cmq]



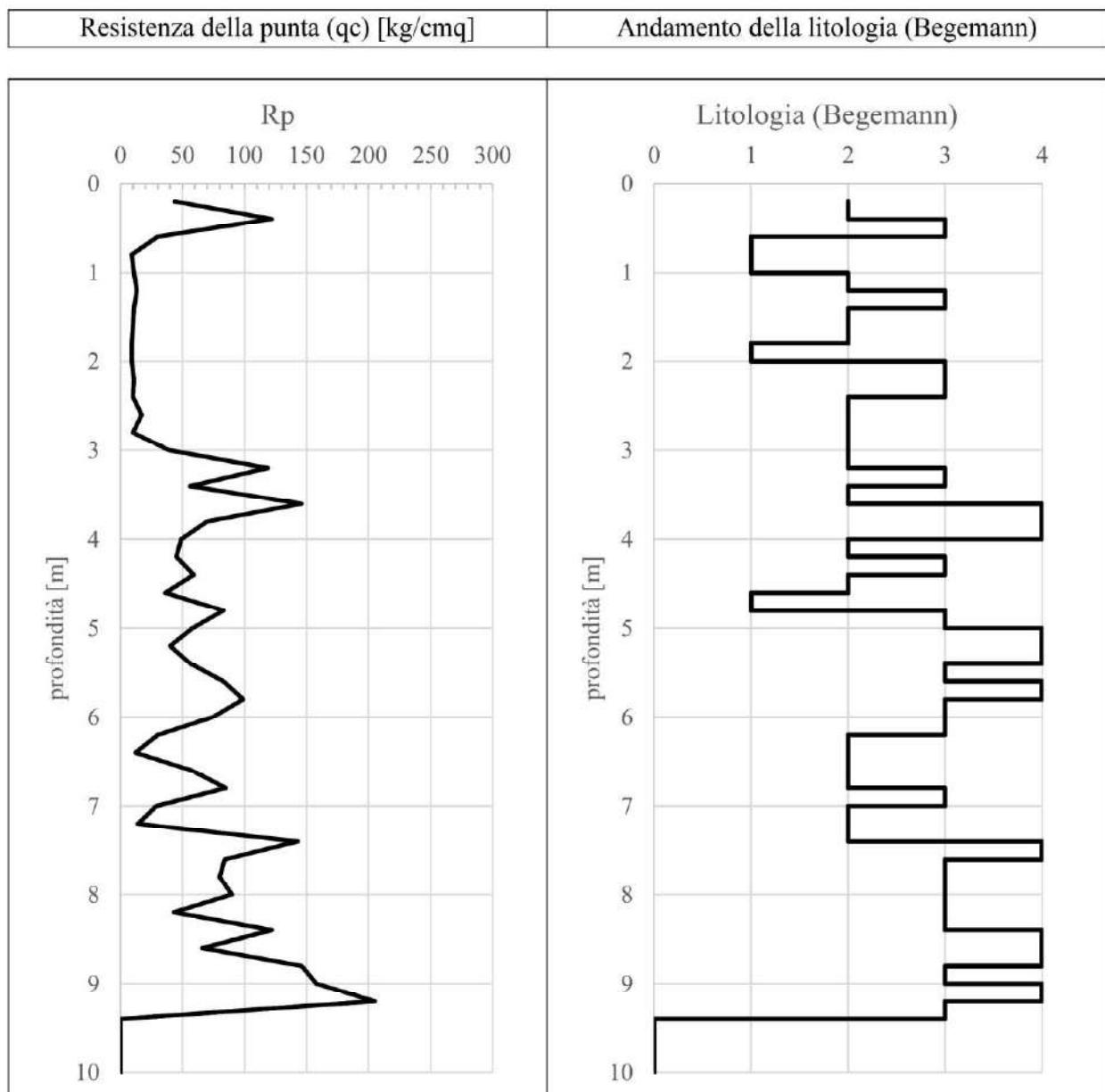
Committente: Lidl Italia S.r.l.

Località: Binago (MB)

Data: 29/05/2023 | Attrezzatura: penetrometro statico a punta meccanica (CPT1)

Profondità della falda da p.c. (m): non rilevata

### Grafico resistenza alla punta - litologia



Begemann (1965): 1= Argilla inorganica e torba; 2= Limo e/o argilla inorganica; 3= Limo sabbioso e sabbia limosa; 4= sabbie o sabbia più ghiaia

Committente: Lidl Italia S.r.l.

Località: Binago (MB)

