

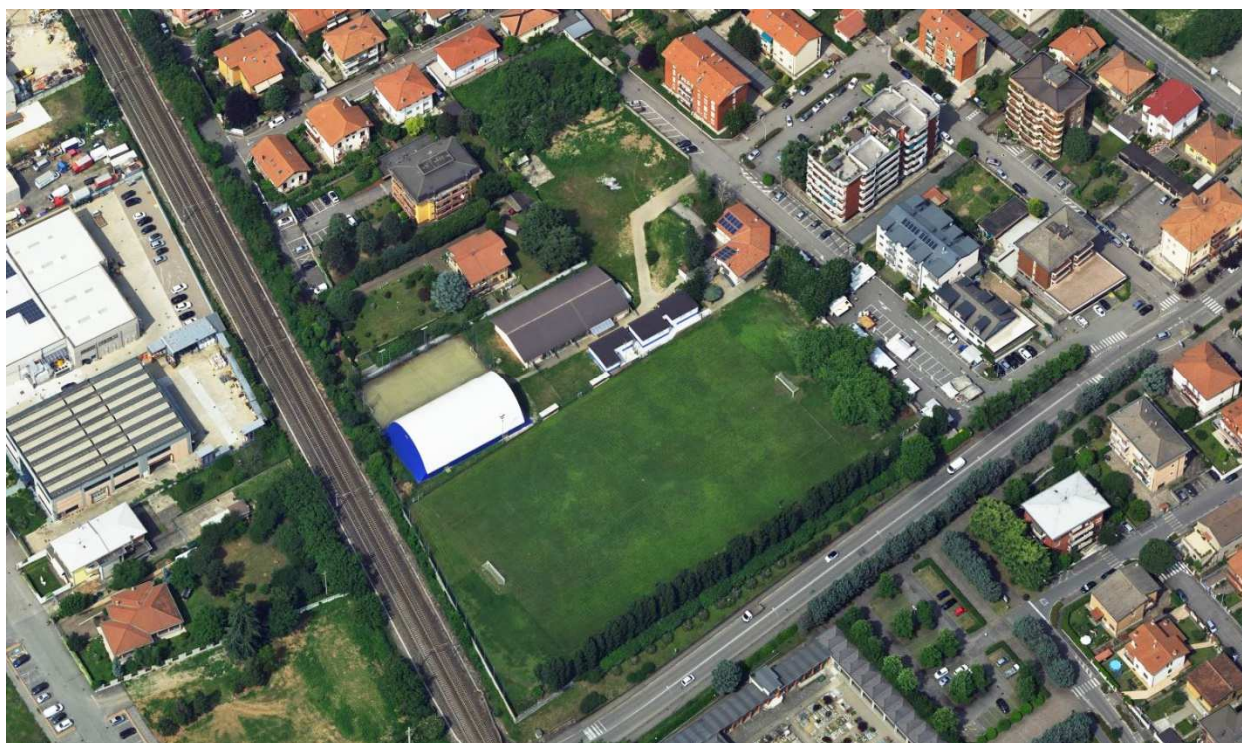


COMUNE DI PREGNANA MILANESE  
CITTA' METROPOLITANA DI MILANO

Piazza della Libertà n. 1 – 20010 Pregnana Milanese  
tel: 02.939671 - fax: 02.93590747  
email: protocollo@comune.pregnana.mi.it  
pec: protocollo@pec.comune.pregnana.mi.it



**CENTRO SPORTIVO "A. COGLIATI"**  
**LAVORI DI RIQUALIFICAZIONE DEL BOCCIODROMO E DI RICONVERSIONE A PALESTRA,**  
**REALIZZAZIONE DI NUOVI SPOGLIATOI, RIMODULAZIONE GENERALE DEGLI SPAZI DEDICATI ALLO**  
**SPORT E DEI PERCORSI DI FRUIZIONE DEL CENTRO SPORTIVO**



PROGETTO DEFINITIVO

RELAZIONE GEOLOGICA - DOTT. GEOL. ANTONELLO RIVOLTA

PROGETTAZIONE

SETTEMBRE 2021



dott. ing. Stefano Pollero

Via F. BORGOGNA, 14 - 13100 VERCELLI

Tel./Fax (+39) 0161 257 307

C (+39) 339 5849560

[pollerostefano@gmail.com](mailto:pollerostefano@gmail.com)  
[stefano.pollero2@ingpec.eu](mailto:stefano.pollero2@ingpec.eu)

|                               |           |           |           |              |
|-------------------------------|-----------|-----------|-----------|--------------|
| Codice elaborato<br>PMI-D-RGE | Revisione | Redazione | Controllo | Approvazione |
|                               | 00        | AR        | AR        | AR           |
| Elaborato<br>D.4.0            |           |           |           |              |
|                               |           |           |           |              |

# COMUNE DI PREGNANA MILANESE

## CITTA' METROPOLITANA di MILANO

SONDAGGI E STUDI GEOLOGICI PRESSO IL CENTRO SPORTIVO A. COGLIATI

COMMITTENTE: **COMUNE di PREGNANA M.se**

ELABORATO: **RELAZIONE GEOLOGICA, SISMICA E  
CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA**



DATA: **ottobre 2020**  
AGG.:

**Antonello RIVOLTA**

**GEOLOGO**

Via S. Giovanni 27, 28047 Oleggio (NO)

[antonello.rivolta@geologipiemonte.it](mailto:antonello.rivolta@geologipiemonte.it)

PEC: [antonello.rivolta@epap.sicurezza postale.it](mailto:antonello.rivolta@epap.sicurezza postale.it)

339-7783543



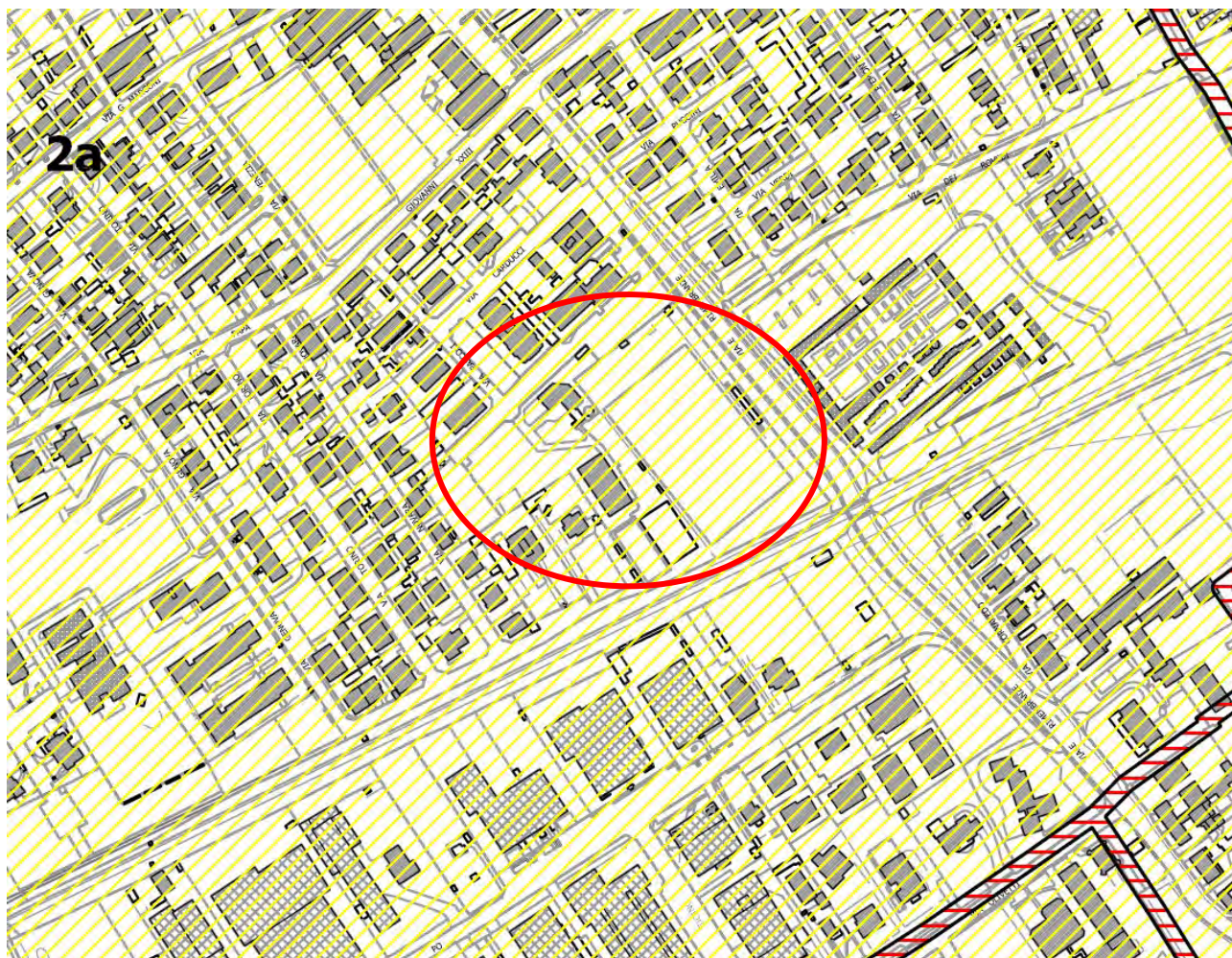
## PREMESSA




A supporto del progetto di riqualificazione ed ampliamento del complesso sportivo A. Cogliati in Comune di Pregnana M.se, lo scrivente è stato incaricato dell'esecuzione delle indagini geologiche e della redazione della relazione geologica, sismica e caratterizzazione geotecnica relativa all'intervento.

La presente relazione è sviluppata in ottemperanza a quanto richiesto dal vigente Decreto Ministeriale 17.01.18 "Aggiornamento delle Norme tecniche per le costruzioni" con riferimento ai capitoli 3.2.2, 6.2.1 e 6.2.2 (R1) e dalla D.G.R. IX/2616 del 30.11.2011 (R3).

## FATTIBILITA' GEOLOGICA

Dal punto di vista urbanistico, la zona di interesse ricade in **Classe 2a** di fattibilità geologica di cui alla Componente geologica del PGT, redatto dallo Studio Associato **SoilData** come da stralcio (non in scala) della tavola 8a del PGT del novembre 2016 e della relativa Normativa geologica.



|   |  |  |  |  |  |  |
|---|--|--|--|--|--|--|
| <b>2a</b><br>Unità di Microzona<br>FATTIBILITÀ CON<br>MODESTE | Ambito di piano fluvio-glaciale, litologicamente caratterizzato da ghiaie massive a supporto di matrici sabbiose, debolmente limose, raramente a supporto di classi. Presenza di livelli di sabbie medio fini limose. Profilo di alterazione poco evoluto. | Aree con possibile presenza di terreni sciolti in superficie con discrete caratteristiche. Miglioramento delle caratteristiche portanti a maggiore profondità. Drenaggio delle acque localmente difficoltoso in superficie. Vulnerabilità dell'acquifero di grado elevato. | Favorevole con modeste limitazioni legate alle caratteristiche portanti del terreno, all'assetto idrogeologico locale e alla salvaguardia dell'acquifero libero. | <br>IGT - SV - MP<br><br>IGT - SV - MP<br><br>IGT - SV - MP | RE - CO<br>RE - CO<br>RE - CO<br>RE - CO - CA<br>RE - CO - CA - (BO) | La progettazione dovrà essere condotta adottando i criteri antisismici di cui al d.m. 14 gennaio 2008 "Nuove Norme Tecniche per le costruzioni", definendo le azioni sismiche di progetto, a mezzo di analisi di risposta sismica locale semplificata. Per gli edifici e le opere strategiche e rilevanti le azioni sismiche di progetto dovranno essere definite a mezzo di analisi di approfondimento secondo quanto indicato nella carta della PSI. |
|---|--|--|--|--|--|--|



## **CLASSE DI FATTIBILITA' GEOLOGICA 2 - FATTIBILITÀ CON MODESTE LIMITAZIONI**

### **Classe 2a – Unità di Minoprio**

Principali caratteristiche: Ambito di piana fluvioglaciale, litologicamente caratterizzata da ghiaie massive a supporto di matrice sabbiosa, debolmente limosa, raramente a supporto di clasti. Presenza di livelli di sabbie medio fini limose. Profilo di alterazione poco evoluto.

Problematiche generali: Aree con possibile presenza di terreni sciolti in superficie con discrete caratteristiche. Miglioramento delle caratteristiche portanti a maggiore profondità. Drenaggio delle acque localmente difficoltoso in superficie. Vulnerabilità dell'acquifero di grado elevato.

Parere sulla edificabilità: favorevole con modeste limitazioni legate alla verifica puntuale delle caratteristiche portanti dei terreni e alla salvaguardia dell'acquifero libero.

Tipo di intervento ammissibile: sono ammesse tutte le categorie di opere edificatorie ed infrastrutturali. Per le opere esistenti sono ammessi gli interventi di restauro, manutenzione, risanamento conservativo, ristrutturazione edilizia (così come definiti dall'art. 27 della L.R. 11 marzo 2005 n. 21 "Legge per il governo del territorio"), nel rispetto delle normative vigenti.

Indagini di approfondimento necessarie, preventive alla progettazione: si rende necessaria la verifica litotecnica dei terreni mediante rilevamento geologico di dettaglio e l'esecuzione di prove geotecniche, finalizzate alla caratterizzazione geotecnica dei terreni, all'individuazione del livello piezometrico locale e al corretto dimensionamento degli elementi fondazionali, da effettuare preventivamente alla progettazione esecutiva per tutte le opere edificatorie (IGT), secondo quanto indicato nell'art. 2 delle presenti norme. Nel caso di opere che prevedano scavi e sbancamenti, dovrà essere valutata la stabilità dei versanti di scavo (SV), al fine di prevedere le opportune opere di protezione durante i lavori di cantiere. Nel caso di opere che prevedano la realizzazione di più piani interrati, dovrà essere valutata tramite monitoraggio piezometrico (MP) e studio storico dell'escursione di falda, la possibile interazione delle acque di falda con l'opera stessa nonché la conseguente compatibilità degli interventi con la circolazione idrica.

La modifica di destinazione d'uso di aree produttive esistenti necessita la verifica dello stato di salubrità dei suoli ai sensi del Regolamento Locale d'Igiene Pubblica (ISS) e/o dei casi contemplati nel D. Lgs. 152/06. Qualora venga rilevato uno stato di contaminazione dei terreni mediante un'indagine ambientale preliminare, dovranno avviarsi le procedure previste dal D.Lgs 152/06 "Norme in materia ambientale" (Piano di Caratterizzazione/PCA con analisi di rischio, Progetto Operativo degli interventi di Bonifica/POB).

Le suddette indagini dovranno essere commisurate al tipo di intervento da realizzare ed alle problematiche progettuali proprie di ciascuna opera.

Interventi da prevedere in fase progettuale: per ogni tipo di opera gli interventi da prevedere saranno rivolti alla regimazione idraulica e alla predisposizione di accorgimenti per lo smaltimento delle acque meteoriche (RE) e quelle di primo sottosuolo. Quale norma generale a salvaguardia della falda idrica sotterranea è necessario inoltre che per ogni nuovo intervento edificatorio, già in fase progettuale, sia previsto ed effettivamente realizzabile il collettamento degli scarichi idrici e/o dei reflui in fognatura (CO).

Per gli ambiti produttivi soggetti a cambio di destinazione d'uso, dovranno essere previsti interventi di bonifica (BO) qualora venga accertato uno stato di contaminazione dei suoli e delle acque ai sensi del D.Lgs 152/06.

Norme sismiche da adottare per la progettazione: la progettazione dovrà essere condotta adottando i criteri antisismici del d.m. 14 gennaio 2008 "Nuove Norme Tecniche per le costruzioni", definendo le azioni sismiche di progetto, a mezzo di analisi di approfondimento di 2° o 3° livello in funzione della zona sismica di appartenenza.



L'intervento in progetto ricade inoltre, relativamente allo scenario di pericolosità sismica locale PSL, nella zona sismica Z2.2 (fenomeni di liquefazione) come da stralcio della tav. 5 di PGT.



Zona sismica di appartenenza ai sensi della D.G.r. n° X/2129 del 11/07/2014: 4

| SIGLA   | SCENARIO DI PERICOLOSITA' SISMICA LOCALE  | POSSIBILI EFFETTI INDOTTI  | CLASSE DI PERICOLOSITA' SISMICA | LIVELLO DI APPROFONDIMENTO |
|---|---|--|---------------------------------|----------------------------|
| Z2.1<br> | Zone con possibile presenza di terreni di fondazione particolarmente scadenti - Ambienti estrattivi dismessi  | Fenomeni di addensamento disomogenei con conseguenti cedimenti differenziali | H2                              | 3                          |
| Z2.2<br> | Zone con possibile presenza di terreni granulari fini con falda superficiale (<15 m s.l.s.p.)                 | Fenomeni di liquefazione   | H2                              | 3                          |
| Z3a<br>  | Zona di ciglio H > 10m<br> | Amplificazioni topografiche  | H2                              | 2                          |
| Z5<br>   | Zona di contatto stratigrafico tra litotipi con caratteristiche fisico-meccaniche difformi                    | Cedimenti differenziali e distorsioni angolari                               | H2                              | -                          |

#### EDIFICI ED OPERE STRATEGICHE E RILEVANTI

Strutture ricreative, sportive e culturali, locali di spettacolo e intrattenimento in genere

- 8 - Centro sportivo ASD Aurora
- 9 - Campo da calcio
- 10 - Società pesca sportiva

#### ARTICOLO 2 – INDAGINI ED APPROFONDIMENTI GEOLOGICI

- Su tutto il territorio comunale gli edifici il cui uso prevede affollamenti significativi, gli edifici industriali con attività pericolose per l'ambiente, le reti viarie e ferroviarie la cui interruzione provochi situazioni di emergenza e le costruzioni con funzioni pubbliche o strategiche importanti e con funzioni sociali essenziali di cui al D.D.U.O. 21 novembre 2003 n. 19904 "Approvazione elenco tipologie degli edifici e opere infrastrutturali e programma temporale delle verifiche di cui all'art. 2, commi 3 e 4 dell'ordinanza O.p.c.m. n. 3274 del 20 marzo 2003, in attuazione della d.g.r. n. 14964 del 7 novembre 2003" **dovranno essere progettati adottando i criteri antisismici di cui al D.M. 14 gennaio 2008 "Nuove Norme tecniche per le costruzioni"**, definendo le azioni sismiche di progetto a mezzo di analisi di approfondimento di 2° o 3° livello in funzione dello scenario di amplificazione sismica locale di appartenenza.
- All'interno delle AREE A PERICOLOSITA' SISMICA LOCALE (PSL) corrispondenti agli Scenari Z2 (individuati in Tav. 5) la progettazione di edifici e strutture strategiche e/o rilevanti dovrà essere condotta adottando i criteri antisismici di cui al d.m. 14 gennaio 2008, definendo le azioni sismiche di progetto a mezzo di analisi di approfondimento di 3° livello - metodologie dell'allegato 5 alla d.g.r. n. 8/7374/2008.

## CLASSIFICAZIONE SISMICA

Con D.G.R. X/2129 del 11.07.2014 è stata approvata la nuova classificazione sismica dei Comuni lombardi, da cui si ricava che il Comune di Boffalora Sopra Ticino è inserito attualmente in zona 4, come da stralcio seguente.

| ISTAT    | Provincia | Comune            | Zona Sismica | AgMax    |
|----------|-----------|-------------------|--------------|----------|
| 03015179 | MI        | PREGNANA MILANESE | 4            | 0,041911 |

In base al 1° livello di approfondimento effettuato nel PGT, l'area in esame viene classificata in Zona PSL Z2.2 (Cfr. Tavola 5 "Carta della Pericolosità sismica locale").

Secondo quanto previsto dalla DGR 2616/2011 e confermato dalle norme di PGT, per i Comuni ricadenti nelle zone sismiche 4, negli scenari PSL individuati con il 1° livello e suscettibili di fenomeni di liquefazione, è obbligatorio il 3° livello in fase di progettazione esecutiva per edifici strategici e rilevanti, tra i quali è stato perimetrato il centro sportivo nella Componente Geologica del PGT.

Si fa presente che, con D.d.u.o. 22/05/2019 n. 7237, è stato aggiornato l'elenco delle tipologie degli edifici ed opere infrastrutturali di interesse strategico o rilevante.

Tra le categorie di edifici di interesse rilevante di competenza regionale sono attualmente presenti i seguenti:

*j) Stadi ed impianti sportivi, dotati di tribune anche mobili con capienza superiore a 100 persone (\*\*);*

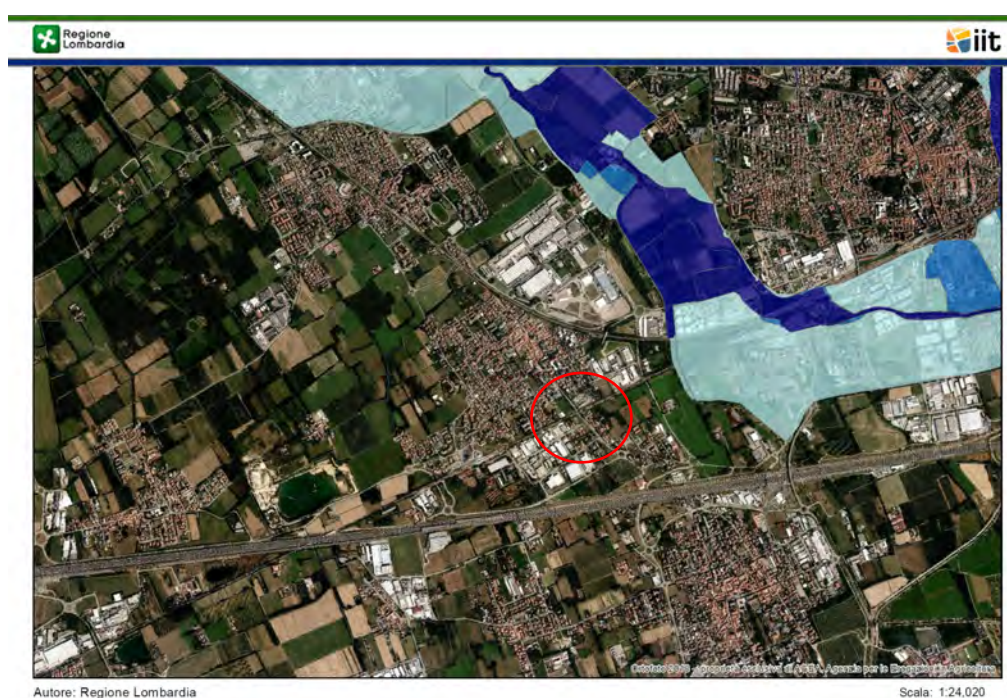
La norma precedente (D.d.u.o. 21/11/2003 n.19904), come esplicitata nel PGT, prevedeva invece:

*b. Strutture ricreative, sportive e culturali, locali di spettacolo e di intrattenimento in genere*

## QUADRO GENERALE DEL DISSESTO IDROGEOLOGICO

Il settore di interesse si colloca all'esterno delle fasce fluviali del PAI.

