

**PROPONENTE****PV01.RE S.r.l.**

Piazza del Grano, 3  
39100 Bolzano (BZ) - Italy  
Tel. +39 02 37905900  
info@supernova.eu - pv01.re@legalmail.it

**MANAGEMENT****Supernova Management**

Galleria Pasarella 1  
20122 Milano, Italy  
Tel. +39 02 37095900  
www.supernova.eu  
info@supernova.eu

Project Manager: Arch. M. Panzini  
Collaboratori: Arch. A. Premoli, Arch. R. Mangini  
Senior Advisor: Ing. E. Facchin  
Ing. G. Verga

**INGEGNERIA****Strutture/Impianti/infrastrutture/Edilizia****Heliopolis Engineering**

via Alto Adige 160  
38121 Trento, Italy  
t +39 0461 1732700  
www.supernova.eu  
Info@supernova.eu

Direttore tecnico: Ing. N. Zuech  
Collaboratori: Ing. E. Bombardelli, Ing. L. Maccani,  
Ing. A. Amadori, Ing. F. Sommariva

**INGEGNERIA****Ingegneria del territorio e dei trasporti**

Transplan S.r.l.  
via G.P. da Palestrina 35  
20124 Milano, Italy  
Tel. +39 0267493506  
www.transplan.it  
transplan@transplan.it

Referente: Ing. A. V. Molinari  
Collaboratori: dott.ssa L. Bossi

**URBANISTICA E ARCHITETTURA****Arup Italia S.r.l.**

Corso Italia, 1  
20122 Milano, Italy  
Tel. 02 8597 9301  
www.arup.com  
Info@heliopolis.eu

Referenti: Arch. D. Hirsch, Arch. S. Recalcati, Ing. M. Neri  
Collaboratori: Arch. F. Cefis, Arch. A. Migliarese,  
Arch. M. Dozio, Arch. S. Settecasì, Arch. A. Chivikova

**ASPETTI AMBIENTALI**

Lybra ambiente e territorio s.r.l.  
Via E. Cavaglia, 5  
20139 Milano  
t. 02 45470559  
info@lybra-at.it

Referente: Dott. A. Romano

**CONSULENZA LEGALE**

Amministrativisti Associati  
Via Visconti di Mondrone, 12  
20122 Milano, Italy  
t. 026 208161  
segreteria@ammlex.it

Referente: Avv. Guido Bardelli



## PROGETTAZIONE NUOVA PASSERELLA CICLO-PEDONALE E COLLEGAMENTO CON IL POLICLINICO (RECUPERO AMBIENTALE DEL "NAVIGLIACCIO" - POP146)

### OGGETTO: RELAZIONE GEOLOGICA E GEOTECNICA

# OO-POP146- G04.0

SCALA -  
DATA 04/2022  
NOME FILE OO-POP146-G04.0.PDF

N. REV.	DATA	REVISIONE	ELABORATO	VERIFICATO	VALIDATO
0	04/2022	Emissione	Dott. A. Romano	Dott. A. Romano	

## PROVINCIA DI PAVIA

### COMUNE DI PAVIA

Viale della Repubblica c/o "ex Necchi Sud" / Via Negri Adelchi n.13 c/o "ex Depuratore"



società incaricata:

**Lybra ambiente e territorio S.r.l.**

Via Enrico Caviglia, 5

20139 Milano

tel 02.45470559

fax 02.45470691

indirizzo PEC [lybra@gigapec.it](mailto:lybra@gigapec.it)

[www.lybra-at.com](http://www.lybra-at.com)

coordinato e redatto da:

Dr.ssa Geol. Monica Civitenga (CGL n.920)

e-mail [civitenga@lybra-at.it](mailto:civitenga@lybra-at.it)

collaboratrice di studio:

Dr.ssa Stefania Rizzi



committente:

**PV01.RE Srl**

Via Museo, 1

39100 Bolzano

documento:

**R\_1848\_19\_R3+R1\_Rev0**

normative di riferimento:

- D.G.R. X/5001 del 30.03.2016

- D.G.R. IX/2616 del 30.11.2011

- D.M. 17.01.2018

titolo:

**RELAZIONE GEOLOGICA (R3)**

ai sensi della D.G.R. 2616/2011

**RELAZIONE GEOLOGICA (R1)**

ai sensi del D.M. 17.01.2018

**OPERE DI ATTRAVERSAMENTO CICLOPEDONALE  
DELLA FERROVIA E DEL NAVIGLIACCIO**

Milano, 12 febbraio 2021

## SOMMARIO

<b>1. PREMESSE</b> .....	<b>3</b>
1.1 FINALITÀ E MODALITÀ DI SVOLGIMENTO DELLO STUDIO .....	3
<b>2. NORMATIVE DI RIFERIMENTO</b> .....	<b>4</b>
<b>3. UBICAZIONE DEL SITO</b> .....	<b>5</b>
<b>4. ANALISI CARTOGRAFIA ESISTENTE E VINCOLI TERRITORIALI</b> .....	<b>6</b>
4.1 CLASSE DI FATTIBILITÀ GEOLOGICA ATTRIBUITA ALL'AREA DI STUDIO .....	6
4.2 VINCOLI DI NATURA GEOLOGICA .....	8
<b>5. CARATTERI GEOLOGICI E GEOMORFOLOGICI GENERALI</b> .....	<b>9</b>
5.1 GEOLOGIA E GEOMORFOLOGIA DEL SETTORE DI STUDIO .....	10
<b>6. DINAMICA IDROGEOLOGICA</b> .....	<b>13</b>
6.1 CARATTERI IDROGEOLOGICI GENERALI.....	13
6.2 ANDAMENTO AREALE DELLA SUPERFICIE PIEZOMETRICA .....	14
6.3 IDROGEOLOGIA DI DETTAGLIO .....	18
<b>7. CARATTERIZZAZIONE SISMICA DEL SITO</b> .....	<b>19</b>
7.1 PRIMO LIVELLO DI APPROFONDIMENTO – CARTA DELLA PSL .....	19
7.2 SECONDO LIVELLO DI APPROFONDIMENTO .....	22
7.3 STIMA DEGLI EFFETTI LITOLOGICI E DEL FATTORE DI AMPLIFICAZIONE ( $F_A$ ) .....	25
7.4 AZIONI SISMICHE DI PROGETTO .....	27
7.5 ELABORAZIONI .....	28
<b>8. VERIFICA ALLA LIQUEFAZIONE</b> .....	<b>33</b>
8.1 METODO SEMPLIFICATO DI SEED E IDRIS.....	34
<b>9. MODELLO GEOTECNICO DEL SOTTOSUOLO</b> .....	<b>40</b>
9.1 INDAGINE GEOTECNICA IN SITO.....	40
9.2 SONDAGGI A CAROTAGGIO CONTINUO.....	40
9.3 PROVE S.P.T. IN FORO DI SONDAGGIO.....	40
9.4 PROVE PENETROMETRICHE DINAMICHE S.C.P.T. ....	41
9.5 DESCRIZIONE STRATIGRAFICA E GEOTECNICA DEI TERRENI ESAMINATI.....	43
9.6 PARAMETRIZZAZIONE GEOTECNICA.....	45

<b>10. CONCLUSIONI</b> .....	<b>49</b>
10.1 GEOLOGIA, GEOMORFOLOGIA, IDROGEOLOGIA ED IDRAULICA .....	<b>49</b>
10.2 SISMICA.....	<b>50</b>
10.3 PARAMETRIZZAZIONE GEOTECNICA.....	<b>51</b>
<b>11. CONSIDERAZIONI FINALI</b> .....	<b>53</b>

### **ALLEGATI**

- Allegato 1: Elaborazioni grafiche stendimento sismico MASW;  
 Allegato 2: Stratigrafie sondaggi geognostici;  
 Allegato 3: Fotografie delle cassette catalogatrici;  
 Allegato 4: Tabulati e grafici delle prove S.P.T. in foro di sondaggio;  
 Allegato 5: Tabulati e grafici delle prove penetrometriche dinamiche S.C.P.T.;  
 Allegato 6: Fotografie di tutti i punti di indagine.

### **TAVOLE**

- Tavola 1: Pianta di progetto con indicata l'ubicazione di tutte le indagini eseguite e la traccia delle sezioni geotecniche e stratigrafiche X-X', Y-Y';  
 Tavola 2: Sezione geotecnica e stratigrafica X-X' (ex Necchi Sud);  
 Tavola 3: Sezione geotecnica e stratigrafica Y-Y' (ex Depuratore).

<p>Lybra ambiente e territorio s.r.l. Via E. Caviglia 5 – 20139 Milano Tel +39 02 45470559 Fax +39 02 45470691</p>	<p>P.IVA 04922490968 Cap. Soc. € 30.000,00 i.v. e-mail <a href="mailto:info@lybra-at.it">info@lybra-at.it</a> PEC <a href="mailto:lybra@gigapec.it">lybra@gigapec.it</a> <a href="http://www.lybra-at.com">www.lybra-at.com</a></p>	<p>Società certificata ISO 9001-2015 da Rina SpA n° 34244/16/S</p>
--	---	--



## 1. PREMESSE

### 1.1 FINALITÀ E MODALITÀ DI SVOLGIMENTO DELLO STUDIO

Il presente elaborato è stato predisposto su incarico di "PV01.RE S.r.l." firmato in data 03/02/2021, per le opere di attraversamento ciclopedonale del Navigliaccio e della ferrovia da realizzare in comune di Pavia (PV), nel tratto compreso tra l'area denominata "ex Necchi Sud" sita in Viale della Repubblica (in direzione est) e l'area dell'"ex Depuratore" sita in Via Negri Adelchi n.13 (in direzione ovest).

Nello specifico, l'intervento in progetto prevede la realizzazione di una passerella ciclopedonale che da Via Negri Adelchi consentirà l'attraversamento del Navigliaccio fino alla ferrovia e, a seguire, di un sottopasso ferroviario che dalla ferrovia condurrà fino all'attuale area di pertinenza della "ex Necchi Sud".

Secondo quanto comunicatoci dallo strutturista Dott. Ing. Luca Maccani, la passerella ciclopedonale in progetto non rientra nell'elenco degli "edifici strategici e rilevanti" (D.D.U.O. n.7237 del 22/05/2019 della Regione Lombardia) e la stessa ricade in Classe d'Uso II (N.T.C. 2018, Par. 2.4.2. e Tab. 2.4.II.); il sottopasso ferroviario rientra invece nell'elenco degli "edifici strategici e rilevanti" di cui sopra e ricade in Classe d'Uso IV.

In base a quanto riportato nell'"Aggiornamento delle zone sismiche in Regione Lombardia" (D.G.R. n. X/2129 del 11/07/2014), il comune di Pavia è classificato in zona sismica 3.

In accordo con la Committenza, sono state effettuate le seguenti indagini in sito:

#### 1) per la caratterizzazione geotecnica dei terreni:

⇒ n.5 prove penetrometriche dinamiche con penetrometro superpesante standard S.C.P.T. (*Standard Cone Penetration Test*), nel seguito denominate P.1, P.2, P.3, P.4 e P.5;

#### 2) per la caratterizzazione geognostica dei terreni:

⇒ n.3 sondaggi verticali a rotazione e a carotaggio continuo spinti fino alla profondità di 15,00 m dal piano campagna, nel seguito denominati S.1, S.2 ed S.3;

⇒ n.10 prove S.P.T. (*Standard Penetration Test*) in ciascun foro di sondaggio;

#### 3) per la caratterizzazione geofisica dei terreni:

⇒ n.1 prospezione sismica di tipo attivo MASW.

Così come consentito dalla D.G.R. X/5001 del 30.03.2016, il presente documento si articola nelle seguenti due parti:

- la relazione geologica, redatta ai sensi della D.G.R. 2616/2011 (R3), allo scopo di verificare la fattibilità dell'intervento in progetto in riferimento a quanto richiesto dalle norme di attuazione del PGT per la specifica classe di fattibilità geologica e per la specifica classe di pericolosità sismica che l'estensore dello studio geologico del PGT ha attribuito all'area di studio;
- la relazione geologica, redatta ai sensi del D.M. 17.01.2018 (R1), con la finalità di fornire ai progettisti incaricati i parametri sismici e geotecnici del terreno.

## 2. NORMATIVE DI RIFERIMENTO

### **D.G.R. IX/2616 del 30.11.2011**

Aggiornamento dei "Criteri ed indirizzi per la definizione della componente geologica, idrogeologica e sismica del piano di governo del territorio, in attuazione dell'art. 57, comma 1, della l.r. 11 marzo 2005, n. 12", approvati con d.g.r. 22 dicembre 2005, n. 8/1566 e successivamente modificati con d.g.r. 28 maggio 2008, n. 8/7374

### **D.G.R. X/2129 del 11.07.2014**

Aggiornamento delle zone sismiche in Regione Lombardia (l.r. 1/2000, art.3, c.108, lett.d)

### **L.R. n.33 del 12.10.2015**

Disposizioni in materia di opere o di costruzioni e relativa vigilanza in zone sismiche

### **D.G.R. X/5001 del 30.03.2016**

Approvazione delle linee di indirizzo e coordinamento per l'esercizio delle funzioni trasferite ai comuni in materia sismica (artt. 3, comma 1, e 13, comma 1, della l.r. 33/2015)

### **Decreto Ministeriale 17.01.2018**

Aggiornamento delle "Norme tecniche per le costruzioni"

### **Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici**

Istruzioni per l'applicazione dell'«Aggiornamento delle "Norme tecniche per le costruzioni"» di cui al D.M. 17 gennaio 2018. Circolare N.7 del 21 gennaio 2019

### **D.D.U.O. n.19904 del 21/11/2013 della Regione Lombardia**

Approvazione elenco tipologie degli edifici e opere infrastrutturali e programma temporale delle verifiche di cui all'art.2, commi 3 e 4 dell'ordinanza p.c.m. n.3274 del 23/03/2003, in attuazione della d.g.r. n.14964 del 07/11/2003

### **D.D.U.O. n.7237 del 22/05/2019 della Regione Lombardia**

Aggiornamento del d.d.u.o. 21 novembre 2013 n. 19904 - Approvazione elenco delle tipologie degli edifici ed opere infrastrutturali di interesse strategico e di quelli che possono assumere rilevanza per le conseguenze di un eventuale collasso in attuazione della d.g.r. n.14964 del 07/11/2003

### **Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n.3274 del 20/03/2003 e s.m.i.**

Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica

### **Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici**

Pericolosità sismica e Criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale. Allegato al voto n.36 del 27.07.2007

### **UNI EN 1998 Eurocodice 8 - Strutture in zona sismica**

### **UNI EN 1997 Eurocodice 7 - Progettazione geotecnica**

### **A.G.I. Associazione Geotecnica Italiana**

Raccomandazioni sulla programmazione ed esecuzione delle indagini geotecniche

### **Leggi regionali** in materia di pianificazione e di Vincolo Idrogeologico

### **Ordinanze** Autorità di Bacino nazionale, regionale o interregionale

### 3. UBICAZIONE DEL SITO

Il sito oggetto di intervento è ubicato a Pavia (PV), nel tratto compreso tra l'area "ex Necchi Sud" in Viale della Repubblica (in direzione est) e l'area dell'"ex Depuratore" in Via Negri Adelchi n.13 (in direzione ovest). Il lotto di intervento è individuato dal mappale n.1941 del foglio n.5 e dai mappali n. 17, 25, 120, 152, 218, 1651,1654, 1690, 1748, 1772, 1781 e 1915 del foglio n.12 del comune di Pavia (codice catastale G388), come visibile nella **Figura 1** sottostante.

**Figura 1: stralcio mappa catastale**



L'ambito di studio, ubicato nel settore centrale del territorio comunale di Pavia, immediatamente a nord del centro storico della città e 630 m circa a sud-est della Tangenziale Ovest di Pavia – A54, ricade a cavallo dei fogli B7b3 e B7b4 della Carta Tecnica Regionale in scala 1:10.000, come visibile nella **Figura 2** sottostante.

**Figura 2: stralcio della Carta Tecnica Regionale – fogli B7b3 e B7b4**



## 4. ANALISI CARTOGRAFIA ESISTENTE E VINCOLI TERRITORIALI

Relativamente al settore di studio e ad un suo intorno significativo, sono stati analizzati i seguenti studi con le relative cartografie:

- “Studio per la definizione della componente Geologica, Idrogeologica e Sismica del Piano di Governo del Territorio di Pavia”, redatto dallo studio S.G.P. S.r.l. del Dott. Geol. Fabrizio Finotelli e del Dott. Ing. Giuseppe Barbero, disponibile on-line cliccando sul seguente link: <https://www.multiplan.servizirl.it/pgtweb/pub/pgtweb.jsp>;
- “Piano Territoriale di Coordinamento della Provincia di Pavia” approvato con delibera del Consiglio Provinciale n. 30/26209 del 23/04/2015 e pubblicato sul BURL – serie avvisi e concorsi n.37 del 09/09/2015; disponibile on-line cliccando sul seguente link: <https://www.provincia.pv.it/it/page/ptcp-vigente>;
- GEOportale della Lombardia, disponibile on-line cliccando sul seguente link: <http://www.cartografia.regione.lombardia.it>.

### 4.1 CLASSE DI FATTIBILITÀ GEOLOGICA ATTRIBUITA ALL'AREA DI STUDIO

Secondo quanto riportato all'interno della Tavola 10.1 – “Carta della Fattibilità geologica per le azioni di Piano”, allegata alla componente geologica del territorio comunale di Pavia e redatta in scala 1:10.000 dallo studio S.G.P. del Dott. Geol. F. Finotelli e del Dott. Ing. G. Barbero (vd. stralcio nella sottostante **Figura 3**), l'ambito di intervento interessa aree che ricadono in differenti classi di fattibilità geologica, variabili dalla 2 – “Fattibilità con modeste limitazioni”, alla 4 – “Fattibilità con gravi limitazioni all'edificabilità”.

Le aree che ricadono entro la classe 2 (gialla) di fattibilità geologica sono aree nelle quali sono state riscontrate modeste limitazioni all'utilizzo a scopi edificatori e/o alla modifica della destinazione d'uso, che possono essere superate mediante approfondimenti di indagine e accorgimenti tecnico-costruttivi e senza l'esecuzione di opere di difesa. Entro tale classe ricadono le aree nelle quali gli studi non hanno individuato specifiche controindicazioni di carattere geologico all'urbanizzazione e all'edificabilità.

Le zone che ricadono entro la classe 3 (arancione) di fattibilità geologica sono aree nelle quali sono state riscontrate consistenti limitazioni all'utilizzo a scopi edificatori e/o alla modifica della destinazione d'uso per le condizioni di pericolosità/vulnerabilità individuate, per il superamento delle quali potrebbero rendersi necessari interventi specifici o opere di difesa. Entro tale classe di fattibilità sono state inserite:

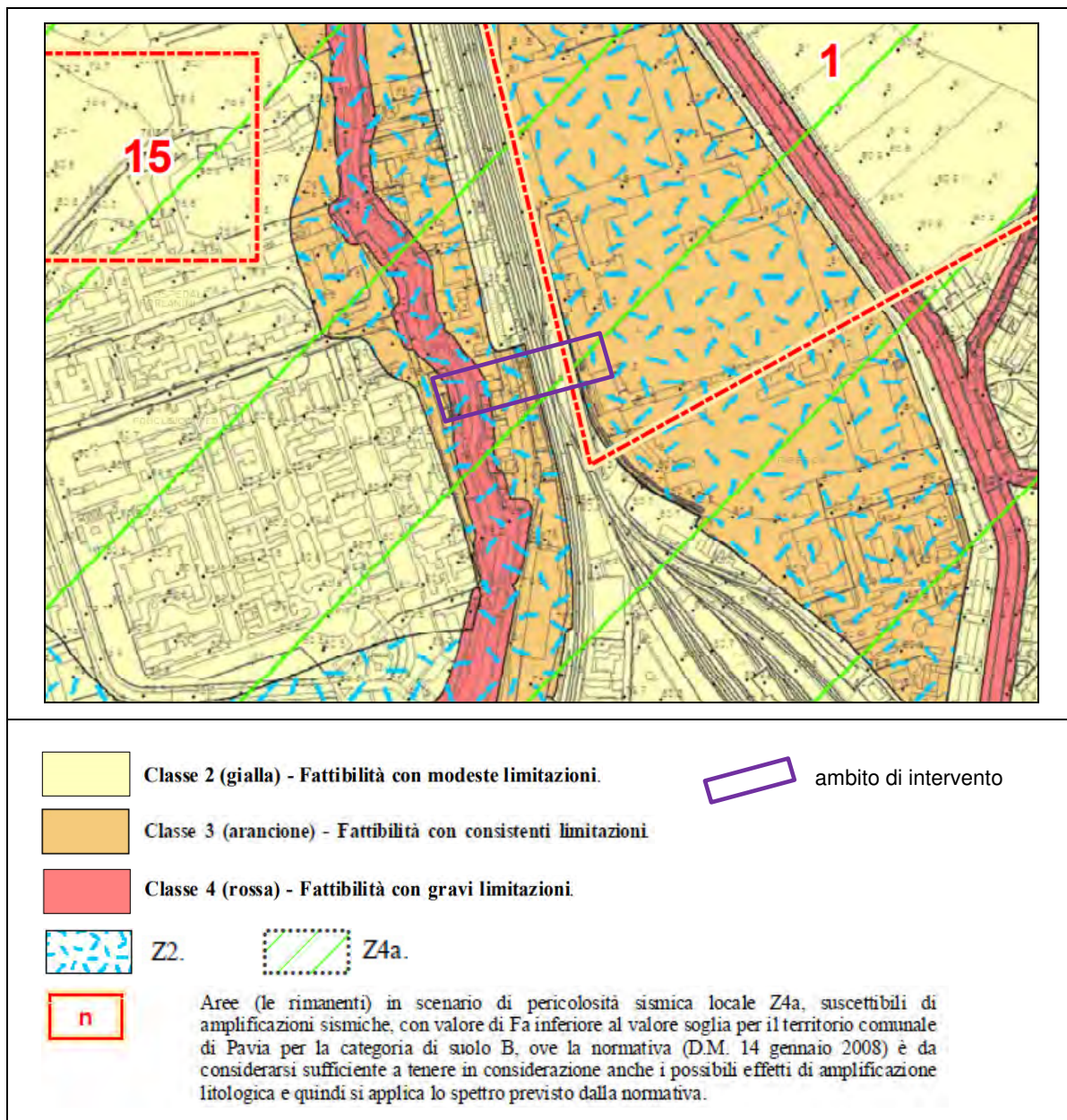
- le unità idro-geo-morfologiche, geotecniche e idrauliche C, D, E<sub>B</sub>, E<sup>1</sup><sub>B</sub>, F<sub>B</sub> di cui alla Tavola 9 - “Carta di Sintesi” (vd. **Figura 8** riportata nel seguito);
- le aree edificate ricadenti nella Fascia fluviale B in classe di rischio idraulico R3;
- le zone contraddistinte dalla locale presenza di cavità nel sottosuolo (collettori fognari di epoca romana e medioevale);
- i siti contaminati o potenzialmente tali, ad esclusione dei siti già indagati con verifica di assenza di contaminazioni o già bonificati, con area svincolata e/o con certificato provinciale di avvenuta bonifica già emesso.



Nel caso specifico, il margine orientale dell'ambito di intervento - ricadente all'interno del sito "ex Necchi Sud" - rientra nei "siti contaminati o potenzialmente tali (procedure ex D.M. 471/1999, D.Lgs. 152/2006 e s.m.i. e situazioni confrontabili pre D.M. 471/1999)". La porzione occidentale dello stesso, che si affaccia su Via Negri Adelchi, ricade all'interno dell'unità idro-geo-morfologica D<sup>3</sup> - "golene dei corsi d'acqua minori (Navigliaccio)".

**Figura 3: stralcio della Tavola 10.1 – "Carta della Fattibilità geologica per le azioni di Piano"**

(dalle Tavole grafiche allegate allo studio geologico a supporto del PGT di Pavia)



Infine, le aree che ricadono entro la classe 4 (rossa) di fattibilità geologica sono aree nelle quali sono state riscontrate gravi limitazioni all'utilizzo a scopi edificatori e/o alla modifica della destinazione d'uso, per l'elevata pericolosità/vulnerabilità individuata.



Entro tale classe di fattibilità rientrano, come nel caso specifico, “... *gli specchi d'acqua, naturali e/o artificiali e relative fasce in scarpata*” (Navigliaccio).

Inoltre, entro tale classe “... *deve essere esclusa qualsiasi nuova edificazione, se non opere tese al consolidamento o alla sistemazione idrogeologica per la messa in sicurezza dei siti. (...) Eventuali infrastrutture pubbliche e di interesse pubblico possono essere realizzate solo se non altrimenti localizzabili; dovranno comunque essere puntualmente e attentamente valutate in funzione della tipologia di dissesto e del grado di rischio che determinano l'ambito di pericolosità/vulnerabilità omogenea. A tal fine, alle istanze per l'approvazione da parte dell'autorità comunale, deve essere allegata apposita relazione geologico, geotecnica, strutturale e idraulica che dimostri la compatibilità degli interventi previsti con la situazione di grave rischio idrogeologico*”.

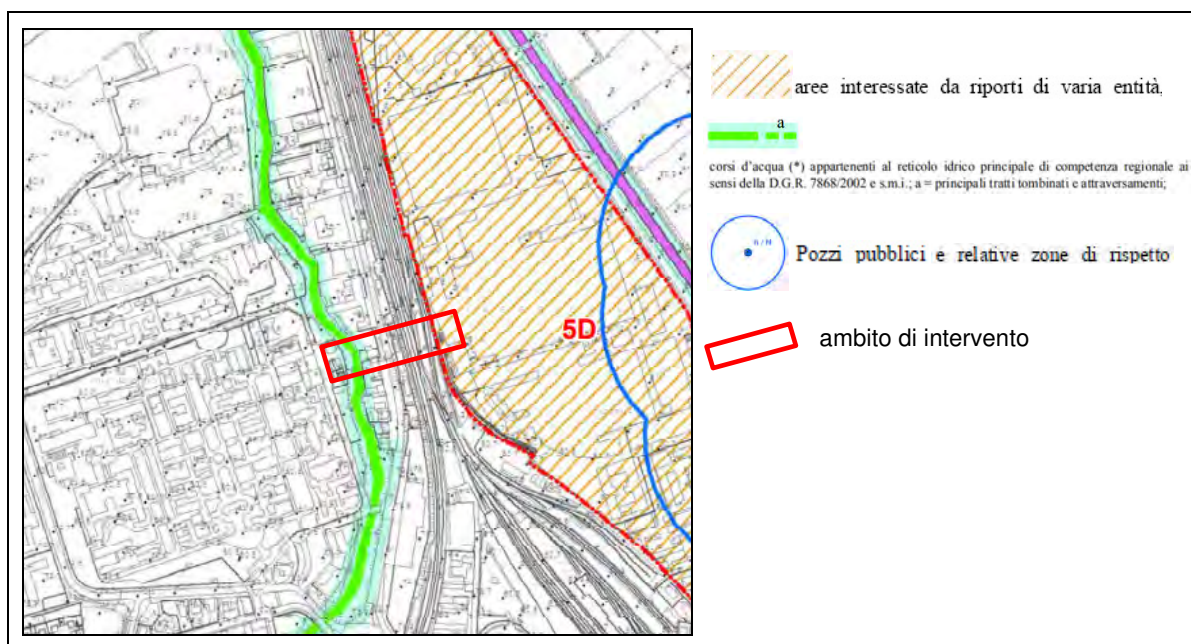
Inoltre, per tutte le classi di fattibilità di cui sopra, vige l'obbligo di verifica della compatibilità geologica e geotecnica ai sensi del D.M. 17/01/2018 per tutti i livelli di progettazione previsti per legge.

#### 4.2 VINCOLI DI NATURA GEOLOGICA

Secondo quanto riportato all'interno della Tavola 4 – “Carta dei Vincoli”, redatta in scala 1:10.000 ed allegata alla componente geologica del territorio comunale di Pavia (vd. **Figura 4**), la porzione orientale dell'ambito di intervento, appartenente al sito “ex Necchi Sud”, ricade all'interno delle “... *aree interessate da riporti di varia entità, costituiti da prevalenti sabbie limose, ciottoli, frammenti di laterizi, scorie di fonderia, ecc.*”. Inoltre, lungo la porzione occidentale dello stesso scorre il Navigliaccio, caratterizzato da una fascia di rispetto di 10 m calcolata dal ciglio di sponda dell'alveo inciso (DGR 7868/2002).

**Figura 4: stralcio della Tavola 8 – “Carta dei Vincoli”**

(dalle Tavole grafiche allegato allo studio geologico a supporto del PGT di Pavia)



In considerazione della presenza del fiume Ticino ad una distanza di circa 1,8 km a sud-ovest dell'ambito di intervento, è stata consultata anche la cartografia inerente la Direttiva Alluvioni 2007/60/CE del dicembre 2019, disponibile on-line sul geo-portale della Regione Lombardia (<http://www.cartografia.regione.lombardia.it>).

Come visibile nella sottostante **Figura 5**, il sito in esame è esterno alle aree tutelate.

**Figura 5: stralcio mappa della Pericolosità – Direttiva Alluvioni 2007/60/CE – Rev 2019**



## 5. CARATTERI GEOLOGICI E GEOMORFOLOGICI GENERALI

Per il settore esaminato si può far riferimento alla cartografia geologica ufficiale (vedi Carta Geologica d'Italia - Foglio 59 del Servizio Geologico d'Italia in scala 1:100.000), di cui si allega stralcio nella sottostante **Figura 6** ed alla Carta Geologica della Lombardia (scala 1:250.000), redatta a cura dell'Università degli Studi di Milano.

Come visibile in **Figura 6**, l'ambito di intervento ricade entro la zona delle alluvioni della superficie principale della pianura, talora ricoperte localmente da limi successivi, difficilmente distinguibili, con presenza di ghiaietto, sabbie e limo argilloso alterati nella parte superficiale (Diluvium recente – unità geologica “Q<sub>1r</sub>”).

Nel documento “*Relazione e norme di carattere geologico*” allegato al PGT comunale viene chiarito come, dal punto di vista geologico, l'intero territorio del Comune di Pavia risulti impostato su depositi alluvionali sciolti, a dominante sabbiosa e sabbioso-ghiaiosa, di età pleistocenica e olocenica, il cui spessore complessivo è dell'ordine delle centinaia di metri. La presenza di orizzonti limoso-argillosi (a varie profondità e ad andamento e spessore discontinui) all'interno della successione litologica, costituisce il presupposto di base cui è legata l'esistenza, nel sottosuolo, di falde idriche in pressione (in profondità) e libere verso la superficie (falda freatica e falde sospese).



**Figura 6: stralcio della Carta Geologica d'Italia – Foglio 59**



#### 5.1 GEOLOGIA E GEOMORFOLOGIA DEL SETTORE DI STUDIO

Per un maggiore dettaglio, si può fare riferimento alla Tavola 1 – “Inquadramento geologico e geomorfologico” (vd. **Figura 7**), redatta dallo studio S.G.P. S.r.l. in scala 1:10.000 ed allegata allo studio geologico a supporto del PGT comunale.

Come visibile, il settore di studio ricade all'interno dell'unità geologica 2B dei “Ripiani impostati su depositi alluvionali antichi (...); B = ripiano superiore o del ‘Fluviale Recente’, sopraelevato da 2 a 8 m rispetto al ripiano A. Litologia prevalente: sabbie, con sporadiche intercalazioni di ghiaietto e con orizzonti limoso-argillosi. La successione risulta parzialmente alterata (ferrettizzata) nella porzione superiore. Sono ricoperti da suoli alluvionali limosi e limoso-sabbiosi, localmente dotati di abbondante scheletro sabbioso e talora ghiaioso, generalmente superiori ai 50 cm”.

**Figura 7: stralcio della Tavola 1 – “Inquadramento geologico e geomorfologico”**

(dalle Tavole grafiche allegato allo studio geologico a supporto del PGT di Pavia)



Lo schema lito-stratigrafico generale nella zona in esame viene descritto nella Tavola 9 – “Carta di Sintesi e delle unità Idro-Geo-Morfologiche, Geotecniche ed Idrauliche” (vd. **Figura 8**), redatta dallo studio S.G.P. S.r.l. in scala 1:10.000 ed allegata allo studio geologico a supporto del PGT comunale.