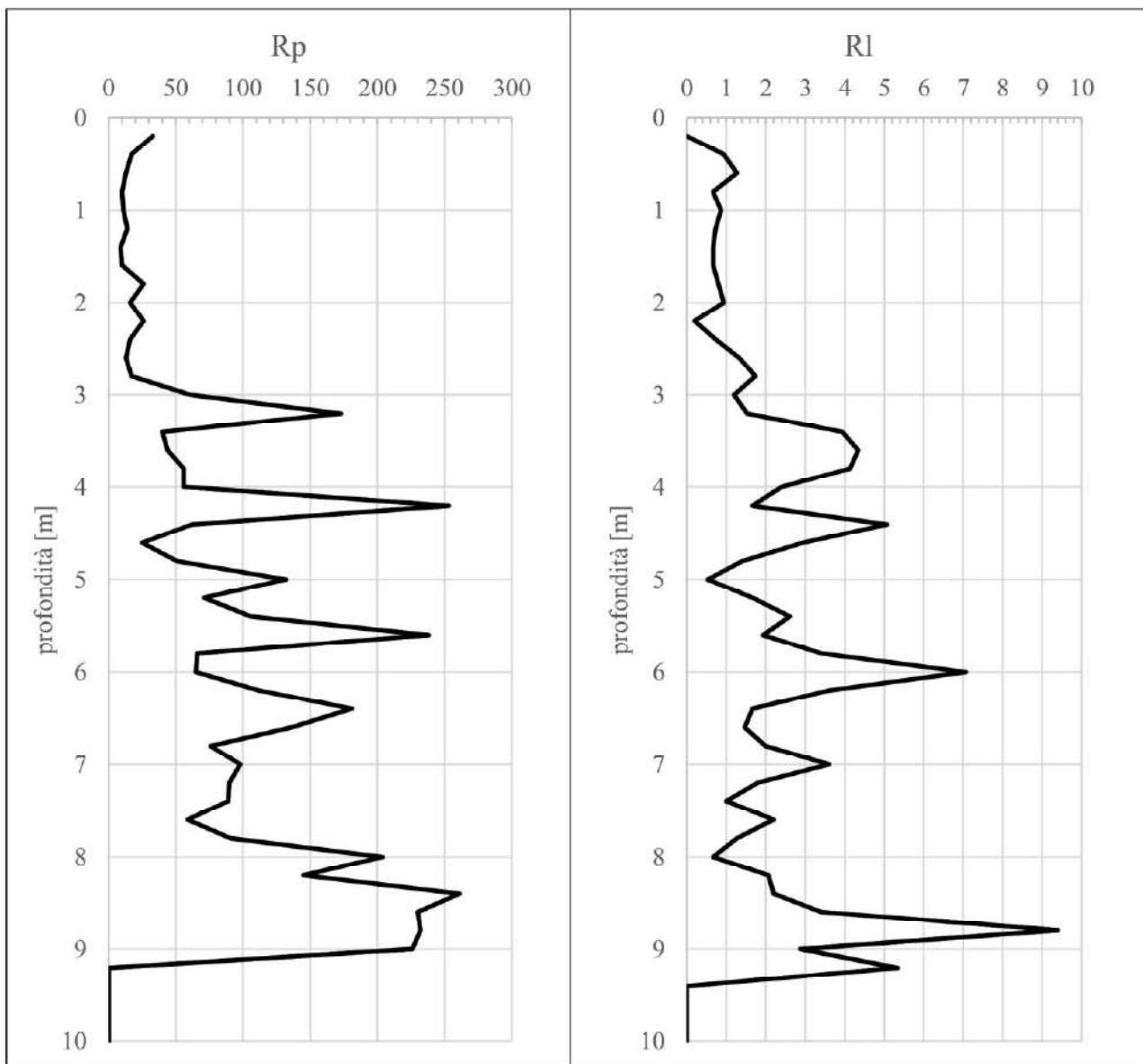
Data: 29/05/2023 Attrezzatura: penetrometro statico a punta meccanica (CPT2)

Profondità della falda da p.c. (m): non rilevata

### Grafico della prova

Resistenza della punta (qc) [kg/cmq]

Resistenza laterale (fs) [kg/cmq]



Committente: Lidl Italia S.r.l.

Località: Binago (MB)

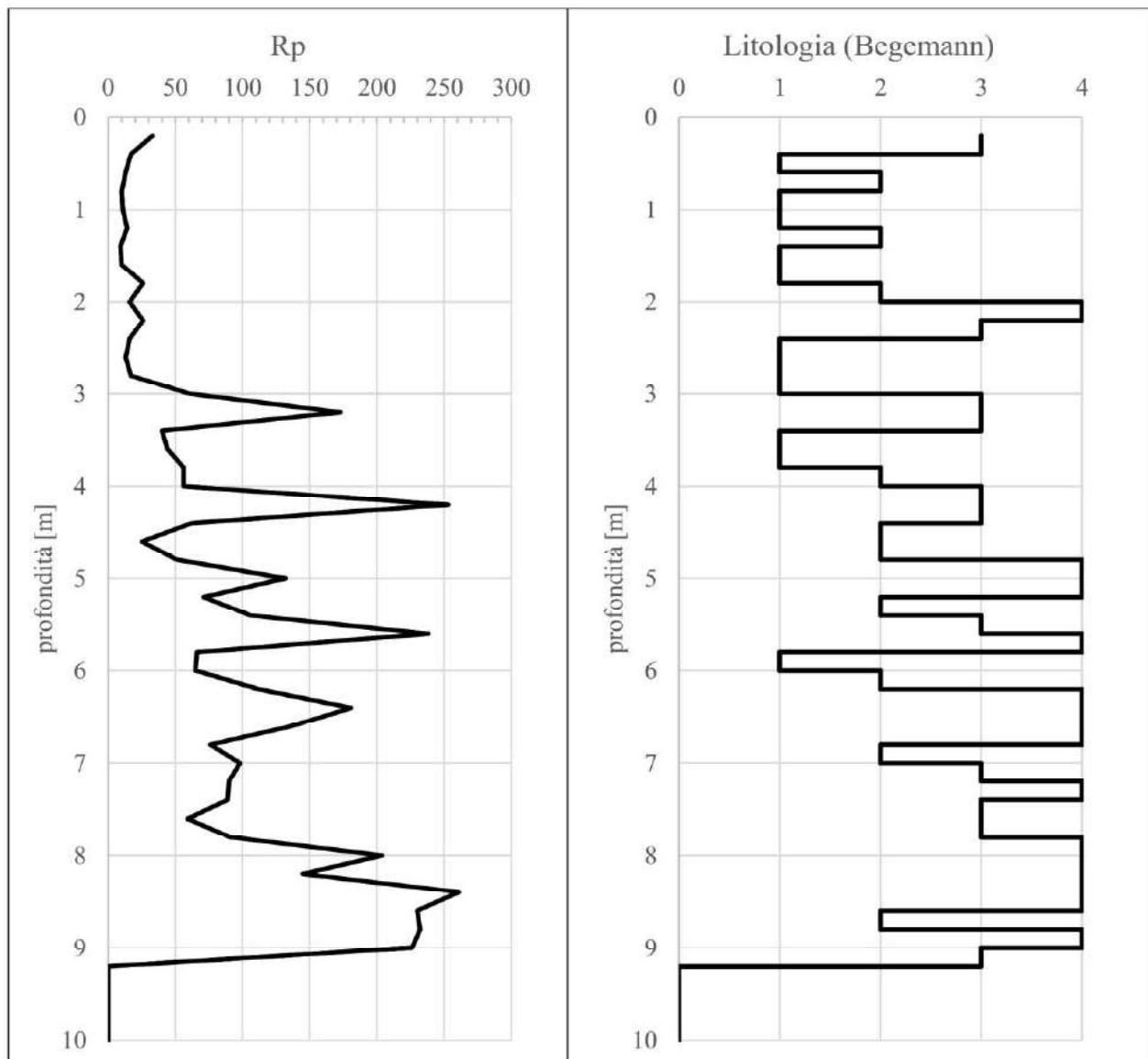
Data: 29/05/2023 | Attrezzatura: penetrometro statico a punta meccanica (CPT2)