La consultazione delle mappe relative alla Direttiva Alluvioni, revisione 2019, effettuata per mezzo del Geoportale Regione Lombardia, mette in evidenza la perimetrazione del fiume Olona, nell'ambito del reticolo principale di pianura (RP). Risulta escluso dalla perimetrazione il settore oggetto del nuovo intervento.





## INQUADRAMENTO GEOGRAFICO E GEOLOGICO

L'area in esame è rappresentata nel Foglio 45 MILANO della Carta Geologica d'Italia e si colloca ad una quota media di circa 153 m s.l.m.

La zona è caratterizzata dalla presenza di sedimenti in facies fluvioglaciale e fluviale, riferibili alle fasi di espansione glaciale del Pleistocene superiore ed alle successive incisioni della pianura da parte dei corsi d'acqua attuali.



L'aspetto fisiografico generale è caratterizzato dalla presenza di 2 elementi ben riconoscibili che riflettono la propria genesi e la natura geologica, riassunti nella Carta Geologica d'Italia, come segue:

- Livello fondamentale della pianura, indicato con la sigla q3' "Ghiaie sabbiose e sabbie con strato superficiale di alterazione limitato a 40-60 cm, generalmente brunastro... Diluvium Recente
- Incisioni oloceniche, designato come a1 "Alluvioni ghiaioso sabbiose terrazzate Alluvium Antico

La genesi dell'area è riconducibile alle fasi di espansione glaciale verificatesi nel corso del Pleistocene. Il modellamento del territorio avviene mediante l'azione combinata delle meccaniche deposizionali ed erosive legate alla presenza delle masse glaciali pleistoceniche: da un lato l'azione d'accumulo esercitata dai ghiacciai pleistocenici che, mettendo in gioco enormi quantità di materiale proveniente dal proprio bacino d'alimentazione, è responsabile della formazione di cordoni morenici ben evidenti; dall'altro, l'azione erosiva dei torrenti proglaciali che, rimodellando la superficie topografica durante la fase di ritiro dei ghiacciai, danno luogo a morfologie depresse dalla tipica forma di valloni, a fondo concavo.

Connessa alle dinamiche erosive, è la genesi dei terrazzi che, insieme ai rilievi morenici ed alle depressioni, caratterizzano l'aspetto del territorio di origine glaciale e fluvioglaciale.

Il territorio comunale, secondo le indicazioni del PGT, ricade nell'Unità di Minoprio, attribuibile al Pleistocene medio-superiore, costituita da sedimenti fluvioglaciali ghiaioso sabbiosi, talora sabbioso limosi con clasti poligenici ed eterometrici, con intercalazioni di sabbie fini limose.

Dal punto di vista geomorfologico non si segnalano indizi di attività geomorfica in atto o potenziale.

Sotto l'aspetto stratigrafico, per la zona di interesse è stata consultata la Banca Dati Geologica regionale che ha fornito le seguenti informazioni:



**INFORMAZIONI INDAGINE**

COMUNE: PREGNANA MILANESE IDE: B6A107520404

QUOTA (m s.l.m.): 153,7 PROFONDITA'(m): 76 NUMERO STRATI: 11

| Strato | Da   | A    | Spessore | descrizione                  | sigla |
|--------|------|------|----------|------------------------------|-------|
| 1      | 0    | 0,5  | 0,5      | Terreno vegetale             | ZS    |
| 2      | 0,5  | 4,5  | 4        | Ghiaia grossa                | G2    |
| 3      | 4,5  | 11   | 6,5      | Ghiaia mista                 | G     |
| 4      | 11   | 25,8 | 14,8     | Ghiaia grossa e sabbia       | G2 S  |
| 5      | 25,8 | 26,5 | 0,7      | Argilla gialla               | A     |
| 6      | 26,5 | 37   | 10,5     | Ghiaia e sabbia              | G S   |
| 7      | 37   | 40   | 3        | Argilla gialla sabbiosa      | A S   |
| 8      | 40   | 43   | 3        | Ghiaia e sabbia              | G S   |
| 9      | 43   | 47   | 4        | Sabbia melmosa               | S M   |
| 10     | 47   | 70   | 23       | Ghiaia con sabbia grossolana | GG S2 |
| 11     | 70   | 76   | 6        | Argilla                      | A     |



**INFORMAZIONI INDAGINE**

COMUNE: PREGNANA MILANESE IDE: B6A111390343

QUOTA (m s.l.m.): 150,2 PROFONDITA'(m): 9,5 NUMERO STRATI: 2

| Strato | Da  | A   | Spessore | descrizione              | sigla |
|--------|-----|-----|----------|--------------------------|-------|
| 1      | 0   | 8,5 | 8,5      | Sabbia limosa con ghiaia | S L G |
| 2      | 8,5 | 9,5 | 1        | Limo sabbioso            | L S   |





## BANCA DATI GEOLOGICA DI SOTTOSUOLO

### INFORMAZIONI INDAGINE

COMUNE: PREGNANA MILANESE IDE: B6A100310238

QUOTA (m s.l.m.): 155 PROFONDITA'(m): 246 NUMERO STRATI: 43

| Strato | Da    | A     | Spessore | descrizione  | sigla    |
|--------|-------|-------|----------|--|----------|
| 1      | 0     | 37,2  | 37,2     | Ghiaia, ciottoli e sabbia                          | G GC S   |
| 2      | 37,2  | 38,6  | 1,4      | Argilla gialla con ghiaietto                       | A GG     |
| 3      | 38,6  | 45,4  | 6,8      | Conglomerato                                       | G        |
| 4      | 45,4  | 49,7  | 4,3      | Argilla limosa gialla                              | A L      |
| 5      | 49,7  | 66,2  | 16,5     | Ghiaia, sabbia e ghiaietto                         | G S GG   |
| 6      | 66,2  | 68,6  | 2,4      | Argilla sabbiosa gialla                            | A S      |
| 7      | 68,6  | 80    | 11,4     | Ghiaietto e sabbia                                 | GG S     |
| 8      | 80    | 80,8  | 0,8      | Argilla sabbiosa con poco ghiaietto                | A S GG   |
| 9      | 80,8  | 83    | 2,2      | Ghiaietto e sabbia medio-fine                      | GG S3 S4 |
| 10     | 83    | 92,8  | 9,8      | Argilla sabbiosa gialla                            | A S      |
| 11     | 92,8  | 95,2  | 2,4      | Sabbia fine argillosa                              | S4 A     |
| 12     | 95,2  | 101,5 | 6,3      | Argilla sabbiosa                                   | A S      |
| 13     | 101,5 | 107,6 | 6,1      | Sabbia fine argillosa                              | S4 A     |
| 14     | 107,6 | 111   | 3,4      | Argilla sabbiosa                                   | A S      |
| 15     | 111   | 113,6 | 2,6      | Sabbia argillosa e poco ghiaietto                  | S A GG   |
| 16     | 113,6 | 124,2 | 10,6     | Argilla sabbioso-limosa                            | A S L    |
| 17     | 124,2 | 129,3 | 5,1      | Sabbia medio-fine grigia con argilla               | S3 S4 A  |
| 18     | 129,3 | 132,9 | 3,6      | Argilla gialla                                     | A        |
| 19     | 132,9 | 138   | 5,1      | Sabbia media grigia con poco ghiaietto             | S3 GG    |
| 20     | 138   | 139,8 | 1,8      | Argilla sabbiosa                                   | A S      |
| 21     | 139,8 | 142,4 | 2,6      | Sabbia medio-fine con poco ghiaietto               | S3 S4 GG |
| 22     | 142,4 | 144,5 | 2,1      | Argilla sabbiosa gialla                            | A S      |
| 23     | 144,5 | 146   | 1,5      | Sabbia fine e media con poca argilla               | S4 S3 A  |
| 24     | 146   | 148,5 | 2,5      | Argilla sabbiosa gialla                            | A S      |
| 25     | 148,5 | 150,6 | 2,1      | Sabbia media con poco ghiaietto                    | S3 GG    |
| 26     | 150,6 | 153,5 | 2,9      | Argilla gialla                                     | A        |
| 27     | 153,5 | 156,4 | 2,9      | Ghiaietto e sabbia fine                            | GG S4    |
| 28     | 156,4 | 166,2 | 9,8      | Argilla gialla e cenere                            | A        |
| 29     | 166,2 | 169   | 2,8      | Sabbia medio-fine con argilla                      | S3 S4 A  |
| 30     | 169   | 177,8 | 8,8      | Sabbia fine con tracce di argilla e poco ghiaietto | S4 A GG  |
| 31     | 177,8 | 196,5 | 18,7     | Argilla gialla e azzurra                           | A        |
| 32     | 196,5 | 198,2 | 1,7      | Sabbia fine con poco ghiaietto                     | S4 GG    |
| 33     | 198,2 | 199   | 0,8      | Argilla sabbiosa                                   | A S      |
| 34     | 199   | 202,7 | 3,7      | Sabbia fine con ghiaietto                          | S4 GG    |
| 35     | 202,7 | 208   | 5,3      | Argilla gialla                                     | A        |
| 36     | 208   | 216,2 | 8,2      | Sabbia con ghiaietto                               | S GG     |
| 37     | 216,2 | 217,3 | 1,1      | Argilla sabbiosa gialla                            | A S      |
| 38     | 217,3 | 218,5 | 1,2      | Sabbia media con ghiaietto                         | S3 GG    |
| 39     | 218,5 | 235,5 | 17       | Argilla azzurra e gialla                           | A        |
| 40     | 235,5 | 237,2 | 1,7      | Ghiaietto e sabbia media                           | GG S3    |
| 41     | 237,2 | 238   | 0,8      | Argilla sabbiosa gialla                            | A S      |
| 42     | 238   | 240,6 | 2,6      | Ghiaietto con sabbia                               | GG S     |
| 43     | 240,6 | 246   | 5,4      | Argilla cenere                                     | A        |

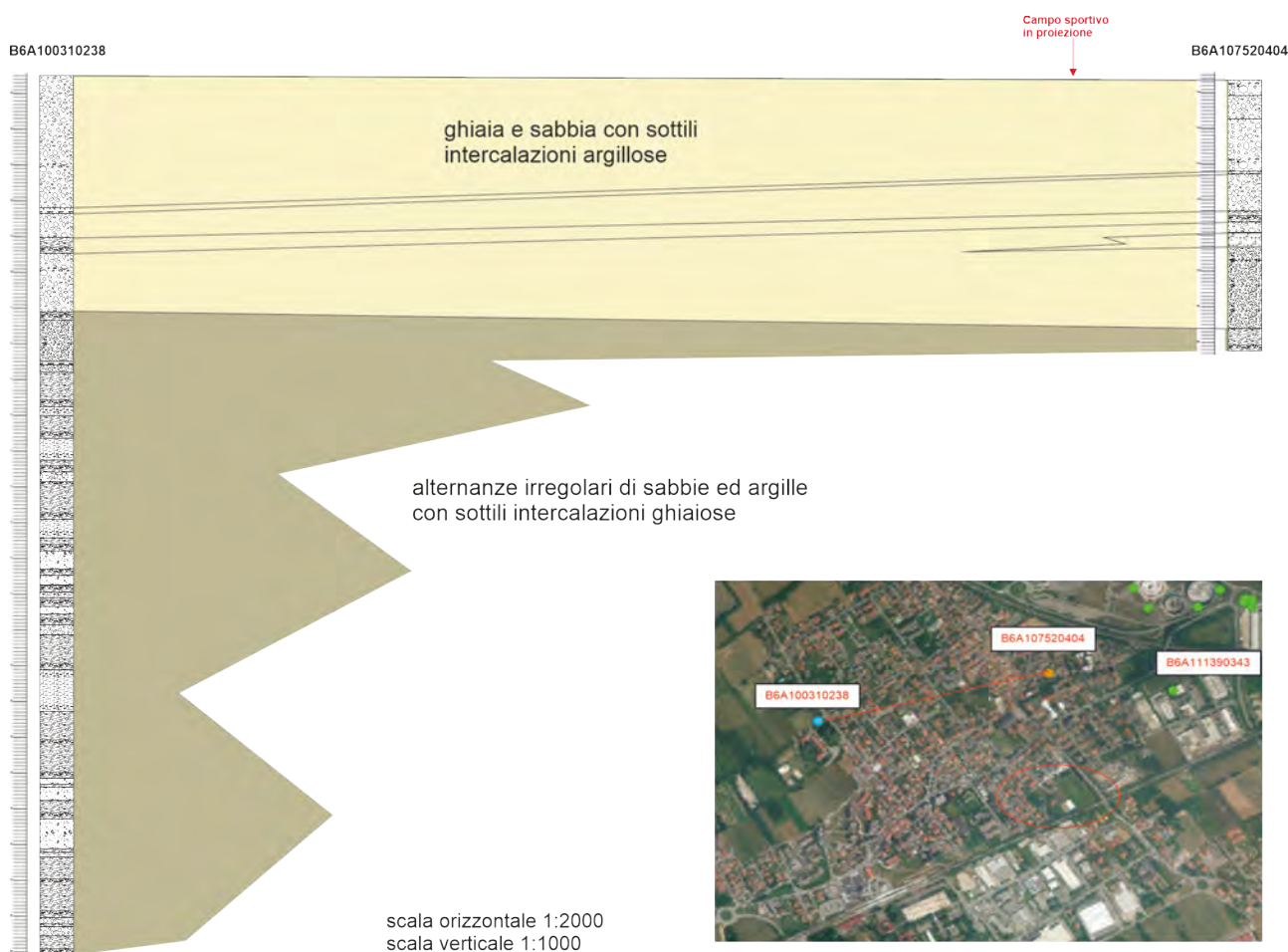
### ASSETTO STRATIGRAFICO LOCALE E MODELLO GEOLOGICO

La bibliografia tematica evidenzia che, in termini generali, la zona è occupata da terreni granulari coperti da suoli sottili.

Dalla ricostruzione effettuata e schematicamente rappresentata di seguito, si possono trarre le seguenti considerazioni:

1. La zona, come già evidenziato nel quadro generale, è caratterizzata nella porzione superiore (da p.c. sino a circa 70-80 m) in prevalenza da ghiaie e sabbie, con modeste intercalazioni di argilla sabbiosa, riferibili a facies fluvioglaciali s.l. pleistoceniche;

2. Nella porzione inferiore diventano predominanti gli orizzonti sabbiosi ed argillosi, riferibili verosimilmente a facies fluvio-lacustri e marine transizionali villafranchiane.



Per la definizione litostratigrafica del sito si fa riferimento anche alla *Relazione geologica* del collega geologo Marco Perego, dell'aprile 2018, per la "Verifica di compatibilità geologica per strutture ad uso sportivo", redatta per conto del Comune di Pregnana M.se.

In particolare, le risultanze di due trincee esplorative realizzate in sito, come da schema planimetrico allegato, hanno messo in luce la presenza nella porzione sommitale di sabbie e ghiaie limose.

| STRATO | descrizione               | SPESSORE | $\gamma$<br>t/mc | Dr<br>% | $\phi'$<br>° | E<br>Kg/cmq |
|--------|---------------------------|----------|------------------|---------|--------------|-------------|
| A      | Sabbie e<br>ghiaie limose | >2m      | 1,8              | 21      | 28           | 75          |





LEGENDA

■ Trincea geognostica



Anche la ricostruzione geologico-tecnica del PGT conferma tale assetto stratigrafico, come da stralcio seguente della Tavola 4.

| ASSETTO<br>GEOLOGICO-TECNICO   | DEFINIZIONE DEL MODELLO GEOTECNICO    |                     |             |  |           |                 |           |           |           |                 |
|--|---------------------------------------|---------------------|-------------|--|-----------|-----------------|-----------|-----------|-----------|-----------------|
|  | UNITA'<br>GEOTECNICA                  | Nspt<br>colpi/30 cm | Yn<br>kN/mc | Stato di<br>addensamento                   | Dr        | $\varphi'$<br>° | c'<br>kPa | Vs<br>m/s | E'<br>MPa | Spessore<br>(m) |
| Terreni granulari da<br>mediamente addensati<br>ad addensati, con buone<br>caratteristiche portanti.<br>Possibile presenza di<br>terreni sciolti in<br>superficie con discrete<br>caratteristiche portanti.<br>Permeabilità da alta ad<br>elevata. | A<br><br>Sabbie e<br>ghiaie limose    | 2÷10                | 18÷19       | mediamente                                 | 0.18÷0.54 | 28÷33           | 0         | 114÷171   | 5÷11      | 3÷4             |
|  | B<br><br>Ghiaie<br>sabbioso<br>limose | 12÷33               | 20÷22       | da mediamente<br>addensato ad<br>addensato | 0.47÷0.76 | 33÷37           | 0         | 196÷276   | 16÷31     | 3÷6             |
|  | C<br><br>Ghiaie<br>sabbioso<br>limose | 22÷44               | 20÷22       | da mediamente<br>addensato ad<br>addensato | 0.52÷0.73 | 34÷37           | 0         | 254÷312   | 39÷48     | n.d.            |

## INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO

Di seguito si riporta una sintesi della successione stratigrafica del sottosuolo con riferimento al settore principale del territorio costituito dal “livello fondamentale della pianura”:

| Unità litologiche           |                        | Unità idrostratigrafiche                                |               | Età                   | Unità idrogeologiche  |
|-----------------------------|------------------------|---|---------------|-----------------------|---|
| Mazzarella S. e Martini B.  |                        | Francani V. e Pozzi R.                                  |               |                       | Avanzini M. et Al.  |
| Litozona Ghiaioso-Sabbiosa  | Acquifero Tradizionale | Fluvioglaciale Wurm Autoc. (Diluvium recente)           | I Acquifero   | Pleistocene Superiore | Unità ghiaioso-sabbiosa   |
|                             |                        | Fluvioglaciale Riss-Mindel-Wurm (Diluvium medio-antico) | II Acquifero  | Pleistocene Medio     | Unità ghiaioso-sabbioso-limosa  |
|                             |                        | Ceppo Autoctono   |               |                       | Unità a Conglomerati  |
| Litozona Sabbioso-Argillosa | Acquiferi Profondi     | Villafranchiano   | III Acquifero | Pleistocene Inferiore | e Arenarie basali<br>-----<br>Unità sabbioso-argillosa (facies cont. e di transiz.) |
| Litozona Argillosa          |                        |   |               | Calabriano            | Unità argillosa (facies marina)   |

- Unità ghiaioso-sabbiosa (Pleistocene superiore - Olocene): E' costituita da depositi appartenenti al fluvioglaciale Wurm e alle alluvioni recenti. Le lenti argillose sono di limitato spessore ed estensione areale, mentre prevalgono nettamente le litologie grossolane. Rappresentano il corpo del “livello fondamentale della pianura” inciso solamente dagli alvei attuali, tra i quali il fiume Olona. Costituiscono la parte sommitale dell'acquifero tradizionale, sede di un acquifero freatico, e posseggono elevata permeabilità che consente la ricarica dell'acquifero da parte delle acque meteoriche e di quelle di infiltrazione da corsi d'acqua naturali ed artificiali.
- Unità ghiaioso-sabbioso-limosa (Pleistocene medio inferiore – Riss - Mindel Auct.): Simile alla precedente da cui si differenzia per la comparsa di orizzonti di limi e limi sabbiosi di spessore fino ad alcuni metri. Assumono particolare rilevanza quando la consistenza dei livelli fini è accentuata tale da assumere funzione di “acquitard” e conferendo alle falde in essa contenute le caratteristiche di semiconfinamento.
- Unità a conglomerati e arenarie basali (Pliocene sup. – Pleistocene inferiore): Per analogie litologiche e stratigrafiche questa unità viene correlata con l'orizzonte conglomeratico del “Ceppo dell'Adda”, ma potrebbero anche farne parte dei termini fluvioglaciali Mindel Auct. La falda contenuta in questa unità si presenta in genere semiconfinata, rientrando nella litozona dell'acquifero tradizionale.
- Unità sabbioso-argillosa (Pliocene sup.-Pleistocene inferiore): Si tratta di depositi di tipo litorale, lagunare e alluvionale originatisi a seguito della fase di regressione marina villafranchiana. L'unità è



costituita da argille e limi di colore grigio e giallo con presenza di torbe e lenti più o meno estese di sabbie, ghiaie e conglomerati che formano acquiferi con falde solitamente confinate appartenenti all'acquifero profondo.




- Unità argillosa (Pliocene superiore): Si rinviene ad una profondità posta tra i 180 e i 220 m. E' costituita da argille e limi di facies marina, di colore cinereo azzurro con micro e macro fossili marini e in subordine, livelli sabbiosi.