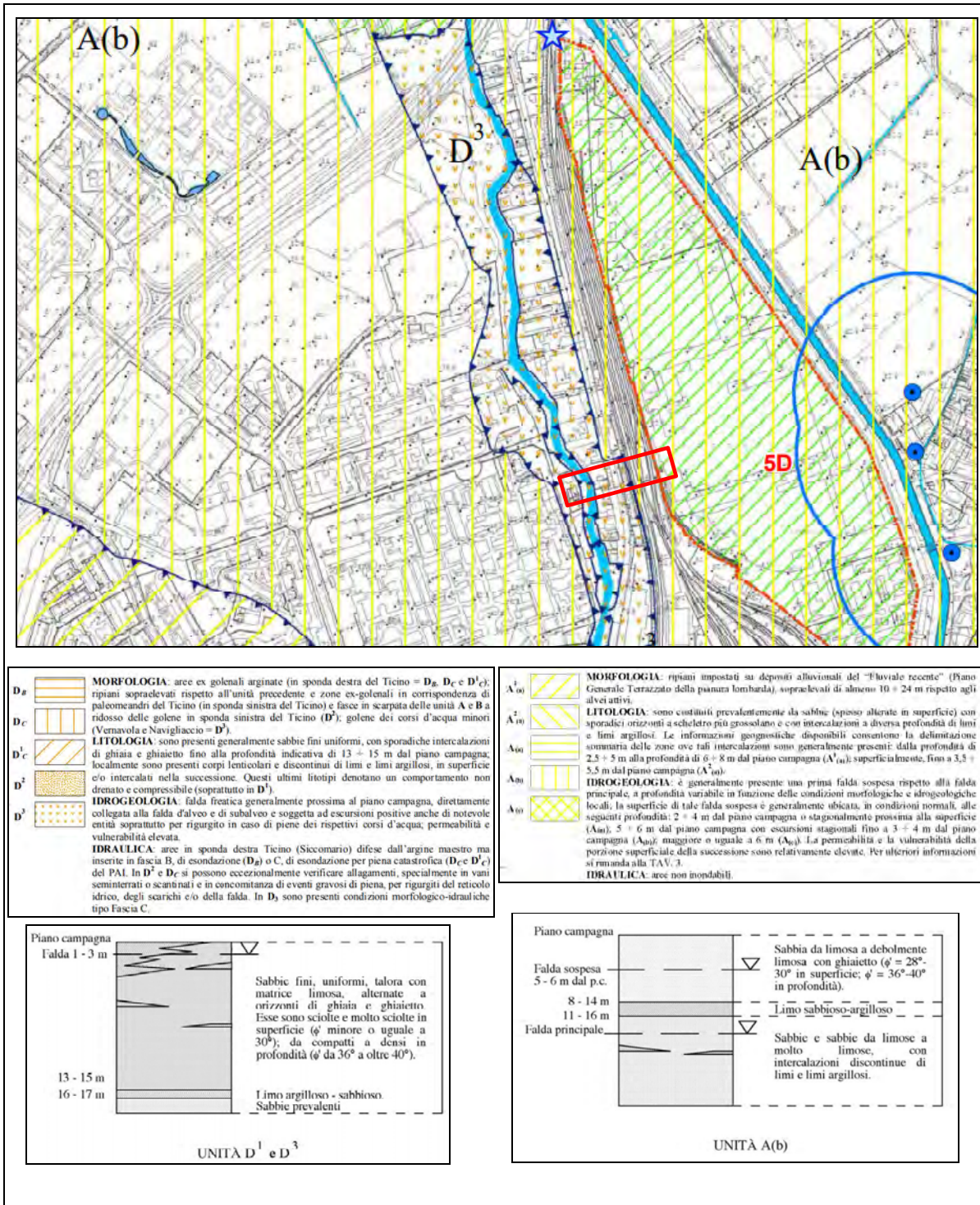
Come visibile, il settore centro-occidentale dell'ambito di intervento ricade all'interno dell'Unità D<sup>3</sup> caratterizzata dalla presenza di sabbie fini uniformi, talora con matrice limosa, alternate a orizzonti di ghiaia e ghiaietto, fino a profondità comprese tra circa 13 e 15 m da piano campagna; a seguire si ritrova uno strato di limo argilloso-sabbioso fino alla profondità di circa 16 ÷ 17 m dal piano di campagna, e quindi sabbie prevalenti.

Diversamente, il settore orientale dell'area di studio ricade all'interno dell'Unità A<sub>(b)</sub> caratterizzata dalla presenza, al di sotto dei materiali di riporto di spessori non noti, di sabbie (spesso alterate in superficie) da limose a debolmente limose con ghiaietto, fino a profondità comprese tra circa 8 e 14 m da piano campagna; a seguire si ritrova uno strato di limo sabbioso-argilloso fino alla profondità di circa 11 ÷ 16 m dal piano di campagna, e quindi sabbie e sabbie da limose a molto limose, con intercalazioni discontinue di limi e limi argillosi.



**Figura 8: stralcio della Tavola 9 – “Carta di Sintesi e delle unità Idro-Geo-Morfologiche, Geotecniche ed Idrauliche”**

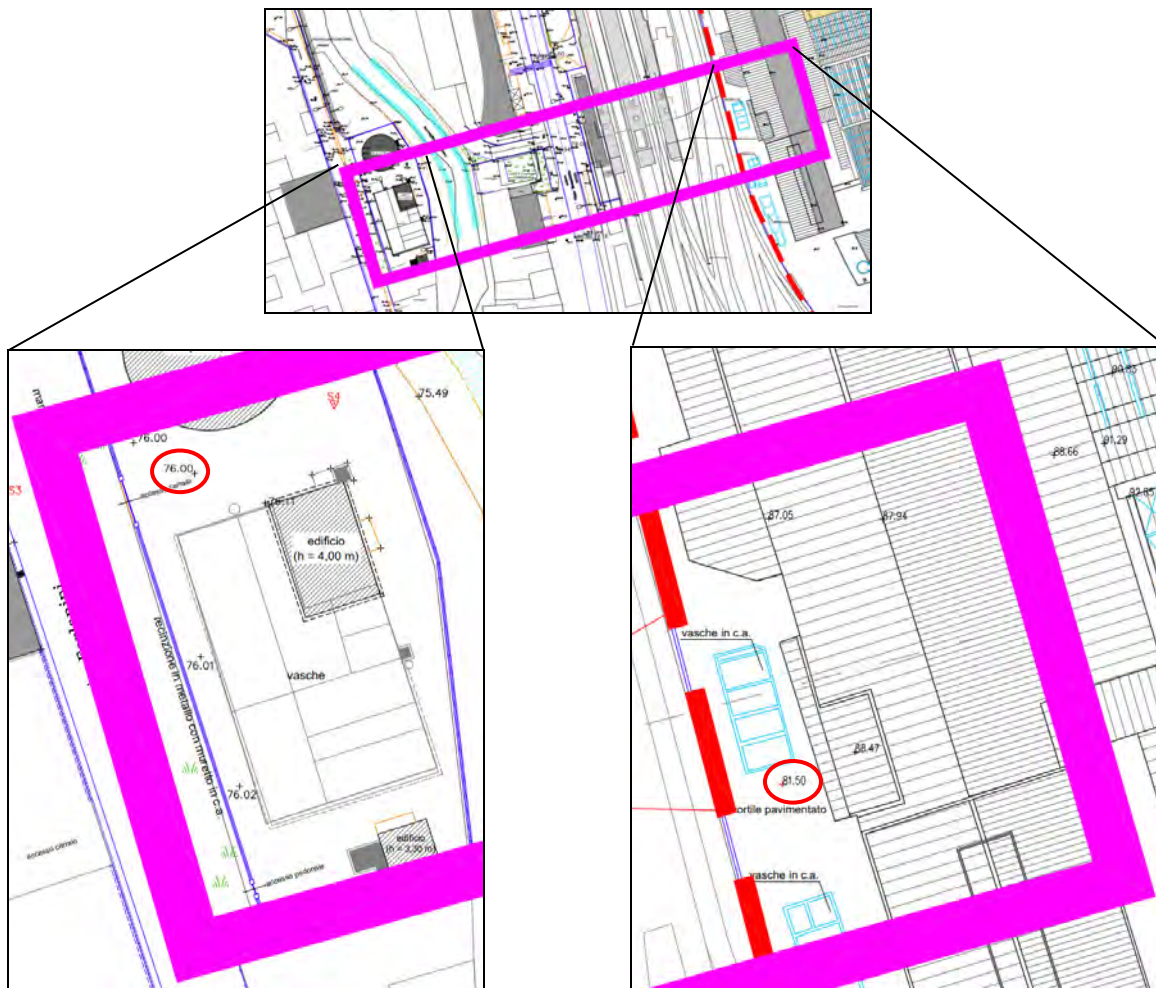
(dalle Tavole grafiche allegato allo studio geologico a supporto del PGT di Pavia)





In base a quanto indicato nel rilievo altimetrico fornito dalla committenza (vd. sottostante **Figura 9**), l'altezza topografica delle aree investigate è variabile da un minimo di 76,00 m s.l.m. (in corrispondenza dell'area "ex Depuratore" affacciata su Via Negri Adelchi), ad un massimo di 81,50 m s.l.m (in corrispondenza dell'area di pertinenza "ex Necchi Sud").

**Figura 9: rilievo altimetrico dell'area di intervento**



## 6. DINAMICA IDROGEOLOGICA

### 6.1 CARATTERI IDROGEOLOGICI GENERALI

Il territorio del Comune di Pavia è caratterizzato da una situazione idrogeologica diffusa anche in altre parti della Pianura Padana. Il notevole spessore dei depositi alluvionali sciolti a granulometria prevalentemente sabbiosa e/o ghiaioso-sabbiosa (e quindi permeabili), intercalati da numerose lenti limoso-argillose (a comportamento semi-permeabile o impermeabile), porta alla formazione, nel sottosuolo, di numerose falde idriche sovrapposte, generalmente caratterizzate da un alto grado di isolamento reciproco e da pressione crescente con la profondità.

Dal punto di vista idrogeologico si possono individuare, dall'alto verso il basso, tre distinte unità: i depositi alluvionali di età olopleistocenica, la successione "villafranchiana", il basamento marino. La prima delle suddette unità assume particolare interesse per quanto attiene alle risorse idriche sotterranee in quanto sede di vari acquiferi di notevole importanza. In linea generale, all'interno dei depositi alluvionali è possibile distinguere una falda freatica, caratterizzata da un livello piezometrico soggetto a sensibili variazioni stagionali, e diversi acquiferi a comportamento francamente artesiano.

Scendendo nel dettaglio, si osserva che la porzione più superficiale del materasso alluvionale è caratterizzata dalla netta prevalenza di litotipi sabbiosi, non di rado miscelati in varia percentuale a ghiaietto, talora con intercalazioni di lenti argilloso-limose. La presenza di tali lenti permette la locale formazione di orizzonti freatici sospesi che, in funzione dei locali assetti litostratigrafici, si posizionano a profondità varie; non di rado anche a pochi metri dal piano di campagna. Tali orizzonti, che traggono la propria alimentazione unicamente dalla locale infiltrazione superficiale (acque di precipitazione meteorica e, nel periodo tarda primavera - metà estate, acque irrigue), sono caratterizzati da un flusso idrico nel complesso diretto verso sud, ma che, localmente, risulta condizionato dalla presenza delle principali incisioni fluviali che svolgono una sensibile azione drenante.

Anche in corrispondenza dell'area di intervento è individuabile una prima falda superficiale sospesa ed una seconda falda sottostante con caratteristiche freatiche. A maggiori profondità si rilevano altri acquiferi con carattere più marcatamente artesiano.

Il canale Navigliaccio, che attraversa il sito in oggetto, interagisce con le acque della prima falda superficiale sospesa modificandone il deflusso e, localmente, anche con quelle della sottostante falda freatica.

## 6.2 ANDAMENTO AREALE DELLA SUPERFICIE PIEZOMETRICA

La ricostruzione della morfologia della superficie piezometrica della falda superiore è basata su quanto contenuto all'interno dello studio geologico a supporto del Piano di Governo del Territorio del comune di Pavia.

Nello specifico, si può fare riferimento alla Tavola 3 – “Carta delle Isofreatiche”, redatta dallo studio S.G.P. S.r.l. in scala 1:10.000, nella quale sono stati ricostruiti gli andamenti indicativi della prima falda libera sospesa (vd. sottostante **Figura 10**) e della seconda falda freatica (vd. **Figura 11** riportata nel seguito), quest'ultima considerabile quale falda freatica principale.

Come visibile in **Figura 10**, in corrispondenza dell'ambito di intervento la quota piezometrica si attesta sui +73,00 m s.l.m., a cui corrispondono le seguenti soggiacenze:

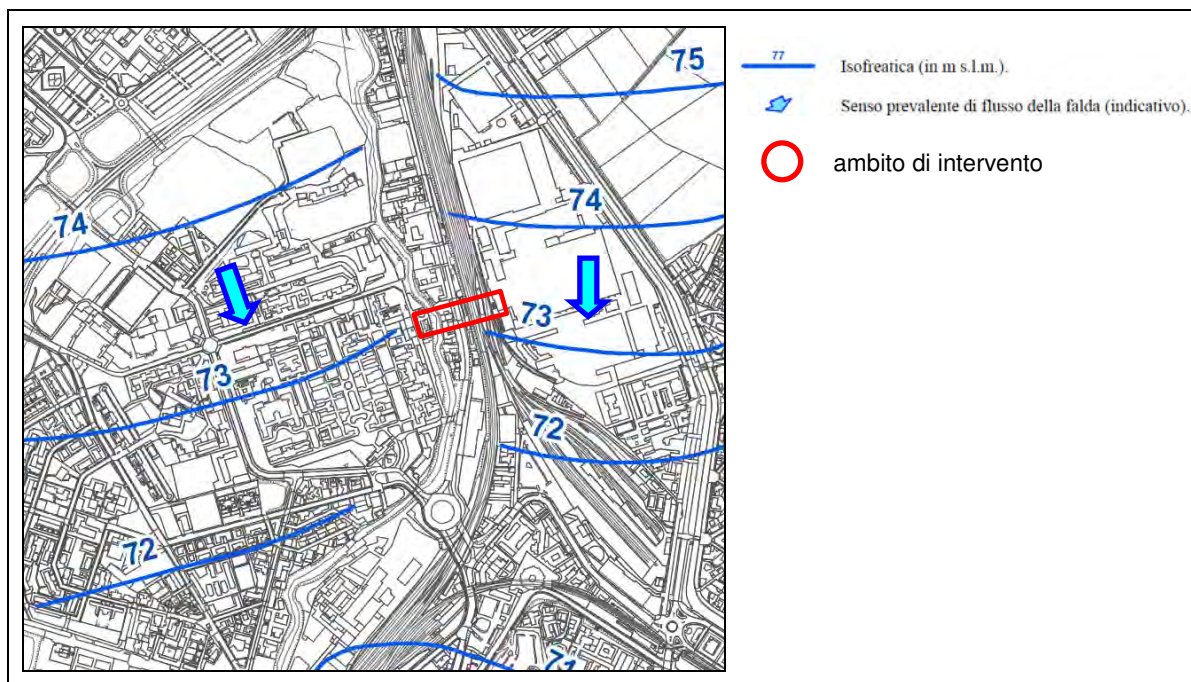
	Zona ovest - “ex Depuratore” Via Adelchi Negri n.13 Quota piano campagna locale: +76,00 m s.l.m.	Zona est - “ex Necchi Sud” Viale della Repubblica Quota piano campagna locale: +81,50 m s.l.m.
<b>Quota falda sospesa: +73,00 m s.l.m.</b>	-3,00 m da p.c.	-8,50 m da p.c.

La falda presenta una direzione del deflusso idrico sotterraneo orientata circa da nord/nord-ovest verso sud/sud-est nella zona ovest del sito e circa da nord/nord-est verso sud/sud-ovest nella zona est.

Si specifica, tuttavia, che la prima falda sospesa ha carattere decisamente variabile nel tempo essendo fortemente legata ai fenomeni di infiltrazione delle acque meteoriche e/o irrigue, con escursioni stagionali fino a 3 ÷ 4 m.

**Figura 10: stralcio della Tavola 3 – “Carta delle Isofreatiche” – andamento indicativo della prima falda libera (sospesa)**

(dalle Tavole grafiche allegate allo studio geologico a supporto del PGT di Pavia)



Nella sottostante **Figura 11** si riporta invece l'andamento della seconda falda (falda principale). Come visibile la ricostruzione della falda in questione, svolta a livello di PGT comunale, non è stata estesa fino a ricomprendere l'ambito di intervento.

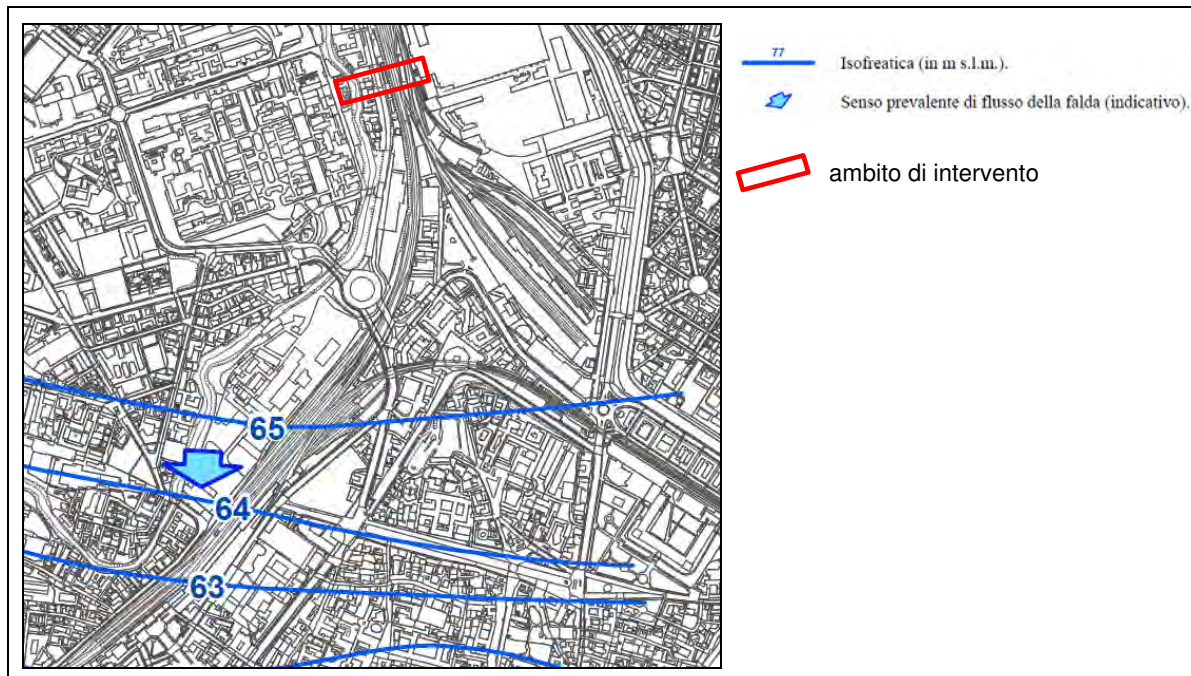
Per un maggiore dettaglio, le informazioni fornite dal PGT comunale possono essere integrate da quanto riportato nel documento “Modello Concettuale connesso alle indagini relative al programma triennale di intervento (2012/2014) per la definizione del plume di contaminazione relativo all'area situata nel Comune di Pavia di cui la DGR 23/05/2012 n.IX/3510 Rif. CIG 5964443E03 (Lotto 2) e Servizi Complementari” (denominato “Progetto Plume”), elaborato nel settembre 2016 da The IT Group Italia Srl per conto della Provincia di Pavia.

Nello specifico, il documento di cui sopra ha approfondito le valutazioni inerenti la litostratigrafia e l'idrogeologia di una specifica zona di estensione pari a circa 9 km<sup>2</sup> interna al Comune di Pavia e che ricomprende anche l'ambito di intervento.



**Figura 11: stralcio della Tavola 3 – “Carta delle Isofreatiche” – andamento indicativo della seconda falda libera (principale)**

(dalle Tavole grafiche allegato allo studio geologico a supporto del PGT di Pavia)



Introducendo l'usuale suddivisione idrogeologica tra:

- A. “acquiferi superficiali” e “medio-superficiali”, contraddistinti da un regime prevalentemente di tipo freatico (o, con termine anglosassone ormai di uso corrente, “unconfined aquifer”)
- B. e “acquiferi profondi”, connotati da un regime ad affinità artesiani (“falde confinate”, o, con termine anglosassone, “confined aquifer”)

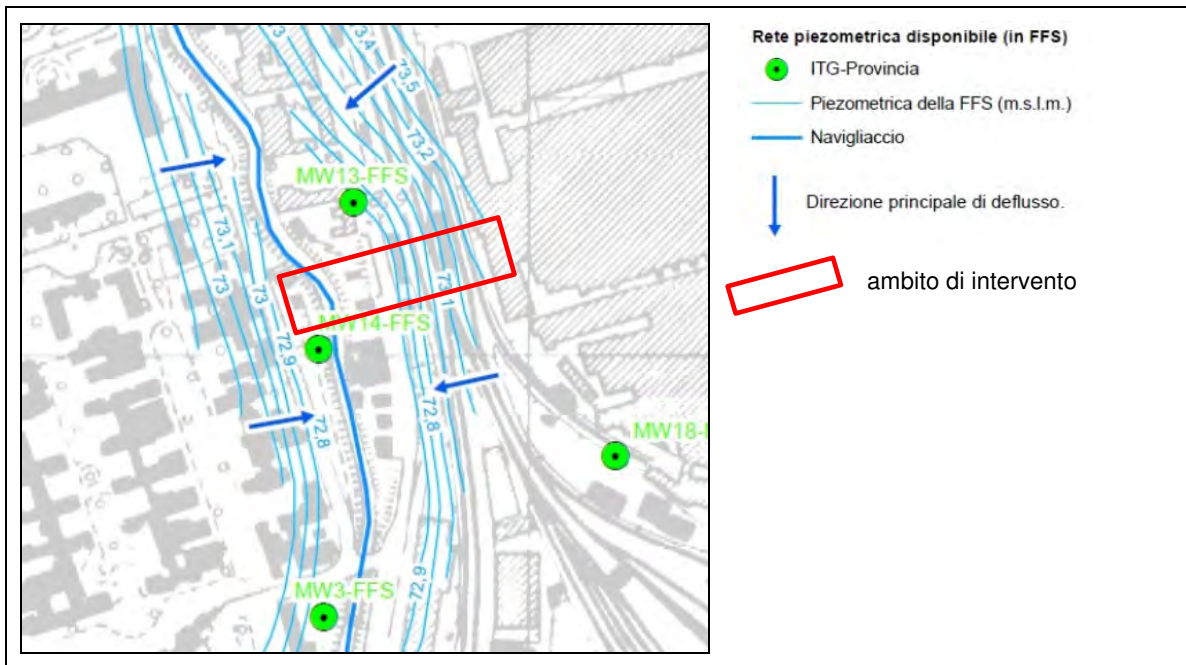
il “Progetto Plume” precisa che nella zona di interesse la superficie di separazione tra queste distinte tipologie di acquiferi è posta ad una quota variabile tra 60 e 80 m dal p.c. e che tra gli acquiferi di cui al punto A. è possibile distinguere una falda libera superficiale (Falda Freatica Sospesa: acronimo FFS) ed una falda freatica principale (Falda Freatica di Base: acronimo FFB), quest'ultima localmente compartimentata.

Per quanto concerne la ricostruzione piezometrica della Falda Freatica Sospesa, si può fare riferimento alla Tavola 6 – “Carta piezometrica della falda FFS del maggio 2016”, allegata al “Progetto Plume” della Provincia di Pavia e della quale si riporta uno stralcio nella sottostante **Figura 12**.

Come visibile, in corrispondenza dell'ambito di intervento viene confermata la quota piezometrica di circa 73,00 m s.l.m., cui corrisponde una soggiacenza di circa 3,00 ÷ 8,50 m dal piano di campagna. Inoltre, si osserva come il canale Navigliaccio sia in comunicazione idraulica con la FFS, con un effetto drenante nel suo intorno (linee equipotenziali circa parallele al canale). Lo studio di cui al “Progetto Plume” chiarisce come allontanandosi dal Navigliaccio la FFS segua un deflusso principale verso S-W (come riportato nel PGT comunale).

**Figura 12: stralcio della Tavola 6 – “Carta piezometrica della falda FFS del maggio 2016”**

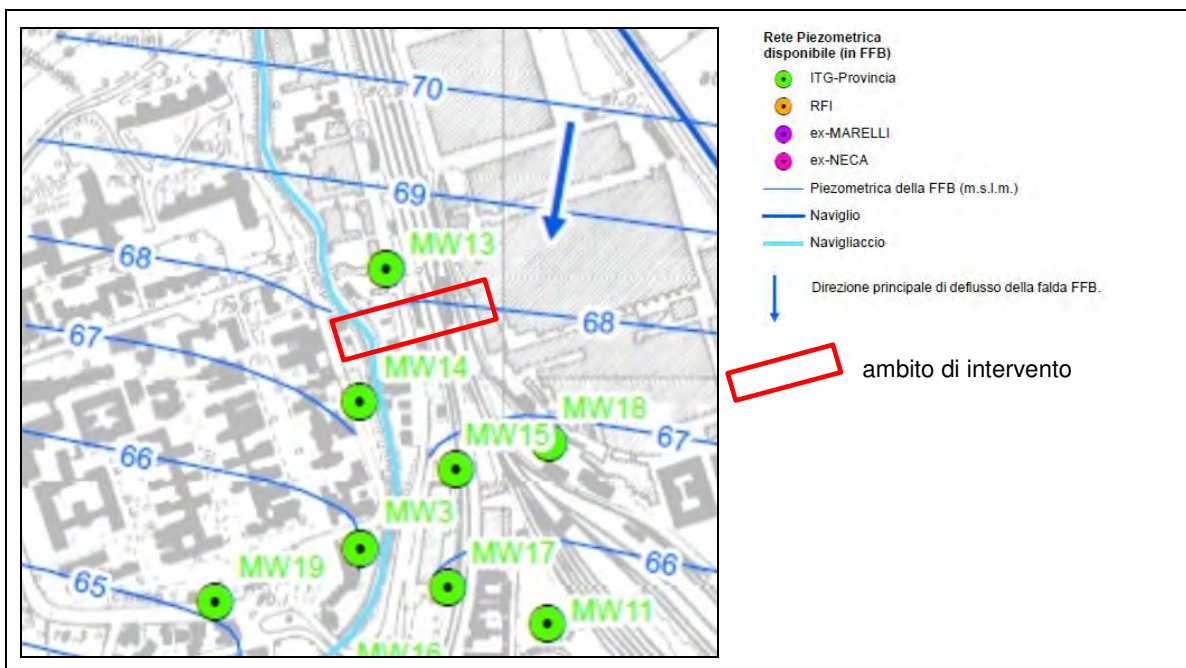
(dalle Tavole grafiche allegate al “Progetto Plume” della Provincia di Pavia)



Per quanto concerne la ricostruzione piezometrica della Falda Freatica Principale (FFB), si può fare riferimento alla Tavola 5A – “Carta piezometrica della falda FFB - maggio 2016”, allegata al “Progetto Plume” della Provincia di Pavia e della quale si riporta uno stralcio nella sottostante **Figura 13**.

**Figura 13: stralcio della Tavola 5A – “Carta piezometrica della falda FFB - maggio 2016”**

(dalle Tavole grafiche allegate al “Progetto Plume” della Provincia di Pavia)





Come visibile, in corrispondenza dell'ambito di intervento la quota piezometrica della falda freatica principale risulta essere di circa +68,00 m s.l.m., a cui corrispondono le seguenti soggiacenze:

	Zona ovest - "ex Depuratore" Via Adelchi Negri n.13 Quota piano campagna locale: +76,00 m s.l.m.	Zona est - "ex Necchi Sud" Viale della Repubblica Quota piano campagna locale: +81,50 m s.l.m.
<b>Quota falda principale: +68,00 m s.l.m.</b>	-8,00 m da p.c.	-13,50 m da p.c.

Inoltre, dalla ricostruzione piezometrica di **Figura 13**, si evince come la direzione prevalente del deflusso idrico sotterraneo sia NNE-SSW e come tale direzione sia influenzata dal fiume Ticino, che ha un comportamento drenante nei confronti della falda.

Localmente le isopieze subiscono una distorsione verso E-SE dovuta all'effetto alimentante del Navigliaccio che nella porzione nord dell'area di studio taglia progressivamente, con l'approfondimento del suo alveo, l'aquitardo basale dell'acquifero FFS per alimentare direttamente la falda FFB.

La conformazione delle curve isopiezometriche mostra l'evidenza indiretta dell'influenza del Navigliaccio sulla FFB, ossia rappresenta una prova indiretta del taglio che il canale opera sull'orizzonte coesivo di base della falda superficiale FFS, divenendo in comunicazione idraulica con la falda FFB.

A partire dalla zona di taglio, il Navigliaccio rappresenta uno spartiacque sotterraneo per la falda FFB: in sinistra idrografica con un deflusso deviato in direzione E-SE ma che progressivamente riprende (con la distanza dal canale) la sua direzione principale verso sud, vale a dire verso il fiume Ticino; in destra idrografica il deflusso sotterraneo è deviato verso W-SW per poi riprendere, anche in questo caso, la direzione regionale verso sud.

### 6.3 IDROGEOLOGIA DI DETTAGLIO

Per verificare l'effettivo livello della prima falda libera (sospesa) nell'area in esame, in occasione delle indagini in sito eseguite dagli scriventi si è provveduto ad effettuare una misura piezometrica all'interno del foro di sondaggio S.1.

**Al suo interno, il giorno 21 gennaio '21, è stata rilevata la presenza dell'acqua di falda alla quota di -5,30 m dal piano campagna locale esistente all'atto delle indagini (+76,20 m s.l.m.).**

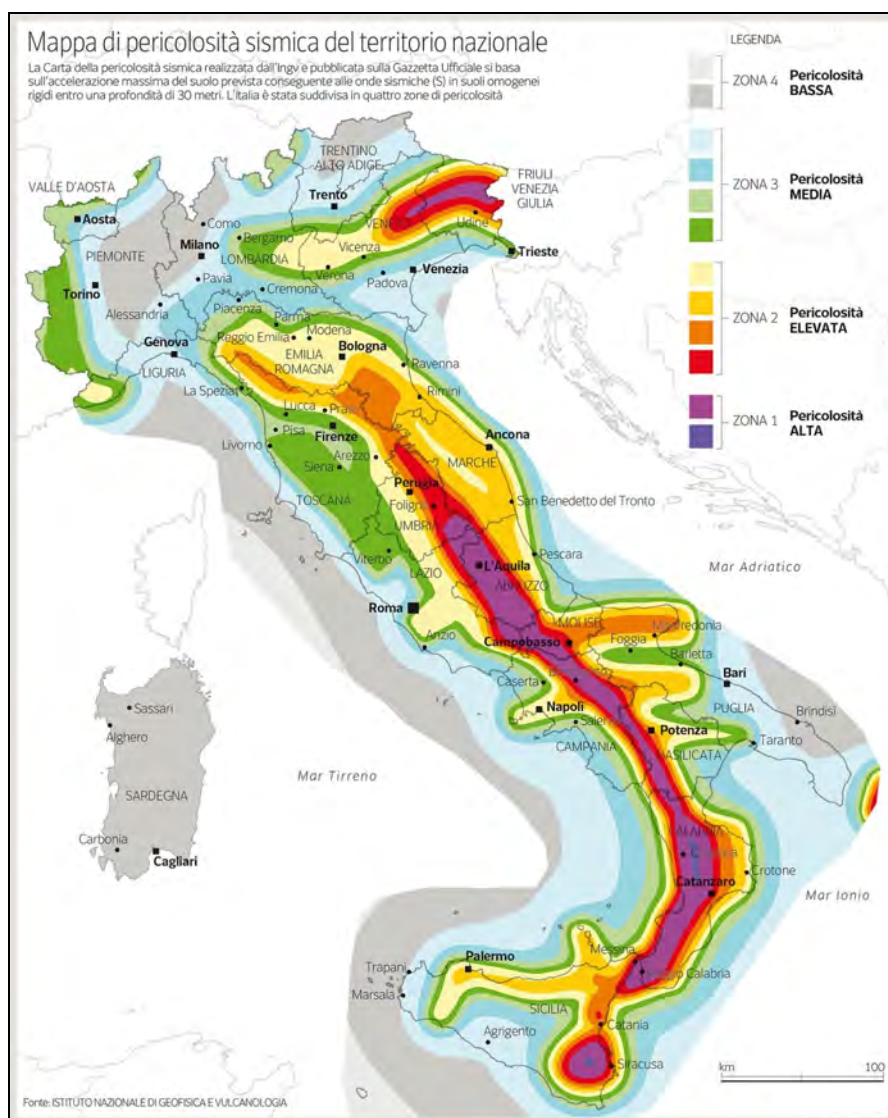
## 7. CARATTERIZZAZIONE SISMICA DEL SITO

### 7.1 PRIMO LIVELLO DI APPROFONDIMENTO – CARTA DELLA PSL

In base a quanto riportava la vecchia normativa riguardante la classificazione sismica del territorio nazionale (D.M. 19.03.1982), il comune di Pavia ricadeva in classe N.C. (non classificato). Con l'entrata in vigore dell'O.P.C.M. n.3274 del 23.03.2003 e del D.M. 14/01/2008, il comune di Pavia è stato inserito in zona sismica 4 ("Zona meno pericolosa. I terremoti sono rari").