Profondità della falda da p.c. (m): non rilevata

### Grafico resistenza alla punta - litologia

Resistenza della punta (qc) [kg/cmq]

Andamento della litologia (Begemann)



Begemann (1965): 1= Argilla inorganica e torba; 2= Limo e/o argilla inorganica; 3= Limo sabbioso e sabbia limosa; 4= sabbie o sabbia più ghiaia

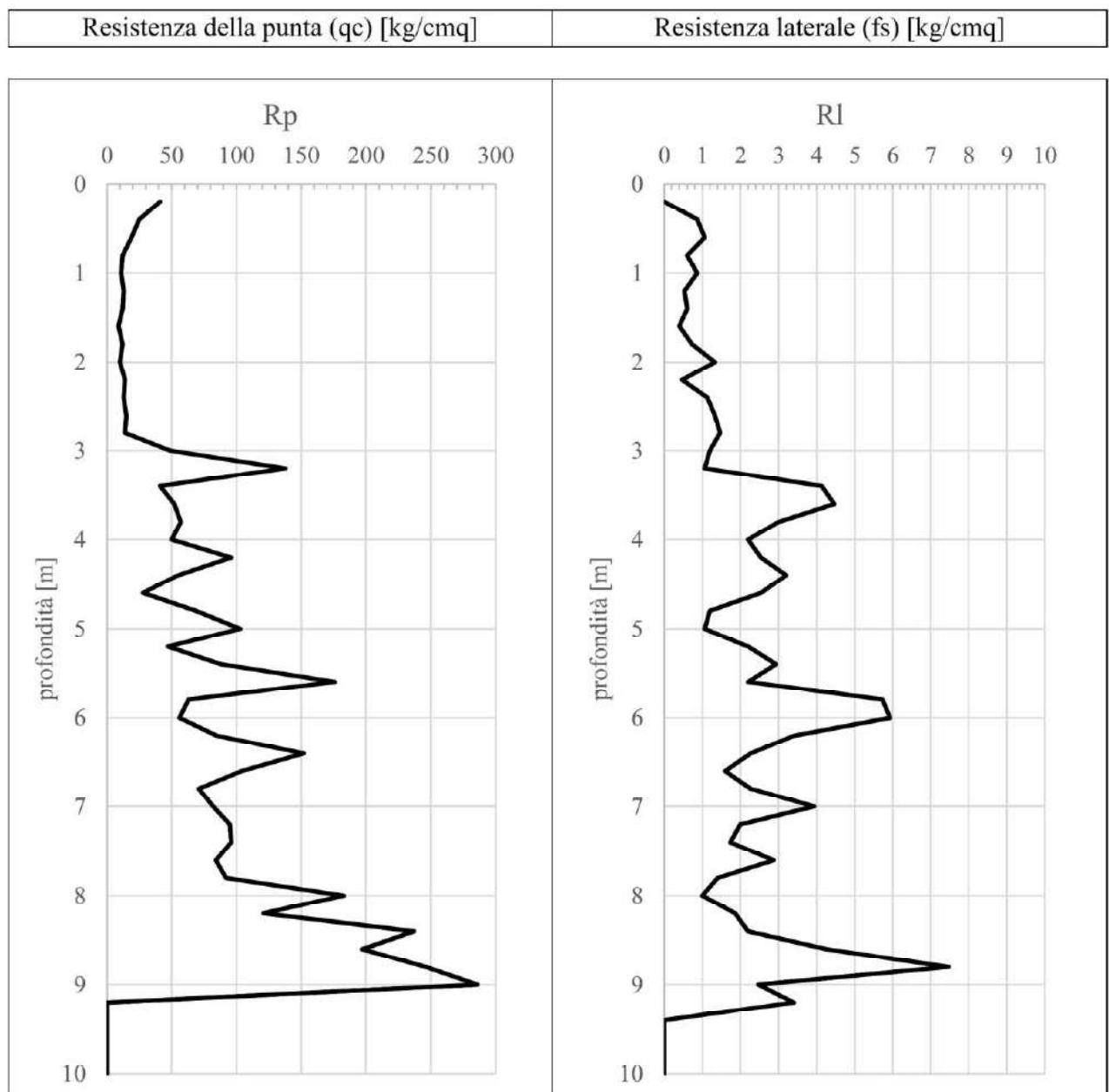
Committente: Lidl Italia S.r.l.

Località: Binago (MB)

Data: 29/05/2023 | Attrezzatura: penetrometro statico a punta meccanica (CPT3)

Profondità della falda da p.c. (m): non rilevata

### Grafico della prova



Committente: Lidl Italia S.r.l.

Località: Binago (MB)