Facendo riferimento ad associazione di litotipi che presentano simili condizioni di circolazione idrica sotterranea, di alimentazione e di disposizione geometrica, vengono generalmente distinti nell'ambito del territorio milanese due complessi acquiferi principali, separati su aree molto vaste da livelli impermeabili continui ed estesi. I complessi principali possono essere distinti in acquiferi di minore estensione, tra loro intercomunicanti. I complessi acquiferi principali sono stati così identificati:

1. ACQUIFERO TRADIZIONALE: è l'acquifero superiore, comunemente sfruttato dai pozzi pubblici; la base di tale acquifero è generalmente definita dai depositi superficiali Villafranchiani (Pleistocene Inferiore); lo spessore è valutabile in circa 100 m.
2. ACQUIFERO PROFONDO: è costituito dai livelli permeabili presenti all'interno dei depositi continentali del Pliocene-Pleistocene inferiore ed è a sua volta suddiviso in quattro corpi acquiferi minori.

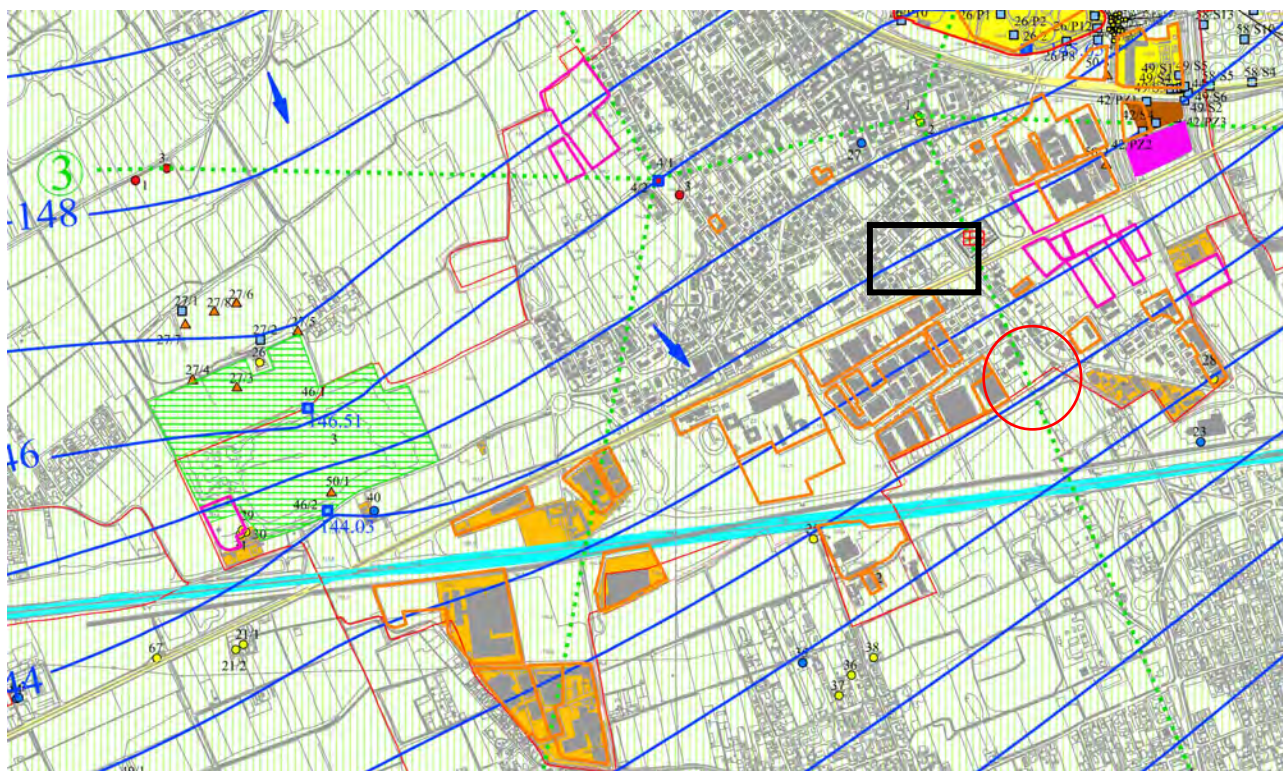
La conducibilità idraulica che caratterizza l'acquifero tradizionale nell'area del milanese è compresa tra valori di  $10^{-3}$  e  $10^{-4}$  m/s mentre la portata specifica si assesta su valori di 10 - 20 l/s m. In linea generale la trasmissività è superiore a  $10^{-2}$  m<sup>2</sup>/s.

Nello stralcio cartografico seguente della tav. 2 di PGT "idrogeologia e vulnerabilità" sono illustrati i caratteri generali del territorio. Il settore di interesse si colloca in un'area con alta vulnerabilità e soggiacenza di circa 9-10 m; l'andamento della superficie freatica è diretto verso SE.

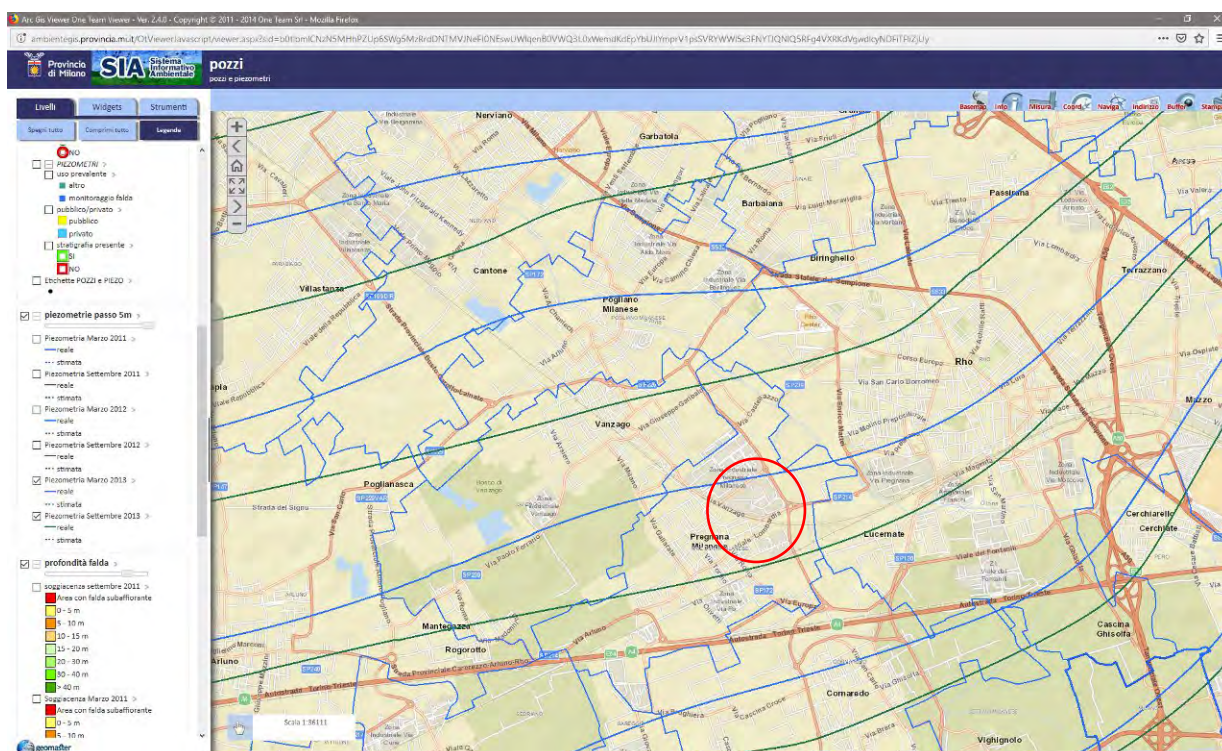
| GRADO DI VULNERABILITA'   |   |   |   |   |    | CARATTERISTICHE DEGLI ACQUIFERI  |
|---|---|---|---|---|----|--|
| Ee  | E   | A | M | B | BB |  |
|  |   |   |   |   |    | Acquifero di tipo libero in materiale alluvionale in corrispondenza dei depositi fluviali dell'Unità Postglaciale, privi di copertura superficiale. Corso d'acqua (F. Olona) in rapporto di alimentazione/drenaggio; Soggiacenza <10 m       |
|   |  |   |   |   |    | Acquifero libero in materiale alluvionale con locali sequenze sommitali limoso-sabbiose di ridotto spessore (< 1 m), in corrispondenza dei depositi fluvioglaciali poco alterati del Sistema di Cantù. Soggiacenza < 10 m                    |
|   |  |   |   |   |    | Acquifero libero in materiali alluvionali con locali sequenze sommitali limoso-sabbiose di ridotto spessore (1-1.5 m) in corrispondenza dei depositi fluvioglaciali da poco a mediamente alterati dell'Unità di Minoprio. Soggiacenza < 10 m |

EE:estremamente elevato E:elevato A:alto M:medio B:basso BB:molto basso



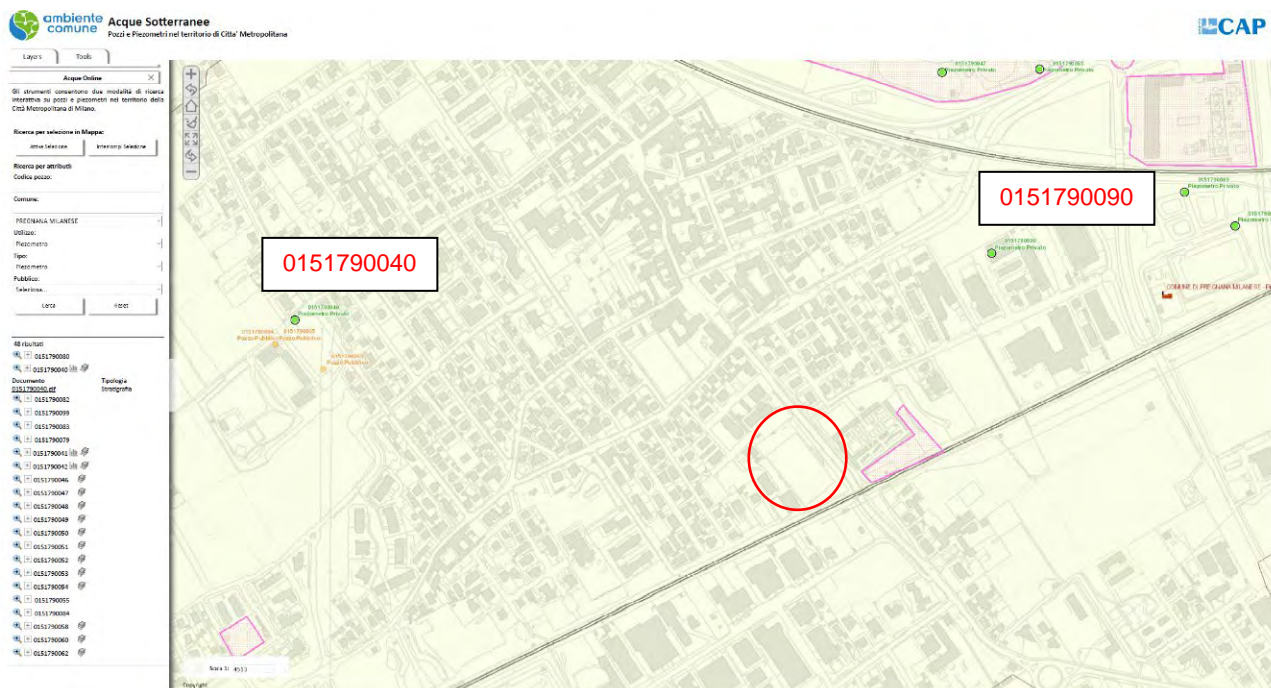


I dati rilevati dalla Carta della piezometria della falda freatica della Città Metropolitana di Milano permettono di ricavare la profondità della superficie piezometrica della prima falda nel sottosuolo comunale. Essa viene segnalata a quota di circa 144 -146 m sul livello del mare nel mese di marzo/settembre 2013, che corrisponde ad una soggiacenza (profondità dal piano campagna) di 8-10 m per l'area in esame.

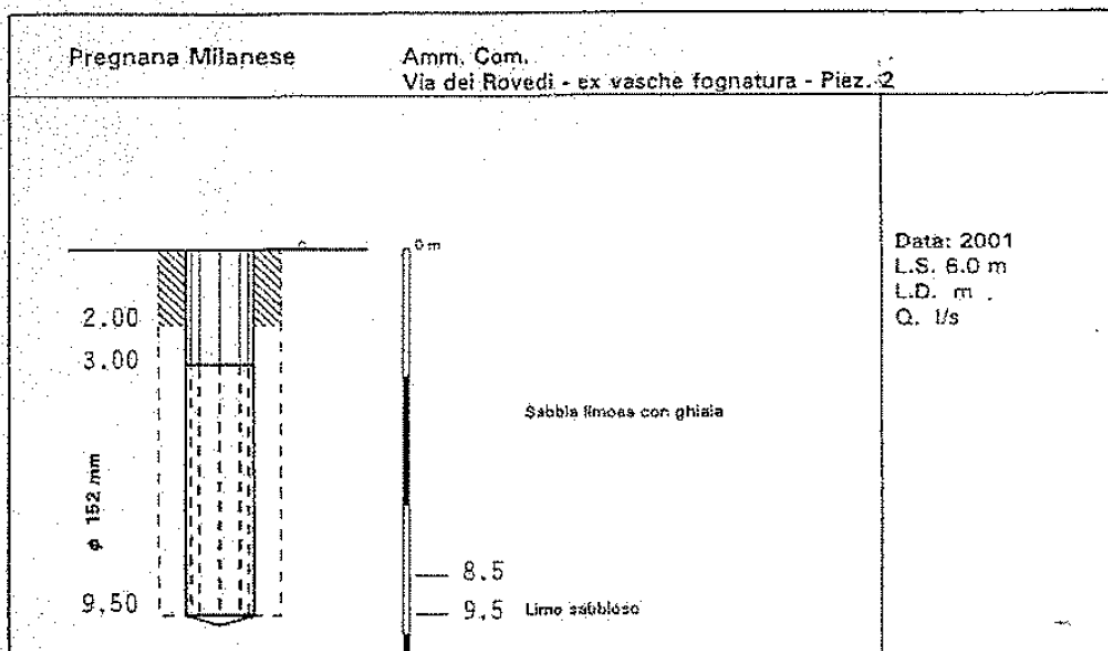




Dal portale Ambiente della Città Metropolitana sono stati ricavati alcuni dati relativi alla prima falda; nella seguente planimetria sono indicati i punti di misurazione individuati nei dintorni del sito in esame.



**0151790090**  
LUG 2002 10:36 STUDIO IDROGEOTECNICO 026551040 Nr. 7514 P. 6/7



0151790040

CONSORZIO PER L'ACQUA POTABILE AI COMUNI DELLA PROVINCIA DI MILANO  
RIPARTIZIONE GEOLOGIA

Acquedotto di **PREGNANA**  
Comune di Pregnana - Via Gallarate

POZZO TRIVELLATO E STRATIGRAFIA

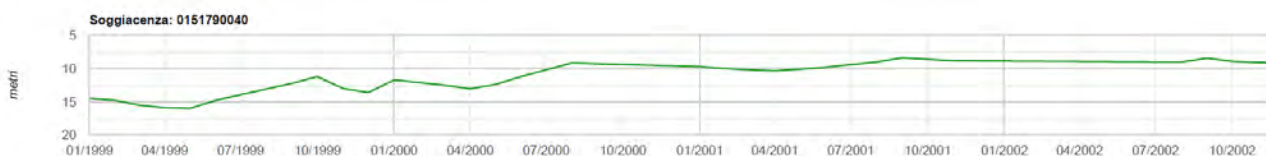
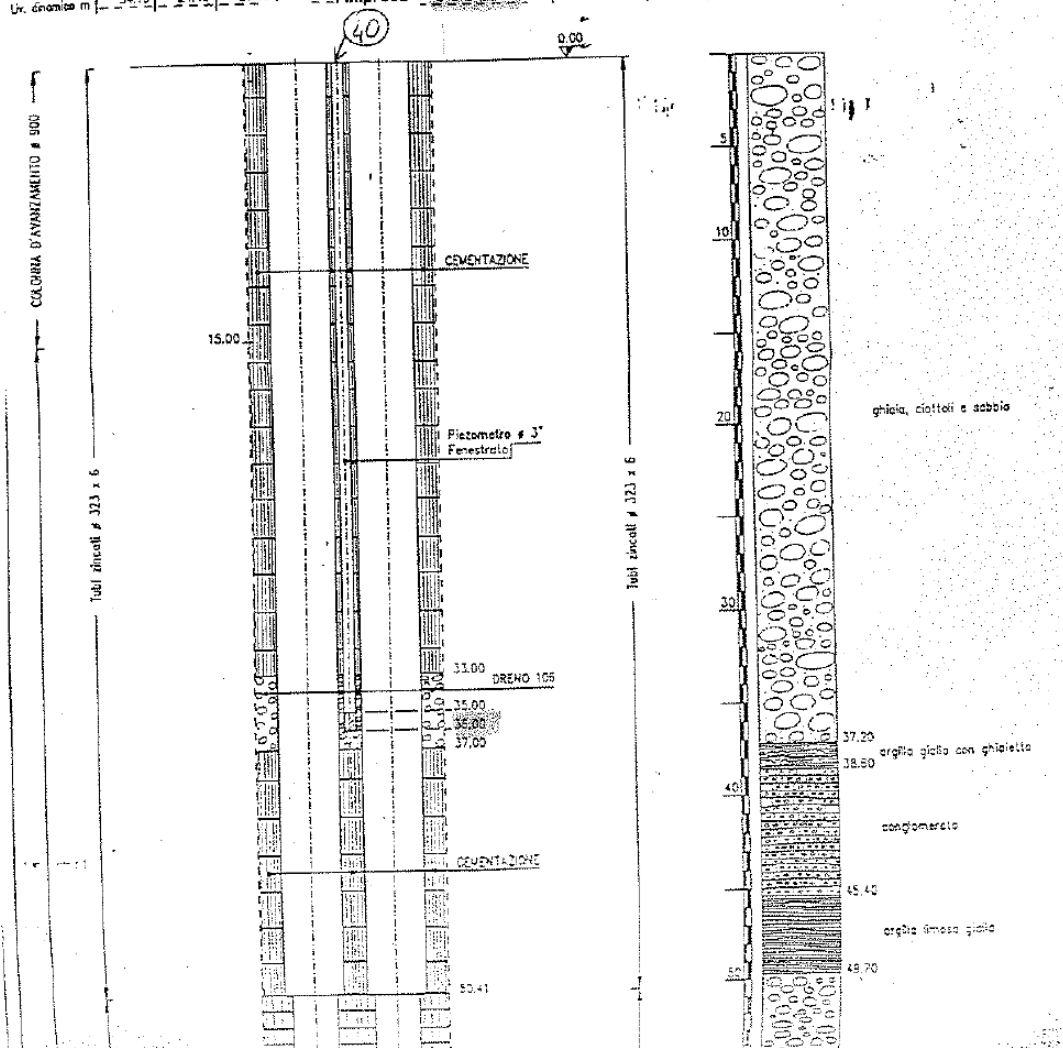
Piezometro 40

| Data            | 20/3/90 | 20/3/90 | 20/3/90 |  |
|-----------------|---------|---------|---------|--|
| Liv. statico m  | 15.50   | 15.50   | 15.50   |  |
| Portata l/s     | 57.00   | 42.00   | 35.00   |  |
| Liv. dinamico m | 34.10   | 24.45   | 28.35   |  |

Pozzo n. **40**  
Data **Febb. 90**  
Impresa **COSTA**

| Data            | 22/3/90 | 22/3/90 | 22/3/90 |  |
|-----------------|---------|---------|---------|--|
| Liv. statico m  | 16.79   | 16.79   | 16.79   |  |
| Portata l/s     | 31.30   | 43.00   | 59.00   |  |
| Liv. dinamico m | 23.38   | 25.56   | 28.60   |  |

Pozzo  
Data **Febb. 90**  
Impresa **COSTA**



Come si può osservare dai dati raccolti, la soggiacenza riportata dal piezometro 0151790090 risulta di circa 2 m inferiore rispetto a quanto illustrato nella tavola di PGT; per il piezometro 0151790040, l'andamento della soggiacenza mostra una tendenza alla diminuzione, attestandosi mediamente a circa 8 m da p.c.



## PERMEABILITA' DEI TERRENI

All'interno del sito, in data 04/08/2020, è stata eseguita una prova di permeabilità a carico variabile in pozzetto presso la superficie, all'interno di sedimenti sabbioso-ghiaiosi ed argillosi di riporto.



La prova è stata effettuata con infiltrometro ad anello singolo in prossimità dell'ingresso carraio, ad una profondità di circa 25 cm, in condizioni di terreno umido per precipitazioni del giorno precedente.

La media dei valori sulle 2 prove risulta pari a **1.36E-04 cm/s**.

| PROVA DI PERMEABILITA' IN SITO<br>METODO DEL CARICO VARIABILE |                         |  |            |
|---|-------------------------|--|------------|
| Committente:  | Comune di Pregnana M.se |  |            |
| Località:   | Campo sportivo          |  |            |
| Prova:  | 1                       |  |            |
| Data:   | 04/08/2020              |  |            |
| FORO CIRCOLARE:   |                         |  |            |
| Diametro cm:  | 20                      | $K = \frac{d}{32} \cdot \frac{h_1 - h_2}{t_2 - t_1} \cdot \frac{1}{h_m}$ |            |
| Altezza cm:   | 30                      |  |            |
| DATI DELLA PROVA  | 1° Gradino              | 2° Gradino   | 3° Gradino |
| h <sub>1</sub> [cm] = altezza iniziale acqua                  | 14.00                   | 15.00  |            |
| h <sub>2</sub> [cm] = altezza finale acqua                    | 13.00                   | 14.70  |            |
| h <sub>m</sub> [cm] = altezza media acqua                     | 13.50                   | 14.85  |            |
| t <sub>1</sub> [sec] = tempo iniziale                         | 0                       | 0  |            |
| t <sub>2</sub> [sec] = tempo finale                           | 207                     | 260  |            |
|   |                         |  |            |
| K [cm/sec]  | 2.24E-04                | 4.86E-05   |            |

Il valore di conducibilità idraulica ottenuto corrisponde ad un valore di permeabilità scarso, come da schema seguente.