In data 10/04/2016 è entrata in vigore la Delibera Giunta Regionale 11 luglio 2014 - n.X/2129 "Aggiornamento delle zone sismiche in Regione Lombardia (l.r. 1/2000, art.3, c.108, lett. d)". In base a quanto riportato nella nuova D.G.R., il comune di Pavia passa da zona sismica 4 a 3. Pertanto si dovrà tenere conto di questa nuova classe di sismicità (vd. sottostante **Figura 14**).

**Figura 14: mappa di pericolosità sismica del territorio nazionale**  
(Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia)

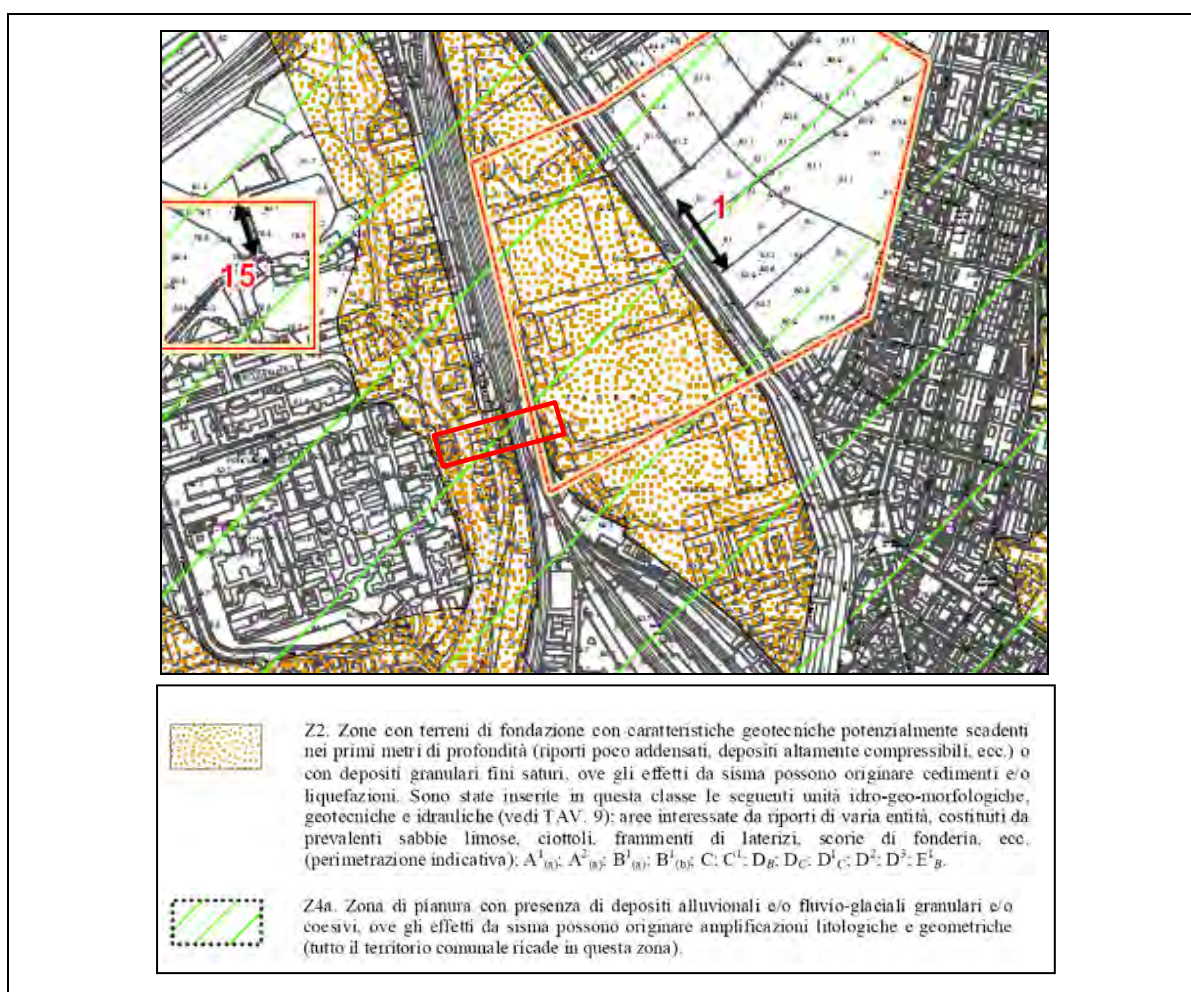


Il 1° livello di approfondimento della componente sismica del territorio comunale è stato effettuato dalla S.G.P. S.r.l. nell'ambito dello "Studio per la definizione della Componente Geologica, Idrogeologica e Sismica del Piano di Governo del Territorio del Comune di Pavia".

Secondo quanto riportato nella Tavola 7 – Carta della Pericolosità Sismica Locale redatta in scala 1:10.000 e di cui si allega stralcio nella sottostante **Figura 15**, l'ambito di intervento viene collocato nell'ambito degli scenari di pericolosità sismica locale Z4a e Z2, secondo la classificazione riportata nell'Allegato 5 della D.G.R. attuativa n.IX/2616 del 30/11/2011.

**Figura 15: stralcio della Tavola 7 – “Carta della Pericolosità Sismica Locale”**

(dalle Tavole grafiche allegate allo studio geologico a supporto del PGT di Pavia)



Le tipologie di terreni che rientrano nello scenario Z4a, ossia quelli delle “zone di fondovalle e di pianura con presenza di depositi alluvionali e/o fluvio-glaciali granulari e/o coesivi”, possono dare luogo – in occasione di eventi sismici – a fenomeni di amplificazioni litologiche e geometriche.



Per quanto concerne lo scenario di pericolosità sismica locale Z2, esso comprende le zone con terreni di fondazioni saturi particolarmente scadenti (riporti poco addensati, depositi altamente compressibili, ecc.) o con depositi granulari fini saturi che, in occasione di eventi sismici, possono dare luogo a fenomeni di cedimenti e/o liquefazioni.

In funzione dello scenario di pericolosità sismica assegnato all'area, è possibile poi – sempre secondo uno schema fornito dalla Regione Lombardia e qui sotto riportato integralmente – definire la classe di pericolosità sismica ed i successivi livelli di approfondimento obbligatori per legge.

Sigla	SCENARIO PERICOLOSITA' SISMICA LOCALE	EFFETTI
Z1a	Zona caratterizzata da movimenti franosi attivi	Instabilità
Z1b	Zona caratterizzata da movimenti franosi quiescenti	
Z1c	Zona potenzialmente franosa o esposta a rischio di frana	
Z2a	Zone con terreni di fondazione saturi particolarmente scadenti (riporti poco addensati, depositi altamente compressibili, ecc)	Cedimenti
Z2b	Zone con depositi granulari fini saturi	Liquefazioni
Z3a	Zona di ciglio H > 10 m (scarpata, bordo di cava, nicchia di distacco, orlo di terrazzo fluviale o di natura antropica, ecc.)	Amplificazioni topografiche
Z3b	Zona di cresta rocciosa e/o cocuzzolo: appuntite – arrotondate	
Z4a	Zona di fondovalle e di pianura con presenza di depositi alluvionali e/o fluvio-glaciali granulari e/o coesivi	Amplificazioni litologiche e geometriche
Z4b	Zona pedemontana di falda di detrito, conoide alluvionale e conoide deltizio-lacustre	
Z4c	Zona morenica con presenza di depositi granulari e/o coesivi (comprese le coltri loessiche)	
Z4d	Zone con presenza di argille residuali e terre rosse di origine eluvio-colluviale	
Z5	Zona di contatto stratigrafico e/o tettonico tra litotipi con caratteristiche fisico-meccaniche molto diverse	Comportamenti differenziali

In tutti i Comuni classificati come zona sismica 3, ai quali appartiene il comune di Pavia, la normativa regionale richiede l'applicazione dei livelli di approfondimento successivi al 1° secondo lo schema rappresentato nella seguente tabella:

	Livelli di approfondimento e fasi di applicazione		
	1° livello fase pianificatoria	2° livello fase pianificatoria	3° livello fase progettuale
Zona sismica 2-3	obbligatorio	Nelle zone PSL Z3 e Z4 se interferenti con urbanizzato e urbanizzabile, ad esclusione delle aree già inedificabili	- Nelle aree indagate con il 2° livello quando $F_a$ calcolato > valore soglia comunale; - Nelle zone PSL Z1 e Z2.
Zona sismica 4	obbligatorio	Nelle zone PSL Z3 e Z4 solo per edifici strategici e rilevanti di nuova previsione (elenco tipologico di cui al d.d.u.o.n. 19904/03)	- Nelle aree indagate con il 2° livello quando $F_a$ calcolato > valore soglia comunale; - Nelle zone PSL Z1 e Z2 per edifici strategici e rilevanti.

PSL = Pericolosità Sismica Locale

Nel caso specifico, considerando che:

- il comune di Pavia ricade in zona sismica 3
- l'ambito di intervento ricade negli scenari di pericolosità sismica locale Z2 e Z4a
- il sito di indagine ricade in un ambito urbanizzato

si può concludere che:

⇒ **sono richiesti gli approfondimenti sismici di 2° livello**

⇒ **si rende necessario approfondire le verifiche in merito alla liquefazione, così come specificato nel § 2.3.2 “Effetti di cedimenti e/o liquefazioni” della D.G.R. attuativa n.IX/2616 del 30/11/2011 – Allegato 5**

## 7.2 SECONDO LIVELLO DI APPROFONDIMENTO

Il secondo livello di approfondimento consente la caratterizzazione semi-quantitativa degli effetti di amplificazione attesi negli scenari perimetrati nella carta PSL e fornisce la stima della risposta sismica dei terreni in termini di valore del Fattore di amplificazione ( $F_a$ ). L'applicazione di tale livello consente di individuare aree in cui la normativa nazionale risulta insufficiente a salvaguardare edifici e infrastrutture dagli effetti attesi di amplificazione sismica locale ( $F_a$  calcolato superiore a  $F_a$  di soglia comunale riportato in apposite tabelle fornite dalla Regione Lombardia e calcolate dal Politecnico di Milano).

Il valore di  $F_a$  si riferisce agli intervalli di periodo compresi tra  $0.1 \div 0.5$  s e  $0.5 \div 1.5$  s, in funzione del periodo proprio della tipologia edilizia in progetto.

Per quel che riguarda gli effetti litologici, la procedura semplificata richiede la conoscenza dei seguenti parametri:

- *litologia prevalente dei materiali presenti nel sito;*
- *stratigrafia del sito;*
- *andamento delle  $V_s$  con la profondità fino a valori pari o superiori a 800 m/s;*
- *spessore e velocità di ciascuno strato;*
- *sezioni geologiche, conseguente modello geofisico-geotecnico ed identificazione dei punti rappresentativi sui quali effettuare l'analisi.*

### **PARAMETRI LITOLOGICI E STRATIGRAFICI – MODELLO GEOTECNICO DEL TERRENO**

Le caratteristiche litologiche e stratigrafiche dei terreni oggetto di studio, necessarie per l'analisi sismica di 2° livello, sono state ricostruite mediante i risultati delle indagini geognostiche appositamente eseguite sul sito.

Per maggiori dettagli si rimanda al Cap. 9 della presente relazione tecnica.

### **STENDIMENTO SISMICO MASW - MODELLO GEOFISICO DEL TERRENO**

Per valutare l'andamento della velocità delle onde di taglio ( $V_s$ ) con la profondità, a partire dal piano campagna, è stata impiegata una tecnica che utilizza le onde superficiali (MASW). Tale tecnica, ha il vantaggio di indagare volumi di terreno più estesi rispetto ad altre tecniche puntuali, anche di tipo diretto, mantenendo contenuti i costi.



Nella tecnica di tipo indiretto-attivo MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves), la generazione delle onde superficiali si ottiene mediante l'energizzazione in superficie ottenuta mediante sistemi impulsivi; conseguentemente si ha la formazione nel terreno di un treno di onde complesso comprendente onde di Rayleigh.

La tecnica MASW, similmente a quello che avviene per la sismica a rifrazione, si basa sulla registrazione dei primi arrivi delle onde superficiali prodotte in corrispondenza di una catena di geofoni. L'obiettivo è quello di ottenere, per ogni stendimento geofisico, un profilo verticale del valore della velocità delle onde di taglio collocabile approssimativamente nella zona centrale dello stendimento.

In **Allegato 1** sono riportati i risultati della prova MASW eseguita il giorno 21 gennaio '21 all'interno dell'area "Ex Necchi Sud" in corrispondenza dell'area di intervento elaborata dalla società E.E.G. S.r.l. (Environmental and Engineering Geophysics) di Sesto Calende.

Nel riquadro principale si osserva la stratigrafia delle  $V_s$  ricavata dalla prova, nonché le curve di dispersione misurate e calcolate. A destra è visibile il sismogramma mentre in basso è riportato il valore della velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio  $V_{s,eq}$  calcolato, in conformità al D.M. 17/01/18 "Aggiornamento delle Norme Tecniche per le Costruzioni", utilizzando la stratigrafia  $V_s$  e la formula:

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

dove:

$h_i$  = spessore dell'*i*-esimo strato

$V_{s,i}$  = velocità delle onde di taglio nell'*i*-esimo strato

$N$  = numero di strati

$H$  = profondità del substrato, definito come quella formazione costituita da roccia o terreno molto rigido caratterizzata da valori di velocità di propagazione delle onde di taglio  $V_s$  non inferiori a 800 m/s

Nel caso in cui la profondità del substrato  $H$  sia superiore a 30 m dal piano di riferimento (piano di posa delle fondazioni superficiali, testa dei pali di fondazione, testa di opere di sostegno di terreni naturali, piano di posa delle fondazioni di muri di sostegno di terrapieni), il parametro  $V_{s,eq}$  è definito dal parametro  $V_{s,30}$ , ottenuto ponendo  $H$  pari a 30 m nella precedente espressione e considerando le proprietà degli strati di terreno fino a tale profondità.

Si specifica che il valore di  $V_{s,eq}$  riportato in **Allegato 1** che - nel caso preso in esame - è definito dal parametro  $V_{s,30}$  (312 m/s), si riferisce alla velocità delle onde di taglio calcolata nei primi 30 metri di sottosuolo a partire dal piano di esecuzione della MASW (piano campagna locale  $\Rightarrow$  +82,40 m s.l.m.).

Tenuto conto che la passerella ciclopedonale prevede una quota di imposta fondazioni pari a +74,00 m s.l.m. (-8,40 m circa dal piano di esecuzione dello stendimento sismico), il valore di  $V_{s,30}$  è stato ricalcolato considerando la velocità delle onde di taglio negli  $N$  strati presenti nei primi 30 m al di sotto di tale quota ed applicando la precedente formula.

La stessa procedura è stata applicata anche per il sottopasso ferroviario, caratterizzato da una quota di imposta fondazioni di +73,34 m s.l.m. (-9,06 m dal piano di esecuzione dello stendimento sismico).

⇒ la tabella sottostante indica la categoria sismica di appartenenza del suolo di fondazione: in base ai valori di  $V_{s,30}$  così calcolati (438 m/s per la passerella ciclopedonale e 448 m/s per il sottopasso ferroviario), il terreno rientra in **categoria B**.

**Tab. 3.2.II** – *Categorie di sottosuolo che permettono l'utilizzo dell'approccio semplificato (da N.T.C. 2018)*

Categoria	Descrizione
A	<i>Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi</i> 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	<i>Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti</i> , 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	<i>Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti</i> 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	<i>Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti</i> 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 m/s e 180 m/s.
E	<i>Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D</i> , con profondità del substrato non superiore a 30 m.

**Tabella 1: classificazione del sito**

(secondo l'aggiornamento delle "Norme Tecniche per le Costruzioni - D.M. 17/01/2018")

Località:	<b>- Pavia - Viale della Repubblica c/o "ex Necchi Sud" Via Negri Adelchi n.13 c/o "ex Depuratore"</b>	
Metodo di indagine:	MASW	
Strumentazione utilizzata:	Sismografo 24 canali	
Metodo di energizzazione:	Mazza da 6 kg	
Geometria dello stendimento:	lineare con 24 geofoni – interasse 2 m	
<b>VELOCITA' SISMICA ONDE DI TAGLIO <math>V_{s,30}</math> (m/s)</b>	<b>438</b> passerella ciclopedonale <b>448</b> sottopasso ferroviario	
Tenuto conto dei risultati, il sito in esame rientra nella categoria di sottosuolo:	<b>B</b>	
<i>Profilo stratigrafico del suolo</i>	$V_{s,30}$ (m/s)	
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	360 < $V_{s,30}$ < 800	

### 7.3 STIMA DEGLI EFFETTI LITOLOGICI E DEL FATTORE DI AMPLIFICAZIONE ( $F_A$ )

Tenuto conto di tutti i dati illustrati nei precedenti paragrafi e quindi del modello stratigrafico-geofisico-geotecnico emerso dalle elaborazioni, possono essere applicate le procedure finali dell'Allegato 5 alla D.G.R. attuativa n.IX/2616 del 30/11/2011 per la stima degli effetti litologici e del relativo Fattore di amplificazione ( $F_a$ ).

#### Calcolo del fattore di amplificazione

Il calcolo del periodo proprio del sito ( $T$ ) è stato effettuato tramite la seguente formula:

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

Di seguito si riporta l'approfondimento di secondo livello svolto rispettivamente per la passerella ciclopedonale (quota imposta fondazioni pari a +74,00 m s.l.m. // -8,40 m circa dal piano di esecuzione della MASW) e per il sottopasso ferroviario (quota imposta fondazioni pari a +73,34 m s.l.m. // -9,06 m circa dal piano di esecuzione dello stendimento sismico).

#### **Passerella ciclopedonale**

Per quel che concerne la scheda di valutazione più idonea alla stima degli effetti litologici per i siti riferiti allo scenario PSL di tipo Z4a, tenuto conto dei campi di validità nei diagrammi  $z-V_s$  e delle litologie rilevate in sito, si è considerata quella SABBIOSA.

Inoltre, tenuto conto della profondità del primo strato equivalente e della velocità  $V_s$  ottenuta come media pesata (280 m/s con 6,60 m), si è considerata la casella n.2 verde e quindi la curva caratteristica n.2.

Considerando la sezione sismostratigrafica schematica riportata in **Figura 16**, calcolata a partire dal piano di imposta fondazioni fino alla profondità in cui il valore di  $V_s$  è uguale o superiore a 800 m/sec ed utilizzando la precedente formula, si è ottenuto un valore del periodo del sito  $T$  pari a 0,32.

**Figura 16: sezione sismostratigrafica schematica (da piano imposta fondazioni)**

	$V_s$ (m/sec)	Spessore $h$ (m)	Profondità (m)	$V_s * h$
<b>strato 1</b>	258	0.8	9.2	206.40
<b>strato 2</b>	334	2.4	11.6	801.60
<b>strato 3</b>	247	3.4	15	839.80
<b>strato 4</b>	485	7.4	22.4	3589.00
<b>strato 5</b>	525	12	34.4	6300.00
<b>strato 6</b>	638	7.3	41.7	4657.40
<b>strato 7</b>	800	12.9	54.6	10320.00
		<b>46,20</b>		<b>26714,20</b>



### Calcolo $F_a$ nel tratto polinomiale:

$$F_{a \ 0.1 \div 0.5 \ s} = 1,7$$

$$F_{a \ 0.5 \div 1.5 \ s} = 1,5$$

Il valore ottenuto per il coefficiente di amplificazione proprio del sito è stato confrontato con il valore di soglia riportato nell'apposita tabella, fornita dalla Regione Lombardia.

Da tale tabella si evince che per il comune di Pavia, per suoli di tipo B, il valore di soglia calcolato è pari a 1,4 per il periodo compreso tra 0.1 e 0.5 s (relativo a strutture basse, regolari, piuttosto rigide) ed è pari a 1,7 per il periodo compreso tra 0.5 e 1.5 s (relativo a strutture più alte e più flessibili).

Poiché risulta:

$$F_{a \ 0.1 \div 0.5 \ s} = 1,7 > 1,4$$

$$F_{a \ 0.5 \div 1.5 \ s} = 1,5 < 1,7$$

ne consegue che:

⇒ per il periodo  $T$  compreso tra 0.1 e 0.5 s la normativa è **insufficiente** a tenere in considerazione anche i possibili effetti di amplificazione litologica del sito.

⇒ per il periodo  $T$  compreso tra 0.5 e 1.5 s la normativa è **sufficiente** a tenere in considerazione anche i possibili effetti di amplificazione litologica del sito.

### Sottopasso ferroviario

Per quel che concerne la scheda di valutazione più idonea alla stima degli effetti litologici per i siti riferiti allo scenario PSL di tipo Z4a, tenuto conto dei campi di validità nei diagrammi  $z-V_s$  e delle litologie rilevate in sito, si è considerata sempre quella SABBIOSA.

Inoltre, tenuto conto della profondità del primo strato equivalente e della velocità  $V_s$  ottenuta come media pesata (282 m/s con 5,94 m), si è considerata la casella n.2 verde e quindi la curva caratteristica n.2.

Considerando la sezione sismostratigrafica schematica riportata in **Figura 17**, calcolata a partire dal piano di imposta fondazioni fino alla profondità in cui il valore di  $V_s$  è uguale o superiore a 800 m/sec ed utilizzando la precedente formula, si è ottenuto un valore del periodo del sito  $T$  pari a 0,31.

**Figura 17: sezione sismostratigrafica schematica (da piano imposta fondazioni)**

	$V_s$ (m/sec)	Spessore $h$ (m)	Profondità (m)	$V_s * h$
<b>strato 1</b>	258	0.14	9.2	36.12
<b>strato 2</b>	334	2.4	11.6	801.60
<b>strato 3</b>	247	3.4	15	839.80
<b>strato 4</b>	485	7.4	22.4	3589.00
<b>strato 5</b>	525	12	34.4	6300.00
<b>strato 6</b>	638	7.3	41.7	4657.40
<b>strato 7</b>	800	12.9	54.6	10320.00
		<b>45,54</b>		<b>26543,92</b>

### Calcolo $F_a$ nel tratto polinomiale:

$$F_{a \ 0.1 \div 0.5 \ s} = 1,7$$

$$F_{a \ 0.5 \div 1.5 \ s} = 1,4$$

Il valore ottenuto per il coefficiente di amplificazione proprio del sito è stato confrontato con il valore di soglia riportato nell'apposita tabella, fornita dalla Regione Lombardia.

Da tale tabella si evince che per il comune di Pavia, per suoli di tipo B, il valore di soglia calcolato è pari a 1,4 per il periodo compreso tra 0.1 e 0.5 s (relativo a strutture basse, regolari, piuttosto rigide) ed è pari a 1,7 per il periodo compreso tra 0.5 e 1.5 s (relativo a strutture più alte e più flessibili).

Poiché risulta:

$$F_{a \ 0.1 \div 0.5 \ s} = 1,7 > 1,4$$

$$F_{a \ 0.5 \div 1.5 \ s} = 1,4 < 1,7$$

ne consegue che:

⇒ per il periodo  $T$  compreso tra 0.1 e 0.5 s la normativa è **insufficiente** a tenere in considerazione anche i possibili effetti di amplificazione litologica del sito.

⇒ per il periodo  $T$  compreso tra 0.5 e 1.5 s la normativa è **sufficiente** a tenere in considerazione anche i possibili effetti di amplificazione litologica del sito.

***Tenuto conto dei risultati dell'analisi sismica di 2° livello condotta rispettivamente per la passerella ciclopedonale e per il sottopasso ferroviario, nonché della tipologia di strutture in progetto, i parametri sito-specifici di seguito riportati faranno riferimento alla classe di sottosuolo C.***

***Nel caso del sottopasso ferroviario, tuttavia, tenuto conto che la struttura rientra nell'elenco degli "edifici strategici e rilevanti" di cui al D.D.U.O. n.7237 del 22/05/2019 della Regione Lombardia e ricade in Classe d'Uso IV, è consigliabile in fase di progettazione esecutiva eseguire un'analisi di Risposta Sismica Locale.***

#### 7.4 AZIONI SISMICHE DI PROGETTO

Le azioni sismiche di progetto in base alle quali valutare il rispetto dei diversi *stati limite* considerati, vengono definite a partire dalla "pericolosità sismica di base" del sito di costruzione e sono funzione delle caratteristiche morfologiche e stratigrafiche che determinano la risposta sismica locale.

Il Decreto Ministeriale del 17 gennaio 2018 "Aggiornamento delle Norme Tecniche per le Costruzioni" impone anche la verifica delle azioni sismiche sulle nuove costruzioni.

La pericolosità sismica del sito di costruzione è descritta dalla probabilità che, in un fissato lasso di tempo ("periodo di riferimento"  $V_R$  espresso in anni), in detto sito si verifichi un evento sismico di entità almeno pari ad un valore prefissato; tale probabilità è denominata "Probabilità di eccedenza o di superamento nel periodo di riferimento"  $PV_R$ .

La pericolosità sismica è definita in termini di:

- *accelerazione orizzontale massima attesa  $a_g$  in condizioni di campo libero su sito di riferimento rigido (categoria A), con superficie topografica orizzontale (categoria T1);*
- *ordinate dello spettro di risposta elastico in accelerazione ad essa corrispondente  $S_e(T)$ , con riferimento a prefissate probabilità di eccedenza  $P_{V_R}$  nel periodo di riferimento  $V_R$ .*

Ai fini delle NTC le forme spettrali sono definite, per ciascuna delle probabilità di superamento  $P_{V_R}$  nel periodo di riferimento  $V_R$ , a partire dai valori dei seguenti parametri su sito di riferimento rigido orizzontale:

- *$a_g$  accelerazione orizzontale massima al sito;*
- *$F_0$  valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale;*
- *$T^*_C$  valore di riferimento per la determinazione del periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale.*

Per i valori di  $a_g$ ,  $F_0$  e  $T^*_C$ , necessari per la determinazione delle azioni sismiche, si fa riferimento agli Allegati A e B al Decreto del Ministro delle Infrastrutture 14 gennaio 2008, pubblicato nel S.O. alla Gazzetta Ufficiale del 4 febbraio 2008, n.29, ed eventuali successivi aggiornamenti.

## 7.5 ELABORAZIONI

I parametri ed i coefficienti sismici fondamentali delle aree in esame sono stati calcolati mediante il software "GeoStru PS Advanced" di GeoStru in funzione delle strutture in progetto (rispettivamente passerella ciclopedonale e sottopasso ferroviario).

### **Passerella ciclopedonale**

Per i calcoli sono stati inseriti i seguenti dati:

<b>TIPO DI COSTRUZIONE</b>	
Vita Nominale $V_N$	50 anni
Classe d'uso (*)	II
Coefficiente d'uso $C_U$	1
Vita di riferimento $V_R = V_N * C_U$	50 anni
<b>CATEGORIA DI SOTTOSUOLO</b>	<b>C</b>
<b>CATEGORIA TOPOGRAFICA</b> (vd. Tabella 3.2.III sottostante)	<b>T1</b>
<b>Coordinate geografiche (WGS84)</b>	Latitudine 45,198734 [°]
	Longitudine 9,150061 [°]
<b>Coordinate geografiche (ED50)</b>	Latitudine 45,199675 [°]
	Longitudine 9,151116 [°]
<b>Tipo di interpolazione</b>	media ponderata



(\*) Di seguito si riportano i parametri sismici sito-specifici del comparto di studio, calcolati tenendo conto del fatto che la nuova struttura in progetto ricade in Classe d'Uso II: *costruzioni il cui uso preveda normali affollamenti, senza contenuti pericolosi per l'ambiente e senza funzioni pubbliche e sociali essenziali. Industrie con attività non pericolose per l'ambiente. Ponti, opere infrastrutturali, reti viarie non ricadenti in Classe d'uso III o in Classe d'uso IV, reti ferroviarie la cui interruzione non provochi situazioni di emergenza. Dighe il cui collasso non provochi conseguenze rilevanti.*

**Tab. 3.2.III – Categorie topografiche (da N.T.C. 2018)**

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 $i > 30^\circ$

#### SITO DI RIFERIMENTO

	ID	Latitudine [°]	Longitudine [°]	Distanza [m]
Sito 1	13369	45,204520	9,093639	4535,4
Sito 2	13370	45,207090	9,164435	1329,9
Sito 3	13592	45,157150	9,168078	1911,9
Sito 4	13591	45,154590	9,097291	6552,3

#### PARAMETRI SISMICI

Tipo di elaborazione: stabilità dei pendii e fondazioni

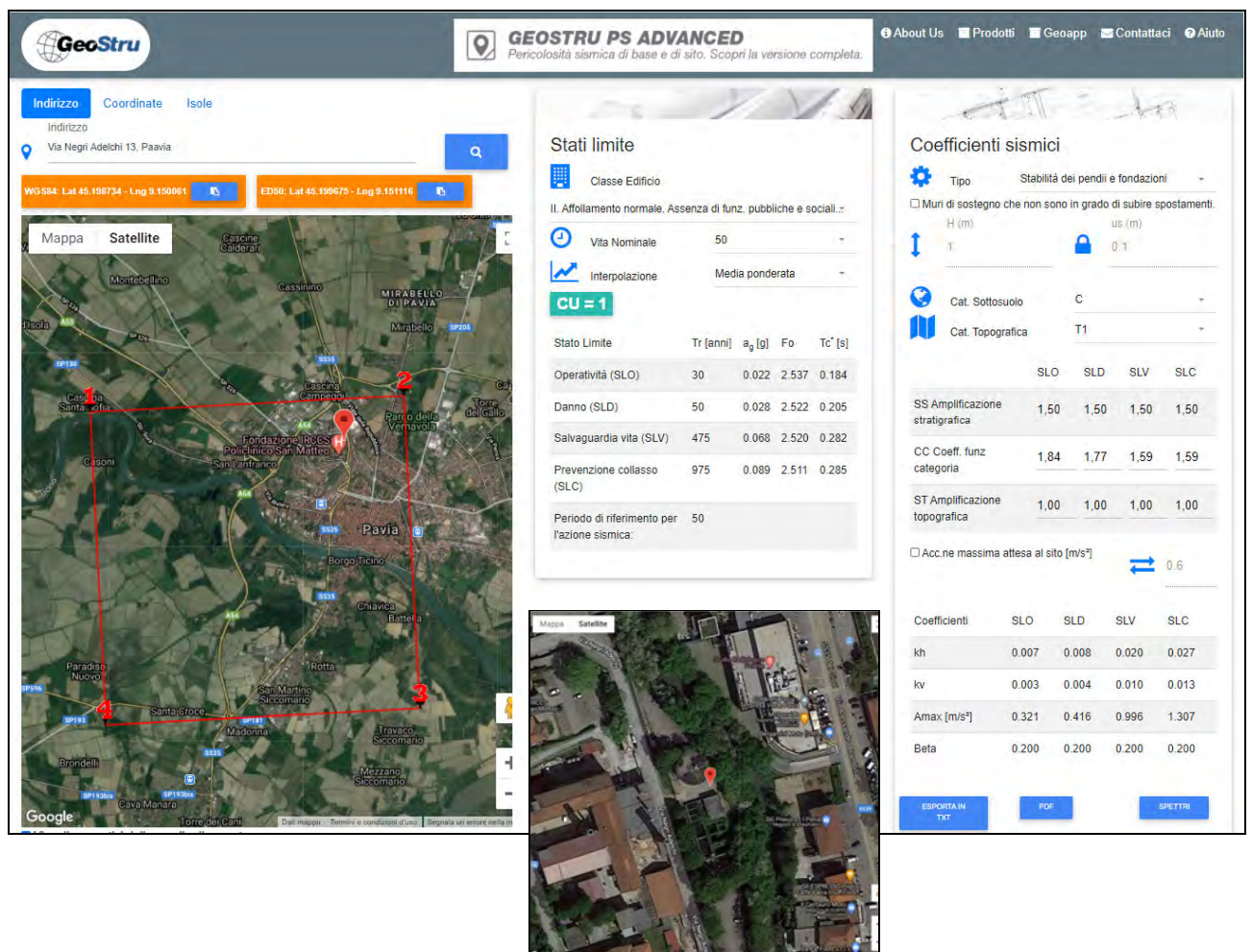
Stato limite	Probabilità superamento	Tr	ag	Fo	T°C
SLO	81	30	0,022	2,537	0,184
SLD	63	50	0,028	2,522	0,205
SLV	10	475	0,068	2,520	0,282
SLC	5	975	0,089	2,511	0,285
Periodo di riferimento per l'azione sismica $V_R$		50 anni			