Data: 29/05/2023

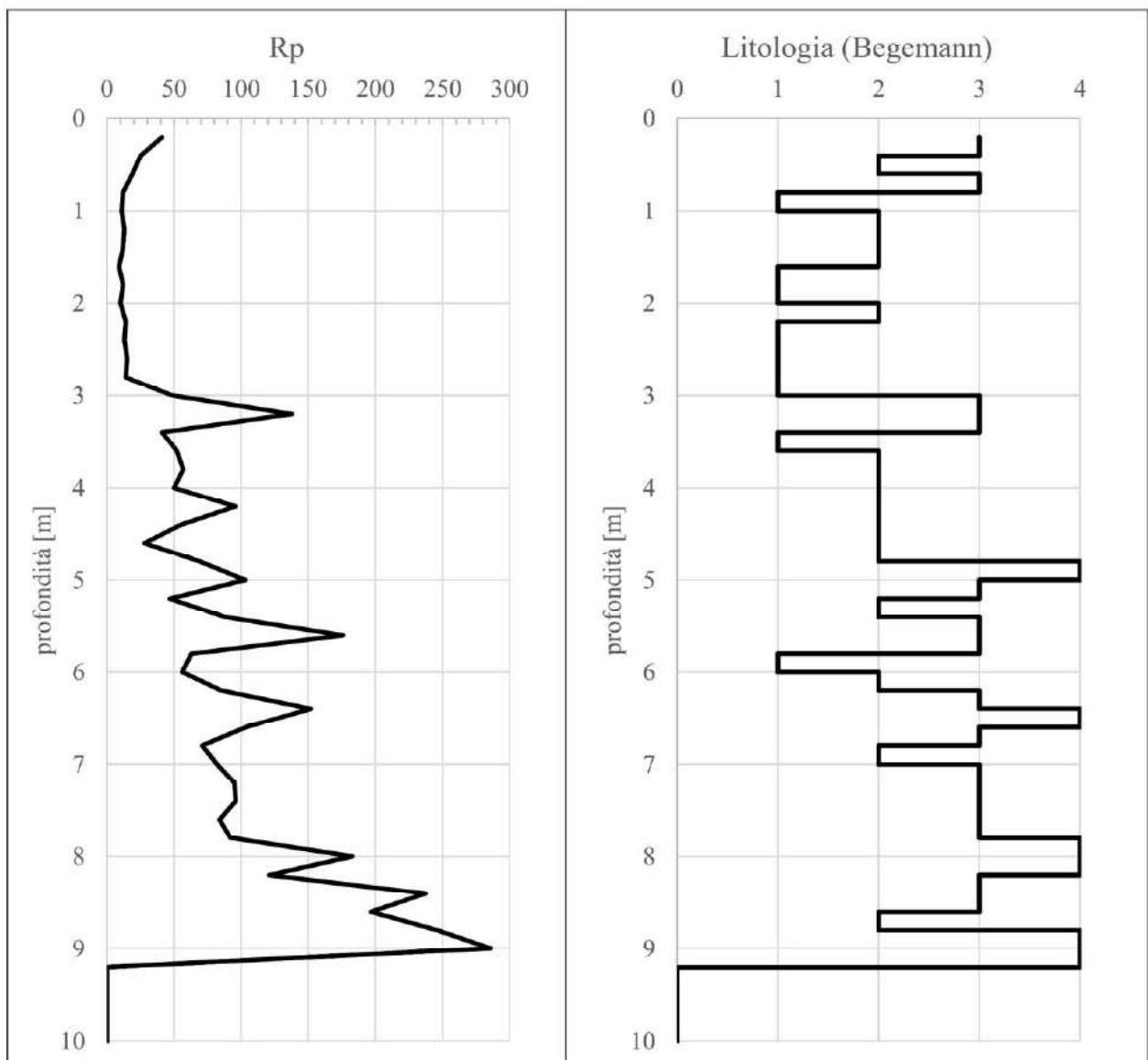
Attrezzatura: penetrometro statico a punta meccanica (CPT3)

Profondità della falda da p.c. (m): non rilevata

### Grafico resistenza alla punta - litologia

Resistenza della punta (qc) [kg/cmq]

Andamento della litologia (Begemann)



Begemann (1965): 1= Argilla inorganica e torba; 2= Limo e/o argilla inorganica; 3= Limo sabbioso e sabbia limosa; 4= sabbie o sabbia più ghiaia

Committente: Lidl Italia S.r.l.

Località: Binago (MB)

Data: 29/05/2023

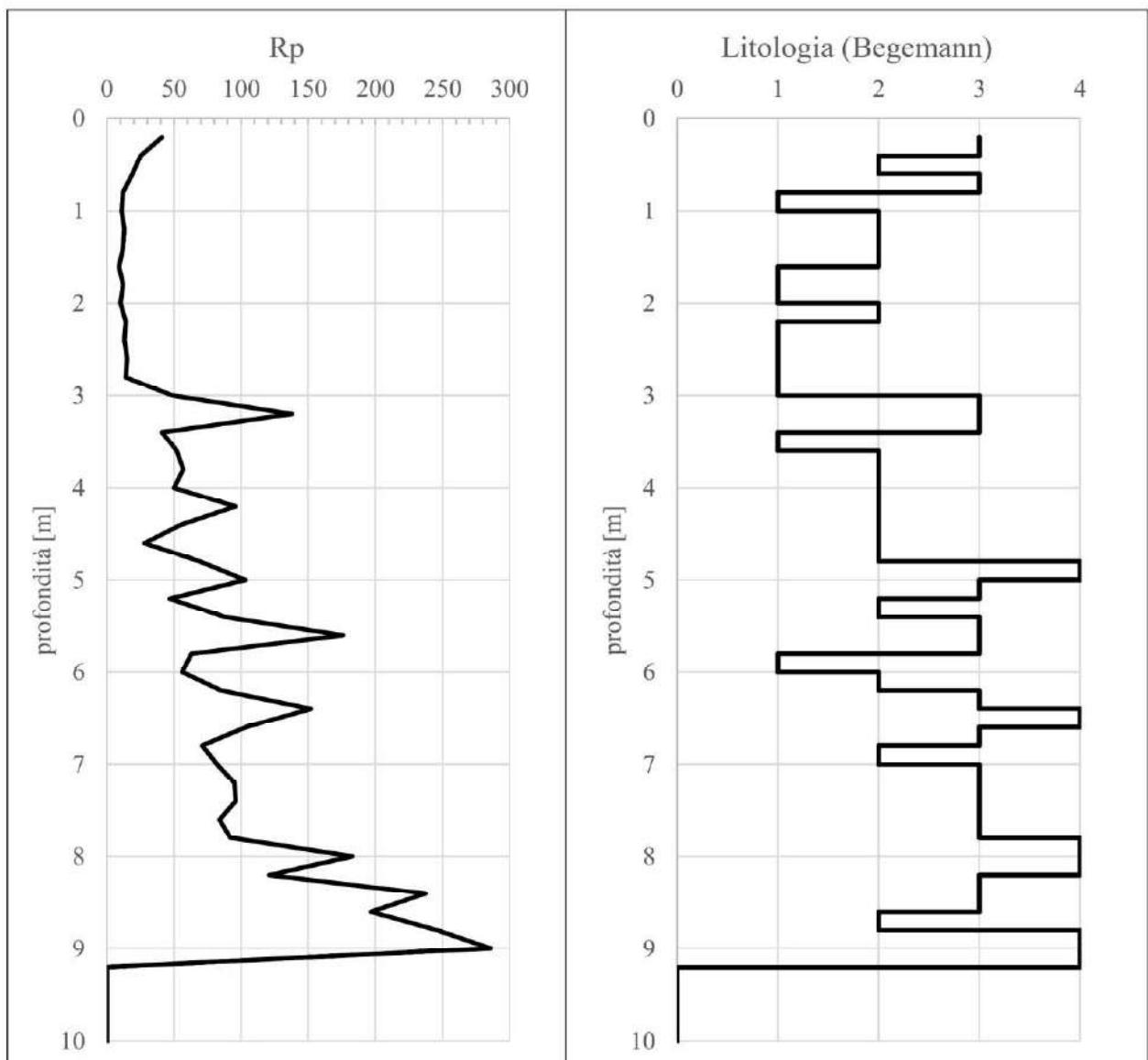
Attrezzatura: penetrometro statico a punta meccanica (CPT3)