In fase esecutiva, verificata l'eventuale necessità di provvedere a smaltimenti delle acque sotterranee nei primi strati del sottosuolo nell'ambito dell'invarianza idraulica, sarà necessario procedere con specifiche prove di percolazione alle quote e nei luoghi previsti in progetto.

## CARATTERISTICHE DI PERMEABILITA' DEI TERRENI

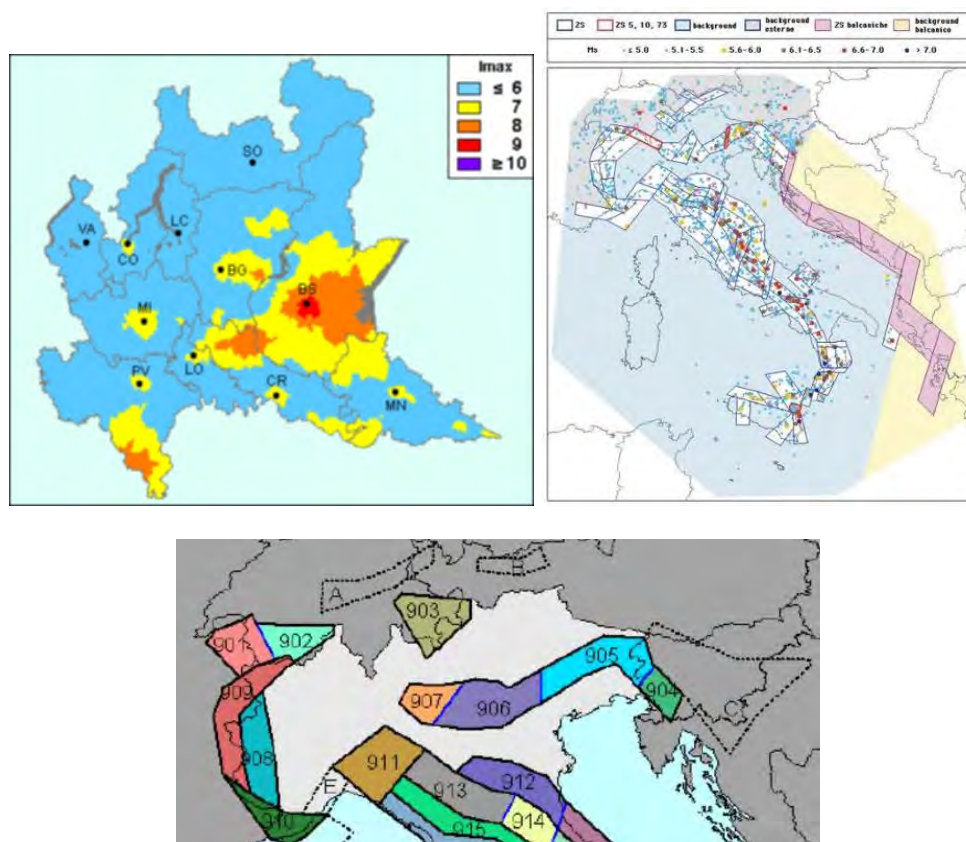
Coefficiente di permeabilità  $k$  in cm/sec (scala logaritmica)

| 10 <sup>2</sup> 10 <sup>1</sup> 1    10 <sup>-1</sup> 10 <sup>-2</sup> 10 <sup>-3</sup> 10 <sup>-4</sup> 10 <sup>-5</sup> 10 <sup>-6</sup> 10 <sup>-7</sup> 10 <sup>-8</sup> 10 <sup>-9</sup> |   |   |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|---|---|---|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|
| Permeabilità  | Buona   |   |  |  |  |  | Scarsa   |  | Praticamente nulla   |  |  |  |
| Tipo di terreno   | Ghiaia pulita   | Sabbie pulite; mescolanze di sabbia pulita e ghiaia                               | Sabbie molto fini; limi organici e inorganici; mescolanze di sabbia, limo e argilla; till glaciali, depositi stratificati di argilla, ecc. |  |  |  | Terreni "impermeabili" modificati dell'azione della vegetazione e degli agenti atmosferici |  | Terreni "impermeabili", cioè argille omogenee al di sotto della zona influenzata dagli agenti atmosferici  |  |  |  |
|   |   |   |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Determinazione diretta di k   | Prova diretta sul terreno in sito mediante pompaggio, i cui risultati sono attendibili solo se propriamente eseguita. E' necessaria una considerevole esperienza. |   |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|   | Prova mediante parametro a carico costante. Non è necessaria una notevole esperienza.   |   |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Determinazione indiretta di k   |   | Permeametro a carico variabile. Attendibile. Non è necessaria notevole esperienza | Permeametro a carico variabile. Non attendibile. E' necessaria notevole esperienza   |  |  |  | Permeametro a carico variabile. Abbastanza attendibile. E' necessaria notevole esperienza. |  | Calcolo in base ai risultati delle prove di consolidazione. Attendibile. E' necessaria notevole esperienza |  |  |  |
|   | Calcolo in base alla distribuzione granulometrica, applicabile solo a ghiaie e sabbie pulite e incoerenti   |   |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |

Da Casagrande e Fadum (1940)

## INQUADRAMENTO SISMICO LOCALE

L'analisi dei cataloghi sismici ha evidenziato che il comparto in esame è caratterizzato da eventi sismici ripetuti nel tempo e con massima intensità macrosismica inferiore a 6.



Secondo la nuova zonazione sismogenetica ZS9, l'area in esame ricade nelle vicinanze della zona-sorgente 911, che racchiude il cosiddetto "arco di Pavia" con strutture di svincolo cinematico del sistema appenninico e la zona 907 del Reggiano.

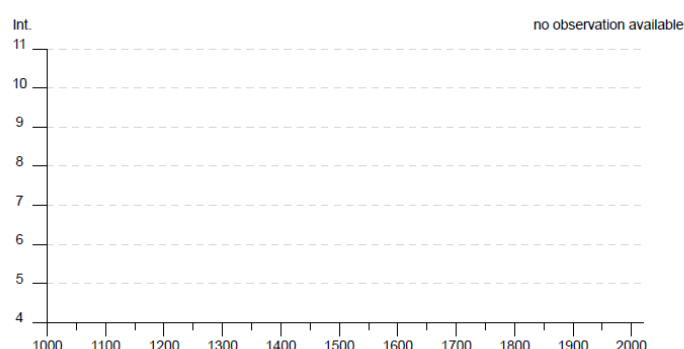


La consultazione del catalogo DBMI15 – Database Macrosismico Italiano, dell'INGV (*Locati M., Camassi R., Rovida A., Ercolani E., Bernardini F., Castelli V., Caracciolo C.H., Tertulliani A., Rossi A., Azzaro R., D'Amico S., Conte S., Rocchetti E. (2016). Database Macrosismico Italiano (DBMI15). Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV). <https://doi.org/10.6092/INGV.IT-DBMI15>*) ha fornito i seguenti dati per il comune:

### Pregnana Milanese

PlaceID IT\_13678  
Coordinate (lat, lon) 45.518, 9.006  
Comune (ISTAT 2015) Pregnana Milanese  
Provincia Milano  
Regione Lombardia  
Numero di eventi riportati 1

| Effetti |      | In occasione del terremoto del |    |    |    |    |                  |            |
|---------|------|--------------------------------|----|----|----|----|------------------|------------|
| Int.    | Anno | Me                             | Gi | Ho | Mi | Se | Area epicentrale | NMDF Io Mw |
| NF      | 1987 | 05                             | 02 | 20 | 43 | 5  | Reggiano         | 802 6 4.71 |

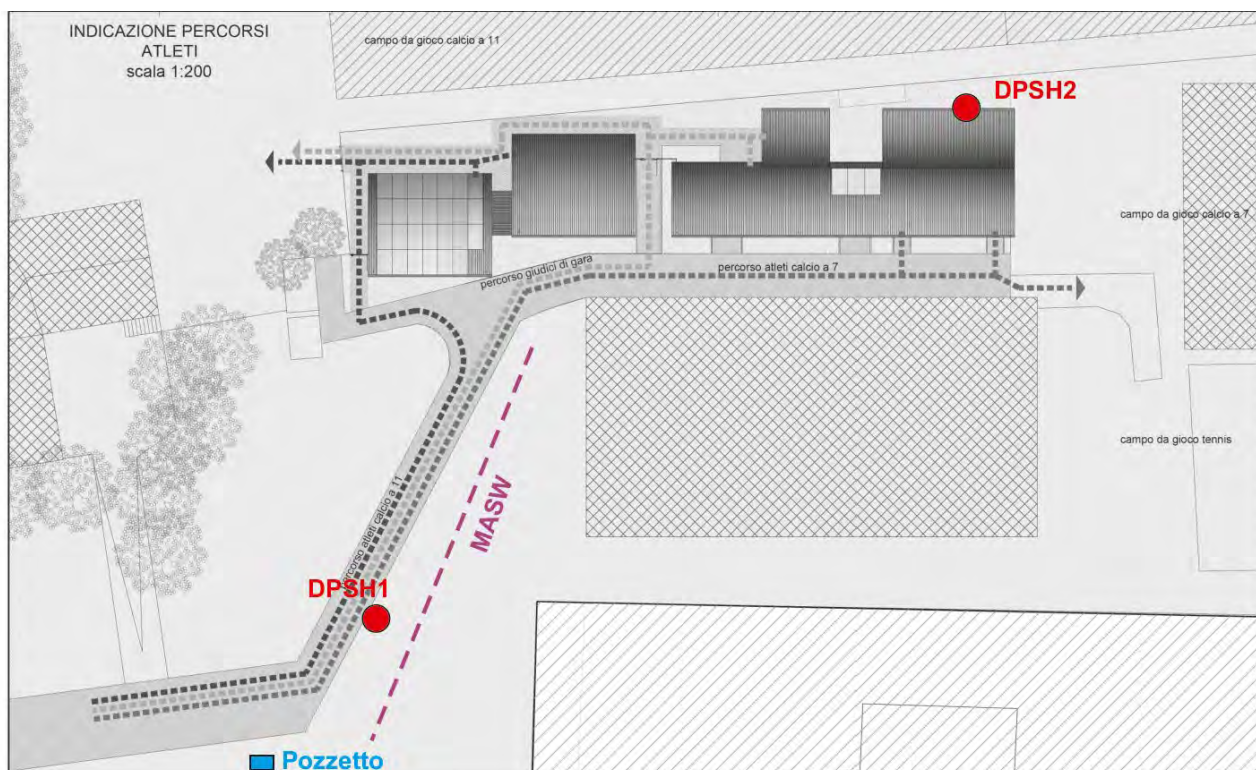


### Località vicine (entro 10km)

| Località          | EQs | Distanza (km) |
|-------------------|-----|---------------|
| Vanzago           | 1   | 1             |
| Cornaredo         | 2   | 2             |
| Pogliano Milanese | 2   | 3             |
| Rho               | 8   | 3             |
| Bareggio          | 3   | 4             |
| Sedriano          | 2   | 4             |
| Nerviano          | 2   | 5             |
| Arluno            | 2   | 5             |
| Settimo Milanese  | 2   | 5             |
| Vittuone          | 1   | 5             |
| Lainate           | 1   | 6             |
| Parabiago         | 6   | 6             |
| Arese             | 4   | 7             |
| Pero              | 2   | 7             |
| Ospiate           | 1   | 8             |
| Canegrate         | 1   | 8             |
| Ossona            | 3   | 8             |
| Castellazzo       | 1   | 8             |
| Cusago            | 2   | 8             |
| Corbetta          | 4   | 9             |
| Origgio           | 1   | 9             |
| Bollate           | 2   | 9             |
| Cerro Maggiore    | 1   | 9             |

## INDAGINI ESEGUITE IN SITO

Le indagini svolte in sito (04/08/2020) sono state disposte secondo il seguente schema planimetrico, e sono consistite in 2 prove penetrometriche dinamiche ed 1 stendimento sismico di superficie MASW.



### GENERALITÀ PROVE PENETROMETRICHE DINAMICHE

La prova penetrometrica dinamica (DPSH) consiste nell'infiggere verticalmente nel terreno una punta conica metallica posta all'estremità di un'asta d'acciaio, prolungabile con l'aggiunta di aste successive; l'infissione avviene per battitura, con le stesse modalità delle prove SPT, che costituiscono lo standard di riferimento per le prove penetrometriche. Si contano i colpi necessari per la penetrazione di ciascun tratto di lunghezza stabilita; la resistenza del terreno è funzione inversa della penetrazione per ciascun colpo e, diretta, del numero di colpi ( $N_{DP}$ ) per una data penetrazione.

Per la prova è stato utilizzato un penetrometro dinamico pesante della Ditta GEODEEP DRILL, motorizzato e cingolato, con le seguenti caratteristiche tecniche:

- diametro della punta = 51 mm
- angolo della punta = 60°
- area della base della punta conica = 20,43 cm<sup>2</sup>
- diametro delle aste = 32 mm
- lunghezza delle aste = 90 cm
- peso delle aste = 6 kg
- peso del maglio = 63,5 kg
- altezza di caduta = 750 mm
- penetrazione di riferimento = 300 mm

L'energia cinetica propria di ciascun colpo è il prodotto della massa del maglio (M) per l'accelerazione di gravità (g) e per l'altezza di caduta (H).

I risultati di differenti prove penetrometriche dinamiche possono essere presentati (e/o paragonati) come valori di resistenza  $r_d$  secondo la seguente formula:



$$r_d = \frac{M \cdot g \cdot H}{A \cdot e}$$

- $A$  è l'area della sezione trasversale della base della punta conica
- $e$  è la penetrazione media per colpo.



### MODALITÀ DI INTERPRETAZIONE DEI DATI

Il penetrometro utilizzato rispetta lo standard vigente, quindi è possibile utilizzare tutta la letteratura prodotta per le prove SPT. Prima di poter essere utilizzato per ricavare i parametri geotecnici dei terreni attraversati, il valore di  $N_{SPT}$  deve, tuttavia, essere oggetto di normalizzazione, al fine di eliminare l'influenza della pressione del terreno sovrastante e di quella indotta dal dispositivo di battitura delle aste.

#### NORMALIZZAZIONE RISPETTO ALLA PRESSIONE DEL TERRENO.

Dato che la resistenza alla penetrazione aumenta in modo lineare con la profondità, quindi nel caso di densità relativa costante, all'aumentare della tensione verticale efficace, è necessario operare una correzione riferendo i valori di  $N$  ad una pressione verticale efficace di  $1 \text{ kg/cm}^2$  secondo la formula:

$$N_1 = C_N \cdot N$$

$N$  è il numero di colpi misurati;

$N_1$  è il valore di  $N$  riferito ad un valore unitario di  $\sigma'_{v0}$ ;

$C_N = 1 / \sigma'_{v0}{}^{(n)}$  con  $n = 0.5$  (Liao e Whitman, 1985).

E' possibile utilizzare anche la relazione di Skempton (1986) per sabbie fini:  $C_N = \frac{2}{1 + \sigma'_{v0}/100}$ , e per sabbie

grossolane:  $C_N = \frac{3}{2 + \sigma'_{v0}/100}$ , che enfatizzano meno i valori di  $C_N$  per bassi valori di pressione efficace.

#### NORMALIZZAZIONE RISPETTO AL DISPOSITIVO DI BATTITURA DPSH

Normalmente il rendimento dei dispositivi utilizzati per le prove SPT è pari al 60% dell'energia cinetica nominale (473.4 Joule) della massa di un maglio di 63.5 kg che cade da un'altezza di 760 mm, secondo la

relazione:

$$N_{60} = \frac{ER_{iM}}{60} \cdot N$$

$N_{60}$  = numero di colpi corretto per riferirlo ad un rendimento del 60%;

$ER_{iM}$  = rendimento medio espresso in percentuale;

$N$  = numero di colpi misurato.

Il valore normalizzato di  $N$  che tenga conto sia della pressione del terreno sovrastante che del rendimento del sistema di infissione, diviene  $(N1)_{60} = C_N (ER_{iM}/60)N = ER_{iM} \cdot N / 60 \sqrt{\sigma'_{vo}}$

Adottando il valore di  $(N1)_{60}$  e rispettando le indicazioni della Procedura di Riferimento nell'esecuzione della prova, le variazioni registrate nel numero di colpi dipenderanno solo dalle caratteristiche del terreno.

#### TRASFORMAZIONE DA NDPSH A NSPT

La correzione è stata introdotta utilizzando la formulazione di LaCroix e Horn (1973)

$$N_{SPT} = \left( \frac{W \cdot H}{6,2 \cdot D^2 \cdot L} \right) N$$

$W$  = peso del maglio (kg) –  $H$  = altezza di caduta (cm) –  $D$  = diametro del cono (cmq) –  $L$  = penetrazione standard (cm) –  $N$  = numero dei colpi misurato nella prova non standard

#### NORMALIZZAZIONE RISPETTO ALLA LUNGHEZZA DELLE ASTE

L'energia può anche essere dispersa a causa della lunghezza delle aste, infatti se questa è minore di 10 m, i fattori di correzione mostrati di seguito possono essere applicati al numero dei colpi per sabbia; per aste più lunghe di 10 m, nessuna correzione viene applicata.

| Lunghezza delle aste | Fattore di correzione $\lambda$ |
|----------------------|---------------------------------|
| >10                  | 1.0                             |
| 6-10                 | 0.95                            |
| 4-6                  | 0.85                            |
| 3-4                  | 0.75                            |

Tab. 2.8 Fattori di correzione in sabbia dovuti alla lunghezza delle aste

#### SMUSSAMENTO VALORI ANOMALI

Per lo smussamento (*filtering*) dei picchi anomali dovuti a contingenze localizzate, è stata applicata la funzione di Crespellani & Loi per cui si definisce una funzione  $G$  con

$$G = N_{(i-1)} + N_{(i)}\alpha \quad \text{nel caso sia } N_{(i-1)} > N_{(i+1)}$$

$$G = N_{(i+1)} + N_{(i)}\alpha \quad \text{nel caso sia } N_{(i-1)} < N_{(i+1)}$$

Se  $G$  risulta inferiore a  $N_{(i)}$ ,  $N_{(i)}$  prende un valore smussato pari a

$$N_{(i)} = \frac{m_1 N_{(i-1)} + m_2 N_{(i)} + m_3 N_{(i+1)}}{\sum m_1 + m_2 + m_3}$$

Con  $\alpha = 0.08$ ;  $m_1 = 10$ ;  $m_2 = 3$ ;  $m_3 = 10$

#### PARAMETRI RICAVALTI

##### PESO DI VOLUME

E' stata utilizzata la formulazione di Bruschi:  $98,1 \cdot (1,39 + 0,053 \cdot N_{60} - 0,0011 \cdot N_{60}^2 + 0,0000076 \cdot N_{60}^3)$  e quella di Chaigneau:  $(1,27 \cdot \ln(rd) + 14,63)$ , mediando i risultati.



### DENSITÀ RELATIVA (DR)

Disponendo del valore normalizzato di NSPT  $[(N_1)_{60}]$ , la migliore classificazione risulta quella proposta da Terzaghi e Peck (1948) e da Skempton (1986), utilizzando la correlazione  $(N_1)_{60}/D_r^2 = 60$ , per  $D_r > 35\%$ :

| Valutazione della densità relativa sulla base dei valori di $N$ corretti |          |                                |
|--|----------|--------------------------------|
| DENSITÀ RELATIVA   | $D_R$    | $(N_1)_{60}$<br>(COLPI/300 mm) |
| Molto sciolta  | 0 – 15   | 0 – 3                          |
| Sciolta  | 15 – 35  | 3 – 8                          |
| Media  | 35 – 65  | 8 – 25                         |
| Densa  | 65 – 85  | 25 – 42                        |
| Molto densa  | 85 – 100 | 42 – 58                        |

Ai valori ottenuti è necessario apportare una riduzione di 55/60, nel caso di sabbie fini, ed un incremento di 65/60 nel caso di sabbie grossolane.

Bazaraa (1967) ha proposto una formula che tiene conto dei valori effettivi di  $N$  misurati in sito a parità di densità relativa, per tenere in considerazione la tensione verticale efficace, i fenomeni di aging, la cementazione, ecc.:

$$D_r^2 = \frac{N}{20 \cdot (1 + 4.1 \cdot \sigma'_{vo})} \quad \text{per } \sigma'_{vo} \leq 0.732 \text{ kg/cm}^2; \quad D_r^2 = \frac{N}{20 \cdot (3.24 + 1.024 \cdot \sigma'_{vo})} \quad \text{per } \sigma'_{vo} \geq 0.732 \text{ kg/cm}^2$$

### ANGOLO DI ATTRITO EFFICACE ( $\Phi'$ )

Innanzitutto, si deve sottolineare che, a causa della variabilità nei valori  $N_{SPT}$ , la valutazione della prova in termini di resistenza al taglio deve essere considerata come una stima la cui attendibilità dipende da vari fattori, da valutare attentamente in funzione del contesto in cui si opera.

L'angolo di resistenza al taglio del materiale indagato può essere valutato attraverso due categorie di metodi: i metodi di correlazione diretta  $N_{spt}-\phi$  e i metodi di correlazione indiretta.

Nel caso in esame è stata scelta la correlazione diretta, utilizzando la formulazione di Wolff per il valore di angolo di attrito di picco e la formula di De Mello che approssima l'angolo di attrito a volume costante.