#### COEFFICIENTI SISMICI

	Ss [-]	Cc [-]	St [-]	Kh [-]	Kv [-]	Amax [m/s <sup>2</sup> ]	Beta [-]
SLO	1,500	1,840	1,000	0,007	0,003	0,321	0,200
SLD	1,500	1,770	1,000	0,008	0,004	0,416	0,200
SLV	1,500	1,590	1,000	0,020	0,010	0,996	0,200
SLC	1,500	1,590	1,000	0,027	0,013	1,307	0,200

**VALUTAZIONE DELL'ACCELERAZIONE DI PROGETTO**

<b>FONDAZIONI</b>			
<b>ag accelerazione orizzontale massima</b>	<b>STATO LIMITE</b>		<b>a<sub>g</sub> (g)</b>
	<b>SLU SLV</b>		0,068
	<b>SLU SLC</b>		0,089
	<b>SLE SLO</b>		0,022
	<b>SLE SLD</b>		0,028
<b>a<sub>max</sub> accelerazione massima</b>	<b>a<sub>max</sub> = S* a<sub>g</sub> = S<sub>S</sub>*S<sub>T</sub>* a<sub>g</sub></b>	<b>0,102 g 0,996 m/s<sup>2</sup></b>	(per SLV)
<b>Coefficiente sismico orizzontale</b>	<b>Kh = βs * a<sub>max</sub>/g</b>	<b>0,020</b>	



**GeoStru** GEOSTRU PS ADVANCED  
Pericolosità sismica di base e di sito. Scopri la versione completa.

Indirizzo: Via Negri Adelchi 13, Paavia

WGS84: Lat 45.198734 - Lng 9.150061 | ED50: Lat 45.198675 - Lng 9.151116

**Stati limite**

Classe Edificio: II. Affollamento normale. Assenza di funz. pubbliche e sociali...  
 Vita Nominale: 50  
 Interpolazione: Media ponderata  
**CU = 1**

Stato Limite	Tr [anni]	a <sub>g</sub> [g]	F <sub>o</sub>	T <sub>c</sub> [s]
Operatività (SLO)	30	0.022	2.537	0.184
Danno (SLD)	50	0.028	2.522	0.205
Salvaguardia vita (SLV)	475	0.068	2.520	0.282
Prevenzione collasso (SLC)	975	0.089	2.511	0.285
Periodo di riferimento per l'azione sismica:	50			

**Coefficienti sismici**

Tipo: Stabilità dei pendii e fondazioni

Acc.ne massima attesa al sito [m/s<sup>2</sup>]: 0.6

Coefficienti	SLO	SLD	SLV	SLC
kh	0.007	0.008	0.020	0.027
kv	0.003	0.004	0.010	0.013
Amax [m/s <sup>2</sup> ]	0.321	0.416	0.996	1.307
Beta	0.200	0.200	0.200	0.200

### Sottopasso ferroviario

Per i calcoli sono stati inseriti i seguenti dati:

<b>TIPO DI COSTRUZIONE</b>	
Vita Nominale $V_N$	100 anni
Classe d'uso <sup>(*)</sup>	IV
Coefficiente d'uso $C_U$	2
Vita di riferimento $V_R = V_N * C_U$	200 anni
<b>CATEGORIA DI SOTTOSUOLO</b>	<b>C</b>
<b>CATEGORIA TOPOGRAFICA</b> (vd. Tabella 3.2.III sottostante)	<b>T1</b>
<b>Coordinate geografiche (WGS84)</b>	Latitudine 45,198971 [°]
	Longitudine 9,152060 [°]
<b>Coordinate geografiche (ED50)</b>	Latitudine 45,199912 [°]
	Longitudine 9,153115 [°]
<b>Tipo di interpolazione</b>	media ponderata

(\*) Di seguito si riportano i parametri sismici sito-specifici del comparto di studio, calcolati tenendo conto del fatto che la nuova struttura in progetto ricade in Classe d'Uso IV: *costruzioni con funzioni pubbliche o strategiche importanti, anche con riferimento alla gestione della protezione civile in caso di calamità. Industrie con attività particolarmente pericolose per l'ambiente. Reti viarie di tipo A o B, di cui al D.M. 5 novembre 2001, n.6792, "Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle strade", e di tipo C quando appartenenti ad itinerari di collegamento tra capoluoghi di provincia non altresì serviti da strade di tipo A o B. Ponti e reti ferroviarie di importanza critica per il mantenimento delle vie di comunicazione, particolarmente dopo un evento sismico. Dighe connesse al funzionamento di acquedotti e a impianti di produzione di energia elettrica.*

**Tab. 3.2.III – Categorie topografiche (da N.T.C. 2018)**

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 $i > 30^\circ$

#### SITO DI RIFERIMENTO

	ID	Latitudine [°]	Longitudine [°]	Distanza [m]
Sito 1	13369	45,204520	9,093639	4688,0
Sito 2	13370	45,207090	9,164435	1193,2
Sito 3	13592	45,157150	9,168078	4897,4
Sito 4	13591	45,154590	9,097291	6674,1



### PARAMETRI SISMICI

Tipo di elaborazione: stabilità dei pendii e fondazioni

Stato limite	Probabilità superamento	Tr	ag	Fo	T°C
SLO	81	120	0,040	2,543	0,244
SLD	63	201	0,049	2,514	0,267
SLV	10	1898	0,113	2,495	0,288
SLC	5	2475	0,125	2,489	0,289
Periodo di riferimento per l'azione sismica $V_R$		200 anni			

### COEFFICIENTI SISMICI

	Ss [-]	Cc [-]	St [-]	Kh [-]	Kv [-]	Amax [m/s <sup>2</sup> ]	Beta [-]
SLO	1,500	1,670	1,000	0,012	0,006	0,583	0,200
SLD	1,500	1,620	1,000	0,015	0,007	0,721	0,200
SLV	1,500	1,580	1,000	0,041	0,020	1,666	0,240
SLC	1,500	1,580	1,000	0,045	0,022	1,835	0,240

### VALUTAZIONE DELL'ACCELERAZIONE DI PROGETTO

FONDAZIONI			
ag accelerazione orizzontale massima	<b>STATO LIMITE</b>		<b>a<sub>g</sub> (g)</b>
	<b>SLU SLV</b>		0,113
	<b>SLU SLC</b>		0,125
	<b>SLE SLO</b>		0,040
	<b>SLE SLD</b>		0,049
a <sub>max</sub> accelerazione massima	$a_{max} = S \cdot a_g = S_S \cdot S_T \cdot a_g$	<b>0,17 g</b> <b>1,66 m/s<sup>2</sup></b>	(per SLV)
Coefficiente sismico orizzontale	$K_h = \beta_s \cdot a_{max}/g$	<b>0,041</b>	

**GEOSTRU PS ADVANCED**  
Pericolosità sismica di base e di sito. Scopri la versione completa.

**Indirizzo** Coordinate Isole  
Indirizzo: Viale della Repubblica, Pavia

WGS84: Lat 45.198971 - Lng 9.152060 | ED50: Lat 45.198912 - Lng 9.153115

**Stati limite**  
Classe Edificio: IV. Funzioni pubbliche o strategiche importanti...  
Vita Nominale: 100  
Interpolazione: Media ponderata  
**CU = 2**

Stato Limite	Tr [anni]	a <sub>g</sub> [g]	F <sub>o</sub>	Tc' [s]
Operatività (SLO)	120	0.040	2.543	0.244
Danno (SLD)	201	0.049	2.514	0.267
Salvaguardia vita (SLV)	1898	0.113	2.495	0.288
Prevenzione collasso (SLC)	2475	0.125	2.489	0.289

Periodo di riferimento per l'azione sismica: 200

**Coefficienti sismici**  
Tipo: Stabilità dei pendii e fondazioni  
 Muri di sostegno che non sono in grado di subire spostamenti.  
H (m): 1 | us (m): 0.1  
Cat. Sottosuolo: C  
Cat. Topografica: T1

	SLO	SLD	SLV	SLC
SS Amplificazione stratigrafica	1.50	1.50	1.50	1.50
CC Coeff. funz. categoria	1.67	1.62	1.58	1.58
ST Amplificazione topografica	1.00	1.00	1.00	1.00

Acc.ne massima attesa al sito [m/s<sup>2</sup>]: 0.6

Coefficienti	SLO	SLD	SLV	SLC
kh	0.012	0.015	0.041	0.045
kv	0.006	0.007	0.020	0.022
Am <sub>max</sub> [m/s <sup>2</sup> ]	0.583	0.721	1.666	1.835
Beta	0.200	0.200	0.240	0.240

ESPORTA IN TXT | PDF | SPETTRO

## 8. VERIFICA ALLA LIQUEFAZIONE

Per liquefazione di un terreno si intende la perdita di resistenza al taglio o l'accumulo di deformazioni plastiche in terreni saturi, prevalentemente sabbiosi, sollecitati da un'azione sismica ciclica in condizioni non drenate.

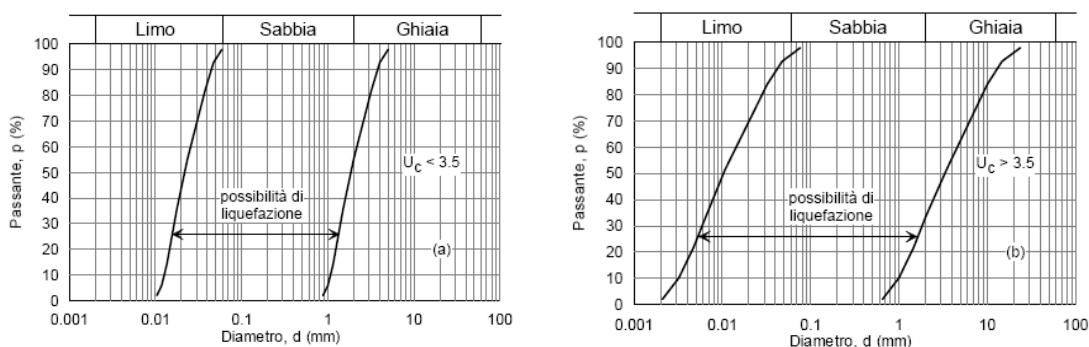
La verifica alla liquefazione può essere omessa quando si manifesti almeno una delle seguenti circostanze:

- 1) accelerazioni massime attese al piano di campagna in assenza di manufatti (condizioni di campo libero) minori di 0,1g;
- 2) profondità media stagionale della falda superiore a 15 m dal piano campagna, per piano campagna sub-orizzontale e strutture con fondazioni superficiali;
- 3) depositi costituiti da sabbie pulite con resistenza penetrometrica normalizzata  $(N_1)_{60} > 30$  oppure  $q_{c1N} > 180$  dove  $(N_1)_{60}$  è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche dinamiche (Standard Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa e  $q_{c1N}$  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 sottostante **Figura 18** nel caso di terreni con coefficiente di uniformità  $U_c < 3,5$  e  $U_c > 3,5$ .

**Figura 18: distribuzione granulometrica con  $U_c < 3,5$  e  $U_c > 3,5$**



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

Nel caso dei terreni presi in esame, l'analisi sismica sito-specifica ha fornito i seguenti valori:

- per la passerella ciclopedonale un valore dell'accelerazione massima al bedrock  $a_g$  pari a 0,068g per eventi con tempi di ritorno di 475 anni e probabilità di superamento del 10% in 50 anni (vd. tabella parametri sismici per SLV a pag. 29). Risulta quindi che il valore di  $a_{max}$  in superficie è pari a 0,102g (dove  $a_{max} = a_g \times S$ , con  $S = S_s \times S_t$ ).
- per il sottopasso ferroviario un valore dell'accelerazione massima al bedrock  $a_g$  pari a 0,113g per eventi con tempi di ritorno di 1898 anni e probabilità di superamento del 10% in 200 anni (vd. tabella parametri sismici per SLV a pag. 32). Risulta quindi che il valore di  $a_{max}$  in superficie è pari a 0,170g (dove  $a_{max} = a_g \times S$ , con  $S = S_s \times S_t$ ).

⇒ **stante quanto sopra, si rende necessaria la verifica alla stabilità nei confronti della liquefazione per i terreni oggetto di studio, risultando un'accelerazione massima attesa  $a_g$  superiore a 0,1g.**

#### 8.1 METODO SEMPLIFICATO DI SEED E IDRIS

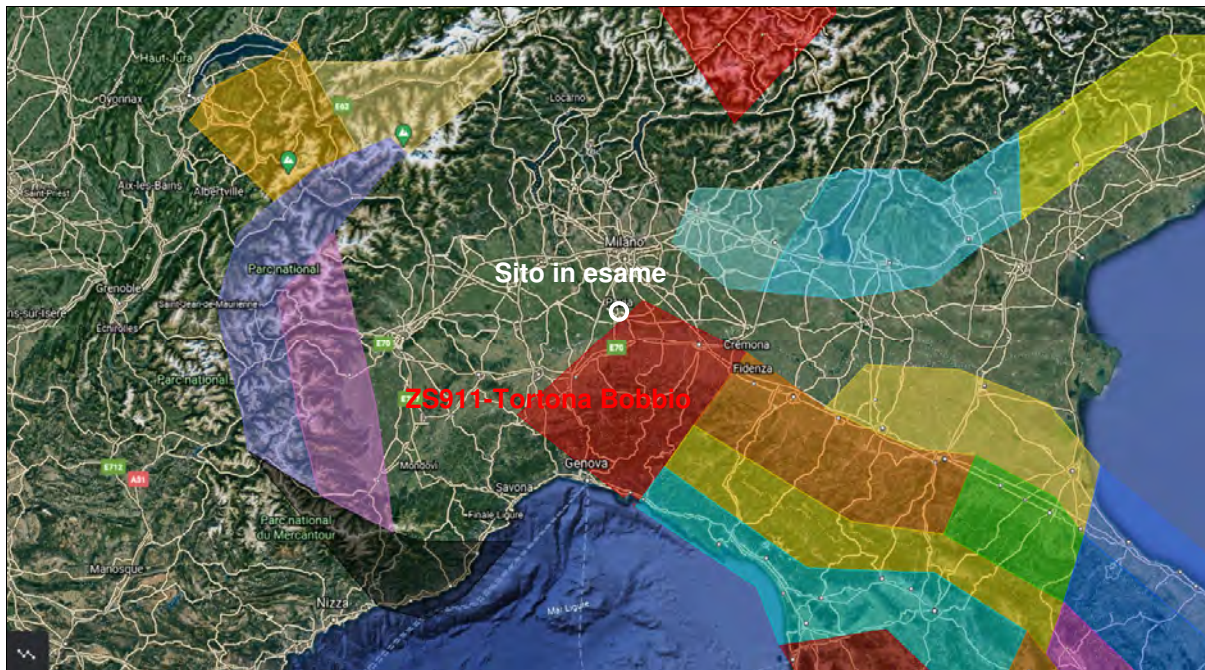
Dopo aver caratterizzato il terreno attraverso l'interpretazione delle indagini eseguite, si è ritenuto opportuno effettuare una stima del rischio di liquefazione dei terreni sottofalda in condizioni sismiche mediante il metodo semplificato di Seed e Idriss (1982).

I metodi semplificati richiedono che venga definito un sisma di progetto, attraverso l'introduzione dell'accelerazione sismica orizzontale massima in superficie (vd. Cap. 7) e della magnitudo di riferimento. Nel caso in esame, si è provveduto a verificare la magnitudo  $M_w$  del sito utilizzando la zonazione sismogenetica ZS9, come da prescrizione degli "Indirizzi e Criteri per la Microzonazione Sismica".



Nello specifico, è stato fatto riferimento alla zona sismogenetica 911 – Tortona Bobbio, come è possibile osservare nella **Figura 19** sottostante.

**Figura 19: Zonazione Sismogenetica ZS9**  
(stralcio da <https://earth.google.com/web>)



**Figura 20: Stralcio Tabella 6 del Rapporto conclusivo del Gruppo di Lavoro per la redazione della mappa di pericolosità sismica (ordinanza PCM 20.03.03, n.3274) – Istituto Nazionale di Geofisica**

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
nome ZS	N ZS	DISS2 MwMax	CPTI2 MwMax	CPTI2 MwMax (classe)	CPTI2 completo 04.2	Az1	Mw Max1	Az2	Mw Max2
Savoia	901		5.79	5.68	5.68	+1(a)	5.91	+2(d)	6.14
Vallese	902		6.10	6.14	6.14		6.14		6.14
Grigioni-Valtellina	903		5.79	5.68	5.22	+3(b)	5.91	+4(d)	6.14
Trieste -Monte Nevoso	904		5.71	5.68	5.68		5.68	+2(d)	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(d)	6.14
Piemonte	908		5.67	5.68	5.68		5.68	+2(d)	6.14
Alpi Occidentali	909		5.54	5.45	5.45	+1(a)	5.68	+3(d)	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(d)	6.14

Da tale analisi è emerso che al sito è possibile attribuire un valore di magnitudo  $M_w$  pari a 5,68.

Tali metodi si basano sul rapporto che intercorre tra le sollecitazioni di taglio che producono liquefazione e quelle indotte dal sisma. La resistenza alla liquefazione viene quindi valutata in termini di fattore di resistenza alla liquefazione:

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

dove:

*CRR (Cyclic Resistance Ratio) = resistenza del terreno agli sforzi di taglio ciclico;*

*CSR (Cyclic Stress Ratio) = sollecitazione di taglio massima indotta dal sisma.*

Il D.M. 17.01.2018 non indica un valore specifico di  $F_s$  da utilizzare come riferimento. L'Eurocodice 8 suggerisce, nel caso di correlazioni semi-empiriche, che un terreno debba essere considerato liquefacibile se lo sforzo di taglio indotto dal terremoto supera l'80% della resistenza mobilitata dal terreno.  $CSR \geq 0,80 \cdot CRR$ . Questo comporta un coefficiente limite uguale a  $F_s = CRR/CSR = 1,25$ . Nel caso in esame si è assunto, cautelativamente, per il metodo di calcolo utilizzato che per  $F_s > 1,3$  il terreno non è liquefacibile.

La grandezza CSR viene calcolata attraverso la seguente relazione:

$$CSR = 0.65 \frac{a_{max}}{g} \frac{\sigma_{v0}}{\sigma'_{v0}} r_d \frac{1}{MSF}$$

dove:

$a_{max}$  = accelerazione sismica massima

$g$  = accelerazione di gravità = 9.81 m/s<sup>2</sup>

$\sigma_{v0}$  = pressione verticale totale alla profondità  $z$  dal p.c.

$\sigma'_{v0}$  = pressione verticale efficace alla profondità  $z$  dal p.c.

$r_d$  = coefficiente funzione della profondità dal p.c., valutato utilizzando la formula empirica di Iwasaki et al. (1978)  $r_d = 1 - 0,0015z$

$MSF$  = coefficiente correttivo funzione della magnitudo del sisma (Magnitudo Scaling Factor).

Nel caso in esame si assume cautelativamente un  $MSF$  pari a 1,32, per una magnitudo prossima a 6, facendo riferimento ai valori ricavati da diversi ricercatori, tra cui Seed H. B. e Idriss I. M. (1982)

Fattore di scala della magnitudo derivato da diversi ricercatori

Magnitudo	Seed H.B. & Idriss I.M. (1982)	Ambraseys N.N (1988).	NCEER (Seed R. B. et alii) (1997; 2003)
5,5	1,43	2,86	2,21
6,0	1,32	2,20	1,77
6,5	1,19	1,69	1,44
7,0	1,08	1,30	1,19
7,5	1,00	1,00	1,00
8,0	0,94	0,67	0,84
8,5	0,89	0,44	0,73

La resistenza alla liquefazione CRR viene calcolata in funzione della magnitudo, del numero di colpi, della pressione verticale effettiva, della densità relativa.

Il numero di colpi corretto alla quota desiderata per tenere conto della pressione litostatica mediante la seguente espressione.

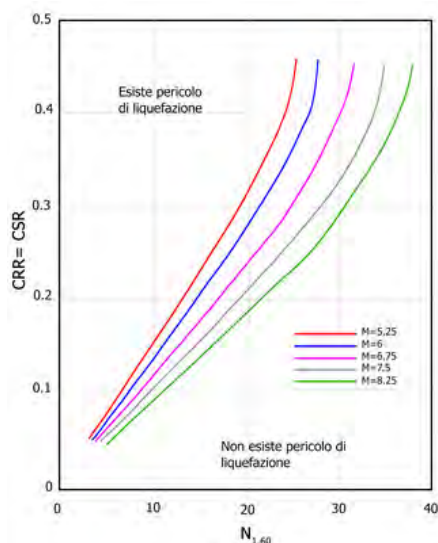
$$(N_{1.60}) = C_n \cdot N_m$$

dove:

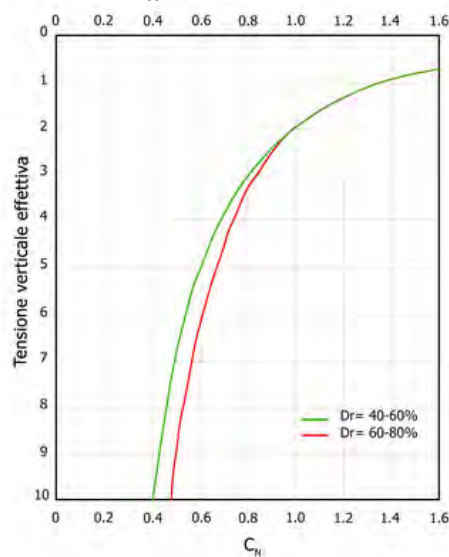
$N_m$  = numero medio dei colpi nella prova penetrometrica standard SPT

$C_n$  = coefficiente correttivo che si determina dalla relazione  $CN = (P_a/\sigma_{v0}')^n$  con  $\sigma_{v0}'$  = pressione verticale effettiva,  $P_a$  = pressione atmosferica ( $\approx 100$  kPa) ed  $n$  è un esponente che dipende dalla densità relativa del terreno.

Correlazione tra CRR e  $N_{1.60}$



Coefficiente correttivo CN



CRR può essere espresso come

$$CRR \approx N_{1.60} / 90$$

Il metodo di Seed e Idriss (1982) permette di correlare la resistenza al taglio mobilitata nel terreno con i risultati delle prove penetrometriche dinamiche (SPT).

La verifica è stata condotta mediante Liquefiter di Geostru, un software per l'analisi della liquefazione dei terreni in condizioni simiche.

Dalla verifica condotta con il metodo semplificato di Seed e Idriss è risultato che i terreni investigati non sono suscettibili alla liquefazione. Tuttavia, come visibile nella **Tabella 2** sottostante nella quale vengono riportati i valori minimi e massimi di  $F_S$  calcolati per ciascuno strato geotecnico e stratigrafico individuato (vd. **Tabella 5** del Cap. 9), a profondità comprese tra circa 8,50 m e 14,50 m il fattore di sicurezza calcolato è prossimo al limite di 1,3.

In questi casi si ritiene necessario effettuare un approfondimento mediante specifiche prove di laboratorio al fine di verificare con precisione e con metodi più accurati la suscettibilità alla liquefazione dei terreni sotto falda.

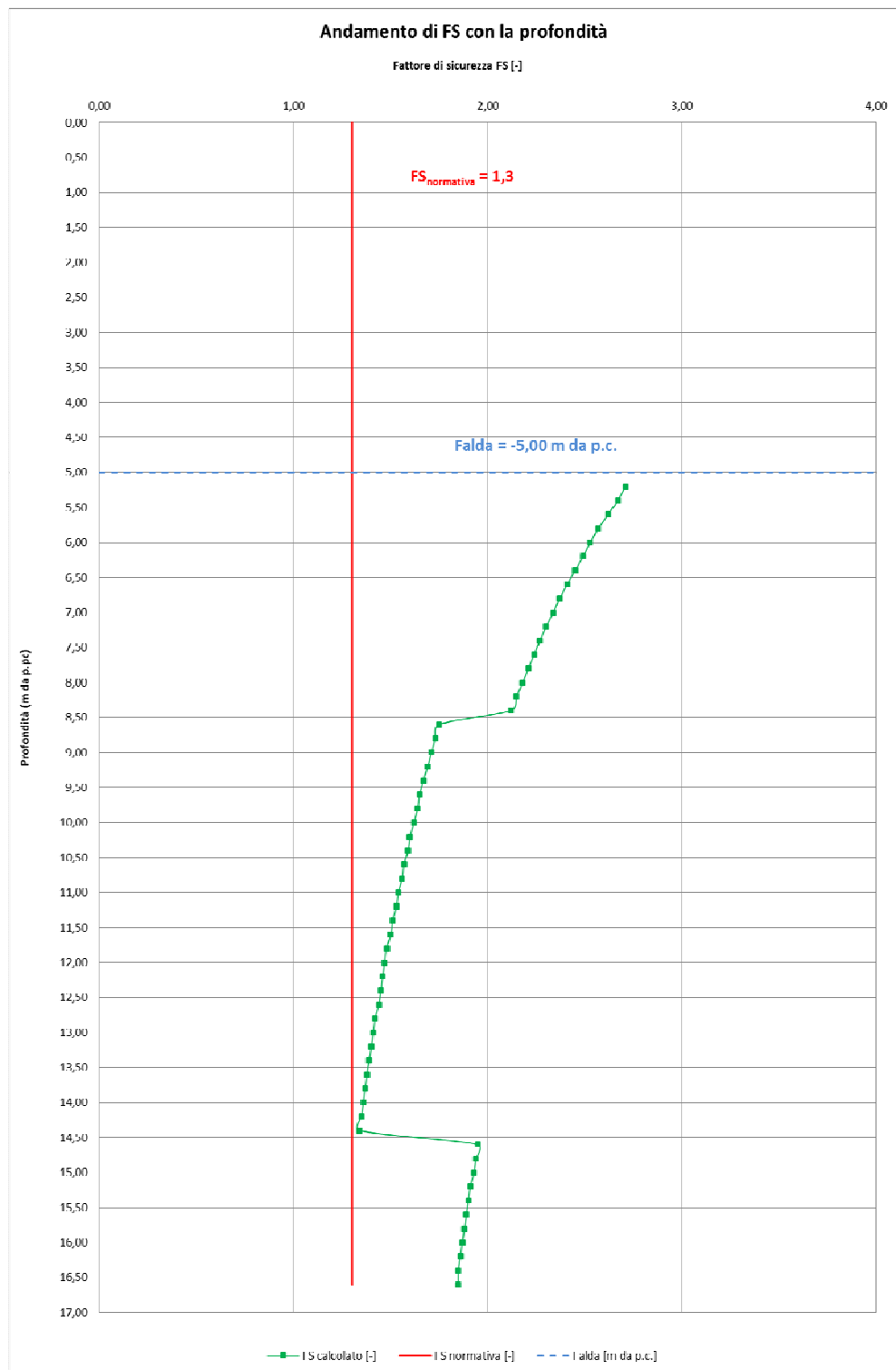


**Tabella 2: Fattori di sicurezza calcolati per gli strati considerati**

Litologia prevalente (presunta) Grado di addensamento e/o consistenza	Profondità massima (m da p.c.)	F <sub>S</sub> min	F <sub>S</sub> max
Materiale di riporto seguito da sabbie prevalenti con subordinate ghiaie <i>Molto sciolto</i>	STRATO A (fino a $\cong$ 2,50)	-	-
Sabbie prevalenti con subordinate ghiaie a tratti in debole matrice limosa <i>Da mediamente addensato ad addensato</i>	STRATO B (da $\cong$ 2,50 fino a $\cong$ 5,00)	-	-
	STRATO B (da $\cong$ 5,00 fino a $\cong$ 8,50)	2,12	2,71
Sabbie prevalenti con subordinate ghiaie a tratti in debole matrice limosa passanti a sabbie limose/torbose, limi argillosi e localmente argille <i>Sciolto</i>	STRATO C (da $\cong$ 8,50 fino a $\cong$ 14,50)	1,34	1,95
Sabbie limose/torbose, limi argillosi e localmente argille <i>Mediamente addensato</i>	STRATO D (da $\cong$ 14,50 fino a 16,50)	1,85	1,95

Nel sottostante **Grafico 1** si riporta l'andamento del fattore di sicurezza calcolato con la profondità.

**Grafico 1: Andamento del fattore di sicurezza stimato con la profondità**



## 9. MODELLO GEOTECNICO DEL SOTTOSUOLO

### 9.1 INDAGINE GEOTECNICA IN SITO

Come già anticipato in “Premesse”, al fine di fornire una caratterizzazione preliminare dei terreni che interessano le due estremità dell’ambito di studio, sono state analizzate ed elaborate le seguenti indagini in sito eseguite nei giorni 20, 21 e 22 gennaio ‘21:

- ✚ n.5 prove penetrometriche dinamiche con penetrometro superpesante standard S.C.P.T. (*Standard Cone Penetration Test*), nel seguito denominate P.1, P.2, P.3, P.4 e P.5
- ✚ n.3 sondaggi verticali a rotazione e a carotaggio continuo spinti fino alla profondità di 15,00 m dal piano campagna locale, nel seguito denominati S.1, S.2 ed S.3
- ✚ n.10 prove S.P.T. (*Standard Penetration Test*) in ciascun foro di sondaggio

L’ubicazione di tutte le indagini eseguite è riportata nella planimetria di **Tavola 1**.

### 9.2 SONDAGGI A CAROTAGGIO CONTINUO

I sondaggi a carotaggio continuo sono stati effettuati tramite una sonda idraulica a rotazione, l’utilizzo di un carotiere semplice Ø 101 mm avente lunghezza pari a 3,00 m ed aste di perforazione Ø 50 mm.

Dopo ogni manovra di perforazione si è provveduto al sostentamento delle pareti del foro con l’impiego di tubi di rivestimento Ø 127 mm e circolazione di fluido. In particolare, per l’infissione del rivestimento, è stata usata acqua di perforazione senza alcun additivo chimico o naturale.

Negli **Allegati 2 e 3** sono riportate rispettivamente le stratigrafie dei terreni e le fotografie delle cassette catalogatrici contenenti i campioni di terreno estratti.

Nelle stratigrafie dei sondaggi geognostici eseguiti, **la quota zero corrisponde al piano di campagna locale** (+81,50 m s.l.m. per il sondaggio S.1 // +82,40 m s.l.m. per il sondaggio S.2 // +76,00 m s.l.m. per il sondaggio S.3).

### 9.3 PROVE S.P.T. IN FORO DI SONDAGGIO

Come specificato nelle “Raccomandazioni sulla programmazione ed esecuzione delle indagini geotecniche” dell’A.G.I. (*Associazione Geotecnica Italiana*), le prove S.P.T. sono state eseguite tramite punta chiusa nei terreni incoerenti e tramite punta aperta (campionatore Raymond) in quelli prevalentemente coesivi.

L’infissione viene realizzata mediante battitura, utilizzando un maglio del peso di 63,5 kg che cade da un’altezza costante di 76 cm.

Il numero di colpi (N) necessario per una penetrazione della punta pari a 30 cm (dopo 15 cm di infissione dinamica per il posizionamento), è il dato assunto come indice della resistenza alla penetrazione ( $N_{spt}$ ) e quindi dello stato di addensamento del terreno.



Indicativamente, un terreno si intende sciolto per  $N_{spt} < 10$ , mediamente addensato per  $10 < N_{spt} < 30$  ed addensato per  $N_{spt} > 30$  colpi.

In **Allegato 4** si riportano sia i tabulati che i grafici delle prove S.P.T. eseguite nei tre fori di sondaggio: **lo zero è sempre riferito al piano di campagna locale** (vd. § 9.2).