Profondità della falda da p.c. (m): non rilevata

### Grafico resistenza alla punta - litologia

Resistenza della punta (qc) [kg/cmq]

Andamento della litologia (Begemann)



Begemann (1965): 1= Argilla inorganica e torba; 2= Limo e/o argilla inorganica; 3= Limo sabbioso e sabbia limosa; 4= sabbie o sabbia più ghiaia

Committente: Lidl Italia S.r.l.

Località: Binago (MB)

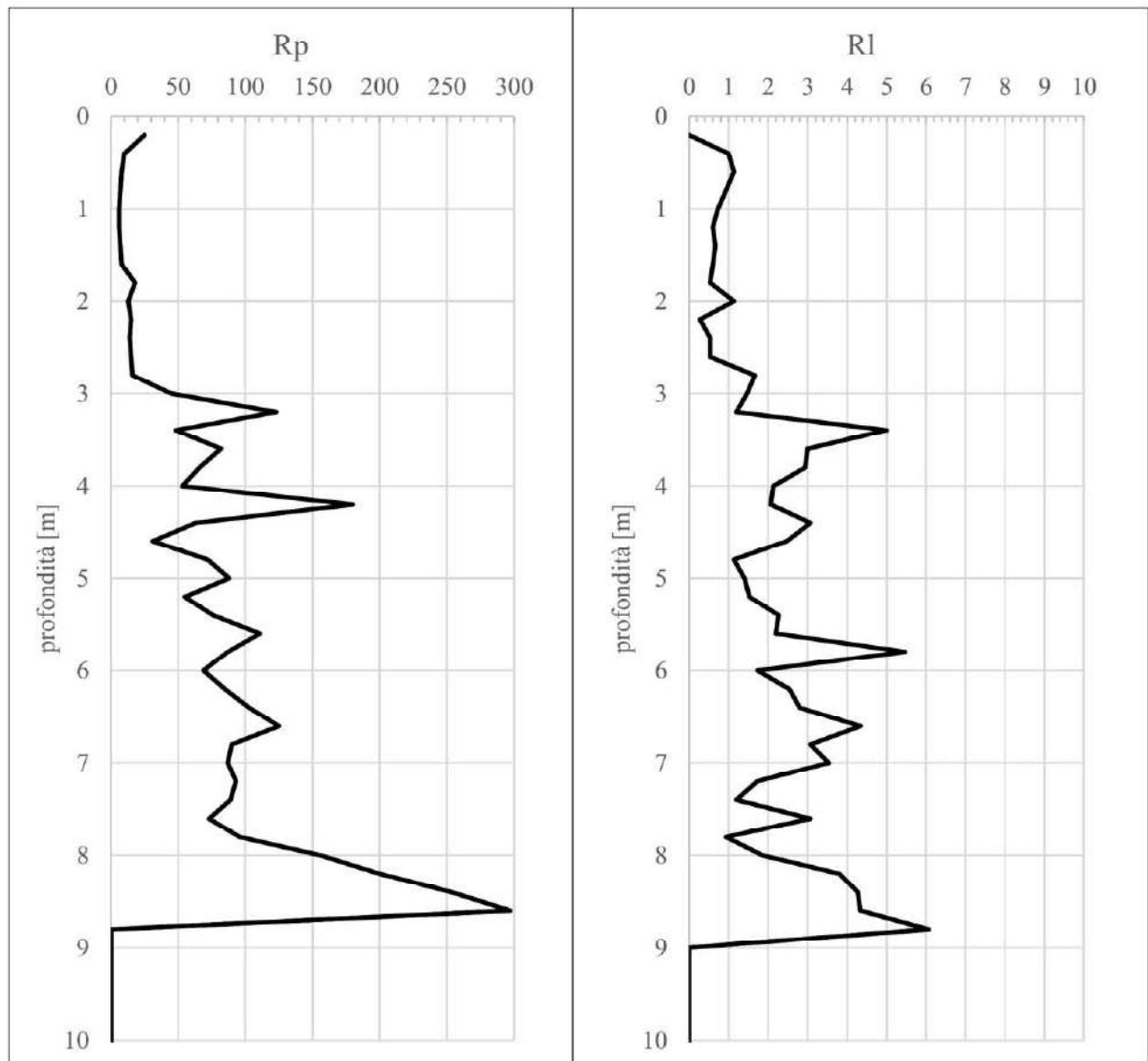
Data: 29/05/2023 | Attrezzatura: penetrometro statico a punta meccanica (CPT4)

Profondità della falda da p.c. (m): non rilevata

### Grafico della prova

Resistenza della punta (qc) [kg/cmq]

Resistenza laterale (fs) [kg/cmq]



Committente: Lidl Italia S.r.l.