### MODULO DI DEFORMAZIONE (O DI YOUNG)

È dato dal rapporto tra sollecitazione e deformazione corrispondente in un materiale che si trova sotto il limite di proporzionalità (legge di Hooke) sulla curva sollecitazione-deformazione. Per la valutazione del modulo di Young è stata utilizzata la relazione di Schmertmann, valida per sabbie in genere.

I moduli di deformabilità operativi, dato il comportamento non lineare dei terreni, dipendono dalle effettive deformazioni indotte e/o dal grado di mobilitazione della resistenza al taglio. Il modulo di Young operativo può essere assunto pari a quello corrispondente a tensioni di circa il 25% di quelle a rottura ( $E_{25}$ ), calcolabile con le formule di Stroud (1989) o di Jamiolkowski (1988).

### MODULO EDOMETRICO $M_0$

La compressibilità di una terra può essere espressa dal coefficiente di compressibilità  $mv = (-\delta e / (1+e)) (1/\delta \sigma'v)$  o dal rapporto inverso, definito modulo edometrico  $M = (\delta \sigma'v / -\delta e) (1+e)$ .

Per le sabbie quarzose non cementate si può utilizzare la relazione ottenuta da prove CPT in camera di calibrazione e ponendo:  $qc/NSPT = 5$ ; con  $qc$  = resistenza alla punta di prove CPT, espressa in  $\text{kg/cm}^2$ .

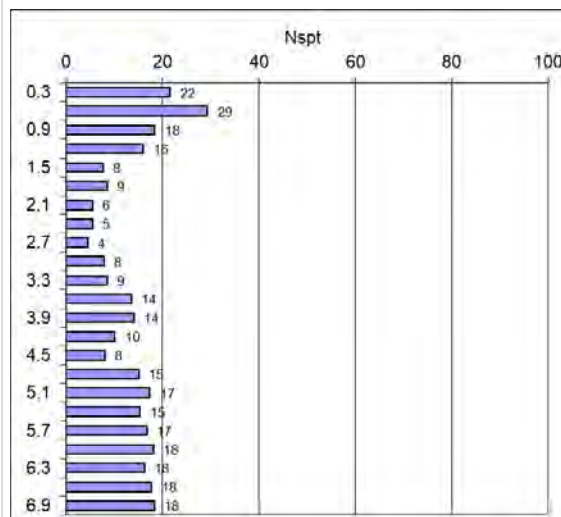
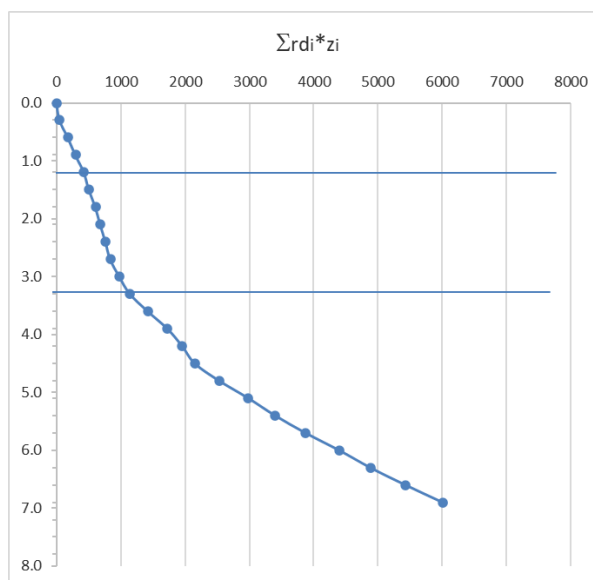
In presenza di sabbie fini e sabbie limose è opportuno adottare un rapporto  $qc / NSPT = 4$ , anziché 5.

Per valutare questo modulo si utilizza la relazione di Mayne & Frost (1988) o di Mezenbach, valide per terreni incoerenti.

## Dati ottenuti

### DPSH1

| Prof. | N  | Nspt    | Ce | CR   | N60 | peso terreno | tensione totale | pressione neutra | tensione vert. Eff. | CN adottato | N1(60) |
|-------|----|---------|----|------|-----|--------------|-----------------|------------------|---------------------|-------------|--------|
| m     | N  | LaCroix |    |      |     | t/mc         | t/mq            | t/mq             | kg/cmq              | CN          |        |
|       |    | 0.98    | 1  |      |     |              |                 |                  |                     |             |        |
| 0.3   | 20 | 20      | 20 | 0.75 | 15  | 1.86         | 0.56            |                  | 0.056               | 1.46        | 22     |
| 0.6   | 28 | 28      | 28 | 0.75 | 21  | 1.94         | 1.14            |                  | 0.114               | 1.42        | 29     |
| 0.9   | 18 | 18      | 18 | 0.75 | 13  | 1.83         | 1.69            |                  | 0.169               | 1.38        | 18     |
| 1.2   | 16 | 16      | 16 | 0.75 | 12  | 1.80         | 2.23            |                  | 0.223               | 1.35        | 16     |
| 1.5   | 8  | 8       | 8  | 0.75 | 6   | 1.65         | 2.73            |                  | 0.273               | 1.32        | 8      |
| 1.8   | 9  | 9       | 9  | 0.75 | 7   | 1.67         | 3.23            |                  | 0.323               | 1.29        | 9      |
| 2.1   | 6  | 6       | 6  | 0.75 | 4   | 1.60         | 3.71            |                  | 0.371               | 1.27        | 6      |
| 2.4   | 6  | 6       | 6  | 0.75 | 4   | 1.60         | 4.19            |                  | 0.419               | 1.24        | 5      |
| 2.7   | 5  | 5       | 5  | 0.75 | 4   | 1.57         | 4.66            |                  | 0.466               | 1.22        | 4      |
| 3.0   | 9  | 9       | 9  | 0.75 | 7   | 1.67         | 5.16            |                  | 0.516               | 1.19        | 8      |
| 3.3   | 10 | 10      | 10 | 0.75 | 7   | 1.69         | 5.66            |                  | 0.566               | 1.17        | 9      |
| 3.6   | 16 | 16      | 16 | 0.75 | 12  | 1.79         | 6.20            |                  | 0.620               | 1.15        | 14     |
| 3.9   | 17 | 17      | 17 | 0.75 | 13  | 1.80         | 6.74            |                  | 0.674               | 1.12        | 14     |
| 4.2   | 11 | 11      | 11 | 0.85 | 9   | 1.73         | 7.26            |                  | 0.726               | 1.10        | 10     |
| 4.5   | 9  | 9       | 9  | 0.85 | 8   | 1.68         | 7.76            |                  | 0.776               | 1.08        | 8      |
| 4.8   | 17 | 17      | 17 | 0.85 | 14  | 1.83         | 8.31            |                  | 0.831               | 1.06        | 15     |
| 5.1   | 20 | 20      | 20 | 0.85 | 17  | 1.87         | 8.87            |                  | 0.887               | 1.04        | 17     |
| 5.4   | 18 | 18      | 18 | 0.85 | 15  | 1.84         | 9.43            |                  | 0.943               | 1.02        | 15     |
| 5.7   | 20 | 20      | 20 | 0.85 | 17  | 1.87         | 9.99            |                  | 0.999               | 1.00        | 17     |
| 6.0   | 22 | 22      | 22 | 0.85 | 18  | 1.89         | 10.55           |                  | 1.055               | 0.98        | 18     |
| 6.3   | 18 | 18      | 18 | 0.95 | 17  | 1.86         | 11.11           |                  | 1.111               | 0.96        | 16     |
| 6.6   | 20 | 20      | 20 | 0.95 | 19  | 1.89         | 11.68           |                  | 1.168               | 0.95        | 18     |
| 6.9   | 21 | 21      | 21 | 0.95 | 20  | 1.90         | 12.25           |                  | 1.225               | 0.93        | 18     |

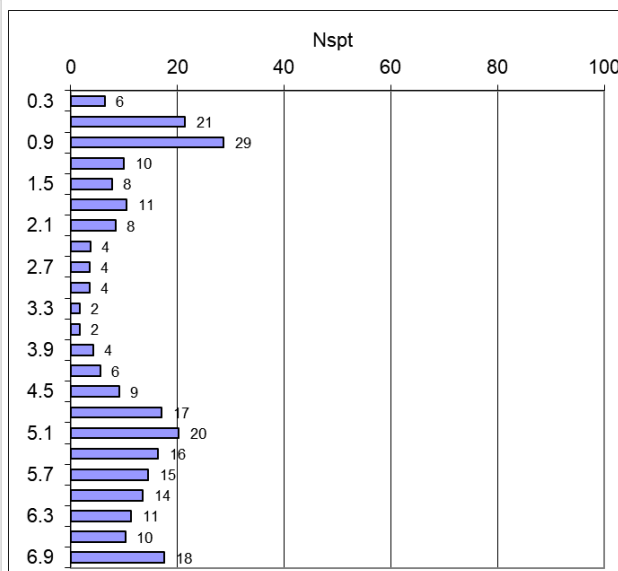
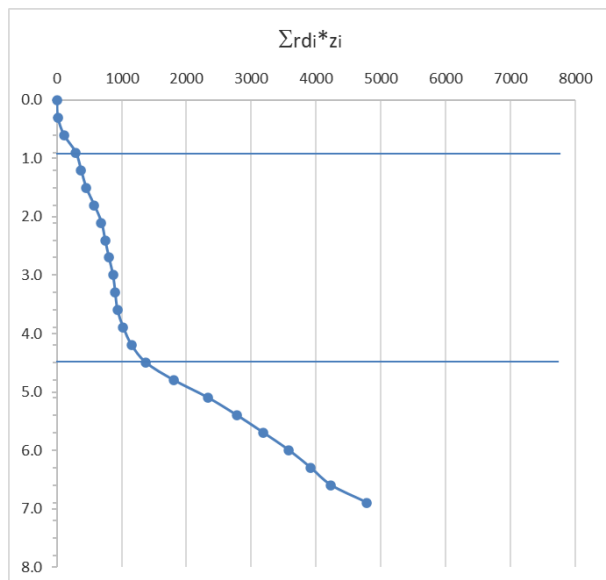


| n. | Interpretazione Litologica | Prof. m | N <sub>spt</sub> | $\gamma$<br>kN/m <sup>3</sup> | D <sub>R</sub> Sk.<br>% | $\Phi' \circ$ DeMello | $\Phi' \circ$ Wolff | E <sub>25</sub> Jam.<br>kg/cm <sup>2</sup> | M Mayne<br>kg/cm <sup>2</sup> |
|----|----------------------------|---------|------------------|-------------------------------|-------------------------|-----------------------|---------------------|--|-------------------------------|
| 1  | Riporto                    | 0.0-1.2 | 21               | 18.2                          | 59                      | 30.4                  | 33.2                | -  | -                             |
| 2  | Sabbie ghiaiose            | 1.2-3.3 | 7                | 16.0                          | 34                      | 26.1                  | 29.2                | 52.1                                       | 83.7                          |
| 3  | Ghiaie e sabbie limose     | 3.3-6.9 | 15               | 17.9                          | 50                      | 28.8                  | 31.5                | 129.5                                      | 185.9                         |



**DPSH2 – falda a -5.4 m** (in rosso i valori soggetti a smussamento dei picchi)

| Prof. | N  | Nspt    | Ce | CR   | N60 | peso terreno | tensione totale | pressione neutra | tensione vert. Eff. | CN adottato | N1(60) |
|-------|----|---------|----|------|-----|--------------|-----------------|------------------|---------------------|-------------|--------|
| m     | N  | LaCroix |    |      |     | t/mc         | t/mq            | t/mq             | kg/cmq              | CN          |        |
|       |    | 0.98    | 1  |      |     |              |                 |                  |                     |             |        |
| 0.3   | 6  | 6       | 6  | 0.75 | 4   | 1.61         | 0.48            |                  | 0.048               | 1.46        | 6      |
| 0.6   | 43 | 42      | 42 | 0.75 | 15  | 1.91         | 1.06            |                  | 0.106               | 1.42        | 21     |
| 0.9   | 28 | 28      | 28 | 0.75 | 21  | 1.94         | 1.67            |                  | 0.167               | 1.38        | 29     |
| 1.2   | 10 | 10      | 10 | 0.75 | 7   | 1.70         | 2.18            |                  | 0.218               | 1.35        | 10     |
| 1.5   | 8  | 8       | 8  | 0.75 | 6   | 1.65         | 2.68            |                  | 0.268               | 1.32        | 8      |
| 1.8   | 11 | 11      | 11 | 0.75 | 8   | 1.71         | 3.19            |                  | 0.319               | 1.29        | 11     |
| 2.1   | 9  | 9       | 9  | 0.75 | 7   | 1.67         | 3.69            |                  | 0.369               | 1.27        | 8      |
| 2.4   | 4  | 4       | 4  | 0.75 | 3   | 1.54         | 4.16            |                  | 0.416               | 1.24        | 4      |
| 2.7   | 4  | 4       | 4  | 0.75 | 3   | 1.54         | 4.62            |                  | 0.462               | 1.22        | 4      |
| 3.0   | 4  | 4       | 4  | 0.75 | 3   | 1.54         | 5.08            |                  | 0.508               | 1.20        | 4      |
| 3.3   | 2  | 2       | 2  | 0.75 | 1   | 1.45         | 5.51            |                  | 0.551               | 1.18        | 2      |
| 3.6   | 2  | 2       | 2  | 0.75 | 1   | 1.45         | 5.95            |                  | 0.595               | 1.16        | 2      |
| 3.9   | 5  | 5       | 5  | 0.75 | 4   | 1.56         | 6.42            |                  | 0.642               | 1.14        | 4      |
| 4.2   | 6  | 6       | 6  | 0.85 | 5   | 1.61         | 6.90            |                  | 0.690               | 1.12        | 6      |
| 4.5   | 10 | 10      | 10 | 0.85 | 8   | 1.71         | 7.41            |                  | 0.741               | 1.09        | 9      |
| 4.8   | 19 | 19      | 19 | 0.85 | 16  | 1.86         | 7.97            |                  | 0.797               | 1.07        | 17     |
| 5.1   | 23 | 23      | 23 | 0.85 | 19  | 1.90         | 8.54            |                  | 0.854               | 1.05        | 20     |
| 5.4   | 19 | 19      | 19 | 0.85 | 16  | 1.85         | 9.10            | 0.0              | 0.910               | 1.03        | 16     |
| 5.7   | 17 | 17      | 17 | 0.85 | 14  | 1.82         | 9.67            | 0.3              | 0.937               | 1.02        | 15     |
| 6.0   | 16 | 16      | 16 | 0.85 | 13  | 1.81         | 10.24           | 0.6              | 0.964               | 1.01        | 14     |
| 6.3   | 12 | 12      | 12 | 0.95 | 11  | 1.76         | 10.78           | 0.9              | 0.988               | 1.00        | 11     |
| 6.6   | 11 | 11      | 11 | 0.95 | 10  | 1.74         | 11.32           | 1.2              | 1.012               | 1.00        | 10     |
| 6.9   | 19 | 19      | 19 | 0.95 | 18  | 1.88         | 11.92           | 1.5              | 1.042               | 0.99        | 18     |



| n. | Interpretazione Litologica | Prof. m | N <sub>spt</sub> | γ<br>kN/m <sup>3</sup> | D <sub>R</sub> Sk.<br>% | Φ' ° DeMello | Φ' ° Wolff | E <sub>25</sub> Jam.<br>kg/cm <sup>2</sup> | M Mayne<br>kg/cm <sup>2</sup> |
|----|----------------------------|---------|------------------|------------------------|-------------------------|--------------|------------|--|-------------------------------|
| 1  | Riporto                    | 0.0-0.9 | 19               | 17.9                   | 54                      | 29.4         | 32.5       | -  | -                             |
| 2  | Sabbie ghiaiose            | 0.9-4.5 | 6                | 15.6                   | 30                      | 24.9         | 28.8       | 44.9                                       | 73.2                          |
| 3  | Ghiaie e sabbie limose     | 4.5-6.9 | 15               | 17.9                   | 50                      | 28.8         | 31.5       | 129.0                                      | 185.4                         |

## PARAMETRI DEI TERRENI

Le Norme Tecniche richiedono, per la scelta dei valori caratteristici, un procedimento in due fasi:

1. Identificazione dei parametri appropriati al progetto: in caso di modesti volumi coinvolti è preferibile ricorrere al  $\phi_{cv}$  mentre con grandi volumi di terreno coinvolti, può essere utilizzato il valore del  $\phi'$ ;
2. Valutazione dei valori caratteristici: valori prossimi ai valori medi quando nello stato limite considerato è coinvolto un elevato volume di terreno, con compensazione delle eterogeneità, o quando la struttura a contatto con il terreno è dotata di sufficiente rigidità; valori prossimi ai minimi invece sono giustificati quando sono coinvolti modesti volumi di terreno, con concentrazione delle deformazioni nelle porzioni di terreno meno resistenti del volume significativo o in caso di strutture non sufficientemente rigide.

Il calcolo dei valori caratteristici è stato effettuato con la seguente formula, valida con pochi dati (5° percentile di distribuzione del campione -  $\phi'_k$ ), in condizioni di resistenze non compensate e misure estrapolate:

$$x_k \approx \bar{x} - 1.645 * \sigma$$

- $X_k$  valore medio del parametro geotecnico;
- $\sigma$  deviazione standard;
- il coefficiente di variazione, ottenuto dal rapporto tra deviazione standard e parametro medio, è funzione delle varie litologie, come da indicazioni bibliografiche;
- $X = -1,645$ : valore fissato dall'EC7, corrispondente a una probabilità di non superamento del 5% in una distribuzione Gaussiana.

Per la stima dei valori caratteristici dei moduli elastici è stato utilizzato il parametro medio.

La parametrizzazione geotecnica risulta la seguente:

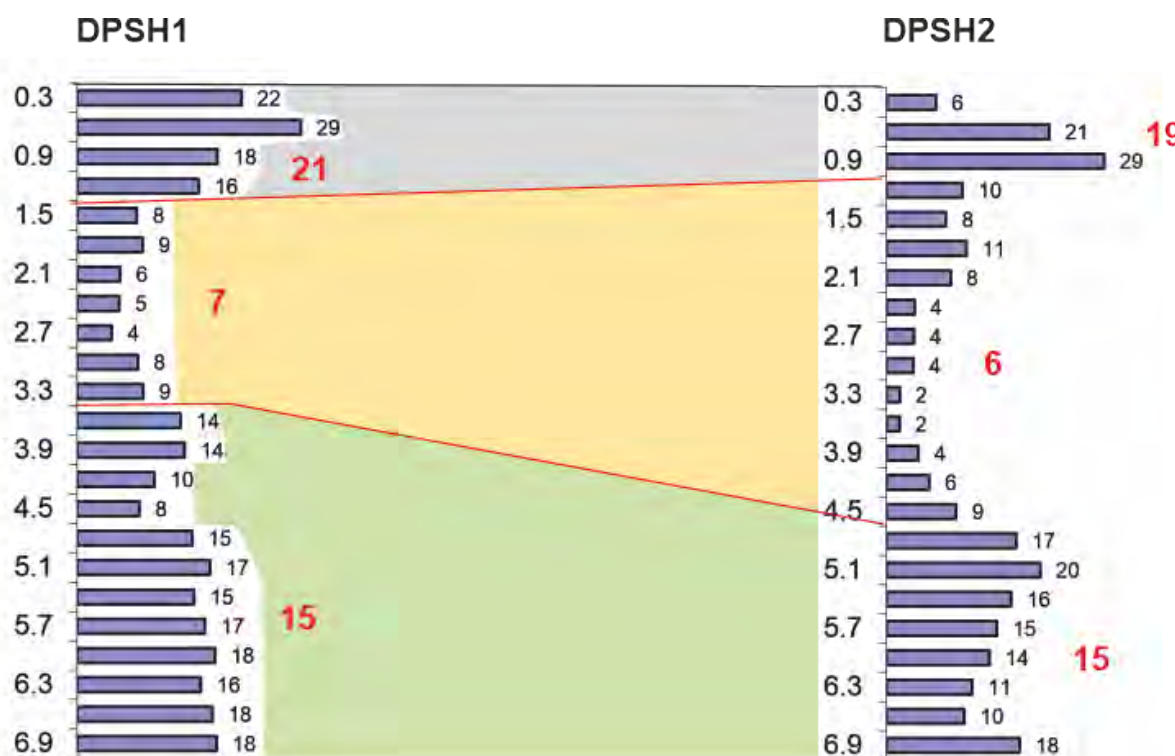
| STRATO                 | Nspt<br>medio | $\gamma$<br>kN/m <sup>3</sup> | $\phi'_m$<br>DeMello | $\phi'_m$<br>Wolff | COV | $\phi'_k$<br>DeMello | $\phi'_k$<br>Wolff | E <sub>25k</sub><br>kg/cm <sup>2</sup> | M <sub>k</sub><br>kg/cm <sup>2</sup> |
|------------------------|---------------|-------------------------------|----------------------|--------------------|-----|----------------------|--------------------|--|--------------------------------------|
| Terreno di riporto     | <b>20</b>     | 18.0                          | 29.9                 | 32.8               | 10  | <b>25</b>            | <b>27</b>          | -                                      | -                                    |
| Sabbie ghiaiose        | <b>6</b>      | 15.8                          | 25.5                 | 29.0               | 5   | <b>23</b>            | <b>27</b>          | <b>44.5</b>                            | <b>78.4</b>                          |
| Ghiaie e sabbie limose | <b>15</b>     | 17.9                          | 28.8                 | 31.5               | 2.5 | <b>28</b>            | <b>30</b>          | <b>129.2</b>                           | <b>185.6</b>                         |



## MODELLO GEOLOGICO E LITOTECNICO

Il modello geologico e litotecnico ricavato per mezzo delle indagini geognostiche mette in evidenza una coltre ubiquitaria di materiali di riporto con spessori compresi tra 0.9 e 1.2 m.