#### 9.4 PROVE PENETROMETRICHE DINAMICHE S.C.P.T.

Le prove sono state eseguite con penetrometro dinamico DPHS Meardi - AGI, le cui caratteristiche tecniche sono rigorosamente conformi alla normativa vigente. In particolare, i principali dati tecnici riguardanti l'attrezzatura utilizzata sono:

<b>Tabella 3: caratteristiche tecniche dell'attrezzatura di prova</b>				
<b>CARATTERISTICHE TECNICHE</b>			<b>DPHS Meardi - AGI</b>	
	SIMBOLO	U.M.		
MAGLIO	M	kg	73	
VOLATA DI RIFERIMENTO	H	m	0.75	
PUNTA CONICA	ANGOLO	$\alpha$	°	60
	DIAM. BASE		mm	51.0
ASTE	LUNGHEZZA		m	1.5
	MASSA	m	kg/m	7
	DIAM. EST.	$d_0$	mm	34
RIVESTIMENTI	LUNGHEZZA		m	1.5
	DIAMETRI		mm	48 / 38
PENETRAZIONE STANDARD		cm	30	

Tali prove consistono nell'infissione nel terreno di una punta conica e nel rilevare il numero di colpi di maglio necessari per approfondimenti costanti di 30 cm. Ad ogni avanzamento della punta segue un analogo affondamento dei tubi di rivestimento, con lo scopo di evitare lo sviluppo dell'attrito tra il terreno e le aste connesse alla punta; in tal modo la resistenza di penetrazione incontrata dalla punta deriva solamente dall'azione che oppongono all'avanzamento i diversi orizzonti detritici attraversati.

Si determina, quindi, per via diretta lo stato di addensamento dei terreni di fondazione e indirettamente (dal confronto tra la resistenza alla punta RP - linea continua - e la resistenza laterale RL - linea tratteggiata) la litostratigrafia locale.

La prova di regola viene interrotta quando la resistenza di avanzamento alla punta (RP) o la resistenza incontrata dal rivestimento (RL) per effetto dell'attrito laterale, superano il valore di 100 per 30 cm di affondamento.

In **Allegato 5** si riportano sia i diagrammi che le tabelle delle prove penetrometriche eseguite: in essi **la quota zero è sempre riferita al piano di campagna locale** (+81,50 m s.l.m. per le prove P.1, P.2, P.3 e P.4 // +82,40 m s.l.m. per la prova P.5).

Nel successivo **Allegato 6** vengono riportate in fotografia le posizioni di tutte le indagini effettuate.

Nella sottostante **Tabella 4** vengono riassunte le profondità raggiunte dai sondaggi, dalle prove penetrometriche e le quote di esecuzione delle prove S.P.T..

**Tabella 4: quote raggiunte dalle indagini eseguite**

PROVE S.C.P.T.	QUOTA RAGGIUNTA DAL PIANO CAMPAGNA LOCALE [m]	QUOTA DEL PIANO CAMPAGNA LOCALE [m s.l.m.]	QUOTA RAGGIUNTA DAL PIANO CAMPAGNA LOCALE [m s.l.m.]
P.1	-16,50	+81,50	+65,00
P.2			
P.3			
P.4			
P.5			

SONDAGGI	QUOTA RAGGIUNTA DAL PIANO CAMPAGNA LOCALE [m]	QUOTA DEL PIANO CAMPAGNA LOCALE [m s.l.m.]	QUOTA RAGGIUNTA DAL PIANO CAMPAGNA LOCALE [m s.l.m.]
S.1	-15,00	+81,50	+66,50
S.2		+82,40	+67,40
S.3		+76,00	+61,00

PROVE S.P.T.	QUOTA DI ESECUZIONE DAL PIANO CAMPAGNA LOCALE [m]	QUOTA DEL PIANO CAMPAGNA LOCALE [m s.l.m.]	QUOTA DI ESECUZIONE DAL PIANO CAMPAGNA LOCALE [m s.l.m.]	LETTURE
S.1	-1,50 ÷ -1,95	+81,50	+80,00 ÷ +79,55	05-04-06
	-3,00 ÷ -3,45		+78,50 ÷ +78,05	17-20-22
	-4,50 ÷ -4,95		+77,00 ÷ +76,55	19-16-14
	-6,00 ÷ -6,45		+75,50 ÷ +75,05	17-13-15
	-7,50 ÷ -7,95		+74,00 ÷ +73,55	16-17-19
	-9,00 ÷ -9,45		+72,50 ÷ +72,05	07-07-10
	-10,50 ÷ -10,95		+71,00 ÷ +70,55	07-07-08
	-12,00 ÷ -12,45		+69,50 ÷ +69,05	07-09-10
	-13,50 ÷ -13,95		+68,00 ÷ +67,55	08-10-11
	-15,00 ÷ -15,45		+66,50 ÷ +66,05	06-07-12
S.2	-1,50 ÷ -1,95	+82,40	+80,90 ÷ +80,45	50/3 cm
	-3,00 ÷ -3,45		+79,40 ÷ +78,95	15-20-27
	-4,50 ÷ -4,95		+77,90 ÷ +77,45	20-24-21
	-6,00 ÷ -6,45		+76,40 ÷ +75,95	10-11-12
	-7,50 ÷ -7,95		+74,90 ÷ +74,45	08-16-24
	-9,00 ÷ -9,45		+73,40 ÷ +72,95	15-15-15
	-10,50 ÷ -10,95		+71,90 ÷ +71,45	10-17-11
	-12,00 ÷ -12,45		+70,40 ÷ +69,95	02-02-02

PROVE S.P.T.	QUOTA DI ESECUZIONE DAL PIANO CAMPAGNA LOCALE [m]	QUOTA DEL PIANO CAMPAGNA LOCALE [m s.l.m.]	QUOTA DI ESECUZIONE DAL PIANO CAMPAGNA LOCALE [m s.l.m.]	LETTURE
S.2	-13,50 ÷ -13,95	+82,40	+68,90 ÷ +68,45	02-03-04
	-15,00 ÷ -15,45		+67,40 ÷ +66,95	03-03-03
S.3	-1,50 ÷ -1,95	+76,00	+74,50 ÷ +74,04	03-03-03
	-3,00 ÷ -3,45		+73,00 ÷ +72,55	08-09-12
	-4,50 ÷ -4,95		+71,50 ÷ +71,05	03-03-03
	-6,00 ÷ -6,45		+70,00 ÷ +69,55	03-03-05
	-7,50 ÷ -7,95		+68,50 ÷ +68,05	07-11-12
	-9,00 ÷ -9,45		+67,00 ÷ +66,55	04-09-12
	-10,50 ÷ -10,95		+65,50 ÷ +65,05	13-20-15
	-12,00 ÷ -12,45		+64,00 ÷ +63,55	10-17-18
	-13,50 ÷ -13,95		+62,50 ÷ +62,05	09-15-16
	-15,00 ÷ -15,45		+61,00 ÷ +60,55	05-13-20

#### 9.5 DESCRIZIONE STRATIGRAFICA E GEOTECNICA DEI TERRENI ESAMINATI

Tenuto conto che il dislivello esistente tra i sondaggi S.1 / S.2 ed il sondaggio S.3 è pari a circa 5,50 ÷ 6,00 m e la distanza in linea d'aria è dell'ordine di 150 m, nel seguito sia i report stratigrafici che la descrizione geotecnica dei diversi orizzonti attraversati verranno descritti separatamente.

#### **SETTORE EST "EX NECCHI SUD"**

#### **REPORT STRATIGRAFICI S.1, S.2 E PROVE P.1, P.2, P.3, P.4, P.5**

Dall'analisi delle stratigrafie relative ai sondaggi S.1 ed S.2 (vd. **Allegati 2 e 3**) risulta che, superata la pavimentazione in calcestruzzo ed il materiale di riporto sottostante (circa 2,50 m dal p.c. locale), sono presenti sabbie prevalenti con ghiaie subordinate a tratti in debole matrice limosa fino alla profondità di circa 12,00 m dal piano di campagna locale.

Segue, fino alla massima profondità indagata (15,00 m), uno strato di sabbia limosa con raro ghiaietto in corrispondenza del sondaggio S.1 e di argilla e poi limo argilloso passante a sabbia finissima limoso/torbosa in corrispondenza del sondaggio S.2.

Dal punto di vista geotecnico (vd. **Tavola 2**), i terreni si presentano *molto sciolti* fino alla profondità massima di circa 3,50 m (vd. prova P.2), da *mediamente addensati* ad *addensati* fino a circa 7,50 m (vd. prova P.1) ÷ 11,50 m (vd. prova P.5), da *sciolti* a *soffici* fino a circa 12,50 m (vd. prova P.3) ÷ 15,45 m (vd. sondaggio S.2), *mediamente addensati* / *mediamente consistenti* fino a 16,50 m (profondità riferite al piano campagna locale).

Integrando i risultati emersi dall'esecuzione delle indagini in sito, è possibile effettuare una ripartizione in quattro strati predominanti **A** **B** **C** e **D** differenziati tra loro per caratteristiche geotecniche e stratigrafiche come da schema sottostante:



**Tabella 5: suddivisione dei terreni in strati (riferimento: piano campagna locale)**

Strati	Litologia prevalente	Grado di addensamento e/o consistenza	N <sub>spt</sub>		Profondità base strato (m)						
			min	max	PROVA SCPT N.					SPT	
					P.1	P.2	P.3	P.4	P.5	S.1	S.2
<b>A</b>	Materiale di riporto seguito da sabbie prevalenti con subordinate ghiaie	<i>Molto sciolto</i>	1	10	≅2,0	≅3,5	≅2,0	≅2,5	≅3,0	≅2,5	-
<b>B</b>	Sabbie prevalenti con subordinate ghiaie a tratti in debole matrice limosa	<i>Da mediamente addensato ad addensato</i>	5	36	≅7,5	≅8,5	≅8,5	≅8,5	≅11,5	≅8,0	≅11,0
<b>C</b>	Sabbie prevalenti con subordinate ghiaie a tratti in debole matrice limosa passanti a sabbie limose/torbose, limi argillosi e localmente argille	<i>Sciolto</i>	3	21	≅15,0	≅14,5	≅12,5	≅14,5	≅14,5	15,45	15,45
<b>D</b>	Sabbie limose/torbose, limi argillosi e localmente argille	<i>Mediamente addensato</i>	10	23	16,5	16,5	16,5	16,5	16,5	-	-

### **SETTORE OVEST "EX DEPURATORE"**

#### **REPORT STRATIGRAFICO S.3**

Dall'analisi della stratigrafia relativa al sondaggio S.3 (vd. **Allegati 2 e 3**) risulta che, superata la pavimentazione in calcestruzzo ed il materiale di riporto sottostante (circa 1,00 m dal p.c. locale), sono presenti sabbie prevalenti con ghiaie subordinate a tratti in debole matrice limosa fino alla profondità di circa 4,70 m dal piano di campagna locale.

Segue uno strato di argilla fino alla profondità di circa 7,00 m, di limo sabbioso a tratti argilloso fino a circa 8,70 m e, per finire, di sabbia limosa fino alla massima profondità indagata (15,00 m dal piano di campagna locale).

Dal punto di vista geotecnico (vd. **Tavola 3**), i terreni si presentano da *sciolti* a *soffici* fino alla profondità di circa 7,00 m, da *mediamente addensati* / *mediamente consistenti ad addensati* / *consistenti* fino a 15,45 m (profondità riferite al piano campagna locale).

Integrando i risultati emersi dall'esecuzione delle indagini in sito, è possibile effettuare una ripartizione in due strati predominanti **C** e **D** (in riferimento alla nomenclatura utilizzata in **Tabella 6**) differenziati tra loro per caratteristiche geotecniche e stratigrafiche come da schema sottostante (vd. **Tavola 3**):

**Tabella 6: suddivisione dei terreni in strati (riferimento: piano campagna locale)**

Strati	Litologia prevalente	Grado di addensamento e/o consistenza	N <sub>spt</sub>		Profondità base strato (m)
			min	max	SPT - S.3
<b>C</b>	Materiale di riporto seguito da sabbie prevalenti con subordinate ghiaie a tratti in debole matrice limosa seguite da uno strato di argilla	<i>Sciolto</i>	6	8	≅7,0
<b>D</b>	Limo sabbioso a tratti argilloso seguito da sabbia limosa	<i>Addensato</i>	21	35	15,45

#### 9.6 PARAMETRIZZAZIONE GEOTECNICA

I **valori medi** dei parametri geotecnici sono stati stimati attraverso le correlazioni empiriche formulate da diversi A.A. (*Skempton, Meyerhof, Sanglerat, Bowles, Menzenbach e Malcev*) a partire dai valori medi di resistenza alla punta delle diverse prove.

**Tabella 7: valori medi dei parametri geotecnici (Settore est "ex Necchi Sud")**

Litologia prevalente <i>Grado di addensamento e/o consistenza</i>	Profondità significativa (m da p.c.)	N <sub>spt</sub> medio	Valori medi parametri geotecnici						
			Dr (%)	Ø' <sub>m</sub> (°)	C <sub>u m</sub> (kPa)	E <sub>y m</sub> (MPa)	E <sub>ed m</sub> (MPa)	γ <sub>nat</sub> (kN/m <sup>3</sup> )	γ <sub>sat</sub> (kN/m <sup>3</sup> )
Materiale di riporto seguito da sabbie prevalenti con subordinate ghiaie <i>Molto sciolto</i>	STRATO A (fino a ≅ 2,50)	4	30 ÷ 40	26	-	3	17	16 ÷ 17	17 ÷ 18
Sabbie prevalenti con subordinate ghiaie a tratti in debole matrice limosa <i>Da mediamente addensato ad addensato</i>	STRATO B (da ≅ 2,50 fino a ≅ 5,00)	18	50 ÷ 60	31	-	16	68	18 ÷ 20	19 ÷ 21
	STRATO B (da ≅ 5,00 fino a ≅ 8,50)								10 (in falda)

Litologia prevalente <i>Grado di addensamento e/o consistenza</i>	Profondità significativa (m da p.c.)	N <sub>spt</sub> medio	Valori medi parametri geotecnici						
			Dr (%)	Ø' <sub>m</sub> (°)	C <sub>u m</sub> (kPa)	E <sub>y m</sub> (MPa)	E <sub>ed m</sub> (MPa)	γ <sub>nat</sub> (kN/m <sup>3</sup> )	γ <sub>sat</sub> (kN/m <sup>3</sup> )
Sabbie prevalenti con subordinate ghiaie a tratti in debole matrice limosa passanti a sabbie limose/torbose, limi argillosi e localmente argille <i>Sciolto</i>	STRATO C (da ≅ 8,50 fino a ≅ 14,50)	8	30 ÷ 40	28	-	5	34	17 ÷ 18	10
Sabbie limose/torbose, limi argillosi e localmente argille <i>Mediamente addensato</i>	STRATO D (da ≅ 14,50 fino a 16,50)	15	40 ÷ 45	31	-	10	58	18 ÷ 19	10

**Tabella 8: valori medi dei parametri geotecnici (Settore ovest "ex Depuratore")**

Litologia prevalente <i>Grado di addensamento e/o consistenza</i>	Profondità significativa (m da p.c.)	N <sub>spt</sub> medio	Valori medi parametri geotecnici						
			Dr (%)	Ø' <sub>m</sub> (°)	C <sub>u m</sub> (kPa)	E <sub>y m</sub> (MPa)	E <sub>ed m</sub> (MPa)	γ <sub>nat</sub> (kN/m <sup>3</sup> )	γ <sub>sat</sub> (kN/m <sup>3</sup> )
Materiale di riporto seguito da sabbie prevalenti con subordinate ghiaie a tratti in debole matrice limosa e da uno strato di argilla <i>Sciolto</i>	STRATO C (fino a ≅ 3,00)	7	35 ÷ 40	29	-	5	39	17 ÷ 18	18 ÷ 19
	STRATO C (da ≅ 3,00 fino a fino a ≅ 7,00)								10 (in falda)
Limo sabbioso a tratti argilloso seguito da sabbia limosa <i>Addensato</i>	STRATO D (da ≅ 7,00 fino a 15,45)	30	60 ÷ 70	35		22	113	19 ÷ 20	10

dove:

N<sub>spt</sub> = valore medio di N<sub>spt</sub> ritenuto caratteristico dell'orizzonte;

Dr (%) = stima della Densità Relativa

Ø'<sub>m</sub> (°) = stima dell'angolo d'attrito interno



$c_{u\ m}$  (kPa) = stima della coesione non drenata

$E_{y\ m}$  (MPa) = stima del modulo di Young

$E_{ed\ m}$  (MPa) = stima del modulo edometrico

$\gamma_{nat}$  (kN/m<sup>3</sup>) = stima del peso di volume del terreno naturale (da bibliografia)

$\gamma_{sat}$  (kN/m<sup>3</sup>) = stima del peso di volume del terreno saturo (da bibliografia)

**N.B. tenuto conto della natura prevalentemente granulare dei terreni (salvo la presenza di locali orizzonti di terreno a comportamento geotecnico prevalentemente coesivo) e della mancanza di valori misurati con specifiche prove di laboratorio, si è considerata cautelativamente la coesione nulla per tutti gli strati geotecnici.**

Secondo quanto disposto dalle Norme Tecniche, si è partiti dai parametri medi per ricavare i **valori caratteristici** dei parametri di resistenza al taglio del terreno con associata una probabilità di non superamento del 5%, attraverso le seguenti formule:

$$\phi'_k = \phi'_m * (1 - 1,645 * V_{\phi});$$

$$C_{u\ k} = C_{u\ m} * (1 - 1,645 * V_{C_u});$$

$$c'_k = c'_m * (1 - 1,645 * V_{c'});$$

$$E'_k = E'_m * (1 - 1,645 * V_{E'});$$

$$E_{ed\ k} = E_{ed\ m} * (1 - 1,645 * V_{E_{ed}})$$

dove:

$\phi'_m, C_{u\ m}, c'_m, E'_m, E_{ed\ m}$  = valori medi dei parametri di resistenza e di deformabilità del terreno;

$V_{\phi}, V_{C_u}, V_{c'}, V_{E'}, V_{E_{ed}}$  = coefficienti di variazione definiti come rapporto fra lo scarto quadratico medio e la media dei valori relativi ai parametri.

**Tabella 9: valori caratteristici dei parametri geotecnici  
(Settore est "ex Necchi Sud")**

Litologia prevalente Grado di addensamento e/o consistenza	Profondità massima (m da p.c.)	N <sub>spt</sub> medio	Valori caratteristici parametri geotecnici			
			$\phi'_k$ (°)	C <sub>u k</sub> (kPa)	E <sub>y k</sub> (MPa)	E <sub>ed k</sub> (MPa)
Materiale di riporto seguito da sabbie prevalenti con subordinate ghiaie <i>Molto sciolto</i>	STRATO A (fino a $\cong$ 2,50)	4	23	-	2,7	15
Sabbie prevalenti con subordinate ghiaie a tratti in debole matrice limosa <i>Da mediamente addensato ad addensato</i>	STRATO B (da $\cong$ 2,50 fino a $\cong$ 8,50)	18	28	-	14	60

Litologia prevalente <i>Grado di addensamento e/o consistenza</i>	Profondità massima (m da p.c.)	N <sub>spt</sub> medio	Valori caratteristici parametri geotecnici			
			$\phi'_k$ (°)	C <sub>u k</sub> (kPa)	E <sub>y k</sub> (MPa)	E <sub>ed k</sub> (MPa)
Sabbie prevalenti con subordinate ghiaie a tratti in debole matrice limosa passanti a sabbie limose/torbose, limi argillosi e localmente argille <i>Sciolto</i>	STRATO C (da $\cong$ 8,50 fino a $\cong$ 14,50)	8	25	-	4	30
Sabbie limose/torbose, limi argillosi e localmente argille <i>Mediamente addensato</i>	STRATO D (da $\cong$ 14,50 fino a 16,50)	15	27	-	9	52

**Tabella 10: valori caratteristici dei parametri geotecnici  
(Settore ovest "ex Depuratore")**

Litologia prevalente <i>Grado di addensamento e/o consistenza</i>	Profondità massima (m da p.c.)	N <sub>spt</sub> medio	Valori caratteristici parametri geotecnici			
			$\phi'_k$ (°)	C <sub>u k</sub> (kPa)	E <sub>y k</sub> (MPa)	E <sub>ed k</sub> (MPa)
Materiale di riporto seguito da sabbie prevalenti con subordinate ghiaie a tratti in debole matrice limosa e da uno strato di argilla <i>Sciolto</i>	STRATO C (fino a $\cong$ 7,00)	7	26	-	4	35
Limo sabbioso a tratti argilloso seguito da sabbia limosa <i>Addensato</i>	STRATO D (da $\cong$ 7,00 fino a 15,45)	30	31	-	20	100

## 10. CONCLUSIONI

### 10.1 GEOLOGIA, GEOMORFOLOGIA, IDROGEOLOGIA ED IDRAULICA

Dal punto di vista geologico, i terreni dell'area oggetto di intervento sono caratterizzati dalla presenza di sabbie con sporadiche intercalazioni di ghiaietto e con orizzonti limoso-argillosi alterati nella parte superficiale (Diluvium recente – unità geologica “Q<sub>1r</sub>”).

Le aree di indagine sono caratterizzate da una morfologia sub-pianeggiante, priva di dinamiche morfologiche in atto.

Dal punto di vista della Fattibilità Geologica, l'ambito di intervento interessa aree che ricadono in differenti classi di fattibilità geologica, variabili da 2 – “Fattibilità con modeste limitazioni”, a 4 – “Fattibilità con gravi limitazioni all'edificabilità”.

- ⇒ *Per le aree che ricadono in classe 2 di fattibilità geologica il parere all'edificabilità è favorevole con modeste limitazioni che possono essere superate mediante approfondimenti di indagine e accorgimenti tecnico-costruttivi e senza l'esecuzione di opere di difesa.*
- ⇒ *Per le zone che ricadono entro la classe 3 di fattibilità geologica il parere all'edificabilità è favorevole con consistenti limitazioni connesse alle condizioni di pericolosità/vulnerabilità individuate, per il superamento delle quali potrebbero rendersi necessari interventi specifici o opere di difesa.*
- ⇒ *Per le aree che ricadono entro la classe 4 di fattibilità geologica il parere all'edificabilità è contrario a causa delle condizioni di elevata pericolosità/vulnerabilità individuate. Le infrastrutture pubbliche e di interesse pubblico possono tuttavia essere realizzate solo se non altrimenti localizzabili e dovranno comunque essere puntualmente e attentamente valutate in funzione della tipologia di dissesto e del grado di rischio che determinano l'ambito di pericolosità/vulnerabilità.*

Per tutte le classi di fattibilità di cui sopra, vige inoltre l'obbligo di verifica della compatibilità geologica e geotecnica ai sensi del D.M. 17/01/2018 per tutti i livelli di progettazione previsti per legge.

Per quanto concerne la vincolistica geologica, la porzione orientale dell'ambito di intervento, di pertinenza del sito “ex Necchi Sud”, ricade all'interno delle “... aree interessate da riporti di varia entità, costituiti da prevalenti sabbie limose, ciottoli, frammenti di laterizi, scorie di fonderia, ecc.”. Inoltre, nella porzione occidentale dello stesso scorre il Navigliaccio, caratterizzato da una fascia di rispetto di 10 m calcolata dal ciglio di sponda dell'alveo inciso (DGR 7868/2002).

Dal punto di vista idrogeologico, in corrispondenza dell'area di intervento è individuabile una prima falda superficiale sospesa ed una seconda falda sottostante con caratteristiche freatiche.

Sulla base delle informazioni contenute all'interno dello studio geologico a supporto del Piano di Governo del Territorio del comune di Pavia, in corrispondenza dell'ambito di intervento la quota piezometrica della falda superficiale sospesa si attesta sui 73,00 m s.l.m., a cui corrispondono le seguenti soggiacenze:



	Zona ovest - "ex Depuratore" Via Adelchi Negri n.13 Quota piano campagna locale: +76,00 m s.l.m.	Zona est - "ex Necchi Sud" Viale della Repubblica Quota piano campagna locale: +81,50 m s.l.m.
<b>Quota falda sospesa: +73,00 m s.l.m.</b>	-3,00 m da p.c.	-8,50 m da p.c.

Per maggiore precisione, si specifica che la misura piezometrica effettuata il giorno 21 gennaio '21 all'interno del foro di sondaggio S.1, ha evidenziato la presenza della falda sospesa alla quota di -5,30 m dal piano campagna locale esistente all'atto delle indagini (ossia +76,20 m s.l.m.).

Per quanto concerne la sottostante falda freatica, lo studio svolto a livello comunale non comprende l'ambito di intervento. Pertanto, le informazioni fornite dal PGT comunale sono state integrate con quelle del "Progetto Plume" elaborato nel settembre 2016 da The IT Group Italia S.r.l. per conto della Provincia di Pavia.

Sulla base delle informazioni contenute nello studio in questione, in corrispondenza dell'ambito di intervento la quota piezometrica della falda freatica principale risulta essere di circa 68,00 m s.l.m., a cui corrispondono le seguenti soggiacenze:

	Zona ovest - "ex Depuratore" Via Adelchi Negri n.13 Quota piano campagna locale: +76,00 m s.l.m.	Zona est - "ex Necchi Sud" Viale della Repubblica Quota piano campagna locale: +81,50 m s.l.m.
<b>Quota falda principale: +68,00 m s.l.m.</b>	-8,00 m da p.c.	-13,50 m da p.c.

## 10.2 SISMICA

Secondo quanto contenuto nella D.G.R. n.X/2129 dell'11/07/2014, il comune di Pavia appartiene alla **zona sismica 3**.

Nel 1° livello di approfondimento della componente sismica del territorio comunale di Pavia, effettuato dalla S.G.P. S.r.l. nell'ambito dello "Studio per la definizione della Componente Geologica, Idrogeologica e Sismica del Piano di Governo del Territorio del Comune di Pavia", il settore di intervento è stato inserito negli scenari di pericolosità sismica locale Z2 delle "zone con terreni di fondazione saturi particolarmente scadenti o con depositi granulari fini saturi che, in occasione di eventi sismici, possono dare luogo a fenomeni di cedimenti e/o liquefazioni" e Z4a delle "zone di fondovalle e di pianura con presenza di depositi alluvionali e/o fluvio-glaciali granulari e/o coesivi".

Per quel che concerne la verifica alla stabilità nei confronti della liquefazione, si sono stimati valori del coefficiente di sicurezza  $F_s$  compresi tra 2,12 e 2,71 fino alla profondità di circa 8,50 m da piano campagna, tra 1,34 e 1,95 fino alla profondità di circa 14,50 e tra 1,85 e 1,95 fino a 16,50 m. Pur risultando che i terreni non sono suscettibili alla liquefazione per le profondità indagate sulla base dei risultati delle prove penetrometriche dinamiche (SPT), della caratterizzazione sismica dei terreni e del metodo di verifica utilizzato

⇒ **si consiglia di effettuare approfondimenti mediante specifiche prove di laboratorio al fine di verificare con precisione e con metodi più accurati la suscettibilità alla liquefazione dei terreni sotto falda.**

Per quanto attiene lo scenario di pericolosità sismica locale Z4a, in occasione di eventi sismici, esso potrebbe dare luogo a fenomeni di amplificazioni litologiche. Si è pertanto proceduto con l'approfondimento sismico di 2° livello.

Lo stendimento sismico MASW eseguito in sito ha evidenziato un valore di  $V_{s,30}$  calcolato nei primi 30 m al di sotto delle previste quote di imposta delle fondazioni (+74,00 m s.l.m. per la passerella ciclopedonale e +73,34 m s.l.m. per il sottopasso ferroviario), pari rispettivamente a 438 m/s (passerella ciclopedonale) e 448 m/s (sottopasso ferroviario), secondo cui i terreni di fondazione appartengono alla categoria di sottosuolo "B".

L'analisi di 2° livello ha tuttavia evidenziato che in entrambi i casi il FAC (fattore di amplificazione sismica calcolato) è superiore al FAS (fattore soglia comunale) per il periodo compreso tra 0.1 e 0.5 s per la specifica categoria di sottosuolo B.

Pertanto, alla luce di quanto sopra, si può concludere che, essendo la normativa insufficiente a tenere in considerazione i possibili effetti di amplificazione litologica del sito, si applica lo spettro della **categoria di sottosuolo "C"** definita come *"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"*.

Considerando tuttavia che il sottopasso ferroviario rientra nell'elenco degli "edifici strategici e rilevanti" di cui al D.D.U.O. n.7237 del 22/05/2019 della Regione Lombardia e ricade in Classe d'Uso IV

**⇒ è consigliabile, in fase di progettazione esecutiva, eseguire un'analisi di Risposta Sismica Locale.**

### 10.3 PARAMETRIZZAZIONE GEOTECNICA

Lo studio ha evidenziato che i terreni in esame sono costituiti da materiale di riporto superficiale (2,50 m circa in corrispondenza dell'area "ex Necchi Sud" e 1,00 m circa in corrispondenza del "ex depuratore"), seguiti da sabbie prevalenti con subordinate ghiaie.

All'interno di questi materiali a comportamento geotecnico prevalentemente granulare si alternano orizzonti limoso/argillosi ad andamento irregolare sia arealmente che in profondità. Nel complesso la matrice fine tende ad essere più abbondante oltre la profondità di circa 12,00 m nei sondaggi S.1 ed S.2 e circa 5,00 m nel sondaggio S.2.

Nelle tabelle sottostanti si riassumono i parametri geotecnici (medi e caratteristici) dei terreni indagati, considerando in modo distinto le due aree esaminate (Settore est – "ex Necchi Sud"; Settore ovest "Ex Depuratore").

### SETTORE EST "EX NECCHI SUD"

Strato	Profondità significativa da p.c. (m)	Spessore strato (m)	N <sub>SPT medio</sub>	Ø' <sub>m</sub>	Ø' <sub>k</sub>	E <sub>y m</sub>	E <sub>y k</sub>	E <sub>ed</sub>	E <sub>ed k</sub>	γ <sub>nat</sub>	γ <sub>sat</sub>
A	≅ 2,50	≅ 2,50	4	26	23	3	2,7	17	15	16 ÷ 17	17 ÷ 18
B	≅ 5,00	≅ 2,50	18	31	28	16	14	68	60	18 ÷ 20	19 ÷ 21
	≅ 8,50	≅ 3,50									10
C	≅ 14,50	≅ 6,00	8	28	25	5	4	34	30	17 ÷ 18	10
D	16,50	≅ 2,00	15	31	27	10	9	58	52	18 ÷ 19	10

### SETTORE OVEST "EX DEPURATORE"

Strato	Profondità significativa da p.c. (m)	Spessore strato (m)	N <sub>SPT medio</sub>	Ø' <sub>m</sub>	Ø' <sub>k</sub>	E <sub>y m</sub>	E <sub>y k</sub>	E <sub>ed</sub>	E <sub>ed k</sub>	γ <sub>nat</sub>	γ <sub>sat</sub>
C	≅ 3,00	≅ 3,00	7	29	26	5	4	39	35	17 ÷ 18	18 ÷ 19
	≅ 7,00	≅ 4,00									10
D	15,45	≅ 8,45	30	35	31	22	20	113	100	19 ÷ 20	10

dove:

$N_{SPT\ medio}$  = valore medio di  $N_{SPT}$  ritenuto caratteristico dell'orizzonte;

$Ø'_m$  (°) = stima del valore medio dell'angolo di attrito interno

$Ø'_k$  (°) = stima del valore caratteristico dell'angolo di attrito interno

$E_{y\ m}$  (MPa) = stima del valore medio del modulo di Young

$E_{y\ k}$  (MPa) = stima del valore caratteristico del modulo di Young

$E_{ed\ m}$  (MPa) = stima del valore medio del modulo edometrico

$E_{ed\ k}$  (MPa) = stima del valore caratteristico del modulo edometrico

$γ_{nat}$  (kN/m<sup>3</sup>) = stima del peso di volume del terreno naturale

$γ_{sat}$  (kN/m<sup>3</sup>) = stima del peso di volume del terreno saturo

## 11. CONSIDERAZIONI FINALI

La presente relazione geologica riporta gli esiti di una prima indagine conoscitiva eseguita in luoghi attualmente accessibili e che non hanno necessitato di richieste di specifiche autorizzazioni e/o permessi.

Si rammenta infatti che i lavori prevedono l'esecuzione di scavi al di sotto della ferrovia per la realizzazione di un sottopasso e di scavi in aree private per la realizzazione di una passerella pedonale al di sopra del Navigliaccio.

Le indagini in sito eseguite in questa prima fase sono state posizionate all'estremo settore orientale del tracciato delle opere di attraversamento (internamente all'area ex Necchi Sud) ed all'estremo settore occidentale (internamente all'area dell'ex Depuratore”).