Località: Binago (MB)

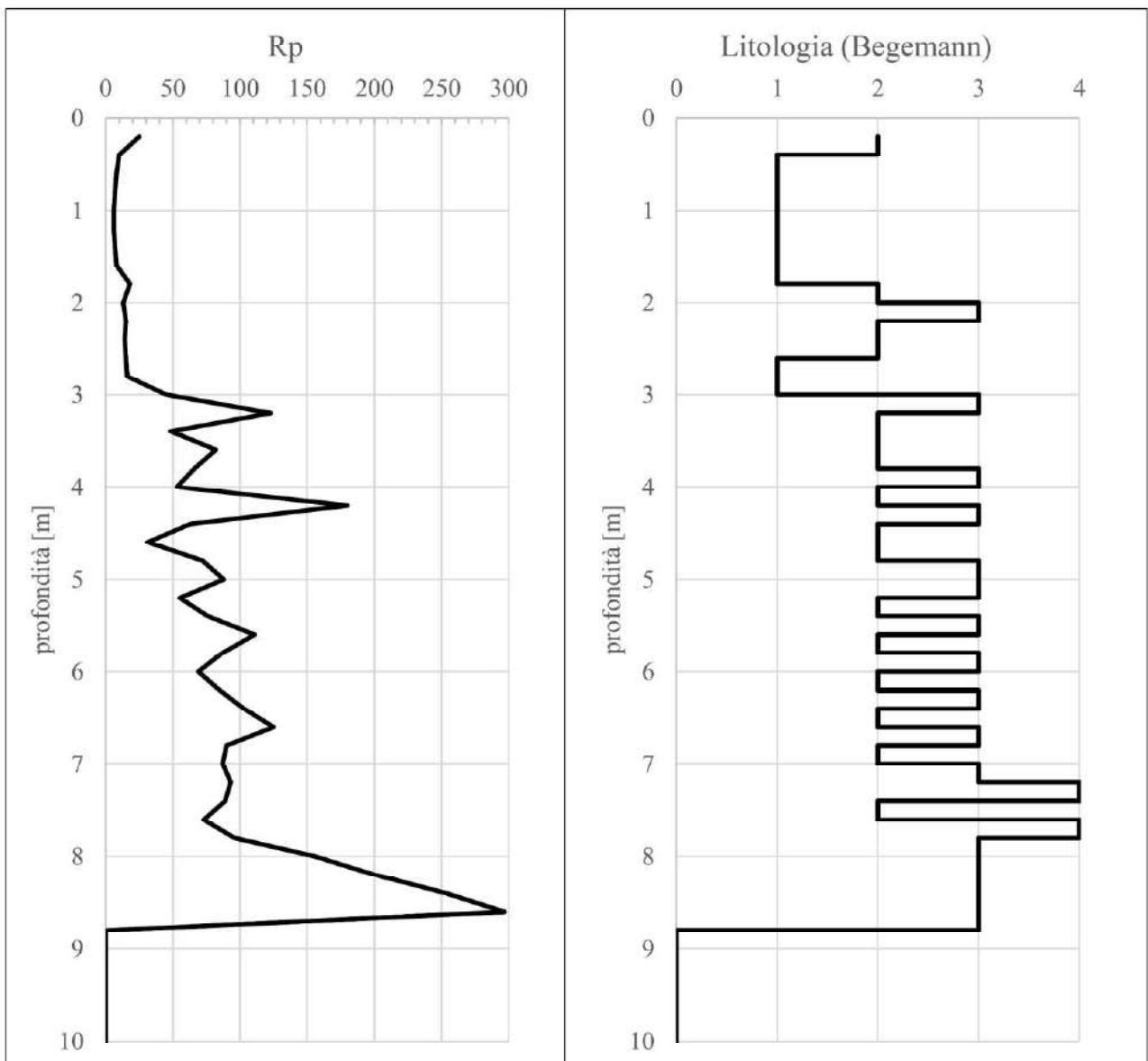
Data: 29/05/2023 | Attrezzatura: penetrometro statico a punta meccanica (CPT4)

Profondità della falda da p.c. (m): non rilevata

### Grafico resistenza alla punta - litologia

Resistenza della punta (qc) [kg/cmq]

Andamento della litologia (Begemann)



Begemann (1965): 1= Argilla inorganica e torba; 2= Limo e/o argilla inorganica; 3= Limo sabbioso e sabbia limosa; 4= sabbie o sabbia più ghiaia

*LIDL Italia S.r.l.  
Comune di Binago (CO)*

**ALLEGATO 9 – Certificati di laboratorio**

# GEOLAB s.r.l.

GEOLAB

Via Cernaia, 24 - 25124 Brescia (BS)  
Telefono 030/3543925 Fax 030/3532405  
www.geolab.bs.it - geolab@geolab.bs.it  
Partita i.v.a 01985350170

## Certificato di prova

n. 231793 / 1

pagina 1 di 2

Laboratorio autorizzato all'esecuzione e certificazione di prove geotecniche su terre e rocce (Settori A e B circolare n.7618/STC) ai sensi del DPR n.380 articolo n.59 del 06 giugno 2001. - Sistema qualità certificato UNI EN ISO 9001.

Brescia li 08/06/2023

Campione ricevuto il 05/06/2023

Verbale accettazione 2822

Committente GEOLAMBDA ENGINEERING S.R.L.

Via Scarlatti, 26 - 20100 MILANO (MI)

Descrizione Campione rimaneggiato denominato sondaggio SA - prelevato a -3/4 m di profondità da P.C.