Inferiormente, risulta evidente la presenza dei sedimenti ghiaioso sabbiosi poco addensati che si rinvencono sino a circa 3-4 m di profondità, a cui seguono sedimenti prevalentemente granulari più addensati sino alla massima profondità investigata



### Unità litotecniche

- Riporto**  
 $\gamma$  18.0 kN/m<sup>3</sup>;  $\phi'_{\text{Demello}}$  25°;  $\phi'_{\text{woltff}}$  27°
- Sabbia ghiaiosa**  
 $\gamma$  15.8 kN/m<sup>3</sup>;  $\phi'_{\text{Demello}}$  23°;  $\phi'_{\text{woltff}}$  27°;  $E'_{25}$  44.5 kg/cm<sup>2</sup>;  $M_k$  78.4 kg/cm<sup>2</sup>
- Ghiaia e sabbia limosa**  
 $\gamma$  17.9 kN/m<sup>3</sup>;  $\phi'_{\text{Demello}}$  28°;  $\phi'_{\text{woltff}}$  31°;  $E'_{25}$  129.2 kg/cm<sup>2</sup>;  $M_k$  185.6 kg/cm<sup>2</sup>

**15** Nspt

## CATEGORIA DI SOTTOSUOLO

Per la definizione della categoria di sottosuolo, secondo il cap. 3.2.2. delle NTC 2018, è stata effettuata un'indagine sismica multicanale di superficie MASW, i cui risultati sono rappresentati di seguito.

**Risultati delle analisi MASW e ReMi** - Autore: Giovanni Rodina; Sito: Pregnana campo sportivo; Data: 4 agosto 2020

### 1 - Dati sperimentali

Numero di ricevitori .....24  
 Distanza tra i sensori:.....1.5m  
 Numero di campioni temporali.....2000  
 Passo temporale di acquisizione.....1ms  
 Numero di ricevitori usati per l'analisi.....24  
 L'intervallo considerato per l'analisi comincia a.....0ms  
 L'intervallo considerato per l'analisi termina a .....1999ms  
 I ricevitori non sono invertiti (l'ultimo ricevitore è l'ultimo per l'analisi)

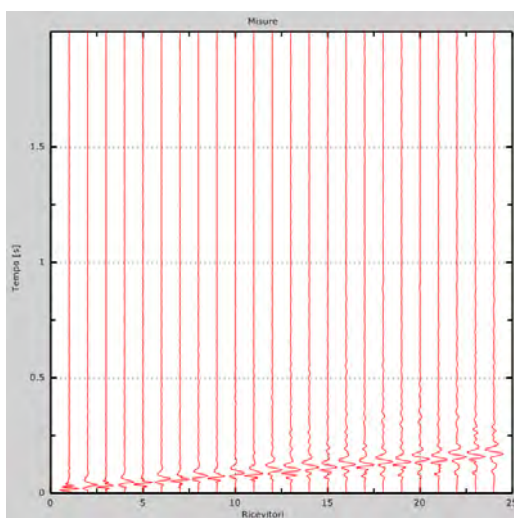


Figura 1: Tracce sperimentali

### 2 - Risultati delle analisi

Frequenza finale .....60Hz  
 Frequenza iniziale .....2Hz

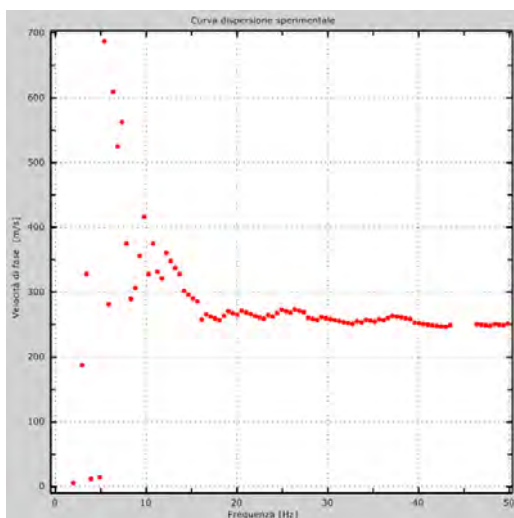


Figura 2: Curva dispersione sperimentale



### 3 - Risultati delle analisi (tecnica passiva)

Numero di ricevitori ..... 12  
 Numero di campioni temporali.....3.26787e-312  
 Passo temporale di acquisizione.....2ms  
 Numero di ricevitori usati per l'analisi..... 12  
 L'intervallo considerato per l'analisi comincia a.....0ms  
 L'intervallo considerato per l'analisi termina a ..... 119998ms  
 I ricevitori non sono invertiti (l'ultimo ricevitore è l'ultimo per l'analisi)

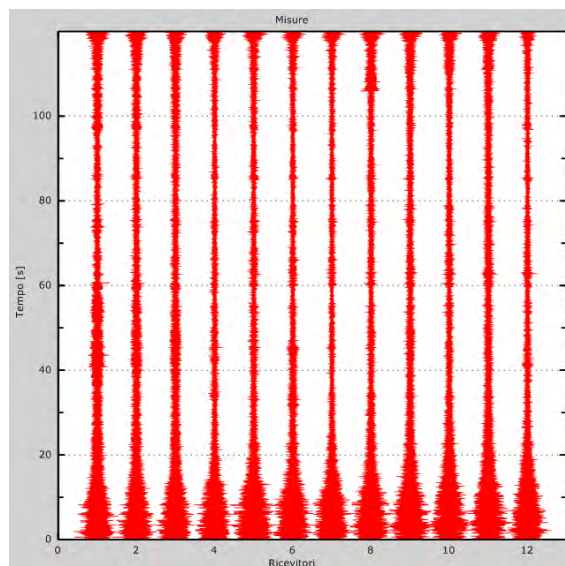


Figura 3: Tracce sperimentali

### 4 - Curva di dispersione

Tabella 1: Curva di dispersione

| Freq. [Hz] | V. fase [m/s] | V. fase min [m/s] | V. fase Max [m/s] |
|------------|---------------|-------------------|-------------------|
| 5.41265    | 685.617       | 657.63            | 713.604           |
| 6.86278    | 526.534       | 498.547           | 554.521           |
| 10.7552    | 376.289       | 345.356           | 407.222           |
| 15.0293    | 295.274       | 262.869           | 327.68            |
| 22.0509    | 265.815       | 237.828           | 293.801           |
| 32.6597    | 254.031       | 230.463           | 277.598           |

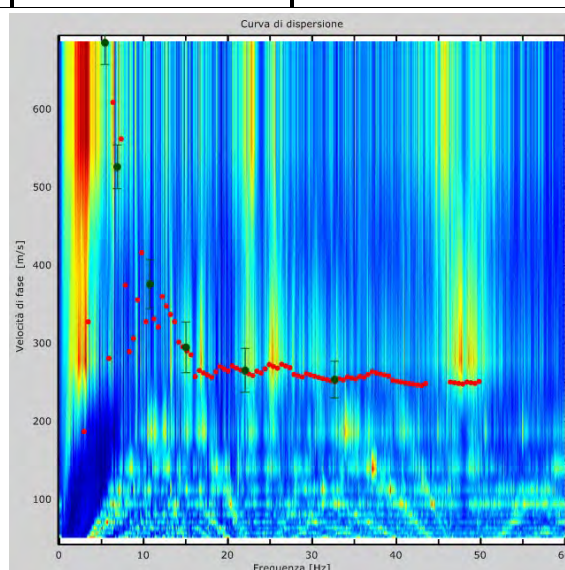


Figura 4: Curva di dispersione

## 5 - Profilo in sito

|   |      |
|---|------|
| Numero di strati (escluso semispazio) ..... | 9    |
| Spaziatura ricevitori [m].....              | 1.5m |
| Numero ricevitori .....                     | 24   |
| Numero modi.....                            | 1    |

### Strato 1

|                                   |      |
|-----------------------------------|------|
| h [m] .....                       | 1    |
| z [m] .....                       | -1   |
| Densità [kg/m <sup>3</sup> ]..... | 1744 |
| Poisson .....                     | 0.2  |
| Vs [m/s] .....                    | 250  |
| Vp [m/s] .....                    | 408  |
| Vs min [m/s] .....                | 141  |
| Vs max [m/s] .....                | 375  |

### Strato 2

|                                   |      |
|-----------------------------------|------|
| h [m] .....                       | 2    |
| z [m] .....                       | -3   |
| Densità [kg/m <sup>3</sup> ]..... | 1761 |
| Poisson .....                     | 0.2  |
| Vs [m/s] .....                    | 260  |
| Vp [m/s] .....                    | 425  |
| Vs min [m/s] .....                | 141  |
| Vs max [m/s] .....                | 390  |

### Strato 3

|                                   |      |
|-----------------------------------|------|
| h [m] .....                       | 2    |
| z [m] .....                       | -5   |
| Densità [kg/m <sup>3</sup> ]..... | 1825 |
| Poisson .....                     | 0.2  |
| Vs [m/s] .....                    | 300  |
| Vp [m/s] .....                    | 490  |
| Vs min [m/s] .....                | 164  |
| Vs max [m/s] .....                | 450  |

### Strato 4

|                                   |      |
|-----------------------------------|------|
| h [m] .....                       | 2    |
| z [m] .....                       | -7   |
| Densità [kg/m <sup>3</sup> ]..... | 1855 |
| Poisson .....                     | 0.2  |
| Vs [m/s] .....                    | 320  |
| Vp [m/s] .....                    | 523  |
| Vs min [m/s] .....                | 164  |
| Vs max [m/s] .....                | 480  |

### Strato 5

|                                   |      |
|-----------------------------------|------|
| h [m] .....                       | 3    |
| z [m] .....                       | -10  |
| Densità [kg/m <sup>3</sup> ]..... | 1936 |
| Poisson .....                     | 0.2  |
| Vs [m/s] .....                    | 340  |
| Vp [m/s] .....                    | 555  |
| Vs min [m/s] .....                | 209  |
| Vs max [m/s] .....                | 510  |



#### Strato 6

|                                   |      |
|-----------------------------------|------|
| h [m] .....                       | 6    |
| z [m] .....                       | -16  |
| Densità [kg/m <sup>3</sup> ]..... | 2085 |
| Poisson .....                     | 0.2  |
| Vs [m/s] .....                    | 470  |
| Vp [m/s].....                     | 768  |
| Vs min [m/s] .....                | 209  |
| Vs max [m/s] .....                | 705  |

#### Strato 7

|                                   |      |
|-----------------------------------|------|
| h [m] .....                       | 5    |
| z [m] .....                       | -21  |
| Densità [kg/m <sup>3</sup> ]..... | 2123 |
| Poisson .....                     | 0.48 |
| Vs [m/s] .....                    | 520  |
| Vp [m/s].....                     | 2651 |
| Vs min [m/s] .....                | 293  |
| Vs max [m/s] .....                | 780  |

Falda presente nello strato

#### Strato 8

|                                   |      |
|-----------------------------------|------|
| h [m] .....                       | 6    |
| z [m] .....                       | -27  |
| Densità [kg/m <sup>3</sup> ]..... | 2133 |
| Poisson .....                     | 0.48 |
| Vs [m/s] .....                    | 540  |
| Vp [m/s].....                     | 2753 |
| Vs min [m/s] .....                | 293  |
| Vs max [m/s] .....                | 810  |

Falda presente nello strato

#### Strato 9

|                                   |      |
|-----------------------------------|------|
| h [m] .....                       | 0    |
| z [m] .....                       | -00  |
| Densità [kg/m <sup>3</sup> ]..... | 2404 |
| Poisson .....                     | 0.48 |
| Vs [m/s] .....                    | 720  |
| Vp [m/s].....                     | 3671 |
| Vs min [m/s] .....                | 381  |
| Vs max [m/s] .....                | 1080 |

Falda presente nello strato

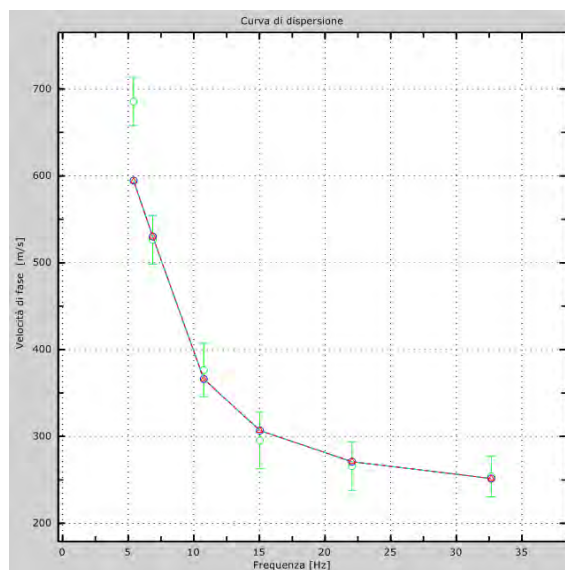


Figura 5: Velocità numeriche – punti sperimentali (verde), modi di Rayleigh (ciano), curva apparente (blu), curva numerica (rosso)

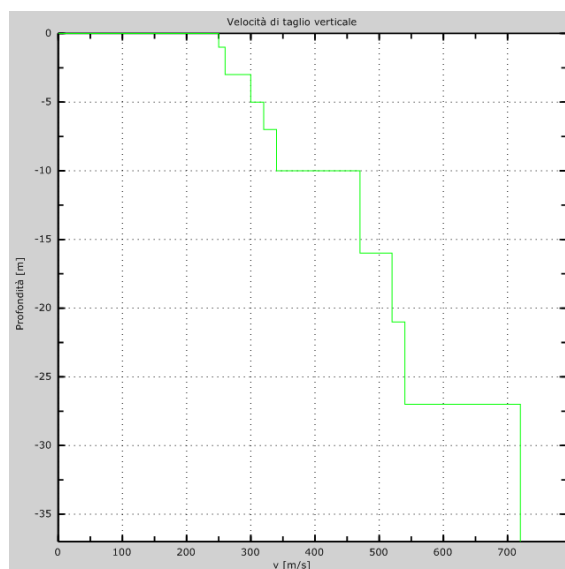


Figura 6: Profilo Vs numerico

## 6 - Risultati finali

La normativa applicata è il D.M. n°8 del 17 gennaio 2018 "Aggiornamento delle Norme tecniche per le costruzioni".

Piano di riferimento  $z=0$  [m] ..... 0

L'unità geotecnica dello strato rigido non è stata rilevata entro 30 metri di profondità dal piano di riferimento.

Le caratteristiche meccaniche degli strati migliorano con la profondità.

$V_s$ , equivalente [m/s] ..... 421

Tipo di suolo ..... B

**La definizione della categoria di sottosuolo si basa sull'ipotesi di piano di riferimento a 0 m, da verificare in fase di progettazione esecutiva in funzione dell'effettivo piano di imposta delle fondazioni.**

**Il fattore di amplificazione topografica risulta compreso nella categoria T1  $\triangleright$   $S_t=1$  (da dati cartografici PGT).**

### CORRELAZIONE LITOLOGIA – Vs

| Profondità<br>m | interpretazione litologica | Vs media<br>m/s | Unità geofisica | $\gamma$<br>t/m <sup>3</sup> |
|-----------------|----------------------------|-----------------|-----------------|------------------------------|
| 1               | Riporto                    | 250             | U1              | 1.74                         |
| 3               | Sabbia ghiaiosa            | 260             | U2              | 1.76                         |
| 5               | Ghiaia e sabbia limosa     | 300             | U3              | 1.82                         |
| 7               |                            | 320             | U3              | 1.85                         |
| 10              |                            | 340             | U3              | 1.94                         |
| 16              | Ghiaia e sabbia            | 470             | U4              | 2.08                         |
| 21              |                            | 520             | U4              | 2.12                         |
| 27              |                            | 540             | U4              | 2.13                         |
| >27             | Argilla sabbiosa           | 720             | U5              | 2.40                         |

### Categoria di sottosuolo

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

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

### Condizioni topografiche

Tab. 3.2.III – *Categorie topografiche*

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

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

### VITA NOMINALE DI PROGETTO, CLASSE D'USO E PERIODO DI RIFERIMENTO

#### VITA NOMINALE

La vita nominale  $V_N$  dell'opera in progetto ricade nel 2° tipo "Costruzioni con livelli di prestazioni ordinari".

#### CLASSE D'USO

Le opere in progetto ricadono nella classe d'uso III "Costruzioni il cui uso preveda affollamenti significativi".

#### PERIODO DI RIFERIMENTO PER L'AZIONE SISMICA

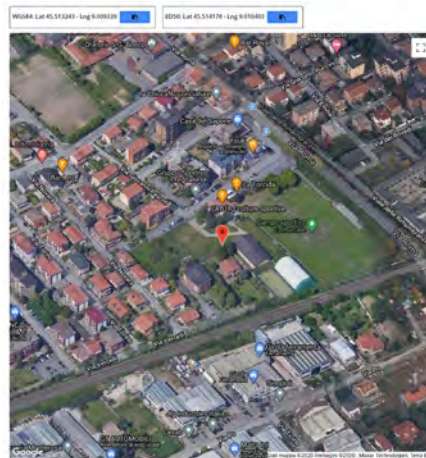
Il periodo di riferimento  $V_R$  per le costruzioni in progetto risulta pertanto  $V_R = V_N \cdot C_U$

$C_U$  per la Classe d'uso III corrisponde a 1.5, da cui discende  $V_R \geq 75$  anni.



## STIMA DEI PARAMETRI SISMICI

**Geostru PS** consente di individuare la pericolosità sismica secondo le **NTC** di tutte le località Italiane direttamente su mappa geografica. Data ultimo rilascio il **25-01-2017**.



### Stati limite





|   |                 |
|---|-----------------|
|  Classe Edificio |                 |
| III. Affollamento significativo...  |                 |
|  Vita Nominale   | 50              |
|  Interpolazione  | Media ponderata |
| <div>CU = 1.5</div>   |                 |

| Stato Limite               | Tr [anni] | $a_g$ [g] | $F_0$ | $T_c^{-1}$ [s] |
|----------------------------|-----------|-----------|-------|----------------|
| Operatività (SLO)          | 45        | 0.020     | 2.531 | 0.183          |
| Danno (SLD)                | 75        | 0.025     | 2.571 | 0.196          |
| Salvaguardia vita (SLV)    | 712       | 0.047     | 2.702 | 0.296          |
| Prevenzione collasso (SLC) | 1462      | 0.055     | 2.775 | 0.314          |

Periodo di riferimento per l'azione sismica:

75

### Coefficienti sismici

| Stabilità dei pendii e fondazioni  |                  |
|--|------------------|
| Tipo   |                  |
| <input type="checkbox"/> Muri di sostegno che non sono in grado di subire spostamenti. |                  |
| H (m)  |                  |
|     | 1                |
| cus (m)  |                  |
|     | 0,1              |
|     | Cat. Sottosuolo  |
|     | Cat. Topografica |
|  | B                |
|  | TT               |

|                                 | SL0  | SLD  | SLV  | SLC  |
|---------------------------------|------|------|------|------|
| SS Amplificazione stratigrafica | 1,20 | 1,20 | 1,20 | 1,20 |
| CC Coeff. funz. categoria       | 1,55 | 1,52 | 1,40 | 1,39 |
| ST Amplificazione topografica   | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 |

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

0.6

| Coefficienti             | SLO   | SLD   | SLV   | SLC   |
|--------------------------|-------|-------|-------|-------|
| kh                       | 0.005 | 0.006 | 0.011 | 0.013 |
| kv                       | 0.002 | 0.003 | 0.006 | 0.007 |
| Amax [m/s <sup>2</sup> ] | 0.234 | 0.289 | 0.549 | 0.651 |
| Beta                     | 0.200 | 0.200 | 0.200 | 0.200 |

## VERIFICA ALLA LIQUEFAZIONE

La normativa nazionale (NTC 2018) prevede che per il sito di costruzione sia verificata la suscettibilità alla liquefazione quando la falda freatica sia prossima alla superficie ed il terreno comprenda strati estesi o lenti spesse di sabbie sciolte sotto falda, anche se contenenti una frazione fine.

E' comunque da sottolineare che la verifica può essere omessa quando si manifesti almeno una delle seguenti condizioni:

1. accelerazioni massime attese al piano campagna in assenza di manufatti minori di  $0.1g$ ;
2. profondità media stagionale della falda superiore a 15 m dal piano campagna, per piano campagna sub-orizzontale e strutture con fondazioni superficiali;
3. depositi costituiti da sabbie pulite con resistenza penetrometrica normalizzata  $(N_1)_{60} > 30$  oppure  $qc_{1N} > 180$  dove  $(N_1)_{60}$  è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche dinamiche (SPT) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa e  $qc_{1N}$  è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche statiche (Cone Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa;
4. distribuzione granulometrica esterna alle zone indicate nella Figura 7.11.1(a) nel caso di terreni con coefficiente di uniformità  $U_c < 3,5$  ed in Figura 7.11.1(b) nel caso di terreni con coefficiente di uniformità  $U_c > 3.5$ .

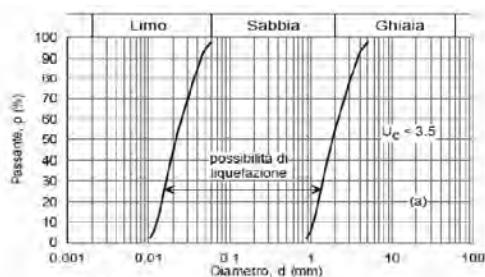


Fig. 7.11.1(a)

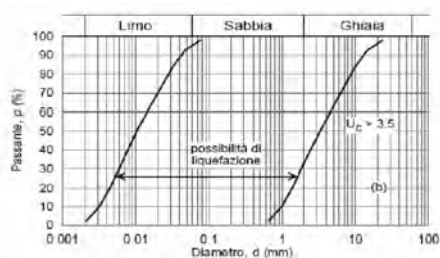


Figura 7.11.1 – First granulometric curve of soils susceptible to liquefaction.

Qualora la condizione 1 non risulti soddisfatta, le indagini geotecniche devono essere finalizzate almeno alla determinazione dei parametri necessari per la verifica delle condizioni 2, 3 e 4.