I parametri geotecnici e sismici forniti nel presente elaborato sono pertanto da ritenersi utili per una progettazione preliminare delle opere ma non esaustivi per un'adeguata progettazione esecutiva.

Tenuto conto dell'importanza delle opere strutturali (in particolare del sottopasso ferroviario), in fase di progettazione esecutiva si dovranno prevedere approfondimenti di indagine sia in sito che di laboratorio da concordarsi con gli Enti coinvolti e gli strutturisti, estese a tutto il sedime interessato dai lavori di scavo.

Poiché il sottopasso ferroviario rientra nell'elenco degli “edifici strategici e rilevanti” di cui al D.D.U.O. n.7237 del 22/05/2019 della Regione Lombardia e ricade in Classe d'Uso IV, è raccomandabile che in fase di progettazione esecutiva venga eseguita anche un'analisi di Risposta Sismica Locale ed un approfondimento del rischio alla liquefazione dei terreni sotto falda.

Milano, 12 febbraio 2021

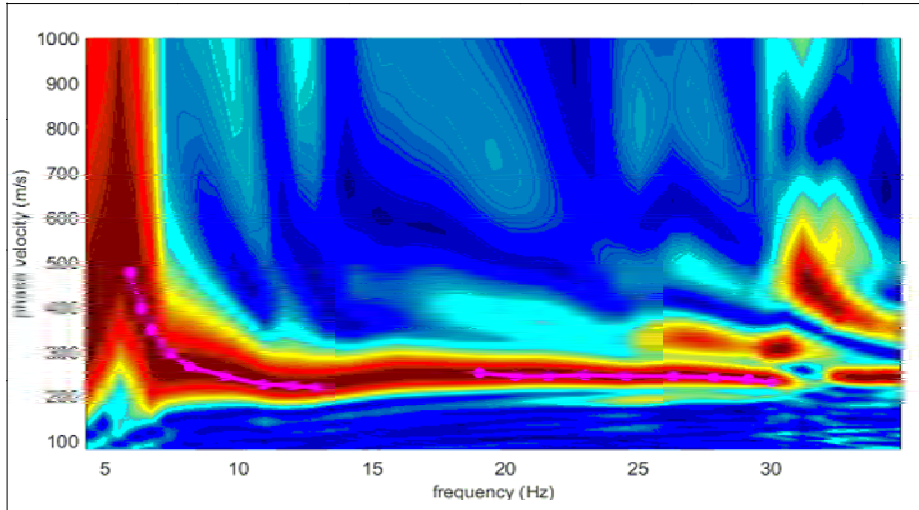


Dr.ssa Geol. Monica Civitenga



ALLEGATO 1

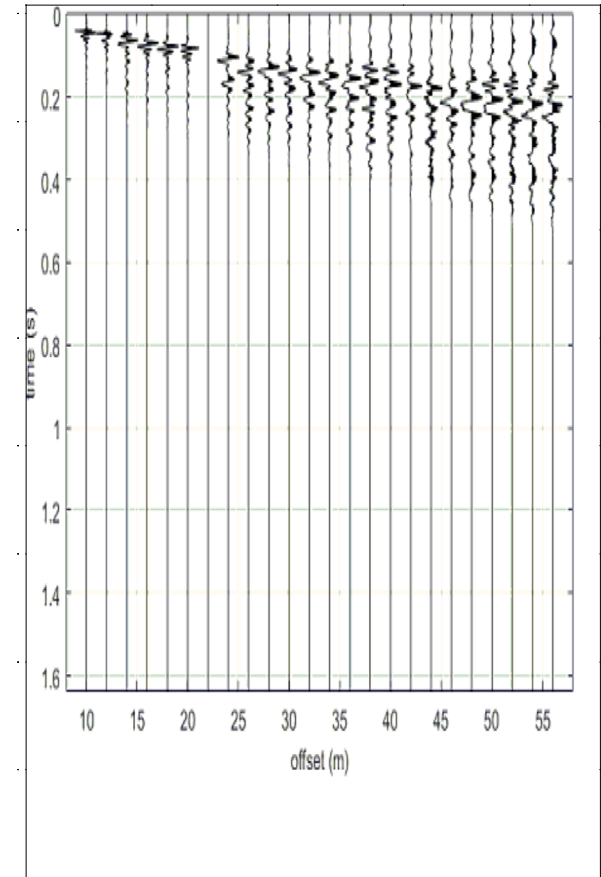
**ELABORAZIONI GRAFICHE  
STENDIMENTO SISMICO MASW**



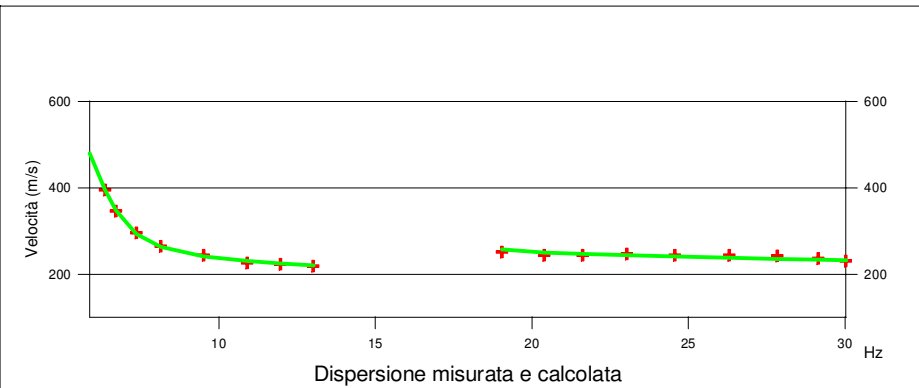
### LEGENDA

- + Curva di dispersione misurata
- / Curva di dispersione calcolata
- Velocità sismica delle onde S
- Modulo di taglio (Mpasca)
- VsX

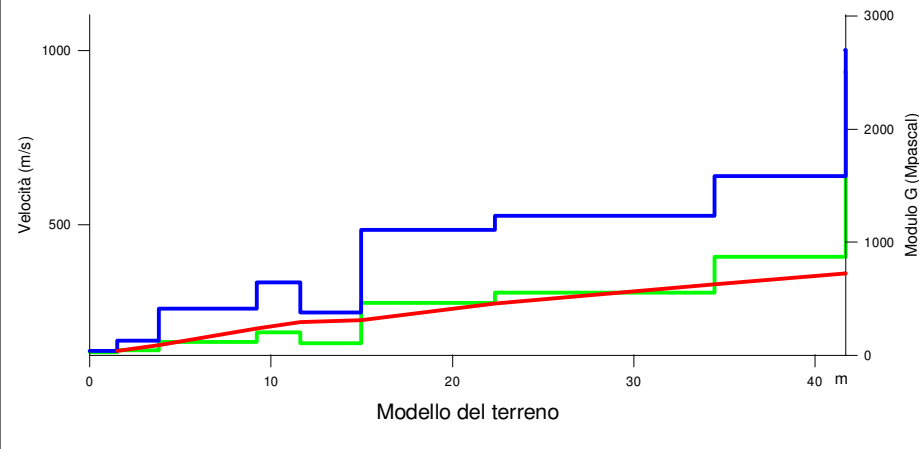
Il valore approssimato del peso di volume per il calcolo del parametro G è dato dalla formula  $D=1.5 + Vs/1000$



Sismogramma



Dispersione misurata e calcolata



Modello del terreno

### TABELLA DI CALCOLO

Da Prof.	a Prof.	Vs	Hi/Vi	VsX	G
0	1.5	138	.011	138	31
1.5	3.8	167	.0136	154	46
3.8	9.2	258	.021	202	117
9.2	11.6	334	.0072	220	205
11.6	15	247	.0136	225	106
15	22.4	485	.0152	274	466
22.4	34.4	525	.023	329	558
34.4	41.7	638	.0114	359	871

**VALORE CALCOLATO VS Eq. = 312 m/s**

## PROVA SISMICA VS30

Lybra srl - Milano

Pavia - Stabilimento Necchi

Metodologia MASW

## VELOCITA' DELLE ONDE S

Gennaio 2021

ALLEGATO 2

**STRATIGRAFIE DEI  
SONDAGGI GEOGNOSTICI**



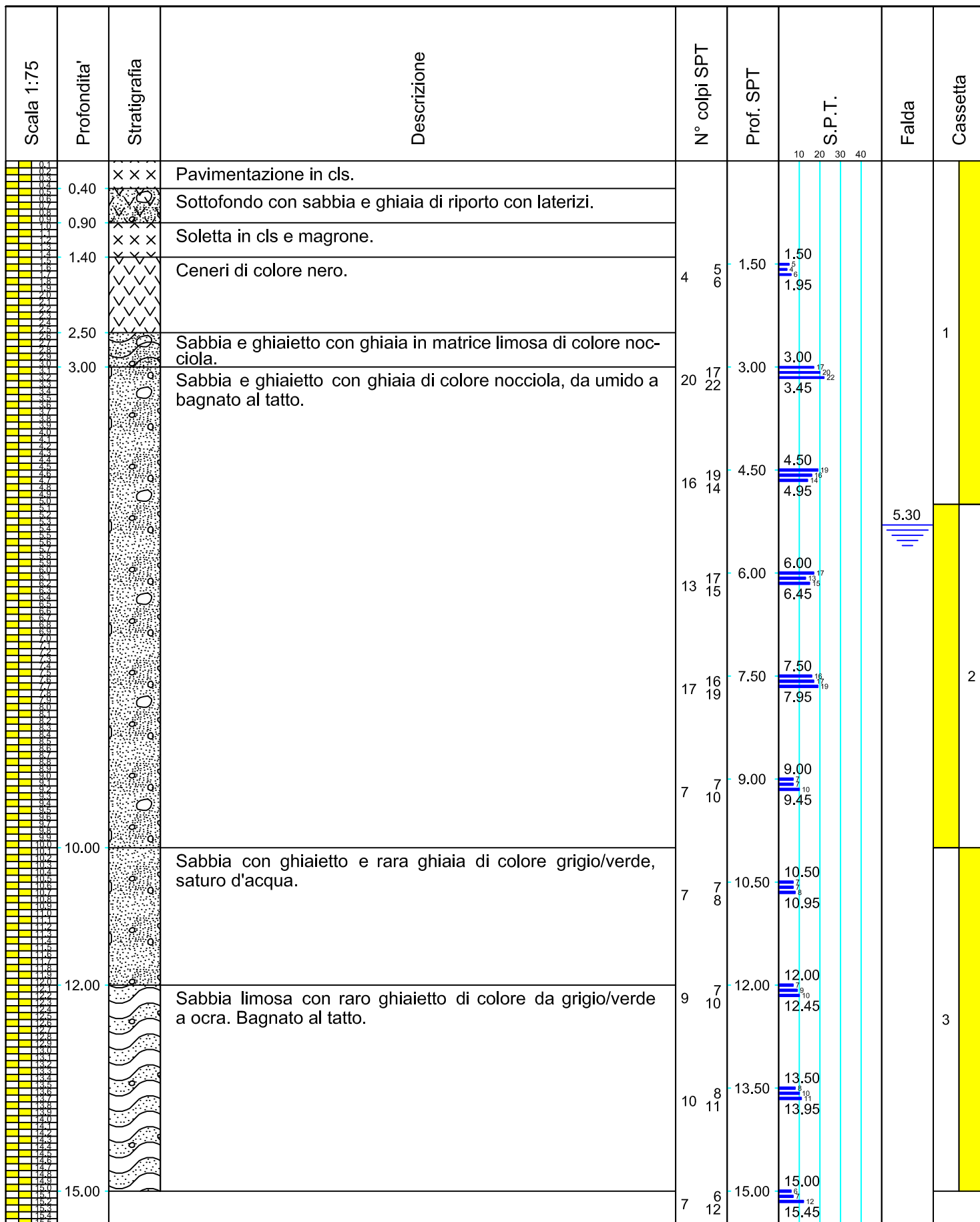
Committente PV01.RE S.r.l.  
 Cantiere Area "ex Necchi Sud" - Viale della Repubblica  
 Località Pavia - PV  
 Data Inizio 21 gennaio 2021      Data Fine 21 gennaio 2021  
 Quota riferimento piano campagna locale (circa +81,50 m s.l.m.)

SONDAGGIO FOGLIO

S1

1

Il geologo incaricato:  
Dott.ssa Monica Civitenga







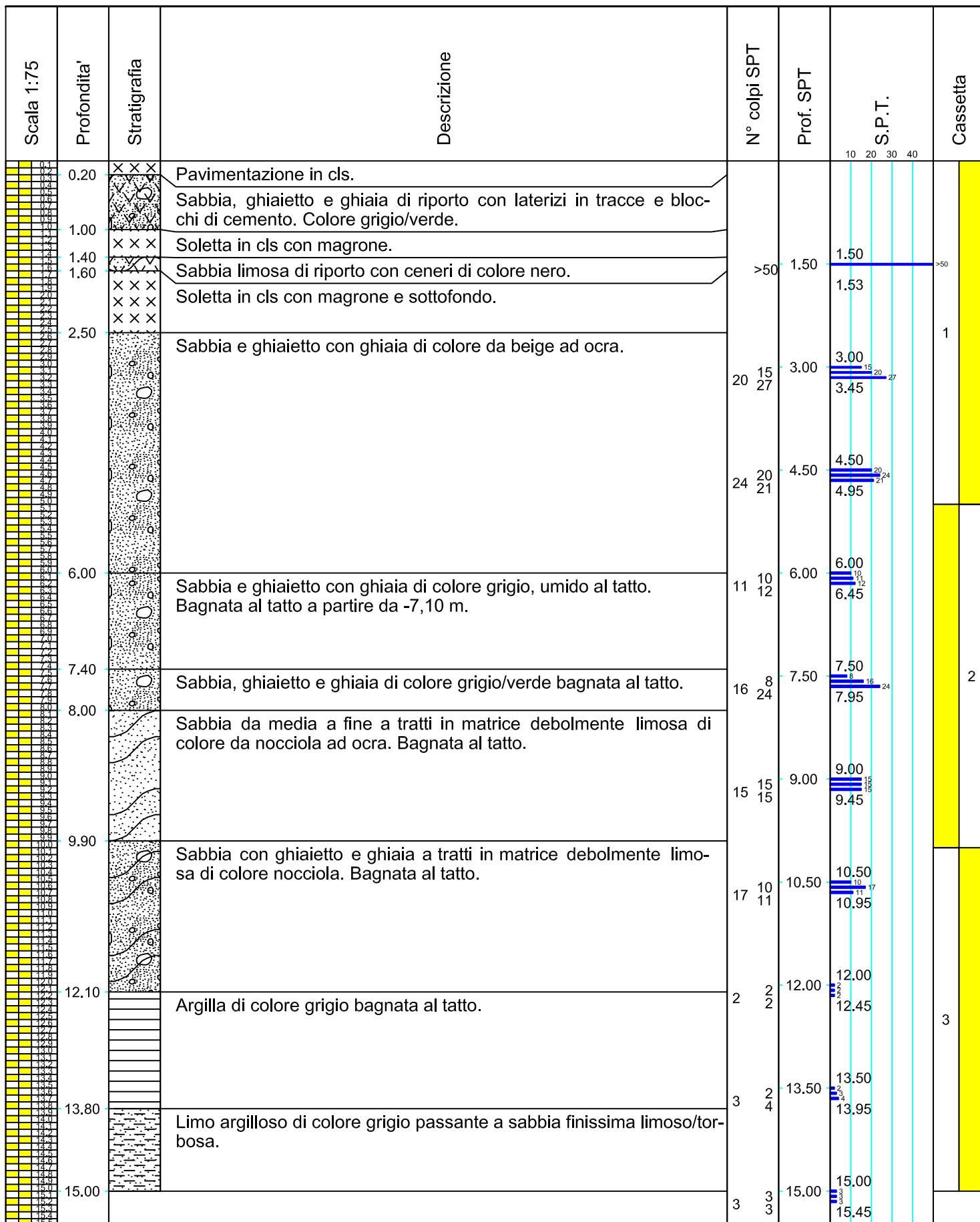
Committente PV01.RE S.r.l.  
 Cantiere Area "ex Necchi Sud" - Viale della Repubblica  
 Località Pavia - PV  
 Data Inizio 20 gennaio 2021      Data Fine 20 gennaio 2021  
 Quota riferimento piano campagna locale (+82,40 m s.l.m.)

SONDAGGIO FOGLIO

S2

1

Il geologo incaricato:  
Dott.ssa Monica Civitenga





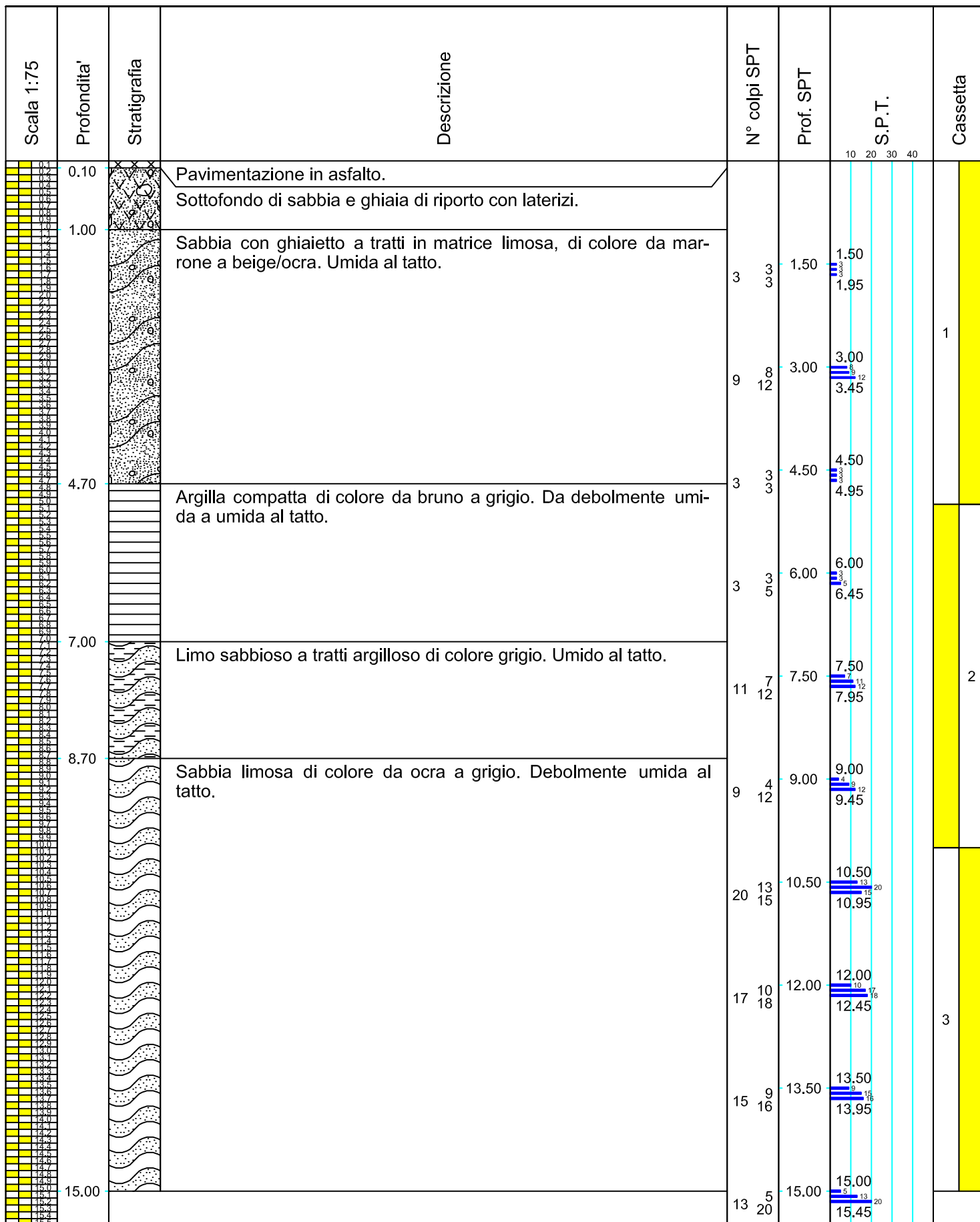
Committente	PV01.RE S.r.l.	
Cantiere	Area "ex Depuratore" - Via Negri Adelchi 13	
Località	Pavia - PV	
Data Inizio	22 gennaio 2021	Data Fine 22 gennaio 2021
Quota riferimento	piano campagna locale (circa +76,00 m s.l.m.)	

SONDAGGIO FOGLIO

S3

1

Il geologo incaricato:  
Dott.ssa Monica Civitenga



ALLEGATO 3

**FOTOGRAFIE DELLE  
CASSETTE CATALOGATRICI**

**SONDAGGIO S.1 (21.01.2021) – Pavia (PV), “ex Necchi” – Viale della Repubblica**

**Fotografie cassette catalogatrici da 0 a 15 m da piano pavimento (p.p.)**



**CASSETTA 1**

*Campioni di terreno estratti a profondità compresa tra 0,00 e 5,00 m da p.p.*

**CASSETTA 2**

*Campioni di terreno estratti a profondità compresa tra 5,00 e 10,00 m da p.p.*



**CASSETTA 3**

*Campioni di terreno estratti a profondità compresa tra 10,00 e 15,00 m da p.p.*





**SONDAGGIO S.2 (20.01.2021) – Pavia (PV), “ex Necchi” – Viale della Repubblica**

**Fotografie cassette catalogatrici da 0 a 15 m da piano pavimento (p.p.)**



**CASSETTA 1**

*Campioni di terreno estratti a profondità compresa tra 0,00 e 5,00 m da p.p.*

**CASSETTA 2**

*Campioni di terreno estratti a profondità compresa tra 5,00 e 10,00 m da p.p.*



**CASSETTA 3**

*Campioni di terreno estratti a profondità compresa tra 10,00 e 15,00 m da p.p.*





**SONDAGGIO S.3 (22.01.2021) – Pavia (PV), “ex depuratore” – Via Adelchi Negri 13**

**Fotografie cassette catalogatrici da 0 a 15 m da piano pavimento (p.p.)**



**CASSETTA 1**

*Campioni di terreno estratti a profondità compresa tra 0,00 e 5,00 m da p.p.*

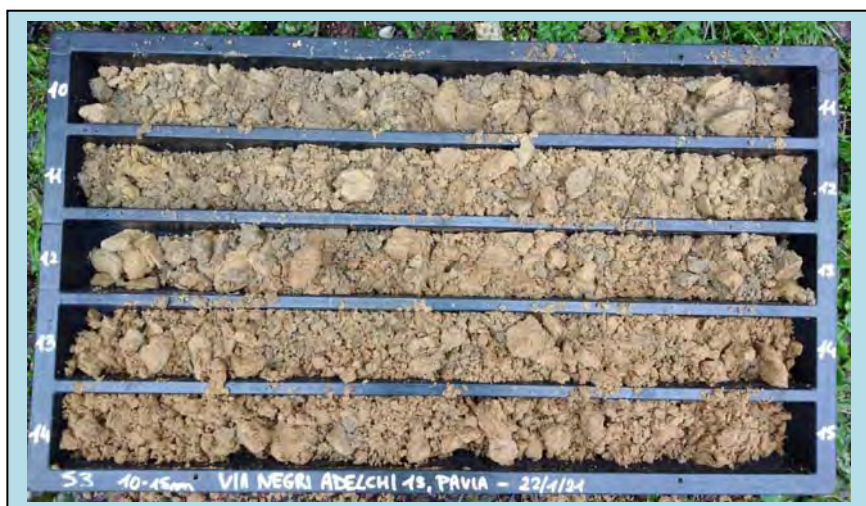
**CASSETTA 2**

*Campioni di terreno estratti a profondità compresa tra 5,00 e 10,00 m da p.p.*



**CASSETTA 3**

*Campioni di terreno estratti a profondità compresa tra 10,00 e 15,00 m da p.p.*



ALLEGATO 4

**TABULATI E GRAFICI  
DELLE PROVE S.P.T.  
IN FORO DI SONDAGGIO**

### SONDAGGIO A CAROTAGGIO CONTINUO S.1

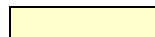
PROFONDITA' da piano pavimento		N <sub>spt</sub> (punta conica)		
da metri	a metri	15 cm	30 cm	45 cm
1,50	1,95	05	04	06
3,00	3,45	17	20	22
4,50	4,95	19	16	14
6,00	6,45	17	13	15
7,50	7,95	16	17	19
9,00	9,45	07	07	10
10,50	10,95	07	07	08
12,00	12,45	07	09	10
13,50	13,95	08	10	11
15,00	15,45	06	07	12



*Comportamento geotecnico prevalentemente granulare*



*Comportamento geotecnico misto granulare - coesivo*



*Comportamento geotecnico prevalentemente coesivo*

1848\_19\_spt\_S1\_tabella.doc

<p>Lybra ambiente e territorio s.r.l. Via E. Cavaglia 5 – 20139 Milano Tel +39 02 45470559 Fax +39 02 45470691</p>	<p>P.IVA 04922490968 Cap. Soc. € 30.000,00 i.v. e-mail <a href="mailto:info@lybra-at.it">info@lybra-at.it</a> PEC <a href="mailto:lybra@gigapec.it">lybra@gigapec.it</a> <a href="http://www.lybra-at.com">www.lybra-at.com</a></p>	<p>Società certificata ISO 9001-2015 da Rina SpA n° 34244/16/S</p>
--	---	--



Località indagine: Pavia "ex Necchi" – Viale della Repubblica

Sondaggio S.1 – prove S.P.T.

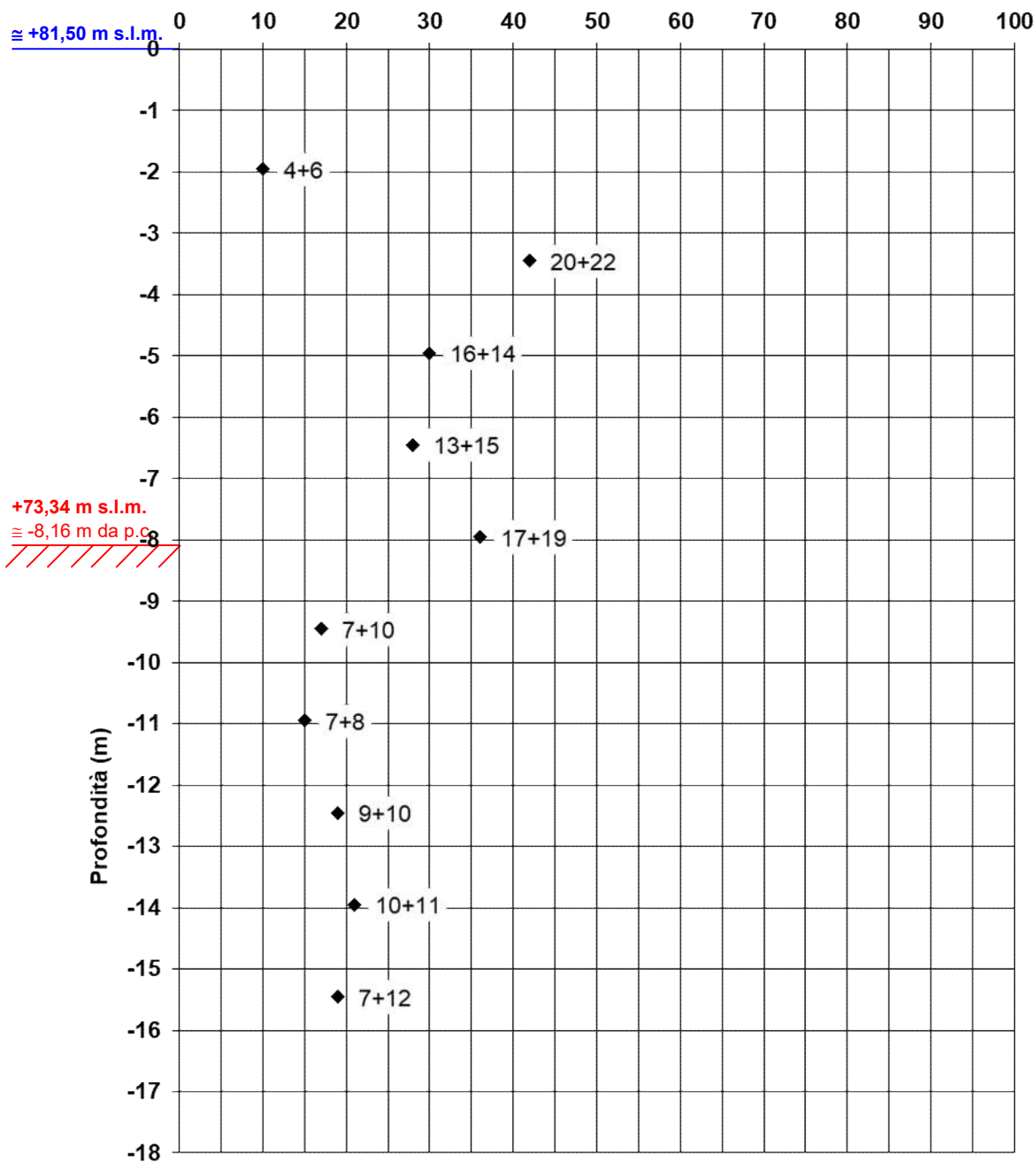
Committente: PV01.RE S.r.l.

Data: 21.01.2021

Quota di riferimento inizio prova: piano campagna locale ( $\cong +81,50$  m s.l.m.)

Quota imposta fondazioni:  $\cong -8,16$  m da p.c. (+73,34 m s.l.m.)

Numero di colpi per 30 cm <sub>(15+15)</sub> di affondamento



PROVE S.P.T. (STANDARD PENETRATION TEST) CON PUNTA CONICA: *Maglio 63.5 kg - Volata 76 cm*

### SONDAGGIO A CAROTAGGIO CONTINUO S.2

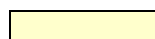
PROFONDITA' da piano pavimento		N <sub>spt</sub> (punta conica)		
da metri	a metri	15 cm	30 cm	45 cm
1,50	1,53 (R)	50/3 cm	-	-
3,00	3,45	15	20	27
4,50	4,95	20	24	21
6,00	6,45	10	11	12
7,50	7,95	08	16	24
9,00	9,45	15	15	15
10,50	10,95	10	17	11
		N <sub>spt</sub> (campionatore Raymond)		
12,00	12,45	02	02	02
13,50	13,95	02	03	04
15,00	15,45	03	03	03



*Comportamento geotecnico prevalentemente granulare*



*Comportamento geotecnico misto granulare - coesivo*



*Comportamento geotecnico prevalentemente coesivo*

1848\_19\_spt\_S2\_tabella.doc

Lybra ambiente e territorio s.r.l. Via E. Cavaglia 5 – 20139 Milano Tel +39 02 45470559 Fax +39 02 45470691	P.IVA 04922490968 Cap. Soc. € 30.000,00 i.v. e-mail <a href="mailto:info@lybra-at.it">info@lybra-at.it</a> PEC <a href="mailto:lybra@gigapec.it">lybra@gigapec.it</a> <a href="http://www.lybra-at.com">www.lybra-at.com</a>	Società certificata ISO 9001-2015 da Rina SpA n° 34244/16/S
--	--	---

Località indagine: Pavia "ex Necchi" – Viale della Repubblica

Sondaggio S.2 – prove S.P.T.