Cantiere Cantiere Binago-Como

Località Binago-Como

Data prelievo 25/05/2023

Prelievo effettuato da Prelievo effettuato dal Committente

Dati forniti da Richiedente

osservazioni Domanda di prova sottoscritta dal dott. geol. Marco Daguato

### IL PRESENTE CERTIFICATO È COMPOSTO DAI SEGUENTI RISULTATI DI PROVA

- FOTOGRAFIA DEL CAMPIONE

GEO 06

- DETERMINAZIONE DELLA PERMEABILITÀ A CARICO VARIABILE

Sono riportati i dati della domanda di esecuzione prove e le sigle ed etichettature apposte sui provini  
È vietata la riproduzione parziale del presente documento senza autorizzazione scritta di GEOLAB srl

TIMBRO A SECCO SULL'ORIGINALE

Lo sperimentatore  
Dott. Geol. Angelo Croce

Il Direttore del Laboratorio  
Dott. Geol. Silvia Ragnoli

Laboratorio autorizzato all'esecuzione e certificazione di prove geotecniche su terre e rocce (Settori A e B circolare n. 7618/STC) ai sensi del DPR n.380 articolo n. 59 del 06 giugno 2001. - Sistema qualità certificato UNI EN ISO 9001.

Brescia li 08/06/2023

**FOTOGRAFIA DEL CAMPIONE**

Data inizio - termine prova: 06/06/2023 - 06/06/2023



Sono riportati i dati della domanda di esecuzione prove e le sigle ed etichettature apposte sui provini  
È vietata la riproduzione parziale del presente documento senza autorizzazione scritta di GEOLAB srl

TIMBRO A SECCO SULL'ORIGINALE

*Lo sperimentatore*  
Dott. Geol. Angelo Croce

*Il Direttore del Laboratorio*  
Dott. Geol. Silvia Ragnoli

# GEOLAB s.r.l.

GEOLAB

Via Cernaia, 24 - 25124 Brescia (BS)  
Telefono 030/3543925 Fax 030/3532405  
www.geolab.bs.it - geolab@geolab.bs.it  
Partita i.v.a 01985350170

## Certificato di prova

**n. 231793 / 2**

**pagina 1 di 2**

Laboratorio autorizzato all'esecuzione e certificazione di prove geotecniche su terre e rocce (Settori A e B circolare n.7618/STC) ai sensi del DPR n.380 articolo n.59 del 06 giugno 2001. - Sistema qualità certificato UNI EN ISO 9001.

|                        |                                                                                          |
|------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------|
| Brescia li 08/06/2023  | Campione ricevuto il 05/06/2023                                                          |
| Verbale accettazione   | 2822                                                                                     |
| Committente            | GEOLAMBDA ENGINEERING S.R.L.<br>Via Scarlatti, 26 - 20100 MILANO (MI)                    |
| Descrizione            | Campione rimaneggiato denominato sondaggio SA - prelevato a -3/4 m di profondità da P.C. |
| Cantiere               | Cantiere Binago-Como                                                                     |
| Località               | Binago-Como                                                                              |
| Data prelievo          | 25/05/2023                                                                               |
| Prelievo effettuato da | Prelievo effettuato dal Committente                                                      |
| Dati forniti da        | Richiedente                                                                              |
| osservazioni           | Domanda di prova sottoscritta dal dott. geol. Marco Daguato                              |

### IL PRESENTE CERTIFICATO È COMPOSTO DAI SEGUENTI RISULTATI DI PROVA

#### - FOTOGRAFIA DEL CAMPIONE

- Determinazione della permeabilità a carico variabile

GEO 06

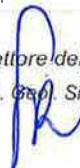
Sono riportati i dati della domanda di esecuzione prove e le sigle ed etichettature apposte sui provini  
È vietata la riproduzione parziale del presente documento senza autorizzazione scritta di GEOLAB srl

TIMBRO A SECCO SULL'ORIGINALE

Lo sperimentatore  
Dott. Geol. Angelo Croce



Il Direttore del Laboratorio  
Dott. Geol. Silvia Ragnoli



Via Cernaia, 24 - 25124 Brescia (BS)  
Telefono 030/3543925 Fax 030/3532405  
www.geolab.bs.it - geolab@geolab.bs.it  
Partita i.v.a 01985350170

Laboratorio autorizzato all'esecuzione e certificazione di prove geotecniche su terre e rocce (Settori A e B circolare n.7618/STC) ai sensi del DPR n.380 articolo n.59 del 06 giugno 2001. - Sistema qualità certificato UNI EN ISO 9001.

Data inizio - termine prova: 06/06/2023 - 08/06/2023

**Determinazione della permeabilità a carico variabile****GEO 06**

|                                |                             |                   |
|--------------------------------|-----------------------------|-------------------|
| Descrizione del materiale      | Argilla sabbiosa con clasti |                   |
| Massa volumica apparente secca | 1,67                        | g/cm <sup>3</sup> |
| Umidità                        | 13.50                       | %                 |
| Massa volumica apparente umida | 1,89                        | g/cm <sup>3</sup> |
| Indice dei vuoti               | 0,62                        |                   |
| Grado di saturazione           | 58,80                       | %                 |
| <b>Permeabilità media</b>      | <b>2,5 10<sup>-6</sup></b>  | <b>cm/sec</b>     |

Osservazioni: determinazione effettuata su materiale addensato in laboratorio con modalità AASHTO STANDARD in condizioni di umidità naturale

Sono riportati i dati della domanda di esecuzione prove e le sigle ed etichettature apposte sui provini  
È vietata la riproduzione parziale del presente documento senza autorizzazione scritta di GEOLAB srl

TIMBRO A SECCO SULL'ORIGINALE

*Lo sperimentatore*  
Dott. Geol. Angelo Croce

*Il Direttore del Laboratorio*  
Dott. Geol. Silvia Ragnoli

# GEOLAB s.r.l.

GEOLAB

Via Cernaia, 24 - 25124 Brescia (BS)  
Telefono 030/3543925 Fax 030/3532405  
www.geolab.bs.it - geolab@geolab.bs.it  
Partita i.v.a 01985350170

## Certificato di prova

n. 231794 / 1

pagina 1 di 2

Laboratorio autorizzato all'esecuzione e certificazione di prove geotecniche su terre e rocce (Settori A e B circolare n.7618/STC) ai sensi del DPR n.380 articolo n.59 del 06 giugno 2001. - Sistema qualità certificato UNI EN ISO 9001.