Relativamente al punto 1 e considerando i parametri sismici sopra rappresentati, per il sito in esame è stato ricavato un valore (SLC) di  $a_{max}$  di  $0.651 \text{ m/s}^2$  che va diviso per il valore di  $g$ , pari a  $9.81 \text{ m/s}^2$ : la condizione  $ag < 0.1g$  risulta pertanto ottemperata e la verifica può essere omessa.

## STABILITA' ALLA LIQUEFAZIONE

Per la verifica di 3° livello si deve fare riferimento alla scheda App. 5 del Modulo 9 allegato alla DGR 30.03.2016 n. X/5001, per il fenomeno di liquefazione, che prevede 3 gradi di approfondimento.

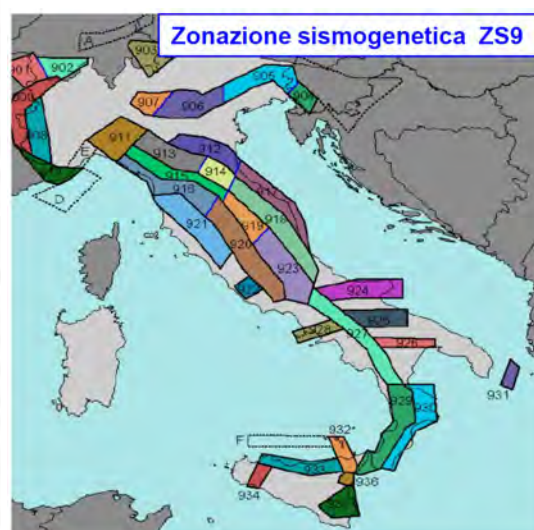
Il 1° grado di approfondimento richiede come conoscenze minime obbligatorie:

|   | 1° grado  |
|---|---|
| Conoscenze minime obbligatorie al 1° grado di approfondimento | <input type="checkbox"/> Valore di Magnitudo massima attesa<br><input type="checkbox"/> Valore di $a_{max}$ in superficie<br><input type="checkbox"/> Soggiacenza della falda<br><input type="checkbox"/> Curva granulometrica e valori di resistenza penetrometrica normalizzata negli orizzonti non coesivi saturi presenti entro il volume significativo di sottosuolo |
| Verifiche e modellazioni al 1° grado di approfondimento       | <input type="checkbox"/> Valutazione dei requisiti per l'esclusione della verifica di sicurezza alla liquefazione   |
| Risultati al 1° grado di approfondimento                      | <input type="checkbox"/> Assenza dei fattori scatenanti e/o predisponenti<br><b>Fine approfondimento</b><br><b>SITO STABILE</b>   |

Per la definizione della magnitudo, si applica il metodo delle Zone Simogenetiche, con estrazione dei dati dalla tabella 6 del *Rapporto Conclusivo del Gruppo di Lavoro per la redazione della mappa sismica – INGV*, con riferimento alla magnitudo MW della colonna 8 relativa alla ZS di appartenenza della colonna 1.

Se il sito ricade in una zona simica si ha sempre  $M_w > 5$ .

| 1                          | 2    | 3              | 4              | 5                          | 6                          | 7     | 8          | 9     | 10         |
|----------------------------|------|----------------|----------------|----------------------------|----------------------------|-------|------------|-------|------------|
| nome ZS                    | N ZS | DISS2<br>MwMax | CPTI2<br>MwMax | CPTI2<br>MwMax<br>(classe) | CPTI2<br>MwMax<br>completo | Az1   | Mw<br>Max1 | Az2   | Mw<br>Max2 |
| Savona                     | 901  |                | 5.79           | 5.68                       | 5.68                       | +1(a) | 5.91       | +2(a) | 6.14       |
| Vallese                    | 902  |                | 6.10           | 6.14                       | 6.14                       |       | 6.14       |       | 6.14       |
| Grignoli-Vaiteina          | 903  |                | 5.79           | 5.68                       | 5.22                       | +3(a) | 5.91       | +4(a) | 6.14       |
| Trieste-Monte Nevoso       | 904  |                | 5.71           | 5.68                       | 5.68                       |       | 5.68       | +2(a) | 6.14       |
| Friuli-Veneto Orientale    | 905  | 6.4            | 6.66           | 6.60                       | 6.60                       |       | 6.60       |       | 6.60       |
| Garda-Veronese             | 906  | 6.2            | 6.49           | 6.60                       | 6.60                       |       | 6.60       |       | 6.60       |
| Bergamasco                 | 907  | 5.9            | 5.67           | 5.68                       | 5.68                       | G     | 5.91       | +2(a) | 6.14       |
| Piemonte                   | 908  |                | 5.67           | 5.68                       | 5.68                       |       | 5.68       | +2(a) | 6.14       |
| Alpi Occidentali           | 909  |                | 5.54           | 5.45                       | 5.45                       | +1(a) | 5.68       | +3(a) | 6.14       |
| Nizza-Sanremo              | 910  | 6.3            | 6.29           | 6.37                       | 6.37                       |       | 6.37       |       | 6.37       |
| Tortona-Bobbio             | 911  |                | 5.67           | 5.68                       | 5.68                       |       | 5.68       | +2(a) | 6.14       |
| Dorsale Ferrarese          | 912  | 6.2            | 5.88           | 5.91                       | 5.91                       | G     | 6.14       | G     | 6.14       |
| Appennino Emiliano-Romagn. | 913  |                | 5.85           | 5.91                       | 5.91                       |       | 5.91       | +1(a) | 6.14       |
| Forlivese                  | 914  |                | 5.97           | 5.91                       | 5.91                       |       | 5.91       | +1(a) | 6.14       |
| Garfagnana-Mugello         | 915  | 6.4            | 6.49           | 6.60                       | 6.60                       |       | 6.60       |       | 6.60       |
| Versilia-Chianti           | 916  |                | 5.52           | 5.45                       | 5.45                       | +1(c) | 5.68       | +3(a) | 6.14       |
| Rimini-Ancona              | 917  | 6.1            | 5.94           | 5.91                       | 5.91                       | G     | 6.14       | G     | 6.14       |
| Medio-Marchigiana/Abruzz.  | 918  |                | 6.23           | 6.14                       | 6.14                       | +1(a) | 6.37       | +1(a) | 6.37       |
| Appennino Umbro            | 919  | 6.0            | 6.33           | 6.37                       | 6.37                       |       | 6.37       |       | 6.37       |
| Val di Chiana-Ciociaria    | 920  |                | 5.57           | 5.68                       | 5.45                       | +1(b) | 5.68       | +3(a) | 6.14       |
| Etruria                    | 921  |                | 5.91           | 5.91                       | 5.91                       |       | 5.91       | +1(a) | 6.14       |
| Colli Albani               | 922  |                | 5.53           | 5.45                       | 5.45                       |       | 5.45       |       | 5.45       |
| Appennino Abruzzese        | 923  | 6.7            | 6.99           | 7.06                       | 7.06                       |       | 7.06       |       | 7.06       |
| Molise-Gargano             | 924  | 6.7            | 6.73           | 6.83                       | 6.83                       |       | 6.83       |       | 6.83       |
| Ofanto                     | 925  |                | 6.72           | 6.83                       | 6.83                       |       | 6.83       |       | 6.83       |
| Basento                    | 926  | 5.8            | 5.84           | 5.91                       | 5.91                       |       | 5.91       | +1(a) | 6.14       |
| Sannio-Irpinia-Basilicata  | 927  | 6.8            | 6.96           | 7.06                       | 7.06                       |       | 7.06       |       | 7.06       |
| Ischia-Vesuvio             | 928  |                | 5.78           | 5.68                       | 5.68                       | +1(a) | 5.91       | +1(a) | 5.91       |
| Calabria Tirrenica         | 929  | 7.0            | 7.24           | 7.29                       | 7.29                       |       | 7.29       |       | 7.29       |
| Calabria Ionica            | 930  | 6.0            | 6.60           | 6.60                       | 6.60                       |       | 6.60       |       | 6.60       |
| Canale d'Otranto           | 931  |                | 6.90           | 6.83                       | 6.83                       |       | 6.83       |       | 6.83       |
| Eolie-Patti                | 932  | 6.1            | 6.06           | 6.14                       | 6.14                       |       | 6.14       |       | 6.14       |
| Sicilia settentrionale     | 933  |                | 5.89           | 5.91                       | 5.91                       | +1(c) | 6.14       | +1(c) | 6.14       |
| Belice                     | 934  |                | 6.12           | 6.14                       | 6.14                       |       | 6.14       |       | 6.14       |
| Iblei                      | 935  |                | 7.41           | 7.29                       | 7.29                       |       | 7.29       |       | 7.29       |
| Etna                       | 936  |                | 5.30           | 5.22                       | 5.22                       | +1(a) | 5.45       | +1(a) | 5.45       |



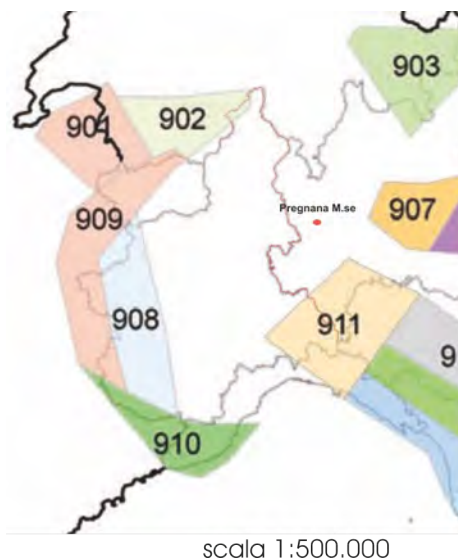
Se il sito non ricade in alcuna zona sismogenetica, come nel caso in esame, si determinano le minime



distanze del sito ( $R_i$ ) dalle zone circostanti ( $i$ ) e si verifica per ciascuna di esse se la magnitudo della zona sismogenetica considerata  $M_w(i)$  è inferiore o superiore alla magnitudo fornita dalla relazione:

$$M_s(i) = 1 + 3 \log(R_i).$$

Nel caso in cui almeno una  $M_s(i)$ , calcolata per le zone sismogenetiche circostanti, è inferiore alla  $M_w(i)$  della stessa zona per la quale è stata calcolata  $M_s(i)$ , si assume per  $M_w$  il valore di magnitudo più alto tra le magnitudo delle zone sismogenetiche circostanti ( $M_{wmax}(i)=M_w$ ):  $M_s(i) < M_{wmax}(i) \Rightarrow M_{wmax}$ . Se invece tutte le  $M_s(i)$  sono superiori alle  $M_w(i)$ , si determina la  $M_w$  con il metodo di disaggregazione:  $M_s(i) > M_{wmax}(i) \Rightarrow$  Metodo di disaggregazione.



Per il Comune di Pregnana M.se le distanze minime sono:

da ZS 907 ( $M_w$  5.91) - 39.8 km;

da ZS 911 ( $M_w$  5.68) - 36.9 km.

Per le conversioni da Magnitudo momento  $M_w$  a Magnitudo delle onde superficiali  $M_s$ , si utilizzano le relazioni di Sabetta e Pugliese:

$$M_s = 1.485 * M_w - 2.880$$

$$M_w = 0.673 * M_s + 1.938.$$

Da cui si ottiene:

Zona 907 -  $M_w = 5.91$ ;  $M_s = 5.90$ ;

Zona 911 -  $M_w = 5.68$ ;  $M_s = 5.55$ .

Ne consegue:

$$M_s \mathbf{907} = 1 + 3 \log(39.8) = \mathbf{5.80}$$

$$M_s \mathbf{911} = 1 + 3 \log(36.9) = \mathbf{5.70}$$

Essendo il valore di  $M_s$  calcolato per Pregnana M.se inferiore al valore della zona 907, si adotta il valore più alto tra le magnitudo, per cui si applica la  $M_w$  della ZS 907 = **5.91**.

Relativamente al valore di  $a_{max}$  in superficie, considerando i parametri sismici sopra rappresentati, per il sito in esame è stato ricavato un valore (SLC) di  $a_{max}$  di  $0.651 \text{ m/s}^2$  che va diviso per il valore di  $g$ , pari a  $9.81 \text{ m/s}^2$  da cui si ricava **0.066g**.

La soggiacenza della falda risulta, per il sito in esame compresa tra circa **6 e 8 m** da p.c.

I valori di resistenza penetrometrica, almeno per la porzione di sottosuolo investigata, risultano **< 15**.

Per quanto riguarda la composizione granulometrica, non essendo disponibili dati analitici di laboratorio, si può fare affidamento ai dati delle indagini geognostiche raccolti ed illustrati in precedenza, con evidenza di sedimenti che possono ricadere nel campo delle granulometrie potenzialmente liquefacibili.

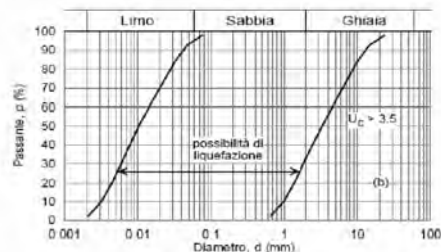


Figura 7.11.1 – Fusi granulometrici di terreni suscettibili di liquefazione.

Riepilogando:

| FATTORI PREDISPONENTI          |      |   | FATTORI SCATENANTI |            |   |
|--------------------------------|------|---|--------------------|------------|---|
| Soggiacenza falda              | <15m | X | Magnitudo Mw       | 5,91       | X |
| Valore resistenza normalizzato | <30  | X | a <sub>max</sub>   | SLC 0,651  | / |
| Distribuzione granulometrica   | n.d. | X | ag                 | SLC 0,066g | / |

Data la presenza di fattori predisponenti e scatenanti, ad eccezione del valore di ag, per maggiore sicurezza si procede con l'approfondimento di 2° grado.

|  |
|--|
| <input type="checkbox"/> Presenza dei fattori scatenanti e predisponenti<br>Obbligo del 2° grado di approfondimento  |
| <input type="checkbox"/> Prove in sito per la determinazione indiretta del parametro di resistenza ciclica CRR   |
| <input type="checkbox"/> Determinazione sperimentale della frazione di fine FC alle profondità di analisi  |
| <input type="checkbox"/> Stima del coefficiente di sicurezza alla liquefazione (FL) tramite applicazione puntuale di metodi storico-empirici ad almeno 3 diverse profondità ritenute significative |
| <input type="checkbox"/> FL ≥ 1.0 (per tutti i punti d'analisi)<br><b>Fine approfondimento</b><br><b>SITO STABILE</b>  |

L'approfondimento si basa sui valori di velocità Vs ricavati con l'indagine MASW. Per l'elaborazione dei dati è stato utilizzato il software Vslq 2.0.2.1 di Geologismiki.

#### VERIFICA PUNTUALE

La sicurezza alla liquefazione, valutata localmente, è definita dal rapporto tra la resistenza disponibile alla liquefazione **CRR** e la sollecitazione indotta dal terremoto di progetto **CSR**.

$$FS = \frac{CRR}{CSR}$$

**Resistenza alla liquefazione del terreno** o rapporto di resistenza ciclica  
**Carico indotto dal sisma** o rapporto di stress ciclico

Si fa riferimento al metodo proposto originariamente da Seed-Idriss [1971] e i successivi contributi di Ambraysses [1988], Andrus-Stokoe [1997], Hynes-Olsen [1999], Idriss [1990], Ishihara [1989], Seed-De Alba [1986], Seed-Idriss [1982], Seed et al. [1983,1985], Tokimatsu-Yoshimi [1983], Yuod et al. [2001].

Il valore del coefficiente di sicurezza nei confronti della liquefazione, alla generica profondità  $z$ , è espresso dal rapporto seguente:

L'adeguatezza del margine di sicurezza nei confronti della liquefazione deve essere valutata e motivata dal progettista (punto 7.11.3.4.3 delle NTC 2018 e della Circolare n. 7). L'Eurocodice 8 stabilisce invece un fattore di sicurezza minimo di **1.25**.

$$FS = (CRR_{7.5} / CSR) MSF k_s > 1.25$$

$CRR_{7.5}$  = tensione di taglio normalizzata che induce il fenomeno di liquefazione, nel caso di terremoti di magnitudo  $M=7.5$  (**Cyclic Resistance Ratio**)

$CSR$  = sforzo di taglio ciclico equivalente normalizzato, generato dal terremoto di progetto (**Cyclic Stress Ratio, induced by earthquake**)

$MSF$  = coefficiente correttivo per terremoti di magnitudo diversa da 7.5

$k_s$  = coeff. correttivo funzione della pressione di confinamento =  $(\sigma'_{vo}/P_a)^{(f-1)}$  **Hynes and Olsen [1999]**

$\sigma'_{vo}$  = pressione geostatica verticale efficace

$P_a$  = pressione di riferimento = 100 kPa

$f = 0.6-0.7$   $Dr = 60-80 \%$

$f = 0.7-0.8$   $Dr = 40-60 \%$

$D_R$  = densità relativa

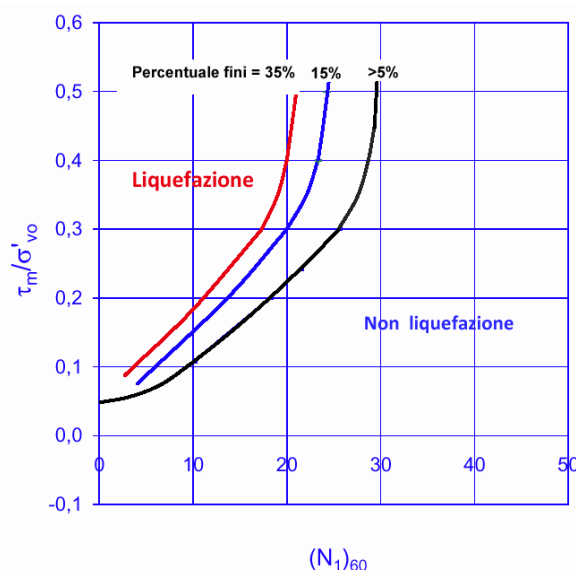
#### VALUTAZIONE DI $CRR_{7.5}$

Le correlazioni di base si riferiscono a:

- terremoti di magnitudo  $M = 7.5$ ;
- sabbie pulite e sabbie con percentuale di fine (passante al vaglio n.200 ASTM) comprese fra il 5% e il 35%;
- profondità dal piano campagna non superiori a 15 m e falda prossima al piano campagna.

Anche in assenza di tali condizioni, comunque, è possibile ottenere una stima del termine CRR utilizzando i dati acquisiti con prove SPT, CPT e Vs e con l'introduzione di opportuni fattori correttivi.

Dal valore  $(N1)_{60}$  può essere ricavato il valore della resistenza alla liquefazione mediante abachi di letteratura, nei quali sono rappresentate le curve limite che separano le zone liquefacibili da quelle non liquefacibili.