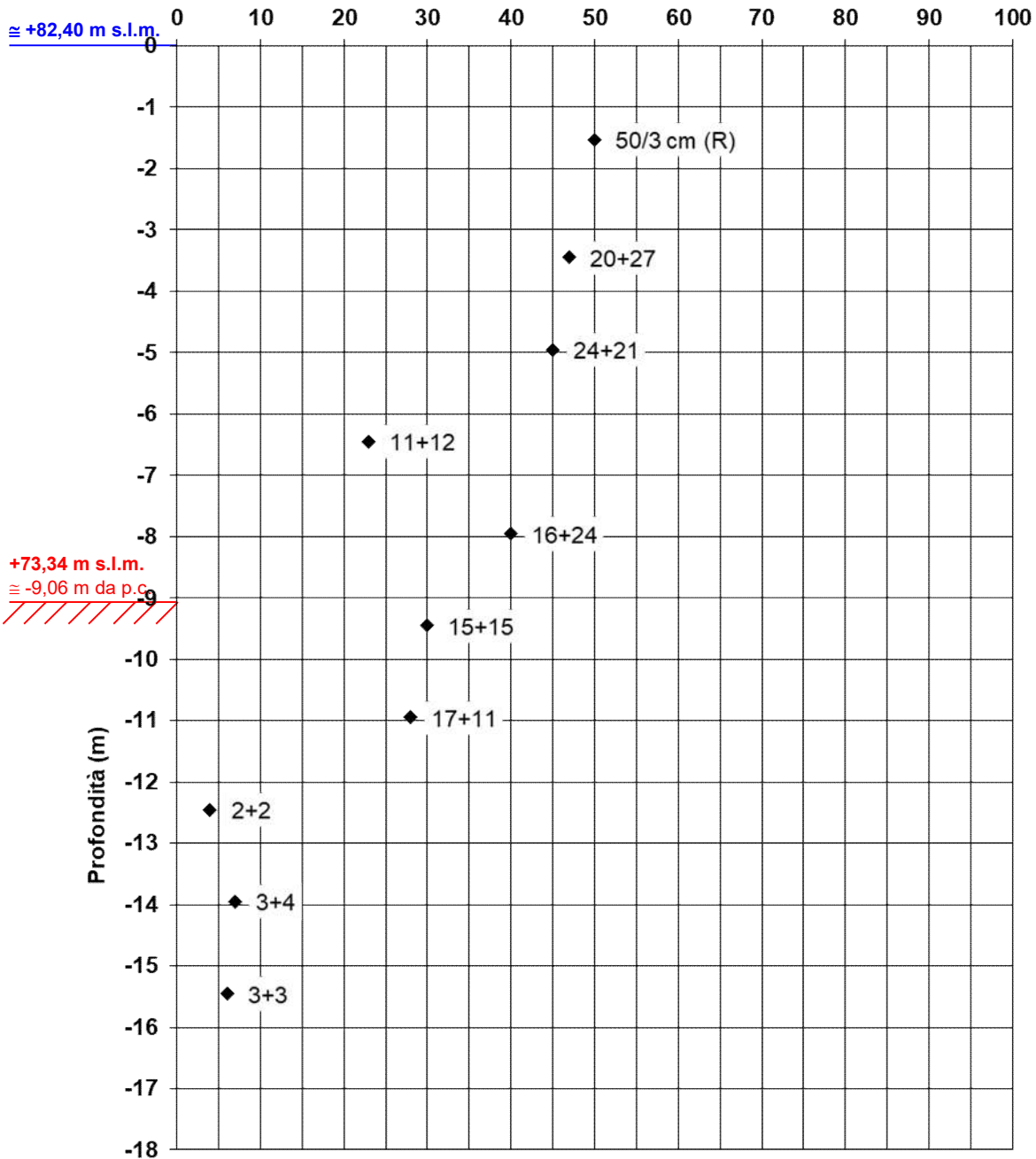
Committente: PV01.RE S.r.l.

Data: 20.01.2021

Quota di riferimento inizio prova: piano campagna locale ( $\cong +82,40$  m s.l.m.)

Quota imposta fondazioni:  $\cong -9,06$  m da p.c. (+73,34 m s.l.m.)

Numero di colpi per 30 cm <sub>(15+15)</sub> di affondamento



PROVE S.P.T. (STANDARD PENETRATION TEST) CON PUNTA CONICA: *Maglio 63.5 kg - Volata 76 cm*

### SONDAGGIO A CAROTAGGIO CONTINUO S.3

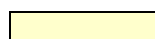
PROFONDITA' da piano pavimento		N <sub>spt</sub> (punta conica)		
da metri	a metri	15 cm	30 cm	45 cm
1,50	1,95	03	03	03
3,00	3,45	08	09	12
4,50	4,95	03	03	03
		N <sub>spt</sub> (campionatore Raymond)		
6,00	6,45	03	03	05
7,50	7,95	07	11	12
		N <sub>spt</sub> (punta conica)		
9,00	9,45	04	09	12
10,50	10,95	13	20	15
12,00	12,45	10	17	18
13,50	13,95	09	15	16
15,00	15,45	05	13	20



*Comportamento geotecnico prevalentemente granulare*



*Comportamento geotecnico misto granulare - coesivo*



*Comportamento geotecnico prevalentemente coesivo*

1848\_19\_spt\_S3\_tabella.doc

Lybra ambiente e territorio s.r.l. Via E. Cavaglia 5 – 20139 Milano Tel +39 02 45470559 Fax +39 02 45470691	P.IVA 04922490968 Cap. Soc. € 30.000,00 i.v. e-mail <a href="mailto:info@lybra-at.it">info@lybra-at.it</a> PEC <a href="mailto:lybra@gigapec.it">lybra@gigapec.it</a> <a href="http://www.lybra-at.com">www.lybra-at.com</a>	Società certificata ISO 9001-2015 da Rina SpA n° 34244/16/S
--	--	---



Località indagine: Pavia "ex Necchi" – Viale della Repubblica

Sondaggio S.3 – prove S.P.T.

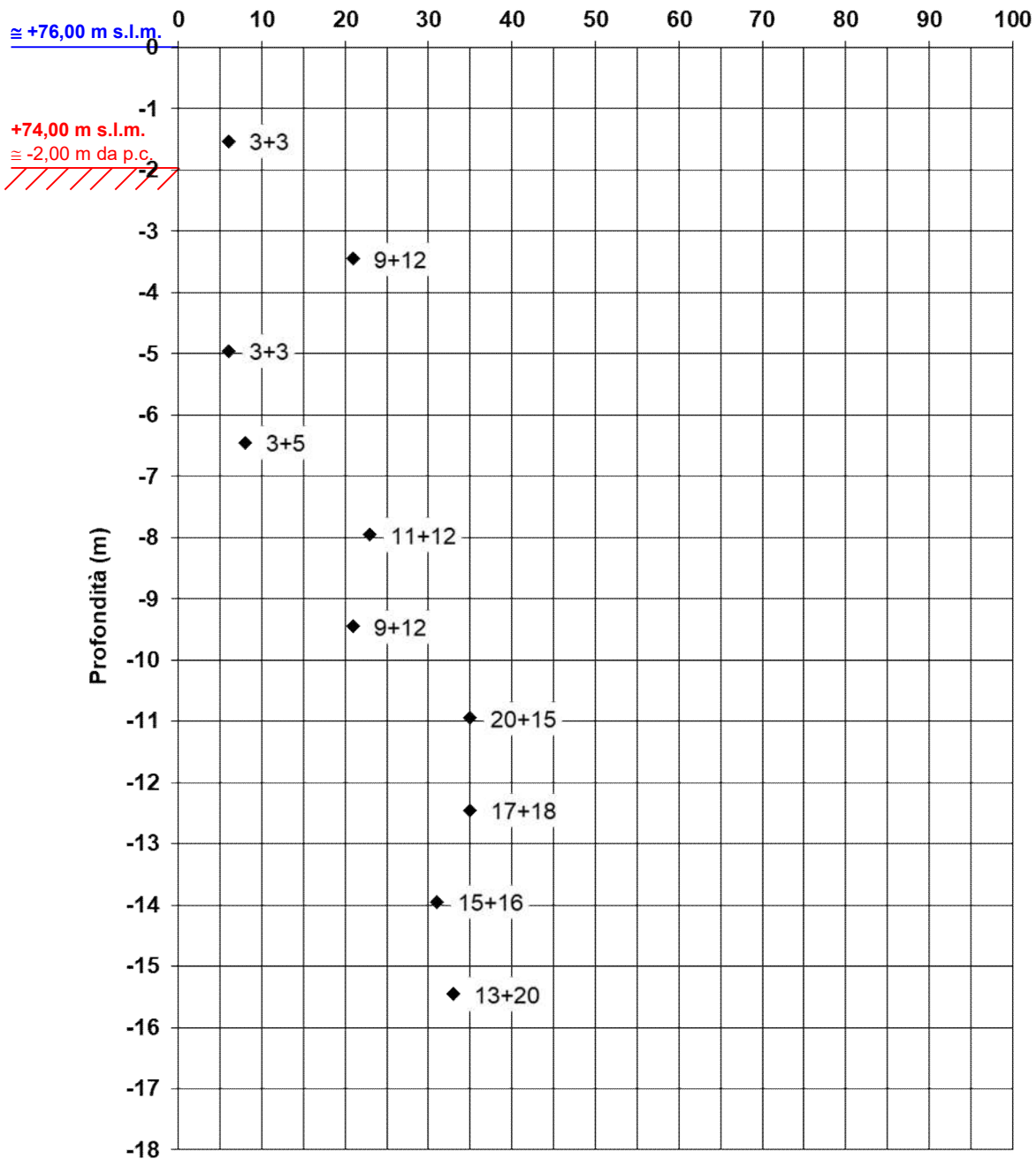
Committente: PV01.RE S.r.l.

Data: 22.01.2021

Quota di riferimento inizio prova: piano campagna locale ( $\cong +76,00$  m s.l.m.)

Quota imposta fondazioni:  $\cong -2,00$  m da p.c. ( $+74,00$  m s.l.m.)

Numero di colpi per 30 cm <sub>(15+15)</sub> di affondamento



PROVE S.P.T. (STANDARD PENETRATION TEST) CON PUNTA CONICA: *Maglio 63.5 kg - Volata 76 cm*

ALLEGATO 5

**TABULATI E GRAFICI DELLE  
PROVE PENETROMETRICHE  
DINAMICHE S.C.P.T.**

	PUNTA	PROF.		RIVEST.	PROF.
		0.00			0.00
	5	-0.30		1	-0.30
	2	-0.60		2	-0.60
	1	-0.90		2	-0.90
	2	-1.20		3	-1.20
	1	-1.50		2	-1.50
	2	-1.80		3	-1.80
	8	-2.10		4	-2.10
	9	-2.40		3	-2.40
	7	-2.70		4	-2.70
	12	-3.00		4	-3.00
	9	-3.30		5	-3.30
	11	-3.60		6	-3.60
	10	-3.90		6	-3.90
	11	-4.20		7	-4.20
	9	-4.50		6	-4.50
	7	-4.80		6	-4.80
	9	-5.10		8	-5.10
	10	-5.40		7	-5.40
	11	-5.70		6	-5.70
	10	-6.00		6	-6.00
	11	-6.30		7	-6.30
	10	-6.60		8	-6.60
	12	-6.90		8	-6.90
	12	-7.20		7	-7.20
	10	-7.50		8	-7.50
	8	-7.80		9	-7.80
	7	-8.10		9	-8.10
	6	-8.40		10	-8.40
	6	-8.70		11	-8.70
	5	-9.00		11	-9.00
	6	-9.30		10	-9.30
	6	-9.60		11	-9.60
	10	-9.90		10	-9.90
	9	-10.20		12	-10.20
	11	-10.50		10	-10.50
	10	-10.80		13	-10.80
	12	-11.10		12	-11.10
	6	-11.40		12	-11.40
	6	-11.70		13	-11.70
	5	-12.00		14	-12.00
	10	-12.30		15	-12.30
	8	-12.60		16	-12.60
	6	-12.90		15	-12.90
	7	-13.20		14	-13.20
	5	-13.50		13	-13.50
	10	-13.80		16	-13.80
	12	-14.10		16	-14.10
	10	-14.40		15	-14.40
	11	-14.70		17	-14.70
	14	-15.00		16	-15.00
	16	-15.30		16	-15.30
	16	-15.60		18	-15.60
	20	-15.90		17	-15.90
	17	-16.20			-16.20
	18	-16.50			-16.50

Località indagine: Pavia "ex Necchi" – Viale della Repubblica

**Prova SCPT - P.1**

Committente: PV01.RE S.r.l.

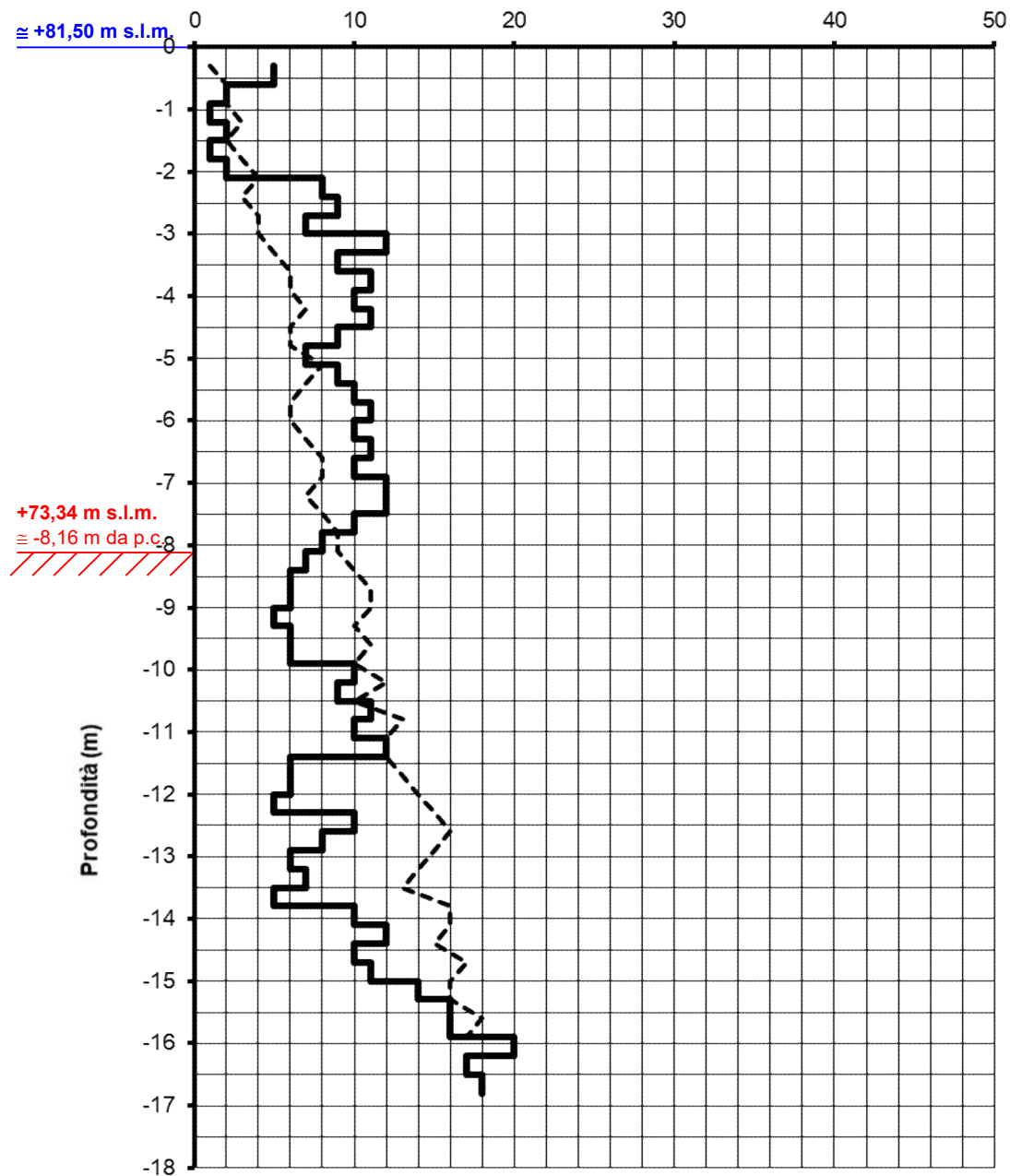
Data: 21.01.2021

Quota di riferimento inizio prova: piano campagna locale ( $\cong +81,50$  m s.l.m.)

Quota imposta fondazioni:  $\cong -8,16$  m da p.c. (+73,34 m s.l.m.)

Quota falda: non rilevata (foro franato)

Numero di colpi per 30 cm di affondamento



PENETROMETRO DINAMICO S.C.P.T. (STANDARD CONE PENETRATION TEST):  
Punta conica 60°;  $\phi$  51 mm - Maglio 73 kg - Volata 75 cm

———— PUNTA  
- - - - RIVESTIMENTO



	PUNTA	PROF.		RIVEST.	PROF.
		0.00			0.00
	7	-0.30		2	-0.30
	6	-0.60		2	-0.60
	3	-0.90		2	-0.90
	3	-1.20		3	-1.20
	2	-1.50		3	-1.50
	2	-1.80		4	-1.80
	3	-2.10		3	-2.10
	4	-2.40		4	-2.40
	4	-2.70		4	-2.70
	5	-3.00		5	-3.00
	10	-3.30		4	-3.30
	10	-3.60		6	-3.60
	10	-3.90		6	-3.90
	11	-4.20		5	-4.20
	8	-4.50		6	-4.50
	5	-4.80		6	-4.80
	10	-5.10		7	-5.10
	12	-5.40		6	-5.40
	12	-5.70		8	-5.70
	11	-6.00		7	-6.00
	10	-6.30		8	-6.30
	11	-6.60		8	-6.60
	8	-6.90		9	-6.90
	13	-7.20		8	-7.20
	12	-7.50		8	-7.50
	10	-7.80		9	-7.80
	10	-8.10		10	-8.10
	6	-8.40		9	-8.40
	7	-8.70		9	-8.70
	10	-9.00		8	-9.00
	6	-9.30		9	-9.30
	3	-9.60		10	-9.60
	5	-9.90		11	-9.90
	17	-10.20		11	-10.20
	18	-10.50		12	-10.50
	16	-10.80		13	-10.80
	11	-11.10		13	-11.10
	7	-11.40		12	-11.40
	6	-11.70		15	-11.70
	11	-12.00		13	-12.00
	12	-12.30		12	-12.30
	13	-12.60		13	-12.60
	14	-12.90		15	-12.90
	6	-13.20		16	-13.20
	5	-13.50		13	-13.50
	5	-13.80		12	-13.80
	12	-14.10		10	-14.10
	11	-14.40		13	-14.40
	16	-14.70		15	-14.70
	15	-15.00		12	-15.00
	12	-15.30		12	-15.30
	12	-15.60		13	-15.60
	18	-15.90		15	-15.90
	17	-16.20		16	-16.20
	19	-16.50			-16.50

Località indagine: Pavia "ex Necchi" – Viale della Repubblica

**Prova SCPT - P.2**

Committente: PV01.RE S.r.l.

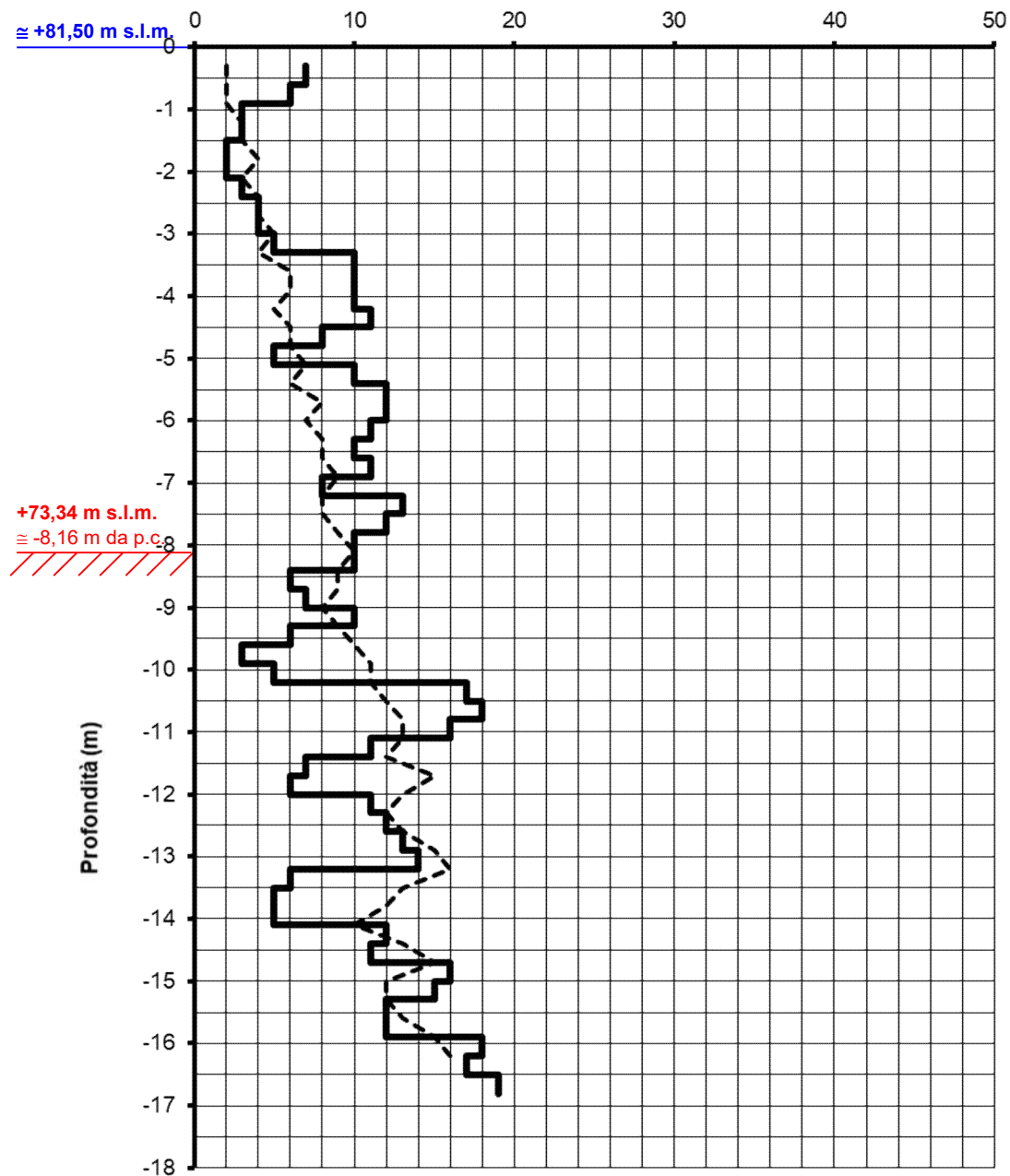
Data: 21.01.2021

Quota di riferimento inizio prova: piano campagna locale ( $\cong +81,50$  m s.l.m.)

Quota imposta fondazioni:  $\cong -8,16$  m da p.c. (+73,34 m s.l.m.)

Quota falda: non rilevata (foro franato)

**Numero di colpi per 30 cm di affondamento**



PENETROMETRO DINAMICO S.C.P.T. (STANDARD CONE PENETRATION TEST):  
 Punta conica 60°;  $\phi$  51 mm - Maglio 73 kg - Volata 75 cm

———— PUNTA  
 - - - - RIVESTIMENTO

	PUNTA	PROF.		RIVEST.	PROF.
		0.00			0.00
	29	-0.30		2	-0.30
	3	-0.60		2	-0.60
	2	-0.90		3	-0.90
	1	-1.20		2	-1.20
	2	-1.50		3	-1.50
	2	-1.80		4	-1.80
	6	-2.10		4	-2.10
	8	-2.40		5	-2.40
	10	-2.70		6	-2.70
	11	-3.00		6	-3.00
	11	-3.30		5	-3.30
	8	-3.60		6	-3.60
	9	-3.90		7	-3.90
	10	-4.20		6	-4.20
	14	-4.50		6	-4.50
	13	-4.80		8	-4.80
	11	-5.10		7	-5.10
	10	-5.40		8	-5.40
	8	-5.70		8	-5.70
	10	-6.00		7	-6.00
	8	-6.30		6	-6.30
	10	-6.60		8	-6.60
	13	-6.90		8	-6.90
	10	-7.20		9	-7.20
	10	-7.50		8	-7.50
	9	-7.80		9	-7.80
	10	-8.10		9	-8.10
	10	-8.40		10	-8.40
	9	-8.70		9	-8.70
	8	-9.00		9	-9.00
	9	-9.30		8	-9.30
	8	-9.60		9	-9.60
	7	-9.90		10	-9.90
	7	-10.20		9	-10.20
	6	-10.50		10	-10.50
	6	-10.80		11	-10.80
	5	-11.10		11	-11.10
	5	-11.40		10	-11.40
	7	-11.70		12	-11.70
	8	-12.00		10	-12.00
	14	-12.30		13	-12.30
	12	-12.60		12	-12.60
	12	-12.90		12	-12.90
	11	-13.20		13	-13.20
	14	-13.50		14	-13.50
	13	-13.80		13	-13.80
	12	-14.10		13	-14.10
	15	-14.40		15	-14.40
	15	-14.70		16	-14.70
	10	-15.00		14	-15.00
	11	-15.30		15	-15.30
	17	-15.60		15	-15.60
	21	-15.90		17	-15.90
	20	-16.20		16	-16.20
	23	-16.50			-16.50

Località indagine: Pavia "ex Necchi" – Viale della Repubblica

**Prova SCPT - P.3**

Committente: PV01.RE S.r.l.

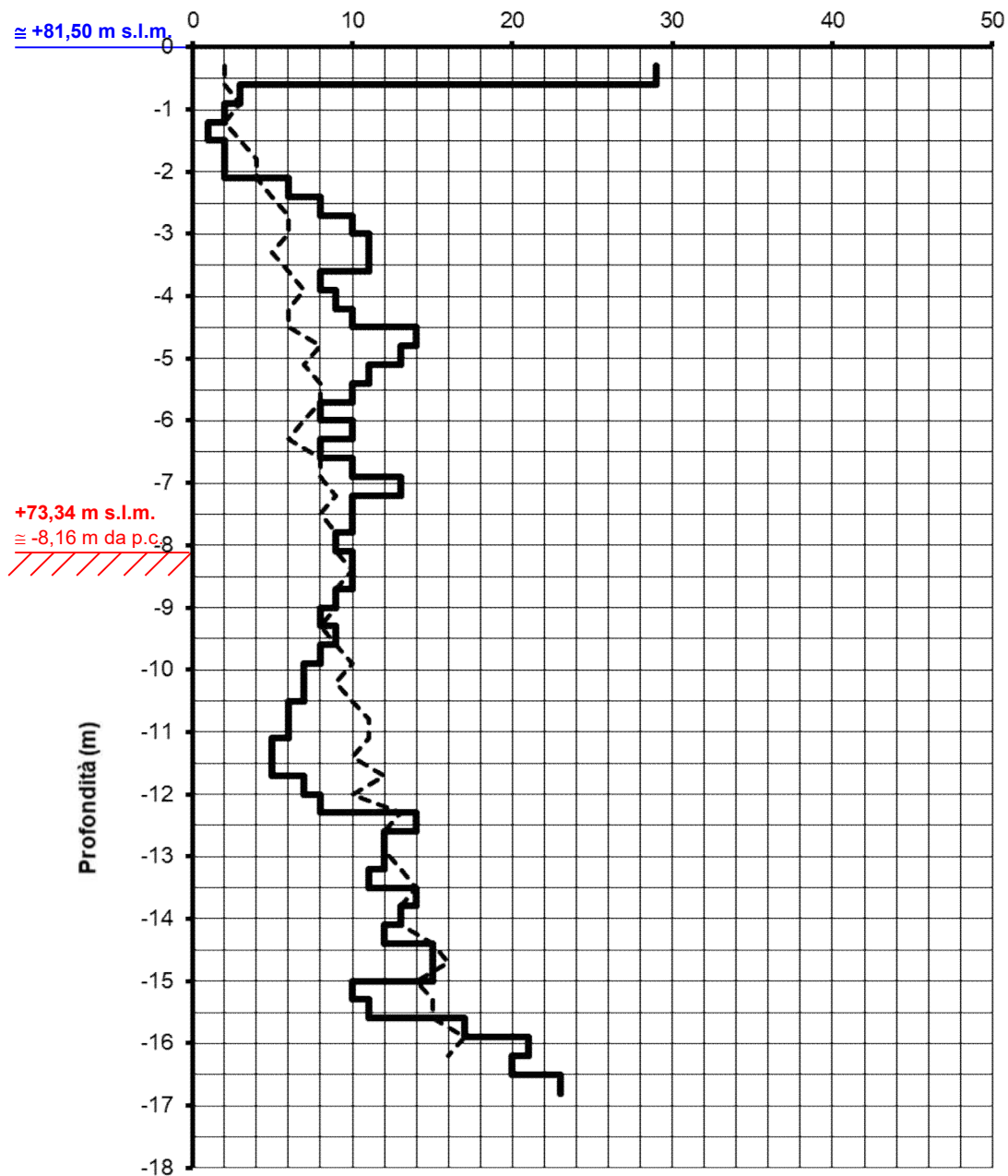
Data: 21.01.2021

Quota di riferimento inizio prova: piano campagna locale ( $\cong +81,50$  m s.l.m.)

Quota imposta fondazioni:  $\cong -8,16$  m da p.c. (+73,34 m s.l.m.)

Quota falda: non rilevata (foro franato)

Numero di colpi per 30 cm di affondamento



PENETROMETRO DINAMICO S.C.P.T. (STANDARD CONE PENETRATION TEST):  
 Punta conica 60°;  $\phi$  51 mm - Maglio 73 kg - Volata 75 cm

— PUNTA  
 - - - RIVESTIMENTO



	PUNTA	PROF.		RIVEST.	PROF.
		0.00			0.00
	6	-0.30		1	-0.30
	4	-0.60		2	-0.60
	2	-0.90		2	-0.90
	3	-1.20		3	-1.20
	2	-1.50		4	-1.50
	4	-1.80		3	-1.80
	3	-2.10		4	-2.10
	17	-2.40		4	-2.40
	22	-2.70		5	-2.70
	13	-3.00		4	-3.00
	17	-3.30		6	-3.30
	14	-3.60		5	-3.60
	16	-3.90		6	-3.90
	14	-4.20		6	-4.20
	12	-4.50		5	-4.50
	13	-4.80		7	-4.80
	12	-5.10		6	-5.10
	14	-5.40		6	-5.40
	10	-5.70		8	-5.70
	10	-6.00		7	-6.00
	14	-6.30		8	-6.30
	13	-6.60		8	-6.60
	13	-6.90		9	-6.90
	15	-7.20		8	-7.20
	16	-7.50		9	-7.50
	13	-7.80		10	-7.80
	12	-8.10		11	-8.10
	10	-8.40		9	-8.40
	6	-8.70		9	-8.70
	8	-9.00		10	-9.00
	11	-9.30		8	-9.30
	5	-9.60		8	-9.60
	8	-9.90		7	-9.90
	8	-10.20		9	-10.20
	8	-10.50		10	-10.50
	9	-10.80		11	-10.80
	6	-11.10		10	-11.10
	8	-11.40		10	-11.40
	8	-11.70		12	-11.70
	6	-12.00		12	-12.00
	6	-12.30		11	-12.30
	7	-12.60		13	-12.60
	6	-12.90		12	-12.90
	7	-13.20		13	-13.20
	7	-13.50		13	-13.50
	8	-13.80		12	-13.80
	7	-14.10		14	-14.10
	9	-14.40		14	-14.40
	11	-14.70		15	-14.70
	14	-15.00		13	-15.00
	13	-15.30		12	-15.30
	16	-15.60		13	-15.60
	18	-15.90		15	-15.90
	18	-16.20			-16.20
	17	-16.50			-16.50

Località indagine: Pavia "ex Necchi" – Viale della Repubblica

**Prova SCPT - P.4**

Committente: PV01.RE S.r.l.