Brescia li 08/06/2023

Campione ricevuto il 05/06/2023

|                        |                                                                                          |
|------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------|
| Verbale accettazione   | 2822                                                                                     |
| Committente            | GEOLAMBDA ENGINEERING S.R.L.<br>Via Scarlatti, 26 - 20100 MILANO (MI)                    |
| Descrizione            | Campione rimaneggiato denominato sondaggio SB - prelevato a -4/5 m di profondità da P.C. |
| Cantiere               | Cantiere Binago-Como                                                                     |
| Località               | Binago - Como                                                                            |
| Data prelievo          | 25/05/2023                                                                               |
| Prelievo effettuato da | Prelievo effettuato dal Committente                                                      |
| Dati forniti da        | Richiedente                                                                              |
| osservazioni           | Domanda di prova sottoscritta dal dott. geol. Marco Daguati                              |

### IL PRESENTE CERTIFICATO È COMPOSTO DAI SEGUENTI RISULTATI DI PROVA

- FOTOGRAFIA DEL CAMPIONE

GEO 06

- DETERMINAZIONE DELLA PERMEABILITÀ A CARICO VARIABILE

Sono riportati i dati della domanda di esecuzione prove e le sigle ed etichettature apposte sui provini  
È vietata la riproduzione parziale del presente documento senza autorizzazione scritta di GEOLAB srl

TIMBRO A SECCO SULL'ORIGINALE

Lo sperimentatore  
Dott. Geol. Angelo Croce

Il Direttore del Laboratorio  
Dott. Geol. Silvia Ragnoli

Laboratorio autorizzato all'esecuzione e certificazione di prove geotecniche su terre e rocce (Settori A e B circolare n.7618/STC) ai sensi del DPR n.380 articolo n.59 del 06 giugno 2001. - Sistema qualità certificato UNI EN ISO 9001.

Brescia li 08/06/2023

**FOTOGRAFIA DEL CAMPIONE**

Data inizio - termine prova: 06/06/2023 - 06/06/2023



Sono riportati i dati della domanda di esecuzione prove e le sigle ed etichettature apposte sui provini  
È vietata la riproduzione parziale del presente documento senza autorizzazione scritta di GEOLAB srl

TIMBRO A SECCO SULL'ORIGINALE

Lo sperimentatore  
Dott. Geol. Angelo Croce

Il Direttore del Laboratorio  
Dott. Geol. Silvia Ragnoli

# GEOLAB s.r.l.

GEOLAB

Via Cernaia, 24 - 25124 Brescia (BS)  
Telefono 030/3543925 Fax 030/3532405  
www.geolab.bs.it - geolab@geolab.bs.it  
Partita i.v.a 01985350170

## Certificato di prova

n. 231794 / 2

pagina 1 di 2

Laboratorio autorizzato all'esecuzione e certificazione di prove geotecniche su terre e rocce (Settori A e B circolare n.7618/STC) ai sensi del DPR n.380 articolo n.59 del 06 giugno 2001. - Sistema qualità certificato UNI EN ISO 9001.

Brescia li 08/06/2023

Campione ricevuto il 05/06/2023

|                        |                                                                                          |
|------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------|
| Verbale accettazione   | 2822                                                                                     |
| Committente            | GEOLAMBDA ENGINEERING S.R.L.<br>Via Scarlatti, 26 - 20100 MILANO (MI)                    |
| Descrizione            | Campione rimaneggiato denominato sondaggio SB - prelevato a -4/5 m di profondità da P.C. |
| Cantiere               | Cantiere Binago-Como                                                                     |
| Località               | Binago - Como                                                                            |
| Data prelievo          | 25/05/2023                                                                               |
| Prelievo effettuato da | Prelievo effettuato dal Committente                                                      |
| Dati forniti da        | Richiedente                                                                              |
| osservazioni           | Domanda di prova sottoscritta dal dott. geol. Marco Dagutti                              |

### IL PRESENTE CERTIFICATO È COMPOSTO DAI SEGUENTI RISULTATI DI PROVA

#### - FOTOGRAFIA DEL CAMPIONE

- Determinazione della permeabilità a carico variabile

GEO 06

Sono riportati i dati della domanda di esecuzione prove e le sigle ed etichettature apposte sui provini  
È vietata la riproduzione parziale del presente documento senza autorizzazione scritta di GEOLAB srl

TIMBRO A SECCO SULL'ORIGINALE

Lo sperimentatore  
Dott. Geol. Angelo Croce

Il Direttore del Laboratorio  
Dott. Geol. Silvia Ragnoli

Laboratorio autorizzato all'esecuzione e certificazione di prove geotecniche su terre e rocce (Settori A e B circolare n.7618/STC) ai sensi del DPR n.380 articolo n.59 del 06 giugno 2001. - Sistema qualità certificato UNI EN ISO 9001.

Data inizio - termine prova: 06/06/2023 - 08/06/2023

**Determinazione della permeabilità a carico variabile**

GEO 06

|                                |                             |                   |
|--------------------------------|-----------------------------|-------------------|
| Descrizione del materiale      | Argilla sabbiosa con clasti |                   |
| Massa volumica apparente secca | 1,57                        | g/cm <sup>3</sup> |
| Umidità                        | 10,30                       | %                 |
| Massa volumica apparente umida | 1,73                        | g/cm <sup>3</sup> |
| Indice dei vuoti               | 0,73                        |                   |
| Grado di saturazione           | 38,10                       | %                 |
| <b>Permeabilità media</b>      | <b>3,2 10<sup>-6</sup></b>  | <b>cm/sec</b>     |

Osservazioni: determinazione effettuata su materiale addensato in laboratorio con modalità AASHTO STANDARD in condizioni di umidità naturale

Sono riportati i dati della domanda di esecuzione prove e le sigle ed etichettature apposte sui provini  
 È vietata la riproduzione parziale del **presente** documento senza autorizzazione scritta di GEOLAB srl

TIMBRO A SECCO SULL'ORIGINALE

*Lo sperimentatore*  
 Dott. Geol. Angelo Croce

*Il Direttore del Laboratorio*  
 Dott. Geol. Silvia Ragnoli