Relazione fra sforzo ciclico equivalente, normalizzato alla pressione geostatica verticale efficace, capace di indurre liquefazione e NSPT corretto

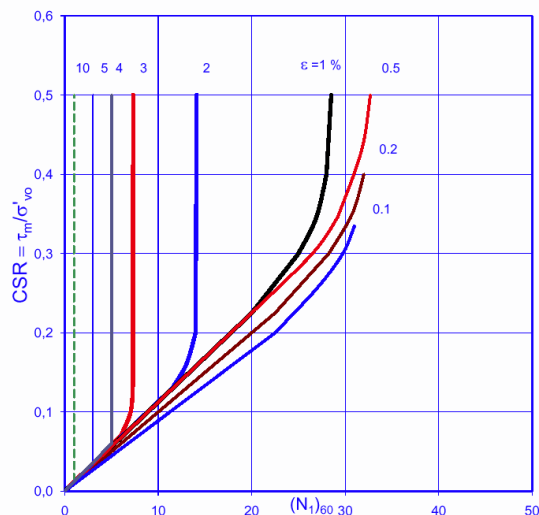


## VALUTAZIONE DI CSR

Lo sforzo di taglio ciclico equivalente, normalizzato alla pressione verticale efficace esistente in sito, generato dal terremoto di progetto alla generica profondità  $z$  è stimato mediante l'espressione seguente:

$$\tau_m / \sigma'_{vo} = 0.65 (a_{max}/g) (\sigma_{vo}/\sigma'_{vo}) r_d$$

|                |   |   |
|----------------|---|---|
| $a_{max}$      | = | accelerazione massima a livello piano campagna                            |
| $g$            | = | accelerazione di gravità  |
| $\sigma_{vo}$  | = | pressione geostatica verticale totale alla generica profondità $z$        |
| $\sigma'_{vo}$ | = | pressione geostatica verticale efficace alla generica profondità $z$      |
| $r_d$          | = | coefficiente di riduzione della rigidità con l'aumentare della profondità |
|                |   | (1-0.00765 $z$ ) per $z \leq 9.15$ m <b>Liao and Whitman [1986b]</b>      |
|                |   | (1.174 - 0.0267 $z$ ) per $9.15 < z \leq 23$ m                            |



Relazione fra sforzo ciclico equivalente, normalizzato alla pressione geostatica verticale efficace, capace di indurre liquefazione,  $(N_1)_{SPT}$  e  $\epsilon_v$ , deformazione volumetrica =  $H$  per sabbie pulite e per terremoti di magnitudo  $M=7.5$

## CONTENUTO IN FINI e $D_{50}$

In assenza di determinazioni sperimentali, è possibile utilizzare i valori indicativi (cautelativi) delle seguenti tabelle (Bruschi; Roccaforte-Cucinotta):

| CLASSIFICAZIONE USCS | FINE % |
|----------------------|--------|
| GW-GP                | 7      |
| GM-GC                | 24     |
| SW                   | 7      |
| SP                   | 9      |
| SM                   | 25     |
| SC                   | 30     |

Tabella 2.5. Valori di  $(qc/p_a)/N_{60}$ ,  $F_c$  e  $d_{50}$  per tipi di suolo

| Tipo di suolo                  | $I_c$     | $(qc/p_a)/N_{60}$<br>(Lunne et al., 1997) | $F_c$ (%)<br>(Davis, 1999) | $d_{50}$ (mm)<br>(Kulway e Mayne, 1990) |
|--------------------------------|-----------|---|----------------------------|---|
| Argilla o limi                 | 2.95÷3.60 | 3.0÷1.8                                   | 70.3÷97.8                  | 0.053÷0.0078                            |
| Limi                           | 2.60÷2.95 | 3.7÷3.0                                   | 55.4÷70.3                  | 0.053÷0.112                             |
| Sabbie limose e limi sabbiosi  | 2.05÷2.60 | 4.7÷3.7                                   | 32.1÷55.4                  | 0.112÷0.282                             |
| Sabbie pulite e sabbie limose  | 1.31÷2.05 | 6.1÷4.7                                   | 0.7÷32.1                   | 0.757÷0.112                             |
| Sabbia ghiaiosa o sabbia densa | < 1.31    | > 6.1                                     | < 0.7                      | > 0.757                                 |

## STIMA DEL COEFFICIENTE DI SICUREZZA



### V<sub>s</sub> BASED LIQUEFACTION ANALYSIS REPORT

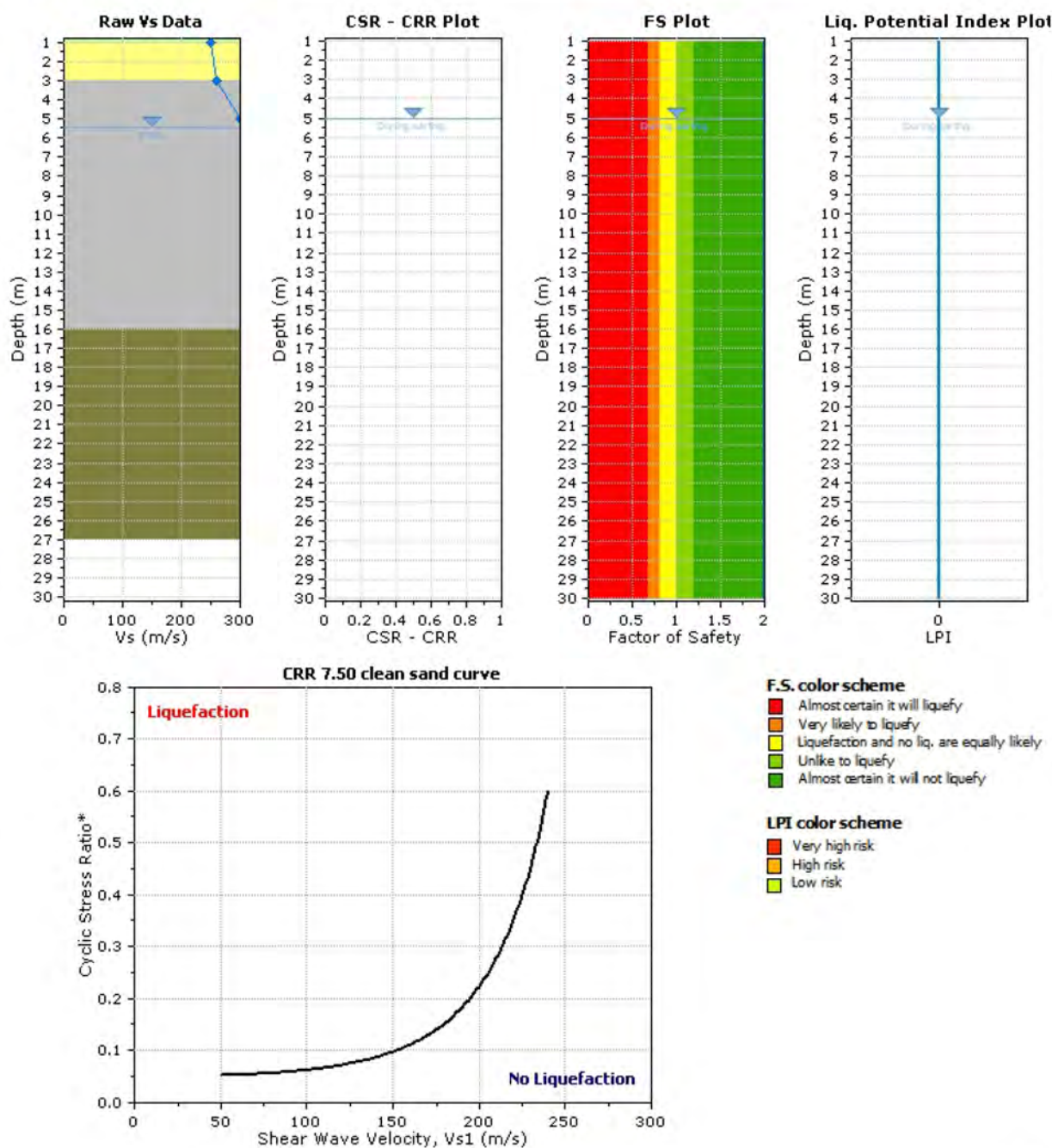
Project title: Campo sportivo

V<sub>s</sub> Name: Vs #1

Location: Pregnana Milanese

#### :: Input parameters and analysis properties ::

Analysis method: Kayen et al, 2013  
G.W.T. (in-situ): 5.40 m  
G.W.T. (earthq.): 5.00 m  
Earthquake magnitude M<sub>w</sub>: 5.91  
Peak ground acceleration: 0.07 g  
Eq. external load: 150.00 kPa



**:: Field input data ::**

| Test Depth (m) | V <sub>s</sub> Field Value (m/s) | Fines Content (%) | Unit Weight (kN/m <sup>3</sup> ) | Infl. Thickness (m) | Can Liquefy |
|----------------|----------------------------------|-------------------|----------------------------------|---------------------|-------------|
| 1.00           | 250.00                           | 25.00             | 17.40                            | 1.00                | No          |
| 3.00           | 260.00                           | 15.00             | 17.60                            | 2.00                | No          |
| 5.00           | 300.00                           | 20.00             | 18.20                            | 2.00                | Yes         |
| 7.00           | 320.00                           | 20.00             | 18.50                            | 2.00                | Yes         |
| 10.00          | 340.00                           | 20.00             | 19.40                            | 3.00                | Yes         |
| 16.00          | 470.00                           | 5.00              | 20.80                            | 6.00                | Yes         |
| 21.00          | 520.00                           | 5.00              | 21.20                            | 5.00                | Yes         |
| 27.00          | 540.00                           | 5.00              | 21.30                            | 6.00                | Yes         |
| 30.00          | 720.00                           | 70.00             | 24.00                            | 3.00                | Yes         |

**Abbreviations**

Depth: Depth at which test was performed (m)  
V<sub>s</sub> Field Value: Measured shear waves velocity (m/s)  
Fines Content: Fines content at test depth (%)  
Unit Weight: Unit weight at test depth (kN/m<sup>3</sup>)  
Infl. Thickness: Thickness of the soil layer to be considered in settlements analysis (m)  
Can Liquefy: User defined switch for excluding/including test depth from the analysis procedure

**:: Cyclic Resistance Ratio (CRR) calculation data ::**

| Depth (m) | V <sub>s</sub> Field Value (ft/s) | Unit Weight (pcf) | σ <sub>v</sub> (kPa) | u <sub>0</sub> (kPa) | σ' <sub>vo</sub> (kPa) | Norm. Factor | V <sub>s1</sub> (m/s) | CRR <sub>7.5</sub> |
|-----------|-----------------------------------|-------------------|----------------------|----------------------|------------------------|--------------|-----------------------|--------------------|
| 1.00      | 250.00                            | 17.40             | 17.40                | 0.00                 | 17.40                  | 1.55         | 388.36                | 4.000              |
| 3.00      | 260.00                            | 17.60             | 52.60                | 0.00                 | 52.60                  | 1.18         | 306.31                | 4.000              |
| 5.00      | 300.00                            | 18.20             | 89.00                | 0.00                 | 89.00                  | 1.03         | 309.89                | 4.000              |
| 7.00      | 320.00                            | 18.50             | 126.00               | 15.70                | 110.30                 | 0.98         | 313.28                | 4.000              |
| 10.00     | 340.00                            | 19.40             | 184.20               | 45.13                | 139.07                 | 0.92         | 314.12                | 4.000              |
| 16.00     | 470.00                            | 20.80             | 309.00               | 103.99               | 205.01                 | 0.84         | 394.08                | 4.000              |
| 21.00     | 520.00                            | 21.20             | 415.00               | 153.04               | 261.96                 | 0.79         | 410.08                | 4.000              |
| 27.00     | 540.00                            | 21.30             | 542.80               | 211.90               | 330.90                 | 0.74         | 401.70                | 4.000              |
| 30.00     | 720.00                            | 24.00             | 614.80               | 241.33               | 373.47                 | 0.72         | 519.63                | 4.000              |

**Abbreviations**

σ<sub>v</sub>: Total stress during SPT test (kPa)  
u<sub>0</sub>: Water pore pressure during SPT test (kPa)  
σ'<sub>vo</sub>: Effective overburden pressure during SPT test (kPa)  
Norm. Factor: overburden-stress correction factor  
V<sub>s1</sub>: Overburden-stress corrected shear wave velocity  
CRR<sub>7.5</sub>: Cyclic resistance ratio for M=7.5

**:: Cyclic Stress Ratio calculation (CSR fully adjusted and normalized) ::**

| Depth (m) | Unit Weight (pcf) | σ <sub>v,eq</sub> (kPa) | u <sub>0,eq</sub> (kPa) | σ' <sub>v0,eq</sub> (kPa) | r <sub>d</sub> | α    | CSR   | MSF  | CSR <sub>eq,M=7.5</sub> | K <sub>σgma</sub> | CSR*  | FS    |
|-----------|-------------------|-------------------------|-------------------------|---------------------------|----------------|------|-------|------|-------------------------|-------------------|-------|-------|
| 1.00      | 17.40             | 17.40                   | 0.00                    | 167.40                    | 1.00           | 1.00 | 0.046 | 1.38 | 0.033                   | 1.00              | 0.033 | 2.000 |
| 3.00      | 17.60             | 52.60                   | 0.00                    | 202.60                    | 1.00           | 1.00 | 0.046 | 1.38 | 0.033                   | 1.00              | 0.033 | 2.000 |
| 5.00      | 18.20             | 89.00                   | 0.00                    | 239.00                    | 1.00           | 1.00 | 0.046 | 1.38 | 0.033                   | 1.00              | 0.033 | 2.000 |
| 7.00      | 18.50             | 126.00                  | 19.62                   | 256.38                    | 1.00           | 1.00 | 0.049 | 1.38 | 0.035                   | 1.00              | 0.035 | 2.000 |
| 10.00     | 19.40             | 184.20                  | 49.05                   | 285.15                    | 1.00           | 1.00 | 0.053 | 1.38 | 0.039                   | 1.00              | 0.039 | 2.000 |
| 16.00     | 20.80             | 309.00                  | 107.91                  | 351.09                    | 1.00           | 1.00 | 0.059 | 1.38 | 0.043                   | 1.00              | 0.043 | 2.000 |
| 21.00     | 21.20             | 415.00                  | 156.96                  | 408.04                    | 1.00           | 1.00 | 0.063 | 1.38 | 0.046                   | 1.00              | 0.046 | 2.000 |
| 27.00     | 21.30             | 542.80                  | 215.82                  | 476.98                    | 1.00           | 1.00 | 0.066 | 1.38 | 0.048                   | 1.00              | 0.048 | 2.000 |



**:: Cyclic Stress Ratio calculation (CSR fully adjusted and normalized) ::**

| Depth<br>(m) | Unit<br>Weight<br>(pcf) | $\sigma_{v,eq}$<br>(kPa) | $u_{0,eq}$<br>(kPa) | $\sigma'_{v0,eq}$<br>(kPa) | $r_d$ | $\alpha$ | CSR   | MSF  | $CSR_{eq,M=7.5}$ | $K_{sigma}$ | CSR*  | FS  |
|--------------|-------------------------|--------------------------|---------------------|----------------------------|-------|----------|-------|------|------------------|-------------|-------|---|
| 30.00        | 24.00                   | 614.80                   | 245.25              | 519.55                     | 1.00  | 1.00     | 0.067 | 1.38 | 0.048            | 1.00        | 0.048 | 2.000  |

**Abbreviations**

$\sigma_{v,eq}$ : Total overburden pressure at test point, during earthquake (kPa)  
 $u_{0,eq}$ : Water pressure at test point, during earthquake (kPa)  
 $\sigma'_{v0,eq}$ : Effective overburden pressure, during earthquake (kPa)  
 $r_d$ : Nonlinear shear mass factor  
 $\alpha$ : Improvement factor due to stone columns  
 CSR : Cyclic Stress Ratio  
 MSF : Magnitude Scaling Factor  
 $CSR_{eq,M=7.5}$ : CSR adjusted for M=7.5  
 $K_{sigma}$ : Effective overburden stress factor  
 CSR\*: CSR fully adjusted (user FS applied)\*\*\*  
 FS: Calculated factor of safety against soil liquefaction

\*\*\* User FS: 1.00

**:: Liquefaction potential according to Iwasaki ::**

| Depth<br>(m) | FS    | F    | wz   | Thickness<br>(m) | $I_L$ |
|--------------|-------|------|------|------------------|-------|
| 1.00         | 2.000 | 0.00 | 9.50 | 2.00             | 0.00  |
| 3.00         | 2.000 | 0.00 | 8.50 | 2.00             | 0.00  |
| 5.00         | 2.000 | 0.00 | 7.50 | 2.00             | 0.00  |
| 7.00         | 2.000 | 0.00 | 6.50 | 2.00             | 0.00  |
| 10.00        | 2.000 | 0.00 | 5.00 | 3.00             | 0.00  |
| 16.00        | 2.000 | 0.00 | 2.00 | 6.00             | 0.00  |
| 21.00        | 2.000 | 0.00 | 0.00 | 0.00             | 0.00  |
| 27.00        | 2.000 | 0.00 | 0.00 | 0.00             | 0.00  |
| 30.00        | 2.000 | 0.00 | 0.00 | 0.00             | 0.00  |

**Overall potential  $I_L$  : 0.00**

$I_L = 0.00$  - No liquefaction  
 $I_L$  between 0.00 and 5 - Liquefaction not probable  
 $I_L$  between 5 and 15 - Liquefaction probable  
 $I_L > 15$  - Liquefaction certain

**:: Vertical settlements estimation for dry sands ::**

| Depth<br>(m) | $V_{s1,cs}$<br>(ft/s) | $(N_1)_{60,cs}$ | $\tau_{av}$ | p    | $G_{max}$<br>(MPa) | $\alpha$ | b    | $\gamma$ | $\varepsilon_{15}$ | $N_c$ | $\varepsilon_{Nc}$<br>(%) | $\Delta h$<br>(m) | $\Delta S$<br>(cm) |
|--------------|-----------------------|-----------------|-------------|------|--------------------|----------|------|----------|--------------------|-------|---------------------------|-------------------|--------------------|
| 1.00         | 574.62                | 50              | 0.00        | 0.00 | 0.00               | 0.00     | 0.00 | 0.00     | 0.00               | 0.00  | 0.00                      | 1.00              | 0.000              |
| 3.00         | 340.81                | 50              | 0.00        | 0.00 | 0.00               | 0.00     | 0.00 | 0.00     | 0.00               | 0.00  | 0.00                      | 2.00              | 0.000              |

**Cumulative settlements: 0.000**

**Abbreviations**

$V_{s1,cs}$ : Normalized shear wave velocity clean sand equivalent  
 $(N_1)_{60,cs}$ : Estimated normalized corrected clean sand SPT  
 $\tau_{av}$ : Average cyclic shear stress  
 p: Average stress  
 $G_{max}$ : Maximum shear modulus (MPa)  
 $\alpha, b$ : Shear strain formula variables  
 $\gamma$ : Average shear strain  
 $\varepsilon_{15}$ : Volumetric strain after 15 cycles  
 $N_c$ : Number of cycles  
 $\varepsilon_{Nc}$ : Volumetric strain for number of cycles  $N_c$  (%)  
 $\Delta h$ : Thickness of soil layer (cm)  
 $\Delta S$ : Settlement of soil layer (cm)

**:: Vertical settlements estimation for saturated sands ::**

| Depth<br>(m) | $V_{s1,cs}$<br>(m/s) | $q_{t1N,cs}$ | $e_v$<br>weight<br>factor | $e_v$<br>(%) | $\Delta h$<br>(m) | $s$<br>(cm) |
|--------------|----------------------|--------------|---------------------------|--------------|-------------------|-------------|
| 5.00         | 364.34               | 2048.20      | 1.00                      | 0.00         | 2.00              | 0.000       |
| 7.00         | 370.36               | 2198.93      | 1.00                      | 0.00         | 2.00              | 0.000       |
| 10.00        | 371.87               | 2237.96      | 1.00                      | 0.00         | 3.00              | 0.000       |
| 16.00        | 394.08               | 2876.76      | 1.00                      | 0.00         | 6.00              | 0.000       |
| 21.00        | 410.08               | 3417.88      | 1.00                      | 0.00         | 5.00              | 0.000       |
| 27.00        | 401.70               | 3125.40      | 1.00                      | 0.00         | 6.00              | 0.000       |
| 30.00        | 1376.51              | 646269.89    | 1.00                      | 0.00         | 3.00              | 0.000       |

**Cumulative settlements: 0.000**

**Abbreviations**

$V_{s1,cs}$ : Normalized shear wave velocity clean sand equivalent  
 $q_{t1N,cs}$ : Estimated normalized corrected clean sand cone resistance  
 $e_v$ : Post liquefaction volumetric strain (%)  
 $\Delta h$ : Thickness of soil layer to be considered (m)  
 $s$ : Estimated settlement (cm)

**:: Lateral displacements estimation for saturated sands ::**

| Depth<br>(m) | $V_{s1,cs}$<br>(m/s) | $(N_1)_{60,cs}$ | $D_r$<br>(%) | $\gamma_{max}$<br>(%) | $d_s$<br>(m) | LDI   | LD<br>(m) |
|--------------|----------------------|-----------------|--------------|-----------------------|--------------|-------|-----------|
| 1.00         | 574.62               | 50              | 100.00       | 0.00                  | 1.00         | 0.000 | 0.00      |
| 3.00         | 340.81               | 50              | 100.00       | 0.00                  | 2.00         | 0.000 | 0.00      |
| 5.00         | 364.34               | 50              | 100.00       | 0.00                  | 2.00         | 0.000 | 0.00      |
| 7.00         | 370.36               | 50              | 100.00       | 0.00                  | 2.00         | 0.000 | 0.00      |
| 10.00        | 371.87               | 50              | 100.00       | 0.00                  | 3.00         | 0.000 | 0.00      |
| 16.00        | 394.08               | 50              | 100.00       | 0.00                  | 6.00         | 0.000 | 0.00      |
| 21.00        | 410.08               | 50              | 100.00       | 0.00                  | 5.00         | 0.000 | 0.00      |
| 27.00        | 401.70               | 50              | 100.00       | 0.00                  | 6.00         | 0.000 | 0.00      |
| 30.00        | 1376.51              | 50              | 100.00       | 0.00                  | 3.00         | 0.000 | 0.00      |

**Cumulative lateral displacements: 0.00**

**Abbreviations**

$V_{s1,cs}$ : Normalized shear wave velocity clean sand equivalent  
 $(N_1)_{60,cs}$ : Estimated normalized corrected clean sand SPT  
 $D_r$ : Relative density (%)  
 $\gamma_{max}$ : Maximum amplitude of cyclic shear strain (%)  
 $d_s$ : Soil layer thickness (m)  
LDI: Lateral displacement index (m)  
LD: Actual estimated displacement (m)

Considerando che il  $F_s$  è risultato pari a 2 per tutti i punti, il sito si può considerare stabile.

## CONCLUSIONI

Le indagini geognostiche condotte nell'area del centro sportivo comunale hanno confermato quanto rilevato dal collega geologo Perego nell'ambito della verifica di compatibilità geologica, con i seguenti aspetti di dettaglio:

- l'area risulta interessata da depositi di riporto antropico, nella porzione superficiale, per circa 1 m di spessore;
- i terreni sottostanti al riporto sono costituiti da sedimenti fluvioglaciali prevalentemente medio-grossolani, con discrete caratteristiche geotecniche a partire dall'orizzonte individuato oltre i 3 m di profondità circa;
- la falda freatica risulta collocata a quote medie di circa 6-8 m: nel corso delle indagini è stata riscontrata la presenza della falda a circa 5.4 m da p.c. (DPSH2), fermo restando le incertezze della definizione della soggiacenza nel corso delle prove penetrometriche;
- è stata fornita una parametrizzazione dei terreni attraversati, utilizzando i dati ricavati dalle prove penetrometriche dinamiche e dall'indagine sismica effettuati in sito;
- eventuali scavi verticali per la formazione del piano di posa dovranno essere adeguatamente sostenuti con opere provvisorie, come da disposizioni normative vigenti; in alternativa, gli scavi dovranno essere provvisti di adeguati angoli di scarpa, da verificare in fase esecutiva, in funzione delle profondità da raggiungere;
- dal punto di vista della componente geologica del PGT, l'area è inserita in Classe II di fattibilità geologica e nella zona PSL Z2.2, nella quale sono richiesti approfondimenti di 3° livello in fase progettuale, solo per edifici strategici e rilevanti;
- La verifica alla liquefazione secondo normativa nazionale (NTC2018) consente di escludere il fenomeno, in relazione ai bassi valori di  $a_{max}$  individuati; la verifica secondo la normativa regionale, adottando l'App 5, 1° e 2° grado di approfondimento, ha portato a definire il sito stabile nei confronti della liquefazione;
- i terreni di scavo dovranno essere gestiti secondo quanto previsto dal DPR 120/17.