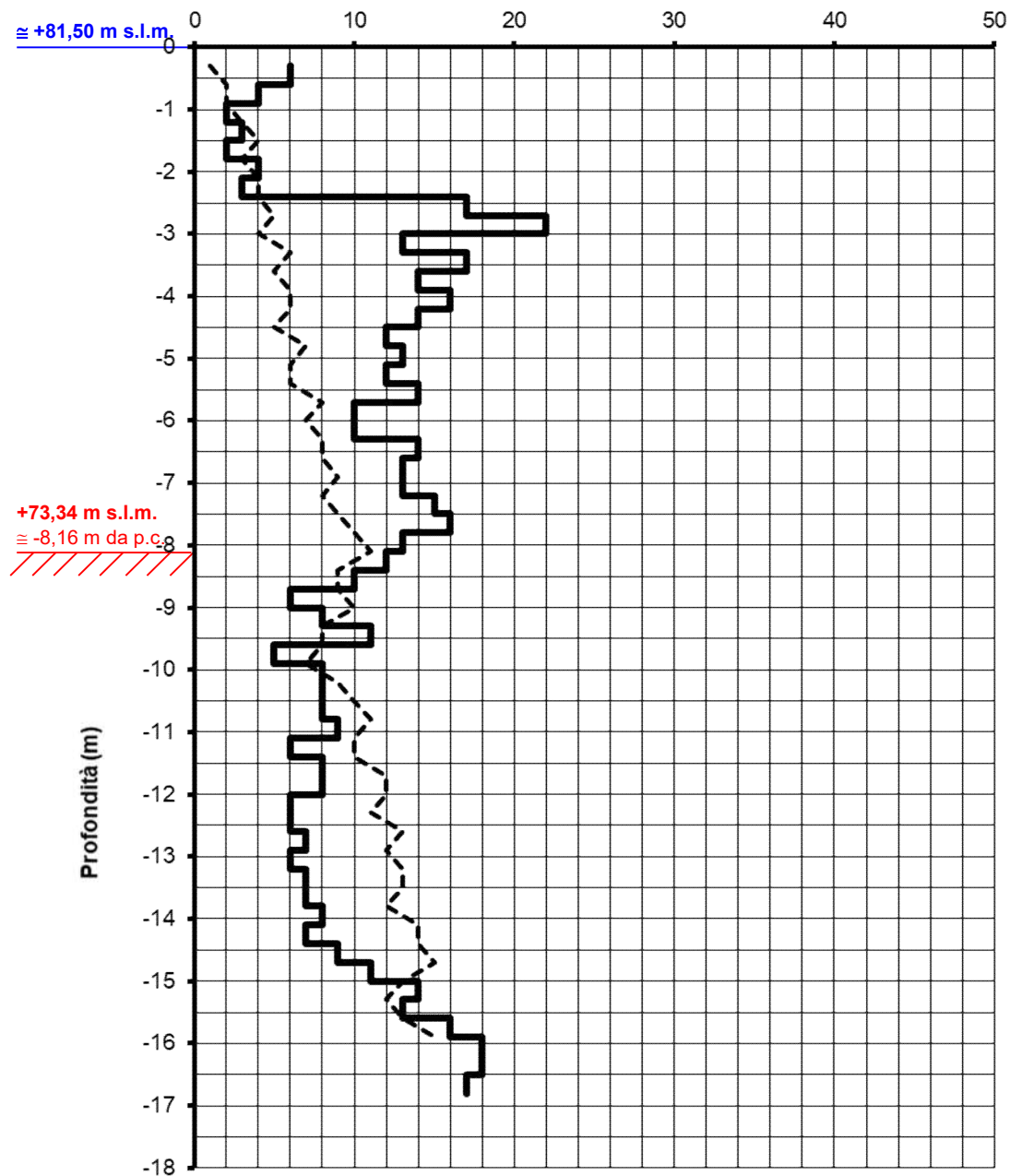
Data: 21.01.2021

Quota di riferimento inizio prova: piano campagna locale ( $\cong +81,50$  m s.l.m.)

Quota imposta fondazioni:  $\cong -8,16$  m da p.c. (+73,34 m s.l.m.)

Quota falda: non rilevata (foro franato)

**Numero di colpi per 30 cm di affondamento**



PENETROMETRO DINAMICO S.C.P.T. (STANDARD CONE PENETRATION TEST):  
 Punta conica 60°;  $\phi$  51 mm - Maglio 73 kg - Volata 75 cm

— PUNTA  
 - - - RIVESTIMENTO

	PUNTA	PROF.		RIVEST.	PROF.
		0.00			0.00
	16	-0.30		1	-0.30
	7	-0.60		2	-0.60
	3	-0.90		2	-0.90
	27	-1.20		3	-1.20
	6	-1.50		2	-1.50
	5	-1.80		3	-1.80
	6	-2.10		3	-2.10
	4	-2.40		4	-2.40
	5	-2.70		3	-2.70
	10	-3.00		4	-3.00
	10	-3.30		5	-3.30
	12	-3.60		6	-3.60
	11	-3.90		6	-3.90
	10	-4.20		7	-4.20
	10	-4.50		6	-4.50
	16	-4.80		6	-4.80
	12	-5.10		8	-5.10
	14	-5.40		7	-5.40
	12	-5.70		8	-5.70
	10	-6.00		7	-6.00
	7	-6.30		8	-6.30
	11	-6.60		9	-6.60
	11	-6.90		9	-6.90
	12	-7.20		8	-7.20
	18	-7.50		8	-7.50
	15	-7.80		7	-7.80
	14	-8.10		9	-8.10
	16	-8.40		8	-8.40
	13	-8.70		9	-8.70
	15	-9.00		10	-9.00
	14	-9.30		11	-9.30
	11	-9.60		9	-9.60
	10	-9.90		9	-9.90
	7	-10.20		10	-10.20
	10	-10.50		11	-10.50
	11	-10.80		10	-10.80
	11	-11.10		10	-11.10
	10	-11.40		12	-11.40
	5	-11.70		15	-11.70
	5	-12.00		20	-12.00
	4	-12.30		22	-12.30
	5	-12.60		20	-12.60
	6	-12.90		24	-12.90
	8	-13.20		22	-13.20
	8	-13.50		25	-13.50
	6	-13.80		22	-13.80
	6	-14.10		24	-14.10
	5	-14.40		28	-14.40
	10	-14.70		30	-14.70
	12	-15.00		25	-15.00
	11	-15.30		32	-15.30
	13	-15.60		31	-15.60
	15	-15.90		30	-15.90
	16	-16.20			-16.20
	18	-16.50			-16.50

Località indagine: Pavia "ex Necchi" – Viale della Repubblica

**Prova SCPT - P.5**

Committente: PV01.RE S.r.l.

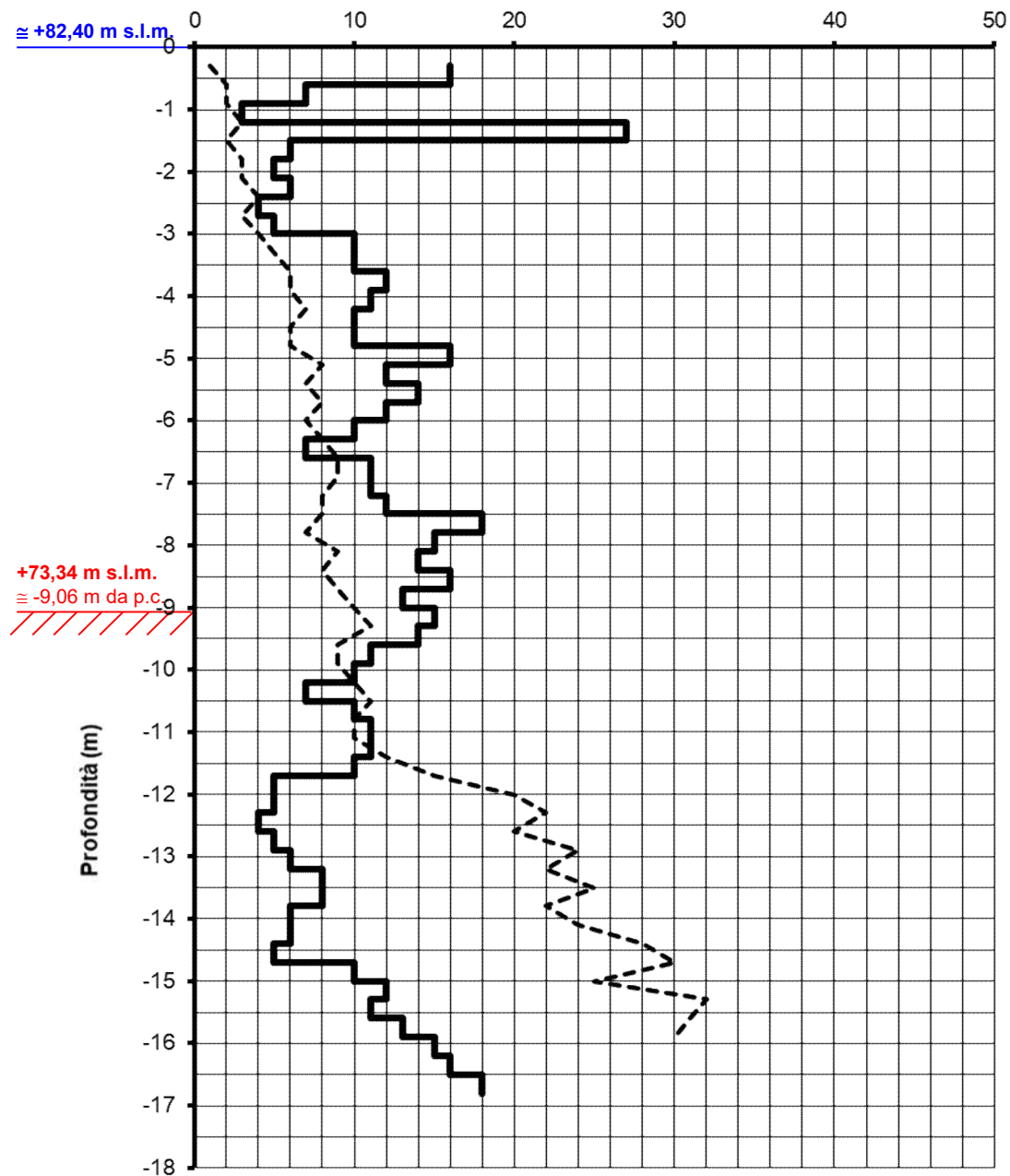
Data: 21.01.2021

Quota di riferimento inizio prova: piano campagna locale ( $\cong +82,40$  m s.l.m.)

Quota imposta fondazioni:  $\cong -9,06$  m da p.c. (+73,34 m s.l.m.)

Quota falda: non rilevata (foro franato)

Numero di colpi per 30 cm di affondamento



PENETROMETRO DINAMICO S.C.P.T. (STANDARD CONE PENETRATION TEST):  
 Punta conica 60°;  $\phi$  51 mm - Maglio 73 kg - Volata 75 cm

— PUNTA  
 - - - RIVESTIMENTO

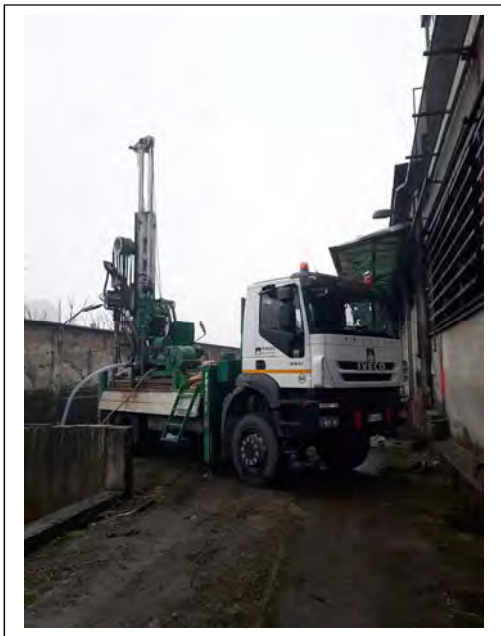


ALLEGATO 6

**FOTOGRAFIE DI  
TUTTI I PUNTI DI INDAGINE**

## **SONDAGGI GEOGNOSTICI (20-21-22/01/2021) - PAVIA**

**Viale della Repubblica c/o “ex Necchi Sud”  
Via Negri Adelchi n.13 c/o “ex Depuratore”**



**Sondaggio S.1 c/o “ex Necchi Sud”**



**Sondaggio S.2 c/o “ex Necchi Sud”**



**Sondaggio S.3 c/o “ex Depuratore”**

## **PROVE PENETROMETRICHE DINAMICHE (21/01/2021) - PAVIA**

**Viale della Repubblica c/o "ex Necchi Sud"**



**PROVA P.1**



**PROVA P.2**



**PROVA P.3**



**PROVA P.4**

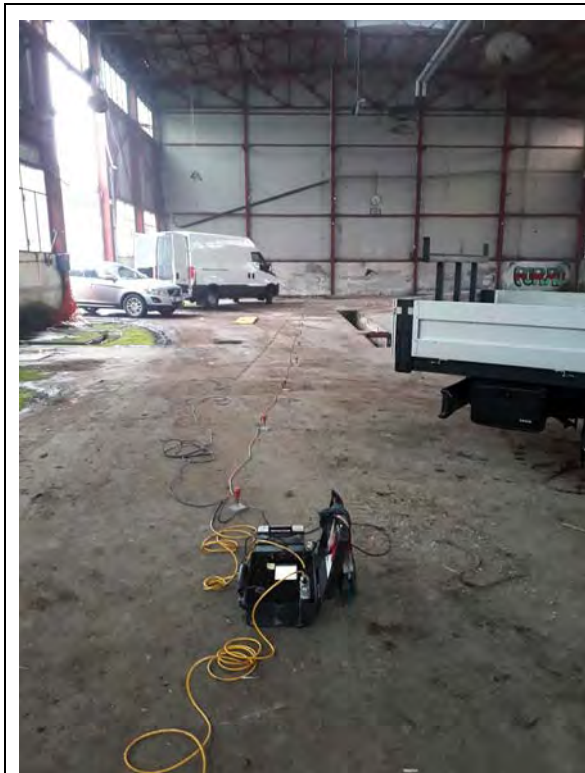


**PROVA P.5**



## **STENDIMENTO SISMICO MASW (21/01/2021)**

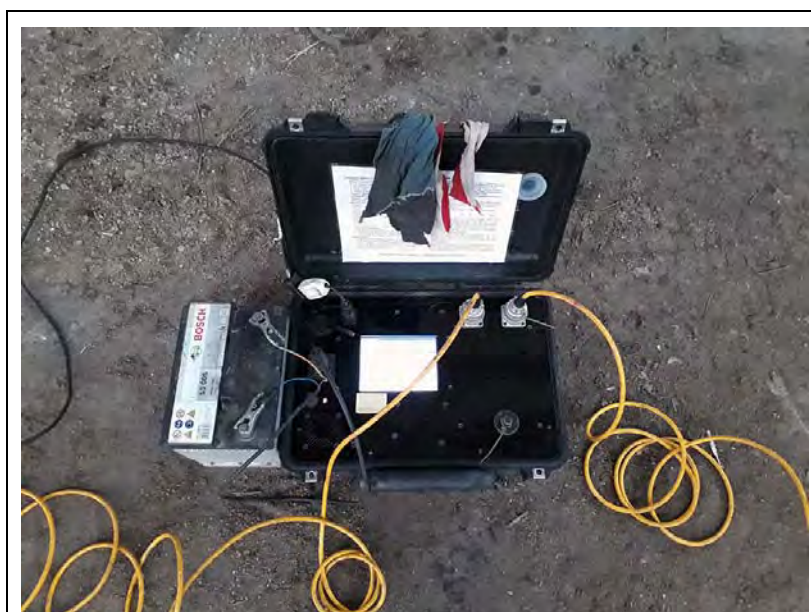
**Viale della Repubblica c/o "ex Necchi Sud"**



**MASW 1 (vista 1)**



**MASW 1 (vista 2)**



**SISMOGRAFO**

TAVOLA 1

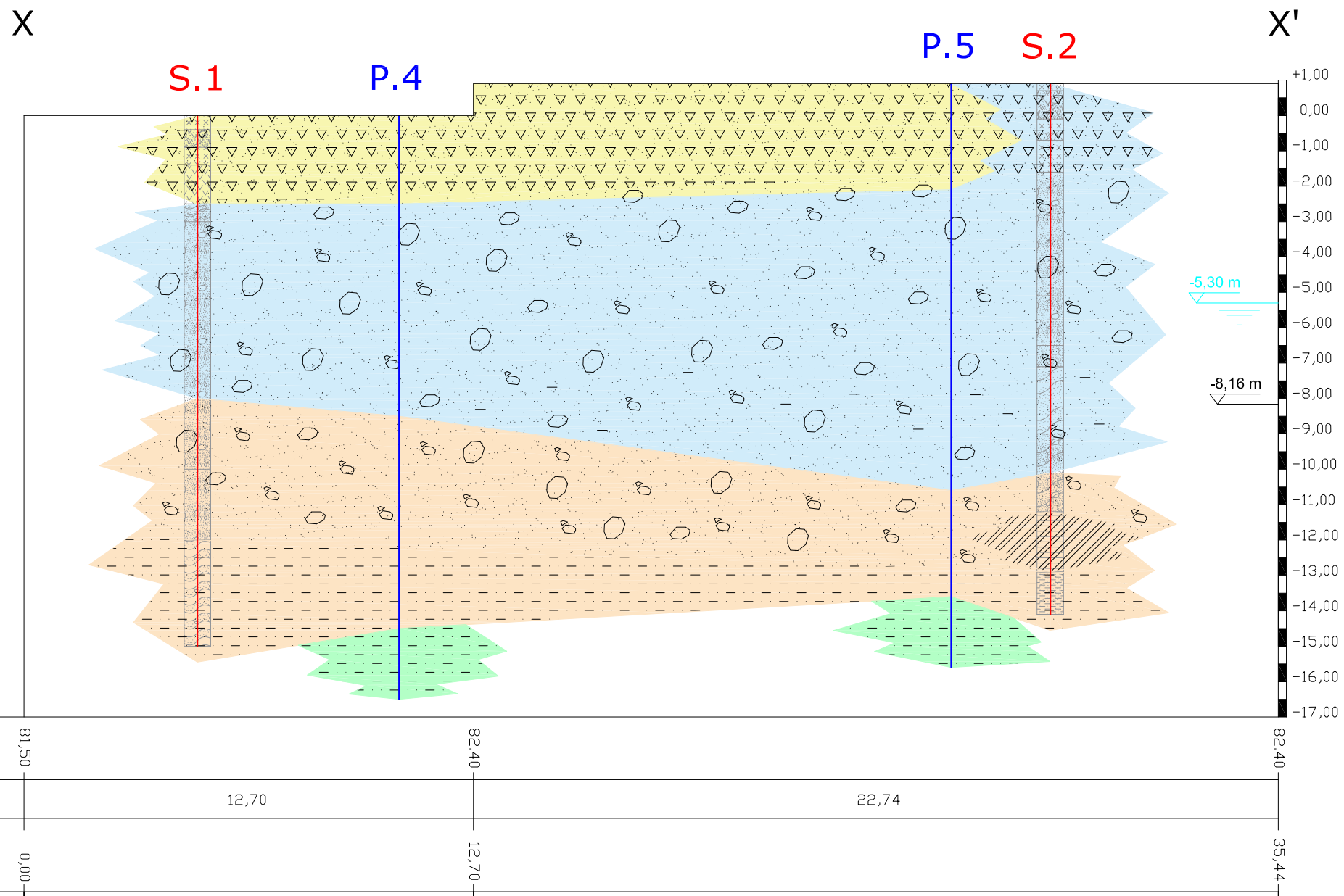
**PIANTA DI PROGETTO  
CON INDICATA L'UBICAZIONE  
DELLE INDAGINI ESEGUITE  
E LA TRACCIA DELLE SEZIONI  
GEOTECNICHE E STRATIGRAFICHE  
X-X', Y-Y'**





TAVOLA 2

**SEZIONE GEOTECNICA  
E STRATIGRAFICA X-X'**



### LEGENDA STRATIGRAFICA

- materiale di riporto
- argilla
- limo
- sabbia
- ghiaietto e ghiaia

### SIMBOLI

- S.1 sondaggio a carotaggio continuo
- 8,16 m quota imposta fondazioni (sottopasso ferroviario) + 73,34 m s.l.m.
- 5,30 m quota falda libera (sospesa) (lettura del 21/01/2021)

### LEGENDA GEOTECNICA

- |  |  |
|--|--|
| <p><b>STRATO GEOTECNICO A</b><br/> <i>Materiale di riporto seguito da sabbie prevalenti con subordinate ghiaie.</i><br/> <b>Grado di addensamento/consistenza</b><br/> <i>Molto sciolto.</i><br/> <b>Parametri geotecnici</b><br/> <math>N_{spt\ medio} = 4</math>; <math>Dr = 30-35\%</math><br/> <math>\phi_m = 26^\circ</math>; <math>\phi_k = 23^\circ</math><br/> <math>E_{y\ m} = 3\ MPa</math>; <math>E_{y\ k} = 2,7\ MPa</math><br/> <math>E_{ed\ m} = 17\ MPa</math>; <math>E_{ed\ k} = 15\ MPa</math><br/> <math>\gamma_{nat} = 16-17\ kN/m^3</math>; <math>\gamma_{sat} = 17-18\ kN/m^3</math></p>  | <p><b>STRATO GEOTECNICO C</b><br/> <i>Sabbie prevalenti con subordinate ghiaie a tratti in debole matrice limosa passanti a sabbie limose/torbose, limi argillosi e localmente argille.</i><br/> <b>Grado di addensamento/consistenza</b><br/> <i>Sciolto.</i><br/> <b>Parametri geotecnici</b><br/> <math>N_{spt\ medio} = 8</math>; <math>Dr = 30-35\%</math><br/> <math>\phi_m = 28^\circ</math>; <math>\phi_k = 25^\circ</math><br/> <math>E_{y\ m} = 5\ MPa</math>; <math>E_{y\ k} = 4\ MPa</math><br/> <math>E_{ed\ m} = 34\ MPa</math>; <math>E_{ed\ k} = 30\ MPa</math><br/> <math>\gamma_{nat} = 17-18\ kN/m^3</math>; <math>\gamma_{sat} = 10\ kN/m^3</math></p> |
| <p><b>STRATO GEOTECNICO B</b><br/> <i>Sabbie prevalenti con subordinate ghiaie a tratti in debole matrice limosa.</i><br/> <b>Grado di addensamento/consistenza</b><br/> <i>Da mediamente addensato ad addensato.</i><br/> <b>Parametri geotecnici</b><br/> <math>N_{spt\ medio} = 18</math>; <math>Dr = 50-60\%</math><br/> <math>\phi_m = 31^\circ</math>; <math>\phi_k = 28^\circ</math><br/> <math>E_{y\ m} = 16\ MPa</math>; <math>E_{y\ k} = 14\ MPa</math><br/> <math>E_{ed\ m} = 68\ MPa</math>; <math>E_{ed\ k} = 60\ MPa</math><br/> <math>\gamma_{nat} = 18-20\ kN/m^3</math>; <math>\gamma_{sat} = 19-21\ kN/m^3</math><br/> <math>\gamma_{sat} = 10\ kN/m^3</math> (in falda)</p> | <p><b>STRATO GEOTECNICO D</b><br/> <i>Sabbie limose/torbose, limi argillosi e localmente argille.</i><br/> <b>Grado di addensamento/consistenza</b><br/> <i>Mediamente addensato.</i><br/> <b>Parametri geotecnici</b><br/> <math>N_{spt\ medio} = 15</math>; <math>Dr = 40-45\%</math><br/> <math>\phi_m = 31^\circ</math>; <math>\phi_k = 27^\circ</math><br/> <math>E_{y\ m} = 10\ MPa</math>; <math>E_{y\ k} = 9\ MPa</math><br/> <math>E_{ed\ m} = 58\ MPa</math>; <math>E_{ed\ k} = 52\ MPa</math><br/> <math>\gamma_{nat} = 18-19\ kN/m^3</math>; <math>\gamma_{sat} = 10\ kN/m^3</math></p>  |



**CITTA' METROPOLITANA DI PAVIA**  
**COMUNE DI PAVIA**

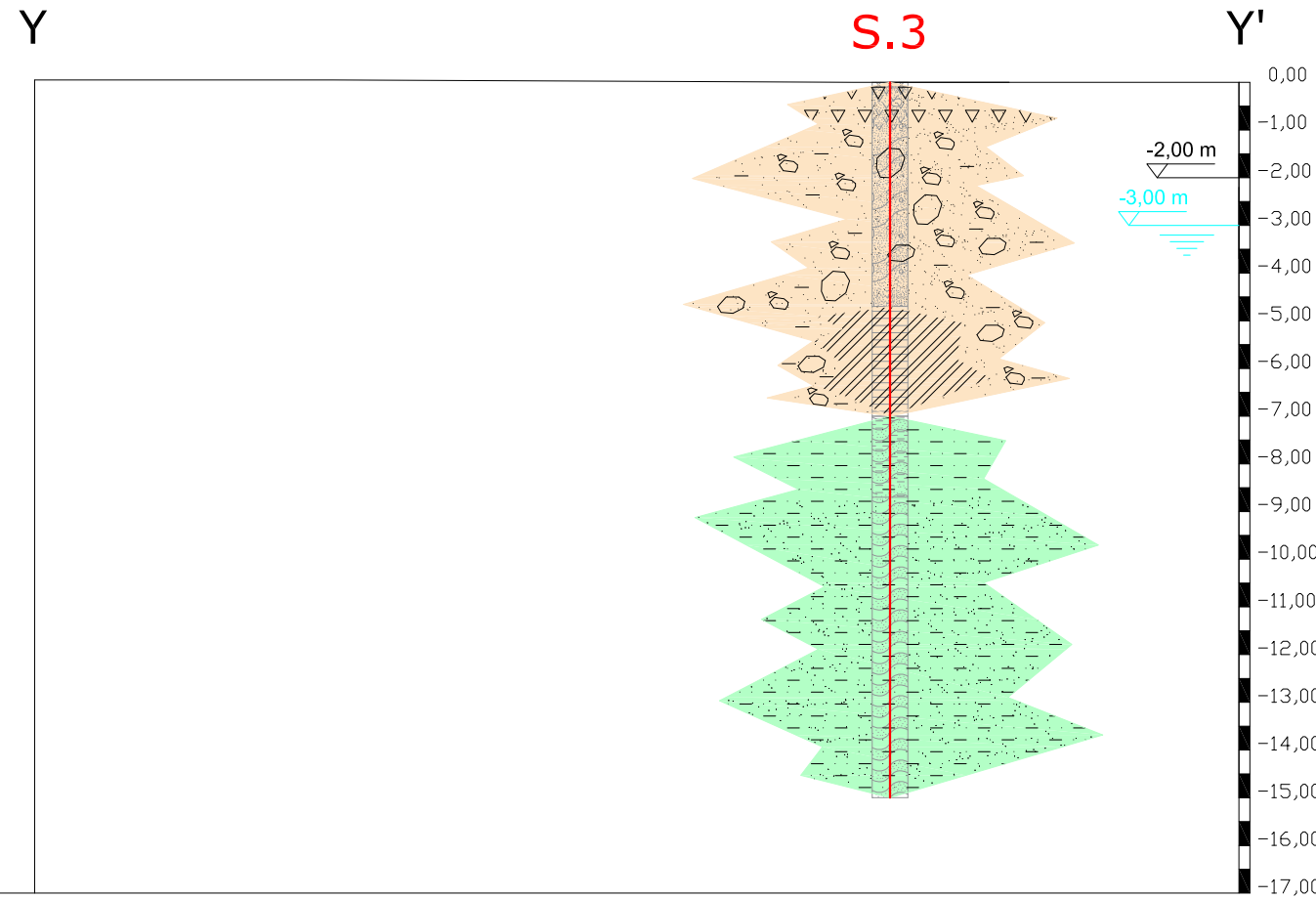
VIALE DELLA REPUBBLICA (ex Necchi Sud)

SEZIONE GEOTECNICA E STRATIGRAFICA X-X'

COORDINATO E REDATTO DA		COMMITTENTE	
Dott.ssa Geol. Monica Civitenga OGL n.920 civitenga@lybra-at.it		<b>PV01.RE S.r.l.</b> Via Museo, 1 39100 Bolzano - BZ	
Collaboratrice di studio: Dott.ssa Stefania Rizzi			
 Lybra ambiente e territorio S.r.l. Via Enrico Caviglia, 5 20139 Milano tel 02.45470559 - fax 02.45470691 indirizzo PEC lybra@gigapec.it www.lybra-at.com	DISEGNATO MC	ELABORAZIONE 05/02/2021	
	CONTROLLATO MC	COMMESSA 1848_2019	
OGGETTO Esecuzione sondaggi a carotaggio continuo con prove S.P.T., prove penetrometriche dinamiche S.C.P.T., stendimento sismico MASW		FILE 1848_19_Tavola_2_sezione	SCALA VERT. SCALA ORIZ.
DESCRIZIONE NUOVA SOTTOPASSO FERROVIARIO		TAVOLA N. <b>2</b>	
Relazione geologica (R3) ai sensi della DGR 2616/2011 Relazione geologica (R1) ai sensi del DM 17.01.2018			

TAVOLA 3


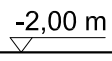

**SEZIONE GEOTECNICA  
E STRATIGRAFICA Y-Y'**



### LEGENDA STRATIGRAFICA

-  materiale di riporto
-  argilla
-  limo
-  sabbia
-  ghiaietto e ghiaia

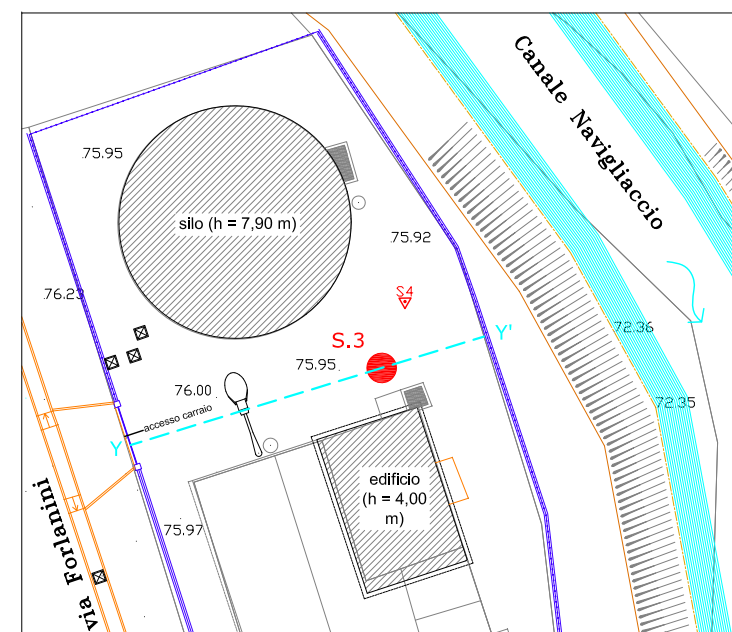
### SIMBOLI

-  S.3 sondaggio a carotaggio continuo
-  -2,00 m quota imposta fondazioni (passerella pedonale) + 74,00 m s.l.m.
-  -3,00 m quota falda libera (sospesa) (da bibliografia)

### LEGENDA GEOTECNICA

**STRATO GEOTECNICO C**  
 Materiale di riporto seguito da sabbie prevalenti con subordinate ghiaie a tratti in debole matrice limosa e da uno strato di argilla.  
**Grado di addensamento/consistenza**  
 Sciolto.  
**Parametri geotecnici**  
 $N_{spt\ medio} = 7$ ;  $Dr = 35-40\%$   
 $\phi_m = 29^\circ$ ;  $\phi_k = 26^\circ$   
 $E_{y\ m} = 5\ MPa$ ;  $E_{y\ k} = 4\ MPa$   
 $E_{ed\ m} = 39\ MPa$ ;  $E_{ed\ k} = 35\ MPa$   
 $\gamma_{nat} = 17-18\ kN/m^3$ ;  $\gamma_{sat} = 18-19\ kN/m^3$   
 $\gamma_{sat} = 10\ kN/m^3$  (in falda)


**STRATO GEOTECNICO D**  
 Limo sabbioso a tratti argilloso seguito da sabbia limosa.  
**Grado di addensamento/consistenza**  
 Addensato.  
**Parametri geotecnici**  
 $N_{spt\ medio} = 30$ ;  $Dr = 60-70\%$   
 $\phi_m = 35^\circ$ ;  $\phi_k = 31^\circ$   
 $E_{y\ m} = 22\ MPa$ ;  $E_{y\ k} = 20\ MPa$   
 $E_{ed\ m} = 113\ MPa$ ;  $E_{ed\ k} = 100\ MPa$   
 $\gamma_{nat} = 19-20\ kN/m^3$ ;  $\gamma_{sat} = 10\ kN/m^3$



CITTA' METROPOLITANA DI PAVIA  
 COMUNE DI PAVIA

VIA NEGRI ADELCHI N.13 (ex Depuratore)

SEZIONE GEOTECNICA E STRATIGRAFICA Y-Y'

COORDINATO E REDATTO DA		COMMITTENTE	
Dott.ssa Geol. Monica Civitenga OGL n.920 civitenga@lybra-at.it		PV01.RE S.r.l. Via Museo, 1 39100 Bolzano - BZ	
Collaboratrice di studio: Dott.ssa Stefania Rizzi			
	Lybra ambiente e territorio S.r.l. Via Enrico Caviglia, 5 20139 Milano tel 02.45470559 - fax 02.45470691 indirizzo PEC lybra@gigapec.it www.lybra-at.com		DISEGNATO MIC 05/02/2021
			ELABORAZIONE COMMESSA 1848_2019
OGGETTO		FILE 1848_19_Tavola_3_sezione	
Esecuzione sondaggio a carotaggio continuo con prove S.P.T.		SCALA VERT.	
DESCRIZIONE		TIPO NI	SCALA ORIZ.
NUOVA PASSERELLA CICLOPEDONALE SUL "NAVIGLIACCIO"		TAVOLA N.	
Relazione geologica (R3) ai sensi della DGR 2616/2011 Relazione geologica (R1) ai sensi del DM 17.01.2018		3	